

KERNFORSCHUNGSZENTRUM

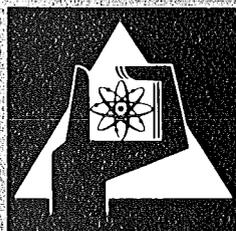
KARLSRUHE

Juli 1977

KFK 2465

Projekt Spaltstoffflußkontrolle

Jahresbericht 1976



**GESELLSCHAFT
FÜR
KERNFORSCHUNG M.B.H.**

KARLSRUHE

Als Manuskript vervielfältigt

Für diesen Bericht behalten wir uns alle Rechte vor

GESELLSCHAFT FÜR KERNFORSCHUNG M. B. H.
KARLSRUHE

KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE

KFK 2465

Projekt Spaltstoffflußkontrolle

Jahresbericht 1976

Gesellschaft für Kernforschung m.b.H., Karlsruhe

Annual Report of the Nuclear Safeguards Project 1976

Summary

The present report describes the major activities carried out in 1976 in the framework of the Nuclear Safeguards Project by the institutes of the Gesellschaft für Kernforschung Karlsruhe, the European Institute of Transuranium Elements and some industrial firms.

Zusammenfassung

Der vorliegende Bericht beschreibt die Arbeiten am Projekt Spaltstoffflußkontrolle, die von den an diesem Projekt beteiligten Instituten der Gesellschaft für Kernforschung, Karlsruhe, dem Europäischen Institut für Transurane und einigen Industriefirmen im wesentlichen im Jahre 1976 durchgeführt wurden.



Dieser Bericht enthält Beiträge von

R. Avenhaus⁵⁾, W. Bahm¹⁾, K. Baumung⁴⁾, H. Bernhard⁶⁾,
W. Beyrich⁸⁾, U. Bicking¹⁾, K. Böhnel⁴⁾, R. Braun⁶⁾, H. Bükler⁹⁾,
R. Buttler⁹⁾, Chr. Brückner²⁾, W. Coerdts⁶⁾, H. Deutsch⁶⁾,
H. Engelhardt⁹⁾, W. Eyrich⁴⁾, S. Flach⁶⁾, H. Frick⁵⁾,
M. Friedrich⁶⁾, E. Gantner⁶⁾, W. Golly¹⁾, D. Gupta¹⁾, M.R. Iyer¹⁰⁾,
L. Koch⁷⁾, W. König⁶⁾, U. Kotte⁹⁾, E. Mainka⁶⁾, K. Matern⁶⁾,
P. Matussek³⁾, I. Michel-Piper³⁾, M. Mostafa⁶⁾, J. Neuber⁶⁾,
S. Onnen⁵⁾, H. Ottmar³⁾, F.J. Polster⁵⁾, H. Ruf⁶⁾, W. Rust¹⁾,
S. Schoof⁶⁾, G. Stein⁹⁾, D. Stöckle⁵⁾, M. Wilhelmi⁶⁾

- 1) Gesellschaft für Kernforschung, Entwicklungsgruppe Kernmaterial-sicherung
- 2) Gesellschaft für Kernforschung, Abteilung Strahlenschutz und Sicherheit
- 3) Gesellschaft für Kernforschung, Institut für Angewandte Kernphysik
- 4) Gesellschaft für Kernforschung, Institut für Neutronenphysik und Reaktortechnik
- 5) Gesellschaft für Kernforschung, Institut für Datenverarbeitung in der Technik
- 6) Gesellschaft für Kernforschung, Institut für Radiochemie
- 7) Europäisches Institut für Transurane
- 8) delegiert von EURATOM
- 9) Kernforschungsanlage Jülich
- 10) delegiert vom Bhabha Atomic Research Centre, Trombay, Indien

<u>Inhaltsübersicht</u>	<u>Seite</u>
Einführung	1
<u>Kapitel 1:</u> Systemanalytische Arbeiten	
1.0 Zusammenfassung	1-1
1.1 Analyse von Fehlalarmen in Überwachungs- systemen mit Hilfe von Zweipersonen- Nichtnullsummenspielen	1-2
1.2 Analyse des Materialbilanzierungs- und des Datenverifikationssystems der RBU	1-8
1.3 Fertigstellung einer Monographie "Material Accountability: Theory, Verification, Applications	1-10
Literaturverzeichnis zu Kapitel 1	1-12
<u>Kapitel 2:</u> Zerstörungsfreie Methoden	
2.1 In-Line Messung der ^{235}U -Anreicherung in einer LWR-Brennelement-Fabrikationsanlage	2-1
2.2 Eichstandards für gammaspektrometrische ^{235}U -Anreicherungsmessungen	2-3
2.3 Gammaspektrometrische Plutoniumbestimmung in festen, schwach radioaktiven Abfall- stoffen	2-6
2.4 Apparatur zur Bestimmung des Plutoniumge- halts von schwach- und mittelaktiven Ab- fällen in 200 l Fässern durch Messung der Spaltneutronen	2-8

	<u>Seite</u>
2.5 Personenschleuse zur Überwachung von Personen auf mitgeführtes Uran oder Plutonium	2-10
2.6 Konzentrationsbestimmung von Thorium-Uran-Plutonium durch Absorptionsmessungen mit einem Röntgengenerator	2-12
2.7 Bestimmung des Gadoliniumgehalts in LWR-Brennstoffpellets durch Röntgenfluoreszenzanalyse	2-15
Literaturverzeichnis zu Kapitel 2	2-18
 <u>Kapitel 3: Direkte Verfahren</u>	
3.0 Einführung	3-1
3.1 Serviceleistungen und begleitende Arbeiten zur Automatisierung direkter Verfahren	3-1
3.2 Entwicklung von Analysenverfahren	3-2
3.2.1 Automatische massenspektrometrische Isotopenanalyse	3-2
3.2.2 Automatisierung der Uran- und Plutoniumkonzentrationsbestimmung durch die Röntgenfluoreszenzanalyse	3-8
3.2.3 Arbeiten zur naßchemischen Plutoniumkonzentrationsbestimmung in festen Abfallproben	3-19
3.2.4 Arbeiten zur Isotopenkorrelations-technik	3-26
Literaturverzeichnis zu Kapitel 3	3-28

Kapitel 4: DV-Systeme für die Spaltstofffluß-
kontrolle

4.0	Einleitung	4-1
4.1	Das EDV-System zur Kernmaterialüberwachung im Kernforschungszentrum Karlsruhe: Systemanalyse und Entwurf	4-2
4.2	Systemanalyse der Datenausgabe des IAE0- DV-Safeguardsinformationssystems	4-8
	Literaturverzeichnis zu Kapitel 4	4-13

Kapitel 5: Interlaboratoriumstests

5.1	UF ₆ -Interlaboratoriumstest	5-1
5.2	Interlaboratoriumstest "AS-76"	5-6
	Literaturverzeichnis zu Kapitel 5	5-8

Kapitel 6: Arbeiten zur Einführung von Überwachungs-
maßnahmen nach dem Verifikationsabkommen
zum NV-Vertrag in bestehenden Anlagen der
Bundesrepublik

6.1	Einleitung	6-1
6.2	Leichtwasserreaktoren	6-1
6.3	Fabrikationsanlage für Brennstäbe aus Pu-U-Mischoxid (ALKEM)	6-3
6.4	Fabrikationsanlage für hochangereichertes Uran (NUKEM)	6-5

	<u>Seite</u>
6.5 Zu den Verhandlungen der neuen Verordnung der Kommission der Europäischen Gemeinschaften zur Anwendung der Bestimmungen des EURATOM-Vertrages über die Sicherheitsüberwachung (Kernmaterialüberwachung)	6-12
Literaturverzeichnis zu Kapitel 6	6-14
<u>Kapitel 7:</u> Arbeiten zur Entwicklung und Erprobung von Überwachungskonzepten in kerntechnischen Einrichtungen	
7.1 Einleitung	7-1
7.2 Große Wiederaufarbeitungsanlage KEWA	7-2
7.3.1 Anreicherungsanlagen nach dem Gas-Ultrazentrifugenverfahren	7-6
7.3.2 Anreicherungsanlagen nach dem Trenndüsenverfahren	7-12
7.4.1 Kernforschungszentrum Karlsruhe	7-14
7.4.2 Kernforschungszentrum Jülich und kleinere Forschungszentren	7-15
7.5 Kugelhaufenreaktoren	7-17
7.6 Schnellbrutreaktor	7-20
Literaturverzeichnis zu Kapitel 7	7-24

Kapitel 8: Internationale Zusammenarbeit

- | | | |
|-----|--|-----|
| 8.1 | Arbeiten in der SAGSI (Standing Advisory Group on Safeguards Implementation) | 8-1 |
| 8.2 | F+E-Arbeiten im Rahmen der ESARDA (European Safeguards Research and Development Association) | 8-3 |
| 8.3 | Zusammenarbeit mit anderen Staaten auf dem Gebiet der Kernmaterialüberwachung | 8-4 |

1. Einführung

An Hand einer Analyse der Entwicklungen im Bereich der Kernmaterialüberwachung in nationaler und internationaler Ebene wurden im Jahresbericht 1975 die Schwerpunkte der F+E.-Arbeiten des Projektes wie folgt angegeben (Zitat aus dem Jahresbericht 1975 des Projektes Spaltstoffflußkontrolle Seite 1-7).

1. Systemanalytische Untersuchungen der Ziele nationaler und internationaler Überwachung für Kernmaterialien, Kernanlagen und für Technologieübertragung und Effektivität der Überwachung.
2. Bearbeitung von Überwachungsproblemen in Zusammenhang mit Bestandsaufnahme, Einsatz von Containment- und Surveillance-Maßnahmen, gemeinsam mit EURATOM und den Anlagenbetreibern.
3. Entwicklung und Erprobung von Meßsystemen in Kernanlagen der Bundesrepublik.
4. Entwicklung und Erprobung von überwachungsrelevanten Informationssystemen in einzelnen kerntechnischen Anlagen sowie für den gesamten Brennstoffzyklus.
5. Entwicklung und Erprobung von Überwachungskonzepten für große Wiederaufarbeitungs- und Anreicherungsanlagen und für fortgeschrittene Reaktortypen sowie für den Brennstoffzyklus der 80er Jahre.
6. Durchführung von gutachterlichen Tätigkeiten für die Regierung und für die Betreiber der Kernanlagen der Bundesrepublik.
7. Intensivierung der F+E.-Arbeiten im Rahmen der ESARDA und SAGSI.

Die 1976 durchgeführten Arbeiten entsprechen den angegebenen Schwerpunkten. In Tabelle I sind die beschriebenen Arbeitsbereiche in Kapitel 1-8 des vorliegenden Berichtes in geschlossener Form zusammengestellt. Außerdem gibt die Tabelle eine Vorausschau über die geplanten Arbeiten für das Jahr 1977. Die Arbeiten umfassen ein breites Spektrum von Themen. Um diese Arbeiten miteinander in Beziehung zu setzen bzw. sie einem gemeinsamen Ziel zuzuordnen, ist zuerst eine Beschreibung des Zieles der Projektarbeiten erforderlich.

Nach wie vor ist es das Ziel der Projektarbeiten, ein internationales Überwachungssystem für verschiedene kerntechnische Einrichtungen zu entwickeln und zu erproben, das in der Lage ist, eine Abzweigung signifikanter Mengen an Kernmaterialien aus diesen kerntechnischen Einrichtungen rechtzeitig zu entdecken.

Bei der Entwicklung des Systems müssen mehrere Nebenbedingungen und Restriktionen berücksichtigt sowie Annahmen gemacht werden, die häufig von technischen und politischen Entwicklungen im Bereich der friedlichen Nutzung der Kernenergie beeinflusst bzw. bestimmt werden. Zu den Nebenbedingungen, Restriktionen und Annahmen gehören u.a.:

- a) Das System soll einerseits allen internationalen Verpflichtungen zur Kernmaterialüberwachung gerecht werden (im Falle der Bundesrepublik NV- und EURATOM-Vertrag), andererseits aber den normalen Betrieb einer Kernanlage bzw. die normale Entwicklung der friedlichen Kernenergie nicht behindern.
- b) Für die Verwirklichung des Ziels der Überwachung sollen drei Überwachungsmaßnahmen grundsätzlicher Natur eingesetzt werden. Dies sind Bilanzierung, räumliche Einschließung (Containment) und Beobachtung (Surveillance).

- c) Das Überwachungssystem soll diejenigen Abzweigungsmöglichkeiten berücksichtigen, deren Abdeckung im internationalen Rahmen vereinbart worden ist. Das im Rahmen des Projektes Spaltstoffflußkontrolle zu entwickelnde System kann nur solche Abzweigungsstrategien abdecken, die auf staatlicher Ebene verwirklicht werden können. Das Überwachungssystem kann eine Abzweigung erst entdecken, nachdem sie stattgefunden hat. Nach der derzeitigen Struktur der internationalen Überwachungsorganisationen verfügt ein internationales Überwachungssystem über keine operativen Maßnahmen, die direkt eine illegale Abzweigung (Diebstahl verhindern können. Die Verhinderung von Sabotageakten ist mit diesem System auch nicht möglich. Die Verhinderung von Diebstahl und Sabotage kann nur durch ein System auf staatlicher Ebene verwirklicht werden.
- d) Das internationale Überwachungssystem soll effektiv arbeiten. Um die Effektivität eines Systems definieren zu können, müssen jedoch Annahmen über mehrere Parameter, die die Effektivität bestimmen, gemacht werden. Nach den derzeitigen Vorstellungen in Fachkreisen sind 6 Größen für die Festlegung der Effektivität erforderlich: a) die absolute Größe der signifikanten Menge, b) die Entdeckungswahrscheinlichkeit einer Abzweigung, c) die zumutbare Fehlalarmwahrscheinlichkeit (beide Wahrscheinlichkeiten sind a priori festzulegen), d) die Zeit, die nach einer Abzweigung verstreichen darf, ehe die Abzweigung entdeckt werden kann, und schließlich e) die Kosten der Überwachung.

Bei der Durchführung der internationalen Überwachungsmaßnahmen ist zu berücksichtigen, daß zwei unterschiedliche Tätigkeitsbereiche mit unterschiedlichen Zielvorstellungen und Organisationen in Berührung kommen, nämlich der Betrieb von Kernanlagen und die Überwachungsfunktionen der internationalen Organisationen. In einer Kernanlage müssen einige Vorkehrungen getroffen werden, die man als "Überwachungsinfrastruktur" bezeichnen kann (dazu

gehören u.a. Meßsysteme für die Erstellung einer Bilanz, Verfahren für die Aufnahme von realen Beständen in der Anlage, Protokoll- und Berichterstattungssystem, Schritte für die Verwendung von Containment- und Surveillance-Maßnahmen usw.), um überhaupt Überwachungsmaßnahmen durchführen zu können. Andererseits müssen bei den Überwachungsorganisationen mehrere Schritte und Bewertungsmethoden vorhanden sein, die man als "Verifikationsinfrastruktur" bezeichnen kann, um erstens die Überwachungstätigkeiten in einer Anlage vornehmen zu können und zweitens, die Ergebnisse der Überwachungstätigkeiten daraufhin analysieren zu können, ob eine Abzweigung vorliegen kann oder nicht.

Bei der Einführung der IAEÜ-Überwachung nach dem NV-Vertrag in kerntechnischen Einrichtungen der Unterzeichnerstaaten wurden nach mehreren Diskussionen in Arbeitsausschüssen der IAEÜ die folgenden Werte für signifikante Menge, Entdeckungs- und Fehlalarmwahrscheinlichkeit und rechtzeitige Entdeckung als Richtlinie empfohlen:

- | | |
|----------------------------------|---|
| a) Signifikante Menge Pu | 8 kg |
| " " U | 25 kg U-235 in Gesamturan |
| b) Entdeckungswahrscheinlichkeit | 95 % |
| c) Fehlalarmrate | 5 % |
| d) Entdeckungszeit | 0,5 Jahre für Pu und hochangereichertes Uran (>20 % U-235)
1 Jahr für restliche Materialien. |

Da eine Aussage über eine Abzweigung des Kernmaterials im Rahmen der internationalen Überwachung erst nach der Erstellung einer Gesamtbilanz in einer Anlage und nach einem Vergleich mit dem Buch- und realen Bestand dieses Kernmaterials getroffen werden kann, ist die Entdeckungszeit mit der Zeit der Aufnahme des realen Bestandes gleichzusetzen.

Im Lichte der dargestellten Ziele der Projektarbeiten sowie der Bedingungen für die Verwirklichung dieser Ziele lassen sich

die Zusammenhänge der im Jahre 1976 durchgeführten Arbeiten wie folgt darstellen:

Die systemanalytischen Arbeiten in Kapitel 1 dienen u.a. zur Klärung folgender Fragen:

- a) Welche Daten müssen vorgegeben werden bzw. welche Annahmen müssen gemacht werden, um das Überwachungssystem für eine vorgegebene Zielfunktion (z.B. höchste Entdeckungswahrscheinlichkeit für die kleinste Menge unter Berücksichtigung von verschiedenen Abzweigungsmöglichkeiten) optimieren zu können.
- b) Welche sind die erreichbaren Genauigkeiten für die Erstellung einer Bilanz in verschiedenen kerntechnischen Anlagen. Die Meßgenauigkeiten beeinflussen unmittelbar die Mengen, die als abgezweigt entdeckt werden können. In dem angegebenen Beispiel für eine Herstellungsanlage für Brennelemente mit 3 % angereichertem Uran wurde festgestellt, daß die Unsicherheit einer Bilanz etwa 0,2 % des Einsatzes entspricht. Dies sind ca. 1200 kg 3 % Uran/a oder 36 kg U-235.

Die in Kapitel 8 beschriebenen Arbeiten der SAGSI (Standing Advisory Group on Safeguards Implementation), IAE0, befassen sich mit der Frage der Effektivität und der Möglichkeit der Verwirklichung dieser Effektivität des IAE0-Systems.

Die bisherigen Erfahrungen bei der Implementierung der IAE0/EURATOM-Überwachung zeigen, daß das Überwachungsziel, wie oben beschrieben, quantitativ in den bestehenden kerntechnischen Einrichtungen im Prinzip verwirklichtbar ist. Es fehlen jedoch einige Elemente der "Überwachungsinfrastruktur" in einer Kernanlage, sowie einige Elemente der "Verifikationsinfrastruktur" bei den Überwachungsorganisationen. Zu den ersteren gehören u.a. geeignete Meßsysteme nach zerstörungsfreiem bzw. chemischem Meßprinzip, Daten über erreichbare Meßgenauigkeiten für verschiedene Meßmethoden, geeignete Möglichkeiten für die einwandfreie Verwendung

von Containment- und Beobachtungsmaßnahmen (z.B. Kamera), ein überwachungsgerechtes Informationssystem (für Protokolle und Berichte) und schließlich Verfahren für die Aufnahme von realen Beständen. Für die Verifikationsinfrastruktur fehlt z.B. ein geeignetes Informationsbewertungssystem. In Kapitel 2 (zerstörungsfreie Methoden) 3 (direkte Methoden), 4 (DV-Systeme für Spaltstoffflußkontrolle), 5 (Interlabtests) und 6 (Einführung der Überwachungsmaßnahmen nach dem NV-Vertrag) wurden Arbeiten zu diesem Themenkreis beschrieben.

Die systemanalytischen Untersuchungen im internationalen und nationalen Rahmen deuten daraufhin, daß für die zu erwartenden großen Kernanlagen der 80er Jahre, wie Wiederaufarbeitung und Anreicherung, für die fortgeschrittenen Reaktorsysteme, wie SNR, und für nukleare Entsorgungszentren, in denen mehrere große Kernanlagen gemeinsam gebaut werden, das eingeführte internationale Überwachungssystem modifiziert, erweitert und gegebenenfalls geändert werden muß. Insbesondere ist die IAEA an einer rechtzeitigen Analyse der Situation und gegebenenfalls Entwicklung eines Überwachungskonzeptes interessiert. In Kapitel 7 sind die Arbeiten zur großen Wiederaufarbeitungsanlage KEWA, die Konzeptentwicklungsarbeiten für die nach Brasilien zu liefernde Trenndüsenanlage für eine Anreicherungsanlage nach dem Gas-Ultra-Zentrifugen-Verfahren, sowie für SNR, THTR und Kernforschungszentrum beschrieben.

Die internationalen Aspekte der Kernmaterialüberwachung gewinnen zunehmend an Bedeutung. Das Projekt ist daran interessiert, die Arbeiten nach Abstimmung mit internationalen Gremien durchzuführen und die Ergebnisse der Arbeiten im internationalen Rahmen zu verwirklichen. In der EG werden die Projektarbeiten in der ESARDA koordiniert. Darüber wird in Kapitel 8 berichtet. Bis jetzt findet die Abstimmung mit der IAEA in groben Zügen über die SAGSI statt. Die Arbeiten der SAGSI sowie die Zusammenarbeit mit USA und Japan sind ebenfalls in Kapitel 8 beschrieben.

Tabelle I

Übersicht Jahresbericht 1976

Kapitel	Behandelte Themen	1976 durchgeführte Arbeiten: Ergebnisse	Vorausschau 1977
1	Systemanalytische Arbeiten	<p>1.1 Optimierung des Überwachungsaufwandes mit Hilfe von entscheidungstheoretischen Modellen: Es wird gezeigt, welche Informationen bzw. Vorgaben notwendig sind, um optimale Überwachungsstrategien bestimmen zu können. Die Arbeiten werden 1977 veröffentlicht.</p> <p>1.2 Bilanzierung und Datenverifikation in der BE-Herstellungsanlage RBU der BRD: Feststellung der Unsicherheit einer Materialbilanz und Ausarbeitung eines optimalen Verifikationsplanes für die Inspektion. Es wurde gezeigt, daß eine Bilanz mit einem Unsicherheitsbereich 0,2-0,4% der Eingangsmenge erstellt werden kann. Die Arbeiten werden als KFK-Bericht 1977 veröffentlicht.</p> <p>1.3 Fertigstellung einer Nomographie über "Material Accountability Theory, Verification and Application": Erweiterung der Grundzüge der Bilanzierung bei Kernmaterialüberwachung auf andere Bereiche wie chemische Industrie, CO₂ und SO₂-Bilanz in der Umwelt, Arms Control usw. wird 1977 veröffentlicht.</p>	<p>Erweiterung der Optimierungsmodelle unter Einbeziehung der Maßnahmen zur räumlichen Einschließung und Beobachtung.</p> <p>Erweiterung der Bilanzierungs- und Datenverifikationsarbeiten für andere Herstellungsanlagen der BRD.</p> <p>Fortführung der Arbeiten zur Festlegung von signifikanten Mengen und rechtzeitigen Entdeckung einer möglichen Abzweigung.</p> <p>Theoretische Untersuchungen zu Isotopenkorrelationen.</p>
2	Zerstörungsfreie Methoden	<p>2.1 γ-spektrometrische Bestimmung der U-Anreicherung in Pressenbunkern der RBU: Fertigstellung der Spezifikation und Auslegung eines rechnergesteuerten In-Line-Meßsystems zur kontinuierlichen Überwachung der Urananreicherung in verschiedenen Produktionslinien. Das Meßsystem soll mit zwei Anreicherungsmonitoren Ende 1977 in Betrieb gehen.</p> <p>2.2 Eichstandards: Spezifikationen von Standards für γ-spektrometrische Meßsysteme im Rahmen der ESARDA-Arbeiten; Rechnungen für die minimalen Probedimensionen wurden durchgeführt, um die Spezifikationen für die Standards festzulegen.</p> <p>2.3 Pu-Bestimmung in festen Abfällen nach γ-spektrometrischen bzw. n-Koinzidenz-Methoden: Testuntersuchungen der Multienergie-Gruppenanalysen wurden abgeschlossen; n-Koinzidenz-Meßsystem wird 1977 in der ADB aufgebaut.</p> <p>2.4 Aufbau der Personenschleuse in SHEAK: Auswertung der Betriebsprotokolle, um Fehlalarmrate und Wartungspläne festzulegen.</p> <p>2.5 Bestimmung von Gadolinium-Konzentration in UO₂-Pellets: Eine Kombination der Röntgenspektroskopie mit NaJ gibt eine verhältnismäßig einfache Methode für diese Bestimmung. Die ersten Untersuchungsergebnisse werden diskutiert.</p>	<p>Weiterführung der U-Anreicherungsarbeiten mit der RBU im Rahmen eines Know-how Lizenzvertrages.</p> <p>Weiterführung der Arbeiten zur Pu-Bestimmung in festen Abfällen; Automatisierung des n-Koinzidenz-Meßsystems für die ADB.</p> <p>Bearbeitung von spezifischen Meßsystemen in der großen Wiederaufarbeitungsanlage KEWA und für Inventaraufnahme in Forschungszentren und Herstellungsanlagen.</p> <p>Weiterführung der Arbeiten zu Standards und Meßsystemen im Rahmen der ESARDA.</p> <p>Gemeinsame Erprobung eines Meßsystems im Rahmen des deutsch-indischen Zusammenarbeitsabkommens.</p>
3	Direkte Methoden	<p>3.1 Service-Leistungen: Mehr als 280 analytische Messungen nach α- und γ-Spektrometrie, Röntgenfluoreszenzmethode, für die Bestimmung von Pu-Konzentrationen in Abfallproben, M/O-Bestimmungen in Standards. Entwicklung neuer Aufschlußmethode für schwerlösliche Pu-haltige Abfallmengen.</p> <p>3.2 Automatisierung der Massenspektrometrie und Röntgenfluoreszenz: Nach Abschluß der Automatisierung seit Ende 1975 in Dauerbetrieb. Schwierigkeiten bei der Entwicklung von Software zur Automatisierung von Massenspektrometrie; die Hardware-Teile sind zuverlässig. Die Vorteile der automatisierten Massenspektrometrie sind Erzeugung von objektivierbaren und eingriffssicheren Daten, kostengünstige Durchführung von Analysen usw.. Spezifikationen für Software für das Röntgenfluoreszenzsystem unter Einbeziehung der Betriebsbedingungen in der WAK wurden angefertigt.</p> <p>3.3 Isotopenkorrelationen. Experimentelle Untersuchungen zu Isotopenkorrelationen gemeinsam mit TU durchgeführt.</p>	<p>Service-Analysen im Rahmen der Arbeiten zur Spaltstoffflußkontrolle.</p> <p>Abschluß der Arbeiten zur Automatisierung der Massenspektrometrie.</p> <p>Weiterführung der Erprobung des Röntgenfluoreszenzsystems unter radioaktiven Bedingungen in der WAK.</p> <p>Arbeiten für die Entwicklung und Anpassung von analytischen Verfahren in einer großen Wiederaufarbeitungsanlage.</p> <p>Durchführung und Auswertung von experimentellen Untersuchungen zu Isotopenkorrelationen.</p>

4	DV-Systeme für die Spaltstoffflußkontrolle	<p>4.1 Systemanalyse, Spezifikation und Bestellung von DV-Systemen für Kernmaterialüberwachung: Das DV-System für Kernmaterialüberwachung in der GFK wurde spezifiziert und bestellt. Die Detailanforderungen für das Institut IMF II wurden fertiggestellt.</p> <p>4.2 Informationssystem für die IAEO-Überwachung Wien: Mitarbeit bei der Entwicklung eines Datenerfassungs- und Auswertungssystems für die IAEO in Wien.</p>	<p>Ausarbeitung und Erprobung des EDV-gestützten Datenerfassungssystems für IMF III; Auswertung der Unterlagen für die anderen Institute der GFK; Entwicklung und Spezifikationen für DV-Systeme der Fa. ALKEM und RBÜ.</p> <p>Weitere Mitarbeit bei der Entwicklung der IAEO-Informationssysteme für Kernmaterialüberwachung.</p> <p>Erarbeitung von DV-System-Unterlagen für das Protokoll- und Berichtssystem in einer großen Wiederaufarbeitungsanlage.</p>
5	Interlaboratoriumstests	<p>5.1 Durchführung und Auswertung des UF₆-Interlabtests: 8 Laboratorien aus 4 Ländern mit 10 Massenspektrometern nahmen an diesem Test teil. Die zufälligen Meßfehler der Verhältnismessung für die U-235-Konzentration lagen bei ca. 0,4% (2-σ-Wert) für 0,4% U-235- und 0,1% für 3% U-235-Konzentrationen. Die Fehlerbreite für die U-235-Konzentration in "Standard" lag bei 0,15%. Ein KFK-Bericht über dieses Experiment wurde veröffentlicht.</p> <p>5.2 α-spektrometrische Bestimmung des Pu-238: Die Planungsarbeiten für das Experiment "AS-76" wurden abgeschlossen. Insgesamt haben 26 Laboratorien aus Europa, Indien, Japan und den USA die Beteiligung zugesagt.</p>	<p>Durchführung des Interlabtests zur Isotopenverdünnungsanalyse IDA-77.</p> <p>Durchführung und Auswertung des AS-76-Tests.</p> <p>Vergleichende Untersuchungen für Meßmethoden im Rahmen der ESARDA-Arbeiten.</p>
6	Einführung der IAEO/EURATOM-Überwachung in bestehenden Kernanlagen der BRD	<p>6.1 Arbeiten für LWR-Systeme: Weiterführung des Kameraexperimentes. Bei der Durchführung des Experimentes mußte festgestellt werden, daß eine Fehlinterpretation der normalen Handhabung als illegaler Transport nicht ausgeschlossen werden kann, sowie eine absichtliche Abschaltung der Hallenbeleuchtung auch zu Fehlinterpretationen führen kann.</p> <p>6.2 Arbeiten für BE-Herstellungsanlagen ALKEM, NUKEM, RBÜ: Für ALKEM wurde eine neue Datenstruktur für das Protokoll- und Berichtssystem entworfen. In der NUKEM wurde die Untersuchung zur Unsicherheit einer Bilanzierung abgeschlossen. Die Arbeiten für RBÜ sind unter Kapitel 1 beschrieben.</p> <p>6.3 Gutachterliche Arbeiten in Zusammenhang mit der neuen Verordnung der KEG zur Kernmaterialüberwachung: Die Vorschläge der Europäischen Kommission der Gemeinschaft zur Verordnung 7 und 8 wurden analysiert und Verbesserungsvorschläge ausgearbeitet.</p>	<p>Fortführung des Kamera-Experimentes unter geänderten Betriebsbedingungen auf Wunsch des Betreibers.</p> <p>Unterstützung der Anlagenbetreiber bei der Erstellung von grundlegenden technischen Merkmalen sowie von anlage-spezifischen Anhängen im Zusammenhang mit der IAEO/EURATOM-Überwachung.</p> <p>Erprobung und Anpassung von Maßnahmen zur räumlichen Einschließung und Beobachtung in kerntechnischen Einrichtungen der BRD.</p>
7	Entwicklung von Überwachungskonzepten für kerntechnische Einrichtungen	<p>7.1 Wiederaufarbeitungs- und Anreicherungsanlagen: Das Kapitel über Kernmaterialüberwachung im Sicherheitsbericht für die große Wiederaufarbeitungsanlage wurde gemeinsam mit KEWA fertiggestellt. Das F+E.-Programm für die Entwicklung eines Überwachungskonzeptes für die große Wiederaufarbeitungsanlage wurde aufgestellt. Ein Überwachungskonzept mit dazugehörigen MUF-Analysen für Urananreicherungsanlagen nach dem Gas-Ultra-Zentrifugen-Verfahren wurde für 2 Referenzanlagen fertiggestellt. In einer Projektdefinitionsphase wurden die erforderlichen F+E.-Arbeiten zusammengestellt, die für die Erstellung eines Überwachungskonzeptes für die Urananreicherungsanlage nach dem Trenndüsenverfahren, die von der BRD nach Brasilien geliefert werden soll, als erforderlich erachtet werden.</p> <p>7.2 Kernforschungszentren der BRD: Die Überwachungskonzepte für die großen Kernforschungszentren Karlsruhe und Jülich wurden in ihren Grundzügen ausgearbeitet.</p> <p>7.3 THTR und SNR: Das Überwachungskonzept für THTR wurde mit den betroffenen Industriepartnern ausgearbeitet. Das System kann einerseits auf den Grundzügen des LWR-Überwachungssystems und andererseits weitgehend auf den für den Betrieb vorgesehenen Einrichtungen aufgebaut werden. Die Anforderungen für die Zuverlässigkeit des Systems für die Feststellung des nicht zugänglichen Inventars im SNR unter Berücksichtigung der vorgegebenen Fehlalarmrate wurde ausgearbeitet.</p>	<p>Intensivierung der Arbeiten für die Konzeptentwicklung für verschiedene großtechnische Anlagen und für das Entsorgungszentrum der BRD.</p> <p>Weiterführung der Arbeiten zur Entwicklung und Erprobung von Überwachungskonzepten in Kernanlagen, die von der BRD exportiert werden.</p> <p>Erprobung und Inbetriebnahme des Gesamt-Überwachungssystems in den Großforschungszentren.</p> <p>Erprobung einiger Teilsysteme für die Überwachung des THTR und SNR.</p>

8	Internationale Zusammenarbeit	<p>8.1 Arbeiten für SAGSI: Festlegung von Art und Umfang der Berichterstattung der IAEO an den Gouverneursrat bezüglich ihrer Überwachungstätigkeiten. Untersuchung der von der IAEO vorgeschlagenen Abzweigmöglichkeiten, die als Grundlage für die Festlegung von Überwachungsmaßnahmen dienen. Beginn der Arbeiten zur signifikanten Menge.</p> <p>8.2 Arbeiten für ESARDA: Ausarbeitung und Festlegung der Arbeitsweise für die Durchführung von gemeinsamen Projekten durch die Mitglieder der ESARDA.</p> <p>8.3 Zusammenarbeit USA, Japan: Ausarbeitung eines Zusammenarbeitsprogrammes zur Kernmaterialüberwachung mit den Vertretern der ERDA. Die Arbeiten werden zuerst mit dem Transport von Kernmaterialien begonnen.</p>	<p>Intensivierung der Zusammenarbeit mit der IAEO im Rahmen eines größeren Zusammenarbeitsabkommens. Weiterführung der Arbeiten zu signifikanten Mengen und zur Effektivität des Überwachungssystems.</p> <p>Erweiterung der ESARDA-Arbeiten auf dem Gebiet der gemeinsam durchzuführenden F+E.-Arbeiten zusammen mit Partnern außerhalb der EG.</p> <p>Intensivierung der Zusammenarbeit mit USA zur Kernmaterialüberwachung.</p> <p>Erarbeitung eines Zusammenarbeitsprogramms mit Japan auf dem gleichen Gebiet.</p>
---	-------------------------------	--	---

Kapitel 1: SYSTEMANALYTISCHE ARBEITEN

	<u>Seite</u>
1.0 Zusammenfassung	1-1
1.1 Analyse von Fehlalarmen in Überwachungssystemen mit Hilfe von Zweipersonen-Nichtnullsummenspielen R. Avenhaus, H. Frick	1-2
1.2 Analyse des Materialbilanzierungs- und des Daten- verifikationssystems der RBU R. Avenhaus, W. Golly	1-8
1.3 Fertigstellung einer Monographie "Material Ac- countability: Theory, Verification, Applications" R. Avenhaus	1-10
Literaturverzeichnis zu Kapitel 1	1-13

1. Systemanalytische Arbeiten

1.0 Zusammenfassung

Die systemanalytischen Arbeiten zur Spaltstoffflußkontrolle wurden im Jahr 1976 in zwei Richtungen weitergeführt: Zum einen wurden die Bedingungen und notwendigen Informationen für die Bestimmung des Wertes der Fehlalarmwahrscheinlichkeit für eine bestimmte Überwachungsaufgabe bestimmt. Zum anderen wurden die in den vergangenen Jahren entwickelten statistischen Verfahren zur Analyse der Materialbilanzierung und der Datenverifikation auf eine kerntechnische Anlage angewandt. Darüberhinaus wurde im Jahr 1976 eine Monographie mit dem Thema "Material Accountability-Theory, Verification, Applications" fertiggestellt; diese Monographie betrifft zwar nicht nur die Spaltstoffflußkontrolle, sie wurde jedoch durch diese angeregt und enthält wichtige diesbezügliche Anwendungen.

Bei den früheren Analysen der Überwachungsprobleme wurde der Wert der Fehlalarmwahrscheinlichkeit als gegeben angenommen; dies hatte zur Folge, daß alle Problemstellungen mit Hilfe von Zweipersonen-Nullsummenspielen behandelt werden konnten, und dies hatte wiederum zur Folge, daß bei der Bestimmung der optimalen Inspektionsstrategien die Werte der Auszahlungsparameter nicht bekannt sein müssen (ein zentrales Ergebnis angesichts der Schwierigkeit der Festlegung von solchen Zahlenwerten in diesem Zusammenhang). Will man nun aber den Wert der Fehlalarmwahrscheinlichkeit bestimmen und nicht vorgeben, so läßt sich die Analyse nicht mehr mit Nullsummenspielen durchführen, da bei einem Fehlalarm die Interessen der Partner nicht mehr entgegengesetzt sind; in diesem Falle hängen aber auch die optimalen Strategien von den Werten der Auszahlungsparameter ab. Es wurde gezeigt, wie die "Lösungen" von diesen Werten abhängen, und wie sich das Problem strukturieren läßt, damit die optimalen Strategien doch nur in marginaler Weise von den genannten Werten abhängen. Damit wurde gleichzeitig gezeigt, bis zu welchem Grade ein Überwachungssystem

"objektiv" festgelegt werden kann, was ja seit Beginn der Arbeiten eine zentrale Fragestellung war.

In Fortführung früherer Anwendungen von entscheidungstheoretischen Analysen auf Überwachungsprobleme in kerntechnischen Anlagen wurde im Jahr 1976 eine Analyse der Kernmaterialüberwachung in der Reaktor-Brennelement-Union (RBU) in Hanau durchgeführt. In Zusammenarbeit mit dem Anlagebetreiber wurden alle relevanten Daten zusammengestellt, es wurde die Genauigkeit der Materialbilanzierung bestimmt und es wurde ein denkbares Datenverifikationssystem diskutiert. Diese Arbeit war von besonderer Wichtigkeit: In jüngster Zeit wurde wieder die Frage der für die Überwachung "signifikanten Mengen" belebt, daher muß eine klare Vorstellung der technischen Möglichkeiten von Überwachungssystemen gegeben sein.

1.1 Analyse von Fehlalarmen in Überwachungssystemen mit Hilfe von Zweipersonen-Nichtnullsummenspielen

Die bei der Spaltstoffflußkontrolle gegebene Konfliktsituation, die darin liegt, daß eine Entwendung von spaltbarem Material aus einer kerntechnischen Anlage nicht ausgeschlossen wird - andernfalls würde man ja nicht kontrollieren - und daß die Inspektionsbehörde eine solche Entwendung rechtzeitig entdecken will, bietet sich für eine spieltheoretische Analyse an. In der Tat werden solche Analysen seit 1968 im Rahmen des Projektes Spaltstoffflußkontrolle systematisch durchgeführt.

In der ersten Phase wurde die Problematik mit Hilfe von Zweipersonen-Nullsummenspielen behandelt. Dabei wurde die Nullsummen-Annahme gerechtfertigt, indem unterstellt wurde, daß die Inspektionsbehörde sich so verhält, als ob der Gewinn bzw. Verlust des Anlagenbetreibers ihr Verlust bzw. Gewinn wäre. Ein wesentlicher Vorteil dieser Betrachtungsweise ist es, daß die optimalen Strategien des Spiels

unabhängig von den Auszahlungsparametern sind, was angesichts der Schwierigkeiten bei der Festlegung von Zahlenwerten für die Auszahlungsparameter von großer Bedeutung ist. Diese Betrachtungsweise ließ sich ohne Schwierigkeiten so lange aufrechterhalten, als die Möglichkeit von Fehlalarmen nicht berücksichtigt wurde; im Falle eines Fehlalarms sind ja die Interessen der beiden Spieler gleichgerichtet in dem Sinne, daß beiden an der Aufklärung des Fehlalarms gelegen ist.

In der zweiten Phase wurden Modelle betrachtet, die die Möglichkeit von Fehlalarmen mit einbeziehen. Das Problem wurde wieder als Zweipersonen-Nullsummenspiel behandelt, die zulässige Fehlalarmrate ging als vorgegebener Parameter ein (Ref. /3/). Das heißt, die zulässige Fehlalarmrate wurde subjektiv gewählt. Gerade diese Subjektivität erweist sich aber als störend bei internationalen Kontrollvereinbarungen.

Im Jahr 1976 wurde nun das Problem der Wahl der zulässigen Fehlalarmraten für das Überwachungssystem auf der Basis eines nichtkooperativen Zweipersonen-Nichtnullsummenspieles behandelt:

Die geschilderte Überwachungsproblematik wird beschrieben durch ein nichtkooperatives Zweipersonenspiel mit der Inspektionsbehörde als Spieler 1 und dem Anlagebetreiber als Spieler 2. Ziel des Betreibers ist - bei illegalem Verhalten - Material aus der Anlage zu entwenden; Aufgabe des Inspektors ist es, eine derartige Entwendung zu entdecken.

Das Paar der Auszahlungen (Inspektorauszahlung, Betreiber auszahlung) sei gegeben durch

- (a, -b) bei Entwendung und Entdeckung
- (-c, d) bei Entwendung und Nichtentdeckung
- (-e, -f) bei Fehlalarm (d.h. Nichtentwendung und Alarm)
- (0, 0) bei Nichtentwendung und Nichtalarm.

Entwendet der Betreiber Material, so nehmen wir an, daß der Inspektor dies mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit (Entdeckungswahrscheinlichkeit) $1-\beta$ entdeckt. Die "Nichtentdeckungswahrscheinlichkeit" β ist eine Funktion der Fehlalarmwahrscheinlichkeit α ; es ist (vgl. /1-3/):

$$\beta(\alpha) = \inf_{x \in X_\alpha} \sup_{z \in Z} \tilde{\beta}(x, z), \quad 0 < \alpha < 1$$

wobei

$$X_\alpha := \{x := (\alpha_1, \dots, \alpha_n) \in \mathbb{R}^n, \quad 0 \leq \alpha_i \leq 1 \quad \forall i, \quad 1-\alpha = \prod_{i=1}^n (1-\alpha_i)\}$$

$$Z := \{z := (M_1, \dots, M_n) \in \mathbb{R}^n, \quad \sum_{i=1}^n M_i = M > 0\}$$

$$\tilde{\beta}(x, z) = \prod_{i=1}^n \Phi \left(U(1-\alpha_i) - \sigma_i^{-1} \cdot \sum_{j=1}^i a_{ij} M_j \right)$$

mit $a_{ij} \geq 0$, $\sigma_i > 0$. Φ bezeichnet die Normalverteilung, U ist die Umkehrfunktion von Φ .

Für den Fall, daß der Betreiber Material entwendet und der Inspektor mit der Fehlalarmwahrscheinlichkeit α inspiziert, sind die Gewinnerwartungswerte offenbar

$$a(1-\beta(\alpha)) - c\beta(\alpha) \quad \text{für den Inspektor}$$

$$d\beta(\alpha) - b(1-\beta(\alpha)) \quad \text{für den Betreiber.}$$

Entscheidet sich der Betreiber mit der Wahrscheinlichkeit $p \in [0,1]$ zu illegalem Verhalten, d.h. für Materialentwendung, so sind die Gewinnerwartungswerte offensichtlich

$$\begin{aligned} [a - (a+c) \cdot \beta(\alpha)] \cdot p - e \cdot \alpha(1-p) & \quad \text{für den Inspektor} \\ [-b + (b+d) \cdot \beta(\alpha)] \cdot p - f \cdot \alpha(1-p) & \quad \text{für den Betreiber.} \end{aligned}$$

Wir haben somit ein Spiel konstruiert mit den Strategiemengen

$$\begin{aligned} \{\alpha \in [0,1]\} & \quad \text{für den Inspektor} \\ \{p \in [0,1]\} & \quad \text{für den Betreiber.} \end{aligned}$$

und den Auszahlungen

$$\begin{aligned} I(\alpha, p) &:= [a + e\alpha - (a+c) \cdot \beta(\alpha)] \cdot p - e\alpha \quad \text{für den Inspektor} \\ B(\alpha, p) &:= [-b + f\alpha + (b+d) \cdot \beta(\alpha)] \cdot p - f\alpha \quad \text{für den Betreiber.} \end{aligned}$$

Man kann zeigen, daß β auf $(0,1)$ differenzierbar und (sogar strikt) konvex ist (/3/).

Nach einem bekannten Satz der Spieltheorie existiert für das entsprechende Spiel demnach ein eindeutig bestimmter Gleichgewichtspunkt (α', p') .

Eine andere Betrachtungsweise des Materialbilanzierungsproblems führt auf das nicht kooperative Zweipersonenspiel (X, Y, I, B) , wobei

$$X := \{x := (\alpha_1, \dots, \alpha_n) \in \mathbb{R}^n, \quad 0 \leq \alpha_i \leq 1 \quad \forall i\}$$

$$Y := Z \times \{p \in [0,1]\}$$

und

$$I(x,y) := [a - (a+c) \cdot \tilde{\beta}(x,z)] \cdot p - e \cdot g(x) \cdot (1-p)$$

$$B(x,y) := [-b + (b+d) \cdot \tilde{\beta}(x,z)] \cdot p - f \cdot g(x) \cdot (1-p)$$

ist. Hierbei sind Z und $\tilde{\beta}$ wie oben definiert und

$$g(x) := 1 - \prod_{i=1}^n (1 - \alpha_i) \quad \forall x \in X.$$

Dieses Spiel besitzt einen eindeutig bestimmten Gleichgewichtspunkt

$$(x^*, z^*, p^*) \in X \times Y \quad (\text{vergl. /2/}).$$

Interessant ist dabei, daß zwischen (x^*, z^*, p^*) und dem oben definierten Gleichgewichtspunkt (α', p') folgende Beziehungen bestehen (/2/).

$$p' = p^*$$

$$\alpha' = g(x^*)$$

$$(x^*, z^*) \text{ ist Lösung des Problems } \inf_{x \in X_{\alpha'}} \sup_{z \in Z} \tilde{\beta}(x,z).$$

D.h. verbal, daß die Lösungen der beiden folgenden Zweipersonenspiele äquivalent sind:

- A) Ein Zweipersonen-Nichtkonstantsummen-Spiel zwischen einem Anlage-Betreiber, der eventuell Material entwenden will, und einem Inspektor, der diese Entwendung entdecken soll, wobei die Überwachung mit Hilfe einer Folge von Materialbilanzen durchgeführt wird. Die gegebenenfalls zu entwendende Materialmenge ist dabei ein fest vorgegebener Parameter. Die Strate-

gien des Betreibers sind die Möglichkeiten, die Wahrscheinlichkeit für eine Entwendung zu wählen sowie die Entwendung auf die verschiedenen Inventurperioden aufzuteilen. Die Strategien des Inspektors sind die Möglichkeiten, die Signifikanzgrenzen für die einzelnen Materialbilanztests zu wählen. Gewinne und Verluste der beiden Spieler in den verschiedenen Situationen sind vorgegeben.

- B) Ein zweistufiges Zweipersonenspiel, bei dem die erste Stufe ein Nichtkonstantsummen-Spiel darstellt, bei dem die Strategien des Betreibers die Wahrscheinlichkeiten einer Entwendung, die des Inspektors die möglichen Gesamt-Fehlalarmwahrscheinlichkeiten sind, und wobei die Auszahlungen wie bei Spiel A) gegeben sind; und weiter bei dem die zweite Stufe ein Zweipersonen-Nullsummen-Spiel darstellt, dessen Strategien wie in Spiel A) gegeben sind mit dem Unterschied, daß der Wert der Gesamt-Fehlalarmwahrscheinlichkeit vorgegeben ist, und wobei die Entdeckungswahrscheinlichkeit die Auszahlung an den Inspektor ist.

Dieses Ergebnis ist von besonderer Bedeutung aus folgendem Grund: Ziel aller mathematischen Analysen von Überwachungssystemen ist die Bestimmung von optimalen Überwachungsstrategien. Wie gezeigt, ist dies für ein System, das auf Materialbilanzen beruht, in Strenge möglich, wenn die Werte der Auszahlungsparameter bekannt sind, oder aber, wenn diese nicht bekannt sind, wenn der Wert der resultierenden Fehlalarmwahrscheinlichkeit vorgegeben wird, und daß beide Vorgehensweisen zum gleichen Ergebnis führen. Damit ist klargelegt, welche Informationen bzw. Vorgaben notwendig sind, um optimale Überwachungsstrategien bestimmen zu können, was gerade bei der internationalen Kontrolle im Rahmen des Atomsperrvertrages wegen der dort erhobenen Forderung der Objektivierbarkeit von Überwachungsmaßnahmen von größter Wichtigkeit ist.

1.2 Analyse des Materialbilanzierungs- und des Datenverifikations- systems der RBU /1-4/

Im Modellabkommen der IAEA vom Jahr 1971 wurden nicht alle Details der internationalen Kontrollen des spaltbaren Materials festgelegt. So wurde zwar das Ziel verbal mit der "rechtzeitigen Entdeckung der Entwendung signifikanter Mengen Materials" (timely detection of the diversion of significant amounts) beschrieben, jedoch wurden keine quantitativen Aussagen darüber gemacht, was "rechtzeitig" und "signifikant" heißen soll. Ebensovienig wurde festgelegt, mit welcher Wahrscheinlichkeit eine bestimmte Entwendung entdeckt werden sollte. Aus diesem Grunde wurden nach 1971 eine Reihe von Analysen für bestehende Anlagen durchgeführt, mit deren Hilfe eine Vorstellung über Zahlenwerte für die genannten Größen erzeugt werden sollte.

Im Jahr 1976 wurde eine solche Analyse für die Reaktorbrennelement-Union (RBU) in Wolfgang bei Hanau, die Brennelemente für Leichtwasser-Reaktoren herstellt, durchgeführt. Ziel dieser Arbeit im engeren Sinn war die Analyse der Anwendung des Überwachungssystems der IAEA auf eine niederangereichertes Uran verarbeitende kerntechnische Anlage, wobei

- die Effizienz des Materialbilanzierungssystems,
- die optimale Verteilung des für die Datenverifikation vorgegebenen Überwachungsaufwandes,
- die Effizienz der Datenverifikation, und
- die Effizienz der Gesamtüberwachung

die wesentlichen Gegenstände der Untersuchung darstellten; dabei wird unter Effizienz die optimale und garantierte Entdeckungswahr-

scheinlichkeit als Funktion von Überwachungsaufwand und angenommener entwendeter Menge spaltbaren Materials verstanden. Ziel der Arbeit im weiteren Sinne war die Analyse von technisch realisierbaren Forderungen bezüglich der Zahlenwerte der genannten signifikanten Mengen; gerade im letzten Jahr ist diese Diskussion wieder weltweit belebt worden, wobei die Zahlenvorstellungen, die vom Ziel der Kontrolle ausgehend entwickelt wurden, eben nicht immer in Einklang mit den technischen Möglichkeiten standen.

Nicht zuletzt in diesem Sinne ist die vorliegende Arbeit als eine Referenzstudie für niederangereichertes Uran verarbeitende Anlagen von der Standing Advisory Group for Safeguards Implementation (SAGSI) der IAEA angeregt worden.

Ein praktiziertes Datenverifikationssystem existiert zur Zeit vor allem deshalb noch nicht, weil das Verifikationsabkommen erst in diesen Tagen in Kraft getreten ist und die Verifikation der Kernmaterialdaten der Anlagenbetreiber durch die IAEA erst ab Mai 1977 durchgeführt wird. Auf der Basis des Materialbilanzierungssystems des Betreibers wurde ein denkbare Datenverifikationssystem entworfen und seine Effizienz untersucht.

Das Materialbilanzierungssystem beruht auf dem Ist-Zustand und wurde anhand der realen Uranmengen des Jahres 1975 dargestellt. Die nebenstehende Tabelle 1.3/I zeigt die wesentlichen Ergebnisse und die Bilanzierungsgenauigkeit, die derzeit erreicht wird.

Den größten Beitrag zur Standardabweichung der Bilanzierungsgröße MUF (Material Unaccounted For) liefert dabei der Teil des Kernmaterialinventars, der sich zum Zeitpunkt der Erstellung der Materialbilanz in der Fertigung befindet und dessen Uraninhalt nur durch Schätzung des Betreibers mit einer Genauigkeit von 10 % vorliegt.

Die errechnete Standardabweichung $\sigma_{\text{MUF}} = 1225$ kg Uran bedeutet, daß erst ein jährlicher Uranfehlbestand von 4 t mit 95 % Sicherheit die Hypothese stützt, daß Kernmaterial abgezweigt wurde.

Zum Vergleich wurde noch die Genauigkeit ermittelt, mit der ein Inspektor mit den ihm zu Gebote stehenden Mitteln zum Zeitpunkt der Inventur das nur durch Schätzung erfaßbare Prozeßinventar verifizieren kann. Die daraus resultierende Standardabweichung $\sigma_{\text{MUF}} = 2286$ kg Uran legt das Ergreifen zusätzlicher Maßnahmen bei der Aufnahme des realen Kernmaterialbestandes nahe.

1.3 Fertigstellung einer Monographie "Material Accountability: Theory, Verification, Applications"

Ausgehend von der seit 1968 währenden Beschäftigung mit Materialbilanzierungsproblemen, die zuerst ganz im Zeichen der Spaltstoffflußkontrolle stand, später jedoch auch auf andere Problemstellungen ausgedehnt wurde, entstand eine Monographie, die im Jahr 1976 im wesentlichen fertiggestellt wurde, und die im Herbst 1977 in der "International Series on Applied Systems Analysis" bei Wiley, New York und London, erscheinen soll.

In den ersten 3 Kapiteln der Monographie wird die Theorie der Materialbilanzierung und der Datenverifikation im Zusammenhang mit der Erstellung von Materialbilanzen dargestellt, und es werden Systemprobleme diskutiert, insbesondere für die Fälle, bei denen Materialbilanzen zur Entdeckung von Verlusten bzw. Entwendung benutzt werden. Besondere Beachtung finden dabei die Umstände, daß

- alle Messungen mit Meßfehlern behaftet sind, und daß
- Entwendungsstrategien berücksichtigt werden müssen.

Aus diesem Grunde müssen statistische und spieltheoretische Konzepte zur Lösung der anstehenden Probleme herangezogen werden.

In den letzten 4 Kapiteln werden Anwendungen diskutiert, und zwar aus dem kerntechnischen, aus dem technisch-ökonomischen, aus dem Umwelt- und aus dem Arms Control Bereich. Besonders betont wird u.a. die Tatsache, daß das internationale Kernmaterial-Überwachungssystem auf dem Prinzip der Materialbilanzierung aufgebaut ist, und zwar wegen seiner inhärenten Eigenschaften der Objektivierbarkeit und der Formalisierbarkeit, und daß dieses Beispiel sehr gut als Muster für weitere internationale Überwachungssysteme, die schon von den verschiedensten Seiten vorgeschlagen wurden, dienen könnte.

Tabelle 1.3/I: Resultierende Standardabweichung σ_{MUF} der Fertigungsanlage.

	Material- kategorie	Standard- abweichung σ kg U	Varianz var kg ² U	Varianz var kg ² U	Standard- abweichung σ kg U	Materialgruppe	Uranmenge t U
Betreiber	Eingänge	143	20 513	64	8	UF ₆ -Lieferungen	520
				20 449	143	UNH-Lieferungen	80
	Ausgänge	213	45 513	25 281	159	Brennstäbe	245
				12 544	112	Pellet-Ausgänge	220
				52 ² + 22 ²	56	Pulver-Ausgänge	135
				60 ² + 30 ²	67	Abfälle	0,9
	Inventar	847	716 984	6 ² + 56 ²	56	Restmengen	19
				5 ² + 47 ² + 3 ²	47	Zwischenlager	18
				2 500	50	verstecktes Inventar	-
				60 ² + 70 ²	92	gemessenes Prozeß- inventar	16,6
				700 569	837	geschätztes Prozeß- inventar	8,4
MUF	1225	1499 994	$\frac{\sigma_{\text{MUF}}}{\text{Durchsatz}} = \frac{1225 \text{ kg}}{600 \cdot 10^3 \text{ kg}} = 0,20 \%$				
Inspektor	Inventar	1606	2579 616	2563 201	1601	geschätztes Prozeß- inventar	
	MUF	2286	5225 253	$\frac{\sigma_{\text{MUF}}}{\text{Durchsatz}} = \frac{2286 \text{ kg}}{600 \cdot 10^3 \text{ kg}} = 0,38 \%$			

Literaturverzeichnis zu Kapitel 1

- /1-1/ R. Avenhaus, H. Frick, Analyse von Fehlalarmen in Überwachungssystemen mit Hilfe von Zweipersonen-Nichtnullsummenspielen. Beitrag zur Operations-Research Tagung Heidelberg, September 1976
- /1-2/ H. Frick, Behandlung von mehrfachen Inventurproblemen mittels nichtkooperativer Nichtkonstantsummenspiele (1976), unveröffentlicht
- /1-3/ H. Frick, Spieltheoretische Behandlung mehrfacher Inventurprobleme, Dissertation Universität Karlsruhe, Dezember 1976
- /1-4/ R. Avenhaus, W. Golly, F.J. Krüger, Kernmaterialbilanzierung und Datenverifikation in der Brennelementfabrikationsanlage der Reaktor-Brennelement Union Hanau, KFK 2403, Juni 1977

Kapitel 2: ZERSTÖRUNGSFREIE METHODEN

	<u>Seite</u>
2.1 In-Line Messung der ^{235}U -Anreicherung in einer LWR-Brennelement-Fabrikationsanlage P. Matussek, H. Ottmar	2-1
2.2 Eichstandards für gammaspektrometrische ^{235}U -Anreicherungsmessungen P. Matussek, H. Ottmar	2-3
2.3 Gammaspektrometrische Plutoniumbestimmung in festen, schwach radioaktiven Abfallstoffen M.R. Iyer, H. Ottmar	2-6
2.4 Apparatur zur Bestimmung des Plutoniumgehalts von schwach- und mittelaktiven Abfällen in 200 l Fässern durch Messung der Spaltneutronen K. Baumung, K. Böhmel, W. Eyrich	2-8
2.5 Personenschleuse zur Überwachung von Personen auf mitgeführtes Uran oder Plutonium P. Matussek, I. Michel-Piper	2-10
2.6 Konzentrationsbestimmung von Thorium-Uran-Plutonium durch Absorptionsmessungen mit einem Röntgengenerator I. Michel-Piper, H. Ottmar	2-12
2.7 Bestimmung des Gadoliniumgehalts in LWR-Brennstoffpellets durch Röntgenfluoreszenzanalyse I. Michel-Piper, P. Matussek, H. Ottmar	2-15
Literaturverzeichnis zu Kapitel 2	2-18

2. ZERSTÖRUNGSFREIE METHODEN

Die praktische Anwendung zerstörungsfreier Meßverfahren als wesentliches Hilfsmittel zur Bilanzierung und Überwachung von Kernbrennstoffen einerseits sowie zur Prozeß- und Qualitätskontrolle in kerntechnischen Anlagen andererseits steht weiterhin im Mittelpunkt der Arbeiten dieses Forschungsbereiches.

1976 wurde die Personenschleuse zur Überwachung von Personen auf mitgeführtes Uran oder Plutonium fertiggestellt und als Teil des Sicherungssystems an der SNEAK in Betrieb genommen. Die Arbeiten zur gammaspektrometrischen U-235-Anreicherungsmessung wurden fortgeführt. Hierbei standen die Festlegung eines In-Line-Meßsystems für eine LWR-Brennelementfabrik sowie die aktive Teilnahme an einem Programm der ESARDA zur Spezifikation und Beschaffung geeigneter Eichstandards im Vordergrund. Einen weiteren Schwerpunkt bildete die Meßverfahren- und Meßgeräteentwicklung zur quantitativen Plutoniumbestimmung in festen Abfällen.

2.1 In-Line Messung der U-235-Anreicherung in einer LWR-Brennelement-Fabrikationsanlage

Die Ergebnisse und Erfahrungen, die bislang bei der Anwendung der gammaspektrometrischen Meßmethode zur U-235-Anreicherungsbestimmung an niedrig angereicherten Uranpulver- und Uranpelletproben mit verschiedenen Spektrometertypen gewonnen wurden, sind in einem Konferenzbeitrag zusammengefaßt worden [2-1].

Aufgrund der positiven Resultate, die beim Einsatz des gammaspektrometrischen Prototypmeßsystems zur Bestimmung der Anreicherung von UO₂-Pulver innerhalb einer Produktionslinie bei der Fa. Reaktorbrennelemente-Union (RBU) erzielt wurden [2-2], ist dort die Einführung dieser Meßmethode in Form eines rechnergesteuerten In-Line-Meßsystem zur kontinuierlichen Überwachung der Urananreicherung in verschiedenen Produktionslinien beschlossen worden. Ein hierfür geeignetes Meßsystem wurde konzipiert und in Auftrag gegeben. GfK und RBU haben dazu mit dem Auftragnehmer einen Know-How-Lizenzvertrag abgeschlossen.

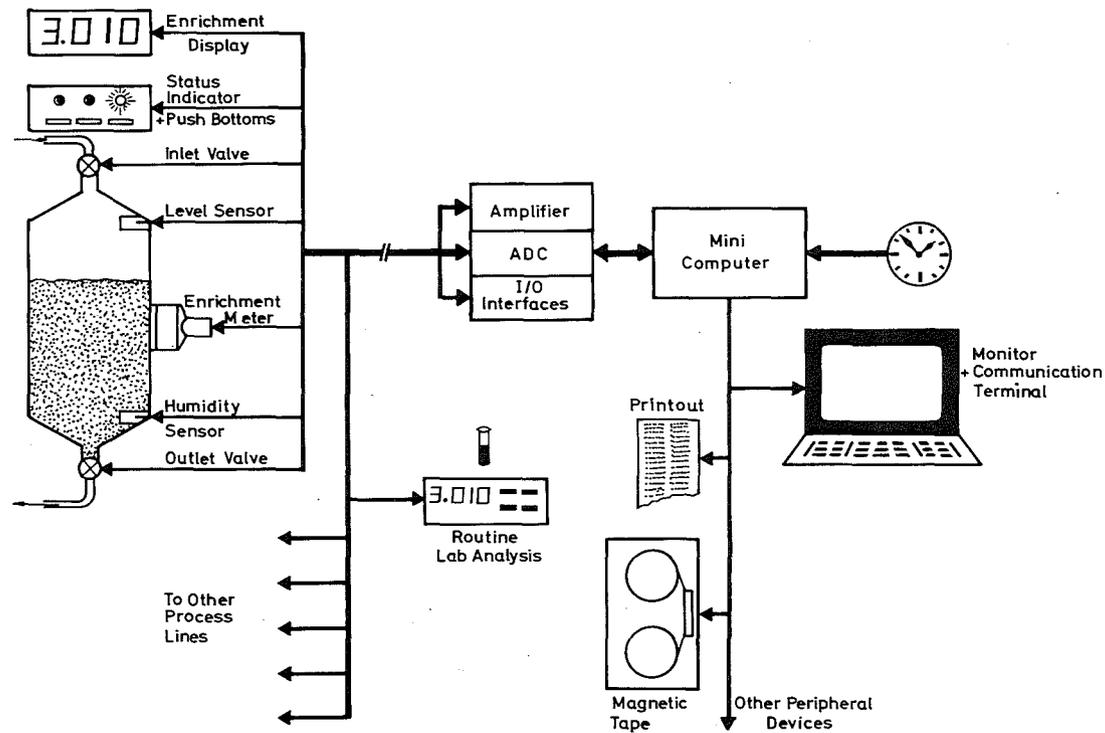


Abb. 2.1/1 Schematische Darstellung des In-Line-Meßsystems zur Überwachung der Urananreicherung in einer LWR-Brennelementfabrikationsanlage

Die wesentlichen Komponenten des geplanten Meßsystems sind in Abb. 2.1/1 schematisch skizziert. Die Datenaufnahme und die Datenverarbeitung sowie die Bedienung verschiedener Peripheriegeräte erfolgt durch einen Kleinrechner. Dieser übernimmt außerdem die Prozeßsteuerung in dem Teil der Produktionslinien, in dem die Anreicherungsmonitore eingesetzt werden. Die Meßpositionen liegen an den sog. Pressenbunkern, das sind Speicherbehälter für UO_2 -Pulver oberhalb der Pelletpressen. Von dort soll das Uranpulver erst nach Maßgabe der jeweiligen Anreicherungsmeßwerte zum Pressen in den Pelletpressen freigegeben werden. Das Meßsystem kann in seiner Grundausstattung 8 Meßkanäle unabhängig voneinander bedienen. Daher können bei einer Ausstattung aller 6 vorhandenen Produktionslinien mit Anreicherungsmonitoren noch 2 weitere Meßstellen, z.B. Labormeßplätze, an das Meßsystem angeschlossen werden.

Um die prinzipiell erreichbare hohe Meßgenauigkeit in der Anreicherungsbestimmung (1 % in 1000 sec Meßzeit) auch unter den weniger günstigen äußeren Bedingungen in einer betrieblichen Umgebung auf Dauer zu gewährleisten, werden die Analogsignale von den zur Messung eingesetzten NaJ-Detektoren über Analog-Digital-Konverter in digitaler Form dem Rechner zugeführt. Damit ist die Möglichkeit gegeben, anhand der akkumulierten Spektren mittels geeigneter Software-Routinen sowohl die Funktionstüchtigkeit der Detektoren zu überwachen als auch Kurz- und Langzeitinstabilitäten der Detektoren und der Analogelektronik zu korrigieren. Auf diese Weise werden die gemessenen Anreicherungswerte einen hohen Grad an Zuverlässigkeit erhalten.

Das Meßsystem soll mit zunächst 2 Anreicherungsmonitoren Ende 1977 in Betrieb genommen werden.

2.2 Eichstandards für gammaspektrometrische ^{235}U -Anreicherungs-messungen

Die gammaspektrometrische Bestimmung der ^{235}U -Anreicherung in Kernbrennstoffen gehört zu den zerstörungsfreien Methoden, die heute intensiv von den Inspektoren der Überwachungsbehörden und in zunehmendem Maße auch von der Nuklearindustrie genutzt werden. Die Kalibrierung dieser unkomplizierten Meßgeräte wird im allgemeinen mit Hilfe geeigneter Eichstandards vorgenommen. Nun sind zwar Standards für niederangereichertes U_3O_8 mit genau spezifizierter

Isotopenzusammensetzung von NBS oder Capenhurst erhältlich, jedoch nur in Quantitäten von ca. 1 Gramm pro Anreicherung. Für die gammaspektroskopische Anreicherungsmessung sind dagegen Eichprobenmengen von 100-200 Gramm erforderlich, wenn mit diesen Eichstandards ein relativ weiter Bereich möglicher Meßprobendimensionen und apparativer Geometrien abgedeckt werden soll.

Es wurde daher von der ESARDA ein Programm zur Spezifikation und Beschaffung geeigneter Standards gestartet mit dem Ziel, den Benutzern dieser Anreicherungsmeßtechnik - Forschungszentren, Nuklearindustrie und Kontrollbehörden - physikalische Standards zur Verfügung zu stellen, die im Sinne der Terminologie als "Primäre Standards" allgemein akzeptiert werden. Das Projekt Spaltstoffflußkontrolle ist an diesem Programm aktiv beteiligt. Es wurden Kriterien für die Spezifizierung und Charakterisierung des Probenmaterials sowie für die Geometrie der Proben und der Probencontainer ausgearbeitet. Der Dimensionierung der Eichproben kommt im Fall der gammaspektroskopischen Anreicherungsmessung eine besondere Bedeutung zu, da die Anreicherung nur für quasi-unendlich dicke Proben direkt proportional zur gemessenen Intensität der 186 keV-Eigenstrahlung des ^{235}U ist. Quasi-unendliche Probendicke bedeutet, daß sich bei vorgegebener Meßanordnung die Intensität der 186 keV- γ -Strahlung innerhalb vorgegebbarer Toleranzen nicht mehr ändert, auch wenn beliebig viel weiteres Probenmaterial zur Meßprobe hinzugefügt wird.

Daher wurden Rechnungen durchgeführt, um für verschiedene Kollimatorgeometrien und UO_2 -Pulverdichten die minimalen Probendimensionen zu bestimmen, bei denen sich der Meßeffect um weniger als 0,1 % gegenüber einer unendlich ausgedehnten Probe ändert. In Tab. 2.2/I sind die Ergebnisse für eine Pulverdichte von 2.5 g/cm^3 angegeben. Bei einem Durchmesser von 7 cm, einer Höhe von 2 cm und einer UO_2 - bzw. U_3O_8 -Dichte von $2,5 \text{ g/cm}^3$ für eine Uranpulverprobe - das entspricht etwa 200 g Uranpulver - ist für alle zylindrischen Kollimatorgeometrien mit einem Durchmesser von maximal 5 cm und einer Minimaltiefe von 1 cm die Forderung nach quasi-unendlich dicken Proben zu besser als 0,1 % erfüllt.

Die Abschwächung der 186 keV-Strahlung in den Wänden des Probenbehälters muß ebenfalls berücksichtigt werden. Rechnungen und Messungen ergaben, daß bei Verwendung von Aluminium für den Boden des Probenbehälters, durch den die austretende Gammastrahlung auf den Detektor trifft, Toleranzen von $\pm 0,02 \text{ mm}$

Tab. 2.2/I Minimale Probenabmessungen für UO_2 -Pulver der Dichte $2,5 \text{ g/cm}^3$ als Funktion verschiedener Kollimatorgeometrien bei einer geforderten Ungenauigkeit $<0,1 \%$ gegenüber unendlich ausgedehnten Proben

Kollimator		Minimale Probenabmessungen		
Durchmesser (cm)	Höhe (cm)	Durchmesser (cm)	Höhe (cm)	UO_2 -Gewicht (g)
3	1	4.9	1.6	76
	2	4.7	1.7	71
	3	4.4	1.7	65
	4	4.1	1.8	59
	∞	3	2.0	35
4	1	5.8	1.6	107
	2	5.7	1.7	106
	3	5.5	1.7	102
	4	5.3	1.8	97
	∞	4	2.0	63
5	1	6.7	1.6	143
	2	6.7	1.7	145
	3	6.5	1.7	143
	4	6.4	1.8	140
	∞	5	2.0	98

in der Dicke eingehalten werden müssen, um die dadurch verursachten Fehler unter $0,1 \%$ zu halten.

Das ESARDA Programm sieht die Herstellung von etwa 40 Eichsätzen mit je 4-5 verschiedenen Anreicherungsgraden im Bereich von $0,7 \%$ bis etwa $4,2 \%$ ^{235}U vor. Das allgemeine starke Interesse an Eichstandards für die gammaspektrometrische Anreicherungs-messung und die Bereitschaft vieler Forschungseinrichtungen zur Zusammenarbeit läßt einen raschen Fortgang des Programms erwarten.

2.3 Gammaspektrometrische Plutoniumbestimmung in festen, schwach radioaktiven Abfallstoffen

In Plutonium verarbeitenden Betrieben fallen in der Regel große Mengen brennbarer kontaminierter Abfälle (Zellstoff, Handschuhe, Filter etc.) an, die vor der Verbrennung oder der Endlagerung auf ihren Plutoniumgehalt zu untersuchen sind. Bei diesen Abfällen relativ geringer Dichte bietet sich als schnelles und empfindliches Nachweisverfahren die passive Gammaspektrometrie an. Es sind deshalb Untersuchungen durchgeführt worden, inwieweit eine quantitative Bestimmung des spaltbaren Plutoniums (Pu-239 und Pu-241) in den genannten Abfällen durch Gammaspektrometrie mit NaJ-Detektoren möglich ist und wie sich das Meßverfahren optimieren läßt. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen wurden als KFK-Bericht veröffentlicht [2-3].

Das vorgeschlagene Meßverfahren zur quantitativen Bestimmung von Pu-239 und Pu-241 beinhaltet eine Multi-Energiegruppenanalyse der gemessenen Gammaspektren. Folgende Energiebereiche wurden für die Analyse der Spektren herangezogen: 180-240 keV, 290-470 keV, 375-470 keV und 480-560 keV. Die ersten 3 Bereiche stellen die eigentlichen Meßfenster, der letzte Energiebereich ein Untergrundfenster dar. Die Lage der Energiebereiche wurde so gewählt, daß sie vorzugsweise entweder nur Zählraten von Pu-241 (Bereich 1), Pu-239 (Bereich 3) oder der Summe beider Isotope (Bereich 2) enthalten. Computersimulierte Gammaspektren von Plutonium verschiedener Isotopenzusammensetzungen wurden verwendet, um die prozentualen Beiträge der interessierenden Isotope zur Gesamtzählrate in den einzelnen Fenstern zu studieren und die Fensterlagen zu optimieren. Als Beispiel zeigt Abb. 2.3/1 den prozentualen Beitrag von Pu-239 zur Gesamtzählrate in verschiedenen Energiebereichen um 400 keV bei verschiedener Isotopenzusammensetzung und verschiedenem Alter des Plutoniums.

Nach einer vorausgegangenen Eichung mit geeigneten Eichstandards läßt sich durch Lösen eines linearen Gleichungssystems aus den Zählraten in den genannten Energiebereichen der Pu-239 und Pu-241-Gehalt in der Abfallprobe relativ zuverlässig bestimmen. Bei Proben größerer Dichte hat sich zur Korrektur auf Absorptionseffekte eine zusätzliche Transmissionsmessung mit einer externen Plutoniumquelle als vorteilhaft erwiesen. Vergleichende Messungen an einer Reihe von Abfallproben mit NaJ- und Ge(Li)-Spektrometern haben gut übereinstimmende Meßergebnisse geliefert.

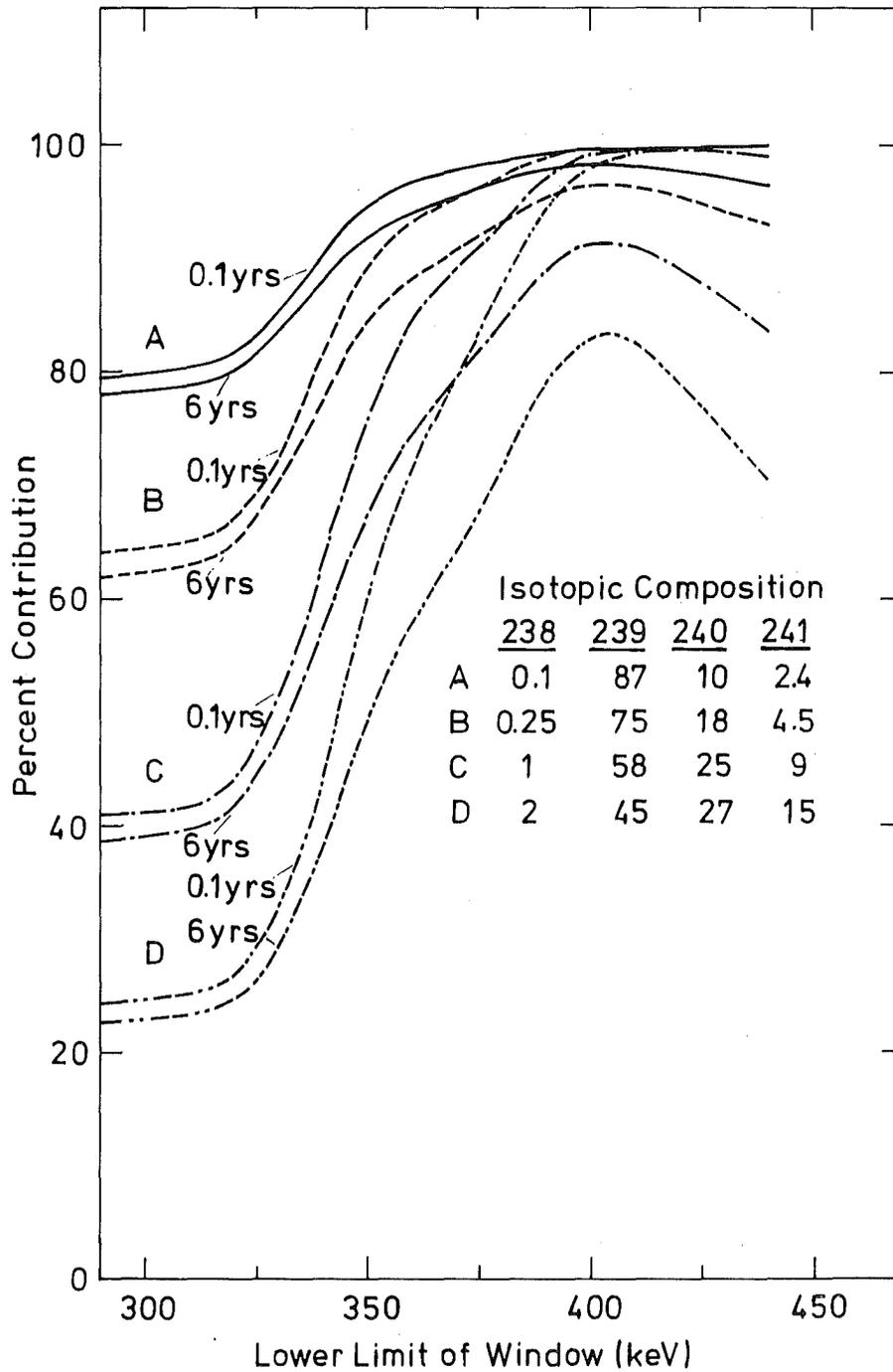


Abb. 2.3/1 Prozentualer Beitrag von ^{239}Pu zur Gesamtzählrate in Energiefenstern um 400 keV für verschiedene Isotopenzusammensetzungen. Die obere Grenze des Energiefensters wurde bei 470 keV festgehalten.

2.4 Apparatur zur Bestimmung des Plutoniumgehalts von schwach- und mittelaktiven Abfällen in 200 l Fässern durch Messung der Spaltneutronen

Im INR wurde im Berichtszeitraum aufgrund der erfolgreichen Messungen bei ADB im Jahre 1975 |2-4| eine Anlage entwickelt, mit der der Plutoniumgehalt in schwach- und mittelaktiven Abfallfässern gemessen werden kann. Mit dieser Anlage mißt man die Spaltneutronen von Pu-238. Sie kann Plutoniuminhalte, die unter der für Asse zulässigen Menge von 0,5 g pro Faß liegen, messen. Da pro g Plutonium nur 10^2 n/sec erzeugt werden, muß die Meßvorrichtung eine hohe Meßempfindlichkeit bei kleinem Nulleffekt aufweisen. In Abbildung 2.4/1 ist der Aufbau der Anlage gezeigt.

Die geforderte hohe Ansprechwahrscheinlichkeit und die Ausschaltung des Geometrieeffektes wurde dadurch erreicht, daß das Faß in einen Polyäthylenzylinder (1) mit Hilfe einer hydraulischen Hebevorrichtung (5) eingefahren wird. Während der Messung wird der Meßraum (0) durch einen Schieber (4) abgeschlossen. In dem Polyäthylenzylinder (1) befinden sich zwei Kränze (1a, 1b) mit je 36 Zählrohren, außerdem sind weitere Zählrohre im Boden (1c) und Schieber (4) eingebaut, so daß das Faß (0) in einer 4π -Geometrie vermessen wird. Damit die Zählrohre keiner γ -Strahlung ausgesetzt werden, wurde in den Polyäthylenzylinder (1) ein Bleieinsatz (2) eingebaut.

Um den Nulleffekt möglichst klein zu halten, wird die Meßanlage in einer in den Boden eingelassenen abgedeckten Baugrube (11) untergebracht.

- Meßmethode

Es werden alle Neutronen, die aus dem Faß austreten, gezählt (Integrale Messung). Gleichzeitig läuft die von Herrn Dr. Böhnel entwickelte Zeitkoinzidenzmessung (2-4). Bei dieser Methode werden nur Ereignisse gezählt, die von 2 Neutronen, die innerhalb eines vorgegebenen Zeitintervalls, das der Lebensdauer der Neutronen entspricht, stammen. Damit werden nur die Neutronen registriert, die aus einer Spontanspaltung stammen, bei der 2 bis 3 Neutronen entstehen. Bei dieser Methode können Spaltneutronen von den α -n und γ -n Neutronen separiert werden.

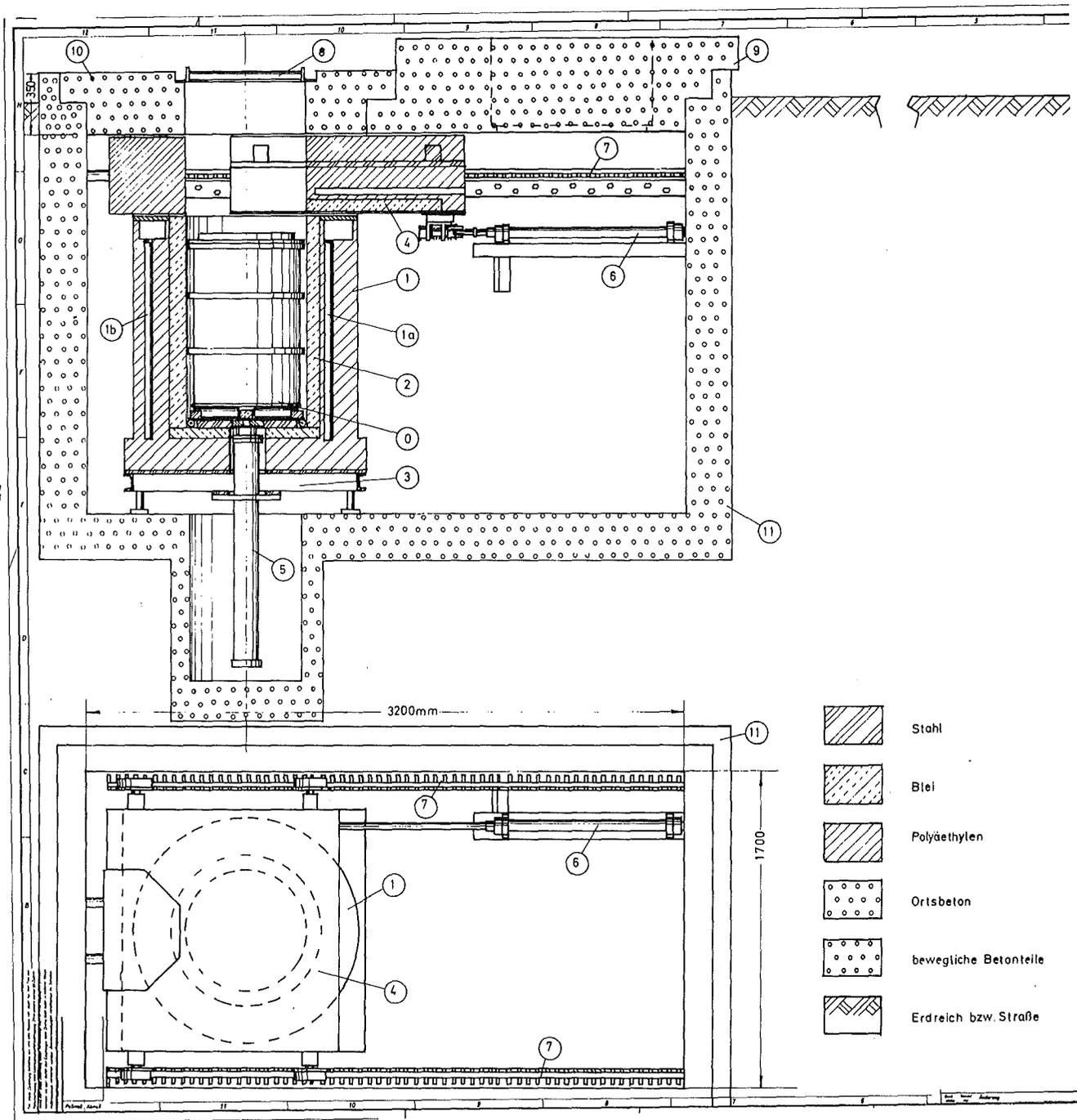


Abb. 2.4/1: Faßprüfstand

- Ausführung der Messung

Zeigt die integrale Messung eine im Vergleich zur 0,4 g Pu-Neutronenquellstärke niedrige Zählrate, so wird die Messung nach vorgegebener Zeit beendet und der Wert registriert. Bei Neutronenflüssen \gtrsim der von 0,5 g Pu wird zusätzlich die zweite Methode angewandt, um sicher zu sein, daß es sich um Spaltneutronen handelt. Diese Messung dauert länger und erfolgt deshalb nur bei zweifelhaften Fässern.

- Stand der Arbeiten

Die Anlage wird voraussichtlich im Juni 77 fertig. Sie kann dann nach Fertigstellung der Baugrube in Betrieb genommen werden. Die Anlage ist für automatischen Betrieb vorbereitet. Dieser soll während der Erprobungszeit entwickelt werden.

Bilderklärung zu Abb. 2.4/1

0	Abfallfaß	7	Schienen für Schieber
1	Polyäthylen-Behälter	8	Rollen für Faßtransport
1a	innerer Zählrohrkranz	9	Beweglicher Betondeckel
1b	äußerer Zählrohrkranz	10	Beweglicher Betondeckel mit Faßeingang
1c	untere Zählrohrbohrung		
2	Bleieinsatz	11	Baugrube
3	Grundplatte justierbar	12	Steuerung für Hydraulik
4	Schieber	13	Elektronik
5	Hydraulischer Teleskopheber	+ 14	übliche Elektronik
6	Hydraulischer Schieberantrieb	15	Automatik
		16	80 Zählrohre in Auslieferung

2.5 Personenschleuse zur Überwachung von Personen auf mitgeführtes Uran oder Plutonium

Die Personenschleuse konnte 1976 fertiggestellt werden und ist seit Mitte des Jahres 1976 bei der SNEAK in Betrieb. Die bisherigen Betriebserfahrungen sind sehr zufriedenstellend. Neben kleineren Problemen an der Schleusenmechanik traten am elektronischen Meß- und Steuerungssystem bisher nur 2 Stör-

+) in Abb. 2.4/1 nicht enthalten

fälle auf. Im ersten Fall hatte sich durch die Erschütterungen beim Schließen der Schleusentüren eine Kabelverbindung gelockert, dadurch wurden hintereinander 30 falsche Alarmmeldungen ausgelöst. Die Schleuse mußte einige Zeit außer Betrieb gesetzt werden, bis der Fehler gefunden wurde. Im zweiten Fall wurden 10 falsche Alarme ausgelöst durch nicht entstörtes elektrisches Gerät bei Installationsarbeiten in unmittelbarer Nähe der Schleuse. In der Tab. 2.5/I sind die Ursachen aller Alarmmeldungen der Schleuse dargestellt, soweit sie vom Wachpersonal aufgenommen und protokolliert wurden.

Tabelle 2.5/I Betriebsstatistik der SNEAK-Personenschleuse

Schleusenvorgänge insgesamt	6052
Gesamtzahl der Alarme	214
<hr/>	
davon wurden verursacht durch:	
Armbanduhren (Leuchtziffer aus Radioisotopen)	107
Störfall 1 (gelockerte Kabelverbindung)	30
Transport von kontaminiertem Material oder Eichproben durch die Schleuse	13
Funktionstests und Besuchervorführungen	12
Störfall 2 (nicht entstörte Bohrmaschine)	10
γ -Quelle neben der Schleuse	4
Nichteinhaltung der Wartezeit nach Stromausfall	4
ungeklärte Ursache (Fehlalarme)	29
nicht protokolliert	<u>5</u>
	214

Die Betriebsstatistik umfaßt alle 6052 Schleusenvorgänge im Beobachtungszeitraum. Es wurde dabei insgesamt 214 mal Alarm ausgelöst. Zieht man von der Gesamtzahl der Alarmmeldungen die Störfälle und die Fälle ab, in denen beabsichtigt und unbeabsichtigt radioaktives Material durch die Schleuse transportiert wurde (dazu zählen auch Armbanduhren mit Gammastrahlung emittierenden Leuchtziffern), so bleibt eine Fehlalarmrate von etwa 0,5 %

der Schleusenvorgänge. Diese Fehlalarmrate ist zum großen Teil durch die natürliche statistische Schwankung der Untergrundgammastrahlung bedingt und läßt sich nur verringern durch eine bessere Abschirmung der Schleuse oder durch das Heraufsetzen der Ansprechschwelle für radioaktives Material.

Im Berichtszeitraum wurde eine zweite Kontrolleinheit für das Gammadetektionssystem gebaut. Durch Verwendung von "Low-Power-Schottky" (LS) Bausteinen für die Elektronik konnte der Strombedarf um etwa 50 % gesenkt werden. Die Ventilator Kühlung wurde dadurch überflüssig. Die neue Kontrolleinheit ist inzwischen in der Personenschleuse in Betrieb, die alte Einheit wird zur Zeit ebenfalls auf LS-Bausteine umgerüstet. Es stehen damit für alle Elemente des Gammadetektionssystems mit Ausnahme der Detektoren Ersatzmodule zur Verfügung, die im Störfall schnell und problemlos ausgetauscht werden können.

2.6 Konzentrationsbestimmung von Thorium-Uran-Plutonium durch Absorptionsmessungen mit einem Röntgeneratore

Die Röntgenabsorptionsspektroskopie bietet eine einfache Möglichkeit der zerstörungsfreien Dichtmessung von Uran, Thorium und Plutonium, wie sie z.B. bei der kontinuierlichen Überwachung von Prozeßlösungen in einer Wiederaufarbeitungsanlage nötig ist. Die Methode wurde unter Verwendung von radioaktiven Strahlenquellen zur Uran- und Plutoniumbestimmung in wäßrigen Lösungen und zur Uranbestimmung in HTR-Brennelementen erfolgreich erprobt [2-5, 2-6].

Das Meßprinzip beruht darauf, daß der Absorptionsquerschnitt für Röntgenstrahlung elementspezifisch bei den Anregungsenergien der K-, bzw. L-Schale Sprünge aufweist. Durchstrahlt man eine Probe mit Photonen, deren Energien unmittelbar oberhalb und unterhalb der Absorptionskanten eines Elements liegen, so erhält man zwei verschiedene Werte für die Transmission. Das Verhältnis der Transmissionswerte ist ein Maß für die Konzentration des Elements in der Probe.

Den größten Meßeffect erhält man, wenn die beiden Photonenenergien die Absorptionskanten möglichst eng einschließen. Die K-Absorptionskanten liegen für Thorium bei 109,7 keV, für Uran bei 115,6 keV und für Plutonium bei 121,8 keV.

Radioaktive γ -Strahlenquellen mit geeigneten Halbwertszeiten, die nahe bei den

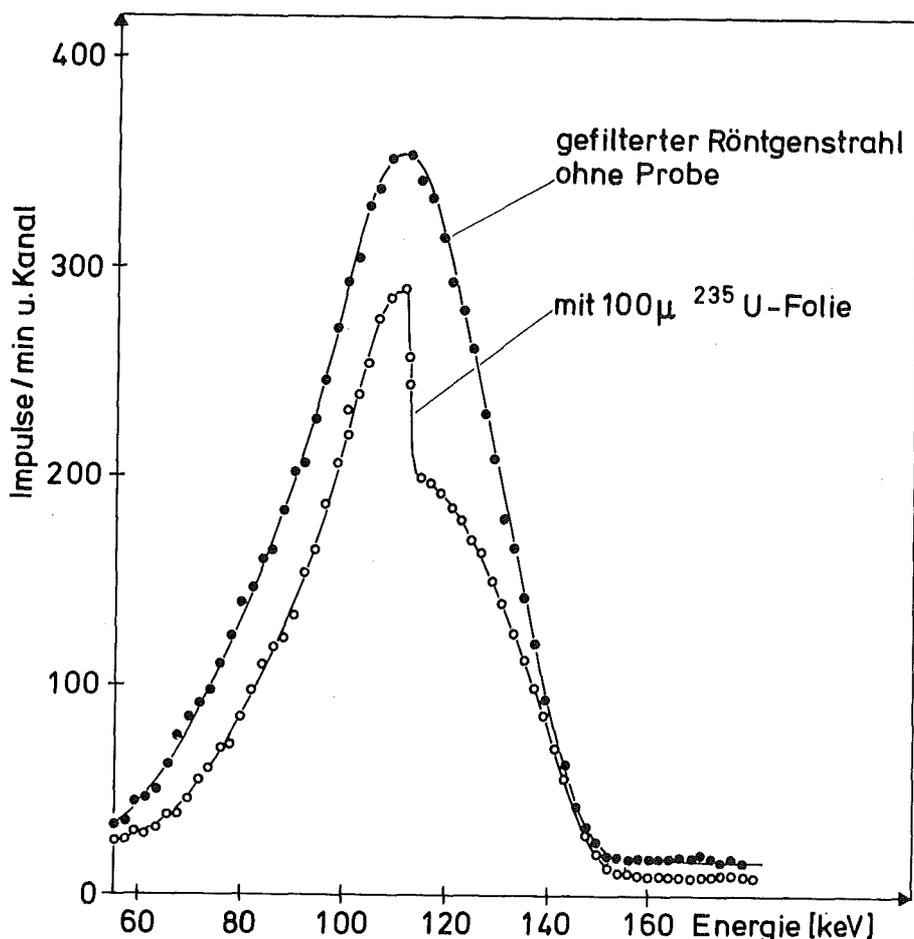


Abb. 2.6/1 Transmissionsspektrum eines gefilterten Röntgenstrahls mit und ohne Uran, aufgenommen mit einem Ge(Li)-Detektor.

obengenannten Energie liegen, sind schwierig zu finden. Mögliche Kombinationen von γ -Quellen sind in Ref. [2-7] angegeben.

Als Alternative zu den natürlichen γ -Quellen bietet sich eine Röntgenröhre an, wobei aus dem breiten Röntgenspektrum durch geeignete Filter der gewünschte Energiebereich ausgeblendet wird. Bei der Anregung durch ein quasi kontinuierliches Spektrum wird der Meßeffect im wesentlichen durch die Energieauflösung des Detektors begrenzt. Ein selektiver Nachweis mehrerer schwerer Elemente gleichzeitig ist möglich. Man kann auch die Absorption an den L-Kanten der schweren Elemente benutzen, wenn es keine störenden K-Kanten der leichten Elemente des Matrixmaterials in diesem Energiebereich gibt.

Für die Transmission gilt die Beziehung:

$$T_{1/2} = \exp(-\mu_{S_{1,2}} \cdot \rho_S \cdot d) \exp(-\mu_{M_{1,2}} \cdot \rho_M \cdot d)$$

wobei μ_{S_1} , μ_{M_1} Massenabsorptionskoeffizienten für schwere und Matrixelemente oberhalb der K-Kante und μ_{S_2} , μ_{M_2} unterhalb der Kante sind. ρ_S , ρ_M sind die entsprechenden Dichten und d die durchstrahlte Probendicke.

Die Probendicke kann entsprechend dem gewünschten Konzentrationsintervall der Lösung optimiert werden. Im Bereich zwischen 1-50 g/l Uran oder Plutonium ergibt sich eine günstige Länge $d \sim 10$ cm, zwischen 50-120 g/l ein $d \sim 5$ cm und bis ca. 250 g/l ein $d \sim 3$ cm.

Erste Versuche, ein zwischen 115 keV und 122 keV flaches Röntgenspektrum auszufiltern, wurden mit einem bei der GfK vorhandenen 160 kV-Röntgengenerator durchgeführt. Die Spektren wurden mit einem Ge(Li)-Detektor aufgenommen. In Abb. 2.6/1 sind zwei gemessene Spektren übereinander dargestellt. Das obere Spektrum wurde mit einer Leerprobe gemessen, das untere mit einer 100 μ starken Uranfolie zwischen Röntgengenerator und Detektor. Im unteren Spektrum ist der Sprung an der K-Absorptionskante des Urans bei 115,6 keV deutlich zu sehen. Ein wesentliches Ziel bei diesen Probemessungen war, die Form des ausgeblendeten Röntgenspektrums in Abhängigkeit von den Filtermaterialien |2-8| und der Hochspannung der Röntgenröhre zu erfassen. Die Abb. zeigt ferner, daß es mit der 160 kV Röntgenröhre noch nicht gelungen war, das Plateau bis über den Energiebereich 122 keV auszudehnen.

Für die in der ersten Jahreshälfte 1977 anlaufenden Messungen an Uranlösungen wurde ein 200 kV-Röntgengenerator beschafft. Eine genehmigungspflichtige Strahlenabschirmung wird z.Zt. von der Institutswerkstatt gebaut.

Uranlösungen verschiedener Konzentration zum Teil mit Thorium-Beimengung sind anzufertigen. Dabei ist freundlicherweise das IRCh behilflich. Außerdem wurden im Berichtszeitraum begleitende Rechnungen durchgeführt.

2.7 Bestimmung des Gadoliniumgehalts in LWR-Brennstoffpellets durch Röntgenfluoreszenzanalyse

Wie bereits im Vorjahresbericht angekündigt, wurden die zunächst mit einem Halbleiterdetektor durchgeführten Messungen [2-9] zur Konzentrationsbestimmung von Gadolinium in vergifteten Brennstoffpellets durch Untersuchungen mit NaJ-Detektoren ergänzt.

Abweichend von dem Vorschlag, die "balanced-filter"-Technik und zwei NaJ-Detektoren zu verwenden, wurde die gleiche Versuchsanordnung wie in [2-9] benutzt. An Stelle des hochauflösenden Si(Li)-Detektors trat ein 2" x 1" NaJ-Detektor. Zur Anregung der K_{α} -Strahlung des Gadoliniums wurde wieder die 4 mC ^{241}Am -Linienquelle in seitlicher Position zum Pellet gewählt.

Bei der geringeren Energieauflösung des NaJ-Detektors überlappt die kohärente und Compton-gestreute Röntgenstrahlung der ^{241}Am -Quelle (60 keV) teilweise die induzierte Strahlung vom Gadolinium. Diese überlagerte Strahlung kann durch ein nur 0.25 mm starkes Neodymfilter beträchtlich unterdrückt werden (Abb. 2.7/1). Die K-Absorptionskante von Neodym (43,57 keV) liegt direkt oberhalb der Gadolinium K_{α} -Röntgenstrahlung ($K_{\alpha_1} = 43,00$ keV, $K_{\alpha_2} = 42,31$ keV), somit schwächt das Filter wirkungsvoll Gammastrahlung mit Energien oberhalb der K_{α} -Strahlung des Gadoliniums. Zum Vergleich ist ein Spektrum ohne Filter dargestellt.

Als typische Nettozählraten im K_{α} -Peak des Gadoliniums ergaben sich mit einer 4 mC ^{241}Am Quelle ca. 100 Impulse/sec und % Gd. Abb. 2.7/2 zeigt die Schreiberzeichnung einer Testserie. In diesem Versuch wurde eine Säule Brennstoffpellets mit einer Gadoliniumanreicherung der Größenordnung 4 % zwischen Anregungsquelle und Gammadetektor mit einer Geschwindigkeit von 1 Pellet/min hindurchgeschoben. Die Zählrate wurde bei einer Schreibergeschwindigkeit von 10 mm/min aufgezeichnet. Zwei einzelne Pellets mit abweichenden Gd-Gehalten von 2 % und 3 % wurden klar erkannt. Auf ein zusätzliches Praseodymfilter ($E_K = 41,99$ keV) ("balanced filter"-Technik) konnte wegen des geringen Untergrunds unterhalb der Gd-Röntgenstrahlung verzichtet werden. Deshalb wird nur ein NaJ-Detektor für die Messung benötigt.

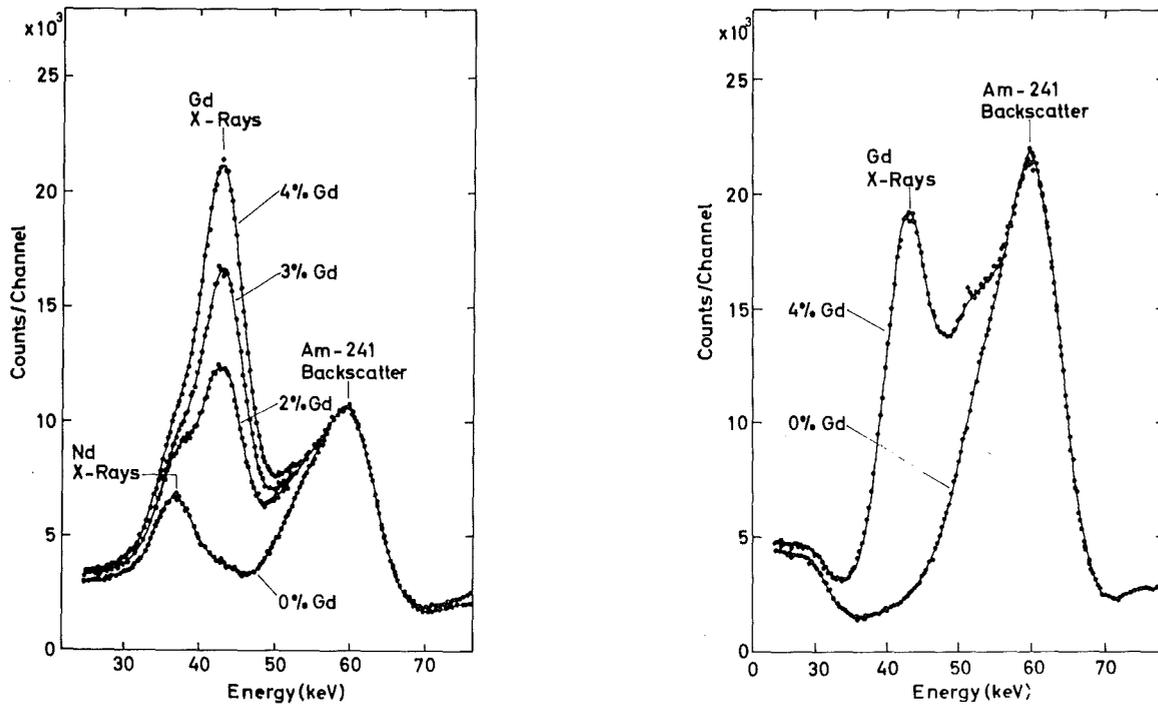


Abb.2.7/1 Röntgenfluoreszenzspektren gemessen an reinen UO_2 Pellets und an Pellets mit Gadoliniumanreicherung für Siedewasserreaktoren. Die Spektren links sind mit einem 0.25 mm starken Neodymfilter zwischen Probe und Detektor aufgenommen und die Spektren rechts ohne Filter.

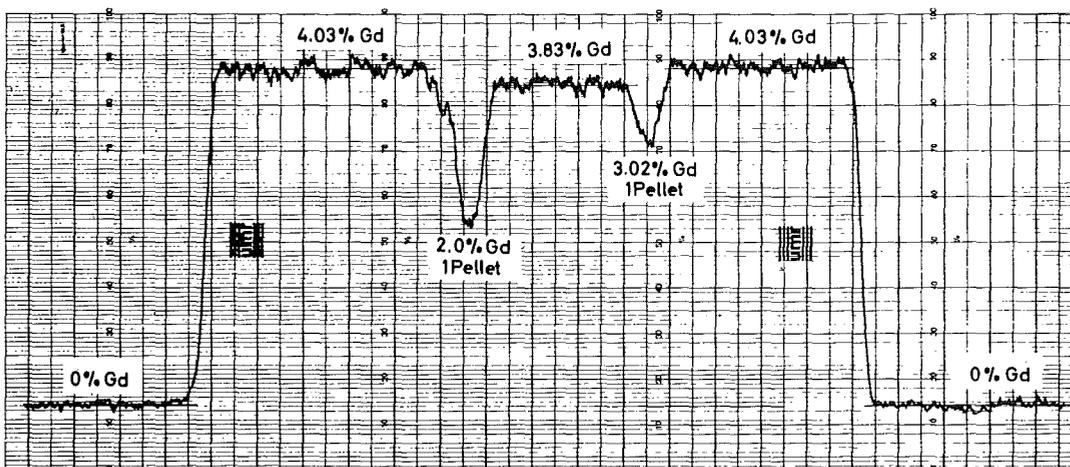


Abb. 2.7/2 Schreiberaufzeichnung der Messung an einer Pelletsäule. Mittlerer Gd-Gehalt der Pellets 4 %, 2 Pellets mit 2 % bzw. 3 % Gd.
Quelle: 4 mC ^{241}Am , Vorschubgeschwindigkeit der Pellets: 10 mm/sec.

Um die diskreten Abstufungen der vorliegenden Gadoliniumkonzentrationen von 1 %, 2 %, 3 % und 4 % Gd sicher - d.h. mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 % - und einer Durchlaufgeschwindigkeit von 1 Pellet/sec zu trennen, wird eine ^{241}Am -Quelle von nur 5 mC benötigt. Gd-Konzentrationen zwischen 1 % und 4 % können bei gleicher Meßgeschwindigkeit mit einer Genauigkeit von 10 % bestimmt werden, wenn eine 100 mC-Quelle verwendet wird. Die dadurch im NaJ-Detektor auf etwa 25000 counts/sec erhöhte Zählrate kann mit Standardelektronik gut verarbeitet werden.

Röntgenfluoreszenzanalyse in Verbindung mit NaJ-Spektrometrie bildet eine schnelle, einfache und kostengünstige Methode, um Kontrollmessungen zur Gadoliniumanreicherung an Brennstoffpellets durchzuführen.

Literaturverzeichnis zu Kapitel 2

- |2-1| H. Ottmar, P. Matussek, Nuclear Fuel Quality Assurance, Proceedings of a Seminar, Oslo, 24-27 May 1976, IAEA Wien, (1976) 191.
- |2-2| H. Ottmar, in G. Bork, ed., Projekt Spaltstoffflußkontrolle, Jahresbericht 1975, KFK 2295 (1976) S. 2-2.
- |2-3| M.R. Iyer, H. Ottmar, KFK 2321 (1976).
- |2-4| K. Böhnel, M.R. Iyer, P. Matussek, H. Ottmar, in G. Bork, ed., Projekt Spaltstoffflußkontrolle - Jahresbericht 1975, KFK 2295 (1976) S. 2-14.
- |2-5| J. Hanif, A.v. Baeckmann, in G. Bork, ed., Projekt Spaltstoffflußkontrolle - Jahresbericht 1974, KFK 2206 (1975) S. 3-36.
- |2-6| O. Cristallini, E. Ganter, A.v. Baeckmann, KFK 1703 (1972).
- |2-7| T.R. Canada, J.L. Parker, T.D. Reilley, Los Alamos Progress Report, LA-6040-PR (1975) S. 9.
- |2-8| G. Drexler, M. Großrau, GSF-Bericht S45 (1968).
- |2-9| H. Ottmar, in G. Bork, ed., Projekt Spaltstoffflußkontrolle, Jahresbericht 1975, KFK 2295 (1976) S. 2-8.

Kapitel 3: DIREKTE VERFAHREN

	<u>Seite</u>
3.0 Einführung E. Mainka	3-1
3.1 Serviceleistungen und begleitende Arbeiten zur Automatisierung direkter Verfahren E. Gantner, E. Mainka und H. Ruf unter Mitarbeit von H. Bernhard, W. Coerdts, H. Deutsch, M. Friedrich, W. König, K. Matern und M. Mostafa	3-1
3.2 Entwicklung von Analysenverfahren	3-2
3.2.1 Automatische massenspektrometrische Iso- topenanalyse L. Koch, M. Wilhelmi	3-2
3.2.2 Automatisierung der Uran- und Plutonium- konzentrationsbestimmung durch die Röntgen- fluoreszenzanalyse J. Neuber, S. Flach, R. Braun, D. Stöckle	3-8
3.2.3 Arbeiten zur naßchemischen Plutoniumkonzent- rationsbestimmung in festen Abfallproben E. Mainka, W. Coerdts und W. König	3-19
3.2.4 Arbeiten zur Isotopenkorrelationstechnik L. Koch, S. Schoof	3-26

3. Direkte Verfahren

3.0. Einführung

Arbeiten in diesem Aufgabenbereich sind im Berichtszeitraum von der analytischen Gruppe des Institutes für Radiochemie und der Abteilung Massenspektrometrie des Europäischen Institutes für Transurane durchgeführt worden.

Der Einsatz des vollautomatischen Massenspektrometers in der Spaltstoffflußkontrolle ist angelaufen /3-1/.

Detaillierte Angaben werden in diesem Bericht diskutiert. Entwicklungsarbeiten zur Isotopenkorrelationstechnik sind in einem Seminar ausführlich dargestellt worden /3-2/. Die Problematik soll aber auch hier kurz angerissen werden.

Das in der WAK aufgestellte Röntgenfluoreszenzspektrometer befindet sich in der Testphase. Mit der Fertigung von Funktionseinheiten für die automatische Probenvorbereitung ist begonnen worden (vgl. Kapitel 3.2.2).

Der Schwerpunkt der naßchemischen Arbeiten lag bei der Entwicklung eines Aufschlußverfahrens für realistische Wasteproben und in der Analyse dieses Materials. Die Versuchsserie erfolgte in Zusammenarbeit mit Eurochemic-Mol, CEA-Marcoule und IAEA Wien.

3.1. Serviceleistungen und begleitende Arbeiten zur Automatisierung direkter Verfahren

Im Berichtszeitraum wurden für das Projekt Spaltstoffflußkontrolle folgende Analysen ausgeführt:

- 22 α -spektroskopische Messungen
- 61 γ -spektroskopische Pu-Bestimmungen in festem Waste
- 38 Plutoniumkonzentrationsbestimmungen in Wasteproben
- 10 M/O-Bestimmungen in Standardproben
- 151 röntgenfluoreszenzspektrometrische Uran- bzw. Plutoniumbestimmungen.

Die eingesetzten Analysenverfahren sind weitgehend in /3-3/ beschrieben. Für die Wasteproben mußte ein neues Aufschlußverfahren erarbeitet werden (vgl. Kapitel 3.2.3). Über das Analysenverfahren berichtet /3-4/.

3.2. Entwicklung von Analysenverfahren

3.2.1. Automatische Massenspektrometrische Isotopenanalyse

3.2.1.1. Verbesserter Automat zur Abtrennung von Uran und Plutonium

Eine verbesserte Version des früher beschriebenen /3-5/ Automaten zur Abtrennung von Uran und Plutonium für die massenspektrometrische Analyse von Uran und Plutonium wurde von der Abteilung Datenverarbeitung und Instrumentierung, ADI erstellt /3-6/.

Die Apparatur (Abb. 3.2/1) ermöglicht die gleichzeitige automatische Trennung von bis zu 6 Proben, wobei jeder Probe eine Kolonne mit einem Ionenaustauscher zugeordnet ist. Diese Ionenaustauscher-Kolonnen können unabhängig voneinander bedient werden. Das Programm zur Abtrennung des Urans und Plutoniums aus den Proben kann mittels einer Schaltung durch Steckerstifte individuell für jede Säule gesteckt werden. Die aus den Ionenaustauschern austretende Lösung kann in bis zu fünf verschiedenen Fraktionen gesammelt werden, wobei deren Volumen wählbar ist.

Nach einem mehrmonatigen Testbetrieb befindet sich der Automat innerhalb eines Handschuhkastens im Routinebetrieb. Es werden mit ihm Analysenproben vorbereitet, die im Rahmen der EURATOM-Spaltstoffflußkontrolle durchgeführt werden.

Im bisherigen Zeitraum hat der Automat zu voller Zufriedenheit gearbeitet.

3.2.1.2. Erfahrungen im Betrieb des automatischen Massenspektrometers

Der Aufbau des automatischen Massenspektrometers einschließlich der Hochvakuumschleuse und der Rechenprogramme, sowie die bis zum jetzigen Zeitpunkt gesammelten Erfahrungen, wurden in einem Bericht zusammengefaßt /3-1/. Das automatische Massenspektrometer basiert in seiner Konzeption auf einer früheren Systemanalyse der massenspektrometrischen Messung /3-7/. Dazu war die Modifikation eines CH-5 Massenspektrometers nötig, die weitgehend vom Hersteller, VARIAN MAT erfolgte. Der gleiche Hersteller entwickelte auch die zum Betrieb des Automaten nötigen Rechenprogramme. Die automatische Hochvakuumschleuse wurde in Zusammenarbeit mit der Firma NTG gebaut. Nach einem längerem Testbetrieb läuft der Automat seit Ende 1975 im Dauertest.

Mit ihm wurden alle im Rahmen der EURATOM-Spaltstoffflußkontrolle anfallenden Kontrollanalysen durchgeführt.

Während dieses Zeitraums stellte sich die Zuverlässigkeit des Automaten wie folgt dar:

Die Rechenprogramme zur Steuerung der Messung zeigten sich als unzureichend und mußten des öfteren geändert werden, um auch den veränderten Zusammensetzungen der Analysenproben gerecht zu werden. Fehler in den Rechenprogrammen zeigten sich insbesondere in der Auswertung, die bei nicht optimaler Probenvorbereitung zu falschen Resultaten führte. Die Änderungen an den Programmen sind noch nicht abgeschlossen und erfordern häufig manuelle Kontrollmessungen.

Größere Fehler an den neuentwickelten Hardware-Komponenten traten nicht auf. Es wurde aber festgestellt, daß die Reparatur oder der Austausch der Elektroanschübe zu sehr zeitraubenden Anpassungen zwischen dem Rechner, seinem Interface und dem Gerät führten.

Trotzdem konnte eine Verfügbarkeit des Gerätes von ca. 80 % erreicht werden Abb. 3.2/2. Die automatische Hochvakuumschleuse Abb. 3.2/3 stellte sich im automatischen Betrieb als sehr zuverlässig dar. Ihr Vorteil, nämlich der Einsatz des Massenspektrometers über Nacht, konnte nicht immer voll genutzt werden, wegen Unregelmäßigkeiten im automatischen Massenspektrometer.

Für die Automatisierung der Massenspektrometrie stand nicht nur eine bessere Genauigkeit und Senkung der Analysenkosten im Vordergrund sondern auch die Objektivierbarkeit der Messung und die Datensicherheit. Bekanntlich trägt die konventionelle Massenspektrometrie noch alchimistische Züge. Deshalb kann man davon ausgehen, daß eine Automation diese Messung für Außenstehende transparenter und objektivierbarer macht.

Die Datenverarbeitung des Massenspektrometers und die im Rahmen einer Isotopenanalyse zusätzlich eingesetzten Instrumente sind vollständig auf Rechner übertragen worden /3-8/. Das bedeutet, daß keiner der Laboranten oder Operateure der Geräte mehr einen direkten Zugriff zu den Meßdaten hat. Solch eine Datensicherheit ist dann vonnöten, wenn Analysen an Proben aus verschiedenen Anlagen durchgeführt werden, über die technologisch sensitive Informationen erhalten werden könnten.

Zusammenfassend kann man aus den bisherigen Erfahrungen schließen, daß das automatische Gerät dem manuellen Betrieb dann überlegen ist, wenn es

sich um die Analyse großer Probenserien handelt. Es lassen sich dabei folgende Vorteile beobachten:

- höhere Investitionskosten sind durch den größeren Probendurchsatz gerechtfertigt. Dieser kann dadurch erreicht werden, daß das Gerät in einen 24-Stunden-Betrieb geht, wobei durch die Vorbehandlung der Proben in der Hochvakuumchleuse die eigentliche Meßzeit im Gerät erheblich verkürzt werden kann.
- Die Analysenresultate können in einer wesentlichen kürzeren Zeit erhalten werden und durch die oben erwähnten Vorsichtsmaßnahmen vertraulich behandelt werden.
- Die höhere Reproduzierbarkeit einer Messung durch den Automaten, die allerdings nur für Proben-Serien zu beobachten ist, führt bei gleichzeitigem Einsatz von Standardproben zu einer höheren Analysengenauigkeit.

Dennoch sind einige Nachteile zu beobachten:

- Die einzelnen Module des Automaten in ihrer jetzigen Konzeption sind nicht kompatibel zwischen zwei verschiedenen Anlagen.
- Die bisherigen Rechenprogramme sind unfertig und inflexibel dadurch, daß sie auf eine definierte Klasse von Probenmaterialien zugeschnitten sind. Das bedeutet, für neue Proben müssen die Rechenprogramme jeweils angepaßt werden.

Kernforschungszentrum Karlsruhe, Abteilung Datenverarbeitung und Instrumentierung ADI-Handbuch Nr. 4

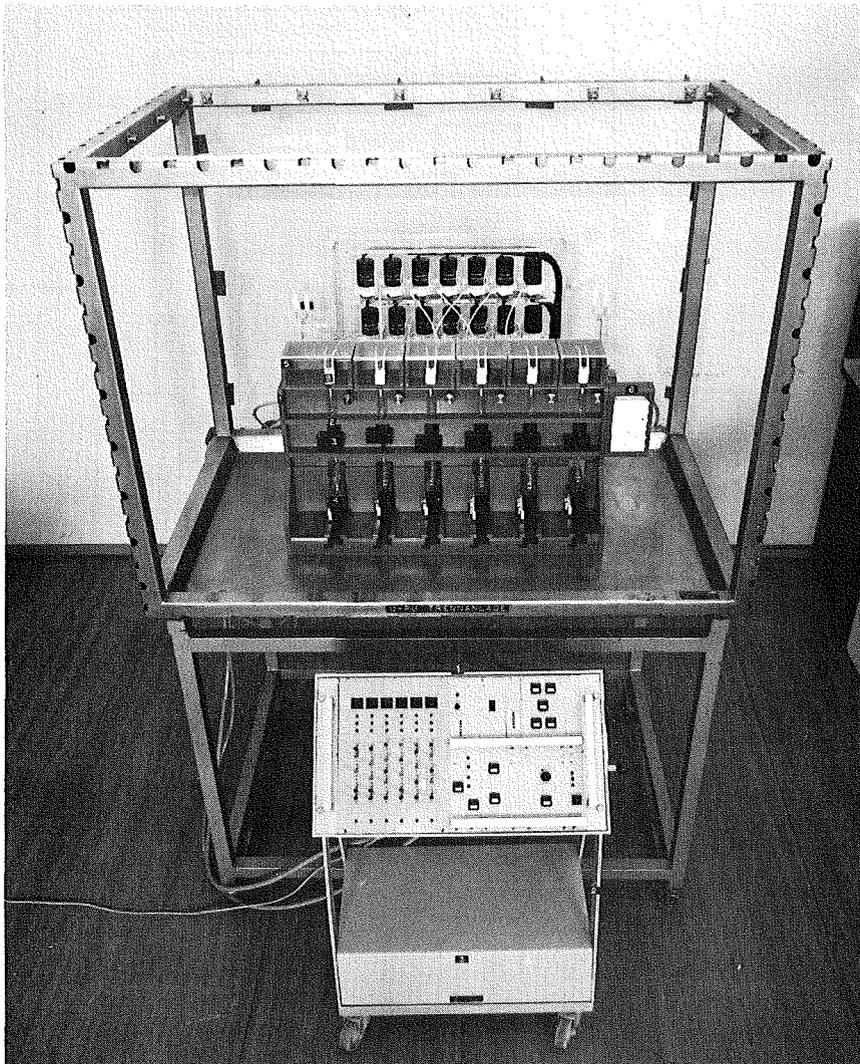


Abb. 3.2/1: U/Pu-Trennanlage

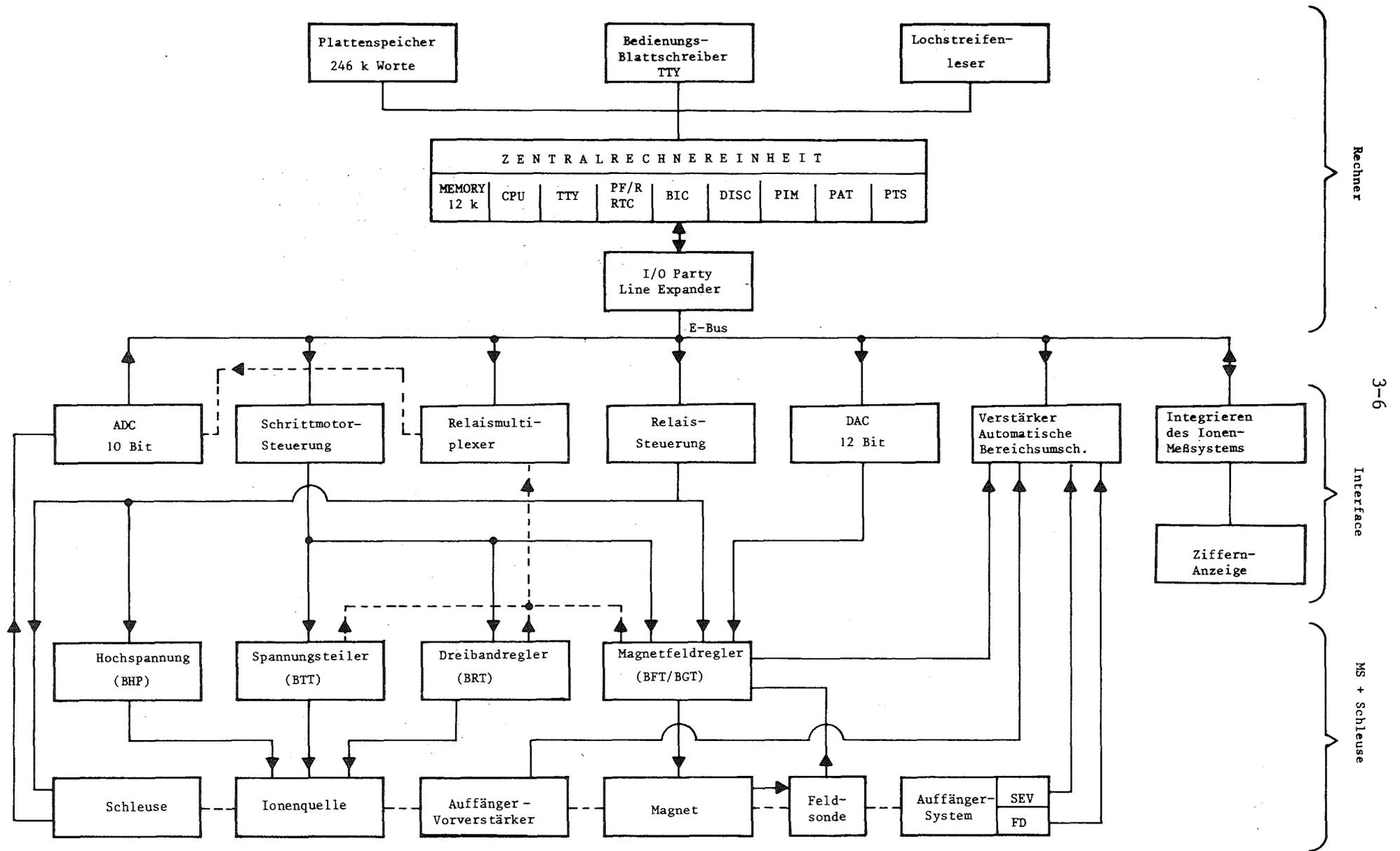
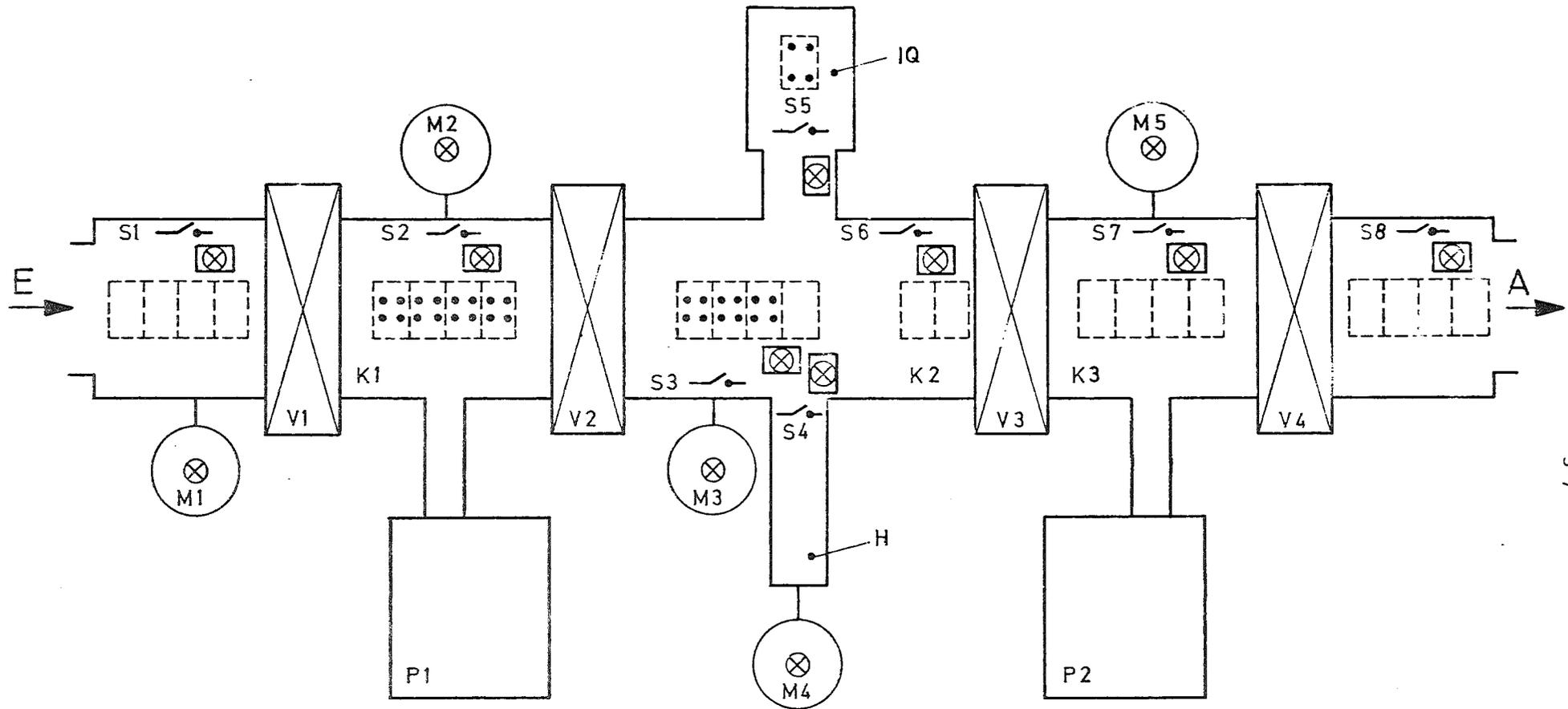


Abb. 3.2/2 Blockschaltbild des Gesamtsystems



3-7

$K_1 - K_3$ = Schleusenkammern
 IQ = Ionenquelle
 $V_1 - V_4$ = Pendelschieber
 $S_1 - S_8$ = Mikroschalter

$M_1 - M_5$ = Elektromotore mit Magnetdrehdurchführungen
 P_1, P_2 = Pumpstände (Turbomolekularpumpen)
 E = Einlaufschiene
 A = Auslaufschiene
 H = Hubsystem

Abb. 3.2/3. Schematische Darstellung der Hochvakuumschleuse

3.2.2. Automatisierung der Uran- und Plutoniumkonzentrationsbestimmung durch Röntgenfluoreszenzanalyse

3.2.2.1. Einleitung

Im Frühjahr 1976 wurde die Planungsphase für die Erstellung der Probenvorbereitungsmechanik abgeschlossen. Die Spezifikationen wurden gemeinsam mit der WAK erarbeitet. Die Fertigung der Werkstattzeichnungen über RBT mit einer Außenfirma konnte beginnen.

Für die Beschaffung des Prozeßführungssystems sind die Vorarbeiten gleichzeitig angelaufen. Vor Erstellung des endgültigen Pflichtenhefts sind noch Versuche zur Verbesserung des Auswerteverfahrens notwendig. Mit der systematischen Behandlung der umfangreichen Steuerungsaufgabe wurde begonnen. Auf diesem Gebiet hat sich das IDT mit einem Entwurf zum Steuerungskonzept an unserer Arbeit beteiligt. Dieser Beitrag wird dem vorliegenden Bericht eingegliedert.

3.2.2.2. Probenvorbereitungsmechanik

Abb. 3.2/4 zeigt ein Übersichtsschema der funktionellen Bestandteile der mechanisierten Probenvorbereitung. Die Handhabungsmechanik für Rohrpostkapseln und Einweg-Küvetten soll die eigentliche Probenpräparation, Transportvorgänge und Probennachbehandlung abwickeln. Die Peripherie dieses Systems, aus Hilfsvorrichtungen zur Versorgung und Entsorgung, pneumatische Stellglieder in einer gesonderten kleinen Box und ein geplantes kleines Sondersystem zum Verkapseln von Probenmaterial für die Massenspektrometrie zeigt dieses Schema nicht.

Die konstruktive Ausarbeitung der bezifferten Geräte ist bis auf die Komponenten 4 und 10 weitgehend bewältigt. Eine Maschine (Nr. 1) ist gebaut worden. Nr. 6 ist zur Zeit in der Werkstatt in Arbeit.

Wir erwarten, im Sommer 1977 das vorstehend angedeutete umgebende System in Angriff nehmen zu können. Es ist beabsichtigt, mit einzelnen Funktionstests in nächster Zeit zu beginnen. Diese Versuche stehen in unmittelbarem Zusammenhang mit der Konzipierung der Steuerungssoftware. Auf den hierbei angewandten Mikroprozessor wird im folgenden Abschnitt näher eingegangen (3.2.2.3). Bei der Zusammenarbeit mit dem externen Konstruktionsbüro hat uns Herr Glaser vom RBT durch viele wertvolle Hinweise bei der

Lösung konstruktiver Details in dankenswerter Weise geholfen. Herr Braun hat mit der Herstellung von Modellen und bei deren Verbesserung erheblich dazu beigetragen, Entwürfe auszuarbeiten und zeichnerisch schlecht darstellbare Zusammenhänge zu klären.

3.2.2.3. Prozeßführungssystem

3.2.2.3.1. Steuerung der automatisierten Präparationsbox

Der für die Präparationsbox geforderte Probendurchsatz von ca. 200 Proben pro Tag macht es erforderlich, daß in der Präparationsbox bis zu drei Proben gleichzeitig bearbeitet werden müssen. Um dies störungsfrei zu gewährleisten, wird der gesamte Prozeßablauf in drei verschiedene Prozeßgruppen aufgegliedert: 'Präparation', 'Transport + Abfallbeseitigung' und 'Laden + Messen' (siehe Abb. 3.2/7: Steuerungsbereiche).

In jeder Prozeßgruppe soll jeweils nur eine Probe behandelt werden, so daß keine gegenseitige Beeinflussung stattfindet.

Die Ablaufzeiten für die einzelnen Prozeßgruppen sind durch die Eingabeparameter für die Prozeßsteuerung festgelegt. Ein optimaler Probendurchsatz kann nur ermöglicht werden, indem man der Probe Priorität im weiteren Prozeßablauf verleiht, die am ehesten ihre Ablaufzeit innerhalb ihrer Prozeßgruppe erreicht hat.

Als Kreuzungspunkt bei der Behandlung mehrerer Proben in der Präparationsbox zeigt sich hauptsächlich die Prozeßgruppe 'Transport + Abfallbeseitigung', da sie jeder der beiden anderen Prozeßgruppen nachfolgt.

Die für den oben beschriebenen Prozeßablauf notwendige Steuerungssoftware ist teilweise erstellt.

Zum Funktions- und Verschleißtest der mechanischen Komponenten der Präparationsbox wird ein Mikroprozessorsystem als Steuereinheit eingesetzt, wodurch Aussagen über das Langzeitverhalten der Komponenten ermöglicht werden.

3.2.2.3.2. Meßdatenauswertung

Die Auswertung der RF-Spektrometerdaten macht die Erstellung geeigneter Eichkurven erforderlich. Zu diesem Zweck wurden am Sequenzröntgenspektrometer (SRS) des IRCh Meßreihen mit entsprechenden Standardpräparaten durchgeführt. Für die erhaltenen Eichpunkte wurde ein Rechenprogramm er-

stellt, das durch eine nichtlineare Regressionsrechnung diesen Eichpunkten eine optimale Eichfunktion anpaßt.

Im Berichtszeitraum wurde außerdem eine Firmenausschreibung für das gesamte Prozeßführungssystem d.h. hard- und software für die Steuerung und Meßdatenauswertung durchgeführt. Eine Kaufentscheidung konnte wegen der ungeklärten Finanzierungslage jedoch nicht gefällt werden.

3.2.2.4. Konzept zur Ablaufsteuerung (Beitrag des IDT)

3.2.2.4.1. Aufgabenstellung

Der Ablauf im Analysenstand zur Bearbeitung einer Probe kann in die Arbeitsabschnitte Probenabfüllung, Probenvorbereitung, Probentransport, Messung und Probennachbehandlung unterteilt werden. Die vom Rechner durchzuführende Ablaufsteuerung hat die Aufgabe, für jede Probe diese Arbeitsabschnitte rechtzeitig und in der richtigen Reihenfolge einzuleiten und ihren Ablauf zu überwachen.

Die Überwachung kann nur dann sicher und zuverlässig abgewickelt werden, wenn alle Zustandsinformationen vollständig erfaßt und laufend mit den Soll-Werten verglichen werden. Sicherheit und Zuverlässigkeit gehen vor Verfügbarkeit und Durchsatz. Beim Entwurf der Ablaufsteuerung müssen deshalb geeignete Maßnahmen zur Verhinderung von gefährlichen Situationen und Probenverwechslungen getroffen werden.

Die Rezeptur-Daten bestimmen die Präparation der einzelnen Proben und können per Dialog mit dem Operateur für mehrere Proben im voraus zugewiesen werden.

3.2.2.4.2. Steuerungsprinzip

Aus der Aufgabenstellung ist ersichtlich, daß es sich um eine diskontinuierliche Ablaufsteuerung handelt, d.h. es laufen in zyklischer Wiederholung bestimmte Arbeitsabschnitte oder Analysenphasen ab, und die Proben sowie die Präparationssubstanzen werden nur an definierten Zeitpunkten zugeführt. Zu einem Zeitpunkt können mehrere Proben gleichzeitig bearbeitet werden, d.h. der Ablauf der Abschnitte muß parallel gesteuert werden. Es muß sichergestellt werden, daß sich die Proben nicht gegenseitig beeinflussen und daß jede Probe in der richtigen Reihenfolge be-

arbeitet wird. Eine gegenseitige Beeinflussung der Proben kann durch folgende Maßnahmen verhindert werden:

- Die Analysenphasen werden so abgegrenzt, daß sie während ihres Ablaufs wechselwirkungsfrei sind. Berührungspunkte ergeben sich aus der Reihenfolge der Analysenphasen an deren Anfang und Ende.
- Jeder Arbeitsabschnitt wird mit höchstens einer Probe belegt.
- Ein Arbeitsabschnitt wird nur dann begonnen, wenn sich keine Probe im Abschnitt befindet und wenn am Ende des vorausgehenden Arbeitsabschnitts eine Probe bereitsteht (Blockprinzip).

Dieses Prinzip trägt wesentlich zur Sicherheit und Zuverlässigkeit des Meßstands bei, da Probenkollisionen und -verwechslungen in den einzelnen Abschnitten selbst bei Ausfall von Überwachungselementen vermieden werden können. Genauere Angaben über die Folgen bei Ausfällen von Apparate- teilen können erst nach einer eingehenden Sicherheits- und Zuverlässigkeitsanalyse gemacht werden.

Ein weiteres wichtiges Merkmal des Prinzips besonders im Hinblick auf eine eventuelle spätere Ankoppelung an einen Rechnerverbund zur Labor- automatisierung ist seine Überschaubarkeit. Jeder Abschnitt kann sich nur in einem der Zustände: belegt, frei, gestört befinden. Somit ist die Zahl der Zustände für eine übergeordnete Überwachung klein.

3.2.2.4.3. Programmkonzept

Den aus der Aufgabenstellung ersichtlichen Arbeitsabschnitten werden zur Steuerung folgende Teilprogramme (Tasks) zugewiesen:

(1) Probenvorbereitung

- leeren Becher holen, Gewicht auf Plausibilität prüfen
- Probenflasche vom Probenpuffer zur Probenabfüllung bringen
- Probenabfüllung aus der Probenflasche in den Becher
- Probenpräparation gemäß Rezept und durch Dialog festgelegte Parameter (verdünnen, wiegen, Plausibilität prüfen, mischen)
- Becher mit Probe zum Weitertransport bereitstellen

- Becher mit Probe zur Abfallbeseitigung (Probennachbehandlung (4) bereitstellen, wenn Ergebnis der Toleranzprüfung negativ; ggfs. Wiederholung der Probenvorbereitung aus derselben Probe.

(Die Toleranzgrenzen können mehrstufig angegeben werden, so daß z.B. das Überschreiten der engen Grenzen lediglich eine entsprechende Meldung mit Aufforderung zur Wartung hervorruft. Somit können Driftvorgänge von schwerwiegenden Störungen unterschieden werden, ohne eine präparierte Probe zu verwerfen).

(2) Probentransport

- Transport der präparierten Probe im Becher von der Präparations-einrichtung zur Meßposition.

(3) Messung

- Steuerung der Abschirmungen an der Meßposition
- Starten des Spektrometers
- Aufnahme der Meßwerte in den Rechner
- Beenden der Messung nach vorgegebener Meßzeit.

(4) Probennachbehandlung

- Transport der gemessenen Proben von der Meßposition ggfs. zur Massenspektrometrie-Probenahme und danach zur Abfallpumpe
- Abpumpen der Probe zum flüssigen Abfall
- Spülen des Bechers
- Transport des leeren Bechers von der Abfallpumpe zum festen Abfall.

Die Teilprogramme wurden aus folgenden Gründen in der oben geschilderten Form abgegrenzt:

- Der Meßvorgang (3) als zeitlich längster, für die Steuerung nicht weiter unterteilbarer Arbeitsabschnitt muß möglichst kurz gehalten werden. Deshalb wurden Schritte, die von der Messung getrennt werden können, in andere Abschnitte gelegt.

- Die Probenvorbereitung (1) stellt im Analysenablauf sowohl in der Funktion als auch in der Apparatur einen geschlossenen Abschnitt dar.
- Die Abgrenzung des Probenverkehrs (2) von der Abfallbeseitigung (4) geschah, weil beide auf dasselbe Transportmedium (Transportschlitten) zurückgreifen. Die Teilprogramme (2) und (4) können daher nicht gleichzeitig ablaufen.

Den Teilprogrammen wird ein Koordinierungsprogramm übergeordnet, das die Teilprogramme gemäß Blockprinzip abrufen.

3.2.2.4.4. Zeitlicher Ablauf

Der Ablauf der Arbeitsabschnitte im ungestörten Fall ist aus Abbildung 3.2/5 ersichtlich. Die Messung als zeitlich längster Abschnitt bestimmt den Durchsatz an Proben. Somit kann man darauf verzichten, den Abschnitt Probenvorbereitung sofort nach Beginn des Probenverkehrs wieder zu starten. Es ist sinnvoll, damit bis zum Ende der eben laufenden Messung zu warten. Die Steuerung wird dann während der Betriebsphase überschaubarer; Probennachbehandlung, Messung und Probenvorbereitung können so nacheinander gestartet werden. Es ergeben sich klar abgegrenzte Zyklen. Die Probenvorbereitung dauert länger als die Probennachbehandlung, und der Probenverkehr kann erst dann gestartet werden, wenn die Probenvorbereitung beendet ist. So sind Konflikte durch den gemeinsamen Zugriff von Probenverkehr und Probennachbehandlung auf dasselbe Transportmedium ausgeschlossen.

Werden in der Probenvorbereitung beim Wiegen Toleranzüberschreitungen festgestellt, so ist der Probenbecher evtl. mit Probe durch die Probennachbehandlung zu beseitigen. Die normale Reihenfolge der Arbeitsabschnitte ist dann für diese Probe nicht mehr gegeben. Die sicherste Strategie ist es, zunächst die in der Meßposition befindliche Vorgängerprobe in normaler Arbeitsfolge zu behandeln und erst dann die fehlerhafte Probe aus der Probenvorbereitung zu entfernen (siehe dazu Abb. 3.2/6). Zur Zeitersparnis könnte die Abfallbeseitigung der fehlerhaften Probe noch vor der gerade in Meßposition befindlichen Probe geschehen (in Abb. 3.2/6: Abfallbeseitigung von P_i zwischen P_{i-2} und P_{i-1}). Dieser Weg macht aber eine zusätzliche Koordination zwischen Probenvorbereitung und

Abfallbeseitigung notwendig. Sollte die praktische Erprobung zeigen, daß die Zahl der Toleranzüberschreitungen pro Tag sehr gering ist, könnte der erhöhte Zeitaufwand, den die sicherste Strategie bedingt, in Kauf genommen werden.

3.2.2.4.5. Schlußbemerkung

Die einzelnen Teilprogramme sollten aus vereinheitlichten Bausteinen, z.B. zur Zustandserfassung, zum Soll-Ist-Vergleich, zur Steuersignalausgabe und zur Zeitüberwachung aufgebaut werden und auf einheitliche Datensätze zugreifen. Anregungen werden in einem schon eingangs erwähnten Richtlinie-katalog gegeben.

3.2.2.5. Ausblick

Der Handhabungen ausführende Teil der Mechanik soll 1977 im Wesentlichen gebaut werden. Funktionstests sollen unter Verwendung eines Mikroprozessors stattfinden. Die Planung des Prozeßführungssystems geht weiter, eine zweite Ausschreibung wird durchgeführt. Erkennbare Möglichkeiten zur Verbesserung der Meßdatenauswertung werden weiter verfolgt.

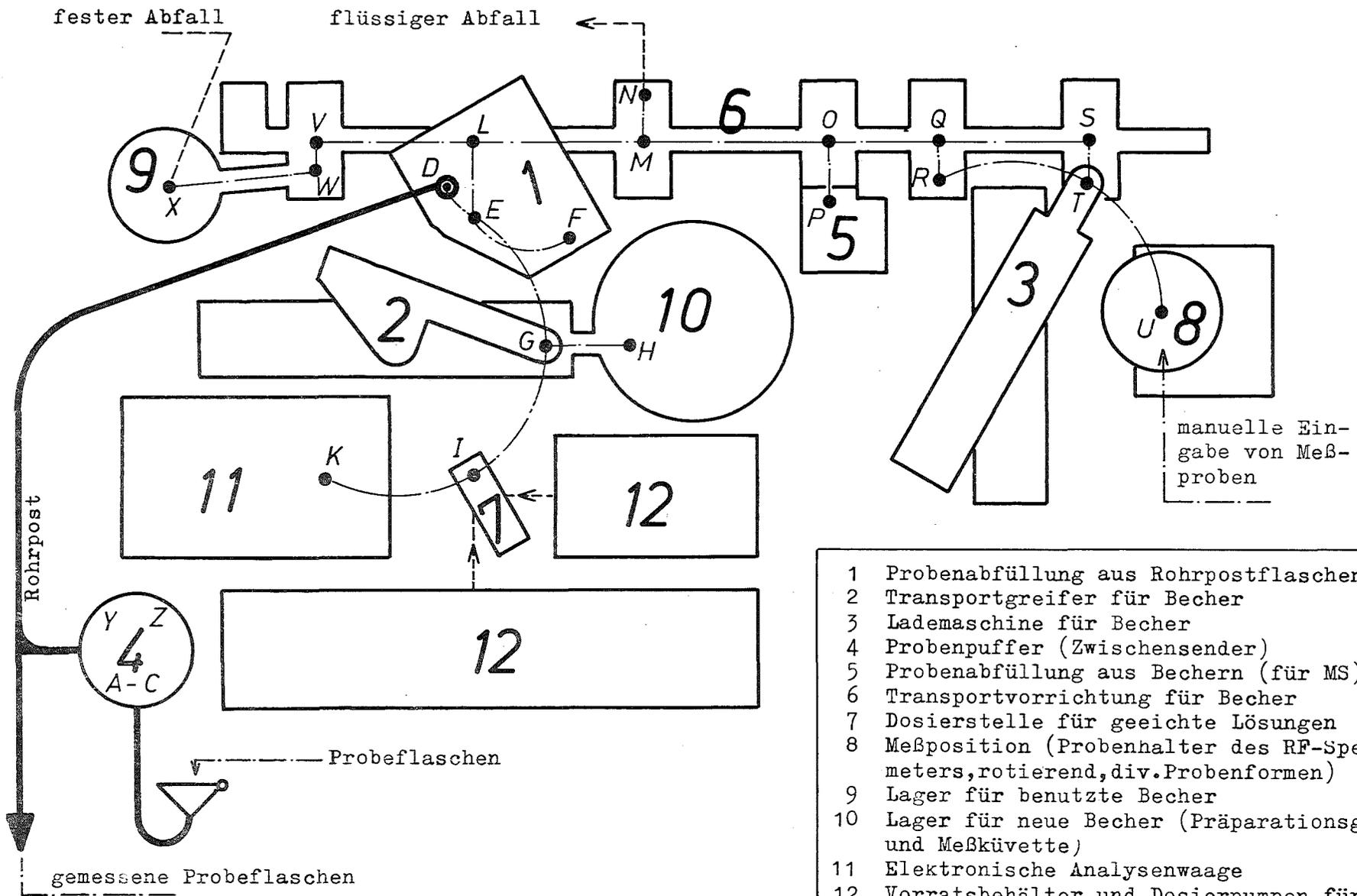


Abb.: 3.2/4 Übersicht des automatischen Probenvorbereitungssystems für die Röntgenfluoreszenzanalyse

- 1 Probenabfüllung aus Rohrpostflaschen
- 2 Transportgreifer für Becher
- 3 Lademaschine für Becher
- 4 Probenpuffer (Zwischensender)
- 5 Probenabfüllung aus Bechern (für MS)
- 6 Transportvorrichtung für Becher
- 7 Dosierstelle für geeichte Lösungen
- 8 Meßposition (Probenhalter des RF-Spektrometers, rotierend, div. Probenformen)
- 9 Lager für benutzte Becher
- 10 Lager für neue Becher (Präparationsgefäß und Meßküvette)
- 11 Elektronische Analysenwaage
- 12 Vorratsbehälter und Dosierpumpen für geeichte Lösungen von U, Pu, Th, Gd und Verdünnungsmittel

Abschnitt

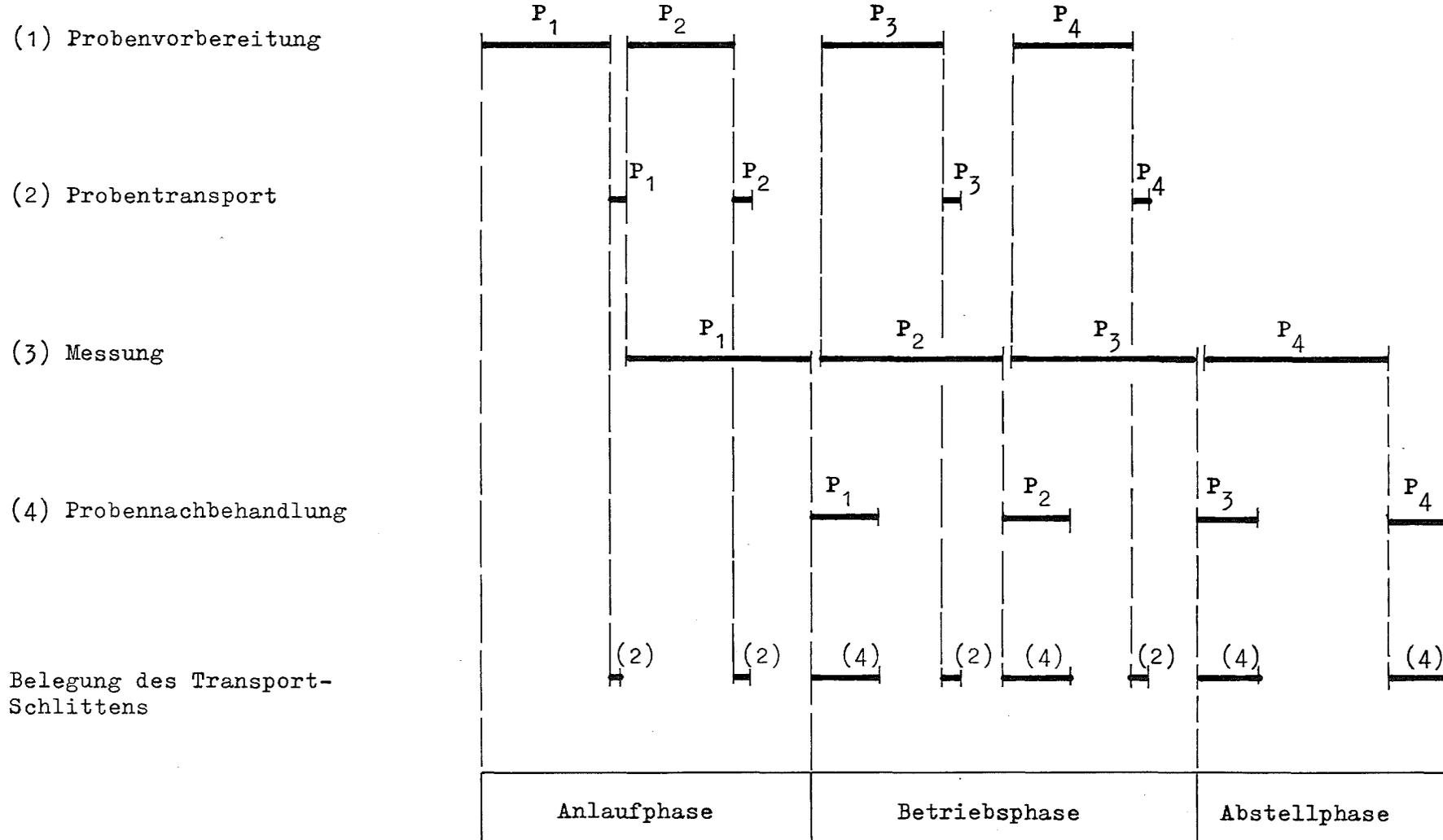


Abb.: 3.2/5

Zeitdiagramm für den ungestörten Analysenablauf (P_i = Probe i)

Abschnitt

(1) Probenvorbereitung

(2) Probentransport

(3) Messung

(4) Probennachbehandlung

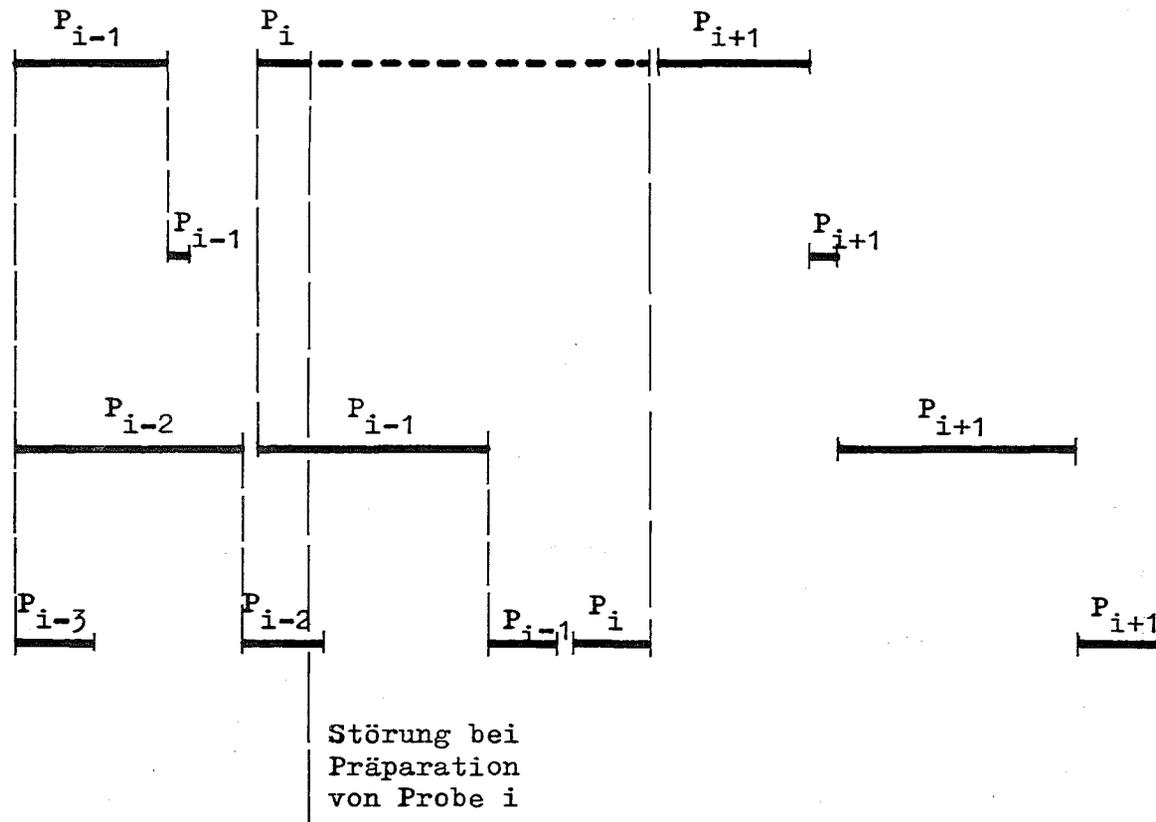


Abb.: 3.2/6

Zeitdiagramm für den Ablauf bei Störung in der Probenvorbereitung (P_i = Probe i)

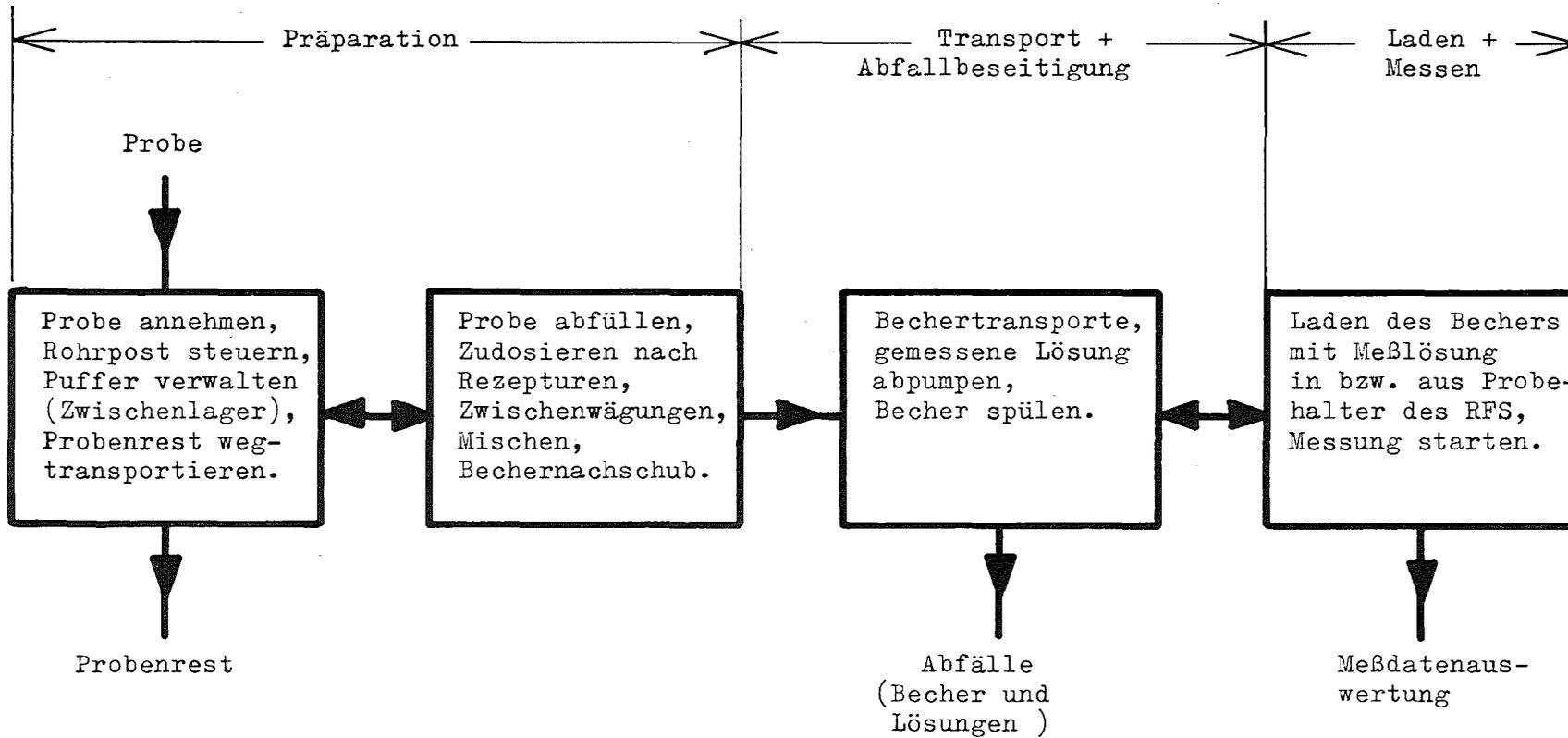


Abb.: 3.2/7 , Verfahrensübersicht der automatischen Probenvorbereitung für die Röntgenfluoreszenz-Analyse mit Gliederung in Steuerungsbereiche.

3.2.3. Arbeiten zur naßchemischen Plutonium-Konzentrationsbestimmung in festen Abfallproben

3.2.3.1. Aufgabenstellung

Die Plutoniumgehaltsbestimmung in festen Abfällen ist für die Spaltstoffflußkontrolle zur Bilanzierung von großer Bedeutung. Die bevorzugten Meßmethoden für derartige Materialien sind die sogenannten passiven Gamma- bzw. Neutronen-Messungen. Die verschiedensten Instrumente sind zu diesem Zweck entwickelt worden. Die Eichung derartiger Apparaturen erfolgte bisher ausschließlich mit simulierten Eichstandards. In Zusammenarbeit mit Eurochemic-Mol, CEA Marcoule und IAEA-Wien sind zum ersten Mal systematische Untersuchungen an realistischen festen Wasteproben durchgeführt worden.

Um die Leistungsfähigkeit der eingesetzten passiven Gamma- bzw. Neutronenmessungen sowie die verwendeten Meßapparaturen zu testen, wurden die erhaltenen Analysendaten durch destruktive Analysenverfahren verifiziert.

Der dafür notwendige Veraschungsvorgang und die damit zusammenhängende Probenpräparation, wie die Herkunft des Materials sind in /3-8/ detailliert beschrieben.

Wir erhielten den Auftrag, unabhängige Analysendaten für eine ausgewählte Probenserie zu erstellen.

3.2.3.2. Analysenproben

Die notwendigen Informationen zu den einzelnen Analysenproben sind in Tabelle 3.2/I zusammengefaßt.

Tabelle 3.2/I

Proben-Code	Proben-Gewicht (g)	erwartete Pu-Gewichts % (*)
EUR 1/1/K	5,108	11,0
EUR 1/2/K	5,975	11,6
EUR 1/3/K	10,896	3,7
EUR 2/1/K	7,101	12,8
EUR 2/2/K	6,413	13,6
EUR 2-BIS/1/K	9,053	15,3
EUR 2-BIS/2/K	8,399	13,2
EUR 2-BIS/3/K	10,859	2,6
EUR 3/1/K	7,427	12,5
EUR 3/2/K	8,262	13,0
EUR 4/1/K	8,235	9,7
EUR 4/2/K	8,297	8,6
EUR 5/1/K	6,194	4,0
EUR 5/2/K	5,004	3,4
EUR 5/3/K	5,005	3,5
EUR 5/4/K	6,508	3,5
RIN 1/K	5,191	2,3
RIN 2/A/K	5,079	1,6
RIN 3/A/K	5,135	2,4

(*) die hier angegebenen zu erwartenden Pu-Gehalte sind Daten, die bei Eurochemic durch Gammaskpektrometrie aus den nicht homogenisierten Teilproben ermittelt worden sind. Sie dienen in unserem Fall als Richtwerte z.B. für die Wahl der einzusetzenden Probenmengen. In Tabelle 3.2/II sind die Pu-Isotopenzusammensetzungen der Proben zusammengestellt. Die Daten sind ebenfalls /3-8/ entnommen.

Tabelle 3.2/II: Isotopenzusammensetzung

Probe	Isotopenkonzentration (Gewichts %)				
	Pu-238	Pu-239	Pu-240	Pu-241	Pu-242
EUR 1/1/K	0,29	75,68	18,40	4,45	1,18
EUR 1/2/K	0,29	75,48	18,47	4,52	1,24
EUR 1/3/K	0,02	95,58	3,79	0,41	0,20
EUR 2/1/K	0,29	75,10	18,72	4,67	1,22
EUR 2/2/K	0,28	75,28	18,54	4,68	1,22
EUR 2-BIS/1/K	0,38	75,97	16,62	5,84	1,19
EUR 2-BIS/2/K	0,36	76,26	16,34	5,75	1,28
EUR 2-BIS/3/K	0,02	95,78	3,72	0,38	0,10
EUR 3/1/K	0,35	76,25	16,71	5,53	1,16
EUR 3/2/K	0,36	75,92	16,86	5,64	1,22
EUR 4/1/K	0,33	75,54	17,84	5,10	1,19
EUR 4/2/K	0,33	75,46	17,76	5,24	1,21
EUR 5/1/K	0,31	76,20	17,54	4,81	1,14
EUR 5/2/K	0,31	76,03	15,51	4,96	1,19
EUR 5/3/K	0,30	76,43	17,22	4,82	1,23
EUR 5/4/K	0,29	77,34	16,69	4,63	1,05
RIN 1/K	0,31	76,26	17,34	4,94	1,15
RIN 2/K	0,31	77,39	16,46	4,74	1,10
RIN 3/K	0,28	78,86	15,51	4,38	0,97

3.2.3.3. Das Aufschlußverfahren

Ein Hauptproblem der naßchemischen Analysenmethoden von festen Abfallprodukten liegt beim quantitativen Aufschluß des Materials. Weder mit den unterschiedlichen Schmelzverfahren, noch mit Variationen von Säuregemischen in geschlossenen Teflongefäßen bei erhöhtem Druck konnten bisher quantitative Lösungen der Abfallprodukte erzielt werden /3-8 bis 3-11/. Aus Zeitdruck während der Kampagne haben wir mit einem Pyrosulfataufschluß das Plutonium in Lösung gebracht. Der bei dieser Schmelze noch vorhandene Rückstand wurde abfiltriert und die einzelnen Filter γ -spektroskopisch auf eventuell vorhandene Pu-Gehalte analysiert. Wie in /3-8/

dargelegt, hat Eurochemic durch Kochen am Rückflußkühler (8 Std.) mit konzentrierter Schwefelsäure die Proben weitgehend aufgeschlossen. Auch hier wurde der Rest Pu-Gehalt im Rückstand γ -spektroskopisch bestimmt. Das heißt, beide Lösetechniken waren unbefriedigend. Nach Abschluß des Vergleichsexperimentes haben wir mit dem verbleibenden Probenmaterial und einer Reihe von Lösungsmischungen den Aufschlußeffekt im Tefloncontainer /7/ getestet.

Aufschlußbedingungen:

1. Versuchsserie: Probenmenge zwischen 0,5 und 1 g
 Säuremischung: 2 ml Aqua regia
 7 ml HF 40 %ig
 Aufschlußzeit: ca. 7 Std. bei 170°C.
2. Versuchsserie: Probenmenge wie Versuchsserie 1
 Säuremischung: 10 ml 11 M HNO₃ mit 0,5 M HF
 Aufschlußzeit: ca. 7 Std. bei 170°C.
3. Versuchsserie: Probenmenge wie Versuchsserie 1
 Säuremischung: 5 ml 1 M HNO₃
 5 ml HF 40 %ig
 Aufschlußzeit: ca. 3 Std. bei 170°C.
4. Versuchsserie: Probenmenge wie Versuchsserie 1
 Säuremischung: 9 ml H₂SO₄ konz.
 1 ml H₂O
 1 ml HF 40 %ig
 Aufschlußzeit: ca. 7 Std. bei 170°C.
5. Versuchsserie: Probenmenge wie Versuchsserie 1
 Säuremischung: 7 ml H₂SO₄ konz.
 1 ml HF 40 %ig
 3 ml HBF₄
 Aufschlußzeit: ca. 7 Std. bei 170°C.

In allen Fällen gab es im Aufschlußgefäß Rückstände. Bei den Versuchsserien 1 bis 4 sollten durch Zugabe von Borsäure lösliche Fluorborate gebildet werden, was nur bedingt erreicht wurde. Bei der Versuchsserie 5 konnte der Rückstand im Kontainer mit HNO₃ (1:1) quantitativ in Lösung gebracht werden. Die Ergebnisse sind in Tabelle 3.2/III zusammengestellt.

Tabelle 3.2/III zeigt die im Vergleich mit dem Schmelzaufschluß gefundenen Plutoniumgehalte bei verschiedenen Aufschlußbedingungen.

Tabelle 3.2/III: Gelöster Plutoniumgehalt (%) bei verschiedenen Arbeitsbedingungen

Probe	Vers. 1	Vers. 2	Vers. 3	Vers. 4	Vers. 5
EUR 1/1/K	15,95	-	61,82	93,54	100 %
EUR 1/2/K	50,80	-	73,06	-	100 %
EUR 1/3/K	18,28	28,28	52,85	97,71	100 %
EUR 2/1/K	11,19	21,87	-	-	100 %
EUR 2/2/K	7,8	43,90	-	-	100 %
EUR 2-BIS/1/K	25,5	-	97,76	99,10	100 %
EUR 2-BIS/2/K	-	34,90	97,88	-	100 %
EUR 2-BIS/3/K	105 %	-	-	100	100 %
EUR 3/1/K	84,66	70,5	-	100	100 %
EUR 3/2/K	11,00	77,0	-	98,13	100 %
EUR 4/1/K	24,33	86,54	-	99,2	100 %
EUR 4/2/K	30,22	-	-	71,1	100 %
EUR 5/1/K	14,8	-	4,2	100	100 %
EUR 5/2/K	86,42	-	-	-	100 %
EUR 5/3/K	15,17	-	68,65	-	100 %
EUR 5/4/K	48,12	-	-	-	100 %
RIN 1/K	33,1	-	-	99,7	100 %
RIN 2/A/K	54,43	-	-	-	100 %
RIN 3/A/K	56,42	-	-	100,6	100 %

3.2.3.4. Die Plutoniumkonzentrationsbestimmung

Das sogenannte AgO-Verfahren, das zuerst von Drumond /3-12/ beschrieben wurde, ist bei uns im Labor teilautomatisiert /3-13/ über Jahre mit Erfolg eingesetzt worden.

Die von Davis und Townsend entwickelte potentiometrische Titration mit CuCl als Reduktionsmittel /3-14/ ist inzwischen auch bei uns für Proben mit hohem Fremdstoffgehalt zur Bestimmung von Pu herangezogen worden /3-4/.

Die Pu-Gehaltsbestimmung der eingangs erwähnten Wasteproben haben wir nach einem Pyrosulfataufschluß mit diesem Verfahren und auch mit Hilfe der Röntgenspektroskopie durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 3.2/IV dargestellt. Zum Vergleich sind die von Mol ermittelten korrigierten γ -spektroskopischen Werte (NDA = non destructive Analyse) sowie die naßchemischen (DA = destructive Analyse) Analysendaten angegeben:

Tabelle 3.2/IV: Pu-Gehalt (Gew.-%) der einzelnen "Waste-Aschen"

Probe	g Asche/Probe	NDA (1)	DA _{MOL} (1)	DA _{GFK} (potent.)	DA _{GFK} (RFA)
EUR 1/1/K	677,3	11,53	11,16	11,0	11,0
EUR 1/2/K	474,5	11,33	11,32	12,2	9,4
EUR 1/3/K	156,0	3,65	3,5	3,1	2,9
EUR 2/1/K	631,4	12,03	13,41	11,0	12,1
EUR 2/2/K	740,6	12,29	13,44	12,5	12,2
EUR 2-BIS/1/K	546,6	11,76	13,4	12,8	10,7
EUR 2-BIS/2/K	523,4	11,74	12,3	11,1	11,2
EUR 2-BIS/3/K	151,4	3,13	2,6	2,4	2,8
EUR 3/1/K	733,3	12,53	12,06	12,08	10,7
EUR 3/2/K	1015,3	12,22	13,36	13,4	13,5
EUR 4/1/K	1206,6	9,76	10,11	10,2	11,0
EUR 4/2/K	971,7	8,86	9,1	8,9	9,2
EUR 5/1/K	1021,6	4,85	5,0	4,3	4,0
EUR 5/2/K	1017,7	4,15	4,05	4,0	3,9
EUR 5/3/K	1032,0	4,33	4,02	4,1	3,8
EUR 5/4/K	500,1	4,22	3,99	4,1	4,1
RIN 1/K	1111,6	3,08	2,9	2,8	2,4
RIN 2A/K	349,9	2,08	2,37	1,1	1,2
RIN 3A/K	499,4	3,05	2,96*	2,6	2,8

* α -spektroskopisch bestimmt.

Der gesamte Plutoniumgehalt, der sich aus diesen Daten ergibt, ist in Tabelle 3.2/V berechnet.

Tabelle 3.2/V: Gesamt Pu-Gehalt pro Probe (g)

Probe	NDA	DA _{MOL}	DA _{GFK} (potent.)	DA _{GFK} (RFA)
EUR 1/1/K	74,6	75,1	74,5	74,5
EUR 1/2/K	55,2	53,2	57,9	44,6
EUR 1/3/K	5,7	5,6	4,8	4,5
EUR 2/1/K	80,9	84,3	69,5	76,4
EUR 2/2/K	100,4	99,8	92,6	90,4
EUR 2-BIS/1/K	83,8	72,7	70,0	58,5
EUR 2-BIS/2/K	69,0	64,8	58,1	58,6
EUR 2-BIS/3/K	4,0	4,0	3,6	4,2
EUR 3/1/K	91,9	88,6	93,9	78,5
EUR 3/2/K	132,4	135,8	136,1	137,1
EUR 4/1/K	117,1	121,9	123,1	132,7
EUR 4/2/K	83,7	86,8	86,5	89,4
EUR 5/1/K	40,0	50,8	43,9	40,9
EUR 5/2/K	34,6	41,2	40,7	39,7
EUR 5/3/K	35,6	41,6	42,3	39,2
EUR 5/4/K	17,7	19,9	20,5	20,5
RIN 1/K	25,7	32,2	31,1	26,7
RIN 2/K	5,7	8,3	3,8	4,2
RIN 3/K	12,1	15,3	13,0	14,0
Σ Summe Pu in g	1070,3	1102	1066	1035

3.2.3.5. Diskussion der Ergebnisse

Ein Vergleich der ermittelten Plutoniumgehalte, die in den Aschen mit den verschiedenen Methoden erhalten wurden, zeigt eine Übereinstimmung von ± 2 %. Dieses Ergebnis kann als sehr gut bezeichnet werden, wenn man die Schwierigkeiten bei den einzelnen Präparationstechniken in Betracht zieht.

Setzt man allerdings die γ -spektroskopischen Daten, die im ursprünglichen Waste-Material ermittelt worden sind, in Beziehung, so ist ein systematischer Fehler zu beobachten.

Hier beträgt der gemessene Plutoniumgehalt 1131 g /3-8/. Der Verlust in den Aschen ist auf den Veraschungsprozeß zurückzuführen. Trotz sorgfältiger Reinigungsschritte (RIN-Proben) ergab sich diese Diskrepanz. Das ist sicher auch ein wichtiges Ergebnis dieser Untersuchung. Vom Standpunkt der naßchemischen Analytik hat dieses Experiment zudem zwei wichtige Ergebnisse gebracht:

- 1) Ein quantitativer Aufschluß des schwer löslichen Waste-Materials ist mit der hier beschriebenen neuen Methode möglich. Zu gegebener Zeit soll auch über das für diesen Aufschluß entwickelte Analysenverfahren berichtet werden.
- 2) Die CuCl-Methode /3-4/ ist auch für dieses Material direkt einsetzbar.

3.2.4. Arbeiten zur Isotopenkorrelationstechnik

3.2.4.1. Anwendungsorientierte Arbeiten

Im Rahmen einer IAEA-Arbeitsgruppe wurde untersucht, in welchem Umfang Daten für eine Datenbank zur Anwendung der Isotopenkorrelationstechnik von den Inspektoren gesammelt werden müssen. Dazu wurden Datenblätter ausgearbeitet. Zur Verarbeitung dieser Angaben (Speichern, Umrechnen und Wiederauffinden) wurde ein Rechenprogramm geschrieben, das anhand verschiedener Beispiele mit historischen Daten getestet wurde. Ein Exemplar dieser Datenbank wurde hier auf der Rechenanlage gespeichert, mit neuen Analysen auf seine Benutzerfreundlichkeit getestet und soll im Rahmen eines kommenden Experimentes zur Isotopenkorrelationstechnik, ICE (Isotope Correlations Experiment) eingesetzt werden. Zur Vorbereitung dieses Experimentes wurden im Rahmen der normalen EURATOM-Kontrollen Analysenproben analysiert, die mit Hilfe der Isotopenkorrelationstechnik überprüft wurden. Im Mittelpunkt stand dabei, den Aufwand und die zusätzlichen Anforderungen an die Inspektoren bzw. die Kontroll-Labors zu überprüfen.

Der jetzige Stand der Isotopenkorrelationstechnik - nicht nur als ein Hilfsmittel der Spaltstoffflußkontrolle, sondern auch der Nutzen für Anlagenbetreiber, z.B. der Wiederaufarbeitungsanlage und Reaktorbetreiber, wurde im Rahmen eines Seminars zur Spaltstoffflußkontrolle beschrieben. Es wurden dabei auch verwandte Arbeiten betreffend die Anreicherung von U-235 mitaufgenommen /3-2/.

3.2.4.2. Erweiterung der TUI-Datenbank

Im Rahmen von Nachbestrahlungsuntersuchungen, die zum überwiegenden Teil für andere Programme durchgeführt wurden, wurden neue Datensätze für die Datenbank des Transuran-Institutes gesammelt. Diese Daten sind erst zum Teil veröffentlicht /3-14/ oder sind für eine Veröffentlichung in naher Zukunft vorgesehen. Die Einsatzmöglichkeiten, sowie der Aufbau der Datenbank im Transuran-Institut ist kürzlich in einem zusammenfassenden Bericht beschrieben worden, der gleichzeitig die Verknüpfung der Datenbank mit der Auswertung des automatischen Labors zeigt /3-8/.

Literaturverzeichnis zu Kapitel 3

- /3- 1/ M. Wilhelmi, KFK 2319 (1977)
B. Brandalise, L. Koch, C. Rijkeboer, M. Romkowski,
EUR-5504 d (1977)
- /3- 2/ Die Beiträge zu diesem Seminar sind über die Projektleitung zu erhalten.
- /3- 3/ G. Bork ed., Projekt Spaltstoffflußkontrolle Jahresbericht 1970, KFK 1618 (1972), S. 151ff.
- /3- 4/ G. Bork ed., Projekt Spaltstoffflußkontrolle Jahresbericht 1975, KFK 2295 (1976), S. 3-17ff.
- /3- 5/ D. Bol, B. Brandalise, A. Bier, M. De Rossi, L. Koch, EUR-5141 (1974)
- /3- 6/ W. Heep, S. Bouharrou, ADI-Handbuch, Automat zur Trennung von Uran und Plutonium, (1976) unveröffentlicht
- /3- 7/ Projekt Spaltstoffflußkontrolle Jahresbericht 1970, KFK 1429 (1971)
- /3- 8/ B. Brandalise, G. Cottone, A. Cricchio, F. Gerin, L. Koch EUR-5669 (1976)
- /3- 9/ R. Swennen ETR 291 (1976)
- /3-10/ T. Oragner, M. De Carolis, A. Keddar
IAEA/STR-56, 27 (1976)
- /3-11/ J.W. Dahlby, R.R. Geoffrion, G.R. Waterbury
LA 5776 (1975)
- /3-12/ E. Mainka, W. Coerdts, W. König und H.G. Müller
KFK 2295, 3-17 (1976)
- /3-13/ J.L. Drummond, Talanta 13, 477 (1966)
- /3-14/ W. Davies und M. Townsend
TRG-Report 2463 (1974)

/3-15/ P. Barbero, G. Bidoglio, M. Bresesti, R. Chevalier, D. D'Adamo,
S. Facchetti, A. Federici, G. Guzzi, F. Lezzoli, F. Mannone, F.
Marell, P.R. Trincherini, G. Buscaglia, A. Drago, R. Faccelli,
A. Friga, E. Ghezzi, R. Klersy, K.H. Schrader, A. Schuerenkaemper,
R. Diercks, J. Biteau, G. Cottone, A. Cricchio, L. Koch, R.
Bannella, M. Paoletti-Gualandi, P. Peroni
EUR-5605 (1976)

Kapitel 4: DV-Systeme für die Spaltstoffflußkontrolle

		Seite:
4.0	Einleitung Onnen, S.	4-1
4.1	Das EDV-System zur Kernmaterial- überwachung im Kernforschungszen- trum Karlsruhe: Systemanalyse und Entwurf Polster, F. J.	4-2
4.2	Systemanalyse der Datenausgabe des IAEO-DV-Safeguardsinforma- tionssystems Onnen, S.	4-8
	Literaturverzeichnis zu Kapitel 4	4-13

DV-Systeme für die Spaltstoffflußkontrolle

4.0 Einleitung

Der Einsatz von EDV-Systemen zum Zweck der Spaltstoffflußkontrolle hat an Aktualität gewonnen, da an einem Beispiel (NUKEM) gezeigt werden konnte, daß solche Systeme sowohl für die Überwachungsbehörde als auch für den Betreiber wesentliche Vorteile mit sich bringen:

- mit Hilfe von Realzeit-DV-Systemen können Kernmaterialbewegungen kontinuierlich verfolgt werden und somit kann jederzeit der Kernmaterialbestand ausgedruckt werden;
- die Inventur kann wesentlich dadurch verkürzt werden, daß die Bestandslisten ausgedruckt werden, und nicht mehr wie früher von den Inspektoren angefertigt werden müssen;
- die Bilanzierung wird zuverlässiger, da Übertragungsfehler leichter festzustellen sind.

Zum weiteren Ausbau und zur Wartung des im Jahr 1975 entwickelten und realisierten Datenerfassungs- und Meldesystems für die Kernmaterialüberwachung in der Fabrikationsanlage für hochangereichertes Uran NUKEM wurde die detaillierte Programmdokumentation erstellt. Diese Dokumentation enthält die Programmbeschreibung mit Ablaufplänen und Sourcelisten und die Dateiorganisation mit deren Inhalt.

Für die Entwicklung und Implementierung eines EDV-Systems für die Spaltstoffflußkontrolle im KFZK wurden im Jahre 1976 Arbeiten geleistet /4-1/.

Im Rahmen der Zusammenarbeit mit IAE0 für den Aufbau des zukünftigen Safeguardsinformationssystems der IAE0 in Wien wurde die Analyse des Ausgabesystems durchgeführt /4-2/ und Systeme (ADABAS und SYSTEM 2000) erprobt und bewertet. Von mehreren internationalen Experten für das IAE0-Safeguardssystem wurde ADABAS als das optimale Datenbanksystem empfohlen.

4.1 Das EDV-System zur Kernmaterialüberwachung im KFZK:

Systemanalyse und Entwurf

Im Rahmen des Vorhabens 'DV-Systeme für die Spaltstoffflußkontrolle' soll ein rechnergestütztes Informationssystem zur Kernmaterialüberwachung im KFZK implementiert werden; hierzu wurden im Jahr 1976 folgende Arbeiten durchgeführt:

- Ermittlung der Anforderungen an das EDV-System
- Entwurf des EDV-Systems
- Auswahl eines geeigneten Rechnersystems.

4.1.1 Anforderungen an das EDV-System

Zusammen mit EKS und den Instituten bzw. Abteilungen, die der Kernmaterialüberwachung unterliegen, wurden die wesentlichen Anforderungen an das EDV-System erarbeitet:

Die zentrale Forderung ist naturgemäß, daß das EDV-System die Aufgaben übernimmt, die sich aus dem Berichts- und Protokollwesen des neuen Kontrollsystems von EURATOM /4-2/ und IAEO für die Anlagenbetreiber ergeben; der daraus resultierende buchhalterische Mehraufwand soll durch die Automatisierung aufgefangen werden und die Kernmaterialbuchführung der einzelnen Anlagen entlastet werden.

Weiter soll jederzeit auf die aktuellen Daten zurückgegriffen werden können, um so die Durchführung von Inspektionen seitens der Überwachungsbehörden zu erleichtern und zu beschleunigen.

Hierzu übernimmt das EDV-System für jede der 6 Anlagen, in denen sich insgesamt mehr als 99% des gesamten Kernmaterialbestands des KFZK befindet, die anlagenspezifische Kernmaterialbuchführung; es sind dies

IHCh, IRCh, IMF/III, RBT/FR2,
RBT/HZ, RBT/SNEAK.

Insbesondere verfügt das System damit über die safeguardsrelevanten Daten dieser Anlagen.

Dies bedingt, daß das System zu den Aufgaben der Kernmaterialüberwachung für diese Anlagen bestimmte anlagenspezifische Aufgaben mit übernehmen muß, um die Notwendigkeit einer doppelten Buchführung auszuschließen. Zu diesen anlagenspezifischen Aufgaben gehören z.B. die Überwachung von Kernmaterialmengen bei Materialtransfers, Lokalisierung von Kernmaterial, Auswertung der Bestandsdaten für spezielle Zwecke, Ausdrucken von Meldungen und Listen.

ASS/TSB bedient sich des Systems zur Erstellung der obligatorischen Berichte und Meldungen an die Überwachungsbehörden und zur Kontrolle der Materialtransfers im KFZK; ASS/TSB hat in diesem Sinn die Funktion einer 'Zentrale'. Außerdem verwaltet ASS/TSB für die restlichen bisher nicht angesprochenen Genehmigungsbereiche des KFZK die entsprechenden safeguardsrelevanten Daten.

ASS/TSB und die oben aufgeführten 6 Institute bzw. Abteilungen werden im folgenden als 'Anwender' des EDV-Systems bezeichnet.

Für die Anforderungen der einzelnen Anwender sei auf den Arbeitsbericht /4-3/ IDT/220/01 verwiesen; allen gemeinsam ist die Forderung nach einem Realzeitsystem, das jederzeit über die aktuellen Bestandsdaten verfügt und diese auswerten kann.

Um einen sinnvollen Realzeitbetrieb durchführen zu können, sind bei den Anwendern E/A-Geräte (Sichtgeräte, Drucker) zu installieren, über die jede Kommunikation mit dem System abgewickelt wird, z.B. die Dateneingabe zu einem Materialtransfer oder die Ausgabe einer Meldung etc..

Besonderes Gewicht wird auf ein sicheres System und auf Datensicherheit gelegt:

- Zugriff zum System darf nur entsprechend autorisierten Benutzern möglich sein,
- Fehleingaben sind möglichst weitgehend auszuschließen; die Qualifikation der Benutzer (z.B. Laboranten ohne EDV-Kenntnisse) ist dabei zu berücksichtigen,
- die Möglichkeit, daß durch Fehleingaben das System gestört, insbesondere gespeicherte Daten zerstört werden, ist sicher auszuschließen,
- ein Verlust von Daten ist in keinem Fall akzeptabel.

4.1.2 Entwurf des EDV-Systems

4.1.2.1 Aufbau der Software

Das vom IDT zu entwickelnde Programmsystem besteht aus

- Anwenderprogrammen
- allgemeinen Programmen.

Jedem Anwender ist ein Anwenderprogramm zugeordnet, das auf die jeweiligen speziellen Anforderungen und Bedingungen zugeschnitten ist. Über die Peripheriegeräte in den Anlagen können die zugeordneten Anwenderprogramme - und nur diese - angesprochen werden.

"Jede Kommunikation mit dem System (d.h. mit einem Anwenderprogramm) zur Durchführung eines Auftrags (z.B. Materialtransfer, Ausgabe einer Bestandsliste) wird über rechnergeführte, also vorprogrammierte Dialoge abgewickelt.

Im Verlauf eines Dialogs fordert das Dialogprogramm interaktiv die für den betreffenden Zweck benötigten Daten an; der Benutzer hat nur die Möglichkeit, auf diese Anforderungen zu reagieren. Jeder Dialog ist auf den jeweiligen Zweck zugeschnitten:

Die dem Benutzer bisher schon vertraute Terminologie wird beibehalten und es werden keine ungewohnten Codierungen oder EDV-spezifischen Begriffe eingeführt. Auf diese Weise wird ein hoher Grad an Benutzerfreundlichkeit erzielt und eine einfache Bedienung des Systems ermöglicht.

Jeder Dialog verläuft nach folgendem allgemeinen Schema:

- Durch Angabe des entsprechenden Stichworts stößt der Benutzer über ein Terminal den gewünschten Dialog an; mit dem Eintippen von 'TRANSFER' z.B. wird der Dialog zur Durchführung eines Materialtransfers aufgerufen. Anschließend hat sich der Benutzer dem System gegenüber zu identifizieren und damit seine Berechtigung zur Durchführung des Auftrags nachzuweisen.
- In der anschließenden Eingabephase fordert das System über das Terminal schrittweise die benötigten Daten an. Jedes vom Benutzer als Antwort eingegebene Datum wird zunächst auf Plausibilität geprüft.

- Nach der vollständigen Eingabe der Daten werden diese dem Benutzer nochmals geschlossen zur Quittierung vorgelegt; erst nach der Bestätigung der Richtigkeit erfolgt die Ausführung des Auftrags durch das System.

Die Dialoge sind prinzipiell so zu gestalten, daß eventuelle Eingabefehler möglichst frühzeitig erkannt werden; die Dialogprogramme spielen damit auch unter dem Aspekt der Datenintegrität eine wichtige Rolle" (entnommen aus /4-1/). Der allgemeine Ablauf eines Dialogs wird in Abb. 4.1/1 dargestellt.

Die Anwenderprogramme, hierzu zählen auch die Programme der Zentrale, bedienen sich der sogenannten allgemeinen Programme, dazu gehören das Datenverwaltungssystem, Programme zur Benutzeridentifizierung und Überwachung der Systemaktivitäten (auditing), um die wichtigsten zu nennen.

4.1.2.2 Die Hardware-Konfiguration

Zur Realisierung des EDV-Systems sind folgende Hardware-Komponenten erforderlich (vgl. Abb. 4.1/2):

- 1 zentraler Prozeßrechner mit 64 kW Hauptspeicherausbau
- 1 Lochkartenleser
- 1 Schnelldrucker
- 1 Platteneinheit mit einer Speicherkapazität von 10 MB
- 1 Magnetbandeinheit für Archivierungszwecke und die Erstellung von maschinenlesbaren Meldungen an EURATOM oder IAE0
- 1 Sichtgerät für EKS-spezifische Arbeiten
- Anwenderperipherie gemäß Abb. 4.1/2.

Bild 4.1/2 enthält zusätzlich noch die Entfernungen der abgesetzten Peripheriegeräte vom Rechner.

4.1.3 Auswahl eines geeigneten Rechnersystems

Zunächst war ein Katalog von Anforderungen zusammenzustellen, denen ein geeignetes Rechnersystem zu genügen hatte, sowohl was die Hardware wie auch die verfügbare Grundsoftware betrifft. Auf die Angebotsanforderung durch den Einkauf gingen von 10 Herstellern Angebote ein, 4 davon kamen in die engere Wahl.

Nach einem detaillierten Vergleich dieser 4 Systeme - es wurden hierzu mehrfach Firmenbesuche und Präsentationen durchgeführt - wurde die Beschaffung eines Systems 330 von Siemens gemäß der Konfiguration von Bild 4.1/2 vorgeschlagen. (Eine ausführliche Darstellung der Rechnerauswahl wird in /4-4/ gegeben.

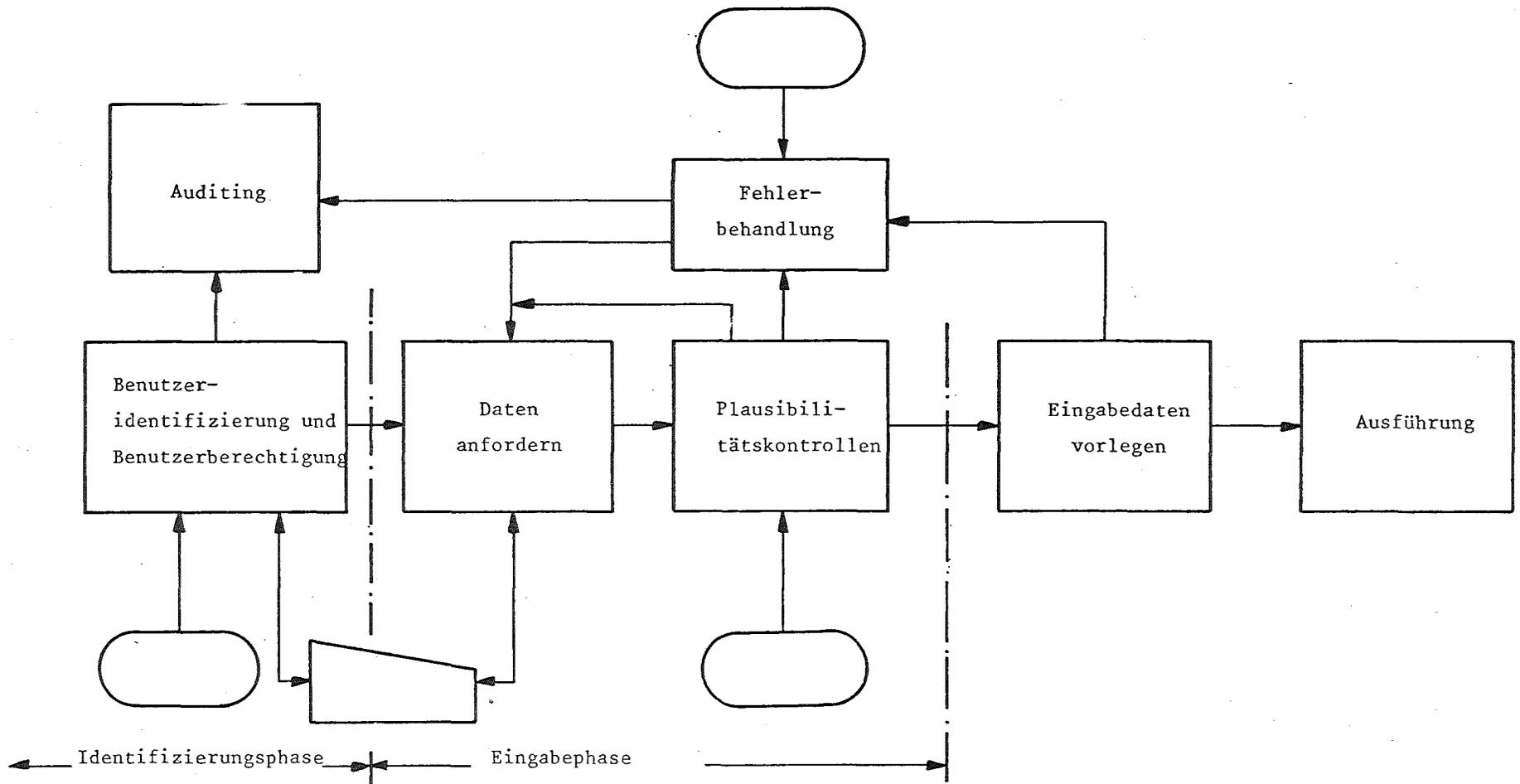


Abb. 4.1/1: Allgemeiner Ablauf eines Dialogs (nach /4-1/)

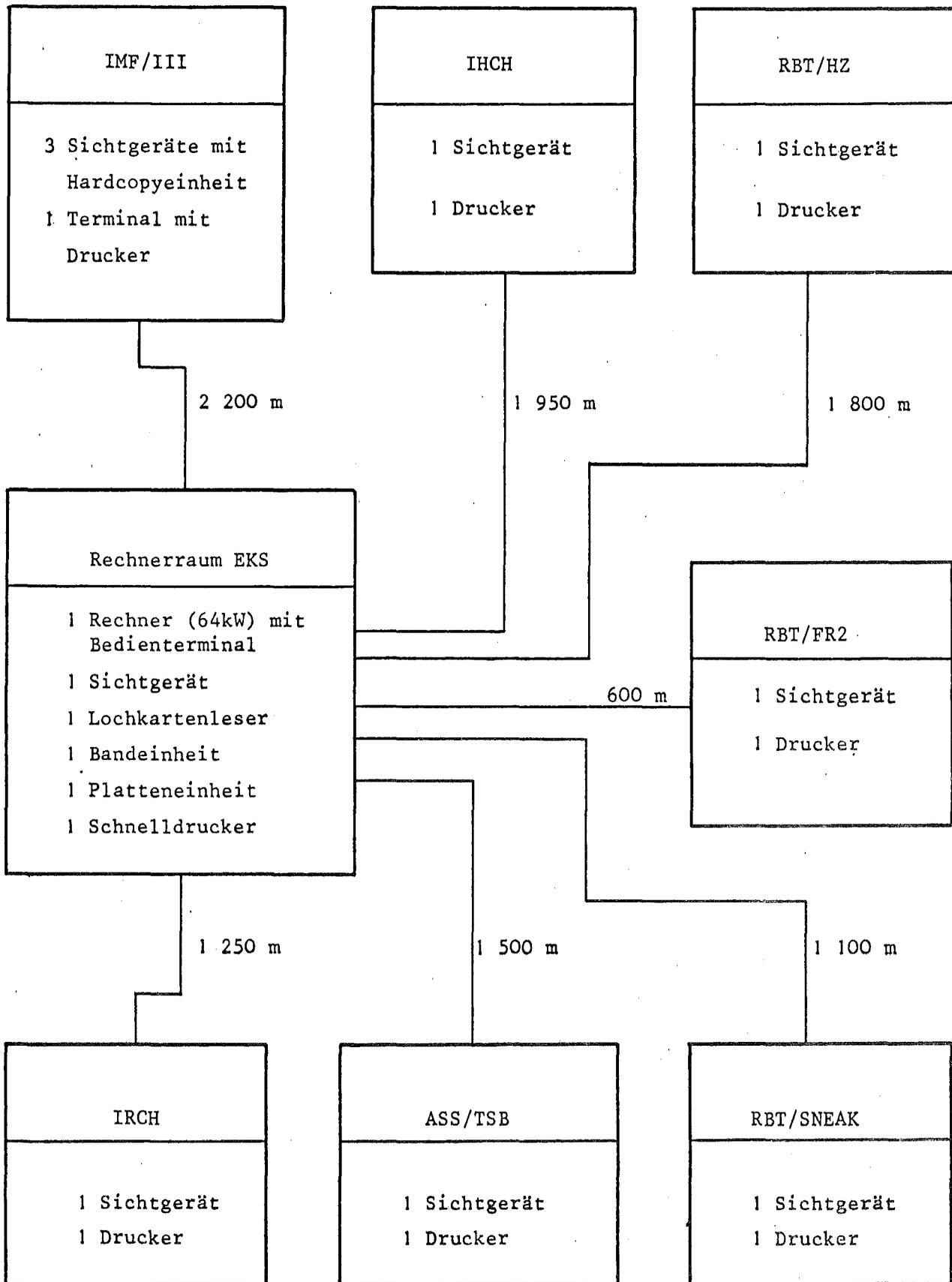


Abb. 4.1/2: Die Hardware-Konfiguration des Informationssystems zur Kernmaterialüberwachung im KFZK

4.2 Systemanalyse der Datenausgabe des IAEO-DV-Safeguards-informationssystems

4.2.1 Einleitung

Die wirksame Implementierung des internationalen Kernmaterialkontrollsystems erfordert die weitere Entwicklung des IAEO-DV-Safeguardsinformationssystems.

Dieser Bericht enthält eine Zusammenfassung der vom IDT geleisteten Arbeit für die Systemanalyse des neuen DV-Safeguardsinformationssystems.

4.2.2 Einteilung und Inhalt der Datenausgabe

Nach den Anforderungen des IAEO-Safeguardssystems an das DV-System kann die Datenausgabe in drei Klassen eingeteilt werden:

- Prozeßausgabe
- Standardausgabe
- Ad hoc Ausgabe

Diese drei Kategorien von Systemausgaben werden in dem folgenden Bericht erläutert.

4.2.2.1 Prozeßausgabe

Die Prozeßausgabe dient der Kontrolle und Korrektur von Eingabedaten. Die Eingabedaten enthalten die Information von allen Arten von Berichten, die das IAEO-Safeguards-Informationssystem speichert. Die Prozeßausgabe spiegelt einige oder sämtliche Eingabeinformationen wieder und enthält Informationen über Plausibilität und Fehler der Eingabeinformationen.

Eine schematische Darstellung der Herstellung von Prozeßausgaben zeigt Abb. 4.2/1. Es gibt bestimmte Verfahren für die Korrektur von Eingabefehlern. Dabei werden falsche Daten nicht gelöscht sondern korrekte Daten hinzugefügt. In Abb. 4.2/1 wird die Korrekturschleife durch Analyse der Prozeßausgabeinformation (menschliche Entscheidung) geschlossen. Das Verfahren und die Genehmigung für die Korrektur sind getrennt anzugeben.

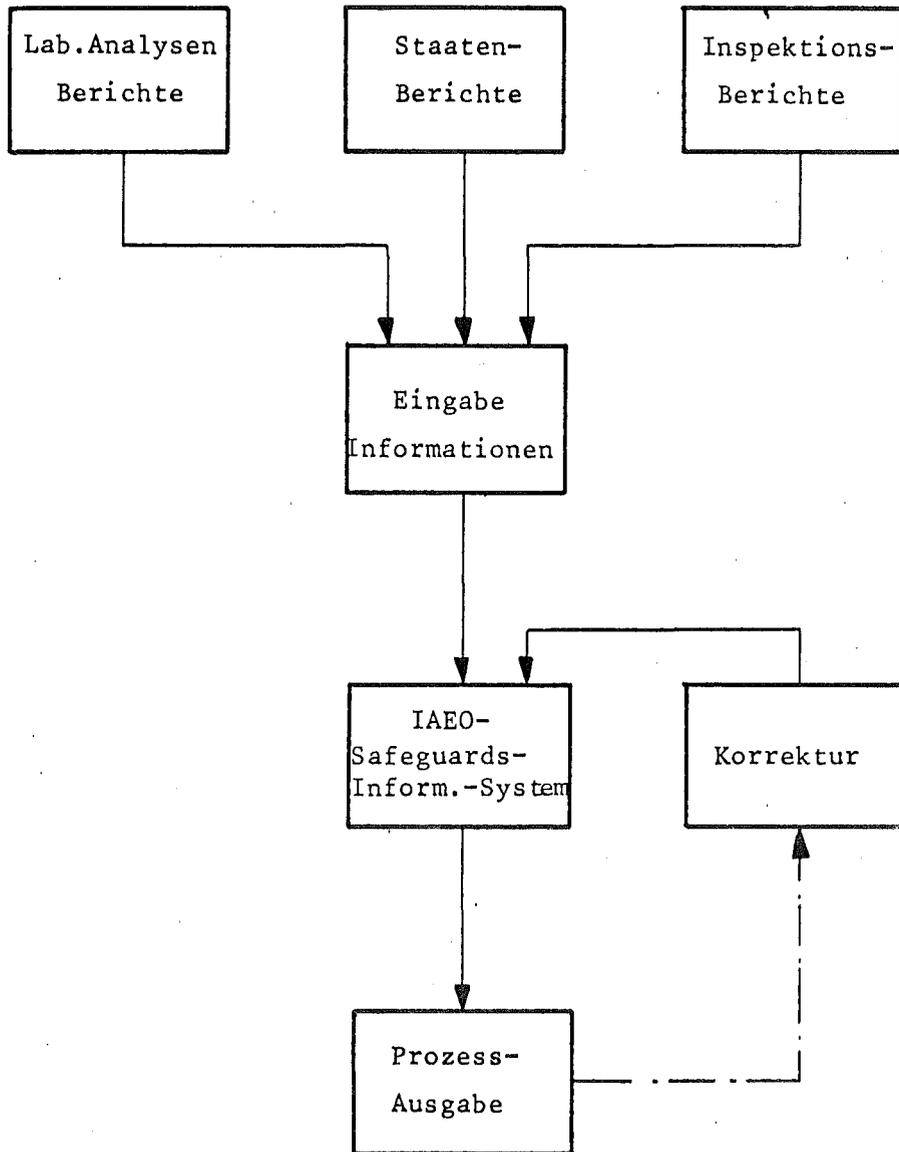


Abb. 4.2/1

Der Inhalt der Prozeßausgabe ist zusammen mit dem Aufbau des Eingabesubsystems hinsichtlich des logischen Datenaufbaus zu spezifizieren.

4.2.2.2 Standardausgabe

Diese Kategorie enthält die für die Kernmaterialkontrolle notwendige Datenausgabe.

Sie ist unterteilbar in:

- Ausgabe für die Kernmaterialkontrolle in einer Materialbilanzzone (MBZ)
- Ausgabe für die Kernmaterialkontrolle zwischen Materialbilanzzonen und zwischen Ländern oder innerhalb eines Landes.

Für die erste Kategorie muß die Anlage oder der MBZ-Code spezifiziert werden, für die die Ausgabe angefordert wird. Für die zweite Kategorie müssen die Anlage und der Ländercode angegeben werden.

Bezüglich des Inhalts kann die Standardausgabe in folgende Kategorien eingeteilt werden:

- Buchbestand-Subsystem
- Bilanz-Subsystem
- Inspektions-Subsystem

Zur Implementierung dieser Ausgabe müssen die Algorithmen für die Berechnung sowie das Standardformat der Ausgabe festgelegt werden.

4.2.2.2.1 Buchbestand -Subsystem

Dieser Teil des Systems enthält die Berechnung des Buchbestandes jeder Materialbilanzzone.

Der Buchbestand einer Materialbilanzzone ist die algebraische Summe des letzten realen Bestandes der betreffenden Materialbilanzzone und aller seit der Aufnahme dieses Bestandes ein-

getretenen Bestandsänderungen.

4.2.2.2.2 Bilanz-Subsystem

Dieser Teil des Systems enthält Algorithmen für Bilanzierungen des Kernmaterials von Materialbilanzzonen oder Staaten:

- Bilanz des Materials in Transit (SD/RD und SF/RF)
- Bilanz des Materials in Befreiung (EU/DU und EQ/DQ)
- Bilanz des Materials in Transfer von Tätigkeiten, die nicht der Sicherheitskontrolle unterliegen (RN/SN)
- Bilanz von zurückbehaltenem Abfall (FW/TW)

Das Bilanzsystem bearbeitet die Zeileneintragungen der Bestandsänderungsberichte der Materialbilanzzonen nach Arten der Bestandsänderungen, die in den Ausgabeanforderungsformblättern spezifiziert sind.

4.2.2.2.3 Inspektions-Subsystem

Dieses Subsystem liefert folgende Ausgaben:

- Ergebnisse des Vergleichs zwischen Buchbestand, berechnet aufgrund der Staatenberichte und den Inspektionsberichten
- Ergebnisse des Vergleichs zwischen dem realen Bestand, berichtet von dem Staat im Materialbilanzbericht und dem Inspektionsbericht
- Ergebnisse des Vergleichs zwischen den Daten in der Aufstellung des realen Bestandes und den Inspektionsdaten.

Diese Ausgabe wird für eine MBZ erstellt, und dabei nach der Kategorie des Kernmaterials sortiert. Weitere Einzelheiten für die Spezifikation dieser Ausgabe müssen nach der Ausarbeitung des Inhalts der Inspektionsdatei ermittelt werden.

4.2.2.3 Ad hoc Ausgabe

Dies ist die Ausgabe von ad hoc Ergebnissen, die übereinstimmen mit der logischen Datenstruktur und unter Zuhilfenahme der Möglichkeiten der Datenbankausgabe hergestellt werden.

Zur Erstellung dieser Ausgabe soll ein Ausgabeanforderungsformblatt ausgefüllt werden, das nach dem Aufbau des Informationssystems spezifiziert werden kann.

Folgende Ausgabe kann ad hoc hergestellt werden:

- Chargenweise Auflistung einer bestimmten Art von Bestandsänderungen über einen gegebenen Zeitraum für eine spezifizierte Materialbilanzzone oder für Staaten
- Chargenweise Auflistung einer gegebenen Elementkategorie für einen gegebenen Bereich von Elementgewichten.

Die Liste der ad hoc Ausgabe soll so erstellt werden, daß die Tätigkeit der Inspektoren in den verschiedenen Typen von Kernanlagen optimiert wird.

4.2.3. Ausgabeanforderungsformblatt

Zur Erstellung einer Systemausgabe wurde ein allgemein gültiges Anforderungsformblatt entwickelt.

Dieses Formblatt soll genau nach den Spezifikationen ausgefüllt werden. Zuerst muß eine logische Verbindung zwischen Datenelementen und Suchkriterien eingeführt werden. Diese logische Verbindung wird durch logische Operatoren hergestellt. Jeder logische Operator erhält ein Symbol zugeordnet, das beim Ausfüllen eines Ausgabeanforderungsformblatts benutzt werden muß.

Referenzen:

- /4-1/ Polster, Franz J.; Onnen, Sanda D.
Informationssysteme für die Kernmaterialüberwachung
5. Internationaler Kongress Datenverarbeitung im Europäischen Raum,
Wien, 21.-25.3.1977
- /4-2/ Kommission der Europäischen Gemeinschaften
Verordnung (EURATOM) Nr. 3227/76 der Kommission vom 19.Okt.1976
zur Anwendung der Bestimmungen der EURATOM-Sicherungsmaßnahmen
- /4-3/ Polster, Franz J.
Das EDV-System für die Spaltstoffflußkontrolle im KFZK: System-
analyse und -aufbau (1976), unveröffentlicht
- /4-4/ Polster, Franz J.
Das EDV-System für die Spaltstoffflußkontrolle im KFZK:
Die technischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkte der Rechner-
auswahl (1976), unveröffentlicht

Kapitel 5: INTERLABORATORIUMSTESTS

5.1 UF₆-Interlaboratoriumstest 5 - 1
W. Beyrich

5.2 Interlaboratoriumstest "AS-76" 5 - 6
W. Beyrich

Literaturverzeichnis zu Kapitel 5 5 - 8

5. Interlaboratoriumstests

5.1 UF₆-Interlaboratoriumstest

In diesem Experiment wurde die Genauigkeit der insbesondere für die Überwachung von Anreicherungsanlagen wichtigen Bestimmung des Isotops U-235 in UF₆ untersucht. Über die Planung und Durchführung des Tests, die in Zusammenarbeit mit der Firma Dornier System, Friedrichshafen, erfolgten, war bereits in den Jahresberichten von 1974 und 1975 berichtet worden /5-1, 5-2/. 1976 wurde die Auswertung der Meßergebnisse zu Ende geführt und ein Abschlußbericht veröffentlicht /5-3/. Im folgenden wird daher nur ein zusammenfassender Überblick gegeben.

Die Isotopenbestimmung erfolgte ausnahmslos mittels spezieller UF₆-Massenspektrometer, bei denen die Meßprobe in gasförmigem Zustand - also als UF₆ - in das Gerät eingelassen und eine dem Isotopenverhältnis U 235/U 238 proportionale Meßgröße bestimmt wird¹⁾. Um hieraus den tatsächlichen U 235-Gehalt zu ermitteln, muß zusätzlich das U 235/U 238-Verhältnis einer Referenzprobe (Standard) ähnlicher und bekannter Zusammensetzung bestimmt werden.

Aus diesem Meßverfahren ergaben sich für den Interlaboratoriumstest zwei Problemstellungen:

- a) Bestimmung des Fehlers bei der Messung des Verhältnisses

$$\alpha = \frac{(U\ 235/U\ 238)_{\text{Meßprobe}}}{(U\ 235/U\ 238)_{\text{Referenzprobe}}}$$

- b) Vergleich dieses Fehlers mit der Unsicherheit in der Isotopenzusammensetzung der zur Verfügung stehenden Referenzmaterialien ("Standards").

¹⁾ Die Messung mit Thermionen-Massenspektrometern nach vorheriger chemischer Umsetzung des UF₆ wurde in diesem Experiment nicht untersucht, da bekannt ist, daß mit dieser Meßtechnik eine geringere Genauigkeit erreicht wird.

Entsprechend den Isotopenzusammensetzungen in den Ein- und Ausgangsströmen von Anreicherungsanlagen wurden Proben mit U 235-Gehalten von ca. 0.4 % ("Tails"), 0.7 % ("Feed") und 3.0 % ("Product") untersucht. Die Labors erhielten zu jeder dieser U 235-Konzentrationen ein Probenpaar von nur wenig unterschiedlicher Isotopenzusammensetzung, von denen jeweils eine Probe als Meßprobe, die andere als Referenzprobe betrachtet wurde. Die Ergebnisse des Experimentes wurden somit unter der Voraussetzung gewonnen, daß alle Laboratorien mit identischen Referenzmaterialien arbeiten. (In der Praxis ist dies heute noch nicht der Fall, sollte aber durch entsprechende Maßnahmen ohne Erhöhung des Aufwandes erreichbar sein.)

Abb. 5.1/1 zeigt am Beispiel der "Feed"-Proben die Abweichungen der Labormittelwerte des Verhältnisses α vom Gesamtmittelwert aller Messungen. Die strichpunktierte Linie mit dem angedeuteten Fehlerbereich von ± 0.5 % entspricht dem durch sehr aufwendige Messungen vom Zentralbüro für Kernmessungen (ZBKM) der EURATOM in Geel, Belgien, bestimmten "wahren" Wert für α . Es fällt auf, daß alle Meßwerte der anderen Labors darunter liegen. Eine derartige einseitige Abweichung ist beispielsweise durch das Auftreten des "Memory"-Effektes zu erklären. Man versteht darunter die Beeinflussung des Meßwertes einer Isotopenverhältnisbestimmung durch vorher gemessene Proben anderer Isotopenzusammensetzung infolge von Isotopenaustauschreaktionen mit Probenresten, die auf den Metalloberflächen des Massenspektrometers abgelagert sind.

Das für die praktische Spaltstoffflußkontrolle wichtigste Ergebnis ist in Abb. 5.1/2 dargestellt: Die durchgezogene Linie zeigt die bei einer Routinemessung eines Labors zu erwartende doppelte relative Standardabweichung (" 2σ -Wert") für das Verhältnis α . Die bei der Bestimmung der U 235-Häufigkeit in der Referenzprobe ("Standard") vom ZBKM erreichte Genauigkeit von ca. ± 1.5 % ist durch die gestrichelte Linie angedeutet. Die gesamte Unsicherheit bei der Bestimmung des U 235-Gehaltes in einer Probe bei Anwendung dieser Analystechnik setzt sich aus diesen beiden Fehlerkomponenten zusammen.

Nach Auffassung der Teilnehmer an dem Experiment erfordert eine Verbesserung der Meßgenauigkeit insbesondere die Erhöhung der Qualität der Referenzmaterialien (Standards), was jedoch mit sehr hohem Aufwand verbunden ist. Es wurde von den Teilnehmern vorgeschlagen, die durch das Experiment gebildete Arbeitsgruppe im Rahmen der ESARDA aufrechtzuerhalten und die Mitgliedschaft möglichst auf alle Laboratorien der Länder der Gemeinschaft auszudehnen, die diese Meßtechnik anwenden.

Die folgenden 8 Labors beteiligten sich mit insgesamt 10 Massenspektrometern an dem Experiment:

Belgien:

Zentralbüro für Kernmessungen, EURATOM, Geel

Bundesrepublik Deutschland:

Bundesanstalt für Materialprüfung, Berlin,
Dornier System GmbH., Friedrichshafen,
Gesellschaft für Kernforschung mbH., Karlsruhe,
(Institut für Kernverfahrenstechnik)
Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg, München,
Universität Kiel, Kiel,
(Institut für Physikalische Chemie)

Großbritannien:

British Nuclear Fuels Ltd., Capenhurst

Niederlande:

URENCO Nederland Operations B.V., Almelo.

Die im Rahmen dieses Experimentes vom ZBKM mit hoher Genauigkeit vermessenen UF_6 -Proben können als Referenzmaterialien von diesem bezogen werden. Dies ist ein wesentlicher Beitrag, um in der Praxis eine Verringerung der Interlaboratoriumsdimensionen zu ermöglichen.

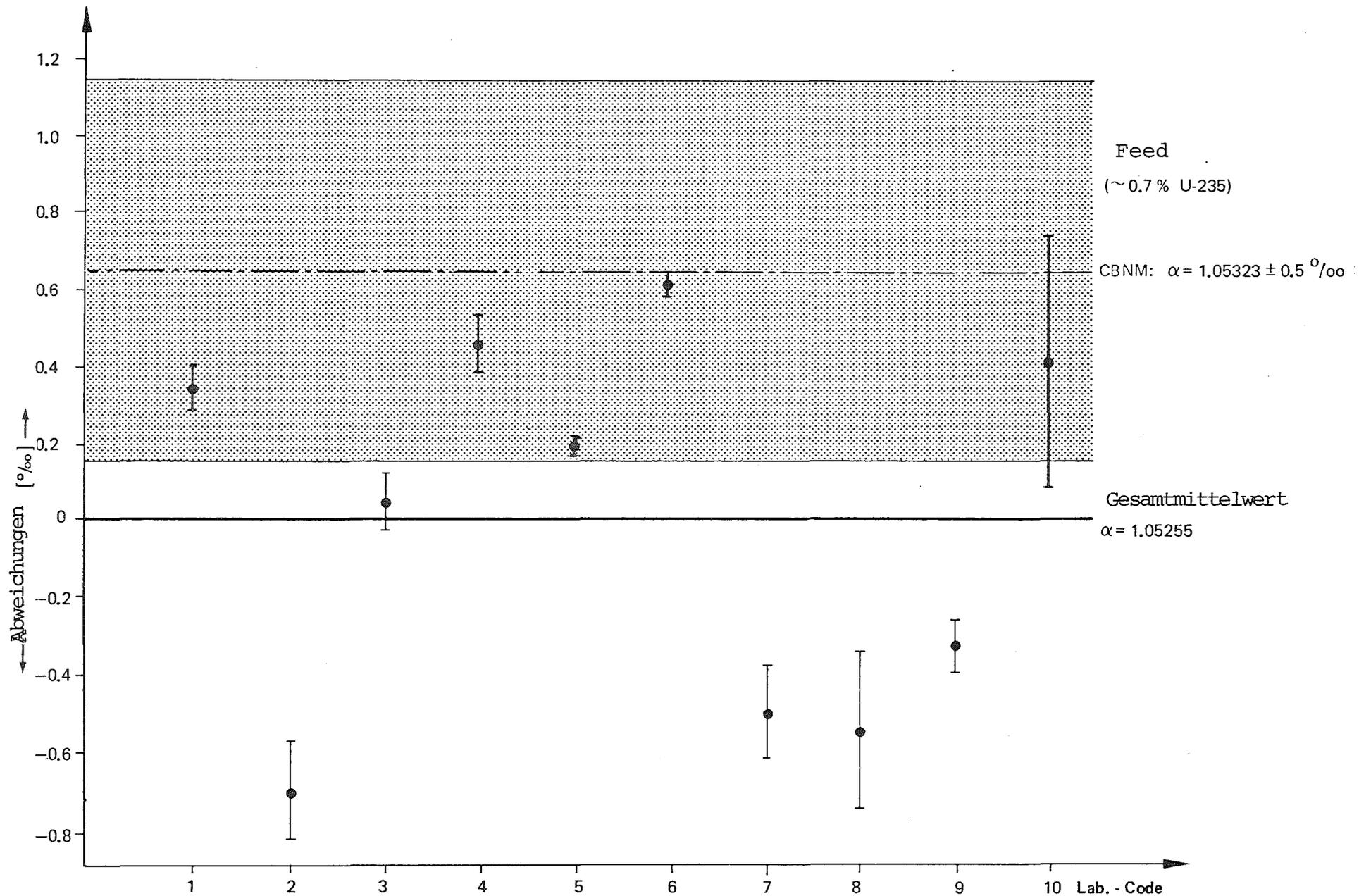


Abb. 5.1/1: Abweichungen der Labormittelwerte vom Gesamtmittelwert und relative Standardabweichungen der Labormittelwerte (Doppelverhältnisbestimmungen)

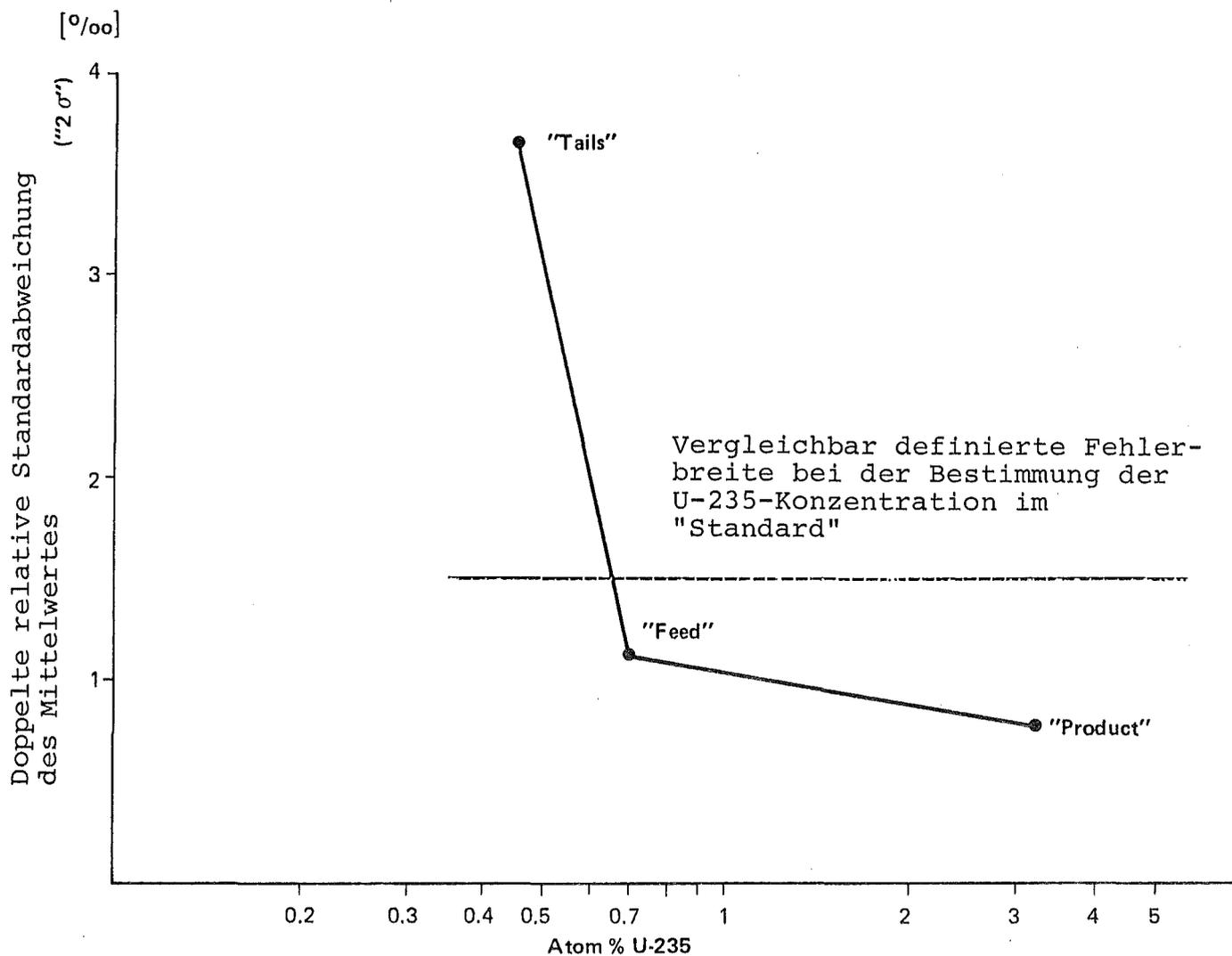


Abb. 5.1/2: Doppelte relative Standardabweichung einer aus 6 Meßzyklen bestehenden Bestimmung des Verhältnisses $(U-235 : U-238)_{\text{Meßprobe}} / (U-235 : U-238)_{\text{Ref.Probe}}$ in Abhängigkeit von der U-235-Konzentration

5.2 Interlaboratoriumstest "AS-76"

Im vorausgegangenen Jahresbericht /5-2/ war bereits darauf hingewiesen worden, daß eine eingehende Untersuchung der alpha-spektrometrischen Bestimmung des Isotops Pu 238 notwendig erscheint, da in dem auf die Auswertung von Alphaspektren des Plutonium beschränkten Test ASET-74 signifikante Unterschiede zwischen den aufgrund der Probenherstellung erwarteten und im Experiment gefundenen α -Aktivitätsverhältnissen beobachtet worden waren /5-4/¹⁾.

Im Berichtszeitraum wurde die Planung eines entsprechenden neuen Interlaboratoriumstests "AS-76" (Alpha-Spectrometry) in enger Zusammenarbeit mit dem Zentralbüro für Kernmessungen (Z BKM) der EURATOM in Geel, Belgien, abgeschlossen, das auch die Probenvorbereitung und -verteilung übernommen hat.

Es sollen Proben aktiver Eingangslösungen aus einer Wiederaufarbeitungsanlage mit ca. 0.2, 0.8 und 1.5 % Pu 238 sowie eine spaltproduktfreie Probe mit ca. 0.8 % Pu 238 in Glasröhrchen eingedampft und den am Test beteiligten Laboratorien zur alpha-spektrometrischen Bestimmung des Aktivitätsverhältnisses Pu 238/ (Pu 239+Pu 240) nach einem vorgegebenen Meßprogramm zugestellt werden.

Die für die Probenherstellung erforderlichen Ausgangsmaterialien wurden von der Gesellschaft zur Wiederaufarbeitung von Kernbrennstoffen mbH., Leopoldshafen, und dem Atomic Energy Research Establishment, Harwell, bezogen.

¹⁾ Die alphaspektrometrische Meßtechnik wird bei der Bestimmung des Pu 238 von vielen Laboratorien gegenüber der massenspektrometrischen Analyse bevorzugt, da letztere durch die Überlagerung des häufigen Isotops U 238 erschwert wird.

Insgesamt 26 Laboratorien aus Europa, Indien, Japan und den USA sagten ihre Teilnahme an dem Experiment zu. Das ZBKM (Geel), das NBS (Washington) und die UKAEA (Harwell) erklärten sich bereit, die exakte Bestimmung der Isotopenzusammensetzungen der Probenmaterialien zu übernehmen.

Referenzen

- /5-1/ G. Bork, ed. Projekt Spaltstoffflußkontrolle
Jahresbericht 1974, KFK 2206 (1975)
- /5-2/ G. Bork, ed. Projekt Spaltstoffflußkontrolle
Jahresbericht 1975, KFK 2295 (1976)
- /5-3/ W. Beyrich, W. Dürr und W. Großgut
"Determination of the Isotope U 235 in Uranium Hexafluoride
by Gass Mass Spectrometry: Results of an Interlaboratory
Experiment Performed in 1975", KFK 2340/EUR 5503e (1977)
- /5-4/ W. Beyrich und A. Cricchio
"The ASET-74 Intercomparison Experiment on the Evaluation
of Alpha Spectra of Plutonium", KFK 2265/EUR 5208e (1976)

Kapitel 6: Arbeiten zur Einführung von Überwachungsmaßnahmen nach dem Verifikationsabkommen zum NV-Vertrag in bestehenden Anlagen der Bundesrepublik

	<u>Seite</u>
6.1 Einleitung D. Gupta	6-1
6.2 Leichtwasserreaktoren Chr. Brückner	6-1
6.3 Fabrikationsanlage für Brennstäbe aus Pu-U-Mischoxid (ALKEM) W. Golly	6-3
6.4 Fabrikationsanlage für hochangereichertes Uran (NUKEM) U. Bicking	6-5
6.5 Zu den Verhandlungen der neuen Verordnung der Kommission der Europäischen Gemeinschaften zur Anwendung der Bestimmungen des EURATOM- Vertrages über die Sicherheitsüberwachung (Kernmaterialüberwachung) Chr. Brückner	6-12
Literaturverzeichnis zu Kapitel 6	6-14

Kapitel 6: Arbeiten zur Einführung von Überwachungsmaßnahmen nach dem Verifikationsabkommen zum NV-Vertrag in bestehenden kerntechnischen Anlagen der Bundesrepublik

6.1 Einleitung

Die Tätigkeiten in diesem Bereich umfaßten die Fortführung und Beendigung eines Demonstrationsexperimentes mit Surveillance-Kameras im Kernkraftwerk Stade gemeinsam mit EURATOM, das der Klärung einiger Probleme zur Einführung dieser Geräte für die IAEO-EURATOM-Kontrollen dienen sollte, und die Zusammenarbeit mit den Brennelementherstellern NUKEM, ALKEM und RBU. Weitere Tätigkeiten standen mit der Verhandlung der neuen Verordnung der Kommission der Europäischen Gemeinschaften zur Kernmaterialüberwachung und Anhängen dieser Verordnung in Zusammenhang.

6.2 Leichtwasserreaktoren

6.2.1 Übersicht über die Arbeiten mit Surveillance-Kameras in Leichtwasserreaktoranlagen

Das Kamera-Demonstrationsexperiment am Kernkraftwerk Stade und seine Ergebnisse werden an anderer Stelle ausführlich dargestellt /6-1/. Die 1975 begonnenen Arbeiten wurden 1976 mit unveränderter Aufgabenstellung fortgeführt: Es galt, neben dem Nachweis der Funktionstüchtigkeit der Kamera unter angegebenen Betriebsbedingungen festzustellen, ob und in welcher Weise (Aufstellungs-ort, Bildbereich, Bildfrequenz) die Handhabung bestrahlter Brennelemente in der Reaktorhalle so erfaßt werden kann, daß

- illegale Handhabungen bestrahlten Kernbrennstoffs als solche erkannt

jedoch

- keine legalen, betriebsüblichen Handlungen als illegal fehlinterpretiert

und

- nichtsafeguardsrelevante Vorgänge möglichst nicht erfaßt

werden könnten.

Veranlassung für das Experiment war der Wunsch des Betreibers, die Kameraüberwachung demonstriert zu bekommen, um Unterlagen über eine Stellungnahme zum facility attachment-Entwurf für das KKS in diesem Punkt zu erhalten.

Der erste, im wesentlichen im vergangenen Jahr durchgeführte Teil des Experiments hatte gezeigt, daß die Ziele, mit Ausnahme des letztgenannten Zieles erreicht werden können /6-2/. Die Kamera wurde auf die Handhabungen im Bereich der Materialschleuse ausgerichtet.

Die Fortsetzung des Experiments in diesem Jahr, während der Brennstoffumladung durchgeführt, brachte jedoch das Ergebnis, daß unter den gewählten Bedingungen

- eine Fehlinterpretation der Handhabung von Behältern für Hilfsgeräte als illegaler Brennstoffabtransport nicht ausgeschlossen werden
- eine betriebsmäßig bei Anfahrtests durchgeführte Abschaltung der Hallenbeleuchtung zu Fehlinterpretationen seitens der Überwachungsbehörde führen

können. Es ist noch zu untersuchen, ob durch Änderung der Versuchsbedingungen (Aufstellungsort, Anzahl der Kameras) die Probleme gelöst werden können.

6.3. Fabrikationsanlage für Brennstäbe aus Pu-U-Mischoxid (ALKEM)

Das Protokollsystem wurde durch organisatorische Maßnahmen verbessert. Danach müssen alle Bereiche täglich ihre Belege über Spaltstoffbewegungen an die Zentrale weitergeben, damit die nach Kostenträgern und Positionen geordneten Bestandslisten dem aktuellen Zustand entsprechen und die Zentrale in der Lage ist, Stichprobenkontrollen der realen Bestände durchzuführen und mit den Sollbeständen zu vergleichen. Das bei dem Boxklebezettel-System in den Bereichen bisher praktizierte Überkleben von Buchungszeilen der Bestandsliste beim Ausgang des Materials wurde untersagt; dadurch ist es möglich, Unstimmigkeiten aufzudecken, weil alle Buchungen zurückverfolgbar sind.

Das Meldesystem wurde gestrafft und Verzögerungen können in Zukunft vermieden werden, nachdem mit EURATOM folgendes vereinbart wurde: Alle Meldungen erfolgen nach Kostenträger-Nummern, EURATOM nimmt die Umsetzung auf Vertragsnummern selbst anhand einer von ALKEM mitgeteilten und ständig vervollständigten Liste vor, die die zu den Kostenträgern gehörigen Vertragsnummern enthält.

Die Durchführung von Inventuren erforderte bisher einen Aufwand von 180 Manntagen seitens des Betreibers und 25 Manntagen seitens EURATOM. Der Aufwand seitens EURATOM läßt sich auf etwa 15 Manntage reduzieren, wenn der Betreiber zu Beginn der Inventur eine Liste des realen Bestandes ("PIL") vorlegt. Auch der Aufwand des Betreibers kann auf etwa die Hälfte reduziert werden, wenn die Inventur vorbereitet und nach dem "running inventory"-Konzept durchgeführt wird.

Für die Erstellung der "PIL" und die Durchführung der Inventur selbst brächte die Erfassung der Kernmaterialdaten mit einem Prozeßrechner wesentliche Vorteile.

Der Aufbau der "PIL" und der Zeichenumfang der Daten wurden mit EURATOM diskutiert und festgelegt.

Der Aufbau eines Prozeßrechnersystems wurde vorgesehen; mit ihm sollen alle Kernmaterialbewegungen erfaßt werden, so daß jederzeit Listen des realen Bestandes und der Buchbestand ausgegeben werden können. Aus Kostengründen kann das Rechnersystem jedoch nur schrittweise aufgebaut werden.

Begonnen wird mit der Erfassung aller Daten im Lager. Dazu wird ein vorhandener Rechner verwendet, zu dem Peripheriegeräte und Kernspeichererweiterungsteile angeschafft werden.

Die Anforderungen an das EDV-System der ersten Aufbaustufe sind in einem Bericht zusammengestellt. Hierin ist die Ausbaufähigkeit zu einem EDV-System mit mehreren Eingabestellen ebenso vorgesehen wie eine automatische Korrektur der Plutoniummengen infolge Zerfall von Pu 241 in Am 241 bei jedem Lagerausgang.

Dieses erste Rechnersystem soll im Herbst 1977 mit der Inbetriebnahme des neuen Plutoniumlagers in Betrieb gehen.

6.4 Fabrikationsanlage für hochangereichertes Uran (NUKEM)

6.4.1 Allgemeines über die Arbeiten

Im Berichtszeitraum konnten die im NUKEM I Vertrag definierten Arbeitsziele erreicht und somit dieser Zusammenarbeitsvertrag abgeschlossen werden. Die Arbeiten betrafen Materialbilanzierung und die Ermittlung der Standardabweichung des MUF (Material Unaccounted For). Im gleichen Berichtszeitraum begannen bei Fa. NUKEM Arbeiten zur Planung einer Neuanlage zur Verarbeitung von hochangereichertem Uran, die in einem neuen Zusammenarbeitsvertrag (NUKEM II-Vertrag) definiert sind. Die Arbeiten umfassen die Definition von safeguards-relevanten Auslegungskriterien sowie die Auslegung und Planung einer überwachungs- und sicherheitstechnisch optimierten Fabrikationsanlage.

6.4.2 Materialbilanzierung und Hypothesenteste (NUKEM I)

Die folgenden Überlegungen gelten sowohl für die Gesamtanlage als auch für Anlageteile, in denen man aus betrieblichen Gründen bilanzieren möchte. In der Anlage wird das Kernmaterial in Chargen bestimmter Größe verarbeitet, so daß während der Dauer einer Inventur Anlagenteile leergefahren werden können. Der Bilanzierungszeitraum wird im ersten Fall durch die Inspektionsbehörde vorgegeben, im zweiten durch die Dauer eines Betriebsauftrages. Mit den in diesen Zeiträumen anfallenden Daten wird das sogenannte MUF ("Material Unaccounted For") nach folgender Formel gebildet:

$$(1) \quad \text{MUF} = I_0 + E - A - I_1$$

Dabei ist:

I_0 = Anfangsinventar

E = Eingang

A = Ausgang

I_1 = Endinventar

Da in einem Anlagenteil zum Zeitpunkt t_0 und t_1 eines Bilanzierungszeitraumes $I_0 = 0$ und $I_1 = 0$, folgt unter Detaillierung der Ausgänge

$$(2) \text{ MUF} = \text{Eingang} - \text{Ausgang} - \text{Rückstände} - \text{Verluste}$$

Dabei versteht man unter:

Eingang - Die Summe aller während des Bilanzierungszeitraumes in der Anlage verarbeiteten Chargen (z.B. Input an UF_6 in Konversion)

Ausgang - Die Summe aller während des Bilanzierungszeitraumes hergestellten Chargen (Uranoxid, Bildchen)

Rückstände - Angefallene Schrotte, die zur internen Aufarbeitung gelangen

Verluste - Gemessene oder geschätzte Verluste.

Die einzelnen Komponenten des MUF, auch Komponenten systematischer Art, können als unabhängige, normalverteilte Zufallsvariablen angenommen werden. Dann ist auch MUF eine normalverteilte Zufallsvariable mit dem Erwartungswert 0:

$$(3) E(\text{MUF}) = 0$$

und der Varianz

$$(4) \sigma_{\text{MUF}}^2 = \text{var}(\text{MUF}) = \text{var}(E) + \text{var}(A) + \text{var}(R) + \text{var}(V)$$

Mit dem für einen Bilanzierungszeitraum erhaltenen MUF wird nun ein Hypothesentest durchgeführt, um zu klären, ob die Abweichung des MUF von Null auf Meßfehler zurückgeführt werden kann (Hypothese H_0), oder ob irgendwelche nicht erkannten Verluste vorliegen müssen (Hypothese H_1). Dafür gibt man sich eine Signifikanzschranke s vor und konstatiert.

$\text{MUF} \leq s$: Hypothese H_0 ist richtig

$\text{MUF} > s$: Hypothese H_1 ist richtig.

Sei nun α die Irrtumswahrscheinlichkeit, also die Wahrscheinlichkeit dafür, daß $MUF > s$ ist, obwohl keine unerkannten Verluste vorliegen (d.h. in $\alpha\%$ aller Fälle wird dann $MUF > s$ sein!). Die Signifikanzschranke s und α sind durch folgende Formel verbunden:

$$(5) \quad s = \sigma \cdot U(1-\alpha) \quad \text{mit} \quad \sigma = \sqrt{\text{var}(MUF)}$$

(dabei ist U die Umkehrfunktion der Verteilungsfunktion der Normalverteilung Φ).

Die folgende Tabelle zeigt den Zusammenhang numerisch.

Tabelle 6.4/I

α /%/	s
10	$\sigma \cdot 1.282$
5	$\sigma \cdot 1.645$
2	$\sigma \cdot 2.054$
1	$\sigma \cdot 2.327$

Dabei ist σ die Standardabweichung der MUF Bestimmung, siehe (4).

Man sieht, je weniger Irrtümer man begehen will, desto größer muß man die Signifikanzschranke wählen.

Die Wahrscheinlichkeit P , daß $MUF > s$ ist, wenn der nicht erkannte Verlust M beträgt, ist gegeben durch

$$(6) \quad P = \Phi(M/\sigma - U(1-\alpha))$$

(d.h., wenn die Menge M fehlt, wird in $P\%$ aller Fälle $M > s$ sein).

Wie sind nun die Varianzen der Einzelkomponenten des MUF zu berechnen? Dazu dienen die folgenden Überlegungen:

Eingangs- und Ausgangsmessungen beruhen auf

1. Gewichtsbestimmung (Brutto-Tara-Wägung)
2. Konzentrationsbestimmung (Uran-Anteil)
3. Isotopenbestimmung (U^{235} -Anteil)

Wenn man U^{235} nicht bilanziert, wird man sich nur für 1 und 2 interessieren und folgende Formel /6-3/ verwenden:

$$(7) \text{ var}(E) = \left(\sum_{i=1}^n E_i^2 \right) \cdot (2 \delta_{rg}^2 + \delta_{rK}^2) + \text{var}(\text{systematische Fehler})$$

Dabei bedeuten

- E_i = Urangehalt der i-ten Charge
- n = Zahl der Chargen im Bilanzzeitraum
- δ = relative Standardabweichung
- r = zufälliger Fehler
- s = systematischer Fehler
- g = Gewichtsmessung
- K = Konzentrationsbestimmung

Es bedeutet also z.B. δ_{rg} : zufälliger Fehler der Gewichtsbestimmung. Für die Varianz des systematischen Fehlers läßt sich keine allgemeingültige Formel angeben, da diese auch von der Zahl der Kalibrierungen abhängt. Nimmt man an, daß systematischer Fehler und Konzentration K während des Bilanzzeitraumes gleich bleiben, so ergibt sich

$$(8) \text{ var}(E) = \left(\sum E_i^2 \right) \cdot (2\delta_{rg}^2 + \delta_{rK}^2) + \left(\left(\sum g_i \right)^2 \cdot K^2 \cdot \delta_{sK}^2 \right)$$

Nimmt man auch an, daß die E_i bzw. g_i gleich bleiben, so vereinfacht sich (8) zu

$$(9) \text{ var}(E) = n \cdot E^2 \cdot (2\delta_{rg}^2 + \delta_{rK}^2) + n^2 \cdot E^2 \cdot \delta_{sK}^2$$

Diese Überlegungen sollen jetzt auf den Bereich "Konversion" der NUKEM angewendet werden.

Konversion (ohne Probenahmefehler)

Eingangsmaterial ist UF_6 , das zu Uranoxid verarbeitet wird. Die Daten für eine Kampagne sind in Tabelle 6.4/II wiedergegeben.

Tabelle 6.4/II

Strom	Form	Urangehalt	Zahl der Chargen	Messung	Fehler zuf. syst.	
Eingang	UF_6	8 kg	220/8 28	Wägen	0.01	-
				U-Faktor	0.01	0.01
				U-235 Konz.	0.01	0.01
Produkt	Oxid	10 kg	22	Wägen	0.01	
				U-Faktor	0.01	0.05
				U-235 Konz.	0.05	0.01
Rückstände	UF_4 U_3O_8	4 kg	1	Wägen Analyse	0.1 2.0	2.0

Die Varianzen berechnen sich dann wie folgt:

$$\text{var}(\text{Eingang}) = 28 \cdot 8^2 \cdot \left(2 \left(\frac{0.01}{100} \right)^2 + \left(\frac{0.01}{100} \right)^2 \right) + 28^2 \cdot 8^2 \cdot \left(\frac{0.01}{100} \right)^2$$

$$\text{var}(\text{Eingang}) = 0.0006 \text{ kg}^2$$

$$\text{var}(\text{Ausgang}) = 22 \cdot 10^2 \cdot \left(2 \left(\frac{0.01}{100} \right)^2 + \left(\frac{0.01}{100} \right)^2 \right) + 22^2 \cdot 10^2 \cdot \left(\frac{0.05}{100} \right)^2$$

$$\text{var}(\text{Ausgang}) = 0.0001 + 0.0121 = 0.0122 \text{ kg}^2$$

$$\text{var}(\text{Rückst.}) = 4^2 \cdot \left(2 \cdot \left(\frac{0.1}{100} \right)^2 + \left(\frac{2.0}{100} \right)^2 \right) + 4^2 \cdot \left(\frac{2}{100} \right)^2$$

$$\text{var}(\text{Rückst.}) = 0.0064 + 0.0064 = 0.0128 \text{ kg}^2.$$

Über die Varianz der Verluste läßt sich nichts aussagen, jedoch wird $\text{var}(V) \ll \text{var}(\text{Rückstände})$ und damit vernachlässigbar sein. Außerdem erkennt man, daß die einzelnen Varianzen im wesentlichen durch den systematischen Fehler bestimmt werden, dessen Einfluß

jedoch bei häufiger Kalibrierung kleiner werden wird. Damit ergibt sich:

$$\text{var}(\text{MUF}) = 0.0256 \text{ kg}^2 \quad \sigma = 0.160 \text{ kg}$$

Nimmt man eine Irrtumswahrscheinlichkeit α von 5 % an, dann beträgt die Signifikanzschranke nach Tabelle 6.4/I 0,263 kg. Bei einer Fehlmenge M von 0,5 kg würde nach Formel (6) die Signifikanzschranke s in 93 % aller Fälle überschritten werden, d.h. die Entdeckungswahrscheinlichkeit bei einer Fehlmenge von 0,5 kg liegt bei 93 %. Fehlen 0,8 kg, dann wird die Signifikanzschranke s schon mit 99,95%iger Sicherheit überschritten. Die Entdeckungswahrscheinlichkeit der Fehlmenge M ist in Abb. 6.4/1 dargestellt.

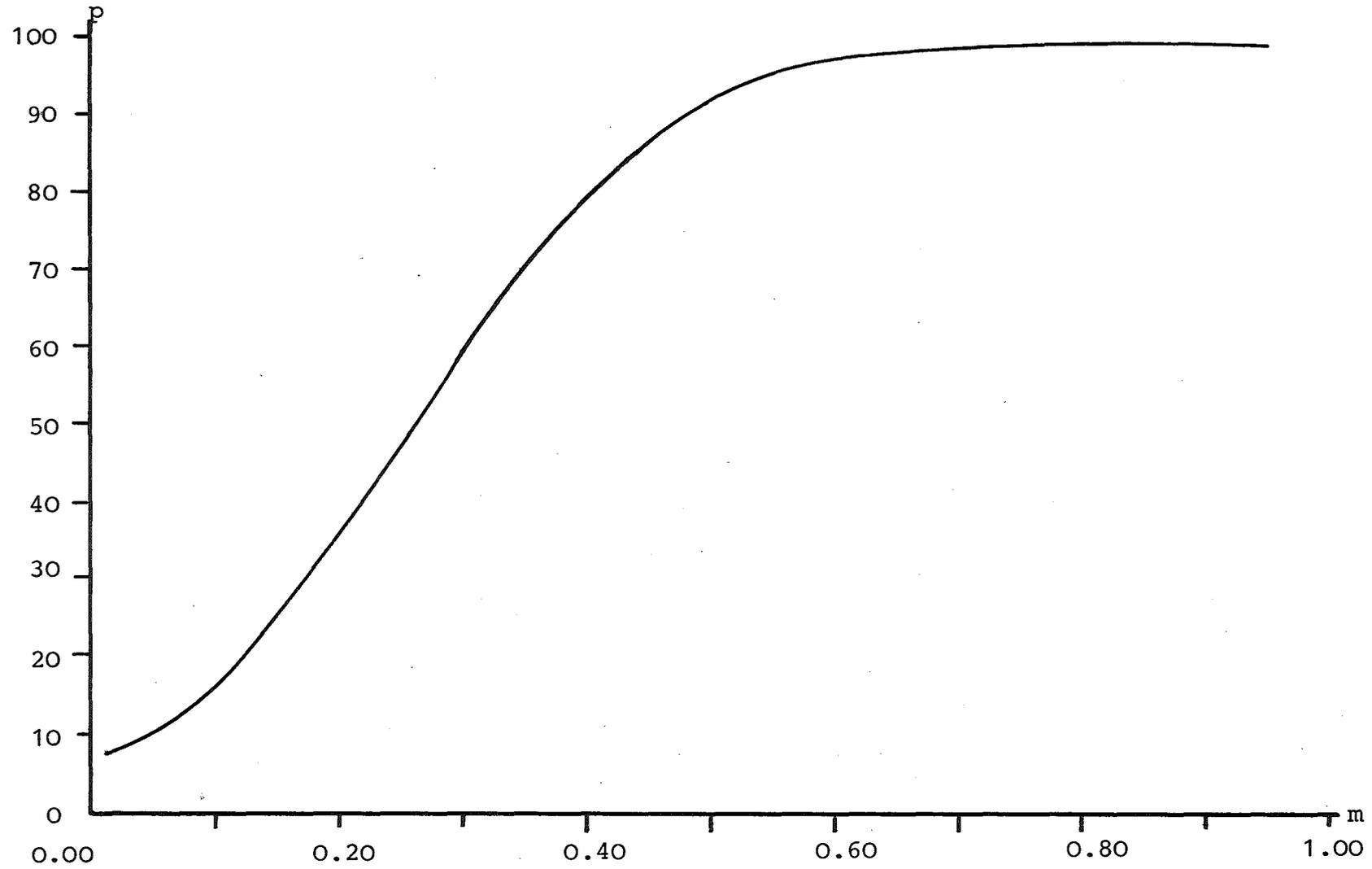


Abb. 6.4/1: Entdeckungswahrscheinlichkeit einer Fehlmenge M für Konversion (ohne Probenahmefehler)

6.5 Zu den Verhandlungen der neuen Verordnung der Kommission der Europäischen Gemeinschaften zur Anwendung der Bestimmungen des EURATOM-Vertrages über die Sicherheitsüberwachung (Kernmaterialüberwachung)

6.5.1 Übersicht über die Arbeiten

Die Diskussion des Entwurfs einer Verordnung der Kommission der Europäischen Gemeinschaft über die Kernmaterialüberwachung, durch die eine Anpassung der Verpflichtungen der Betreiber hinsichtlich Buchführung und Berichterstattung gegenüber EURATOM an die von EURATOM im Verifikationsabkommen übernommenen Pflichten erreicht werden soll, hatte 1975 begonnen /6-2 /. Sie bildete wegen ihrer praktischen Bedeutung und ihrer Auswirkungsmöglichkeiten sowohl bei Betreibern wie auch bei Überwachungsbehörden ein zentrales Thema der Arbeiten zur Implementierung der Überwachung nach dem Verifikationsabkommen.

Das Projekt Spaltstoffflußkontrolle hatte das BMFT zu beraten, wobei an die bereits im Vorjahr ausgearbeiteten Stellungnahmen, die im Verlaufe der vom BMFT geführten Verhandlungen mehrfach fortgesetzt mit Vertretern der kerntechnischen Industrie weitergeführt wurden, anzuknüpfen war. An den Verhandlungen der Anhänge zur Verordnung nahm das Projekt Spaltstoffflußkontrolle neben dem BMFT und Vertretern der kerntechnischen Industrie teil.

Die Diskussion des Verordnungsentwurfs führte in den bereits im Vorjahresbericht dargestellten generellen Punkten zu folgenden Ergebnissen:

1. Aufnahme von Verpflichtungen aus der alten Verordnung 8 (V) parallel zu solchen aus Verifikationsabkommen (VA) und Ergänzenden Abmachungen (EA), wie als wichtigstem Beispiel die Verpflichtung zur Buchung und Meldung getrennt nach Chargen (VA), nach Anreicherungsgraden (V) und nach "besonderen Überwachungsverpflichtungen", d.h. Vertragsnummern (V):

Es konnte erreicht werden, daß nur zwei Anreicherungskategorien neben abgereichertem Uran und Natururan zu berücksichtigen sind, ferner, daß nicht länger nach Vertragsnummern getrennt zu melden und zu bilanzieren ist. Es sind lediglich in Bestandsänderungsberichten und Bestandslisten Angaben über die Herkunft nach einem vereinfachten Schema zu machen. Bei Transfers ist, entsprechend einer alten Vorschrift in den römischen Verträgen, der geplante Verwendungszweck anzugeben.

2. Beibehaltung von Verpflichtungen, die nach dem Inkrafttreten des Verifikationsabkommens in Fortfall kommen sollten, wie die Überwachung von Erzen: Die Überwachung von Erzen muß wegen einer entsprechenden Verpflichtung in den römischen Verträgen beibehalten werden.
3. Nichtberücksichtigung von Erleichterungen, die nach dem Verifikationsabkommen möglich sind, wie Beendigung der Überwachung an nicht weiter verwendbarem Kernmaterial, Befreiung kleiner Mengen und Pu mit über 80 % Pu-238: Die Befreiung ist nach der endgültigen Fassung der Verordnung nunmehr möglich.
4. Neuaufnahme von Verpflichtungen, wie die Meldung von nuklearer Produktion und nuklearem Verbrauch an Reaktoren bereits für "endültig entladene" Brennelemente, d.h. auch vor deren Abtransport: Die Vorschrift findet sich in der endgültigen Fassung nicht mehr.
5. Nichtberücksichtigung der Möglichkeiten, fortgeschrittene Verfahren bei Kernmaterialbuchführung und -berichterstattung einzuführen, wie die digital accountancy für mit Nummern gekennzeichnete Brennelemente, entsprechend einem von Reaktorbetreibern und Projekt Spaltstoffflußkontrolle ausgearbeiteten Konzept: Das Verfahren könne wegen entgegenstehender formaler Vorschriften des Verifikationsabkommens nicht durchgesetzt werden.

Bei den Verhandlungen der Anhänge zur Verordnung brachte das Projekt Spaltstoffflußkontrolle die Meldeformulare ein, die gemeinsam mit Vertretern der Industrie entworfen worden waren /6-2/.

Literaturverzeichnis zu Kapitel 6:

/6-1/ KFK-Bericht (in Vorbereitung)

/6-2/ Projekt Spaltstoffflußkontrolle, Jahresbericht 1975,
KFK 2295

/6-3/ Avenhaus, R., Nakicenovic, N., "Material Accountability
and its Verification: A special Example of Multi-
variate Statistical Inference", Research Report of the
International Institute for Applied Systems Analysis,
Laxenburg, Austria, RR-75-25, July 1975

Kapitel 7: ARBEITEN ZUR ENTWICKLUNG UND ERPROBUNG
VON ÜBERWACHUNGSKONZEPTEN IN KERN-
TECHNISCHEN EINRICHTUNGEN

7.1	Einleitung D. Gupta	7-1
7.2	Große Wiederaufarbeitungsanlage KEWA D. Gupta, W. Rust	7-2
7.3.1	Anreicherungsanlagen nach dem Gas-Ultra- Zentrifugenverfahren W. Bahm	7-6
7.3.2	Anreicherungsanlagen nach dem Trenndüsen- verfahren W. Bahm	7-12
7.4.1	Kernforschungszentrum Karlsruhe W. Rust	7-14
7.4.2	Kernforschungszentrum Jülich und kleinere Forschungszentren H. Büker, R. Buttler, U. Kotte, G. Stein	7-15
7.5	Kugelhaufenreaktoren H. Büker, H. Engelhardt	7-17
7.6	Schnellbrutreaktor R. Avenhaus, Chr. Brückner, H. Frick	7-20
	Literaturverzeichnis zu Kapitel 7	7-24

Kapitel 7: Arbeiten zur Entwicklung und Erprobung von Überwachungskonzepten in kerntechnischen Einrichtungen

7.1 Einleitung

Die Arbeiten zu Überwachungskonzepten wurden im Jahre 1976 intensiviert. Das F+E-Programm für die große Wiederaufarbeitungsanlage KEWA wurde gemeinsam mit den Vertretern der KEWA und des PWA ausgearbeitet und der Beitrag zur Kernmaterialüberwachung in dem Sicherheitsbericht fertiggestellt. Im Bereich der Urananreicherung wurden die Untersuchungen zum Überwachungskonzept in Referenzanlagen mit Gas-Ultrazentrifugen zu einem vorläufigen Abschluß gebracht und mit den Arbeiten für die nach Brasilien zu liefernde Anreicherungsanlage nach dem Trenndüsenverfahren begonnen. Die Entwicklungsarbeiten für Forschungszentren wurden abgeschlossen. Ein weiteres Arbeitsgebiet im Bereich der Konzeptentwicklung stellen die fortgeschrittenen Reaktorsysteme im HTR und SNR dar.

Die Arbeitsgruppe Spaltstoffflußkontrolle der KFA Jülich führt im Auftrag des Projektes Spaltstoffflußkontrolle Arbeiten auf dem Gebiet der Entwicklung von Systemen zur Kernmaterialüberwachung in Forschungszentren und im HTR durch.

7.2 Große Wiederaufarbeitungsanlage KEWA

Im Laufe des Jahres 1976 wurde in mehreren Arbeitssitzungen zwischen den Vertretern der KEWA und der Projekte Spaltstoffflußkontrolle und PWA ein F+E-Programm für die Entwicklung und Erprobung eines Überwachungskonzeptes für die große Wiederaufarbeitungsanlage KEWA ausgearbeitet. Bis Ende 1976 wurde der SpfK-Teil des Sicherheitsberichtes fertiggestellt. Die für 1976 vorgesehenen restlichen Arbeiten konnten wegen Personalmangels nicht aufgenommen werden. Eine weitere Verzögerung trat durch die Umorganisation im Industriebereich ein.

Die im F+E-Programm vorgesehenen Forschungsvorhaben (FOV) enthalten Arbeiten zu BE-Empfang, -Lagerung, -Auflösung, reale Bestandsaufnahme, Pu-Endprodukte, radioaktive Abfälle, Informationssystem und Entwicklung des Gesamtkonzeptes. Die einzelnen FOV sind im folgenden kurz beschrieben.

FOV 1 BE-Empfang, -Lagerung, -Zerlegung, -Auflösung

- a) Logistik der BE-Lagerung und -Handhabung im Lagerbecken, BE-Identifizierung, Siegelprüfung, Zählbilanzierung, Surveillance-Maßnahmen
 - b) Eingangsbilanzierung in einer Shipper/Receiver-Differenz-MBZ, Shippers data, Definition der Eingangsmeßchargen, Zusammenstellung nach BE-Populationen (z.B. Reaktorteilladungen), zugehörige Primärdaten
 - c) Identitätswahrung der BE-Populationen bei Übergabe in die mechanische Zelle, beim Zerlegen, Zerschneiden und Füllen des Dissolvers
 - d) Zugabe von rückgeführten, spaltstoffhaltigen Reagenzien in den Auflöser, Untersuchungen zur Notwendigkeit für deren Bestimmung
 - e) Bedingungen für die Verfolgung von Kernmaterial in Hülsen, Filterschlamm und Zentrifugenwaste in den zugehörigen Lösungschargen (Meßprobleme)
- Ergebnisse dazu fließen aus anderen PWA- oder SpfK-Vorhaben ein.

- f) Eingangsmießtank-Konzept: konstantes Volumen, Meßverfahren und Instrumentierung, Kalibrierung (z.B. während des Betriebes)
- g) Probenahme, Probenzahl, Analyse (Repräsentativität zum gelösten Brennstoff), Materialverschmierung
- h) Anwendung von Pu/U-Methode und Isotopen-Korrelationen
- i) gegebenenfalls Gesichtspunkte aus Kundenvertragsbedingungen für Eingangsbilanz

FOV 2 Reale Bestandsaufnahme

- a) Analyse des betrieblichen Verfahrens
- b) Entwicklung von Verfahren zur Aufnahme des realen Bestands und deren betriebliche Belastung (clean-out, Teil-clean-out, running inventory, dynamic inventory)
experimentelle Teilerprobung in der WAK
- c) Häufigkeit und Meßverfahren, Meßgenauigkeiten
- d) Untersuchungen zur Erfassung des größten Teils des realen Bestands durch Messungen des Kernmaterials in Pufferbehältern des Prozeßbereichs und zur gleichzeitigen Erfassungsmöglichkeit des restlichen Inventars in den übrigen Prozeßteilen
- e) Inventarsicherung durch Containment- und Surveillance-Maßnahmen im Rahmen der internationalen Überwachung

FOV 3 Uran- und Plutonium-Endprodukte

- a) Chargendefinition
- b) Materialidentifikation, Problem regim/origin
- c) Überwachungskonzepte für mögliche Formen von Transfers zur Weiterbehandlung des Endprodukts
- d) Lagerkonzepte mit Surveillance- und Containment-Maßnahmen
- e) ggf. Gesichtspunkte aus Kundenvertragsbedingungen
- f) Untersuchungen der Überwachungsmöglichkeiten im Pu-Endproduktbereich infolge der günstigen Auslegung dieses Anlageteils in bezug auf Surveillance- und Containment-Maßnahmen im Rahmen der internationalen Überwachung

FOV 4 Radioaktive Abfälle

- a) Möglichkeiten der Kernmaterialerfassung in allen relevanten Waste-Kategorien, Chargendefinition
- b) Meßtechnische Erfassung und Verifikation der Messungen
- c) Buchmäßige Erfassung, Termination, Verfahren vor Termination, retained Waste

FOV 5 Informationssystem

- a) Erarbeitung eines Safeguards-relevanten Protokoll- und Berichtsystems
- b) Analyse der Probleme bei der Erstellung von Mengenbilanzen:
 - erreichbare Meßgenauigkeiten an verschiedenen Schlüsselmeßpunkten für Durchflußmessung und Inventarbestimmung
 - nicht erfaßte Verluste (Filterschlamm, Zentrifugenwaste)
 - andere Komponenten des MUF
 - Referenzkampagnen

FOV 6 Bearbeitung des Gesamtkonzepts

- a) Gesamtüberwachungskonzept aus den Ergebnissen FOV 1 - FOV 5
- b) Modelle design information und facility attachment

Für die Durchführung und rechtzeitige Erstellung der Ergebnisse der Arbeiten wurden bis 1981 ca. 5 MJ/a (wovon 4 MJ/a vom Projekt und 1 MJ/a von KEWA zur Verfügung gestellt werden) für erforderlich gehalten.

Ende 1976 wurde von KEWA festgestellt, daß sie nicht mehr für den Entwurf und Betrieb der Anlagenteile BE-Lagerung und Pu-Endprodukte zuständig sein wird. Die Arbeiten, die mit der KEWA gemeinsam durchzuführen sind, wurden deshalb etwas anders organisiert. Ab 1977 steht dem Projekt 1 MJ/a für diese Arbeiten zur Verfügung.

Nach der derzeitigen Planung soll die Wiederaufarbeitungsanlage gemeinsam mit einigen anderen Teilen eines nuklearen Brennstoffzyklus (z.B. Urankonversion, Herstellung von Pu-haltigen Brennelementen, Abfallkonditionierung und -Lagerung usw.) in einem "nuklearen Entsorgungszentrum" (NEZ) gebaut werden. Das Projekt ist vom BMFT beauftragt, das Überwachungskonzept für die einzelnen Einrichtungen sowie für das gesamte Entsorgungszentrum auszuarbeiten. Die IAEA und EURATOM haben auch ihr Interesse bekundet, bei der Entwicklung und Erprobung des Konzepts mitzuwirken. Ab 1977 werden Arbeiten zur NEZ im Projekt verstärkt durchgeführt.

7.3.1 Anreicherungsanlagen nach dem Gas-Ultra-Zentrifugenverfahren

In den vergangenen Jahren hat das Projekt gemeinsam mit den Firmen URANIT und DORNIER SYSTEM Untersuchungen zur Kernmaterialüberwachung in Gas-Ultra-Zentrifugen (GUZ)-Anlagen durchgeführt, deren Detailergebnisse den derzeitigen Bestimmungen der Geheimhaltung unterliegen.

Für eine Sitzung der "IAEA Advisory Group" im März 1977 in Tokio über Kernmaterialüberwachung in Anreicherungsanlagen wurden als Beitrag von seiten der Bundesrepublik die wichtigsten Ergebnisse in veröffentlichbarer Form zusammengefaßt /7-1/, die im folgenden kurz wiedergegeben werden.

Im Hinblick auf die von der IAEO geäußerten Vorstellungen zur Genauigkeit der Materialbilanzierung in Anreicherungsanlagen wurde für eine Referenzanlage mit einer installierten Trennleistung von 500 t UTA/a bzw. 1000 t UTA/a die Standardabweichung σ (MUF) in Abhängigkeit vom Bilanzierungszeitraum errechnet. Die uranhaltigen Abfälle wurden nicht berücksichtigt, da aufgrund der vorliegenden Erfahrungen kein nennenswerter Beitrag zu erwarten ist.

Die für die Bilanzierung notwendigen Anlagendaten sowie die Meßgenauigkeiten auf der Basis des UF_6 -Interlaboratoriumstests /7-2/ sind in Tab. 7.3/I zusammengefaßt.

Frühere Untersuchungen haben gezeigt, daß die Genauigkeit der Materialbilanzierung praktisch nur vom systematischen Meßfehler abhängt, da der Anteil des zufälligen Fehlers um eine Größenordnung kleiner ist. Der in Tab. 7.3/I angegebene systematische Fehler von $\leq 0,15$ % wurde als systematischer Fehler zufälligen Ursprungs interpretiert und $\sigma = 0,15$ % gesetzt. In Tab. 7.3/II sind die Varianzen der Durchflußmessung (F, P, T) und der Aufnahme des realen Bestandes sowie die auf den Durchfluß bezogene Standardabweichung des MUF zusammengestellt.

Es zeigt sich, daß unter den genannten Voraussetzungen die Bilanzierung der einer Messung zugänglichen UF_6 -Mengen bei 1 bis 2 Inventuren pro Jahr mit einer auf den Durchfluß bezogenen Standardabweichung von $\approx 0,2\%$ möglich ist, wobei die absoluten U-235-Mengen zwischen 6,5 kg (2 Inv./a, 500 t UTA/a) und 26 kg (1 Inv./a, 1000 t UTA/a) betragen können. Durch Verkleinerung des Bilanzierungszeitraumes auf einen Monat bzw. eine Woche läßt sich die Standardabweichung $\sigma(MUF)$ auf einen Wert zwischen 1 kg und 3,3 kg reduzieren (s. Tab. 7.3/III).

Neben den einer Messung leicht zugänglichen UF_6 -Mengen gibt es auch solche, die im Rahmen einer Inventur nicht ohne weiteres meßtechnisch erfaßt werden können, wie z.B. UF_6 -Inhalt in Kühlfällen, Restinhalt in Desublimatoren etc., und somit einen Beitrag zum Erwartungswert des MUF ($E(MUF)$) liefern können, der je nach Betriebszustand bis zu 20 kg U-235 betragen kann. Hier sind noch einige Überlegungen in der Richtung notwendig, inwieweit diese UF_6 -Mengen in einem günstigen Betriebszustand verifiziert und mittels geeigneter Parameter auf den Inventurzeitpunkt extrapoliert werden können. Nicht verifizierbar bleibt das UF_6 -Inventar in den Kaskaden, solange eine Anlage in Betrieb ist.

Tabelle 7.3/I: Durchsatz, Inventar und Meßgenauigkeit für Referenzanlage

	500 t UTA/a		1000 t UTA/a	
	Durchsatz			
	t U	Kg U-235	t U	Kg U-235
Feed	964	6 850	1928	13 700
Product	147	4 400	293	8 800
Tails	817	2 450	1635	4 900
Prozeßinventar				
	t U	Kg U-235	t U	Kg U-235
<u>Feed</u>				
Autoklaven	4.08-20.4	29 -145.0	20.4- 27.2	145-193.4
Feed-Reinigung	-	-	0 - 0.7	0- 5.0
Container	0 - 1.36	0 - 9.7	0 - 13.6	0- 96.7
UF ₆ -Fallen	0 - 0.027	0 - 0.19	0 - -	0- 0.2
<u>Product</u>				
Desublimatoren	0.34- 1.7	10.2- 51.0	0 - 10.2	0-306.0
Container	0 - 5.44	0 -163.0	0 - 13.6	0-408.0
UF ₆ -Fallen	0 - 0.255	0 - 7.6	0 - 0.3	0- 9.0
<u>Tails</u>				
Desublimatoren	1.7 - 8.5	5.1- 25.5	0 - 40.8	0-122.4
Container	0 -16.32	0 - 49.0	0 -136.0	0-408,0
UF ₆ -Fallen	0 - 0.255	0 - 0.76	0 - 0.3	0- 0.9
<u>Kaskaden</u>	0 - 0.068	0 - 0.68	0 - 0.2	0- 2.0
(Gasinventar und Ablagerungen)				
Summe	6 -54.0	50 -452.0	21 -243.0	146-1151.0

Tabelle 7.3/I - Fortsetzung

<u>Konzentration</u>	U-235		
Feed	0.711 %		
Product	3.0 %		
Tails	0.3 %		
<u>Meßgenauigkeit</u>		<u>systematisch</u>	<u>zufällig</u>
		(1 σ)	(2 σ)
UF ₆ -Wägung		≤ 0.02 %	0.01 %
UF ₆ - massenspektrometrische Messung			
Feed		≤ 0.15 %	0.01 %
Product		≤ 0.15 %	0.01 %
Tails		≤ 0.15 %	0.04 %

Tabelle 7.3/II: Varianz (MUF), σ (MUF), prozentuale Standardabweichung für die Materialbilanzierung

	500 t UTA/o	1,000 t UTA/a
	VAR (MUF) für 1 Inventur/a	
	U-235 kg ²	U-235 kg ²
VAR (PI ₀)	0.45	5.42
VAR (F)	105.57	422.32
VAR (P)	43.56	174.24
VAR (T)	13.5	54.02
VAR (PI ₁)	0.45	5.42
VAR (MUF)	163.5	661.43
σ (MUF)	± 12.8 kg U-235	± 25.7 kg U-235
<hr/>		
$\frac{\sigma (MUF)}{F}$	± 0.19 %	± 0.19 %
<hr/>		

	VAR (MUF) für 2 Inventuren/a	
	U-235 kg ²	U-235 kg ²
VAR (PI ₀)	0.45	5.42
VAR (F)	2.63	105.57
VAR (P)	10.89	43.56
VAR (T)	3.37	13.50
VAR (PI ₁)	0.45	5.42
VAR (MUF)	41.55	173.47
σ (MUF)	± 6.5 kg U-235	± 13.2 kg U-235
<hr/>		
$\frac{\sigma (MUF)}{F}$	± 0.19 %	± 0.19 %
<hr/>		

- PI₀ Startinventar zu Beginn des Bilanzierungszeitraumes
 F Feed im Bilanzierungszeitraum
 P Product im Bilanzierungszeitraum
 T Tails im Bilanzierungszeitraum
 PI physikalisches Inventar am Ende des Bilanzierungszeitraumes
 σ Standardabweichung des MUF in absoluten Mengen

Tabelle 7.3/III: σ (MUF) in Abhängigkeit von der Anzahl der Inventuren/a

		jährlich	halbjährlich	monatlich	wöchentlich
500 t UTA/a	σ (MUF) Kg U-235	12.8	6.5	1.4	0.98
1000 t UTA/a	σ (MUF) Kg U-235	25.7	13.2	3.9	3.3

Als Fazit läßt sich sagen, daß eine den derzeitigen Forderungen entsprechende Kernmaterialüberwachung einer GUZ-Anlage mittels Materialbilanz möglich sein wird.

7.3.2 Anreicherungsanlagen nach dem Trenndüsenverfahren

Das deutsch-brasilianische Abkommen beinhaltet u.a. die Lieferung einer Trenndüsen-Demonstrationsanlage an Brasilien, die gemäß den IAEO-Regelungen überwacht werden soll.

Der Bundesminister für Forschung und Technologie (BMFT) hat das Projekt Spaltstoffflußkontrolle der Gesellschaft für Kernforschung mbH. gebeten, gemeinsam mit den beteiligten Firmen und dem Projekt Trenndüse der GfK ein Überwachungskonzept nach dem NV-Vertrag zu erarbeiten und die erforderlichen F+E.-Arbeiten für die Verwirklichung des Konzeptes durchzuführen.

Im zweiten Halbjahr 1976 wurden im Rahmen einer Projektdefinitionsphase die aus der speziellen Technologie der Trenndüse resultierenden Probleme der Kernmaterialüberwachung herausgearbeitet.

Erste Rechnungen unter vereinfachenden Annahmen haben gezeigt, daß die Aufnahme des realen Bestandes mit den betrieblich vorgesehenen Meßsystemen zu einer Bilanzierungsungenauigkeit führt, die um einiges über den derzeitigen Vorstellungen der Überwachungsbehörde liegt. Weiterhin existieren derzeit noch keine Erfahrungswerte über UF_6 -Verluste durch Abfälle, Ablagerungen etc.

Die weiteren Arbeiten werden sich deshalb zunächst konzentrieren auf

- die Erarbeitung eines Konzeptes zur Aufnahme des realen Bestandes,
- falls notwendig, zusätzliche überwachungsspezifische Instrumentierung und
- experimentelle Untersuchungen zur Ermittlung von Gasinventar, Ablagerungen und Leckagen.

Die Ergebnisse der Projektdefinitionsphase sind in einem Bericht zusammengestellt /7-3/.

7.4.1 Kernforschungszentrum Karlsruhe

Im Zusammenhang mit der bevorstehenden Durchführung von Sicherungsmaßnahmen nach dem Verifikationsabkommen und der neuen KEG-Verordnung Nr. 3227/76 wurde zur Erfassung und Verarbeitung der erforderlichen Daten und Bereitstellung der Protokolle und Meldungen des obligatorischen Protokoll- und Berichtssystems für das KFZK der Einsatz eines autarken Rechnersystems geplant.

Als Grundlage für die Spezifikation des Rechnersystems wurden

- eine Analyse der Kernmaterialverteilung und -Bewegungen der Institute des KFZK erstellt,
- Kernmaterialflußbilder von 6 Institutsbereichen, in denen sich rd. 96 % der genehmigten Kernmaterialmengen bzw. ca. 99,5 % des durchschnittlich vorhandenen Kernmaterial-Inventars befindet, für die Jahre 1973-1975 erarbeitet.

Auf der Basis dieser Ergebnisse wurden für jeden der 6 Bereiche die Anforderungen an das rechnergestützte Protokollsystem festgelegt und die Zustimmung der betreffenden Bereiche eingeholt. Diese Anforderungen beinhalten neben den obligatorischen safeguards-relevanten sämtliche für die jeweiligen betriebsinternen Abwicklungen benötigten betriebsrelevanten Daten, sodaß in diesen Bereichen sämtliche innerbetrieblichen Kernmaterialbewegungen rechnerisch erfaßt und sowohl dezentral in den jeweiligen Bereichen als auch zentral durch die Buchführungszentrale ASS/TSB ausgewertet werden können.

Die Anforderungen an das Datenerfassungssystem für das Kernforschungszentrum Karlsruhe wurden in einem internen Arbeitsbericht erfaßt.

7.4.2 Kernforschungszentrum Jülich und kleinere Forschungszentren

Die von der Arbeitsgruppe Spaltstoffflußkontrolle (SFK) entwickelte Gesamtkonzeption eines Kontrollsystems für Kernmaterial in einem Forschungszentrum wurde bereits auf dem Symposium der IAEA im Oktober 1975 vorgestellt. Die Arbeiten zur detaillierten Ausführung verschiedener Bestandteile des Kontrollsystems wurden in 1976 verstärkt weitergeführt. Das vorgesehene Kontrollsystem vereinigt ein Buchhaltungssystem und ein Meßsystem in einem für den Betreiber geeigneten organisatorischen Rahmen. Zur Sicherung der notwendigen Aktualität und Transparenz der für die Kernmaterialüberwachung erforderlichen Daten wurde eine den Betreiber bei der Verwaltung des Materials unterstützende, computergestützte Buchhaltung vorgesehen. Die Ausarbeitung der Spezifikationen des Buchhaltungssystems folgte der im Jahre 1975 erarbeiteten "Rahmenkonzeption der Buchhaltung für die Kernmaterialüberwachung". Diese Arbeiten wurden bis Mitte 1976 in Zusammenarbeit mit einem Arbeitskreis durchgeführt, dem Mitarbeiter der KFA aus HZ, TD-DE, ZST, EM-MAT und SFK angehören.

Das konzipierte, computergestützte Buchhaltungssystem operiert auf zwei Ebenen. Die untere Ebene wird von der betriebsinternen Kernmaterialverwaltung der Institute gebildet. Diese erfüllt die Anforderungen des Strahlenschutzes, der Kritikalitätskontrolle sowie anderer betrieblicher Regelungen. Die obere Ebene genügt den Kontroll- und Meldeaufgaben einer zentralen Stelle, die Berichte zusammenstellen und Auskünfte über das Kernmaterial im gesamten Forschungszentrum erteilen kann. Beide Ebenen bedienen sich einer gemeinsamen Datenbank. Aus Gründen der Wirtschaftlichkeit nutzt das Buchhaltungssystem die gegebene technische Infrastruktur der KFA, d.h. der zentrale Computer mit den vorhandenen Terminals wird zum Betrieb der Datenbank verwendet.

Ab Mitte 1976 wurde vorrangig die Realisierung der Belange der unteren Ebene in einem typischen Teilbereich, den Heißen Zellen der KFA, betrieben. Aufgrund einer Vereinbarung zwischen HZ, ZST, ZAM und SFK wurde von einer entsprechenden Arbeitsgruppe

ein Detailkonzept erarbeitet, dessen 1. Teil mit einem Zeitplan zur programmierreifen Ausarbeitung des Konzepts bereits Ende 1976 vorgelegt wurde. Die Arbeiten an der Gesamtkonzeption des Kontrollsystems für Kernforschungszentren wurden mit dem Abschlußbericht für den Forschungsauftrag der IAEA "Procedures for the Accounting and Control of Nuclear Materials in Large Research Centres, as Related to the Needs of International Safeguards" im April 1976 vorläufig abgeschlossen. Dieser Bericht enthält alle wesentlichen von der Arbeitsgruppe Spaltstoffflußkontrolle zum Problem der Kontrolle von Kernmaterial in Kernforschungszentren erarbeiteten Ergebnisse. Die wichtigsten Resultate werden im folgenden genannt:

Die Aufteilung der KFA in Materialbilanzzonen folgt den Anlagentypen. Dabei werden unterschieden: Forschungsreaktoren, kritische Anordnungen, ein Lagerbecken und Laboratorien. Dementsprechend ergeben sich für die KFA 6 Materialbilanzzonen (siehe Bild 7.4/1). Weiterhin wird im wesentlichen jedem Genehmigungsbereich ein Schlüsselmeßpunkt für Bestandsaufnahmen zugeordnet. Die Festlegung von Chargen wird sich auf die im Buchhaltungssystem des Betreibers definierten Inventareinheiten stützen. Ein auf diesen Überlegungen basierender Entwurf des anlagenspezifischen Anhangs für den Bereich Laboratorien der KFA wurde gemeinsam mit EURATOM erarbeitet.

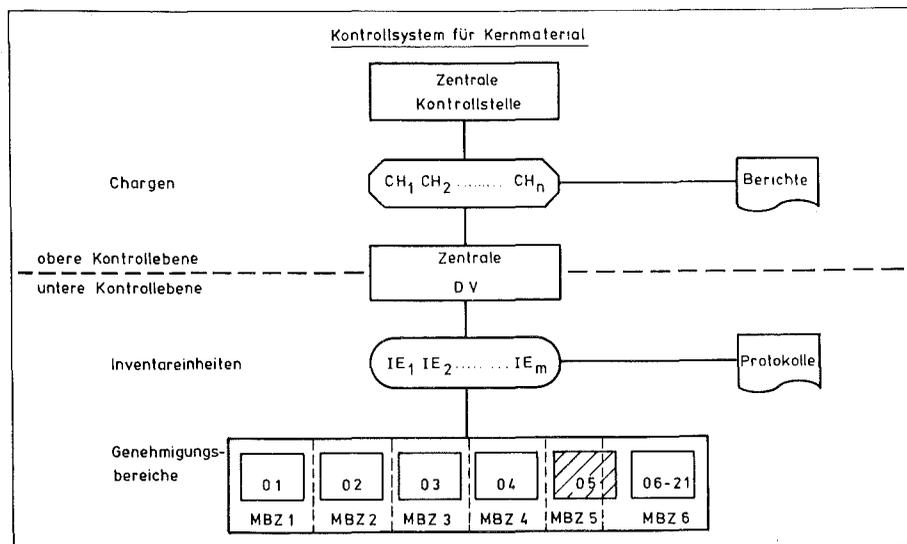


Bild 7.4/1: Kontrollsystem für Kernmaterial

Probleme der meßtechnischen Bestimmung von Kernmaterialdaten werden in einem Arbeitskreis unter Mitarbeit verschiedener KFA-Institute und der ZST behandelt.

Bei den Überlegungen zum Kontrollkonzept hat es sich als sinnvoll erwiesen, eine zentrale Meßstelle zu etablieren, die im wesentlichen Kontrollmessungen durchführen soll. In ihrer ersten Ausbaustufe wird diese zentrale Meßstelle mit einem sehr flexiblen Meßgerät vom Typ MAS (Multipurpose Assay System) ausgerüstet. Mit diesem Meßsystem kann unbestrahltes Kernmaterial auf seinen fissilen und fertilen Gehalt hin untersucht werden. Das harte Spektrum, das durch geeignete Moderatormaterialien weicher gemacht werden kann, erzeugt in der Probe Spaltneutronen und γ -gammas, die mit einer Vierdetektoranordnung in schneller Koinkidenz nachgewiesen werden. Der Probetrieb mit diesem Gerät wird 1977 abgeschlossen.

7.5 Kugelhaufenreaktoren

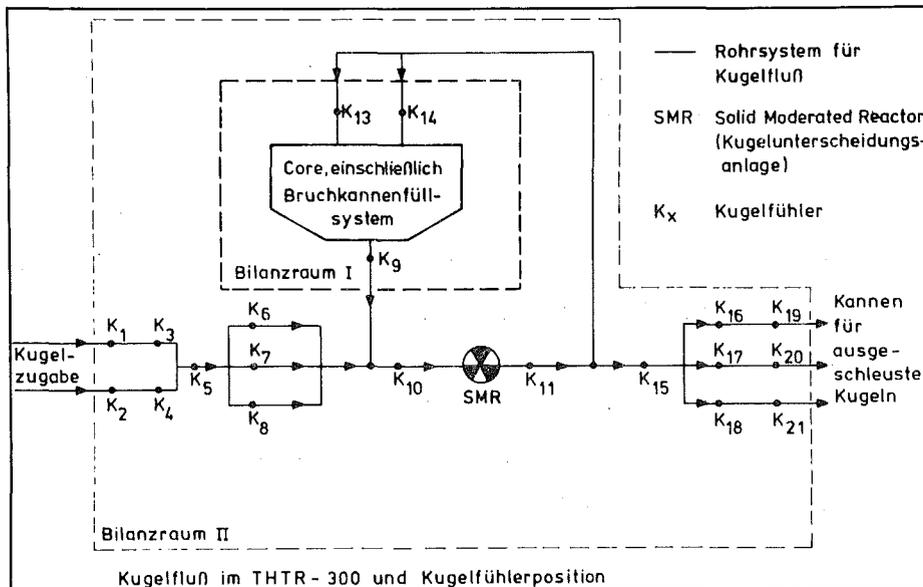
Die Konzipierung eines Überwachungssystems für Kugelhaufenreaktoren erfolgt in enger Zusammenarbeit mit den Firmen AVR, VEW, HKG und HRB sowie der IAEA (Forschungsvertrag). Im Berichtsjahr konzentrierten sich die Arbeiten auf die beiden deutschen Reaktoren AVR und THTR-300. Es wird jedoch angestrebt, allgemeingültige, für alle Kugelhaufenreaktoren anwendbare Elemente des Überwachungssystems festzulegen.

Es wird erwartet, daß die Arbeiten am Kontrollkonzept Ende 1977 abgeschlossen sind. Für das Jahr 1978 ist die Implementierung der im Konzept erarbeiteten Kontrollverfahren im THTR-300 vorgesehen.

Bei der Erstellung des Sicherungskonzeptes für Kugelhaufen-HTR wurde versucht, wesentliche Elemente des Kontrollmodus für Leichtwasserreaktoren zu übernehmen. Es zeigte sich, daß für das Eingangslager für frische Brennelemente und das Lager für abgebrannte Elemente keine wesentlichen Änderungen gegenüber den für Leichtwasserreaktoren bestehenden Überwachungsmaßnahmen einge-

führt werden müssen. Wegen der Kugelhaufen-HTR-spezifischen Besonderheiten sind jedoch für den Coreteil des Reaktors (einschließlich des Beschickungssystems) neue Sicherungs- und Kontrollverfahren konzipiert worden. Die Kernmaterialüberwachung stützt sich auf die zahlreichen (für den Betrieb der Anlage erforderlichen) Kugelzähl- und Bilanzierungseinrichtungen. Bild 7.5/1 macht deutlich, daß die Elemente nicht lediglich (und dazu redundant) am Eingang der Beschickungsanlage und beim Ausschleusen gezählt werden, sondern daß eine Anzahl weiterer Zähler innerhalb des Beschickungssystems installiert ist, die auch für die Zwecke der Überwachung des Kernmaterialflusses zur Zählung und Bilanzierung herangezogen werden können. Es ist möglich, den Kugelfluß durch die Beschickungsanlage und das Reaktorcore mittels der Zählgeräte zu verfolgen und Kontrollbilanzen zur Verifikation der Zählungen aufzustellen.

Bild 7.5/1: Kugelbilanzierung



Beispielhaft sind im Bild 7.5/1 zwei willkürliche unterschiedliche Bilanzräume I und II herausgegriffen, deren Bilanzierung mit Hilfe von unterschiedlichen Kugelzählgeräten jeweils zum gleichen Ergebnis (Coreinventar) führen muß. Die Bilanzgleichungen sehen wie folgt aus:

1. $I_{\text{core}_I} = ZK_{13} + ZK_{14} - ZK_9$ Bilanzraum I
2. $I_{\text{core}_{II}} = ZK_1 + ZK_2 - (ZK_{19} +$
 $+ ZK_{20} + ZK_{21})$ Bilanzraum II
3. $I_{\text{core}_I} = I_{\text{core}_{II}}$

I_{core} = Anzahl der Kugeln im Core einschließlich
 Bruchkannenfüllsystem

ZK_x = Zählerstände der Kugelzählmessung (akkumuliert)

Bemerkung: die Gleichungen müssen nicht zeitgleich erfüllt sein!
 Unsicherheit: max. 24 h

Darüber hinaus sind mit Hilfe der installierten Kugelzählinstrumentierung weitere 13 Kontrollrechnungen möglich, wenn die Zählgeräte akkumulierte Zählerstände ausweisen.

Die bisherigen Arbeiten am Kontrollkonzept deuten darauf hin, daß nur geringfügige Modifikationen an der Instrumentierung der Beschickungsanlage erforderlich sind, um eine wirkungsvolle Kernmaterialüberwachung zu gewährleisten.

7.6 Schnellbrutreaktor (Kernkraftwerk Kalkar; SNR 300)

7.6.1 Vorbemerkung

Im Zuge der weiteren Realisierung des gemeinsam mit dem Projekt Spaltstoffflußkontrolle entwickelten Überwachungskonzeptes für den SNR 300 arbeitete INB design-specifications für die vorge-sehene Instrumentierung aus und diskutierte sie zusammen mit dem Projekt mit EURATOM und Vertretern der IAE0. Das Projekt beteilig-te sich mit einem Beitrag über die Festlegung von Zuverlässigkeits-anforderungen an die Instrumentierung.

7.6.2 Zu den Zuverlässigkeitsanforderungen an das "Inaccessible Inventory Instrumentation System" (IIIS) für den SNR 300

7.6.2.1 Zielsetzung

Es wird im folgenden der Versuch unternommen, die Zuverlässig-keitsanforderungen an das IIIS auf die unter den "Regeln und Methoden für die Abschätzung des tatsächlichen Routineinspek-tionsaufwandes" in den Ergänzenden Abmachungen angegebenen Forderungen für die Wahrscheinlichkeit einer Feststellung der Abzweigung signifikanter Mengen Kernmaterials bzw. die in diesem Zusammenhang zulässigen Wahrscheinlichkeiten für ein Eintreten von Fehlern erster Art und zweiter Art bei Probenahmen zur Kern-materialüberwachung zurückzuführen.

Nach den Ergänzenden Abmachungen (Abs. I/7 der Einleitung) muß der Verlust signifikanter Mengen mit einer Wahrscheinlichkeit von 0,95 festgestellt werden können, bzw. "bestimmen sich die Erfor-dernisse für Verfahren statistischer Probenahmen nach $\alpha = \beta = 0,05$, wobei α und β die Wahrscheinlichkeit des Eintretens von Fehlern der ersten und zweiten Art bezeichnen".

7.6.2.2 Fehler erster Art und abgeleitete Zuverlässigkeitsanforderungen

Es wurde angenommen, daß der SNR 300 eine Lebensdauer von 20 Jahren besitzt und vier mal pro Jahr Prüfungen des realen Inventars durchgeführt werden, also 80 Prüfungen des realen Inventars pro Lebensdauer.

Die von den Überwachungsbehörden durchgeführten Prüfungen des realen Bestandes, die dem Sinne nach als die im vorigen Abschnitt erwähnten Stichprobennahmen verstanden werden können, laufen im Natrium-Schutzgas-Bereich des SNR 300, für den das IIIS eingesetzt ist, in der Weise ab, daß von den Inspektoren der vom Betreiber im PIL angegebene Bestand im Bezugszeitpunkt mit dem vom IIIS aufgezeichneten Bestand verglichen wird.

Ein "Alarm" bedeutet ein Abweichen des vom IIIS im Bezugszeitpunkt angegebenen Bestandes von dem in der PIL aufgezeichneten. Ein Fehler erster Art tritt auf, wenn, obwohl die PIL mit dem tatsächlichen realen Bestand übereinstimmt und kein Kernmaterial aus dem Natrium-Schutzgas-Bereich abgezweigt wurde, diese Abweichung der IIIS-Aufzeichnung besteht. Diese kann nur durch Fehlfunktion des IIIS eintreten, wobei die Fehlfunktion irgendwann im Zeitraum von der letzten Inventur an bis zum Fehler auftreten kann.

Die Forderung, daß ein Fehler erster Art nur mit einer Wahrscheinlichkeit von höchstens 5 % auftreten darf, bedeutet, daß bei den genannten 80 Aufnahmen des realen Bestandes in höchstens 4 Fällen Alarme der beschriebenen Art eintreten dürfen. Das heißt damit, Fehlfunktionen im IIIS sind nur bis zu einer Häufigkeit von 1 pro 5 Jahre tolerierbar. Damit ist die gesuchte Zuverlässigkeitsanforderung gegeben.

7.6.2.3 Fehler zweiter Art und abgeleitete Zuverlässigkeitsanforderungen

Unter dem Auftreten eines Fehlers zweiter Art wird im vorliegenden Fall verstanden, daß der Betreiber Kernmaterial abzweigt, wobei er bei der nachfolgenden Inventur in der PIL das abgezweigte Material aufführt, die PIL also entsprechend fälscht, das IIIS jedoch diese Abzweigung bzw. Fälschung der PIL nicht aufzeigt.

Das Auftreten eines Fehlers zweiter Art bedeutet also, daß das IIIS die Entnahme des Kernmaterials aus dem Natrium-Schutzgasbereich beim Abzweigungsvorgang nicht zu erfassen in der Lage ist, sondern einen vor dem Abzweigungsvorgang errechneten Bestand unverändert fortschreibt. Dies ist nur durch einen Fehler im IIIS, der vor der Abzweigung auftritt, denkbar.

Es werde vorausgesetzt, daß ein Fehler im IIIS vom Betreiber nicht wahrgenommen werden kann (black box). Dann ergibt sich als die für einen Betreiber im Zusammenhang mit dem Fehler zweiter Art günstigste Abzweigungsstrategie die Abzweigung unmittelbar vor einer Inventurprüfung, d.h. am Ende einer vierteljährlichen Periode zwischen zwei Inventuren. Die Wahrscheinlichkeit für einen Fehler im IIIS ist, da solche Fehler immer als bleibende Fehler auftreten, in diesem Zeitpunkt am größten, nämlich gleich der Wahrscheinlichkeit für einen IIIS-Defekt irgendwann im Vierteljahres-Zeitraum.

Wird die Wahrscheinlichkeit, daß ein Betreiber abzuzweigen gedenkt, mit 1 angesetzt, so ist die Wahrscheinlichkeit für das Eintreten eines Fehlers zweiter Art gleich der Wahrscheinlichkeit für einen Defekt des IIIS im Vierteljahr. Der Zusammenhang zwischen der "zulässigen" Fehlerwahrscheinlichkeit $\beta = 0,05$ und der damit verbundenen "zulässigen" jährlichen Ausfallrate b für das IIIS ergibt sich daraus zu

$$(1-\beta)^4 \approx 1-b$$

$$1-4\beta \approx 1-b$$

$$b \approx 4\beta$$

$$b \approx 0,2 = 1/5 \text{ Jahre}$$

Damit ergibt sich aus den vom Fehler zweiter Art ausgehenden Überlegungen die gleiche Zuverlässigkeitsanforderung wie aus der Überlegung zum Fehler erster Art.

Literaturverzeichnis zu Kapitel 7

- /7-1/ W. Bahm, D. Gupta, J. Heil, W. Schmidt,
"Material Accountancy in the Uranium Enrichment Plant
with Gas Centrifuges", presented at the IAEA Advisory
Group Meeting, Tokyo, March 7-11, 1977
- /7-2/ W. Beyrich, W. Dürr, W. Großgut,
"Determination of the Isotope U-235 in Uranium Hexa-
fluoride by Gas Mass Spectrometry: Results of an Inter-
laboratory Experiment Performed in 1975",
KFK 2340, EUR 5503e
- /7-3/ W. Bahm, H.J. Didier, D. Gupta, P. Schwegmann,
"Entwicklung eines Überwachungskonzeptes für Trenndüsen-
anlagen; Abschlußbericht der Projektdefinitionsphase",
Dezember 1976

Kapitel 8: Internationale Zusammenarbeit

	<u>Seite</u>
8.1 Arbeiten in der SAGSI (Standing Advisory Group on Safeguards Implementation) D. Gupta	8-1
8.2 F+E-Arbeiten im Rahmen der ESARDA (European Safeguards Research and Development Association) D. Gupta	8-3
8.3 Zusammenarbeit mit anderen Staaten auf dem Gebiet der Kernmaterialüberwachung D. Gupta	8-4

8. Internationale Zusammenarbeit

Die verstärkte Aufmerksamkeit auf die Nichtverbreitung von Kernwaffen im Zusammenhang mit dem Einsatz von Kernenergie auf dem friedlichen Sektor hat natürlich auch die Arbeiten des Projektes für die internationale Zusammenarbeit beeinflusst. Das Wichtigste dabei war das allgemeine Bemühen der Mitgliedstaaten, das Überwachungssystem der IAEA zu verstärken. Im Jahre 1976 lagen die Schwerpunkte der Projektarbeiten bei der Zusammenarbeit mit IAEA und ESARDA sowie mit U.S.A. und Japan.

8.1 Arbeiten in der SAGSI (Standing Advisory Group on Safeguards Implementation)

Die SAGSI wurde Ende 1975 vom Gouverneursrat der IAEA für die Beratung des Generaldirektors zu Fragen der Implementierung der IAEA-Überwachung ins Leben gerufen. 1976 befaßte sich die SAGSI mit zwei Themenkreisen.

- a) Form und Inhalt der Berichterstattung des Generaldirektors an den Gouverneursrat über die Überwachungstätigkeiten der IAEA
- b) Analyse der von der IAEA zugrunde gelegten Abzweigmöglichkeiten für verschiedene Anlagentypen, die für die Gestaltung der Überwachungstätigkeiten verwendet werden

Die Frage der Berichterstattung gewann deshalb an Bedeutung, weil einige Mitgliedstaaten (U.S.A., UdSSR) von der IAEA verlangt hatten, in ihren Berichten eine quantitative Aussage über die Effektivität ihrer Kontrolltätigkeiten zu machen. 1975 lag das Schwergewicht der IAEA-Überwachung bei Leichtwasserreakortypen. Die IAEA stellte fest, daß sie mit ständigem Einsatz von Kameras in Reaktoren und mit 100%iger Prüfung von Protokollen und Vergleich mit den Berichten mit ca. 10-15 Inspektionsmanntagen/Jahr das Fehlen eines Brennelementes in einem Reaktor entdecken würde. Nach Beratung und Analyse der Kontrolltätigkeiten der IAEA in diesen Reaktoren wurde darauf hin gemeinsam von SAGSI und IAEA festgestellt, daß das IAEA-

Überwachungssystem dann als effektiv bezeichnet werden kann, wenn die IAEA in jedem einzelnen Leichtwasserreaktor in einem Staat das Fehlen eines ganzen Brennelementes entdecken kann. Solche Effektivitätsaussage kann jedoch z.Zt. für Schwerwasserreaktoren und andere Kernanlagen des Brennstoffzyklus von der IAEA nicht gemacht werden. Der Hauptgrund liegt darin, daß die herrschenden Betriebs- und Lagerbedingungen in bestehenden Anlagen eine einwandfreie Verifikation der Kernmaterialbestände bzw. Informationen nicht zulassen. Es wurde von der SAGSI eine intensive Mitarbeit und Unterstützung der Mitgliedstaaten zur Verbesserung der Verifikationsfähigkeit des IAEA-Systems empfohlen. In diesem Zusammenhang wurden von SAGSI folgende vier Gruppen von Problemen identifiziert, die die Effektivität des IAEA-Systems beeinflussen, und detaillierte Vorschläge zur Behandlung dieser Probleme ausgearbeitet.

- a) Probleme, die mit der Implementierung zusammenhängen (z.B. fehlende Meßsysteme und Informationen; kein Zugang zu den Kernmaterialchargen, deren Mengen verifiziert werden sollen usw.)
- b) Probleme, die systembedingt sind (z.B. zu hohe Unsicherheit einer Bilanzierung in einer Anlage, gleichzeitige Verwendung von verschiedenen Überwachungsverträgen in einem Staat, usw.)
- c) Probleme, die durch die Satzung der IAEA oder durch die rechtlichen Gegebenheiten in einem Staat vorkommen (z.B. Einschränkung von Rechten eines Inspektors)
- d) Fehlen von Kriterien, wonach die Verteilung von Inspektions-tätigkeiten und -häufigkeiten in Abhängigkeit von der Bedeutung des Materials geregelt werden

Die IAEA hatte für verschiedene Typen von Kernanlagen Abzweigmöglichkeiten ausgearbeitet unter der Voraussetzung, daß sie einzeln zu kontrollieren sind, und Überwachungstätigkeiten, um diese Möglichkeiten abzudecken, vorgeschlagen. Diese Möglichkeiten lassen sich in die folgenden drei Kategorien aufgliedern:

- a) Möglichkeit der Fälschung von Daten, die der IAEA zur Verfügung gestellt werden
- b) Abzweigmöglichkeiten innerhalb der erreichbaren Meßgenauigkeiten
- c) Verwendung von Anlagen (wie Anreicherung) für die Abzweigung von Materialien

Außerdem wurde von der IAEA die Existenz von undeklarierten Materialien, die in einer überwachten Anlage bearbeitet werden können, bzw. von nicht deklarierten Anlagen, in denen ein Teil der überwachten Menge, nachdem sie abgezweigt worden war, veredelt werden kann, bei der Erarbeitung von Überwachungsstrategien nicht vollkommen ausgeschlossen.

Obwohl von der SAGSI die Notwendigkeit erkannt wurde, daß das IAEA-Überwachungssystem ein weites Spektrum von Abzweigmöglichkeiten abdecken muß, wurde jedoch gleichzeitig darauf hingewiesen, daß zu extreme Abzweigstrategien nur dann in Betracht zu ziehen sind, wenn dafür spezielle Gründe vorliegen. Außerdem werden einige von der IAEA betrachtete Abzweigmöglichkeiten wegfallen, wenn die Informationen aus dem gesamten Brennstoffzyklus rechtzeitig ausgewertet werden.

Die SAGSI begann auch mit den Überlegungen zu signifikanten Mengen im Zusammenhang mit der Festlegung und Anpassung der technischen Ziele der IAEA-Überwachung an die sich ändernden technischen und politischen Gegebenheiten. Die detaillierten Untersuchungen in diesem Zusammenhang sollen 1977 weitergeführt werden.

8.2 F+E-Arbeiten im Rahmen der ESARDA (European Safeguards Research and Development Association)

Die Schwerpunkte der Arbeiten der ESARDA lagen bei der Formulierung und teilweisen Durchführung der gemeinsamen Arbeitsprojekte und bei der Beratung der zukünftigen Arbeitsbereiche. Außerdem wurden die normalen Arbeiten der ESARDA zur Koordinierung der F+E-Arbeiten der Mitglieder fortgesetzt. Die einzelnen Beiträge

sind in Tab. 8/I zusammengestellt. Es ist daraus ersichtlich, daß in der ESARDA die Hauptbetonung der Arbeiten immer noch bei den Meßmethoden liegt.

8.3 Zusammenarbeit mit anderen Staaten auf dem Gebiet der Kernmaterialüberwachung

Seit Ende 1975 zeigte die U.S.A. ein verstärktes Interesse an den Arbeiten des Projektes. Während des Jahres 1976 wurden in mehreren Arbeitssitzungen die Möglichkeiten einer Zusammenarbeit im Bereich der Kernmaterialüberwachung diskutiert und ein F+E-Programm ausgearbeitet. Die gemeinsamen Arbeiten sollen im Rahmen einer Vereinbarung, die mit einem Briefwechsel zwischen ERDA, U.S.A., und BMFT, BRD, geregelt wird, durchgeführt werden. Als erstes Arbeitsthema wurde die Sicherung von Kernmaterialtransporten gewählt. Da die Arbeiten zu einem großen Teil Maßnahmen zur Material- und Anlagensicherung berühren, sollen sie von der deutschen Seite statt im Rahmen des Projektes von der Entwicklungsgruppe Kernmaterialsicherung der GfK durchgeführt werden. In den U.S.A. wird die ERDA der zuständige Partner sein. Mitte 1977 ist mit dem Beginn der Arbeiten zu rechnen.

Ähnlich wie bei den U.S.A. wächst das Interesse Japans, mit der BRD im Bereich der Kernmaterialüberwachung zusammenzuarbeiten. Die japanische Regierung hat in diesem Zusammenhang die ersten Kontakte mit dem BMFT aufgenommen. Im Laufe des Jahres 1977 soll ein Zusammenarbeitsprogramm ausgearbeitet werden.

Table 8/I: SAFEGUARDS RESEARCH PROGRAMME BY MEMBERS OF ESARDA, 1976

Item No.	Objective	Material	Method	Organisations Involved
1	Measurement of uranium enrichment and U235 content	UF ₆	Gamma spectrometry	UK(BNFL)/IAEA
2		UO ₂ - powder, pellets, pins	Gamma spectrometry	JRC Ispra, GfK Karlsruhe
3		MTR fuel	Gamma spectrometry	DAEC Risø
4		Scrap & residues, wastes	Gamma spectrometry, GeLi & NaI gamma scan; active and passive neutron for high βγ	JRC Ispra, UK
5		UF ₆	Evaluation of inter-lab tests on the "destructive" measurement of isotopic concentrations	GfK Karlsruhe
6			Gamma spectrometry without external standards, investigation of error sources in gamma spect., development of mass-spectrometric methods	RCN Petten
7	Measurement of uranium content	MTR fuel	Neutron transmission	UK(DERE)
8		U solutions	Gamma absorptiometry. Plant trials of equipment developed under earlier IAEA contract	UK(BNFL)/IAEA
9			Uranium sensitive electrodes, solution fluorimetry	UK(BNFL)
10	Measurement of plutonium content	Wastes	Setting up laboratory using passive neutron & gamma techniques for measurement of unknowns & production of standards.	JRC Ispra
11			Preparation of guides for a monitoring system using passive neutron & gamma techniques	JRC Ispra
12			Methods using gamma and neutron coincidence	UK, GfK Karlsruhe
13			Further investigation of various methods to differentiate between (α,n) & fission neutrons	UK(AERE & DERE)
14		Oxides, carbides as powder, pellets & pins	Gamma spectrometry on LWR & FBR fuels	JRC/CEN/ENEL/ Belgo Nucleaire
15			Calometry - test of equipment on loan from Argonne National Laboratory using FBR pins	JRC Ispra
16			Rough pellet detection in fast reactor pins by neutron interrogation & passive gamma	UK(BNFL)
17		Isotopic composition	High resolution gamma spectrometry	UK(AERE)
18	Preparation of specification for and of the standards themselves for NDA and destructive analysis	U/Pu fuel pins both thermal & fast		JRC/CEN/ENEL/ Belgo Nucleaire
19		LEU pellets & powders		JRC, GfK Karlsruhe
20		THTR pebbles & compacts		JRC/KFA Jülich/ Nukem
21		MTR		JRC/Nukem
22		UF ₆)
23		Isotopic composition of NBS Pu standards)
24		Pu with known 238)
25		U233 & Pu242 spikes)
26		U & Pu isotopic solutions) BCMN Geel
27		Pu/U reprocessing input samples)
28		U/Th & U/A1)

Item No.	Objective	Material	Method	Organisations Involved
29	Automation of techniques	U & Pu	Mass and gamma spectrometry, X-Ray fluorescence	TU Karlsruhe, GfK
30			Gamma scanning. Use of small computers & micro-processors	JRC Ispra
31			Precise automatic titration using a small computer	RCN Petten
32	Improved sampling techniques		Fabrication of devices to sample powders & UF ₆	JRC Ispra
33	Measurements in re-processing plants	Volume	Time Domain Reflectometry (TDR). Comparison with pneumaticator system	CNEN/IAEA
34		Pu	Leached hull monitoring by gamma spectrometry	- " -
35		Pu	Gamma absorptiometric measurement of Pu in product solution. Comparison with chemical analysis	- " -
36		Pu/U	X-ray fluorescence measurements	GfK Karlsruhe
37	Measurements on irradiated fuel		Verification of irradiated MTR fuel by gamma measurements	DAEC Risø UK(BNFL)
38			Gamma spectrometric measurements to check cooling times	- " -
39	Measurement of highly soluble wastes	Pu/U	Chemical methods	GfK, Karlsruhe
40	Use of containment and surveillance to simplify safeguards		Characterisation of new transducers and verification of seals used in the present programme (100-200 seals on MTR elements)	JRC Ispra
41			Fabrication of fuel element seals by brazing rather than powder metallurgy	JRC Ispra
42			Manufacture of portable ultrasonic identifying equipment for the IAEA	JRC Ispra/IAEA
43			Testing methods of identifying sealed BWR, PWR & MTR elements in reactor ponds	JRC Ispra
44			Large scale testing of seals on MTRs in Germany, discussions with manufacturers & operators on use of seals on LWRs.	JRC Ispra
45			Sealing MTR elements produced at Saluggia	CNEN/JRC
46			General programme with particular reference to fabrication and re-processing plants	GfK Karlsruhe
47			Testing of surveillance measures, e.g. cameras, under operating conditions at a power reactor	GfK Karlsruhe
48			Assessment and improvement of the use of isotopic correlations as a safeguards tool	
49	Analysis of MTR data from Eurex plant	JRC Ispra/CNEN		
50	Set-up and operation of data bank at Ispra	JRC Ispra/RCN		
51	Collaboration with IAEA on data bank software	JRC Ispra/IAEA/ TU Karlsruhe		
52	Analysis of data on Th/U233 fuel	CNEN/JRC Ispra		
53	Development of software for analysis of correlation data	RCN Petten		
54	Analysis of Dodewaard samples	RCN Petten		

Item No.	Objective	Material	Method	Organisations Involved
55	Verification of reactor operations		By sealed thermal power and sealed neutron flux instrumentations	DAEC Risø
56	Analysis of the application of NPT safeguards in Denmark		Design of report forms; analysing MUF in an MTR fuel fabrication plant	DAEC Risø
57	Increase efficiency of nuclear material accountancy		By the use of computers in nuclear material accountancy and safeguard reporting	UK
58	Assessment and solution of problems arising in FRG from the IAEA/Euratom Verification Agreement		Development of model facility attachments for a power reactor, a fabrication plant and a reprocessing plant	GfK Karlsruhe
59	Study of applications and limitations of statistical tests			RCN Petten
60	Systemsanalytical investigation		Establishment of boundary conditions for optimizing safeguards efforts for material balance measures	GfK Karlsruhe
61			Investigations on attainable material balance uncertainties in an LEU-fabrication plant	GfK Karlsruhe
62	Development of computer based, safeguards relevant data processing systems		Development, testing and operation of a data processing system for Nukem	GfK Karlsruhe
63			Systemsanalysis and specification of a data processing system for Kernforschungszentrum Karlsruhe	GfK Karlsruhe
64			Systemsanalysis and specification for the data processing system in Kernforschungsanlage Jülich	KFA Jülich
65	Development and testing of safeguards concepts for large scale nuclear facilities		Analysis of process data, possible diversion scenarios, possible use of the three safeguards measures; development of verification procedures for the timely detection of the diversion of a significant amount:	
66			For a large scale reprocessing plant	GfK Karlsruhe
67			For a fast breeder system	GfK Karlsruhe
			For a THTR system	KFA Jülich

