

KfK 2979

Juli 1980

Kernmaterialüberwachung an der Schnellen Kritischen Anordnung SNEAK

**C. Brückner, G. Jourdan
Hauptabteilung Sicherheit
Hauptabteilung Kerntechnische Betriebe**

Kernforschungszentrum Karlsruhe

KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE
Hauptabteilung Sicherheit
Hauptabteilung Kerntechnische Betriebe

KfK 2979

Kernmaterialüberwachung
an der
Schnellen Kritischen Anordnung SNEAK

Christian Brückner
Gerhard Jourdan

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

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH
ISSN 0303-4003

Zusammenfassung

SNEAK ist eine schnelle kritische Anordnung, aufgebaut aus Brennelementen, die Kernmaterial und Strukturmaterial in Form von Plättchen in sehr flexibler Zusammensetzung enthalten. Die Anlage umfaßt die kritische Anordnung, ein Lager sowie den Be- und Entladebereich für die Brennelemente. Der Kernmaterialbestand ist hoch, in der Gesamtanlage ist er normalerweise konstant. Eine Kernmaterialüberwachung mit Inventuraufnahmen würde jeweils zu mehrmonatigen Betriebsunterbrechungen führen. Deshalb wird die Verifikation des Brennstoffes im Verlaufe des Be- und Entladens der Brennelemente nach dem Prinzip der digital accountancy vorgeschlagen, verbunden mit Containment- und Surveillancemaßnahmen an Brennelementen und Lagerbehältern.

Abstract

International Safeguards at the Fast Critical Facility SNEAK

SNEAK is a fast critical assembly containing fuel and structural materials in form of platelets in a flexible composition in the fuel elements. The facility consists of the critical assembly, a storage and a fuel element loading and unloading zone. The nuclear material inventory is large but maintained at a constant level in the overall facility. Inventory verifications on the critical assembly would imply interruptions in operation of several months duration. For this reason, material verification during fuel element loadings and unloadings is proposed following the principle of digital accountancy, supplemented by containment and surveillance measures applied to fuel elements and storage containers.

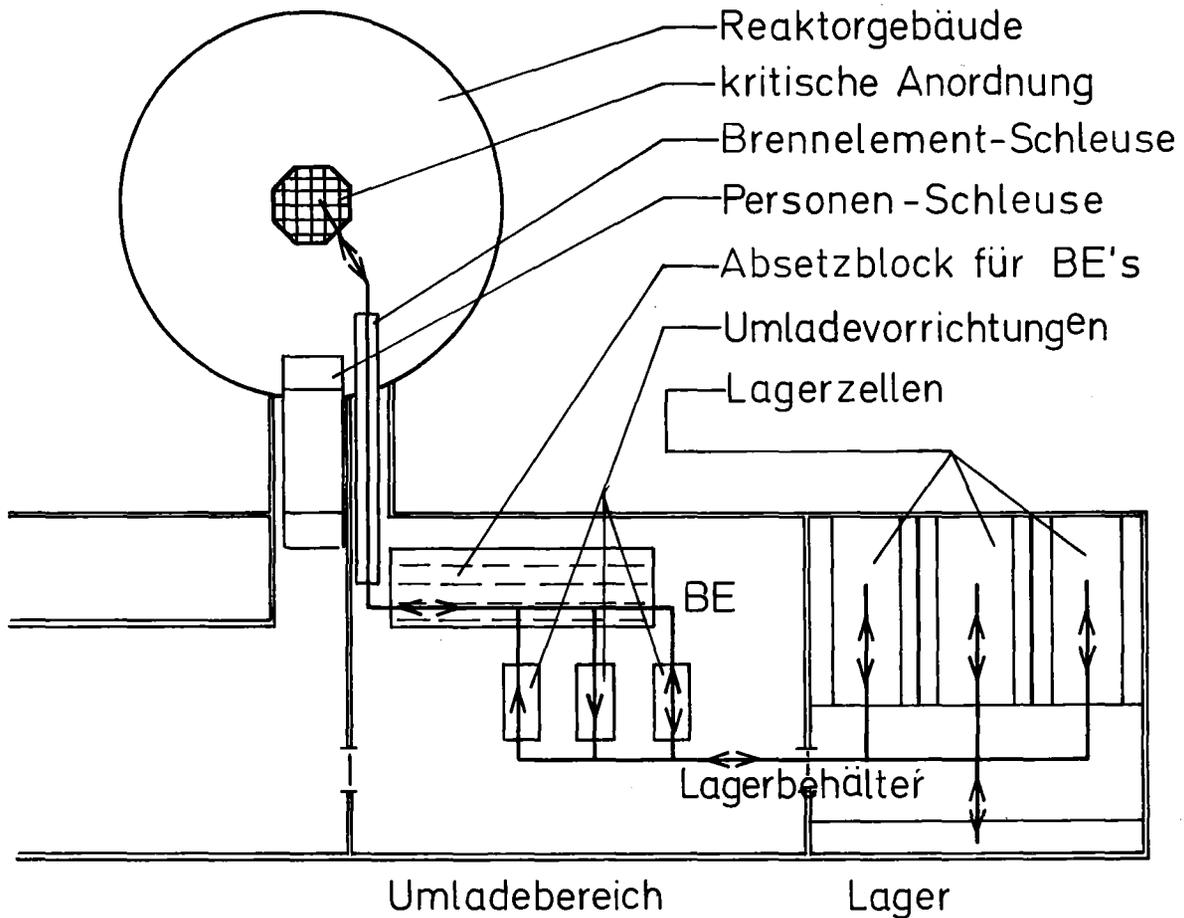
1. Die schnelle kritische Anordnung SNEAK, Aufbau und Brennstoffhandhabung

Die SNEAK (Schnelle Null-Energie-Anordnung Karlsruhe) ist eine schnelle kritische Anordnung für Arbeiten zur Physik schneller Reaktoren. Kennzeichnend sind der flexible Aufbau der Anordnung und das hohe Kernmaterialinventar der Anlage.

Die kritische Anordnung SNEAK ist aus vertikal aufgehängten, dicht aneinanderstehenden Brennelementen aufgebaut. Die Brennelemente sind 3 m lange, an beiden Enden mit Stopfen verschlossene Stahlvierkantrohre, in die Kernmaterial und Strukturmaterial in Form von Plättchen und Blöcken eingefüllt sind. Deren Schichtung und der Anteil des Kernmaterials in einem Brennelement sind ebenso variabel wie die Positionierung der Brennelemente zueinander in der kritischen Anordnung. Die Gitterbreite und damit der normale Querschnitt des Brennelementes in der inneren Zone beträgt 54,4 mm und 162 mm (neunfacher Querschnitt) in der äußeren Zone (Blanketzone). Der maximale Durchmesser der kritischen Anordnung mißt rund 3,2 m. Die Anzahl der Elemente ($54,4 \times 54,4 \text{ mm}^2$) in der Anordnung variiert, je nach dem Einsatz von Vierkantrohren mit neunfachem Querschnitt im radialen Blanket, von etwa 500 bis 1500.

Das gesamte in der SNEAK verwendete Kernmaterial liegt in Form von Plättchen und Blöcken vor, die normalerweise unverändert bleiben und nach deren Stückzahl das Material gehandhabt wird. Es stehen im wesentlichen stahlummantelte Plättchen aus $\text{PuO}_2 - \text{UO}_2$ - Mischoxid, vernickelte Plättchen aus metallischem Uran mit 20 % und 35 % Anreicherung, stahlummantelte Plättchen aus Natururanoxid UO_2 sowie vernickelte Blöcke aus metallischem Natururan und abgereichertem Uran zur Verfügung. Eine typische Beladung eines Brennelementes umfaßt größenordnungsgemäß 300 Plättchen und Blöcke, es kann mehrere effektive Kilogramm an Kernmaterial enthalten.

Die Gesamtanlage der SNEAK umfaßt die in einem Reaktorgebäude untergebrachte, nur über Schleusen zugängliche kritische Anordnung sowie, in einem anschließenden Gebäudetrakt, das Brennstofflager, den Ladebereich mit Be- und Entladevorrichtungen für Brennelemente und einen Absetzblock (Zwischenlager) für Brennelemente (siehe Skizze).



Schematische Darstellung des Aufbaus der SNEAK-Anlage
und des Kernmaterialflusses in der Anlage

Das Lager besitzt drei Zellen mit je rund 400 Positionen für Lagerbehälter (birdcages) für Plättchen mit Plutonium und angereichertem Uran, darüberhinaus Lagerpositionen für die Natururanblöcke und Blöcke aus abgereichertem Uran. Der räumlich mit dem Be- und Entladebereich zusammenliegende Absetzblock hat rund 260 Brennelementpositionen.

Das für die SNEAK vorhandene Kernmaterial besteht aus Pu und Uran aller Anreicherungsgrade. Dieser Bestand ist praktisch konstant, was sich ändert, ist die Verteilung des Inventars auf kritische Anordnung, Absetz-

block und Lager im Verlauf von Brennelementbe- und entladungen bzw. von Brennelementwechseln an der kritischen Anordnung, die bei der experimentellen Arbeit an der SNEAK praktisch täglich durchgeführt werden.

Der Kernmaterialfluß ist in die Skizze der SNEAK-Anlage eingetragen:
Das Kernmaterial wird im Lager in birdcages oder anderen Lagerbehältern gelagert. Bei der Beladung von Brennelementen gelangt das benötigte Material in den Lagerbehältern zu den Füllvorrichtungen und wird dort entnommen. Es stehen eine automatische Füllmaschine und eine Handfüllvorrichtung zur Verfügung. Bei ersterer gelangen die Plättchen gemäß dem Beladeschema über ein Förderband in das vertikal stehende Stahlvierkantrohr, bei der Handfüllvorrichtung werden Plättchen und Blöcke von Hand in eine waagrechte Füllrinne gelegt, die nach Überprüfung der Beladung in die Vertikale geschwenkt und in ein Stahlvierkantrohr entleert wird. Nach Aufsetzen und Festschrauben des Kopfstückes an den Rohren gelangen die Brennelemente mit dem Kran in den Absetzblock und, gegebenenfalls nach Zwischenlagerung, zur Brennelementschleuse. In der Reaktorhalle werden sie am anderen Ende der Schleuse mit Belademaschinen entnommen und schließlich in die kritische Anordnung eingehängt.

Der Weg beim Entladen verläuft umgekehrt. Für das Leeren der Brennelemente stehen eine automatische Entladungsmaschine sowie die Handfüllvorrichtung zur Verfügung.

Es ist wichtig, auf die folgenden Eigenarten bei der Kernmaterialhandhabung besonders hinzuweisen:

- die Brennelemente können auslegungsbedingt nur auf dem beschriebenen Weg über die Brennelementschleuse in das Reaktorgebäude gebracht bzw. aus ihm heraustransportiert werden.
- ein Umladungsvorgang ist relativ zeitaufwendig. Das Ausbringen eines Brennelementes von der kritischen Anordnung bis in den Absetzblock und das nachfolgende Einbringen eines Brennelementes vom Absetzblock

bis hinein in die kritische Anordnung benötigt etwa eine halbe Stunde an Zeit.

- es ist nicht betriebsüblich und auch ohne Verwendung betriebsmäßig nicht vorhandener Sondervorrichtungen und besonderem Aufwand an Zeit nicht möglich, den Brennelementen anders als an den Füll- und Entladevorrichtungen Kernmaterial zu entnehmen. Die Brennelemente werden betriebsmäßig nur als unverändert bleibende Einheiten gehandhabt.

2. Die Kernmaterialüberwachung an der SNEAK

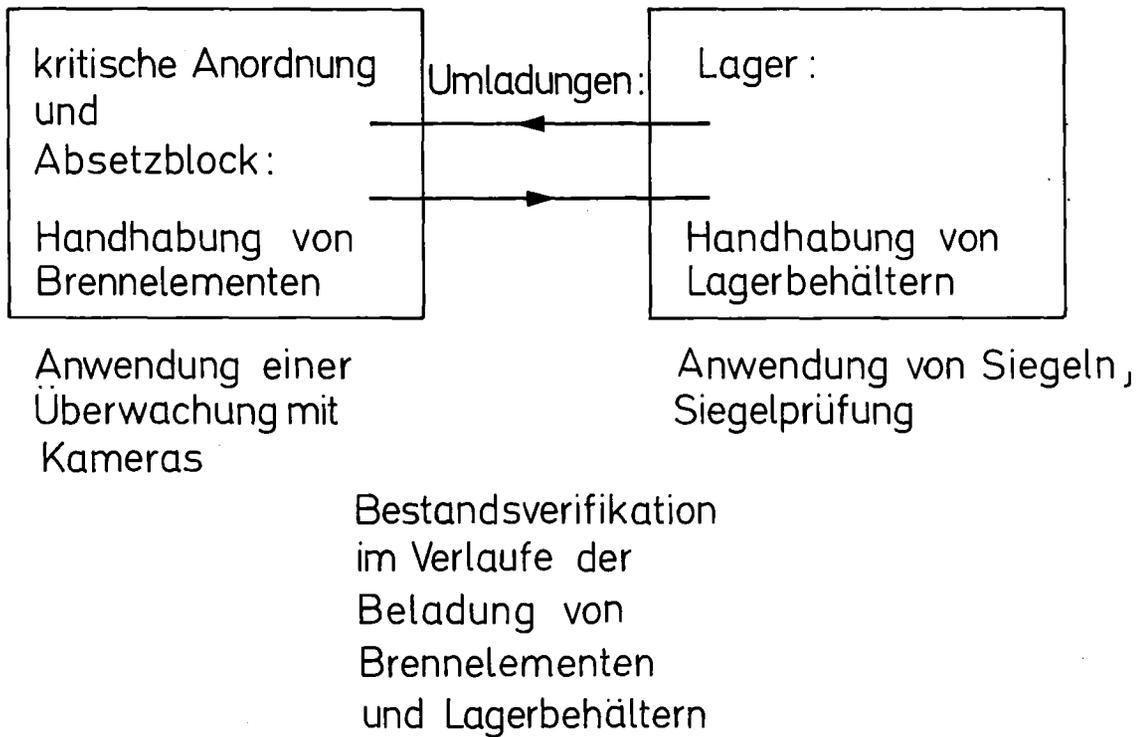
Bei der Diskussion der technischen Einzelheiten der Überwachung an der SNEAK war von zwei Forderungen der Überwachungsorganisationen Euratom und IAEA auszugehen;

- der Anwendung des grundlegenden Überwachungskonzepts mit zweimaliger Prüfung des Bestands pro Jahr in der kritischen Anordnung sowie in den Lagern
- darüberhinaus einer ständigen Überwachung des Materials durch Verifikationen von Materialtransfers innerhalb der Anlage sowie durch die Anwendung von Versiegelungs- und Beobachtungsmaßnahmen, mit dem Ziel, etwa alle 10 Tage eine Erklärung über die Vollständigkeit des Bestandes abgeben zu können.

Das Haupthindernis für die Erfüllung dieser Forderungen bilden die außerordentlich starken Betriebsbehinderungen, die Bestandsprüfungen zur Folge haben. Bei einer solchen Bestandsprüfung müßten, da eine Materialbestimmung an den 3 m langen inhomogen beladenen Elementen direkt nicht möglich ist, die Brennelemente aus der kritischen Anordnung entnommen und über die Brennelementschleuse in den Handhabungsbereich gebracht, geöffnet, entladen, nach ihrem Inhalt überprüft und wieder beladen, verschlossen, in die Reaktorhalle eingeschleust und in die kritische Anordnung eingehängt werden. Wegen der im vorigen Abschnitt bereits

angegebenen Zeiten, die für Brennelementtransfers notwendig sind und wegen des Zeitaufwandes, der für Öffnen und Entladen der Brennelemente, für das Verifizieren des Brennelementinhalts sowie für das Rückladen und Verschließen der Elemente in Ansatz zu bringen ist, können während eines achtstündigen Arbeitstages nicht mehr als 10 bis 12 Brennelemente geprüft werden. Die Anzahl ist noch kleiner, wenn die Überprüfung eines Brennelementinhalts, etwa durch Anwendung zeitaufwendiger Meßmethoden an den Plättchen und Blöcken, länger als 20 Minuten dauert. Selbst dann also, wenn insgesamt nur etwa ein Drittel der Elemente als Stichprobe überprüft würden, nähme die Bestandsverifikation an einer mittleren kritischen Anordnung mit 900 Elementen etwa 28 bis 30 Arbeitstage in Anspruch, das wären, da ein Arbeitstag pro Woche für betriebliche Sicherheitsprüfungen verwendet werden muß, 7 bis 8 Arbeitswochen. Bei den zwei Bestandsprüfungen pro Jahr müßte die SNEAK demnach ein Drittel des Jahres zur Durchführung der Prüfungen stillgelegt werden.

Den Überwachungsorganisationen wurde deshalb ein Konzept vorgeschlagen, das die zweimaligen Bestandsprüfungen pro Jahr vermeidet und durch die Verifikation des Kernmaterials in den einzelnen Brennelementen jeweils im Verlaufe ihrer Beladung bzw. des Kernmaterials in den Lagerbehältern beim Entladen der Brennelemente ersetzt, verbunden mit Containment- und Surveillance-Maßnahmen, die die Integrität der Brennelemente und Lagerbehälter nach den Umladungen sicherstellen. Die Forderung nach einer Kontrolle der internen Materialtransfers, die die Feststellung der Vollständigkeit des Materialbestandes in etwa zehntägigen Abständen erlaubt, wäre bei diesem Konzept gleichsam automatisch miterfüllt und damit additive Verfahren zur Erfüllung der beiden Überwachungsfordernungen vermieden. Die folgende Skizze soll das Prinzip des Überwachungskonzeptes verdeutlichen:



Zum Prinzip des Überwachungskonzepts

Das Konzept geht von den schon genannten Eigenarten der Kernmaterialhandhabung an der SNEAK aus: Handhabung des Kernmaterials nur in Form von Plättchen und Blöcken, nach deren Stückzahl, offene Handhabung dieser Einheiten und damit Zugänglichkeit zu ihnen nur bei Brennelementumladungen, ansonsten Einschluß der Plättchen und Blöcke in Brennelemente oder Lagerbehälter.

Im einzelnen wird vorgesehen:

- Unmittelbar nach dem Laden eines Brennelementes bzw. nach dem Vorbereiten der Ladung zum Einfüllen in das Vierkanthrohr wird die Ladung zum Überprüfen bereitgestellt. Die Bereitstellung geschieht nach einem Stichprobenplan auf Anweisung der Inspektoren. Die Verifikation erfolgt anhand des Belade-

planes durch

- Zählen der Plättchen und Blöcke,
- Identifizieren der Plättchen nach ihrer Art mit Hilfe artspezifischer Kennzeichen (Einkerbungen o.ä.)
- Ausmessen einzelner stichprobeweise ausgewählter Plättchen und Blöcke

Die Inspektoren beobachten das Einfüllen der Ladung in das Vierkantrohr, das Verschließen des Brennelements und sein Einbringen in den Absetzblockbereich. Da diese Verifikationstätigkeiten im Zusammenhang mit der Vorbereitung neuer Brennelemente steht, die in den meisten Fällen unabhängig vom Fahren der kritischen Anordnung, d.h. parallel zum Reaktorbetrieb durchgeführt wird, haben sie im allgemeinen keine Betriebsbehinderungen zur Folge.

- Im Absetzblock, auf dem Weg zum Absetzblock durch eine Brennelementschleuse in das Reaktorgebäude und im Reaktorgebäude selbst, sowie auf dem Weg zurück, stehen die Brennelemente unter Kameraüberwachung. Die Kameraüberwachung ist darauf ausgerichtet, die nicht betriebsüblichen Manipulationen an den Brennelementen, die Abzweigungsverdacht begründen könnten, aufzudecken. Selbstverständlich muß auf den zweckentsprechenden Aufbau eines betriebssicheren Kamerasystems Wert gelegt werden, um unbegründeten Abzweigungsverdacht durch Fehlinterpretationen von Bildaufzeichnungen und bei Geräteausfall auszuschließen.
- Das Kernmaterial in den Lagerbehältern wird durch Versiegelung der Behälter gesichert. Die Verifikation des Behälterinhaltes und die Versiegelung geschehen im Zusammenhang mit den Brennelementbe- und -entladungen an allen hierbei beladenen oder teilentladenen Behältern. Die Prüfung von Behälterinhalten kann gegebenenfalls zeitlich unabhängig von der Beladung, mit Anwendung einer vorläufigen Versiegelung durchgeführt werden.

- Der verifizierte Kernmaterialbestand der kritischen Anordnung errechnet sich aus einem (verifizierten) Anfangsbestand, den Zugängen an Brennelementen mit verifiziertem Kernmaterialinhalt und den Abgängen an Brennelementen. Es ist wichtig, festzuhalten, daß die Kontrolle der Zugänge und Abgänge durch Zählung von Plättchen und Blöcken, d.h. meßfehlerfrei erfolgt, so daß bei der fortlaufenden Bestandsberechnung keine Fehlerkummulation eintritt. Die Verifikation des Anfangsbestandes kann, nach Sicherung des Brennelementes durch die Surveillance-Maßnahmen, ebenfalls durch Verifikation des Inhalts von Brennelementen nach deren betriebsmäßigem Ausladen aus der kritischen Anordnung erfolgen.

- Die Verifikation des Lagerbestandes geschieht durch Siegelprüfung

Das vorgeschlagene Konzept stellt eine Kombination von Bilanzierungs- und Containment/Surveillance-Maßnahmen dar, bei der beide streng komplementär angewendet werden. Es sieht die ständige Anwesenheit von Inspektoren vor, verbindet jedoch die Prüfung mit den Betriebsvorgängen in der Weise, daß Betriebsbehinderungen nicht oder nur in geringem Maße auftreten.

Das Konzept ist zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch nicht voll akzeptiert. Die Überwachungsbehörden konnten sich zur Aufgabe der Forderung nach halbjährlicher Bestandsaufnahme und -prüfung auch bei Durchführung der Beladungsverifikation an den Brennelementen im Verlaufe deren Umladung nicht vollständig entschließen und hielten sie für Brennelemente mit einer Standzeit von jeweils mehr als einem Jahr aufrecht. Deshalb mußte einem weitergehenden Konzept mit Versiegelungen der Brennelemente und am Core sowie der zweimal im Jahr - allerdings sehr einfach durchzuführenden - Siegelprüfung als Bestandsverifikation zugestimmt werden [1]

Die Erfahrungen bei der Überwachung der SNEAK werden zeigen, inwieweit eine Realisierung des ursprünglichen Vorschlages betrieben werden kann, die nicht nur bei SNEAK, sondern dem Prinzip nach auch an anderen kerntechnischen Anlagen möglich, effektiv und von Vorteil für den Anlagenbetrieb erscheint.

- 1 Chr. Brückner, E. Mönnich, W. Scheuerpflug, D. Sellinschegg, F. Voss: International Safeguards in a large Inventory Fast Critical Assembly, 1st Annual Symposium on Safeguards and Nuclear Material Management, April 25/27 1979