

KfK 2894
November 1979

Entwicklung eines Überwachungskonzeptes für Trenndüsenanlagen

**Abschlußbericht der
Projektdefinitionsphase 1976**

**W. Bahm, H. J. Didier, D. Gupta, P. Schwegmann
Entwicklungsabteilung Kernmaterialsicherung
Projekt Spaltstoffflußkontrolle**

Kernforschungszentrum Karlsruhe

KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE
Entwicklungsabteilung Kernmaterialsicherung
Projekt Spaltstoffflußkontrolle

KfK 2894

Entwicklung eines Überwachungskonzeptes
für Trenndüsenanlagen

Abschlußbericht der Projektdefinitionsphase
1976

W. Bahm, H.J. Didier¹⁾, D. Gupta, P. Schwegmann¹⁾

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe

1) INTERATOM GmbH, Bensberg

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

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH
ISSN 0303-4003

Zusammenfassung

Mit dieser Arbeit wird ein erstes Konzept zur Überwachung des Spaltstoffflusses und des Kernmaterialinventars einer Urananreicherungsanlage nach dem Trenndüsenverfahren vorgestellt. Das vorliegende erste Konzept bildet den Abschluß einer Projektdefinitionsphase, in der die spezifischen Anforderungen, Fragestellungen und Probleme, die sich aus der Notwendigkeit der Kernmaterialüberwachung durch die Behörde ergeben, erarbeitet wurden.

Erste Rechnungen auf der Basis des entwickelten Konzepts haben unter vereinfachenden Annahmen gezeigt, daß die Schwankungsbreite σ für die Erfassung des Kernmaterialinventars gemessen an den Grenzwerten, die zur Zeit von der Überwachungsbehörde angegeben werden, zu hoch ist. Diese Kernmaterialkontrolle ist jedoch präzisierbar durch eine Reihe von Maßnahmen, die schwerpunktmäßig in einer zweiten Bearbeitungsphase behandelt werden.

Development of a Safeguards Concept For Separation Nozzle Plants

Abstract

By this report the first concept for safeguarding of the flow of nuclear material and the inventory of nuclear material in a uranium enrichment plant working according to the separation nozzle process, is introduced. The first concept presented forms the final stage of a project definition phase in which the specific requirements, questions and problems resulting from the necessity of safeguarding of nuclear material, have been worked out.

First calculations on the basis of the concept developed, have shown under simplifying assumptions, that the range of deviation for the establishment of the inventory of nuclear material is too high related to the limit value which is at present given by the safeguards authorities. This control of nuclear material, however, can be precised by measures which will be worked out in a second work phase in a concentrated form.

Z u s a m m e n f a s s u n g

Mit dieser Arbeit wird ein erstes Konzept zur Überwachung des Spaltstoffflusses und des Kernmaterialinventars einer Uran-Anreicherungsanlage nach dem Trenndüsenverfahren vorgestellt. Das vorliegende erste Konzept bildet den Abschluß einer Projektdefinitionsphase, in der die spezifischen Anforderungen, Fragestellungen und Probleme, die sich aus der Notwendigkeit der Kernmaterialüberwachung durch die Behörde ergeben, erarbeitet wurden.

Erste Rechnungen auf der Basis des entwickelten Konzepts haben unter vereinfachenden Annahmen gezeigt, daß die Schwankungsbreite σ für die Erfassung des Kernmaterialinventars gemessen an den Grenzwerten, die zur Zeit von der Überwachungsbehörde angegeben werden, zu hoch ist. Diese Kernmaterialkontrolle ist jedoch präzisierbar durch folgende Maßnahmen, die schwerpunktmäßig in einer zweiten Bearbeitungsphase behandelt werden:

- Überprüfung der Aussagegenauigkeit, die durch die betrieblich vorgegebene Instrumentierung erzielbar ist;
- Entwicklung alternativer Konzepte zur Aufnahme des realen Bestands in all den Anlagenteilen, wo das Konzept hinsichtlich der Verifizierbarkeit des Kernmaterialinhalts versagt;
- Zusätzliche safeguardsspezifische Instrumentierung von Anlagenteilen, bei denen die betrieblich gegebene Meßmethode, auch bei Ausschöpfung aller alternativen Strategien, nicht zum Erfolg führt;
- Abschätzung des Gasinventars, der Kernmaterialablagerungen und der Leckagen der Gesamtanlage;
- Durchführung von F+E-Aktivitäten mit dem Ziel, die Korrelationen zwischen den gemessenen Primärdaten und den daraus ableitbaren Mengenaussagen zu bestimmen bzw. getroffene Annahmen zu überprüfen;
- Darstellung der Qualität des Protokoll- und Berichtssystems an Hand einer Referenzkampagne.

INHALTSVERZEICHNIS

Einleitung

- I Anlagen-und Verfahrensbeschreibung
- I.1 Kennzeichnung der Anlage
- I.2 Aufbau der Anlage
- I.3 Prozessbeschreibung
- I.4 Anlagendaten

- II Festlegung der Materialbilanzzone und der Schlüsselmeßpunkte

- III Informationssysteme
- III.1 Protokollsystem
- III.1.1 Grundlage des Protokollsystems
- III.1.2 Protokollsystem für die TD Anlage
- III.2 Berichtssystem

- IV Konzept zur Aufnahme des realen Bestands
- IV.1 Vorbemerkungen
- IV.2 Beschreibung der Methoden

- V Abschätzung der Größen \bar{G} (MUF) und E (MUF)
- V.1 Grundlagen zur Bestimmung des MUF
- V.2 Berechnung des MUF

- VI Verbleibende Probleme/F + E Aktivitäten

E I N L E I T U N G

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

Der Bundesminister für Forschung und Technologie (BMFT) hat das Projekt Spaltstoffflußkontrolle der Gesellschaft für Kernforschung mbH gebeten, im Rahmen der unterstützenden Arbeiten mit der Industrie 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.

Das Ziel der vorliegenden Projektdefinitionsphase ist es, die aus der speziellen Technologie der Trenndüsenanlage resultierenden Probleme der Überwachung im Sinne der Spaltstoffflußkontrolle herauszuarbeiten und ein dementsprechendes Arbeitsprogramm zur Entwicklung eines Überwachungssystems zu erstellen.

I Anlagen-und Verfahrensbeschreibung

Alle Angaben beziehen sich auf den Status der Referenzanlage im Sept. 1976.

I.1 Kennzeichnung der Anlage

- Bezeichnung: Trenndüsen-Anreicherungs-Demonstrations-anlage Brasilien (TD)
- Standort : Brasilien, Campo di Roma
- Eigentümer : NUCLEI
- Betreiber : NUCLEI
- Zweck der Anlage : Anreicherung des Natururans auf 3,2 %
U 235 bei einer Produktmenge von 70 tU/a
- Gegenwärtiger
Status der Anlage : In Planung
- Zeitplan für den
Bau : a) Baubeginn : 1977
b) Abnahme : -
c) Inbetriebnahme: -
- Betriebsart : Full time in 3 Schichten
- Kurzbeschreibung : siehe Abb. I/1

Die Demonstrationsanlage besteht im wesentlichen aus einer abgestuften Kaskade mit 336 großen und 192 kleinen Trennstufen in Reihenschaltung, aus den Vorabscheidertrennstufen, den UF_6 -Systemen, den Vakuumsystemen und einigen Hilfssystemen.

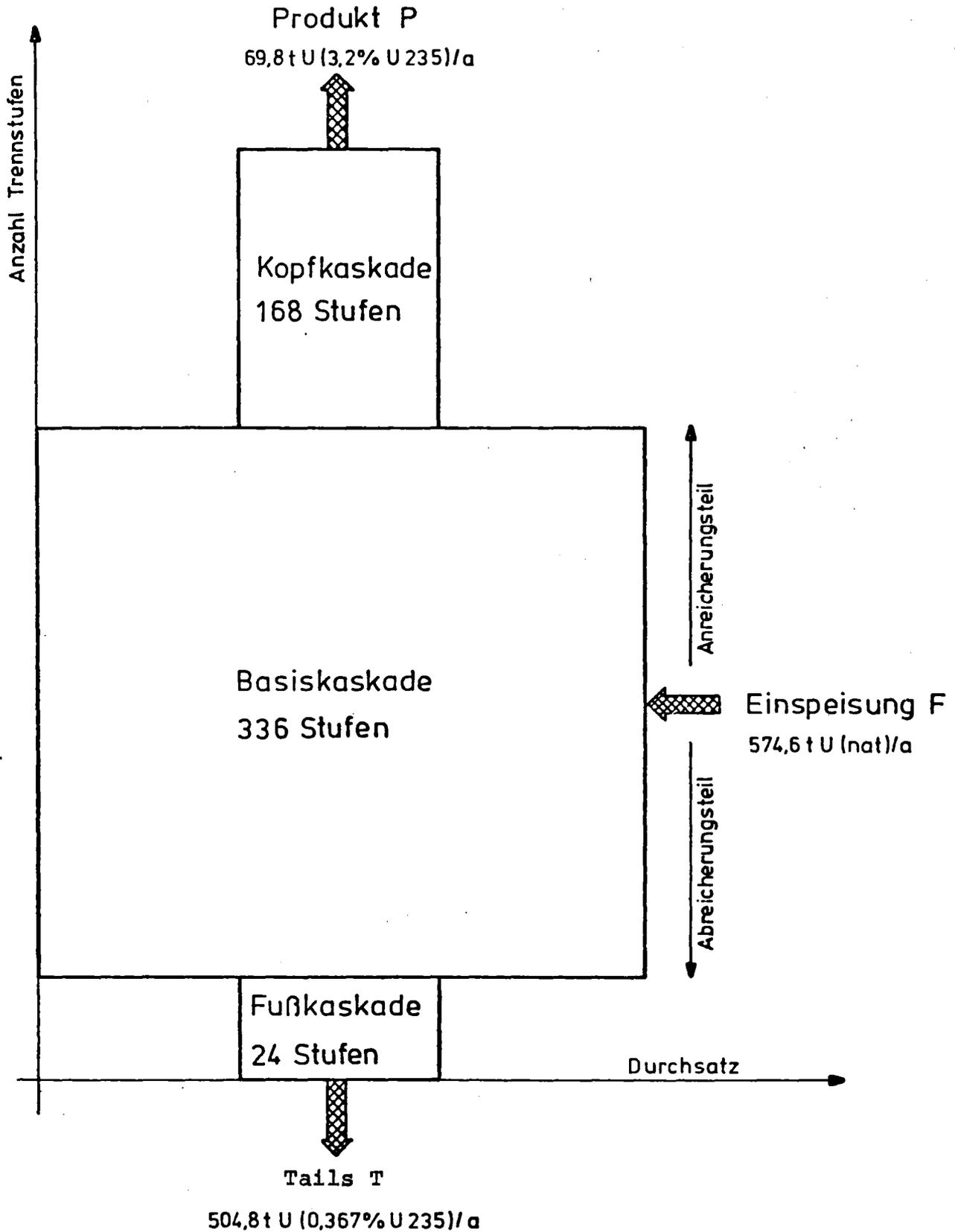


Abb. I/1 Blockdiagramm der Trenndüsenanlage mit einer Netto-Trennarbeitsleistung von 233,5 t UTA/a

Die Kaskade wurde für folgende Trennaufgabe ausgelegt:

Anreicherung	3,2 % U235
Abreicherung	0,37% U235
Produktmenge	70 tU/a

Damit ergeben sich als weitere Daten:

Trennleistung	233,5 t UTA/a
Feedmenge	575 tU/a
Tailsmenge	505 tU/a

I.2 Aufbau der Anlage: siehe Abb. I/2

Der Grundriß der geplanten Demonstrationsanlage ist im Lageplan, Abb. I/2 Nr. 6.479, dargestellt. Die für den Kernmaterialfluß relevanten Gebäude und Anlageabschnitte werden im folgenden beschrieben.

Das Kernstück der Anlage besteht aus den L-förmig angeordneten Kaskadengebäuden, und zwar dem langgestreckten Gebäude der Basiskaskade (1) und dem Gebäude der Kopfkaskade (2). Das Gebäude der Basiskaskade nimmt in Schnittpunkt mit der Kopfkaskade auch die Fußkaskade (3) und die Vorabscheidung (4) auf. In den über die gesamte Kaskadengebäudelänge verlaufenden Hilfsanlagengebäuden (8) sind neben den maschinen-technischen Hilfs- und Versorgungseinrichtungen auch die Vakuumanlagen der Kaskaden angeordnet.

Den Kaskadenabschnitten sowie der Vorabscheidung ist das Gebäude der UF₆-System (5) direkt zugeordnet. In ihm sind im wesentlichen die Tieftemperaturabscheidung und die Produkt- und Tailsaustragungen, die UF₆-Ein- und Ausspeisungen und das Gasreinigungssystem untergebracht. An dem UF₆-Gebäude befindet sich eine Zentralschleuse, über die die erforderlichen Transporte zu den

Kaskaden, den UF_6 -Systemen, zu der an die Zentralschleuse angrenzenden Dekontaminationsanlage oder zum Servicegebäude durchgeführt werden.

Außerdem, befindet sich auf dem Gelände das UF_6 -Behälterlager (14) für Feed-, Product und Tailsbehälter.

I.3 Prozessbeschreibung: Abb. I/3 Gesamtfließschema

a) Feed-Station

Das in 48" Standard Containern angelieferte Natururan in Form von festem UF_6 wird über die Zentralschleuse in die UF_6 Einspeisung transportiert, dort gewogen und im Autoklaven an die Feedleitung angeflanscht. Der Container wird aufgeheizt, so daß das UF_6 verflüssigt. Aus der Dampfphase, die sich gleichzeitig bildet, wird die benötigte Feedmenge entnommen und der Kaskade am Feepunkt zugeführt.

b) Kaskade

In den Trennstufen wird das Prozessgas (eine Mischung aus 4,2 mol % UF_6 und 95,8 mol % H_2) in zwei Ströme mit unterschiedlichen U_{235} - und H_2 -Konzentrationen aufgeteilt. Das Prinzip, nachdem die einzelnen Trennstufen zu einer Kaskade verschaltet werden, besteht darin, daß sich das Feed-Gas für eine beliebige Stufe zusammensetzt aus der leichten Fraktion einer anderen und der schweren Fraktion einer dritten Stufe. Das Feed-Gas wird vom Stufenkompressor ausgesaugt, verdichtet und strömt dann durch Trennelemente der zugehörigen Stufe.

Während dieses Vorgangs baut sich in der Kaskade ein U_{235} -Konzentrationsgradient auf. Die maximale U_{235} -Konzentration wird am Kaskadenkopf, wo das "Product" entnommen wird, die minimale am Kaskadenfuß erreicht, wo die "Tails"-Entnahme stattfindet.

Die vorliegende Kaskade ist abgestuft (siehe Abb. I/1) d.h. die Verfahrensgasdurchsätze der kleinen Stufen verhalten sich zu denen der großen Stufen wie 1:3.

Aus dem Kaskadenbetrieb resultiert ein H_2 -Netto-Strom der aufwärts gerichtet ist. Deshalb muß H_2 von Kopf und der oberen Schulter zum Boden und der unteren Schulter zurückgeführt werden.

c) UF₆-Abscheidung

Am Kopf der Kaskade wird UF_6 vom Trägergas Wasserstoff von einer UF_6 -Abscheidungsanlage abgetrennt. Diese Abscheidungsanlagen bestehen im wesentlichen aus der Kombination einer speziellen Vorabscheidungsstufe zur UF_6 -Grobabscheidung mittels gasdynamischer Trennung in Trenndüsen und der nachgeschalteten Tieftemperaturabscheidung, die mit regenerierbaren Gegenstrom-Kompaktwärmetauschern arbeitet und die Feinabscheidung auf der Basis der Desublimation des UF_6 übernimmt.

Diese Feinabscheidung ist notwendig, da der zum Kaskadenfuß bzw. an den Abstufungsstellen zugeführte Wasserstoff möglichst vollständig von UF_6 frei sein muß, um Trennarbeitsverluste durch Isotopenvermischung an den Rückspeisestellen zu minimieren.

Die Regeneration dieser Abscheider erfolgt durch Aufheizen und Sublimieren des UF_6 . Die Abscheider werden zyklisch zwischen Abscheider und Regenerationsphase umgeschaltet. Das gasförmige, reine UF_6 fließt zur UF_6 -Austragung.

d) UF₆-Austragung

In der UF₆-Austragung wird das reine UF₆ von der Tieftemperaturabscheidung in zyklisch arbeitenden Verflüssigern desublimiert und verflüssigt. Aus einem Flüssigpuffer wird UF₆ an das Kopfende der Kaskade zur Einstellung der dort erforderlichen Sollkonzentration zurückgeführt. Der Nettoüberschuß UF₆ wird abgezweigt und fließt in die Produktbehälter, Analog wird die Austragung des Tails durchgeführt.

I.4 Anlagendaten

	Feed	Product	Tails
a) Medium	UF ₆	UF ₆	UF ₆
b) Durchsatz und Anreicherungsgrad	a=0,711% U ₂₃₅ 845,6 t UF ₆ /a	a=3,2% U ₂₃₅ 103 t UF ₆ /a	a=0,39% U ₂₃₅ 742,6 t UF ₆ /a
c) Chargengröße	68 Behälter pro Jahr á 12,5 t	52 Behälter pro Jahr á 2 t	60 Behälter pro Jahr á 12,5 t
d) Lagerinventar	17 Behälter á 12,5 t UF ₆	6 Behälter á 2 t UF ₆	60 Behälter á 12,5 t UF ₆
Tab. I/1 - Kernmaterialdurchfluß/Lagerinventar			

Standort	Stck.	Kapazität/Stck.	mittleres Inventar	U ₂₃₅ Konzentration
<u>Außenanlagen</u>				
- Feedcontainer	17	12.500 Kg	212.500 Kg	0,711 ‰
- Productcontainer	6	2.000 Kg	12.000 Kg	3,2 ‰
- Tailscontainer (nach 1 Jahr Betrieb)	60	12.500 Kg	750.000 Kg	0,36 ‰
<u>UF₆-Systeme</u>				
Einspeisung				
- Feedcontainer	4	12.500 Kg	31.260 Kg	0,711 ‰
Tailaustragung				
- Verflüssiger	4	1.000 Kg	2.000 Kg	0,367 ‰
- Tailscontainer	2	12.500 Kg	12.500 Kg	0,367 ‰
Abstufungen				
- TTA	14	650 Kg	4.400 Kg	1,5 ‰
- Verflüssiger	6	1.000 Kg	3.000 Kg	1,5 ‰
- Puffer	3	1.500 Kg	2.000 Kg	1,5 ‰
Produktaustragung				
- TTA	7	650 Kg	2.200 Kg	3,2 ‰
- Verflüssiger	3	1.000 Kg	1.500 Kg	3,2 ‰
- Puffer	2	1.500 Kg	1.000 Kg	3,2 ‰
- Container	2	2.000 Kg	2.000 Kg	3,2 ‰
Feedreinigung				
- Container	1	12.500 Kg	12.500 Kgmax	0,711 ‰
- Kühl/Naf-Falle	-	-	400 Kg	0,711 ‰
Kaskade und Rohrleitun- gen/Vakuum Systeme	-	-	1.640 Kg	0,37-3,2 ‰
Tab. I/2 - UF ₆ -Inventar in der Demonstrationsanlage				

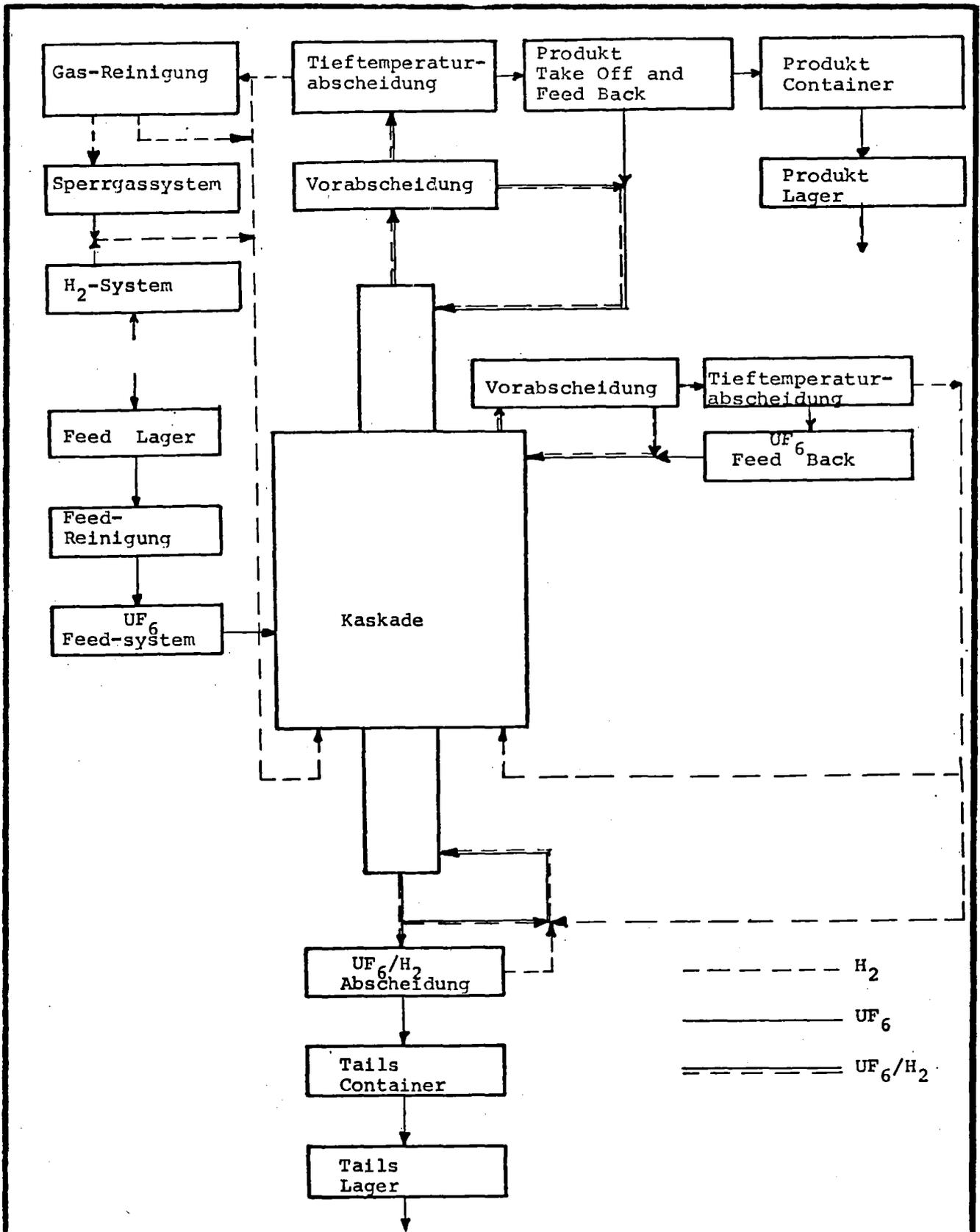


Abb. I/3 Gesamtfließschema

	Kennzeichnung	Menge	Aktivität
fest	-NaF-Fallen Pellets in Polythene verpackt und in Stahlbehältern gelagert	500 kg UF ₆ /a	5 . 10 ⁻² Ci/a
	-K ₂ U ₂ O ₇ Feste Rückstände aus der Abwasseranlage	1 kg/a K ₂ U ₂ O ₇	6 . 10 ⁻⁴ Ci/a
	-kontaminierte Komponenten	-	
gasförmig	-Lüftung -Vakuumsystem		0,03 Ci/a 2,2.10 ⁻¹⁴ Ci/a
flüssig	-Pumpenöl aus Vakuumanlage -K ₂ U ₂ O ₇ + KF aus Abwasseranlage gelöst in Wasser	0,1 m ³ /a Asche nach Verbrennung des Öls noch nicht	6 . 10 ⁻⁵ Ci/a abschätzbar
Tab. I/3 - Abschätzung einiger zu erwartender Waste-Mengen im Normalbetrieb			

	Behälter-Bezeichnung	Größe	Standard
Feed	48 y	12,5 t UF ₆	ANSI - N14.1
Product	30 B	2 t UF ₆	ANSI - N14.1
Tails	48 y	12,5 t UF ₆	ANSI - N14.1
Waste	Stahlbehälter/Fässer		
Tab. I/4 - Beschreibung der Container			

Komponente/SMP	Meßmethode	Meßgenauigkeit
Container/Lager	Wiegen	0,3 ‰
Autoklav	Wiegen kontinuierlich	5 ‰
Produkt Container	Wiegen kontinuierlich	3 ‰
Tails Container	Wiegen kontinuierlich	3 ‰
Flüssigpuffer	Füllstandsmessung	3 ‰
Durchfluß TTA	Wirkdruck	5 ‰
Durchfluß Tails- austragung	Wirkdruck	3 ‰
Tab. I/5 - Meßmethoden - Genauigkeit zur Inventarerfassung einiger Komponenten		

II. Festlegung der Materialbilanzzone MBZ und der Schlüsselmeßpunkte SMP

Die Zielgröße der Überwachung im Sinne der Spaltstoffflußkontrolle ist das MUF (Material Unaccounted For), definiert als die Differenz zwischen dem Buch Inventar (BI) und dem realen Inventar bzw. Physical Inventory (PI) für einen gegebenen Bilanzierungszeitraum in einer Anlage.

Das Buchinventar

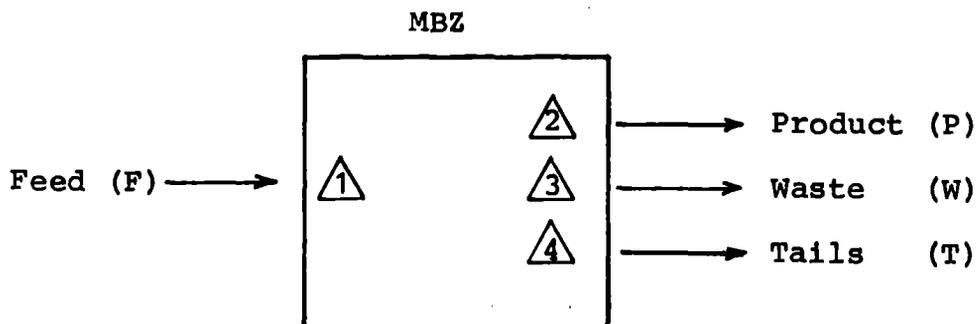
$$BI (t_0, t_1) = PI (t_0) + \sum_{t_0}^{t_1} F - \left(\sum_{t_0}^{t_1} P + \sum_{t_0}^{t_1} T + \sum_{t_0}^{t_1} W \right)$$

setzt sich zusammen aus:

PI zur Zeit t_0 , (als zum letzten Male der reale Bestand PI aufgenommen wurde) und der Summe aller Kernmaterialströme, die die Grenze der Materialbilanzzone kreuzen.

In Anlehnung an die derzeit geübte Praxis und aus Zweckmäßigkeitserwägungen wird für die Trenndüsenanlage eine Materialbilanzzone (MBZ) vorgesehen.

Der Kernmaterialdurchfluß wird an 4-Durchflußschlüsselmeßpunkten (DSMP) erfaßt $\triangle 1$:



Zur Erfassung des realen Kernmaterialbestands (PI), der sich aus dem Inventar des Prozeßbereichs sowie der Feed,- Product,- Tails und Waste-Lager zusammensetzt, werden Inventar-

Schlüsselmeßpunkte (I SMP) (i) unter folgenden Gesichtspunkten festgelegt:

- möglichst hohe Aussagegenauigkeiten für die Einzelbereiche;
- Zusammenlegung von Teilsystemen im Hinblick darauf, daß nennenswerte Kernmaterialmengen erfaßt werden;
- Vereinheitlichung der Methoden zur Inventaraufnahme mit dem Ziel möglichst viele Teilbereiche mit der gleichen Methode erfassen zu können;
- Anpassung der I SMP an die betrieblich vorgesehene Instrumentierung, die gleichzeitig zur Inventarfassung mit herangezogenen werden kann;
- Minimierung des Zeit- und Kostenaufwands für die Aufnahme des realen Bestands im Hinblick auf Eingriffe in den normalen Ablauf der Anlage.

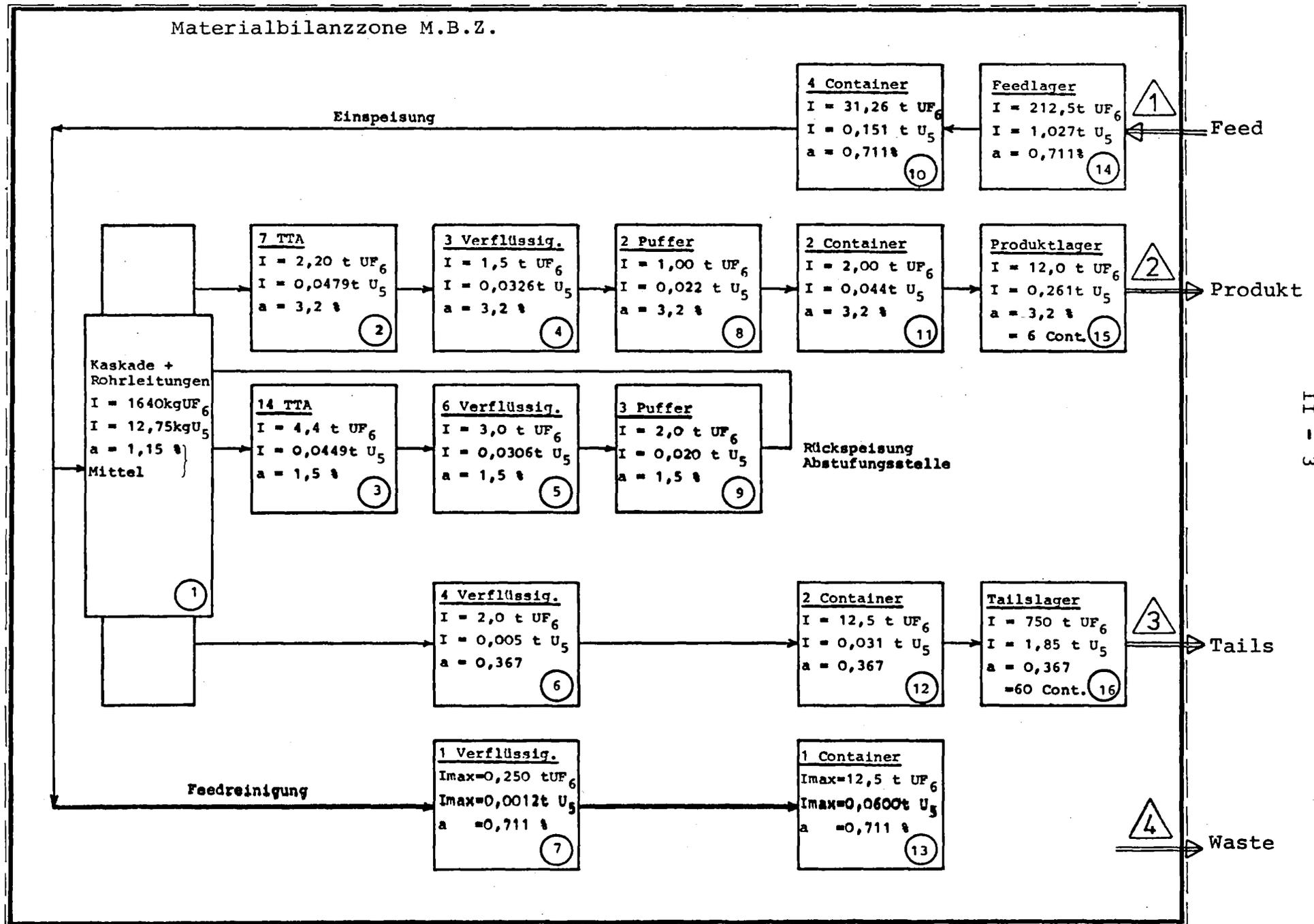
Nach diesen Überlegungen läßt sich die Gesamtanlage in 16 Inventarschlüsselmeßpunkten aufteilen, wie sie in Abb. II/1 bzw. Tab. II/1 im einzelnen aufgeführt sind.

Erläuterungen zu Abb. II/1 und Tab. II/1

Zeichenerklärung:

- \triangle = Durchfluß - Schlüsselmeßpunkt
 O = Inventar - Schlüsselmeßpunkt
 I = Inventar
 n = Anzahl der Chargen
 a = Anreicherung ($U_{235}/U_{235} + U_{238}$)
 $\delta_{M,r}$ = Zufällige Fehler bei Mengenmessung
 $\delta_{K,r}$ = Zufälliger Fehler bei Konzentrationsbestimmung
 $\delta_{K,s}$ = Systematische Fehler bei Konzentrationsbestimmung
 $\delta_{M,i}$ = Geschätzter zufälliger Fehler bei indirekter Mengenmessung

Abb. II/1 - Kernmaterialfluss und Schlüsselmeßpunkte



SMP	Inventar in kg			Anreicherung	Meßfehler in %				Chargen- anzahl	Komponente
	UF ₆	U	U ₂₃₅		$\delta_{M,r}$	$\delta_{K,r}$	$\delta_{K,s}$	$\delta_{M'}$		
①	850500	575000	4090	0,711 %	0,3%	0,05%	0,15%	-	68	Feed/a
2	103500	70000	2240	3,2 %	0,3%	0,05%	0,15%	-	52	Produkt/a
3	746900	505000	1850	0,367 %	0,3%	0,2 %	0,15%	-	60	Tails/a
4	-	-	--	-	-	-	-	-	-	-
①	1640	1109	12,75	mittel 1,15 %	--	0,05%	0,15%	5%	1	Kaskade+Rohr- leitungen
2	2200	1496	47,9	3,2 %	--	0,05%	0,15%	5%	7	TTA
3	4400	2992	44,9	1,5 %	--	0,05%	0,15%	5%	14	TTA
4	1500	1020	32,6	3,2 %	--	0,05%	0,15%	5%	3	Verflüssiger
5	3000	2040	30,6	1,5 %	--	0,05%	0,15%	5%	6	Verflüssiger
6	2000	1360	5,0	0,367 %	--	0,05%	0,15%	5%	4	Verflüssiger
7	250	169	1,2	0,711 %	--	0,05%	0,15%	5%	1	Verflüssiger
8	1000	680	22	3,2 %	3 %	0,05%	0,15%	-	2	Puffer
9	2000		20	1,5 %	3 %	0,05%	0,15%	-	3	Puffer
10	31260	21260	151	0,711 %	3 %	0,05%	0,15%	-	3	Container
11	2000	1360	44	3,2 %	3 %	0,05%	0,15%	-	2	Container
12	12500	8500	31	0,367 %	3 %	0,2 %	0,15%	-	2	Container
13 max.	12500	8500	60	0,711 %	0,3%	0,05%	0,15%	-	1	Container
14	212500	144500	1027	0,711 %	0,3%	0,05%	0,15%	-	17	Lager/Container
15	12000	8160	261	3,2 %	0,3%	0,05%	0,15%	-	6	Lager/Container
16	750000	505000	1850	0,367 %	0,3%	0,2 %	0,15%	-	60	Lager/Container
13 M 1	① 76250	51850	510,16							

Tab. II/1 - Schlüsselmeßpunkte für Durchfluß und Inventar

III Informationssystem

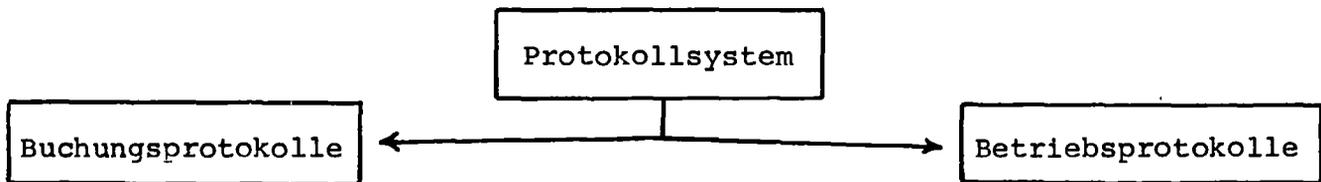
III.1 Protokollsystem

III.1.1 Grundlage des Protokollsystems

Das Protokollsystem richtet sich in Form und Inhalt nach dem IAEA Report INFCIRC/153 .

In den Sektion 51 - 58 Part II sind die Anforderungen an das Protokollsystem festgelegt.

Die Struktur des Systems läßt sich grob wie folgt darstellen:



Die Buchungsprotokolle enthalten folgende Angaben für jede Materialbilanzzone:

- a) alle Bestandsänderungen, so daß der Buchbestand jederzeit festgestellt werden kann;
- b) alle Meßergebnisse, die zur Bestimmung des realen Bestands verwendet werden;
- c) jeden Ausgleich und alle Berichtigungen, die in Bezug auf Bestandsänderungen, Buchbestände und reale Bestände vorgenommen worden sind.

Die Betriebsprotokolle enthalten für jede Materialbilanzzone je nach Sachlage folgende Angaben:

- a) Betriebsdaten, die zur Feststellung von Änderungen in der Menge und Zusammensetzung des Kernmaterials verwendet werden;
- b) Daten, die bei der Eichung von Behältern und Instrumenten sowie bei Probenahmen und Analysen gewonnen werden; die Verfahren zur Kontrolle der Qualität von Messungen und die abgeleiteten Schätzungen zufälliger und systematischer Fehler;
- c) eine Beschreibung des Ablaufs der Vorbereitung und der Aufnahme eines realen Bestands, zur Feststellung seiner Richtigkeit und Vollständigkeit;
- d) eine Beschreibung der Maßnahmen, die getroffen werden, um Ursache und Ausmaß etwa auftretender Verluste durch Unfall oder nicht gemessener Verluste festzustellen.

III.1.2 Protokollsystem für die TD Anlage

III.1.2.1 Buchungsprotokolle

Ausgehend von der Definition des Buchbestandes:

"Buchbestand einer Materialbilanzzone bedeutet die algebraische Summe des letzten realen Bestands der betreffenden Materialbilanzzone und aller seit der Aufnahme dieses Bestands eingetretenen Bestandsänderungen. "

und der Definition der Bestandsänderung:

"Bestandsänderung bedeutet die auf die jeweiligen Chargen bezogene Zunahme oder Abnahme des Kernmaterials in einer Materialbilanzzone."

ergeben sich die Anforderungen an den Inhalt der Buchungsprotokolle.

Da sich die Bestandsänderungen auf jede Kernmaterialcharge beziehen, müssen auch für jede Charge Buchungsprotokolle geführt werden, die sich wie folgt systematisieren lassen:

a) Buchungsprotokolle für alle Chargen an den Durchfluß-Schlüsselmeßpunkten $\triangle 1$, die sich somit beziehen auf:

$\triangle 1$ Feed $\triangle 2$ Produkt $\triangle 3$ Tails $\triangle 4$ Waste

und zu folgenden Punkten Angaben enthalten:

- . Kennzeichnung des Kernmaterials (hier UF_6)
- . Chargendaten: Gewicht Gesamturan in gr und Gehalt von U_{235} in gr

- . Primärdaten
- . Zeitpunkt der Bestandsänderung (bei kontinuierlicher Bestandsänderung Angabe von Zeitintervallen in denen Chargendaten erzeugt werden)
- . abgehende/aufnehmende MBZ

Die Eigenart dieser Chargenkategorie liegt darin, daß das Kernmaterial ausschließlich als festes UF_6 , abgefüllt in entsprechende Behälter gehandhabt wird. Die an den Durchfluß-Schlüsselmeßpunkten erzeugten Primärdaten setzen sich einheitlich zusammen aus Angaben über:

- . Identifizieren der Transportcontainer
- . Wiegen " "
- . Zählen " "

- b) Buchungsprotokolle für alle Chargen an den Inventar-Schlüsselmeßpunkten (1);

Bei dieser Chargenkategorie werden alle Kernmaterialverschiebungen innerhalb der Materialbilanzzone, d.h. innerhalb der Anlage erfaßt.

Im Gegensatz zu (a) kommt bei dieser Kategorie das Kernmaterial UF_6 in allen drei Aggregatzuständen vor, was zu einem komplizierten System von Primärdaten führt, wobei auch hier Angaben gemacht werden müssen zu den fünf unter (a) aufgelisteten Punkten.

Tab. III/1 liefert eine Zusammenstellung aller an den Inventar-Schlüsselmeßpunkten erzeugten Daten.

Die Messungen, die zur Aufnahme des realen Bestands notwendig sind, sind in dieser Liste mit aufgeführt (siehe auch Kap. IV).

	Chargen- anzahl	Konzentrationsmessungen		Mengenmessungen	
		Isotopenkonz.	UF ₆ /H ₂ Konz.	direkte Messungen	indirekte Messungen
Kaskade + Rohr- leitungen	1	Möglichkeit der Probenentnahme vorgesehen	vorgesehen im Betrieb		Drücke/Temperaturen (Gasphase)
TTA	21	Probenentnahme Analyse	betrieblich vorgesehen (Gasreinigung)	Durchflüsse	Zykluszeiten, Taupunktmessungen, Kühlmitteltempera- tur- und Drücke
Verflüssiger	14	Probenentnahme Analyse	kein H ₂	Durchflüsse	Drücke, Temperatu- ren in der Gas- phase
Puffer	7	Probenentnahme Analyse	kein H ₂	Füllstands- messungen	Drücke, Temperatu- ren in der Gas- phase
Container Ein+Ausspeisung	9	Probenentnahme Analyse (nur in der Gasphase)	kein H ₂	zum Teil konti- nuerliche Wägung	Zählen, Zykluszeit, Dampfdrücke, Temperaturen
Lagerbereiche	83	wird übernommen	kein H ₂		Zählen Wiegen Identifizieren

Tab. III/1 - Messungen an den Schlüsselmeßpunkten (SMP)

III.1.2.2 Betriebsprotokolle

- a) Die im Artikel 58 verlangten Betriebsdaten sind in Tab. III/1 zusammengestellt.
- b) Die geforderte Qualitätskontrolle von Messungen sowie die damit eng verbundene Fehleranalyse/ Abschätzung läßt sich bei dem augenblicklichen Projektstand nicht erschöpfend behandeln.

Zur Verarbeitung der oben genannten Meßdaten sind folgende Zusatzinformationen, die in Form von Protokollen festgehalten werden erforderlich:

- Eichprogramme von Meßinstrumenten;
- Probennahme- und Probenanalysenablauf für Isotopen- und H_2/UF_6 Konzentrationsmessungen;
- Betriebszuständen der Anlage
 - . Anfahren
 - . Normalbetrieb
 - . Teilabschaltung einzelner Kaskadenabschnitte
 - . Kaltfahren der Anlage
 - . Zykluszeiten der einzelnen Komponenten bzw. Komponenten-
gruppen
- c) Eine Beschreibung zur Aufnahme des realen Bestands wird in Kap. IV gegeben.

Es wird angestrebt alle aufgeführten Meßergebnisse, die für Safeguardszwecke relevant sind durch den vorhandenen zentralen Rechner in geeigneter Weise erfassen, aufarbeiten und darstellen zu lassen. Durch diese Maßnahme wird die Voraussetzung für ein rechnergestütztes Bilanzierungssystem geschaffen, das in einem späteren Schritt bearbeitet werden wird.

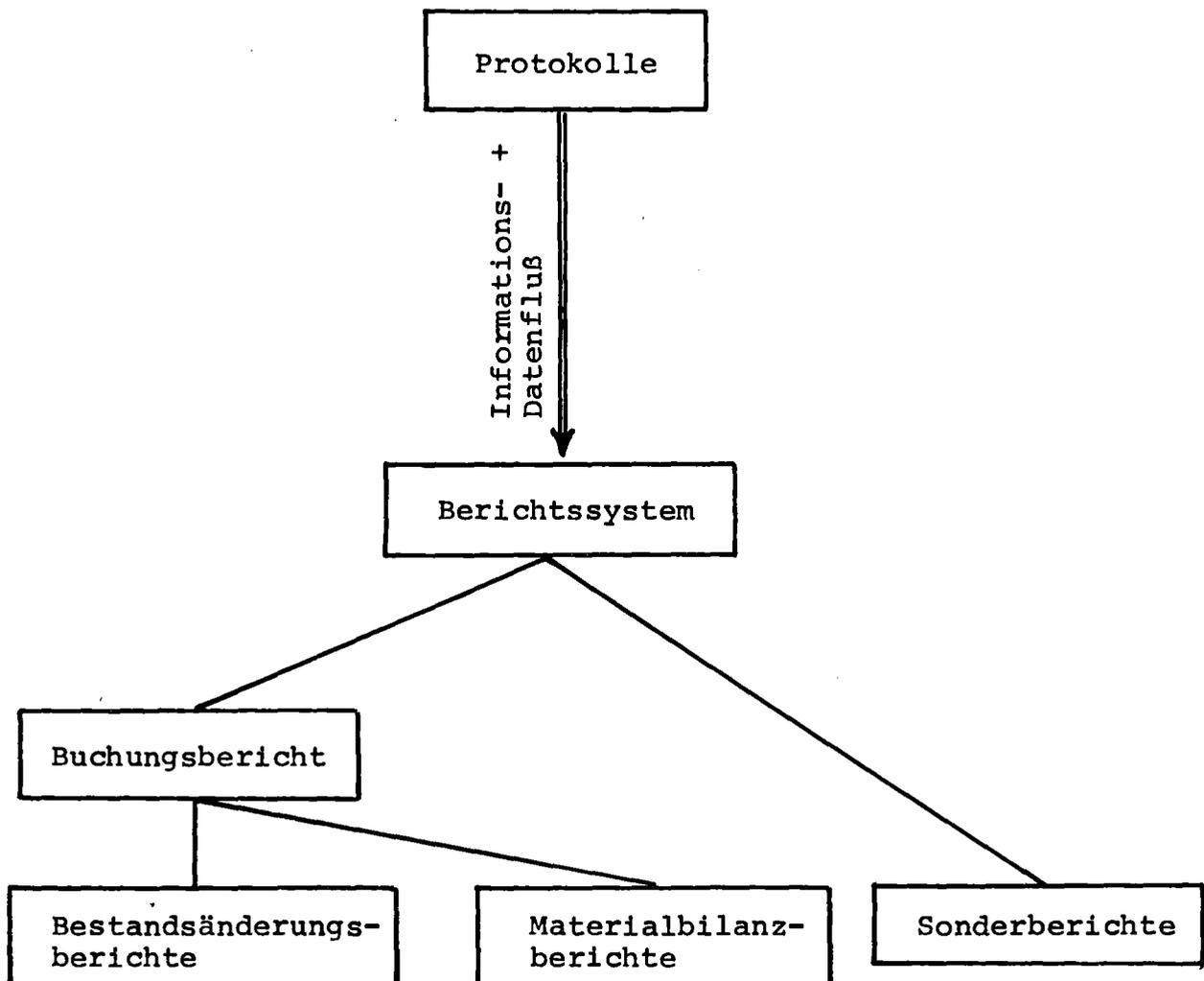
III.2 Berichtssystem

Das Berichtssystem dient der Information der "Gemeinschaft" bzw. der "Organisation" über all das Kernmaterial, das Sicherungsmaßnahmen nach dem "Übereinkommen" unterliegt.

Grundlage für die Abfassung der notwendigen Berichte ist das Protokollsystem in dem alle Safeguards relevanten Anlagen-
daten zusammengestellt bzw. aufgelistet werden.

Form, Inhalt und Häufigkeit der Berichte entsprechen den Anforderungen der Sektionen 59 - 69/Part II INFCIRC/153.

Die Grobstruktur des Berichtssystems ist in nachfolgenden Schema festgehalten.



Auf den nächsten 3 Seiten werden Beispiele für die Form und Inhalt von Bestandsänderungs- und Materialbilanzberichten gegeben, so wie sie in den "Ergänzenden Abmachungen" festgelegt sind.

Eine detaillierte Darstellung des Protokoll- und Berichtssystems anhand einer Referenzkampagne wird in der nächsten Phase erfolgen.

Literaturangabe

[17] - The structure and content of agreements between the agency and states required in connection with the treaty on the non-proliferation of nuclear weapons.

INFCIRC/153

Printed by the IAEA in Austria

May 1971

IV Konzept zur Aufnahme des realen Bestands

IV.1 Vorbemerkungen

In Artikel 58 des Verifikationsabkommens wird

" eine Beschreibung des Ablaufs der Vorbereitung und der Aufnahme des realen Bestands zur Feststellung seiner Richtigkeit und Vollständigkeit"

gefordert.

Im folgenden wird ein erstes Konzept für die Aufnahme und Verifikation des realen Kernmaterialbestandes an allen in Kap. II aufgeführten Inventar-Schlüsselmeßpunkten angegeben, das aber insbesondere im Falle der Tieftemperaturabscheidungsanlage noch im Detail untersucht werden muß.

Im Gegensatz zu Diffusions- und Zentrifugenanlagen unterliegen Trenndüsenanlagen nicht den Regelungen der Geheimhaltung, sodaß es prinzipiell keine Zugangsbeschränkungen für die Inspektionsbehörde gibt.

Die folgenden Ausführungen basieren auf den in Kap. II gegebenen Informationen.

IV.2 Beschreibung der Methoden

① Kaskade + Rohrleitungen

Die Vakuumanlage wird in das System Kaskade + Rohrleitungen mit einbezogen, da die UF_6 -Mengen einzelner Abschalteinheiten bei Störungen in der Anlage oder bei Wartungsarbeiten zwischen Vakuumanlage und Abschalteinheit hin und hergeschoben werden und somit das geschlossene System nicht verlassen.

Die betrieblich durchgeführten Druck, Temperatur und Konzentrationsmessung erlauben eine recht genaue Abschätzung

des UF_6 -Inventars bei bekannten Kaskadenvolumen. Im Notfall lassen sich beliebige Abschalteinheiten separieren und über die Vakuumanlage entleeren. Der UF_6 -Inhalt dieser Abscheider kann dann durch Differenzmessungen ermittelt werden. Eine weitere Abschätzung des Kaskadeninventars läßt sich durch Überprüfung der Ein- und Austrittsströme hinsichtlich Durchsatz und Isotopenkonzentration über einen längeren Zeitraum machen, da das Kaskadeninventar bei Festhalten dieser Parameter nur innerhalb einer engen Bandbreite schwanken kann.

② + ③ Tiefemperaturabscheidungsanlage

Die Tiefemperaturabscheidungsanlage besteht aus einem System von 7 Betriebseinheiten, wobei jede Betriebseinheit aus identischen Gegenstromwärmetauschern besteht. Die Abscheidung des UF_6 aus dem Trägergas erfolgt durch Desublimation, wobei durch ein Kühlmedium die Desublimationswärme abgeführt und der Abscheider sich fortlaufend von unten nach oben entsprechend einer gleichgerichteten Verschiebung der Desublimationszone mit konstanter Geschwindigkeit abkühlt.

Die Abscheidungs-, Aufheiz-, Verdampfungs- und Rückkühlphasen lassen sich zeitlich so steuern, daß 6 oder 7 Betriebseinheiten zu einem festen Zyklus zusammengefaßt werden.

Betrieblich reicht es aus, das UF_6 -Inventar des Wärmetauschersystems über die Zykluszeiten in Verbindung mit Taupunktmessungen und Durchflußmessungen zu erfassen.

Es ist vorgesehen zur Aufnahme der Betriebscharakteristiken der einzelnen Wärmetauscher jeweils einen der 7 identischen Betriebseinheiten zusätzlich mit Taupunktsanzeigeräten zu bestücken.

Eine so aufgenommene Charakteristik ermöglicht es, den Füllstand eines jeden W.T. unter Berücksichtigung der Betriebszyklen inventarmäßig zu erfassen.

Die Isotopenkonzentration wird durch Probennahme und-Analyse bestimmt.

Diese indirekte Meßmethode setzt voraus, daß die Verifikation des Inventars einer Betriebseinheit unter Umständen den Zeitraum eines gesamten Zyklus erfordert.

Da es aus Gründen der Kernmaterialüberwachung notwendig ist, den Inhalt jeder einzelnen TTA-Einheit zu verifizieren, kann es sich ergeben (aus den Erkenntnissen der F+E-Aktivitäten), daß zusätzlich instrumentiert werden muß.

④, ⑤, ⑥, ⑦ Verflüssiger

Betriebsmäßig werden die Verflüssiger über Druck und Temperaturmessungen gesteuert. Das Schalten des zyklischen Wechsels der 3 + 1 Betriebseinheiten zwischen Desublimations- und Verflüssigungsphase erfolgt durch ein Ablaufprogramm. Durch die sehr hohe Überlastbarkeit der Nominalkapazitäten dieser Wärmetauscher ist eine genaue Erfassung des Inventars betrieblich nicht nötig. (Problematik nicht mehr relevant, da neues Konzept ohne Verflüssiger).

Nur durch zusätzliche Maßnahmen, die in den Betriebsablauf eingreifen, läßt sich das W.T.-Inventar verifizieren. Es besteht schaltungstechnisch die Möglichkeit eine beliebige Betriebseinheit zu separieren, zu entleeren und das Inventar auszuwiegen. Dabei nimmt man jedoch im Kauf, daß das System nicht mehr redundant ist.

Die Aufnahme des realen Bestands im einzigen Verflüssiger ⑦ der Feedreinigung unterscheidet sich insofern von der oben beschriebenen Methode, als es durch den periodischen Betrieb der Feedreinigung möglich ist, das Inventar während den Stillstandzeiten durch Auswiegen und Probeanalysen zu erfassen.

⑧, ⑨ Puffer

Der Pufferbehälter dient neben dem Ausgleich von Durchsatz-

schwankungen zur Überbrückung des Ausfalls eines ihm vorgeschalteten Systems (Verflüssiger).

Ferner wird aus dem Flüssigpuffer am Kopf der Kaskade Produkt flüssig in die Transportcontainer abgefüllt.

Neben der Messung von Druck und Temperatur wird eine direkte Mengenbestimmung durch kontinuierliche Füllstandsmessungen durchgeführt. Die Isotopenkonzentration wird wiederum durch Probennahme-Analyse ermittelt.

Bei einer entsprechenden Eichung und Versiegelung der Meßapparatur läßt sich das Inventar direkt über die Füllstandsmessungen verifizieren.

⑩, ⑪, ⑫, ⑬ Container (ORO - 651/Rev.3)

Die Container werden als Transportbehälter für Feed, Produkt und Tailsmengen benutzt. Es werden nur standardisierte Behälter verwandt. Grundsätzlich läßt sich das Inventar durch Differenz-Gewichtsmessungen erfassen.

Die chemische Zusammensetzung und die Isotopenkonzentration werden bei Feed-Container vom "Shipper" übernommen und erst bei der Einspeisung (gasförmig) vom "Receiver" überprüft. Bei Produkt und Tails werden, die entsprechenden Daten von der Austragung übernommen, da es nicht möglich ist, Konzentrationsmessungen an den kalten Container (UF₆ fest) durchzuführen.

Im Gegensatz zu den anderen ist bei den Feed-Container in der Einspeisung eine kontinuierliche Wägung vorgesehen, die eine Abschätzung des momentanen Inventars zuverlässig ermöglicht.

V. Abschätzung der Größen σ (MUF) und E (MUF)V.1 Grundlagen zur Bestimmung des MUF

Die Größe MUF (Material Unaccounted For) ist für einen Bilanzierungszeitraum t_0, t_1 definiert durch

$$\text{MUF} = \text{BI}(t_1) - \text{PI}(t_1)$$

oder genauer

$$\text{MUF} = \text{PI}(t_0) + \sum_{t_0}^{t_1} E_i - \sum_{t_0}^{t_1} A_i - \text{PI}(t_1)$$

wobei

$$\sum_{t_0}^{t_1} E_i = \text{Summe aller Eingänge im Zeitraum } (t_0, t_1)$$

$$\sum_{t_0}^{t_1} A_i = \text{Summe aller Ausgänge im Zeitraum } (t_0, t_1)$$

Für eine Anreicherungsanlage nimmt diese Gleichung folgende Form an:

$$\text{MUF} = \text{PI}(T_0) + \sum_{t_0}^{t_1} F_i - \left(\sum_{t_0}^{t_1} P_i + \sum_{t_0}^{t_1} T_i + \sum_{t_0}^{t_1} W_i \right) - \text{PI}(t_1)$$

wobei

- F = Feed
- P = Product
- T = Tails
- W = Waste

Damit errechnet sich var (MUF) aus:

$$\text{var(MUF)} = \text{var}(\text{PI}(t_0)) + \text{var}(F_i) + \text{var}(P_i) + \text{var}(T_i) + \text{var}(W_i) + \\ + \text{var}(P_i(t_1))$$

Die Varianz der Materialströme Feed, Product und Tails sowie das PI in einer Anreicherungsanlage läßt sich nach /1/ berechnen aus:

$$\text{var}(X) = X^2 \left(\frac{1}{n_x} (\delta_{rM_x}^2 + \delta_{rN_x}^2 + \delta_{rC_x}^2) + \delta_{SM}^2 + \delta_{SN}^2 + \delta_{SC}^2 \right)$$

mit	X	=	Menge U ₂₃₅ in kg
	n _x	=	Chargenanzahl
	δ _r	=	relative Standardabweichung des zufälligen Fehlers
	δ _s	=	relative Standardabweichung des systematischen Fehlers
	M	=	Gewicht
	N	=	Anreicherung $\frac{U-235}{U-235+U-238}$
	C	=	chemischer Faktor $\frac{UF_6}{UF_6 + \text{Verunreinigungen}}$

Die praktische Anwendbarkeit dieser Gleichung muß von Fall zu Fall überprüft werden.

Im folgenden wird die Größe $\sigma(\text{MUF}) = \sqrt{\text{var}(\text{MUF})}$ auf der Grundlage der in Kap. I und II angegebenen Durchsätze sowie der Kernmaterialinhalte in den einzelnen Komponenten der Anlage im Nennbetrieb überschlägig unter vereinfachenden Annahmen berechnet im Hinblick auf eine relative Wichtung der einzelnen Komponenten hinsichtlich ihres Beitrages zu $\sigma(\text{MUF})$ und E (MUF).

In Abb. II/1 sind die an den Durchfluß- und Inventurschlüsselmaßpunkten zu messenden Uranmengen und in Tab. V/1 die für die Rechnungen notwendigen Daten angegeben.

Für die Ermittlung der Größen σ (MUF) und E (MUF) werden folgende Annahmen getroffen:

- die in dem Kapitel 1 angegebenen Genauigkeiten bei der Gewichtsbestimmung werden als $\pm \sigma_r$ -Werte interpretiert;
- als Fehler bei der U 235-Isotopenkonzentrationsbestimmung werden die im Interlabtest /2/ ermittelten Werte zugrunde gelegt, wobei der maximale systematische (konzentrationsunabhängige) Fehler des Standards dem E (MUF) zugerechnet wird;
- chemische Faktoren sind nicht enthalten;
- Einflüsse der Inhomogenität auf die Isotopenkonzentrationsbestimmung sind nicht berücksichtigt;
- das Tails wird nach jeder Aufnahme des realen Bestandes^x ausgebucht;
- die Aufnahme des realen Bestandes im Tailslager beschränkt sich auf die Wägung der Tailscontainer, die Isotopenkonzentration wird von der Tailsaustragung übernommen;
- von den vier in der Einspeisung befindlichen Feedcontainern sind zwei in Betrieb;
- es wird zweimal pro Jahr eine Aufnahme des realen Bestandes durchgeführt;
- die folgenden Rechnungen beziehen sich auf den U_{235} Kernmaterialanteil

^xIm folgenden ist unter "Aufnahme des realen Bestandes" immer eine solche durch die Überwachungsbehörde zu verstehen.

- Lagerbereiche

• Feed:

Der mittlere Lagerbestand während eines Jahres entspricht dem vierten Teil des Jahresdurchsatzes, d.h. mittlerer Lagerbestand $\bar{I}_F = 1027 \text{ kg U}_{235} \hat{=} 17 \text{ Containern}$.

• Produkt:

Etwa alle 1-2 Monate werden die Produktbehälter ausgebucht, so daß sich ein mittlerer Produkt-Lagerbestand von $I_P = 261 \text{ kg U}_{235} \hat{=} 6 \text{ Containern}$ ergibt.

• Tails:

Die Tailsmengen werden über das Jahr im Tailslager gesammelt. Nach Ablauf des 1. Betriebsjahrs wird sich eine mittlere Lagerinventarmenge einstellen, die einem Jahresdurchsatz entspricht,

$$I_T = 1850 \text{ kg U}_{235} \hat{=} 60 \text{ Containern}$$

• Waste:

Noch keine erschöpfenden Angaben möglich.

SMP	X=kg U ₂₃₅	δ_{Mr}	δ_{Kr}	δ_{Ks}	δ_M	Chargen- anzahl n_x	Bemerkung
△	2045	0,3 %	0,05 %	0,15 %	---	34	
2	1120	0,3 %	0,05 %	0,15 %	---	26	
3	925	0,3 %	0,2 %	0,15 %	---	30	
①	12,75	---	0,05 %	0,15 %	5 %	1	} geschätzter zufälliger Fehler bei Mengenmessung wird noch bearbeitet.
2	47,9	---	0,05 %	0,15 %	5 %	7	
3	44,9	---	0,05 %	0,15 %	5 %	14	
4	32,6	---	0,05 %	0,15 %	5 %	3	
5	30,6	---	0,05 %	0,15 %	5 %	6	
6	5,0	---	0,05 %	0,15 %	5 %	4	
7	1,2	---	0,05 %	0,15 %	5 %	1	
8	22	3 %	0,05 %	0,15 %	---	2	
9	20	3 %	0,05 %	0,15 %	---	3	
10	59,5	0,3 %	0,05 %	0,15 %	---	1	} wird aufgeteilt, da verschiedene Meßmethoden.
	91,5	5 %	0,05 %	0,15 %	---	2	
11	44	3 %	0,05 %	0,15 %	---	2	
12	31	3 %	0,2 %	0,15 %	---	2	
13	59,5	0,3 %	0,05 %	0,15 %	---	1	
14	1027	0,3 %	0,05 %	0,15 %	---	17	
15	261	0,3 %	0,05 %	0,15 %	---	6	
16	1850	0,3 %	0,2 %	0,15 %	---	60	

Tab. V/1 Zusammenstellung der für die Berechnung des σ (MUF) und E (MUF) notwendigen Daten, bezogen auf den Inventurzeitraum.

V.2 Berechnung des MUF1. Erfassung des Durchflusses (1/2-jährliche Bilanzierung)

$$\begin{aligned} \text{var (F)} &= (2045)^2 \frac{1}{23} (0,003^2 + 0,005^2) \quad \text{kg}^2 \text{ U-235} \\ &= 1,148 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{var (P)} &= (1120)^2 \frac{1}{26} (0,003^2 + 0,0005^2) \quad " \quad " \\ &= 0,446 \end{aligned}$$

$$\text{var (T)} = (925)^2 \frac{1}{30} (0,003^2 + 0,002^2) \quad " \quad "$$

damit folgt:

$$\underline{\text{var D}} = 1,965 \quad \text{kg}^2 \text{ U-235} \quad \text{D} = \text{Durchfluß}$$

Für Waste liegen derzeit noch keine gesicherten Werte vor. Die nachweisbaren Wastemengen liegen insgesamt nicht über 4 kg U_{235}/a , wodurch das Ergebnis nicht maßgeblich beeinflusst wird.

2. Aufnahme des realen Bestandes erfolgt an den in Abb. I/1 angegebenen Inventur-Schlüsselmeßpunkten. an einer Reihe dieser Punkte ist derzeit aus verfahrenstechnischen Gründen keine Messung des Kernmaterialinhaltes vorgesehen.

Es werden deshalb im folgenden zwei Fälle betrachtet:

Fall 1

Im Sinne einer Abschätzung nach oben wird davon ausgegangen, daß die im Nennbetrieb vorhandene, aber für die Überwachungsbehörde nicht direkt verifizierbaren Kernmaterialmengen zu 100 % in die Größe E (MUF) eingehen. Dazu gehören all die UF_6 -Mengen, die den ISMP ① bis ⑦ zugeordnet werden.

- Erfassung des "Physical Inventory's":

$$\begin{aligned} \text{var (PI)}_1 &= 22^2 \frac{1}{2} (0,03^2 + 0,0005^2) + 20^2 \frac{1}{3} (0,03^2 + 0,0005^2) + \\ &+ 59,5^2 (0,003^2 + 0,0005^2) + 91,5^2 \frac{1}{2} (0,03^2 + 0,0005^2) + \\ &+ 44^2 \frac{1}{2} (0,03^2 + 0,0005^2) + 31^2 \frac{1}{2} (0,03^2 + 0,002^2) \\ &+ 59,5^2 (0,003^2 + 0,0005^2) + 1027^2 \frac{1}{17} (0,003^2 + 0,0005^2) \\ &+ 261^2 \frac{1}{6} (0,003^2 + 0,0005^2) + 1850^2 \frac{1}{60} (0,003^2 + 0,0005^2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{var (PI)}_1 &= 0,22 & + & & 0,920 + \\ &0,0372 & + & & 3,769 + \\ &1,74 & + & & 0,434 + \\ &0,0328 & + & & 0,574 + \\ &0,105 & + & & 0,5276 \text{ kg}^2 U_{235} \end{aligned}$$

damit ergibt sich schließlich

$$\text{var (PI)}_1 = 7,560 \text{ kg}^2 U_{235}$$

Damit folgt für Fall 1 unter der Voraussetzung, daß
 $\text{var}(\text{PI}(t_0)) = \text{var}(\text{PI}(t_1))$ mit den oben für die Durch-
 flüsse F,P,T berechneten Werte:

$$\text{var}(\text{MUF})_1 = 7,560 + 1,148 + 0,446 + 0,371 + 7,560$$

$$\hat{=} (\text{PI}(t_0)) + \text{Feed} + \text{Prod.} + \text{Tails} + (\text{PI}(t_1))$$

$$\text{var}(\text{MUF})_1 = 17,02 \text{ kg}^2 U_{235}$$

$$\sigma(\text{MUF})_1 = 4,125 \text{ kg } U_{235}$$

$$= 0,202 \% \text{ des Durchsatzes.}$$

- Beiträge zum Erwartungswert E (MUF) durch den syste-
 matischen Fehler des Standards:

DSMP	U_{235} -Menge in kg
①	$\pm 5,068$
2	$\pm 1,680$
3	$\pm 1,388$
$\Sigma \Delta$	$= 6,136$

Dies entspricht 0,300 % des Durchsatzes*

- Beiträge zu E (MUF) durch nicht direkt verifizierbare
 Uranmengen an den ISMP's ① bis ⑥ :

* Im folgenden ist hierunter immer der Durchsatz, bezogen auf
 den Inventurzeitraum (0,5 Jahre) zu verstehen.

ISMP	U ₂₃₅ Menge kg	ISMP	U ₂₃₅ Menge kg
①	12,75	4	32,6
2	47,9	5	30,6
3	44,9	6	5,0
		7	1,2
$\sum_{i=1}^6 \textcircled{i} = 174,95 \text{ kg}$			

Damit verschiebt sich der Erwartungswert des MUF um einen nicht verifizierbaren Anteil von 174,95 kg U₂₃₅ was 8,555 % des Durchsatzes entspricht.

Fall 2

Für diesen Fall wird angenommen, daß die Kernmaterialinhalte an den ISMP ① — ⑦ mit Hilfe betrieblicher Daten verbunden mit einer Probenentnahme mit einer Genauigkeit von ± 5 % bestimmt werden können. Diese Abschätzung liegt ebenfalls auf der sicheren Seite, da die betriebliche Instrumentierung und die damit produzierten Daten in ihrer Genauigkeit unter 5 % Abweichung vom Sollwert liegen.

$$\begin{aligned}
 \text{Var}(\text{PI})_2 &= 12,75^2 (0,05^2 + 0,0005^2) + 47,9^2 \frac{1}{7} (0,05^2 + 0,0005^2) \\
 &+ 44,9^2 \frac{1}{14} (0,05^2 + 0,0005^2) + 32,6^2 \frac{1}{3} (0,05^2 + 0,0005^2) \\
 &+ 30,6^2 \frac{1}{6} (0,05^2 + 0,0005^2) + 5,0^2 \frac{1}{4} (0,05^2 + 0,0005^2) \\
 &+ 1,2^2 (0,05^2 + 0,0005^2) + \quad \quad \quad 0,22 \\
 &\quad \quad \quad + 0,120 \quad \quad \quad + 3,8062 \quad + 1,74 \\
 &\quad \quad \quad + 0,434 \quad \quad \quad + 0,0328 \quad + 0,574 \\
 &\quad \quad \quad + 0,105 \quad \quad \quad + \quad \quad \quad 0,5276 \text{ kg}^2 \text{ U}_{235}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{var (PI)}_2 &= 0,406 + 0,8195 + 0,360 \\
 &+ 0,886 + 0,390 + 0,0156 \\
 &+ 0,0036 + 0,22 + 0,120 \\
 &+ 3,8062 + 1,74 + 0,434 \\
 &+ 0,0328 + 0,574 + 0,105 \\
 &+ 0,5276 \text{ kg}^2 U_{235}
 \end{aligned}$$

$$\text{Var (PI)}_2 = 10,44 \text{ kg}^2 U_{235}$$

$$\sigma \text{ (PI)}_2 = \pm 3,23 \text{ kg } U_{235}$$

Damit folgt:

$$\begin{aligned}
 \text{var (MUF)}_2 &= 2 \times 10,44 + 1,148 + 0,446 + 0,371 \\
 &= 22,85 \text{ kg}^2 U_{235}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \sigma \text{ (MUF)}_2 &= 4,78 \text{ kg } U_{235} \\
 &= 0,234 \% \text{ des Durchsatzes}
 \end{aligned}$$

Beiträge zu $E \text{ (MUF)}_2$ durch den systematischen Fehler des Standards liefern die Durchfluß-Schlüsselmeßpunkte wie im Fall 1.

Der Beitrag zu $E \text{ (MUF)}_2$ beträgt also:

$$E^* \text{ (MUF)}_2 = \pm 6,136 \text{ kg } U_{235}$$

Diese Kernmaterialmenge entspricht 0,30% des Durchsatzes.

Zusammenfassung:Fall 1

Die Kernmaterialmengen an den ISMP's ① bis ⑦ werden zu 100 % der Größe E (MUF) zugeschlagen und werden somit bei der Erfassung des Physical Inventory's nicht berücksichtigt.

$$\begin{aligned} \sigma \text{ (MUF)}_1 &= 4,125 \text{ kg U}_{235} \\ &\hat{=} 0,202 \% \text{ des Durchsatzes} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E^* \text{ (MUF)}_1 &= 174,95 \pm 6,136 \text{ kg U}_{235} \\ &\hat{=} 8,555 \% \pm 0,300 \% \text{ des Durchsatzes} \end{aligned}$$

Fall 2

Die an den ISMP's ① bis ⑦ erzeugten Primärdaten werden zur Erfassung des Inventars benutzt. Es wird angenommen, daß die Mengenbestimmungen mit einer Genauigkeit von 5 % möglich sind.

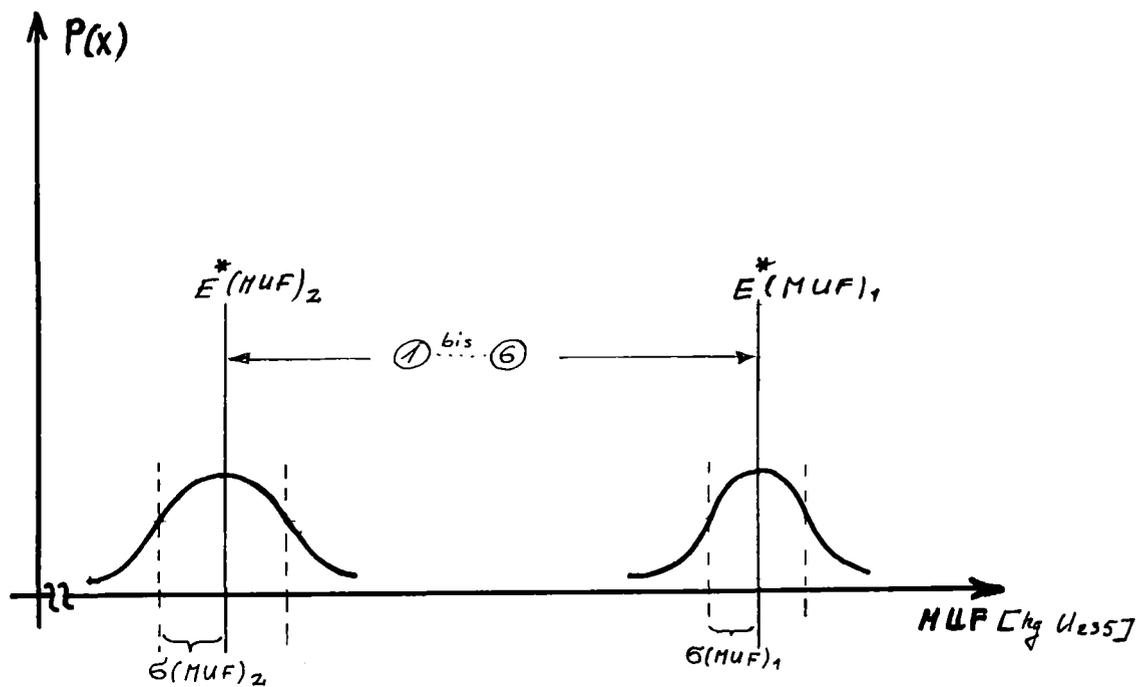
$$\begin{aligned} \sigma \text{ (MUF)}_2 &= 4,78 \text{ kg U}_{235} \\ &\hat{=} 0,234 \% \text{ des Durchsatzes} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E^* \text{ (MUF)}_2 &= \pm 6,136 \text{ kg U}_{235} \\ &\hat{=} \pm 0,300 \% \text{ des Durchsatzes entspricht.} \end{aligned}$$

E* (MUF) ist der Anteil von E (MUF), der bei dieser Abschätzung berücksichtigt wurde.

Von seiten der Überwachungsbehörden werden bezüglich σ (MUF) derzeit Werte von 0,1 %/3/ bzw. 0,2 %/4/, bezogen auf den Durchsatz bzw. das Inventar, angegeben.

Qualitativ lassen sich Fall 1 und 2 folgendermaßen darstellen:



Damit wird deutlich, daß in erster Linie Möglichkeiten gefunden werden müssen, um das Kernmaterial in allen Anlagenteilen zu verifizieren, damit den Vorstellungen der Überwachungsbehörden Genüge getan wird.

Literatur

- [1] - "Assesemnt of Material Unaccounted For (MUF)
and Inspection Efforts in a Centrifuge Plant"
E. Kraska, R. Otto, E. Wenk, R. Avenhaus, D. Gupta
KFK 1696
- [2] - "UF₆-Interlaboratoriumstest, Abschlußbericht"
W. Beyrich, D. Dürr, W. Großgut
KFK 2340 (in Vorbereitung)
- [3] - "Safeguarding Nuclear Materials"
Proceedings of a Symposium
Vienna, 20-24 Ocotber 1975

VI. Verbleibende Probleme / F+E-Aktivitäten

Mit dem Abschluß der Projektdefinitionsphase sind die safeguardsrelevanten Fragestellungen, Anforderungen, Probleme bzw. spezifischen Belange einer TD-Anreicherungsanlage erarbeitet worden, mit dem Ergebnis, die weiteren Arbeiten am Safeguardskonzept definieren und gezielt F + E Aktivitäten formulieren zu können.

Die durchgeführten Untersuchungen haben gezeigt, daß die Auslegung der Gesamtanlage und insbesondere die apparative Verfahrensführung erheblichen Einfluß auf die Safeguardsfreundlichkeit der TD-Anlage haben: nach dem neuesten Stand wird z.B. die kontinuierliche Verflüssigung im Austrage- und Rückspeisesystem angewandt, was zur Folge hat, das die bisher verwandten, inventarmäßig schwer erfaßbaren Verflüssiger wegfallen, ohne durch andere mit Kernmaterial gefüllte Apparate ersetzt zu werden. An diesem Beispiel zeigt sich die Notwendigkeit, ständig die neuesten Daten der Anlage sowie deren verfahrenstechnische Modifikationen in das Safeguardskonzept mit einfließen zu lassen.

Das Kernstück des Safeguardskonzepts bildet ein optimal angepaßtes Protokollsystem, dessen Ziel es ist, den verfahrensmäßig gegebenen Materialfluß in einen Informationsfluß umzuwandeln. Um diesem Anspruch gerecht zu werden, soll ein rechnergestütztes Bilanzierungsverfahren entwickelt werden, für das in einem ersten Schritt die Anforderungen erarbeitet werden müssen unter Berücksichtigung des betrieblich vorgesehenen Zentralrechners und dessen Eigentümlichkeiten.

Ein Konzept zur Aufnahme des realen Bestands wurde erarbeitet und muß nun bezogen auf jeden einzelnen Schlüsselmeßpunkte hinsichtlich seiner Anwendbarkeit und Aussagegenuigkeit untersucht werden.

In diesem Zusammenhang stellt die Aufnahme des realen Bestands

bei den Tieftemperaturabscheidern den größten Unsicherheitsfaktor dar. Es ist deshalb vordringlich nötig ausreichende Erfahrungen zu sammeln über das Betriebsverhalten und die Handhabung der TTA in allen Betriebszuständen, wobei speziell die Korrelation zwischen den betrieblich erzeugten Anlage-daten und einer daraus ableitbaren Füllstandsbestimmung untersucht werden muß. Eventuell zeigt sich, daß diese Methode keine ausreichenden Aussagen erbringt, was dazu führt, alternative Methoden zur Erfassung des Realinventars zu entwickeln.

Weniger kritisch sind die Methoden zur Inventarerfassung an den übrigen ISMP. Hier müssen die Bereiche für die Aussagegenauigkeiten eingegrenzt werden durch weitere Untersuchungen hinsichtlich Aussagekräftigkeit der erzeugten Primärdaten.

Es sollten weitere Überlegungen angestellt werden, ob und wie die recht aufwendige Bestimmungen der Isotopenkonzentration durch Probeentnahme (aufwendig auch in Hinblick auf die Datenverarbeitung) durch "on-line-Messungen", dort wo es möglich und sinnvoll ist, zu ersetzen. Schließlich ist es notwendig, genaue Aussagen über das Gasinventar in der Anlage zu erlangen.

Zur Verbesserung der Abschätzung von ϵ (MUF) und E (MUF) müssen Untersuchungen und Experimente zur Waste-Bestimmung durchgeführt werden. Speziell sollen die Unsicherheiten in der Bestimmung der UF_6 -Ablagerungen bei Erstfüllung und nach erfolgtem Versuchsbetrieb sowie die integrale Leckrate der Anlage in allen Betriebszuständen möglichst eingegrenzt werden. Da die UF_6 -Ablagerungen in Rohrleitungen und Behältern z.B. stark von der vorherigen Behandlung des Al-Materials abhängen, besteht hier noch ein großer Unsicherheitsbereich.

Folgende Arbeitspakete, lassen sich aus den oben dargelegten Überlegungen für die sich anschließende Phase zusammenfassen:

1. Ausarbeitung und Vorbereitung der safeguardsbezogenen

F + E Aktivitäten im Rahmen des vorgesehen bauzugehörigen TD-F + E-Programmes, im einzelnen

1.1 Tieftemperaturabscheider

a) Versuchsprogramm an einem Ausschnitt eines Tieftemperaturabscheiders:

- Korrelationsbestimmung von Taupunktmessung und Füllstand (Eichungsmöglichkeit für Überwachungsbehörde);
- Ermittlung der UF_6 -Ablagerungen bei der Erstfüllung;
- Ermittlung der UF_6 -Ablagerungen nach erfolgtem Versuchsbetrieb;
- Untersuchung von alternativen Methoden zur Erfassung des Realinventars.

b) Theoretische Überlegungen

- verifizierbare Ermittlung des realen Inventars in einem System von TTA-Einheiten in Abhängigkeit von der Betriebsstrategie;
- Überlegungen zur Verifizierung einer Inventarbestimmung für eine TTA-Einheit durch kurzfristige Änderung der Betriebsstrategie ohne tiefgreifenden Eingriff in den Anlagenbetrieb.

1.2 Versuchskreislauf zur kontinuierlichen UF_6 -Verflüssigung

- Ermittlung der UF_6 -Ablagerungen bei der Erstfüllung;
- Ermittlung der UF_6 -Ablagerungen nach Versuchsbetrieb.

1.3 Stufenversuchsprogramm

- Ermittlung der UF_6 -Ablagerungen bei der Erstfüllung;
- Ermittlung der UF_6 -Ablagerungen nach Versuchsbetrieb.

1.4 Instrumententestprogramm

- gegebenenfalls Untersuchungen zur Erhöhung der Genauigkeit.

1.5 Überlegungen zu den zu erwartenden (zeitabhängigen) Verlusten durch Leckagen bzw. Komponentenwechsel.

2. Einarbeitung geänderter Anlagendaten und Systeme in das Überwachungskonzept.

3. Detaillierung des Protokoll- + Berichtssystems

- Ausarbeitung der erforderlichen Protokoll- + Berichtsdaten;
- Darstellung des Protokoll- und Berichtssystems an Hand einer Referenzkampagne;
- Erarbeitung der Anforderungen an ein rechnergestütztes Bilanzierungssystem gemäß NV-Vertrag aufgrund der an den Schlüsselmeßpunkten erlangten Primärdaten.

⑭ . . . ⑮ . . . ⑯ Lagerbereiche

Die Verifikation des Lagerinventars erfolgt durch Zählen und ggf. Nachwiegen einzelner Behälter.

Chemische Zusammensetzung und Isotopenkonzentration werden den Angaben, die zur Identifikation der Behälter beigefügt sind, entnommen.