

**KERNFORSCHUNGSZENTRUM**

**KARLSRUHE**

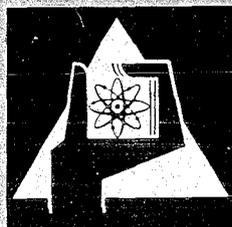
Oktober 1970

KFK 1108

Institut für Angewandte Reaktorphysik

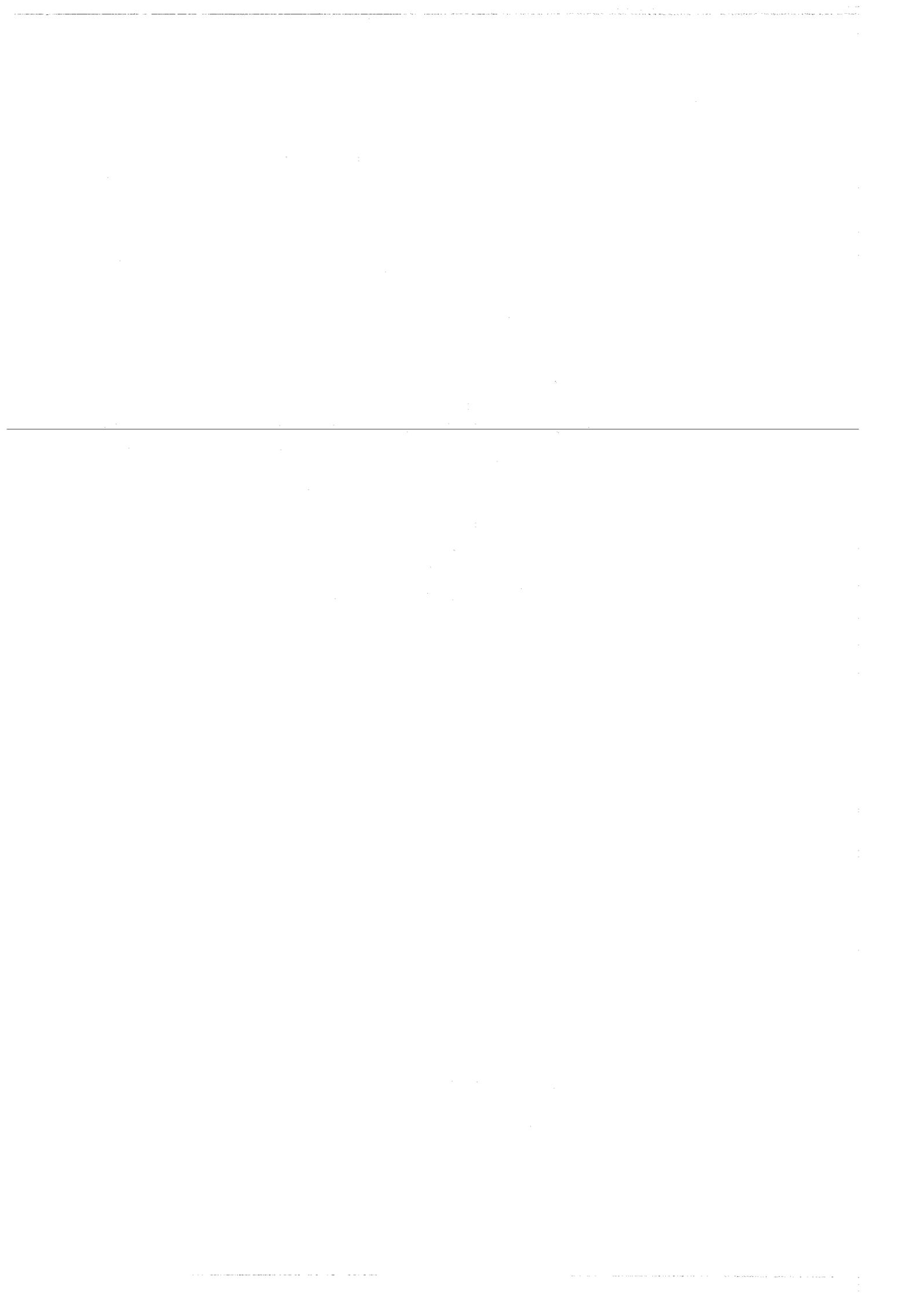
Die qualitativen Überwachungsmaßnahmen im Rahmen  
der Spaltstoffflußkontrolle

A. Hagen, D. Nentwich, H. E. Otto  
und  
D. Gupta



GESELLSCHAFT FÜR KERNFORSCHUNG M. B. H.

KARLSRUHE



Kernforschungszentrum Karlsruhe

Oktober 1970

KFK 1108

Institut für Angewandte Reaktorphysik

---

Die qualitativen Überwachungsmaßnahmen im Rahmen  
der Spaltstoffflußkontrolle

A. Hagen, D. Nentwich, H.E. Otto

und

D. Gupta

Gesellschaft für Kernforschung m.b.H., Karlsruhe

1.  $\frac{1}{x^2} = x^{-2}$

Derivative:

$\frac{d}{dx} x^{-2} = -2x^{-3} = -\frac{2}{x^3}$

2.  $\frac{1}{x^3} = x^{-3}$

Derivative:

$-3x^{-4}$

$= -\frac{3}{x^4}$

3.  $\frac{1}{x^4} = x^{-4}$

### Zusammenfassung

In dem Bericht wird zunächst versucht, die qualitativen Maßnahmen zur Spaltstoffüberwachung zu kategorisieren. Gleichzeitig wird die Leistungsfähigkeit dieser Maßnahmen derjenigen der quantitativen Maßnahmen gegenübergestellt. Es werden weiterhin einige typische Beispiele qualitativer Einzelmaßnahmen beschrieben, die hinsichtlich ihres Entwicklungspotentials aussichtsreich erscheinen. Die bisher absehbaren Anwendungsbereiche dieser Einzelmaßnahmen im nuklearen Brennstoffzyklus werden aufgezeigt.

---

### Abstract

First of all, the report tries to categorize the qualitative safeguard measures. At the same time the efficiency of these measures is compared with that of the quantitative measures. Furthermore some typical examples of qualitative measures which appear promising in their potential of development are described. The fields of application for these measures in the nuclear fuel cycle, as seen today, are indicated.

The first part of the course covers the basic concepts of algebra, including the properties of numbers, the rules of arithmetic, and the operations of addition, subtraction, multiplication, and division. It also introduces the concept of variables and the use of algebraic expressions to represent mathematical relationships.

The second part of the course focuses on geometry, starting with the study of lines, angles, and polygons. It then moves on to the properties of circles and the calculation of area and volume for various shapes. The course concludes with an introduction to trigonometry, which deals with the relationships between the sides and angles of triangles.

## Inhaltsverzeichnis

	<u>Seite</u>
1. Einführung	1
2. Kategorisierung der Maßnahmen	2
2.1 Vergleich der drei Maßnahmen	2
2.2 Qualitative Maßnahmen	3
2.2.1 Dichtigkeitsmaßnahmen (Containment)	3
2.2.2 Beobachtungsmaßnahmen (Surveillance)	4
3. Beschreibung einiger Dichtigkeitsmaßnahmen	5
3.1 Zäune, Safes usw.	5
3.2 Alarmanrichtungen	5
3.2.1 Sicherung der Vollständigkeit der eingeführten Spaltmaterialien	6
3.2.2 Sicherung der Zuverlässigkeit der Informationen	7
3.3 Versiegelungen	11
3.3.1 Versiegelung für Spaltstoffbehälter	11
3.3.2 Versiegelung für Subassemblies	13
3.3.3 Versiegelung von Meßsonden und -einrichtungen	14
4. Beobachtungsmaßnahmen	15
4.1 Personenschleuse	15
4.2 Aktivitätsanzeiger	15
5. Schlußfolgerungen	16

## Verzeichnis der Abbildungen

- Abb. 1: Kategorisierung der qualitativen Überwachungsmaßnahmen
- Abb. 2: Flüssigkeitsmeßsonde
- Abb. 3: Widerstandsheizdraht zur Messung des Luftstroms an dip tubes
- Abb. 4: Vibrationsdetektor
- Abb. 5: Quecksilber-Vibrationsanzeiger
- Abb. 6: Sicherungsrelais für elektrische Rekorder
- Abb. 7: Gegenwärtig zur Spaltmaterialkontrolle verwendete Siegel
- Abb. 8: Hanford-Siegel
- Abb. 9: Glasfaser-Siegel
- Abb.10: Siegel für Spaltstoffbehälter
- Abb.11: Siegel für Subassembly
- Abb.12: Glas-Sicherheitsbehälter

Die qualitativen Überwachungsmaßnahmen im Rahmen  
der Spaltstoffflußkontrolle

A. Hagen, D. Nentwich, H.E. Otto  
D. Gupta

1. Einführung

Es ist schon mehrfach festgestellt worden, daß ein Überwachungssystem im friedlichen Sektor der Kernenergie auf drei Grundmaßnahmen aufgebaut werden kann [1,2,3].

Diese sind:

- Erstellung einer Mengenzbilanz
- Dichtigkeitsmaßnahmen (Containment)
- Beobachtungsmaßnahmen (Surveillance)

Die erste dieser Maßnahmen bezeichnet man als quantitative Maßnahme. Sie ermöglicht es, die Ergebnisse einer Abzweigung (d.h. die abgezweigte Menge) quantitativ festzustellen [4]. Die Feststellung kann jedoch nur mit einer Zeitverzögerung stattfinden, und diese Maßnahme kann keine unmittelbaren Informationen über Ort und Zeit der Abzweigung liefern. Trotzdem liegt in sehr vielen Fällen die Hauptbetonung auf dieser Maßnahme, da sie quantifizierbare Aussagen über eine Abzweigung ermöglicht.

Die Dichtigkeits- bzw. Beobachtungsmaßnahmen kann man dagegen als qualitative Maßnahmen bezeichnen [4]. Diese Maßnahmen sind zur Feststellung von Tätigkeiten bzw. Schritten, die direkt mit einer Abzweigung in Verbindung stehen, geeignet. Sie können unter Umständen über den Ort und die Zeit einer Abzweigung Auskunft geben, aber nicht über die Menge an abgezweigtem Material. Eine Ausnahme bildet jedoch die Personenschleuse (s. unten).

Obwohl verschiedene Arten von qualitativen Maßnahmen in Überwachungssystemen ihre Anwendung gefunden haben, besteht in mehreren Fällen keine klare Begrenzung zwischen den Dichtigkeits- und Beobachtungsmaßnahmen.

In dem vorliegenden Bericht wird ein Versuch unternommen, diese Überwachungsschritte soweit wie möglich zu definieren, einige dieser Maßnahmen, die für die Spaltstoffflußkontrolle von Interesse sind, zu beschreiben und Beispiele für ihren Einsatz im nuklearen Brennstoffzyklus anzugeben. Darüber hinaus sollen diese Überlegungen zur Beantwortung der Frage des Entwicklungspotentials dieser Maßnahmen beitragen.

## 2. Kategorisierung der Maßnahmen

### 2.1 Vergleich der drei Maßnahmen

Tabelle 1 gibt einen Überblick darüber, wie sich die drei grundsätzlichen Überwachungsmaßnahmen hinsichtlich der gelieferten Aussagen über eine Abzweigung unterscheiden.

Tabelle 1: Aussagen über eine Abzweigung

Gelieferte Aussage	Beobachtung	Dichtigkeit	Mengen- Bilanz
ob stattgefunden	ja	ja	ja <sup>++)</sup>
wo stattgefunden	ja	ja	nein
wann stattgefunden	ja	ja	nein
wieviel abgezweigt	ja <sup>+) )</sup>	nein	ja <sup>++)</sup>

<sup>+) )</sup> nach anschliessender Messung

<sup>++)</sup> mit Vorbehalt, da Fehlbeträge u.U. erst weitergehender Klärung bedürfen

Während die Beobachtungsmaßnahmen grundsätzlich zwar die meisten Aussagen liefern und an einigen Stellen des Brennstoffzyklus (Pu-Lager, Belade- und Entladestelle in einem Reaktor usw.) sehr effektiv angewendet werden können, verlieren sie an anderen Stellen im Zyklus infolge der damit verbundenen hohen Kosten sowie der Notwendigkeit der detaillierten Kenntnis von Anlage und Betrieb erheblich an Bedeutung.

Obwohl die Dichtigkeitsmaßnahmen weniger Aussagen liefern als die Beobachtungsmaßnahmen, kann bei geeigneter Anwendung eine Behinderung des normalen Betriebsablaufes weitgehend vermieden werden. Insofern wird ihre Bedeutung nicht eingeschränkt.

Die geringsten Aussagen liefern bei dieser Betrachtung die Mengenbilanz-Maßnahmen. Ungeachtet der Tatsache, daß sie darüber hinaus zur Sicherung der Informationen immer nur in Verbindung mit Dichtigkeitsmaßnahmen zweckentsprechend angewendet werden können, sowie der Tatsache, daß mögliche Fehlbeträge (MUF) u.U. erst einer weitergehenden Klärung bedürfen [5], erscheinen sie doch für ein zukünftiges Spaltstoffflußkontrollsystem unentbehrlich, da nur diese Maßnahmen quantitative Aussagen über eine abgezweigte Menge sowie eine rationale Basis für ein effektives Überwachungssystem liefern können.

## 2.2 Qualitative Maßnahmen

In Abb. 1 ist eine mögliche Kategorisierung der Dichtigkeits- und Beobachtungsmaßnahmen angegeben.

### 2.2.1 Dichtigkeitsmaßnahmen (Containment)

Nach dieser Abbildung basieren die Dichtigkeitsmaßnahmen auf zwei Schritten:

- a) Erstellung einer möglichst dichten Umhüllung um die spaltbaren Materialien bzw. um die Informationen, die vor einer Abzweigung (bzw. Verfälschung) geschützt werden sollen,
- b) Erstellung eines Systems, das eine Verletzung der Umhüllung feststellt (Anzeigesystem).

Die Umhüllung kann, wie später gezeigt wird, auf völlig verschiedene Weise angebracht werden und braucht nicht nur auf eine physische Umhüllung beschränkt zu bleiben. Ebenso können völlig unterschiedliche Anzeigesysteme in Betracht gezogen werden.

Eine weitere Kategorisierung kann in Bezug auf die Typen von Umhüllungen vorgenommen werden, nämlich

- i) solche, die sowohl die wertvollen Materialien und Informationen als auch die Personen, die eine Abzweigung vornehmen können, umschließen (Zäune einer Kernanlage, Wände um Kontrollbereiche usw.)

- ii) und solche, die nur wertvolle Materialien oder Informationen umschließen (versiegelte Behälter, geschützte Leitungen usw.).

Die obengenannten Typen von Dichtigkeitsmaßnahmen können weiterhin bezüglich der Entdeckungszeit einer Verletzung der Umhüllung nochmals unterteilt werden:

- iii) Sofortige Anzeige und Entdeckung der Verletzung, die man auch als eine aktive Dichtigkeitsmaßnahme bezeichnen kann (Alarmvorrichtungen)
- iv) Entdeckung der Verletzung mit einer Zeitverzögerung (z.B. durch periodische Beobachtung eines Siegels, Beobachtung eines Zaunes durch Wachpersonal usw.), die man als passive Dichtigkeitsmaßnahme bezeichnet.

### 2.2.2 Beobachtungsmaßnahmen (Surveillance)

Als Beobachtungsmaßnahmen werden diejenigen Maßnahmen definiert, die mit der Beobachtung aller Tätigkeiten bzw. Schritte verbunden sind, die direkt mit einer Abzweigung zu tun haben. Deshalb sind diejenigen Maßnahmen, die mit der Beobachtung einer Umhüllung verbunden sind (Schritt b der Dichtigkeitsmaßnahmen), nicht als Beobachtungsmaßnahmen (Surveillance) zu betrachten. Diese Unterscheidung scheint notwendig zu sein, da die Beobachtung als solche in allen drei Grundmaßnahmen immer vorkommt, z.B. Beobachtung eines Füllstandanzeigers eines Behälters zur Erstellung einer Mengenbilanz; Beobachtung einer Umhüllung bzw. Versiegelung, um ihre Intaktheit zu prüfen, und schließlich Beobachtung (mechanisch) einer Person, die illegalerweise Plutonium mit sich trägt, in einer Personen-Gamma-Schleuse.

Es gibt jedoch einige Maßnahmen, die sowohl als Dichtigkeits- als auch als Beobachtungsmaßnahmen eingestuft werden. So kann z.B. die Tätigkeit des Wachpersonals, das den Zaun um eine Anlage auf seine Intaktheit zu prüfen hat, als eine Dichtigkeitsmaßnahme bezeichnet werden. Wenn aber das gleiche Wachpersonal bei seinem Rundgang eine Person entdeckt, die illegalerweise Plutonium bei sich trägt, dann ist diese Entdeckung eine Beobachtungsmaßnahme. Genauso kann man die Fernseheinrichtungen zur Spaltstoffflußkontrolle zu beiden Typen von Maßnahmen rechnen.

Jedoch ermöglicht die obengenannte Kategorisierung eine Trennung eines großen Teils der Dichtigkeitsmaßnahmen von den Beobachtungsmaßnahmen.

### 3. Beschreibung einiger Dichtigkeitsmaßnahmen

In der vorliegenden Arbeit werden folgende Typen von Einrichtungen in Betracht gezogen:

1. Zäune, Safes
2. Alarmeinrichtungen
3. Versiegelungen

#### 3.1 Zäune, Safes usw.

Zäune und Safes sind dadurch gekennzeichnet, daß sie als dichte Umhüllung einem illegalen Zugriff zu dem nuklearen Material in unterschiedlichem Maße Widerstand leisten. Ein erfolgter Angriff wird jedoch erst auf eine Inspektion hin offenbar, sofern nicht Alarmeinrichtungen sofort eine Verletzung der Umhüllung anzeigen.

Die Verwendung von Zäunen bzw. Safes in einer Kernanlage kann die Effektivität eines Überwachungssystems erhöhen, sie ist jedoch eine Angelegenheit der Anlagebetreiber bzw. der nationalen Überwachungsbehörde. In den Vereinigten Staaten wird z.B. bei der staatlichen Erteilung der Genehmigung für die Errichtung einer Kernanlage vorgeschrieben, welche Art von Zäunen, Safes und Vaults (die sogenannten physical security measures) in der Anlage anzubringen sind [4,6]. Obwohl eine internationale Überwachungsbehörde diese Maßnahmen nicht explizit vorschreiben kann, wird sie jedoch vorteilhafter ihr Überwachungssystem auf die vorhandenen Maßnahmen stützen können.

#### 3.2 Alarmeinrichtungen

Alarmeinrichtungen sind Geräte, die meist so konstruiert sind, daß sie auf eine Änderung der Zustände, auf welche sie geeicht wurden, reagieren und dabei ein akustisches oder optisches Signal erzeugen.

Ihr Kennzeichen ist es, daß sie, im Unterschied zum Safe, einem Angriff zwar keinen Widerstand entgegensetzen, einen solchen Schritt aber sofort anzeigen. Wenn außerdem die Alarmeinrichtungen so angeordnet sind, daß ein Angreifer es nicht merkt, wenn er einen Alarm ausgelöst hat, kann er unter Umständen sofort identifiziert werden.

Die Umhüllung, deren Verletzung eine Alarmeinrichtung anzeigt, kann eine solche sein, die aus betrieblichen Gründen bereits vorhanden ist. Sie kann auch um das zu schützende Objekt bzw. die Information künstlich angebracht werden. Je nach den Gegebenheiten kann die gleiche Umhüllung auch für eine Versiegelung dienen.

Die Vorteile der Anwendung von Alarmeinrichtungen in Anlagen des Brennstoffzyklus liegen auf der Hand:

- i) Die kontinuierliche Anwesenheit des Inspektors an der Stelle, an der die Alarmeinrichtung angebracht worden ist, ist nicht erforderlich.
- ii) Der Inspektor erhält selbst von dort Informationen über unerlaubte Eingriffe, wo ein Zugang nicht möglich ist (z.B. hochaktive Zellen).
- iii) Die Signale der Alarmeinrichtungen können zu einer zentralen Überwachungsstelle (Inspektorenraum) geführt und dort registriert werden.

Bei der Auslegung, Konstruktion sowie Wahl von Alarmeinrichtungen sollen mehrere Gesichtspunkte beachtet werden. Die Alarmeinrichtungen sollen billig und robust konstruiert sein und störungsfrei arbeiten. Außerdem sollen sie einerseits bei gegen sie gerichteten Angriffen automatisch den Alarm auslösen, andererseits aber soweit als möglich falschen Alarm vermeiden.

Nach dem Prinzip der instrumentierten Spaltstoffflußkontrolle [7] soll der Spaltstofffluß in einer Kernanlage unter normalen Bedingungen von einer bestimmten Anzahl von strategischen Punkten aus überwacht werden. Dies setzt jedoch voraus, daß

- i) nukleare Materialien nicht unkontrolliert unter Umgehung der strategischen Punkte in die Anlage eingeführt werden können,
- ii) die Zuverlässigkeit der Informationen, die nicht in den strategischen Punkten erzeugt werden, jedoch zu Überwachungszwecken verwendet werden müssen, gewährleistet ist.

Typische Beispiele einiger Alarmeinrichtungen sind im folgenden angegeben. Sie sind nicht vollständig und haben nur einen illustrativen Charakter.

### 3.2.1 Sicherung der Vollständigkeit der eingeführten Spaltmaterialien

Nach Verlassen einer Fabrikationsanlage wird das nukleare Material erst wieder im Accountability-Tank am Eingang einer Wiederaufarbeitungsanlage direkt gemessen. Dieser Tank bildet deshalb einen der wichtigsten strategischen Punkte im Brennstoffzyklus. Da jedoch die bestrahlten Brennelemente vor dem Accountability-Tank in einem Dissolver aufgelöst werden, und da normalerweise zwischen dem Dissolver und anderen Teilen innerhalb der Anlage direkte Verbindungen bestehen, besteht grundsätzlich die Möglichkeit, unkontrollierte Mengen an Spaltstofflösung unter Umgehung des Accountability-Tanks in die Anlage einzuführen. Deshalb ist es erforderlich, an dieser Stelle solche Dichtigkeitsmaßnahmen zu verwenden, die ein unkontrolliertes Einschleusen von Lösungen anzeigen [3].

a) Flüssigkeitssonden

Verschiedene Untersuchungen haben gezeigt, daß sich Flüssigkeitssonden zu diesem Zweck gut eignen. Bei der Wahl dieser Meßsonden müssen mehrere Gesichtspunkte berücksichtigt werden. Sie müssen von außen her an den entsprechenden Leitungen anzubringen und über lange Zeit unbeaufsichtigt und weitgehend wartungsfrei in radioaktiver Umgebung funktionsfähig sein. Eine Flüssigkeitssonde, die auf der Messung der unterschiedlichen Eigenfrequenzen bei vollem und leerem Rohr basiert, ist in Abb. 2 schematisch dargestellt.

Über einen Frequenzgenerator wird eine bestimmte Frequenz auf die Geberspule gegeben, wobei die Frequenz so variiert wird, daß die Eigenfrequenz des in gewisser Länge eingespannten Rohrabschnitts erreicht wird. Diese Frequenz wird mit der Empfängerspule aufgenommen (Tauchspulenmikrophon). Geber- und Empfängerfrequenz werden abgeglichen. Bei Füllung des Rohres mit einer Flüssigkeit wird sich die Eigenfrequenz des Rohrabschnitts ändern, so daß durch die Verstimmung ein Alarm ausgelöst werden kann.

b) Fernsichteinrichtungen

Normalerweise fallen Fernsichteinrichtungen unter Beobachtungsmaßnahmen. Als Alarmeinrichtung, und damit als Dichtigkeitsmaßnahme, wirkt eine TV-Einrichtung dann, wenn sie z.B. zur Beobachtung des Accountability-Tanks eingesetzt wird, um eine Manipulation der Meßgeräte oder die Anbringung unerlaubter Rohre anzuzeigen. Die TV-Kamera kann mit einem Video-Aufzeichnungsgerät verbunden werden und kann so eine unerlaubte Tätigkeit "einfrieren".

3.2.2 Sicherung der Zuverlässigkeit der Informationen

Wie schon oben erwähnt sollen die für die Überwachung erforderlichen Informationen gegen eine Verfälschung gesichert sein. Einige der im folgenden aufgeführten Beispiele können auch gegebenenfalls zur Sicherung der spaltbaren Materialien angewendet werden.

a) Sicherung der Meß- und Anzeigeräte

- i) Wärmeübergangsmeßeinrichtung: Die sich im Accountability-Tank befindende Lösungsmenge wird durch Messung von Lösungsfüllstand und -Dichte mit Hilfe von dip-tubes festgestellt. Die Genauigkeit der Messung hängt u.a. davon ab, ob die Einperlluft mit konstanter

Flußrate eingeblasen wird. Eine Änderung der Flußrate kann dadurch festgestellt werden, daß in die Einperlrohre Widerstandsheizdrähte eingeführt werden, die mit einem konstanten Strom beaufschlagt werden [ 8 ]. Eine veränderte Luftströmung erzeugt einen veränderten Wärmeübergang, was wiederum eine Stromänderung hervorruft, welche dann zur Auslösung eines Alarms verwendet werden kann. Der Einbau dieser Vorrichtung in die air-sparge-Leitung erscheint ebenfalls sinnvoll. Abb. 3 zeigt eine mögliche Ausführung einer Wärmeübergangs-Meßeinrichtung.

- ii) Mikrophon-Technik für Anzeigergeräte: Um das Gerät wird eine Stahlbox gelegt, in welcher ein Mikrophon eingebracht wird. Eingriffe, auch solche, die der Wartung der Anzeigergeräte dienen, lassen einen Alarm ertönen [ 9 ].
- iii) Vibrationsschalter für Anzeigergeräte: Ein nach allen Seiten freischwingendes Pendel wird von einem eng umliegenden Ring umschlossen, ohne daß beide sich im Ruhezustand berühren (Abb. 4). Dieses Pendel wird ebenfalls in eine das Anzeigergerät umschließende Stahlbox gebracht und erzeugt dort bei Kurzschluß Pendel-Ring durch Erschütterungen einen Alarm [ 9 ].
- iv) Quecksilber-Vibrationsanzeiger: Bei Verwirklichung des Konzepts eines Inspektorenraumes [ 10 ] erscheint es sinnvoll, nicht jedes einzelne Anzeigergerät gegen Eingriff zu schützen, sondern das gesamte Panel. Dies kann z.B. mit einem Quecksilber-Vibrationsanzeiger geschehen (Abb. 5). Hierin wird ein Lichtbündel mehrfach zwischen der Quecksilberoberfläche und einem darüber liegenden Spiegel hin- und her reflektiert und zum Schluß auf eine Fotozelle geführt. Bei ruhender Quecksilberoberfläche wird die Fotozelle die maximal auftretende Lichtintensität aufnehmen. Bei Erschütterung der Oberfläche wird das Licht gestreut und die nachlassende Lichtintensität an der Fotozelle löst den Alarm aus [ 9 ].

Dieses Gerät ist so empfindlich, daß es, an geeigneter Stelle des Instrumentenpultes angebracht, leiseste Erschütterungen anzeigt, so daß jedes Öffnen der Geräteschutzdeckel, sei es zu befugten oder unbefugten Zwecken, aufgezeigt wird.

b) Sicherung der Meß- und Versorgungsleitungen

Für die Sicherung von sowohl pneumatischen als auch elektrischen Meß- bzw. Versorgungsleitungen sind mehrere Typen von Alarmeinrichtungen erprobt und verwendet worden [9,11,12]. Nur einige davon sind im folgenden zusammenfassend geschildert.

- i) Doppelmantelrohr mit Vakuumkammer: Bei einem Doppelmantelrohr dient die innere Kammer als Meßleitung, während an die äußere Kammer ein Vakuum gelegt wird. Das Vakuum wird über ein Präzisionsmanometer gemessen. Will ein Abweiger die Meßleitungen erreichen, so wird das Vakuum zerstört und die mit dem Manometer verbundene Alarmeinrichtung schlägt an [11].
- ii) Mikrophon-Technik: Bekanntlich werden bei metallischen Rohren Schallwellen über große Entfernungen hinweg übertragen. Dieser Effekt kann dadurch ausgenutzt werden, daß ein Mikrophon eng an das Rohr angebracht wird und über einen Verstärker die Schallimpulse aufzeigt. Durch entsprechende Anordnung der Elektronik können Untergrundgeräusche (Pumpen, Motore, Ventile etc.) ausgesiebt werden. Beim Überschreiten einer vorher eingestellten Schallstärke oder -Impulszahl wird Alarm ausgelöst [11].
- iii) Annäherungs-Alarm: Diese Sicherungsmethode eignet sich besonders dann, wenn es gilt, mehrere parallel laufende Leitungen (el. oder pneum. oder beides zusammen) gegen Eingriff zu schützen. Um ein Leitungsbündel wird isoliert ein Metallmantel aufgebracht. Dieser wird auf ein erhöhtes Spannungspotential gebracht, während das nun innen liegende Leitungsbündel auf Masse gelegt wird. Der somit entstehende Kondensator wird über einen Frequenzgenerator mit z.B. 1 kHz beaufschlagt und als ein Schenkel einer Wheatstone-Brücke geschaltet. Die Brücke wird im Normalfall über Regelwiderstände abgeglichen. Nähert sich jemand den Leitungen, so ändert sich die Ladung des Kondensators und die dadurch ausgelöste Verstimmung der Brücke kann zur Auslösung eines Alarmsignals verwendet werden [11]. Der große Vorteil dieser Methode liegt darin, daß beliebig lange Leitungen überwacht werden können, solange diese frei liegen und die Anbringung des Außenmantels erfolgen kann. Wo dies nicht möglich ist, kann man auf die bereits beschriebene Mikrophon-Technik zurückgreifen.

- iv) Sicherung der elektrischen Rekorder mit Relais: Versuche haben ergeben [9], daß elektrische Rekorder sehr empfindlich auf Spannungsänderungen reagieren: Die Schreibnadel verharrt auf ihrem Zustand, während der Papierfördermotor selbst bis zu weit niedrigeren Spannungen weiterarbeitet. Dadurch entsteht der Eindruck, als würden sich keine Veränderungen abspielen. Zum Aufzeigen von Spannungsabfällen genügt es, ein Relais parallel zum Rekorder zu legen, welches auf die Nennspannung von 220 V anspricht. Fällt das Relais bei niedrigerer Spannung ab, so wird ein mit Summer und Blinklampe versehener Stromkreis geschlossen, der von einer Batterie gespeist wird (Abb. 6).
- 
- v) Sicherheitskabel: Unter mehreren zur Auswahl stehenden Systemen zur Überwachung von elektrischen Leitungen scheint eines besonders erwähnenswert [12]. Das System ist bereits erprobt und kann funktionsbereit von der einschlägigen Industrie bezogen werden. Dies ist das Mosler CA-8 Sicherheitskabel der Fa. Mosler Research Products Inc. Das Kabel besteht aus den inneren Meßleitungen, um welche isoliert eine mu-Metall- und eine Kupferfolie sowie ein Drahtmaschenetz (Matrix) gelegt ist. Auf die beiden Folien wird mit Hilfe eines Generators ein "weißes Rauschen" gelegt. Dieses Rauschen macht den induktiven "pick up" (oder die induktive Veränderung) der Informationssignale äußerst schwierig. Die mu-Metall-Folie verhindert dabei, daß das "weiße Rauschen" auf die Signalleitungen durchschlägt. Die Drähte der Matrix werden an den Kabelenden an Spannung gelegt und der Strom genauestens überwacht. Wird das Kabel beschädigt, so wird ein Alarm ausgelöst.

### 3.3 Versiegelungen

Es ist das Kennzeichen von Versiegelungen, daß sie einem Angriff keinen Widerstand leisten und daß ein erfolgter Angriff erst auf eine Inspektion hin offenbar wird. Die eigentliche Bedeutung der Versiegelung liegt in der Tatsache, daß sie an mehreren Stellen im Brennstoffzyklus vorteilhaft angebracht werden kann und dadurch eine Vereinfachung der Überwachungsmaßnahmen ermöglicht. In den meisten dieser Fälle können keine Alarmeinrichtungen verwendet werden.

Für Siegel bzw. Siegelssysteme kann eine Reihe allgemeiner Kriterien aufgestellt werden:

- a) Ein Bruch des Siegels soll eindeutig erkennbare, irreparable Schäden zur Folge haben, so daß für die Wiederherstellung zunächst nur der Austausch von Siegelkomponenten in Frage kommt.
- b) Durch Anbringen von Identifizierungsmarken an den Komponenten soll ein Austausch derselben erkennbar werden. Mit der Nachahmung der Identifizierungsmarken soll ein Höchstmaß an Schwierigkeiten verbunden sein.
- c) Die Herstellung des Siegels soll nicht aufwendig sein.
- d) Wenn erforderlich, soll eine Feldprüfung grundsätzlich möglich und mit einfachen Mitteln durchführbar sein und soll zu sofortigen klaren Entscheidungen führen.
- e) Ein Siegel soll so widerstandsfähig sein, daß die normalen Beanspruchungen oder Einflüsse nicht einen Bruch vortäuschen können.

Folgende drei Typen von Versiegelungssystemen sind in diesem Bericht beschrieben:

1. Versiegelung für Spaltstoffbehälter
2. Versiegelung für Subassemblies
3. Versiegelung für Meßsonden und -einrichtungen

#### 3.3.1 Versiegelung für Spaltstoffbehälter

- a) Abb. 7 zeigt drei Arten von Siegeln, wie sie gegenwärtig bei der Spaltmaterialkontrolle verwendet werden. Das erste ist das wohlbekannte Bleisiegel, das in etwas komplizierterer Form als gewöhnlich von der USAEC verwendet wird. Bei dem von EURATOM verwendeten Siegel wird ein speziell vorbereiteter Blechstreifen um die Drahtenden gebogen. Das dritte Siegel wird von der IAEA verwendet. Es besteht aus zwei nummerierten Halbschalen,

die nach dem Zusammendrücken selbstschließend sind.

Keines von diesen Siegelssystemen erfüllt alle obenangegebenen Kriterien.

- b) Im Gegensatz zu den in Abb. 7 gezeigten Siegelssystemen steht ein Siegel, das in Hanford/USA entwickelt wurde [4, 13]. Dieses Siegel (Abb. 8) bietet ein Höchstmaß an Sicherheit, gleichzeitig sind jedoch die mit seiner Anwendung verbundenen Umstände und Kosten nicht zu übersehen.

Neben dem eigentlichen Siegelkörper ist auch der Draht speziell hergestellt. Die Prüfung seiner Markierungen erfolgt mittels Röntgen- und Wirbelstrommethode, die Prüfung des Siegelkörpers mittels Photographie und Röntgen.

Bei der Anbringung des Siegels muß zum Verschließen des Siegelkörpers mit Zweikomponentenkunstharz umgegangen werden, dessen Aushärtung dann abzuwarten ist.

- c) Einem ebenfalls in USA entwickelten, sehr fortschrittlichen Siegelssystem liegt die Glasfaseroptik zugrunde [14].

Die willkürliche Faserkonfiguration im Querschnitt stellt die Markierung dar.

Die beiden Enden des Faserbündels sind in dem Ausführungsbeispiel nach Abb. 9 in einem vorgespannten, bei Manipulationen zerbrechenden Glaskörper selbstschließend zusammengefaßt.

Für die Prüfung des Siegels werden im wesentlichen nur photographische Mittel benötigt. Dabei wird jeweils ein Bündelende beleuchtet und das Bild des anderen Endes aufgenommen.

Um eine gewisse Empfindlichkeit, insbesondere des Glaskörpers, im Routineeinsatz aufzufangen, wurde bereits eine modifizierte Lösung ausgearbeitet.

Das Hauptpotential für die unter 3.3.1 beschriebenen Versiegelungen scheint in der Entwicklung von Systemen zu liegen, die bei gleichbleibendem Aufwand für die unentdeckbare Verletzung des Siegel systems geringere Herstellungskosten erfordern.

d) Ein Vorstoß in dieser Richtung sei im folgenden kurz skizziert:

Abb. 10 zeigt ein Siegel, dessen Merkmal u.a. die zuverlässige, einfache und billige Feldprüfung zu sein scheint.

Die Schleife dieses Siegels besteht aus einer konzentrischen Anordnung der handelsüblichen Teile Wellrohr und Seil. Die beiden Hälften des Siegelkörpers bestehen im wesentlichen aus Plexiglas und sind mit Hilfe einer Feder, die beim Zusammenschieben einrastet, zusammengehalten. Die Identifizierungsmarken, das sind Metallteilchen verschiedener Größe und Gestalt in einem transparenten Lack, können auf die Innenoberflächen der Siegelkörperhälften z.B. mit Hilfe einer Spraydose aufgebracht werden.

Die Feldprüfung kann mittels einer modifizierten Polaroidkamera erfolgen, die transparente Bilder des Siegelkörpers mit den willkürlich aufgetragenen Teilchen liefert. Durch Aufeinanderlegen der Bilder von vor und nach der Versiegelungsperiode kann die Kongruenz geprüft und entschieden werden, ob ein Siegelbruch stattgefunden hat oder nicht.

### 3.3.2 Versiegelung für Subassemblies

Versiegelung und Identifikation dieser Versiegelung von Subassemblies könnten die Überwachungsmaßnahmen in Kernreaktoren erheblich vereinfachen. Da über die möglichen Methoden noch keine endgültigen und detaillierten technischen und wirtschaftlichen Untersuchungen zu Ende geführt sind, soll an dieser Stelle an Hand eines Beispiels die Möglichkeit der Einbringung eines Siegels in einem Subassembly skizziert werden.

In vielen Fällen sind die Brennstoffstäbe einer Subassembly durch eine obere und eine untere Gitterplatte zusammengehalten. Während die Mehrzahl der Stäbe dabei nur über Zapfen in die Gitterplatten eingesteckt sind, übernehmen einige außenliegende Stäbe über Schraubenden die axiale Fixierung der Platten.

Durch Aufbringen eines markierten Siegels, wie es Abb. 11 schematisch zeigt, kann erreicht werden, daß eine unentdeckte Entnahme von Brennstoffstäben sowie ein Vertauschen der Subassembly praktisch unmöglich wird. Die äußere Hülse des Siegels, die durch willkürlich eingelagerte Teilchen markiert und z.B. mittels Ultraschall zu prüfen ist, würde bei einem Öffnungsversuch an der Sollbruchstelle brechen.

### 3.3.3 Versiegelung von Meßsonden und -einrichtungen

Bei dem Projekt TRUST [15] wurde ein Glas-Sicherheitsbehälter für die Sicherung des Anzeigeteils von Meßeinrichtungen verwendet. Es handelt sich um zwei Behälterhälften aus unter Spannung stehendem Glas, die über einen Einweg-Verschluß aneinandergesekoppelt sind (Abb. 12). Ein Öffnen ist nur durch Zerbrechen einer der Behälterhälften möglich. Die Behälterhälften werden vor Verwendung an geeigneter Stelle mit polarisiertem Licht fotografiert und das somit erhaltene Bild stellt einen praktisch unverfälschbaren "finger-print" jedes einzelnen Behälters dar. Ein Austausch beschädigter Teile wird mit großer Wahrscheinlichkeit erkannt.

#### 4. Beobachtungsmaßnahmen

Nach der unter 2.2.2 aufgeführten Definition sind neben den üblichen Fernseh-einrichtungen und den Tätigkeiten des Wachpersonals auch einige andere Einrichtungen als Beobachtungsmaßnahmen zu betrachten. Von diesen werden die folgenden zwei in diesem Bericht diskutiert:

1. Personenschleuse
2. Aktivitätsanzeiger

##### 4.1 Personenschleuse

Diese Schleusen werden an legalen Ein- bzw. Ausgängen in einer Kernanlage für die Kontrolle der Personen aufgestellt. In Fabrikationsanlagen für Pu-haltige Brennstoffe haben sich solche Schleusen als wertvolle Ergänzung zur Mengenbilanz erwiesen [16]. Die Schleuse wird wie eine Telefonzelle aufgebaut, durch die alle Personen vom bzw. zum aktiven Teil der Fabrikationsanlage gehen müssen, um auf Beta-, Gamma-Aktivität geprüft zu werden. Die Schleuse bleibt geschlossen und gibt einen Alarm, wenn ungeschirmtes Plutonium von etwa 1 g an aufwärts von einer Person mitgetragen wird. Die Empfindlichkeit der Schleuse kann durch zusätzliche Meßeinrichtungen gesteigert werden.

##### 4.2 Aktivitätsanzeiger

Wenn es z.B. einem Reaktorbetreiber gelingt, auf nichtlegalem Wege Brutmaterial in den Reaktor einzubringen, so wird er versuchen, das nach einer gewissen Bestrahlungszeit hieraus entstandene Spaltmaterial ebenfalls auf nichtregulärem Wege wieder aus dem Reaktor herauszubringen, weil es sonst entdeckt wird. Um diese Möglichkeit jedoch für bestimmte Typen von Reaktoren auszuschalten, können z.B. an verschiedenen Stellen in dem Reaktorgebäude Aktivitätsanzeiger angebracht werden, die auf die inhärente Gammastrahlung des bestrahlten Materials ansprechen [17].

## 5. Schlußfolgerungen

- 5.1 Zäune, Safes und ähnliche Dichtigkeitsmaßnahmen sind für die Spaltstoffflußkontrolle von Bedeutung, sie sind jedoch Angelegenheiten der Anlagebetreiber. Die Richtlinien für diese Maßnahmen könnten z.B. von einer nationalen Überwachungsbehörde aufgestellt werden.
- 5.2 Bei der offensichtlich großen Auswahl an Alarmeinrichtungen erscheint es sinnvoll, an Hand experimenteller Arbeiten ein Alarmeinrichtungssystem zu schaffen, in welchem das jeweils optimale Gerät an der erforderlichen Stelle zum Einsatz kommt. Eine genaue Erfassung der Effektivität dieser Geräte ist erforderlich.
- 5.3 Es sollten Siegelssysteme entwickelt werden, die bei gleicher Zuverlässigkeit mit geringeren Kosten verbunden sind.
- 5.4 Die Entwicklung von Versiegelungssystemen für Subassemblies soll mit Nachdruck verfolgt werden.
- 5.5 Es sollte bei allen Containmentmaßnahmen untersucht werden, inwieweit mit einem Unsicherheitsbereich ( $\sigma \neq 0$ ) bei den Entscheidungen zu rechnen ist.

Die Verfasser möchten W. Häfele für sein Interesse und seine Unterstützung dieser Arbeit danken.

Referenzen

- [1] Bennett, C.A., Granquist, D.P.  
Safeguards Systems Studies.  
Proceedings of the Symposium on Safeguards Research and Development  
ANL, WASH 1076 (Juni 1967)
- [2] Gupta, D.  
Das Projekt Spaltstoffflußkontrolle in Karlsruhe.  
Atomwirtschaft, XV, Nr. 1 (Jan. 1970)
- [3] Häfele, W., Nentwich, D.  
Modern Safeguards at Reprocessing Plants and Reactors.  
IAEA-Symposium on Progress in Safeguards Techniques, Karlsruhe (Juli 1970)  
SM-133/103
- [4] Sastre, C.  
Qualitative Safeguards Techniques.  
IAEA-Symposium on Progress in Safeguards Techniques, Karlsruhe (Juli 1970)  
SM-133/42
- [5] Gmelin, W., Kraemer, R.  
Analysis of Components of the Material Unaccounted For. SM-133/85  
IAEA-Symposium on Progress in Safeguards Techniques, Karlsruhe (Juli 1970)
- [6] Wischow, R.P., et al.  
US Safeguards Experience in Regulation and Inspection of the Private  
Nuclear Industry.  
IAEA-Symposium on Progress in Safeguards Techniques, Karlsruhe (Juli 1970)  
SM-133/102
- [7] Gmelin, W., Gupta, D., Häfele, W.  
On Modern Safeguard in the Field of Peaceful Application of Nuclear  
Energy.  
KFK 800 (1968)
- [8] Forster, W.E.  
Miscellaneous Devices for Safeguarding a Fuels Reprocessing Plant.  
WCAP 6024 (Oktober 1959)
- [9] Kivenson, G., et al.  
Miscellaneous Devices for Plant Security.  
WCAP-6023 (Oktober 1959)

- [10] Hagen, A., et al.  
Development of Safeguards Procedures for a Reprocessing Plant  
Similar to the WAK Type.  
KFK 1102 (1970)
- [11] Kivenson, G., et al.  
Devices and Techniques for Protection of Pipe and Conduit.  
WCAP 6021 (Oktober 1959)
- [12] Ellyson, J.N., et al.  
Alarm Transmitting Systems and the Protection of Communications.  
WCAP-6022 (Oktober 1959)
- 
- [13] Wischow, R.P. et al.  
Safeguards Procedures Manual for the NFS Reprocessing Plant.  
Vol. III (Jan. 1967)
- [14] Hogan, R., Stieff, L.  
A Progress Report on the Development of a Tamper Resistant Safing  
System for International Safeguards and Arms Control Applications.  
IAEA-Symposium on Progress in Safeguards Techniques, Karlsruhe (Juli 1970)  
SM-133/113
- [15] McManus, J.G., Engle, A.V.  
Tamper Resistant Unattended Safeguards Techniques.  
IAEA-Symposium on Progress in Safeguards Techniques, Karlsruhe (Juli 1970)  
SM-133/8
- [16] Schneider, V.W., Hille, F., Kiy, M.  
Existing Instruments for Safeguarding Fabrication Plants.  
IAEA-Symposium on Progress in Safeguards Techniques, Karlsruhe (Juli 1970)  
SM-133/1
- [17] Winter, H., et al.  
Development of Safeguards Procedures for Heavy Water Moderated,  
Cooled and Reflected Pressurized Water Type Reactors.  
KFK 804 (1970)

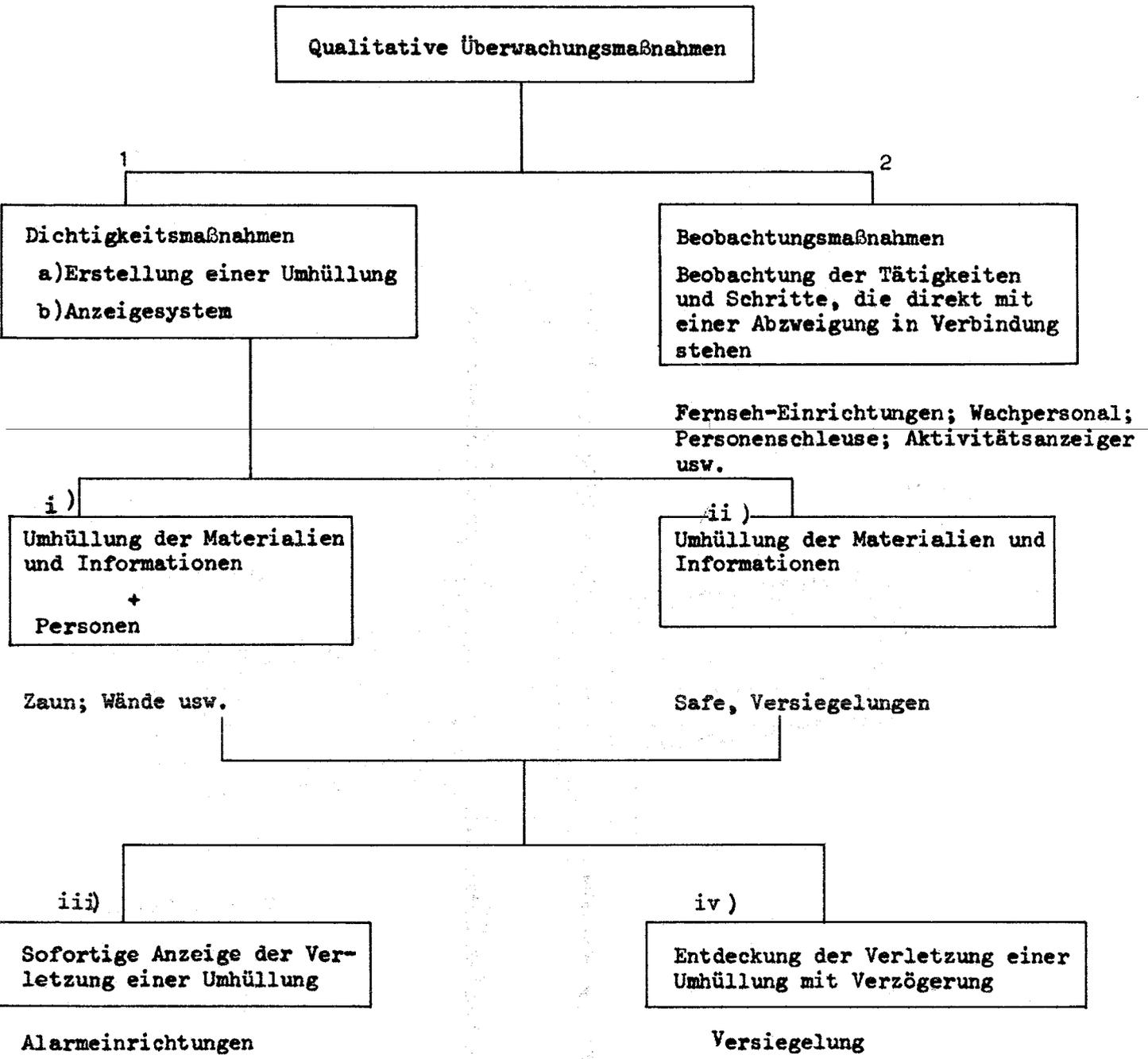


Abb.1: Kategorisierung der qualitativen Überwachungsmaßnahmen

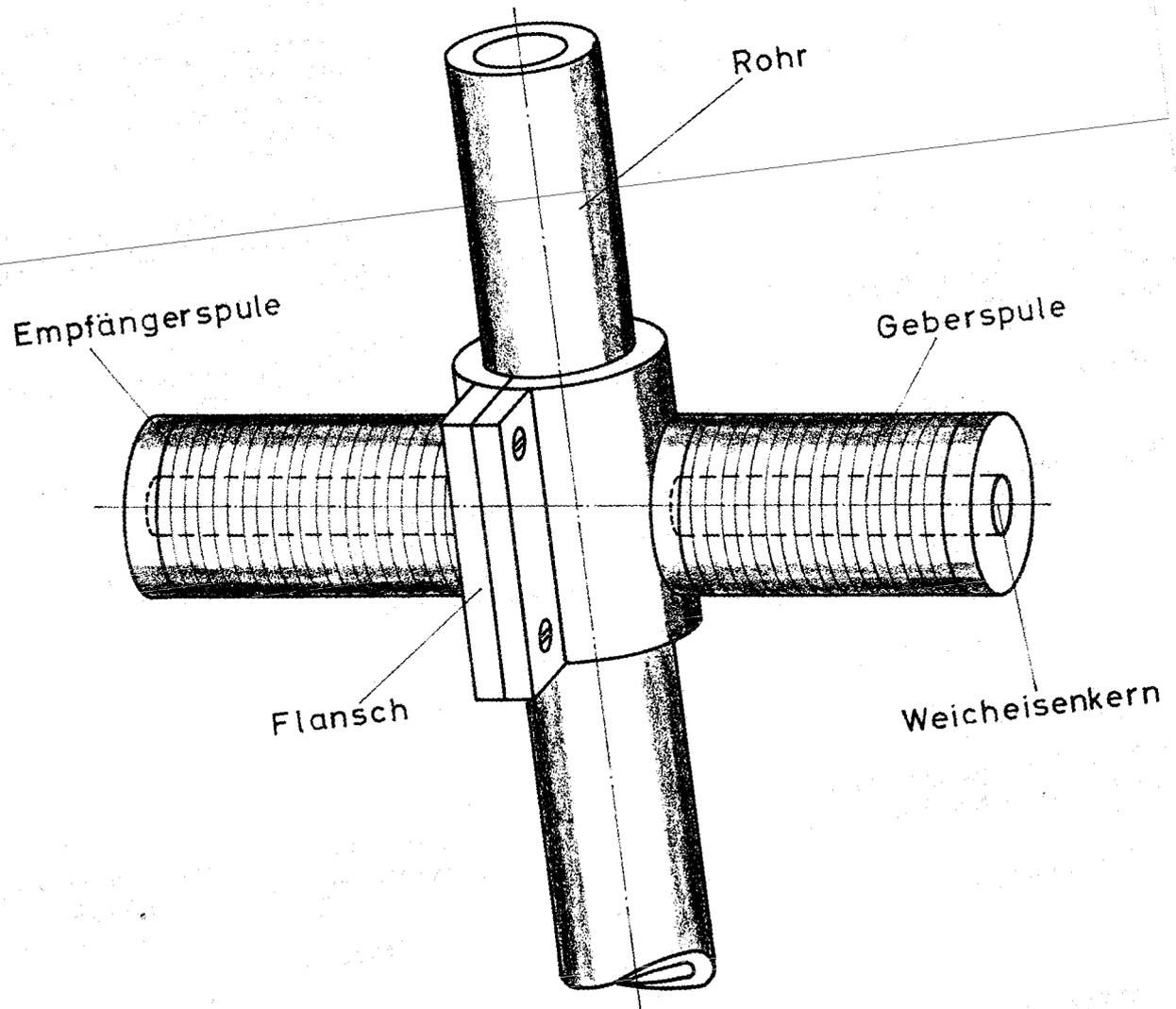


Abb. 2 Flüssigkeitsmeßsonde (schem.)

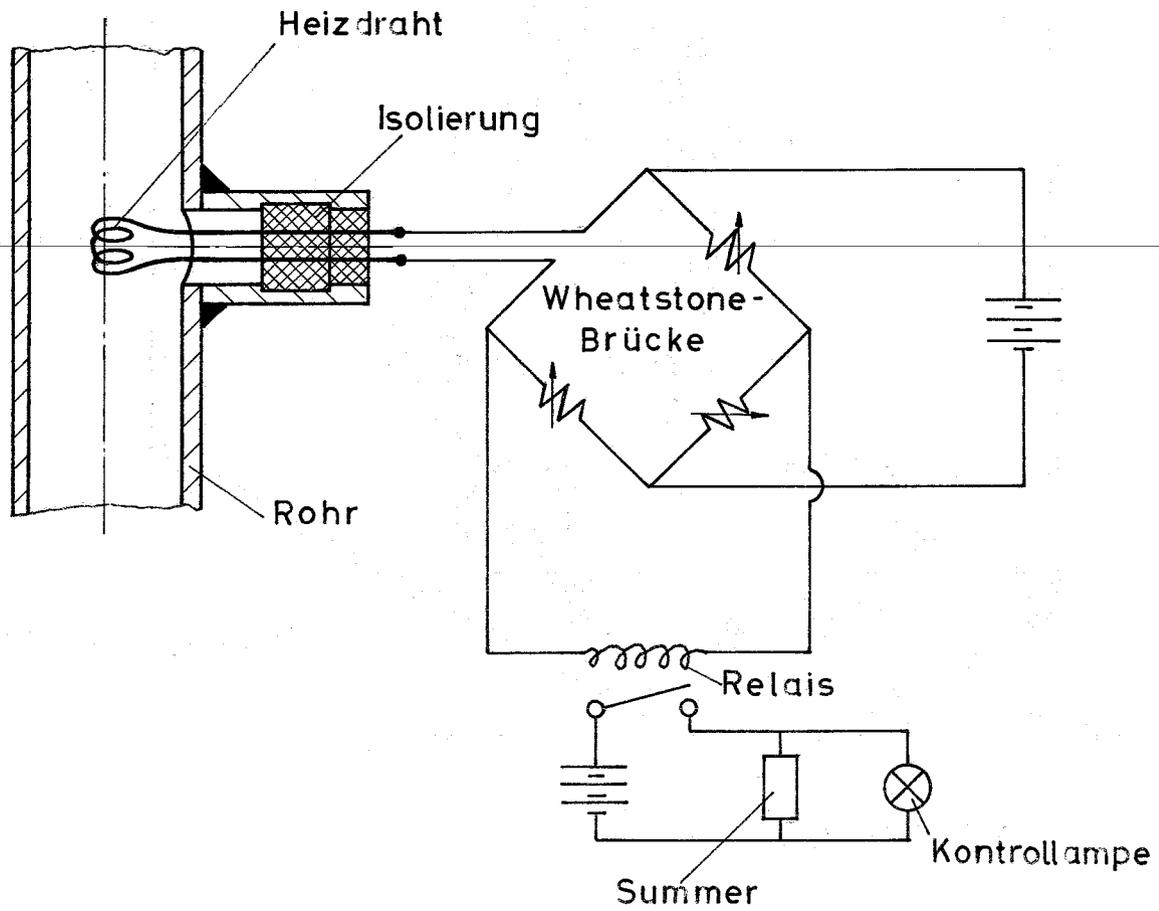


Abb. 3 Widerstandsheizdraht zur Messung des Luftstromes an dip-tubes (schematisch)

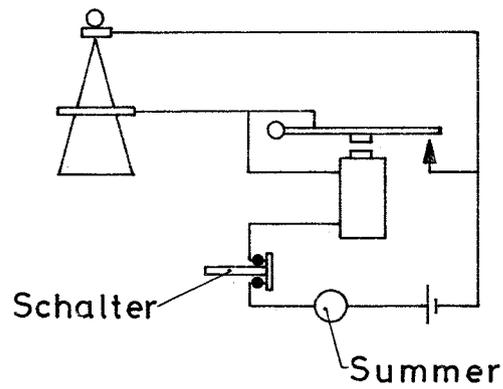
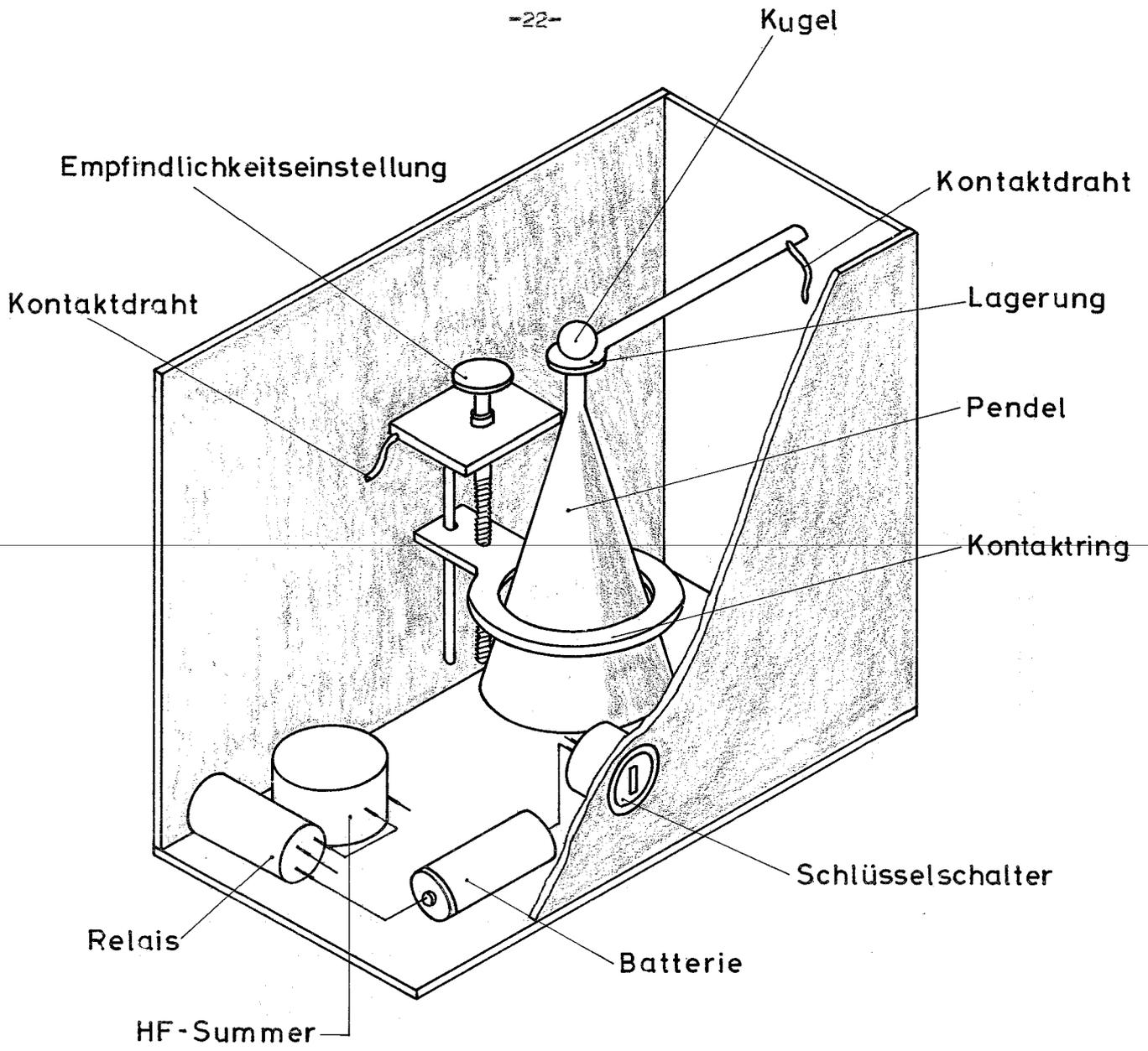


Abb. 4 Vibrationsdetektor

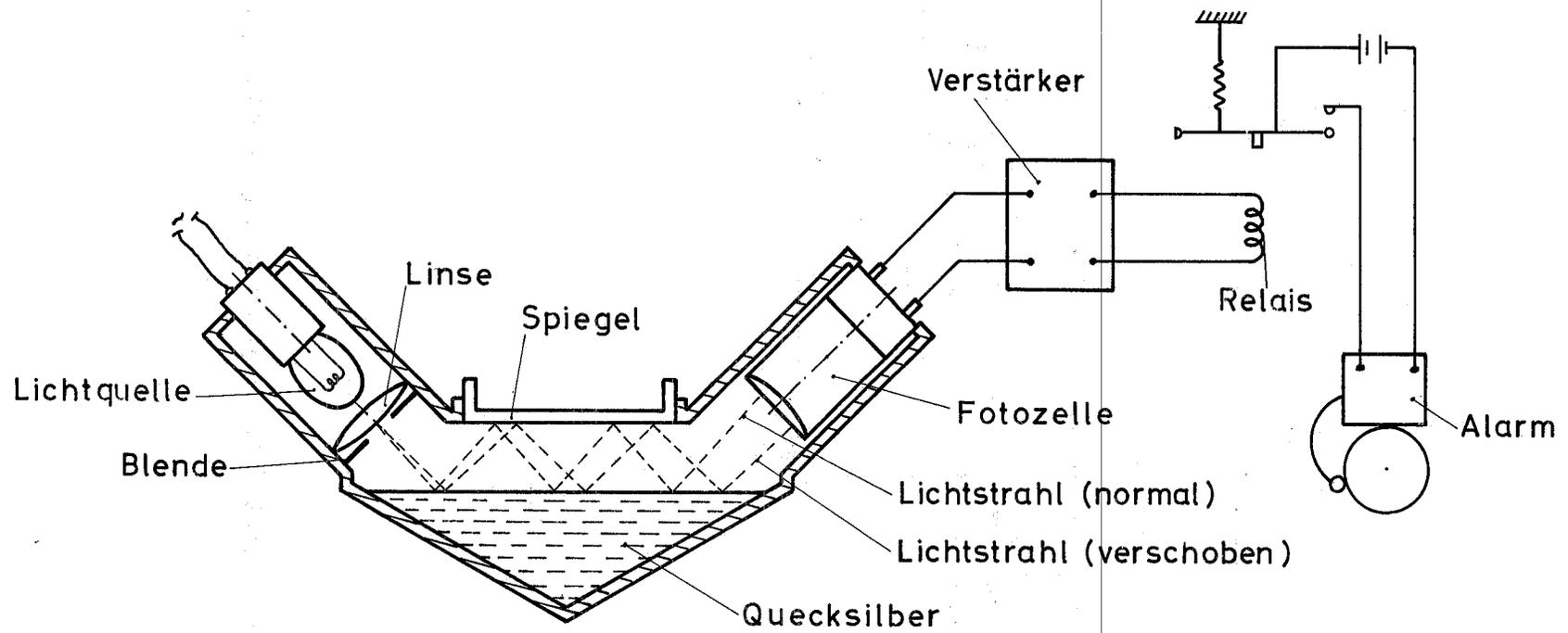


Abb. 5 Quecksilber-Vibrationsanzeiger

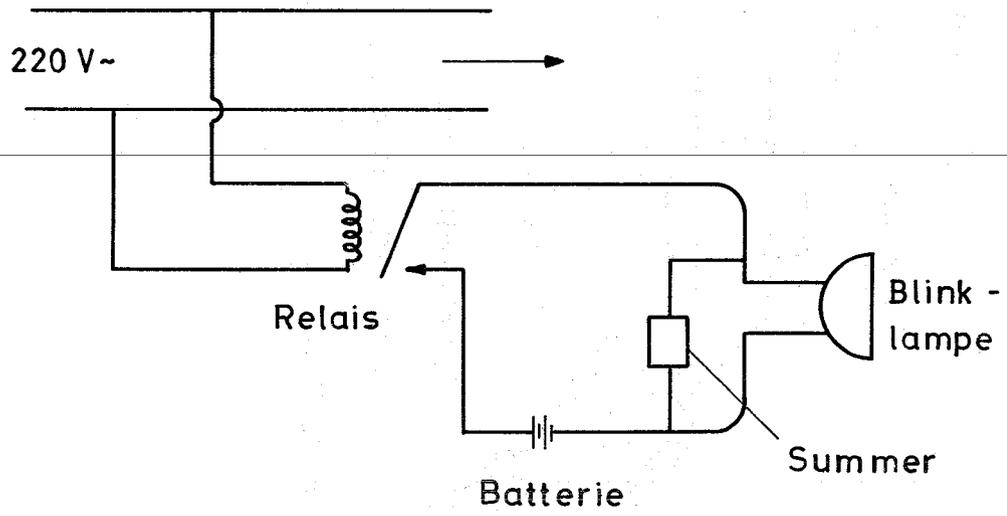
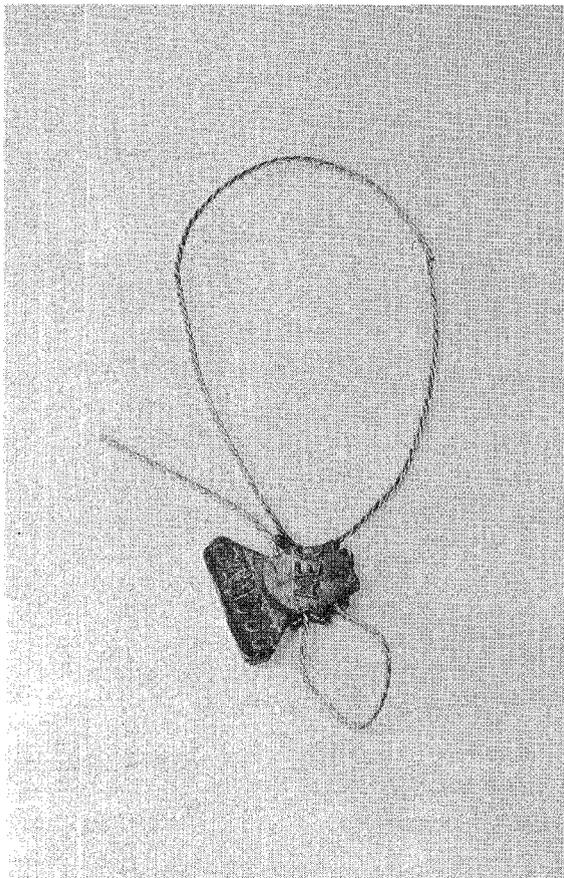
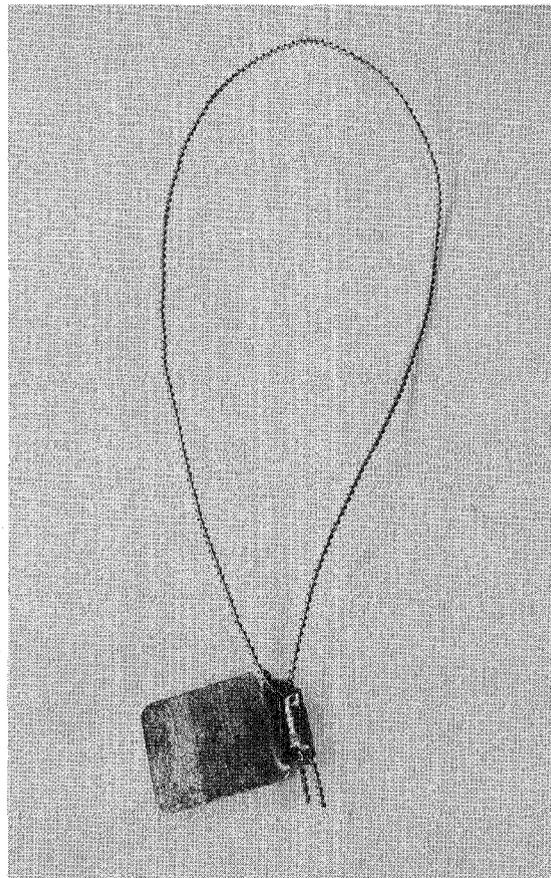


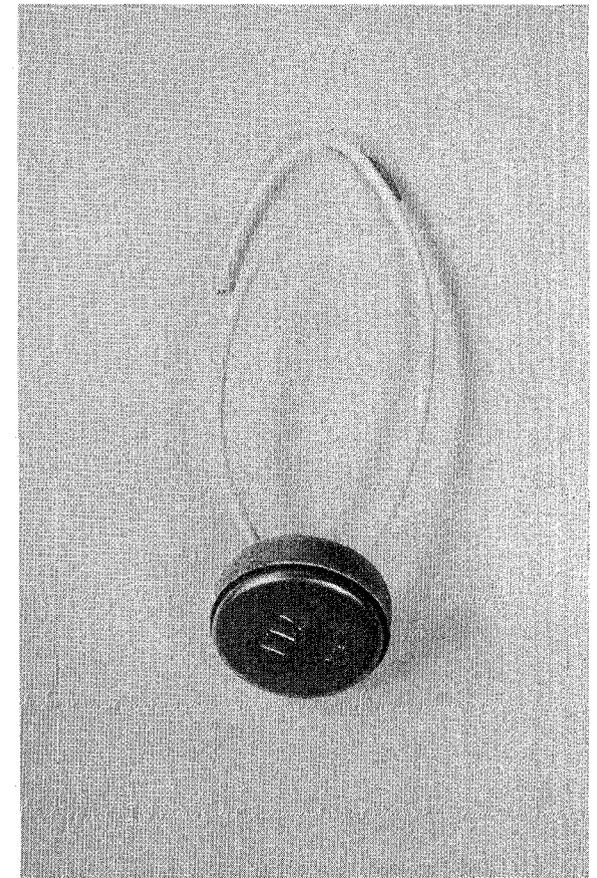
Abb.6 Sicherungsrelais für elektrische Rekorder



USAEC



EURATOM



IAEA

Abb.7 Gegenwärtig zur Spaltmaterialkontrolle verwendete Siegel

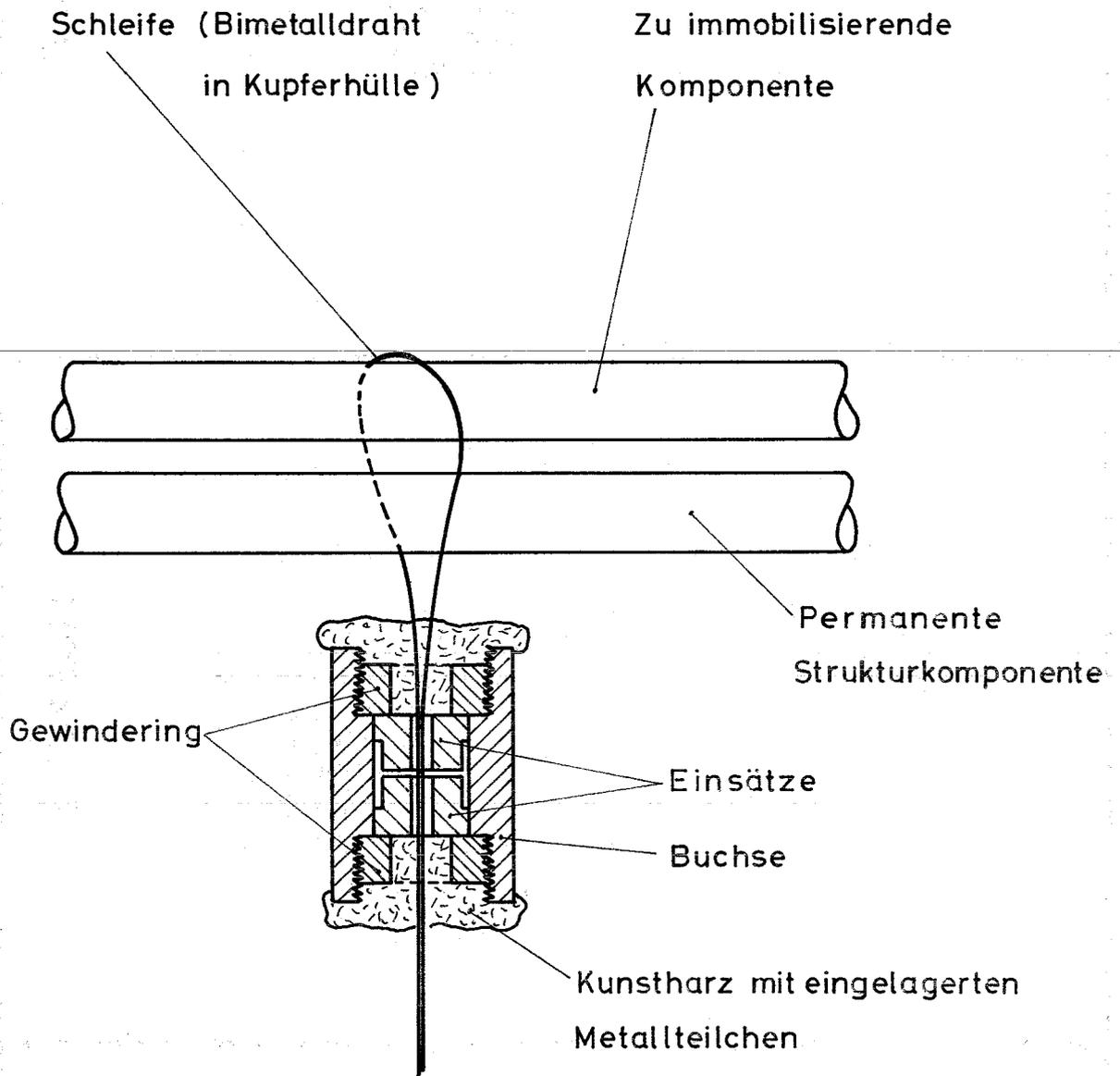


Abb.8 Hanford-Siegel

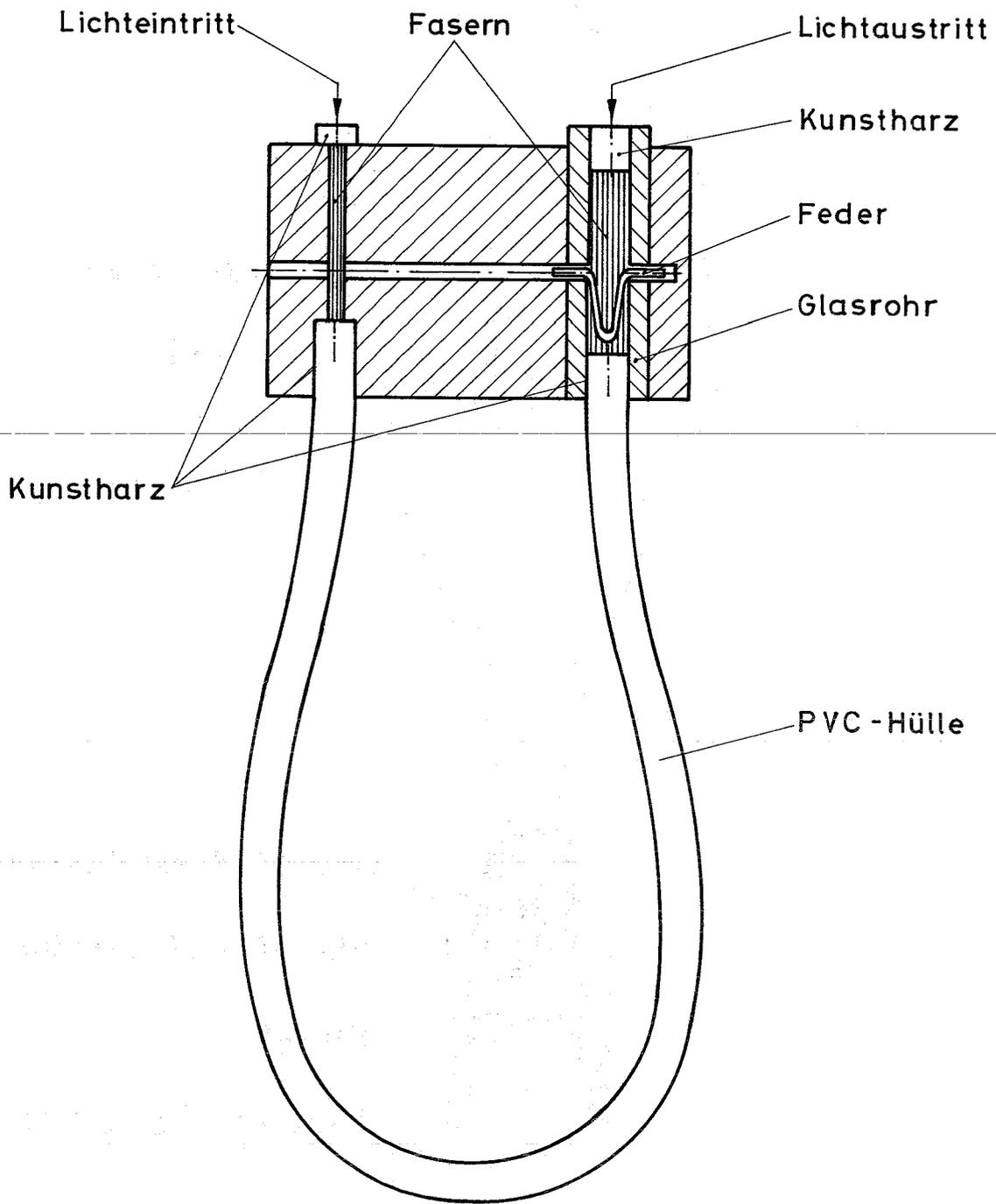


Abb. 9 Glasfaser - Siegel

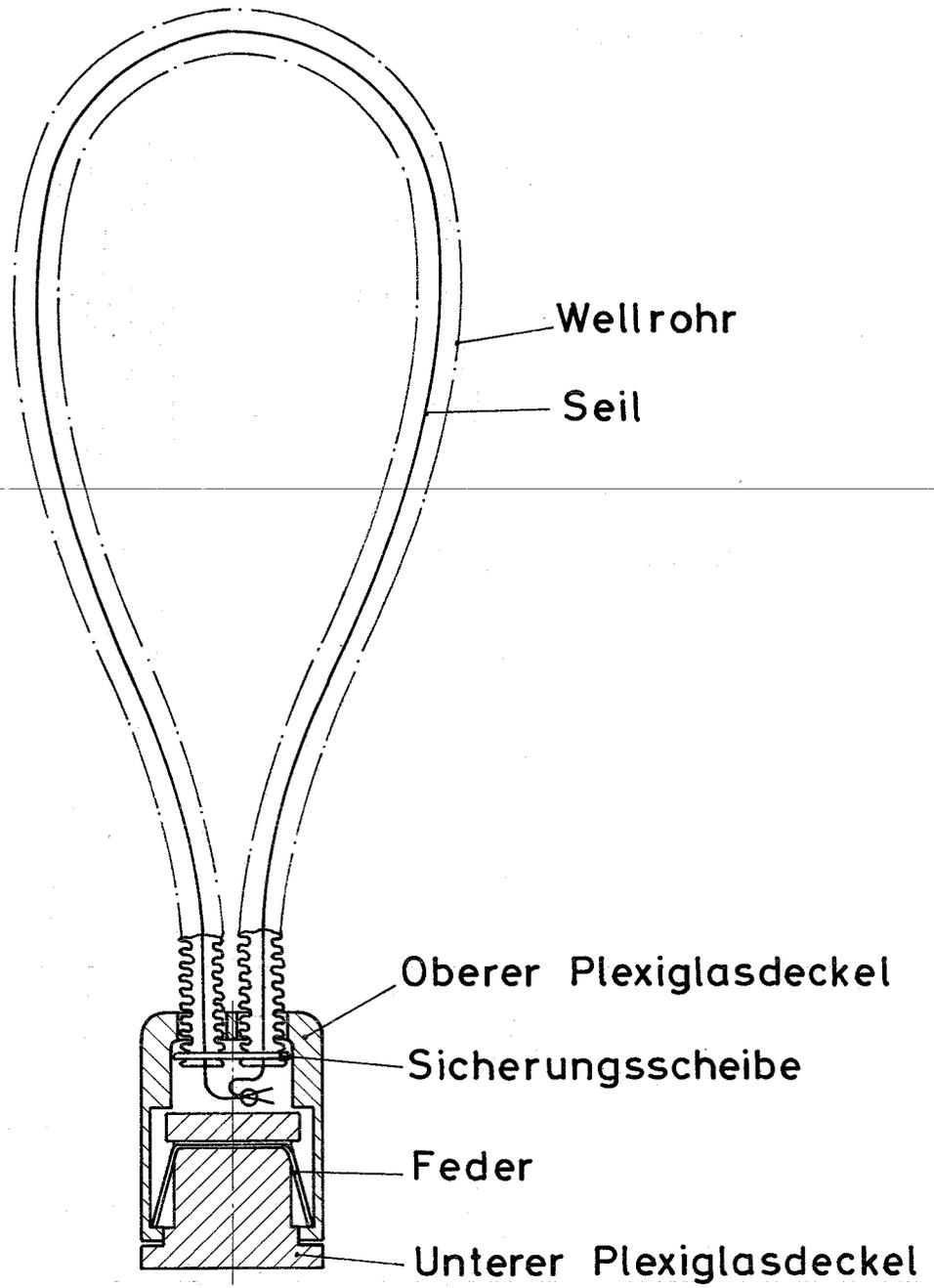
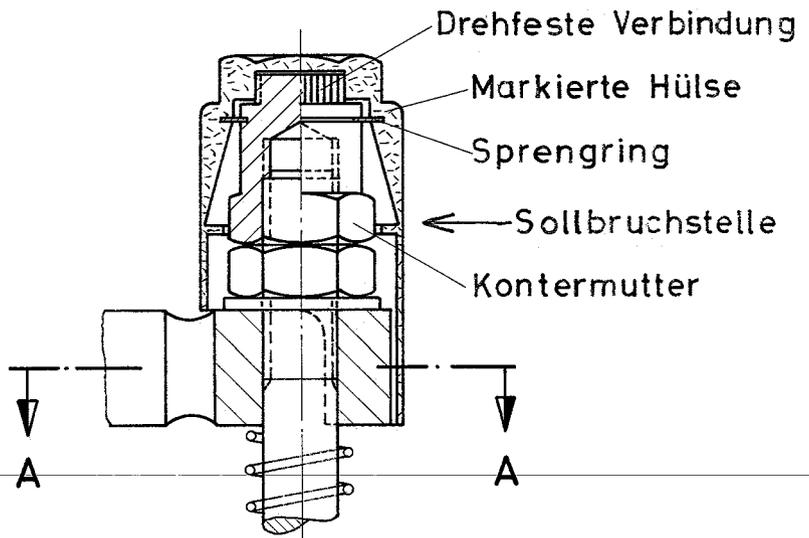
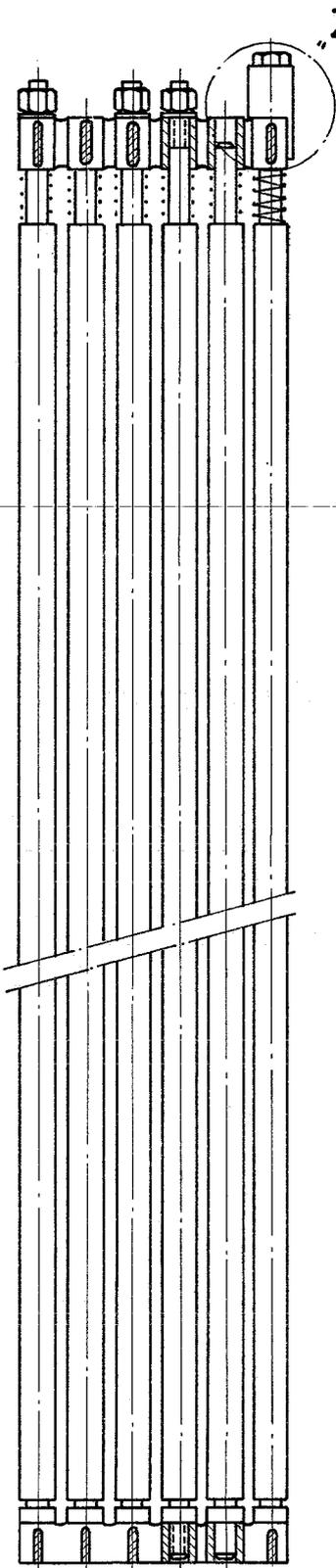
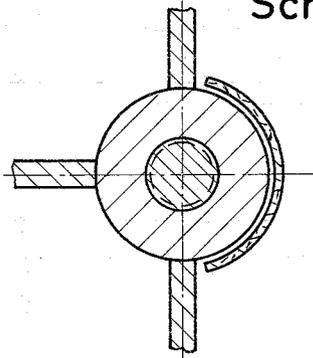


Abb.10 Siegel für Spaltstoffbehälter

### Einzelheit „Z“



### Schnitt A-A



SWR -Subassembly (schematisch)

Abb.11 Siegel für Subassembly

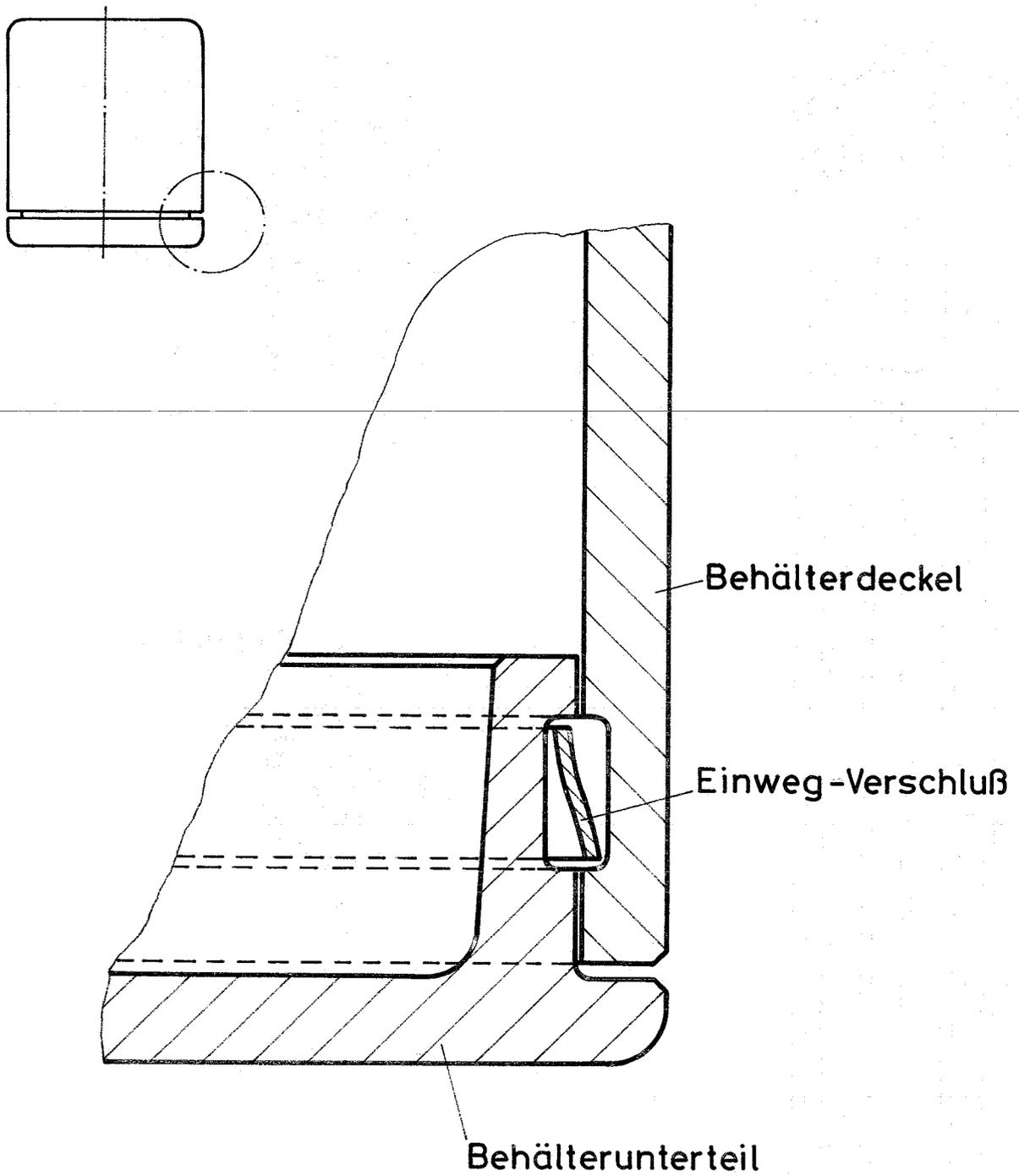


Abb. 12 Glassicherheitsbehälter mit Einweg-Verschluß