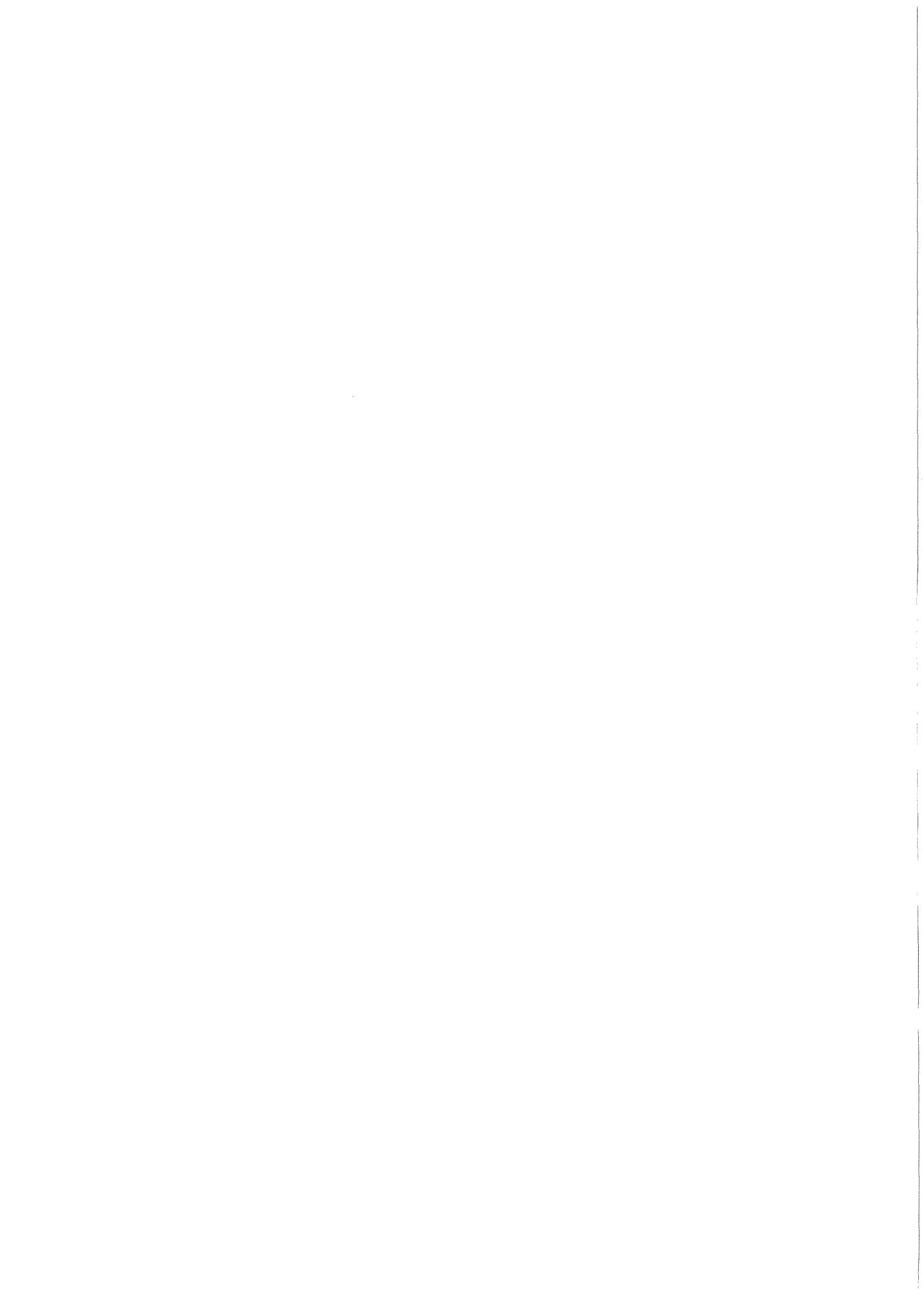


KfK 3464  
August 1983

**SNEAK 11:  
Kritische und unterkritische  
Experimente zu Nachladekernen  
für KNK-II**

U. von Möllendorff  
unter Mitarbeit von F. Helm, G. Henneges, F. Kappler  
Institut für Neutronenphysik und Reaktortechnik  
Projekt Schneller Brüter

**Kernforschungszentrum Karlsruhe**



KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE

Institut für Neutronenphysik und Reaktortechnik  
Projekt Schneller Brüter

KfK 3464

SNEAK 11: Kritische und unterkritische Experimente  
zu Nachladekernen für KNK-II

U. von Möllendorff  
unter Mitarbeit von F. Helm, G. Hennekes und F. Kappler

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe

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

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH  
ISSN 0303-4003

## Zusammenfassung

In der Schnellen Nullenergie-Anlage Karlsruhe (SNEAK) wurden unter der Bezeichnung SNEAK 11 drei ursprünglich (Planungsstand 1976 bis 1979) für KNK-II vorgesehene Nachladekerne untersucht. Zwei von ihnen wurden in je zwei Versionen aufgebaut: einerseits - wie bei SNEAK-Anordnungen gewohnt - mit gezogenen Absorberstäben, also in der Kritikalität dem abgebrannten Leistungsreaktor entsprechend, andererseits mit etwa bis zur Mitte eingetauchten Absorbern wie beim frischen Kern. Das Meßprogramm umfaßte im wesentlichen:

- kritische Größe oder kritische Eintauchtiefe der KNK-Regel-Trimms-Absorber,
- Spaltratenverteilungen,
- Natriumverlustreaktivität,
- Absorberwerte der Regel-Trimms- und der Zweitabschaltelemente.

Der Bericht beschreibt den Aufbau der Anordnungen ausführlich und gibt die wichtigsten Ergebnisse an. Auf bereits vorliegende Dokumentationen von Ergebnissen wird verwiesen.

## SNEAK 11: Critical and Subcritical Experiments Concerning Reloading Cores for KNK-II

### Abstract

In the Karlsruhe Fast Zero-Power Facility (SNEAK) three cores that were originally (as of 1976 to 1979) envisaged for KNK-II reloadings were investigated under the designation SNEAK 11. Two of them were built in two versions each, one with absorber rods withdrawn as usual in SNEAK assemblies and thus corresponding in criticality to the burned-up power reactor, the other with absorbers about half inserted like in the fresh core. The experimental program encompassed mainly

- critical size or critical insertion of the KNK regulating absorbers,
- fission rate distributions,
- sodium-void reactivity,
- absorber worths of KNK regulating and shutdown elements.

This report describes the assemblies in detail and gives the main results. It refers the reader to results that were documented earlier.

<u>Inhalt</u>	<u>Seite</u>
1. Einleitung	3
2. Aufbau der Anordnungen	6
2.1 Allgemeines	6
2.2 SNEAK 11C2	7
2.3 SNEAK 11A1, 11B1, 11B2 und 11C1	10
2.4 Materialzusammensetzung von SNEAK 11 und KNK-II	14
2.5 Verzögerte Neutronen	15
3. Kritische Größen und Absorberstellungen	17
3.1 SNEAK 11C2	17
3.2 Übrige Anordnungen	19
4. Spaltratenverteilungen	20
4.1 SNEAK 11A1	20
4.2 SNEAK 11B2	21
4.3 SNEAK 11C1 und 11C2	21
5. Natriumverlustreaktivität	22
5.1 Vorbemerkungen	22
5.2 Meßmethode und Ergebnisse	22
5.3 Vergleich mit Rechnungen	24
6. Absorberwerte	26
6.1 Meßmethode und Messungen	26
6.2 Rechenmethoden	27
6.3 Ergebnisse	28
Literatur	31

### Tabellen

- 1 Atomzahldichten KNK-II und SNEAK 11
- 2 Natriumverlustreaktivität
- 3 Gemessene Absorberkonfigurationen
- 4 Absorberreaktivität

### Abbildungen

- 1 Querschnitt KNK II
- 1a Übersichtsquerschnitt SNEAK 11
- 2 Querschnitt SNEAK 11C2
- 3 Vereinfachter rz-Schnitt SNEAK 11C2
- 4 bis 9 Fülltypen
- 10 bis 16 Einheitszellen
- 17 Verwendung der Fülltypen in den simulierten AS- und  
RT-Elementen
- 18 Axiale Pu239-Spaltratenverteilung in SNEAK 11A1,  $x/y=19/19$
- 19 Axiale U 235-Spaltratenverteilung in SNEAK 11A1,  $x/y=19/19$
- 20 Axiale U 238-Spaltratenverteilung in SNEAK 11A1,  $x/y=19/19$
- 21 Axiale Pu239-Spaltratenverteilung in SNEAK 11B2,  $x/y=19/19$
- 22 Axiale U 235-Spaltratenverteilung in SNEAK 11B2,  $x/y=19/19$
- 23 Axiale U 238-Spaltratenverteilung in SNEAK 11B2,  $x/y=19/19$
- 24 Tandem-Fülltyp (Beispiel)
- 25 Zonenunterteilung der AS- und RT-Elemente zur Zylinderi-  
sierung
- 26 Detektorpositionen bei den Quellmultiplikationsmessungen  
in SNEAK 11C1
- 27 Grobe Transportkorrektur von SNEAK-11B1-Absorberwerten

## 1. Einleitung

In der Schnellen Nullenergie-Anlage Karlsruhe (SNEAK) wurden unter der Bezeichnung SNEAK 11 mehrere mögliche Nachladekerne für den 20MW<sub>e</sub>-Versuchsreaktor KNK-II /1/ untersucht.

KNK-II (Abb. 1) besteht aus einer Testzone mit sieben SNR-ähnlichen Brennelementen, umgeben von Treiber- und Reflektorzonen. Die Erstbeladung der Testzone mit MkI-Elementen (hochangereicherter Pu-U-Oxidbrennstoff) sollte ursprünglich nach der ersten Leistungs-betriebsphase zum Teil durch die geringer angereicherten MkII-Elemente ersetzt werden; in einer zweiten Nachladung sollten dann zu den beiden Oxidbrennstoffsarten noch zwei Brennelemente mit Karbidbrennstoff hinzukommen. Insbesondere für diesen letzteren Kern wurden kritische Experimente für notwendig erachtet. Die entsprechende SNEAK-Simulation wurde unter der Bezeichnung 11A zeitlich als erste aufgebaut. Danach wurde als 11B der erste Nachladekern mit der Testzone aus den beiden Oxidbrennstoffen untersucht. Inzwischen hatte sich die Planung geändert, da der Karbidbrennstoff für KNK-II nicht hergestellt werden konnte. Es wurde ein neuer zweiter Nachladekern mit einer reinen MkII-Oxid-Testzone vorgesehen und als 11C ins SNEAK-Programm aufgenommen.

Jeder der drei Kerne sollte in zwei Versionen aufgebaut werden: einerseits - wie bei SNEAK-Anordnungen gewohnt - mit gezogenen Absorberstäben, also in der Kritikalität dem abgebrannten Leistungsreaktor entsprechend, andererseits mit etwa bis zur Mitte eingetauchten Absorbern wie beim frischen Kern. Die letztere Version steht der Kernauslegungs-Aufgabe näher, bietet aber der Berechnung die größeren Schwierigkeiten, da sie ein wesentlich dreidimensionales Problem darstellt. Die beiden Versionen werden bei der

Bezeichnung der SNEAK-11-Anordnungen durch die angehängte Ziffer 1 für gezogene und 2 für eingetauchte Absorber unterschieden.

Von den so definierten sechs Anordnungen wurde eine, 11A2, wegen der erwähnten Planungsänderung nicht realisiert. Die schon aufgebaute Anordnung 11A1 wurde mit verkürztem Experimentierprogramm durchgeführt. (Sie wird in den Berichten, Notizen usw. ohne Bedeutungsunterschied teils als 11A1, teils als 11A bezeichnet.) Die anderen Anordnungen schlossen sich in der zeitlichen Folge 11B1-11B2-11C2-11C1 an.

Das Meßprogramm umfaßte im wesentlichen:

- kritische Größe (bei 11A1, 11C1)  
oder kritische Eintauchtiefe der KNK-Regel-Trimms-Absorber (11B2, 11C2),
- Spaltratenverteilungen (11A1, 11B2, 11C1, 11C2),
- Natriumverlustreaktivität (11C1),
- Absorberwerte der Regel-Trimms- und der Zweitabschaltelemente (11B1, 11C1).

Bei allen fünf Anordnungen wurde den Wünschen der für die KNK-II-Auslegung Verantwortlichen (IA) insofern Rechnung getragen, als der Leistungsreaktor möglichst detailliert nachgebildet wurde. So wurden z.B. auch die oberhalb des oberen und unterhalb des unteren Blankets gelegenen Zonen - Spaltgasräume, Elementkopf- und -fußteile - berücksichtigt. Die Absorberelemente wurden mit hochangereichertem Borkarbid (aus KNK-Beständen zur Verfügung gestellt) und in realistischer Stabgeometrie aufgebaut. Gezogene Absorber standen mit ihrer Unterkante an der oberen Core-Blanket-Grenze und waren nicht, wie bei früheren SNEAK-Anordnungen, ganz aus dem Reaktor entfernt.

Alle diese Maßnahmen erleichtern die direkte Übertragung von Meßergebnissen auf den Leistungsreaktor, verringern aber die Aussagekraft der bei SNEAK-Experimenten üblichen Nachrechnungen sowie die

Allgemeingültigkeit der gewonnenen Aussagen. Dementsprechend wurden von uns nur ausgewählte Resultate nachgerechnet. Die Hauptbedeutung der SNEAK-11-Experimente liegt in der Bereitstellung von Meßergebnissen, die von IA mit den bei der KNK-II-Auslegung verwendeten Methoden und Daten nach Bedarf nachgerechnet werden können. Teilergebnisse von SNEAK 11 wurden von uns in Veröffentlichungen /2,3/ und internen Berichten /4...8/ dargestellt.

## 2. Aufbau der Anordnungen

### 2.1 Allgemeines

KNK-II (Abb. 1) besteht aus den SNR-typischen sechseckigen Brennelementen. Ein zentrales Brennelement und die erste umgebende Reihe aus 6 Elementen bilden die Testzone von ca. 60 l Volumen mit brütertypischem Brennstoff. Die nächsten beiden Reihen bilden die Treiberzone von ca. 260 l mit Uranoxidbrennstoff. In der inneren Treiberreihe wechseln die Brennelemente mit Absorberpositionen - fünf Regel-Trim-Elementen und einem Zweitabschaltelement - ab. Zwei weitere Zweitabschaltelemente befinden sich in der äußeren Treiberreihe. Die Treiberbrennelemente der äußeren Reihe enthalten zur Erhöhung des Dopplerkoeffizienten Zirkonhydrid-Moderatorstäbe. Ein Stahlreflektor aus zwei weiteren Elementreihen schließt sich an; seine innere Reihe ist an einer Seite durch fünf Brutelemente ersetzt. Die zweite Reflektorreihe enthält wiederum Moderatorstäbe. Eine dritte Reflektorzone besteht aus Stahlplatten, die den Zwischenraum zwischen dem sechseckigen Reaktorkern und der runden Tankwand ausfüllen.

In der quadratischen Matrix der SNEAK wurde jedes KNK-Element durch einen Block von 2x2 Elementen dargestellt. Der sechseckige Umriß der einzelnen Grundrißzonen läßt sich damit relativ gut wiedergeben. Abb. 1a stellt einen Übersichtsquerschnitt der SNEAK-11-Anordnungen dar.

Das Gittermaß der SNEAK-Matrix ist 5.44 cm. Damit beträgt die Grundfläche von 4 SNEAK-Elementen 82 % derjenigen eines KNK-Elements. Im Interesse der geometrischen Ähnlichkeit wurde daher die Höhe der Corezone - in KNK 60 cm - für SNEAK 11 zu nominell 56 cm gewählt.

Um den komplexen dreidimensionalen Aufbau der fünf Anordnungen rationell zu beschreiben, wird im folgenden zunächst die Anordnung 11C2 im einzelnen dargestellt. Sie hat einen einfachen Aufbau der Testzone und halbeingefahrenen simulierte Regel-Trim-Stäbe. Für diese Anordnung

wird in Kap. 3 eine  $k_{\text{eff}}$ -Nachrechnung angegeben. Die übrigen vier Anordnungen werden durch Angabe ihrer Unterschiede gegenüber 11C2 beschrieben.

## 2.2 SNEAK 11C2

Abb. 2 gibt den detaillierten Grundriß des "clean critical" von SNEAK 11C2 wieder. Hier ist auch die Unterteilung des Stahlreflektors gezeigt. Da der Stahl teils in Form von Blöcken und teils in Form von Plättchen vorliegt, bestand die moderierte Reflektorzone aus den Teilzonen RM1 und RM2, deren Zusammensetzung aber praktisch gleich war. Abb. 3 ist eine (notwendigerweise stark vereinfachte) rz-Darstellung.

Der genaue dreidimensionale Aufbau einer Anordnung ergibt sich aus den Fülltypen ihrer einzelnen SNEAK-Elemente. Die SNEAK-11-Fülltypen tragen zweiteilige Nummern, z.B. 1-1. Die erste der beiden Zahlen bezeichnet dabei den Grundtyp nach folgender Liste:

- |   |  |
|---|--|
| 1 | Testzone   |
| 2 | Treiberzone  |
| 3 | Stahlreflektor                                       |
| 4 | Brutelement  |
| 5 | KNK-Regel-Trim (RT)- oder Zweitabschalt (AS)-Element |
| 6 | -  |
| 7 | Stahlrefl.-Randelement (SNEAK-"B-Element")           |
| 8 | SNEAK-Sicherheitsstab                                |
| 9 | SNEAK-Trimstab                                       |

Im clean critical 11C2 traten folgende Fülltypen auf:

<u>Grundrißzone</u> (s. Abb. 2)	<u>Fülltyp</u>
Z	1-80
D	2-60
E	2-61
R1	3-1
R2	3-2
RM1	3-3
RM2	3-4
U	4-1
AS	5-1
RT	5-5...5-8 (s. Abb. 17)
a	8-9
b	8-10
c	8-11
d	9-3
e	9-4
f	9-9
g	9-10

Die meisten dieser Fülltypen sind in Abb. 4 bis 9 schematisch dargestellt. In jeder axialen Zone ist dort entweder die verwendete SNEAK-Materialsorte (z.B. NP = Normalplättchen, NK200 = Normalkasten 200 mm hoch, KB = Kleinblock) oder - bei mehr als einem Material - die verwendete Einheitszelle (z.B. Z11, D8, V, PL, KF) angegeben. Fülltypen, die nicht abgebildet sind, gehen aus den abgebildeten durch einfach beschreibbare Änderungen hervor. Für 11C2 sind dies:

<u>Fülltyp</u>	<u>Beschreibung</u>
2-61	Wie 2-60, aber als Coreteil 36 Zellen E11 statt 12 Zellen D8
3-4	Wie 3-3, aber Zelle RM2 statt RM1
5-6, 5-7, 5-8	Wie 5-5, aber Grundriß der Stabzelle jeweils 90° im Uhrzeigersinn weitergedreht
9-10	Wie 9-9, aber als Coreteil 9 Zellen K21 statt 10 Zellen KD15

Alle verwendeten Zellen sind in alphabetischer Reihenfolge ihrer Bezeichnungen in Abb. 10 bis 16 schematisch dargestellt. Ob Normal- oder Kleinplättchen, -blöcke, -kästen usw. verwendet werden, ergibt sich dabei aus dem angegebenen Gebrauch der Zelle: Zellen für SNEAK-Sicherheits- und Trimmstäbe bestehen aus Kleinmaterialien, alle anderen aus Normalmaterialien. Nicht dargestellt sind Sonderzellen, die für Spaltkammermessungen nötig waren (Fensterzellen, Kanalzellen, PPK-Zellen) und die im Autorod-Element, Fülltyp 2-54, verwendeten Zellen. Dies ist ein spezielles Kanalelement zur Aufnahme eines automatisch gesteuerten Feinregelstabes. Alle diese Zellen wurden wie üblich so ausgelegt, daß ihre neutronischen Eigenschaften sich von denen der jeweiligen umgebenden Zone möglichst wenig unterscheiden. Daher können sie bei Nachrechnungen i.a. durch diese Umgebung ersetzt werden.

Die Verwendung der vier Fülltypen 5-5...5-8 ist in Abb. 17 dargestellt. Sie hatte den Zweck, den 4-Element-Block etwas besser zylindersymmetrisch zu machen, um Zellrechnungen in Zylindergeometrie zu ermöglichen.

Die in Abb. 4 bis 9 eingezeichnete Coremitte bezieht sich bei Sicherheits- und Trimmstäben und bei Elementen mit verschiebbarer Füllung (hier 5-5) stets auf die höchste mögliche Stellung; zur vollständigen Beschreibung gehört dann noch die im Betrieb verwendete Stellung, die im folgenden bei den einzelnen Experimenten angegeben wird.

Bei den Ersetzungen axialer Zonen durch solche mit anderer Einheitszelle ist zu beachten, daß die Zonenhöhen und damit die Lage von Zonengrenzflächen sich gegenüber den Maßen in Abb. 4 bis 9 geringfügig ändern können. Die Zonenhöhe ergibt sich stets aus der Zellenanzahl und der in Abb. 10 bis 16 angegebenen Höhe der Zelle. In den oben genannten Fällen 2-60/2-61, 3-3/3-4 und 9-9/9-10 war stets die mittlere axiale Zone des Elements an der Coremitte zentriert.

In diesem Zusammenhang sollte der mögliche Unterschied zwischen theoretischer und wirklicher Stapelhöhe einer Füllung erwähnt werden..

Die gemessene Höhe der fertigen, evtl. mittels Feder verspannten Füllung kann von der Summe der Materialdicken laut SNEAK-Materialdatei abweichen. Einige Stichproben an SNEAK-11-Elementen ergaben z.B. Höhen der Corezone, die um 0.3 % bis 0.6 % unter den theoretischen lagen. Der Grund hierfür ist wahrscheinlich die Verwendung relativ vieler Schachtelplättchen (Na, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, UO<sub>2</sub>, alle Pu-Sorten), die unter axialer Belastung elastisch nachgeben.

Diese geringe Kompaktierung des Reaktors hat keinen merklichen Einfluß auf seine Kritikalität. Allerdings müssen bei Berechnungen die Zahlen konsistent verwendet werden, d.h. den Atomzahldichten zur Berechnung der makroskopischen Wirkungsquerschnitte müssen die gleichen Höhen zugrunde liegen wie dem geometrischen Rechenmodell des Reaktors. In diesem Bericht und bei allen beschriebenen Rechnungen wurden nur die theoretischen Höhen benutzt.

Eine Berücksichtigung der gemessenen Höhen könnte grundsätzlich beim Vergleich gemessener axialer Kammertraversen mit Rechnungen nötig werden. Abweichungen der oben genannten Größenordnung dürften allerdings noch in den übrigen Ungenauigkeiten untergehen.

### 2.3 SNEAK 11A1, 11B1, 11B2 und 11C1

Ausgehend von SNEAK 11C2 lassen sich die übrigen vier Anordnungen so charakterisieren:

Sämtliche Brut- und Reflektorzonen, axial und radial, bleiben gleich. Für Nachrechnungen wesentliche Unterschiede bestehen nur in

- der Anordnung der verschiedenen Brennstoffe im Grundriß der Testzone,
- der Wahl verschiedener Einheitszellen für die Brennstoffzonen (zur Änderung von Anreicherung oder Wasserstoffgehalt),
- Aufbau oder Einfahrtiefe der AS- und RT-Elemente.

Kleinere Unterschiede bestehen außerdem hinsichtlich

- Vergrößerung oder Verkleinerung der E-Zone um einige Randelemente (Austausch gegen Reflektorelemente der Zone R1) zur Einstellung der Reaktivitätsreserve,
- Positionen und Aufbau der SNEAK-Trim- und Sicherheitsstäbe.

Diese kleineren Unterschiede (zumindest die Randelemente) sind bei  $k_{\text{eff}}$ -Nachrechnungen zu beachten. Für alle anderen Meßgrößen (wie Spaltratenverteilungen, Na-Verlust-Reaktivität, Absorberreaktivität) dürfte ihr Einfluß vernachlässigbar sein.

Im folgenden werden die erwähnten wesentlichen Unterschiede beschrieben. Die Randelement-Verwendung wird bei den  $k_{\text{eff}}$ -Ergebnissen in Kap. 3 angegeben.

### 2.3.1 Brennstoffzonen

Die Besetzungen des Testzonen-Grundrisses mit bis zu drei verschiedenen Brennstoffen sind in Abb. 1a dargestellt. Die verwendeten Mischungen (Zellen) für alle Brennstoffzonen sind in der folgenden Liste aufgeführt.

<u>Anordnung</u>	<u>Brennstoffzone</u>	<u>axialer Aufbau</u>
11A1	A	7 Zellen A10
	C	6 Zellen C4
	Z	10 Zellen Z7
	D	9 Zellen D5
	E	36 Zellen E
11B1	A	7 Zellen A16
	Z	10 Zellen Z7
	D	9 Zellen D5
	E	36 Zellen E

11B2	A	7 Zellen A13
	Z	10 Zellen Z9
	D	9 Zellen D5
	E	36 Zellen E
11C1	Z	10 Zellen Z14
	D	10 Zellen D13
	E	10 Zellen E11

Bei diesen Brennstoffzonen-Ersetzungen ist, wie schon in 2.2 erwähnt, die mögliche leichte Änderung der Zonenhöhe gegenüber den Abbildungen 4 bis 9 zu beachten. Bei allen Coreelementen in SNEAK 11 war die Brennstoffzone an der Coremittelebene auf ca.  $\pm 1$  mm genau zentriert. Abschnitt 2.4 und Abb. 10 bis 16 beschreiben sämtliche Zellen der SNEAK-11-Anordnungen mit Ausnahme der in 2.2 erwähnten Sonderzellen und derjenigen Sicherheitsstab- und Trimmstabzellen, die nicht in 11C2 vorkommen.

### 2.3.2 AS-Elemente

Die AS-Elemente im ausgefahrenen Zustand - also bei allen kritischen und einem Teil der unterkritischen Messungen - waren vom Fülltyp 5-1 (Abb. 6). Nur für unterkritische Messungen ihrer eigenen Reaktivität in 11B1 und 11C1 wurden sie eingefahren, d.h. durch Fülltyp 5-10 (Abb. 6) und 5-11 ersetzt. Typ 5-11 geht aus 5-10 durch Rotation hervor wie 5-6 aus 5-5. Abb. 17 zeigt die Verwendung von 5-10 und 5-11.

### 2.3.3 RT-Elemente

Die RT-Elemente mußten im Lauf des Programms verschiedentlich umgefüllt werden, teils um ihre mittlere Boranreicherung zu ändern, teils, weil der begrenzte Vorrat an angereichertem Borkarbid für die AS-Elemente gebraucht wurde. Die verwendeten Fülltypen ergeben sich aus nachstehender Liste. "Ausgefahren" bedeutet stets, daß die Absorber-Unterkante mit der Core-Oberkante der Anordnung abschließt. Alle tieferen Stellungen sind als "eingefahren" bezeichnet. Die Fülltypen 5-5 bis 5-8 wurden bei Anordnung 11C2 beschrieben. Typ 5-16 ist

in Abb. 7 dargestellt; 5-17 bis 5-19 ergeben sich daraus durch Drehung ganz analog wie 5-6 bis 5-8 aus 5-5 (s. Abb. 17).

Anordnung	Absorber-Konfiguration	Fülltyp RT-Elemente
11A1		5-1
11B1	RT und AS ausgefahren	5-5...5-8
	RT ausg., 1 oder 2 AS eing.	5-16...5-19
	RT ausg., alle 3 AS eing.	5-1
	RT mit Boranreich. 54% eing.	wie 5-5...5-8, aber Stabzellen RT3 statt RT1
	RT mit Boranreich. 76% eing.	
	- alle AS ausgef.	5-5...5-8
	- 1 oder 2 AS eingef.	5-16...5-19
11B2		5-5...5-8
11C1	RT und AS ausgefahren	5-5...5-8
	RT ausg., 1 bis 3 AS eing.	5-1
	RT eingefahren	5-5...5-8

Die Unterschiede zwischen den verschiedenen RT-Füllungen in 11B1 und 11C1 sind für Meßergebnisse und Nachrechnungen nicht gravierend, denn der ins Core eintauchende Absorberteil bestand immer aus der jeweils vorgesehenen Stabzelle. Nur im Bereich des oberen Blankets fand ein Austausch dieser Stabzellen gegen  $B_4C$ -Kästen statt.

Die fünf RT-Elemente der KNK-II wurden im SNEAK-11-Programm ausnahmslos als Bank behandelt, d.h. sie waren in Aufbau und Einfahrtiefe untereinander stets gleich.

## 2.4 Materialzusammensetzung von SNEAK 11 und KNK-II

Die in SNEAK 11 verwendeten Einheitszellen sind zahlreich und zumindest in den Brennstoffzonen auch ungewohnt groß und kompliziert. Dies ergab sich aus der Aufgabe, vorgegebene Zusammensetzungen möglichst genau mit den verfügbaren SNEAK-Materialien nachzubilden.

Für die Brennstoffzonen A (MkI-Oxid), Z (MkII-Oxid), D (Treiber ohne Moderator) und E (Treiber mit Moderator) mußten im Lauf des Programms jeweils zwei oder mehr verschiedene Zellen eingesetzt werden. Dies diente zur Kritikalitätseinstellung der einzelnen Anordnungen.

In vielen Fällen liegt der Grund für die Verwendung mehrerer fast gleicher Zellen - A10/A16, Z9/Z11, PLE/PLSS u.a. - auch in Mengenbeschränkungen der einzelnen SNEAK-Materialsorten.

Der SNEAK-Vorrat an Uranmetallplättchen mit 93 % U235 reichte z.B. nicht aus und wurde durch Entleihen ähnlicher Plättchen von der ZEBRA-Anlage der UKAEA (Winfrith) ergänzt. Die beiden Plättchensorten sind in den Zellenabbildungen als U93%S bzw. U93%Z bezeichnet. Die ZEBRA-Plättchen sind nicht vernickelt und mußten daher zur Vermeidung von Kontaminationen umkleidet werden. Nachdem sich eine Beschichtung mit wasserstoffarmem Kunstharz als nicht dicht gegenüber dem Austritt abwischbarer Aktivität erwiesen hatte, wurden die Plättchen gemeinsam mit den jeweils benachbarten Natrium- oder Stahlplättchen an den Schmalseiten mit selbstklebend beschichteter Aluminiumfolie umklebt. Diese Folie sorgte für Abdeckung und mechanischen Zusammenhalt. Die so vorbereiteten "Pakete" konnten ohne Kontaminationsgefahr gehandhabt werden. Die Folie ist in den Zellenabbildungen (Abb. 10 bis 16) angedeutet. Der Wasserstoffgehalt der Klebschicht - als der neutronenphysikalisch wichtigste Bestandteil - wurde bestimmt und bei der Berechnung von makroskopischen Wirkungsquerschnitten berücksichtigt.

Für die wichtigsten Materialmischungen sind in Tabelle 1 die Atomzahl-dichten in KNK-II und SNEAK 11 einander gegenübergestellt. Größere Diskrepanzen bestehen beim U238-Gehalt der Testbrennstoffe. Sie waren unvermeidlich, weil das SNEAK-Plutonium bis auf wenige Kilogramm in Form von Mischoxid mit Natururan vorliegt. Daher kann z.B. das aus Plu-

tonium und hochangereichertem Uran bestehende KNK-MkI-Mischoxid damit nicht nachgebildet werden.

Der in Treiber und Reflektor vorkommende Moderator wurde durch Polyethylenfolien -  $(CH_2)_n$  - in Metallhaltern dargestellt.

Natrium wurde in einigen außen gelegenen Regionen der Anordnungen durch Aluminium ersetzt.

Zur Entwicklung der Spaltstoff-Einheitszellen - insbesondere auch zum Finden passender Zellen für SNEAK-Sicherheits- und Trimmstäbe in einer vorgegebenen Umgebung - wurden eindimensionale Diffusionsrechnungen für Kugeln aus der jeweiligen Mischung herangezogen. Als Kriterium für die Anpassung der Reaktivität der Mischung wurde der gefundene kritische Radius und für die Anpassung der spektralen Eigenschaften die Reaktionsratenverhältnisse  $\sigma_f^{U238}/\sigma_f^{U235}$  und  $\sigma_c^{U238}/\sigma_f^{U235}$  verwendet.

Die Absorberteile der RT- und AS-Elemente wurden in Stabgeometrie aufgebaut. Hierzu wurde  $B_4C$  - teils natürlich (19.6 Atomprozent B10), teils mit 94 Atomprozent B10-Anreicherung - in Aluminiumrohre von 12 mm Außendurchmesser, 1 mm Wandstärke und 300 mm Länge eingerüttelt. Mit dem natürlichen Material wurde eine Dichte von  $1.4 \text{ g/cm}^3$ , mit dem feineren angereicherten  $1.8 \text{ g/cm}^3$  erreicht. Durch Kombinieren der beiden Stabsorten in einer Zelle ließen sich verschiedene mittlere Boranreicherungen realisieren. Durch zusätzliche Stahl- und Aluminiumstäbe wurden auch die Struktur- und Kühlmittelanteile der KNK-Absorber annähernd berücksichtigt (Zellen RT1, RT2, RT3, Abb. 14). Auch der Helium-Sammelraum am unteren Ende der Absorberstäbe wurde meist durch eine eigene Einheitszelle (PL2, Abb. 13) wiedergegeben.

## 2.5 Verzögerte Neutronen

Für jede Anordnung muß der relative Anteil  $\beta_{\text{eff}}$  der verzögerten Spaltneutronen berechnet werden, da er zur Umrechnung zwischen gemessenen ( $c$ ) und berechneten ( $\Delta k$ ) Reaktivitäten benötigt wird. Zur

inverskinetischen Eichung der SNEAK-Kontrollstäbe werden zusätzlich die Anteile getrennt nach Nukliden und Verzögerungsgruppen gebraucht. Die Rechnung wurde jeweils im Zusammenhang mit den Auslegungsrechnungen vorgenommen. Bei 11A1, 11B1 und 11C1 waren dies rz-Diffusionsrechnungen mit dem Programm DIXY /9/, bei 11B2 und 11C2 xy/z-Syntheserechnungen mit KASY /10/. Als Datenbasis für die verzögerten Neutronen wurde der "combined set" von Tuttle 1975 /11/ verwendet.

Die  $\beta_{\text{eff}}$ -Werte sind:

11A1	0.006592
11B1	0.006401
11C1	0.006759
11B2	0.006401
11C2	0.006657

Auf die Berechnung von  $\beta_{\text{eff}}$  für Varianten der einzelnen Anordnungen (mit anderen Absorberkonfigurationen, natriumleeren Bereichen o.ä.) wurde vorläufig verzichtet, da diese Änderungen erfahrungsgemäß kleiner als die übrigen Fehler und Diskrepanzen sind.

### 3. Kritische Größen und Absorberstellungen

#### 3.1 SNEAK 11C2

Der "clean critical"-Aufbau von 11C2 ist in Abb. 2 dargestellt. Die Einfahrtiefe der RT-Elemente (Abstand Absorber-Unterkante von Core-oberkante) betrug 27.0 cm. Die Reaktivitätsreserve, d.h. die bei vollständig hochgezogenen SNEAK-Trimmsstäben vorhandene Überkritikalität, betrug 49.8 ¢ entsprechend  $\Delta k = 3.32 \cdot 10^{-3}$ . (Die Reaktivitätsreserve wird gemessen durch die kritische Stellung eines invers-kinetisch geeichten SNEAK-Trimmsstabes. Die geschätzte Meßgenauigkeit der Reaktivitätsreserve-Angaben beträgt  $\pm 0.5$  ¢ .)

Die Multiplikationskonstante  $k_{\text{eff}}$  dieser Anordnung wurde in xyz-Geometrie mit dem dreidimensionalen Diffusionsprogramm D3D /12/ nachgerechnet. Die Maschengröße in x- und y-Richtung entsprach dem SNEAK-Gittermaß (5.44 cm). In z-Richtung waren die meisten Maschen zwischen 5.4 und 6.5 cm groß, jedoch waren an einigen Stellen engere Abstände zur Wiedergabe von Zonengrenzen notwendig. Die SNEAK-Sicherheits- und Trimmsstäbe wurden in diesem Fall alle explizit mit ihren Zusammensetzungen im Rechenmodell dargestellt. Zwei im radialen Blanket gelegene Stäbe - Gitterpos. 11/17 und 26/20 - wurden durch verwandte Fülltypen ersetzt, um Ost-West-Spiegelsymmetrie der Anordnung zu erreichen, so daß nur ein Halbreaktor gerechnet zu werden brauchte.

Als Datenbasis diente der KFKINR001-Wirkungsquerschnittssatz. Die Ergebnisse der mit verschiedener Wahl der makroskopischen Gruppenkonstanten durchgeführten 26-Gruppen-Rechnungen sind:

<u>Berechnung der Gruppenkonstanten</u>	<u>Multiplikationskonstante oder deren Änderung</u>
Homogen (GRUCAL/13/)	$k_{\text{eff}} = 0.9662$
Heterogenitätskorrigiert (KAPER/14/) für Mischungen Z11, D8, E11, V, U, SR; explizit anisotrope Diffusion	$\Delta k = +0.0018$
KAPER in Zylindergeometrie für RT- und AS-Elemente, explizit anisotr. Diff.	$\Delta k = +0.0152$

"Explizit anisotrope Diffusion" bedeutet, daß zwei verschiedene Diffusionskonstanten für x und y einerseits und z andererseits verwendet werden.

Die Querschnittsberechnung für die Singularitäten, d.h. Absorber und Natriumfolger, mittels KAPER in Zylindergeometrie ist in Kap. 6 näher beschrieben. Sie entspricht einem teilweisen Übergang von der Diffusions- zur Transportnäherung. Jedoch erfaßt sie sicherlich nicht alle Transporteffekte des Reaktors, und es ist unklar, auf welche Weise die restliche Transportkorrektur berechnet werden kann.

Es erscheint daher richtiger, für die  $k_{\text{eff}}$ -Berechnung die KAPER-Singularitäten-Querschnitte nicht zu verwenden und stattdessen eine globale Transportkorrektur anzubringen. Allerdings kann diese nur grob genähert bestimmt werden, da keine dreidimensionale Transportrechenmethode zur Verfügung steht. Als sicherste zweidimensionale Methode erscheint die Rechnung in rz-Geometrie, weil sie keine Simulation der dritten Dimension durch Bucklings erfordert; ihr Nachteil für eine Anordnung wie SNEAK 11C2 ist, daß die Singularitäten azimuthal mit anderen Zonen verschmiert werden müssen.

Bei der Nachrechnung von axialen Spaltratentraversen in der ähnlichen Anordnung 11B2 /3,6/ wurden rz-Rechnungen in 26 Gruppen mit dem Diffusionsprogramm DIXY /9/ und mit dem Transportprogramm SNOW /15/ in  $S_4$ -Näherung durchgeführt. Als Differenz der beiden  $k_{\text{eff}}$  ergab sich die recht große Transportkorrektur von  $\Delta k = +0.04733$ . Wegen des genannten Näherungscharakters dürfte es genügen, diese Zahl für

11C2 zu übernehmen. Die "beste" berechnete Multiplikationskonstante für 11C2 ist damit:

Homogene Gruppenkonstanten (s.o.)	$k_{\text{eff}} = 0.9662$
Heterogenität (s.o.)	$\Delta k = +0.0018$
Transport	$\Delta k = +0.0473$
	$k_{\text{eff}} = 1.0153$

Dies ist zu vergleichen mit dem Meßwert (s.o.) von 1.0033. Als Verhältnis Rechnung/Experiment ergibt sich

$$C/E = 1.0120 .$$

### 3.2 Übrige Anordnungen

Bei SNEAK 11B2 wurde wie bei 11C2 die Kritikalität mit der RT-Element-Bank eingestellt. Der Umriss der Treiberzone entsprach dem "Soll" nach Abb. 2. Die RT-Einfahrtiefe betrug 31.4 cm. Die Anordnung hatte damit 6.5 ¢ Reaktivitätsreserve.

Bei 11A1, 11B1 und 11C1 wurde die Reaktivitätsreserve durch Hinzufügen oder Entfernen von Brennelementen an der Kern-Reflektor-Grenze eingestellt, wie in Teil 2.3 erwähnt.

Beim "clean critical" 11A1 waren im Vergleich zum "Sollquerschnitt" (entsprechend Abb. 2) in den vier Gitterpositionen 12/15, 12/22, 25/15 und 25/22 die Treiberelemente (Typ 2-50) durch Reflektorelemente (Typ 3-1) ersetzt. Die Reaktivitätsreserve dieser Anordnung betrug 14 ¢.

Für 11B1 wurde ein eigentliches kritisches Experiment nicht durchgeführt. Die Anordnung wurde von vornherein mit einem durchgehenden radialen Meßkanal für Kammertraversen aufgebaut. Gegenüber dem Sollquerschnitt waren hier 11 Treiber-Randelemente durch Reflektorelemente ersetzt. Die Reaktivitätsreserve betrug ca. 7 ¢.

Die clean-critical-Anordnung 11C1 hatte den Sollquerschnitt und 1.8 ¢ Reaktivitätsreserve.

#### 4. Spaltratenverteilungen

##### 4.1 SNEAK 11A1

In SNEAK 11A1 wurden axiale Verteilungen der Spaltraten von Pu239, U235 und U238 nach zwei unabhängigen Methoden, Spaltkammertraversen und Folienaktivierung, gemessen. Beide Methoden wurden früher /16...18/ ausführlich beschrieben. Zum Vergleich wurden zweidimensionale rz-Diffusionsrechnungen mit DIXY und dem KFKINR001-Querschnittssatz durchgeführt.

Die Ergebnisse sind in Abb. 18 bis 20 dargestellt. Ein ungewohntes Merkmal der Verteilungen ist die deutliche Asymmetrie bezüglich der Core-Mittelebene, die bei den beiden thermisch spaltbaren Nukliden auftritt und sich demnach durch einen Anteil thermischer oder epithermischer Neutronen erklärt, der im unteren Blanket überraschend groß ist. Dies läßt sich qualitativ so deuten, daß die moderierte Treiberzone E solche Neutronen liefert und daß diese durch den unteren axialen Reflektor der Treiberzone und die darunter gelegene materialarme Spaltgasraumzone (s. Abb. 3), die sich radial durch das gesamte Core erstreckt, zur Mitte hin diffundieren können. Im oberen Blanket ist dieser Neutronenanteil viel schwächer, weil sich hier die gezogenen KNK-Absorberelemente befinden und weil außerdem die Elementkopfzone mehr Material enthält und folglich kürzere freie Weglängen ergibt als die symmetrisch zu ihr gelegene Spaltgasraumzone.

Die Rechnung stimmt mit den Meßwerten im Core und im oberen Blanket gut überein. Im unteren Blanket wird der Verlauf zumindest qualitativ wiedergegeben; die mangelnde quantitative Übereinstimmung steht im Einklang mit der Erfahrung, daß in Blankets der Fluß in den energiearmen Gruppen rechnerisch unterschätzt wird. Für die entsprechenden Ergebnisse von 11B2 (s.u.) wurden verfeinerte Rechnungen durchgeführt und die Diskrepanz dadurch verringert oder beseitigt.

#### 4.2 SNEAK 11B2

Die in 11B2 durchgeführten ausführlichen Messungen der Spaltratenverteilungen sind an anderer Stelle /6/ vollständig dokumentiert. Da die Messungen in 11A1 gute Übereinstimmung zwischen Kammertraversen und Folienaktivierung ergeben hatten, wurde die aufwendigere Folienmethode hier nur noch für radiale Verteilungen außerhalb der Gitterreihe  $y=19$  eingesetzt, für die kein Kammerkanal zur Verfügung steht.

In Abb. 21 bis 23 werden wiederum die axialen Verteilungen in der mittennahen Gitterposition 19/19 mit rz-Rechnungen verglichen. Zur Behebung der Unterschätzung im unteren Blanket bei Pu239 und U235 wurden zunächst Transportrechnungen mit SNOW/15/ durchgeführt, die praktisch keinen Unterschied ergaben; sie behoben jedoch die leichte Überschätzung, die sich im oberen und bei U238 auch im unteren Blanket zeigte. Eine  $S_4$ -Rechnung in 26 Gruppen erwies sich dabei der  $S_8$ -Rechnung in 9 Gruppen als leicht überlegen.

Eine Verbesserung im unteren Blanket für die thermisch spaltbaren Nuklide wurde durch eine einfache REMO-Korrektur (Korrektur der elastischen Abwärtsstreuquerschnitte) erreicht, und zwar wurde das zur Neukondensation der 208-Gruppen-Daten nötige Stoßdichtespektrum als konstant pro Lethargieeinheit angenommen. Wie die Abbildungen zeigen, wird dadurch die Diskrepanz bei U235 vollständig beseitigt und bei Pu239 etwa halbiert.

Dreidimensionale Syntheserechnungen, mit denen auch die nicht zentralen axialen und die radialen Traversenmessungen verglichen werden können, wurden bei IA durchgeführt /19/.

#### 4.3 SNEAK 11C1 und 11C2

In den Anordnungen 11C1 und 11C2 wurden ebenfalls ausführliche Messungen der Spaltratenverteilungen mit Spaltkammern und Folien durchgeführt. Die Meßergebnisse sind in Ref./7/ dokumentiert. Nachgerechnet wurden diese Daten bisher nicht.

## 5. Natriumverlustreaktivität

### 5.1 Vorbemerkungen

Wegen der Kleinheit des KNK-II-Kerns dominiert bei jedem Kühlmittelverlust merklicher Größe der Leckageterm, d.h. die Reaktivität ist negativ. Insofern kommt dem Kühlmittelverlusteffekt keine so entscheidende Bedeutung für die Reaktorsicherheit zu wie z.B. beim SNR 300. Trotzdem wurden Natriumverlustexperimente für notwendig gehalten, um abzusichern, daß ein Sieden des Natriums mit genügender Empfindlichkeit durch Reaktivitätsmessung nachgewiesen würde. Daher wurde in Anordnung 11C1 der Coreteil des zentralen KNK-Brennelementes - also der vier SNEAK-Elemente auf den Gitterpositionen 18/18, 18/19, 19/19 und 19/18 - in drei Schritten von Natrium befreit und die jeweilige Reaktivitätsänderung mit einem geeichten SNEAK-Trimstab gemessen. Die drei Schritte umfaßten die obersten 3, obersten 6 und schließlich alle 10 Zellen des Coreteils.

### 5.2 Meßmethode und Ergebnisse

Wegen der Kleinheit der Effekte wurde eine neuartige Meßtechnik eingesetzt. Die herkömmliche Methode besteht darin, die zu entleerenden SNEAK-Elemente aus dem Reaktor zu nehmen, die Natriumplättchen durch Leerplättchen zu ersetzen und die Elemente wieder einzuladen. Selbst bei nur vier Elementen wie hier dauert dieser Vorgang mindestens zwei Stunden. Bei dem Elementwechsel entsteht außerdem durch die zeitweilig geänderte Kühlluftführung eine Störung der Temperaturverteilung im Reaktor, die ihrerseits Reaktivitätseffekte mit sich bringt. Die neue Methode besteht nun darin, die betreffenden SNEAK-Elemente als "Tandemelemente" aufzubauen. Diese Art der Elementfüllung ist in Abb. 24 dargestellt. Sie unterscheidet sich vom normalen Testzonenelement erstens durch die Verwendung einer Verstellspindel wie bei den RT-Elementen und zweitens dadurch, daß oberhalb der oberen axialen Brutzone eine weitere Core- und darauf wieder eine Brutzone folgt. Mittels der Spindel kann wahlweise die eine oder die andere Corezone auf die Höhe der Corezone des übrigen Reaktors gebracht werden; das Element bleibt dabei im (abgeschalteten) Reaktor. Werden in einer der beiden Corezonen der Tandemelemente Leerplättchen, in der anderen Natriumplättchen verwendet, so können die beiden Kritikalitätsmessungen abwechselnd in relativ kurzen Zeitabständen erfolgen.

Der jeweils außerhalb des Reaktorkerns befindliche Coreteil ist neutronisch nicht vollständig abgekoppelt. Da andererseits die Gesamtanordnung wegen der Absorber im oberen Blanket eine erhebliche oben-unten-Asymmetrie aufweist, ergibt sich ein zusätzlicher Reaktivitätsunterschied zwischen den beiden Stellungen. Daher wurde während der Hälfte der Messungen im oberen, während der anderen Hälfte im unteren Coreteil das Natrium entfernt, so daß dieser "Untergrund"-Beitrag durch Mittelung eliminiert werden konnte.

Temperaturänderungen ergeben sich in geringem Maße auch bei dieser Methode des "Entleerens" und "Flutens". Um Verfälschungen der Messungen hierdurch auszuschließen, besteht grundsätzlich die Möglichkeit, die Temperaturverteilung mit Thermoelementen zu registrieren und die gemessenen Kritikalitäten rechnerisch dafür zu korrigieren. Dies setzt jedoch einen bekannten, reproduzierbaren Zusammenhang zwischen Temperaturen und Kritikalität voraus. Bei unseren Messungen wurde die Temperatur an 8 Stellen in und nahe der Testzone registriert. Eine Suche nach Korrelationen zwischen diesen Daten und den kritischen Trimmstabstellungen ergab keine klaren Zusammenhänge, so daß eine Temperaturkorrektur nicht berechnet werden kann.

Weitere Möglichkeiten, Temperatureinflüsse zu eliminieren, bestehen im jedesmaligen Abwarten der Gleichgewichts-Temperaturverteilung sowie im Einhalten eines kürzeren, aber stets gleichbleibenden Zeitablaufes beim Verstellen der Tandemelemente und anschließenden Messen. In der Praxis wurde eine Kombination beider Verfahren angewendet. Morgens bei Arbeitsbeginn wurde als erstes die kritische Stabstellung gemessen, um die über Nacht im abgeschalteten Reaktor eingetretene Gleichgewichts-Temperaturverteilung zu nutzen, und danach mit möglichst gleichbleibendem Zeitablauf die Folge

verstellen - messen - verstellen - messen - verstellen

durchgeführt. Bei dieser täglich dreimaligen Verstellung der Tandemelemente ergibt sich an aufeinanderfolgenden Tagen abwechselnd die obere und die untere Stellung als die morgens gemessene.

Aus betrieblichen Gründen gelang es allerdings nicht immer, drei Mes-

sungen in dieser Weise an einem Tag vorzunehmen, so daß z.T. auch Daten von Tagen mit nur zwei oder nur einem Meßwert verwendet werden mußten.

Die Auswertung dieser Rohdaten erfolgte auf zwei verschiedene Arten. Einerseits wurde der Natriumverlusteffekt aus den Meßwerten jedes Tages für sich bestimmt. Tage mit nur einem Einzelwert bleiben dabei unberücksichtigt; bei drei Meßwerten werden die beiden, die zum gleichen Zustand (entleert oder geflutet) gehören, gemittelt. Zur Vermeidung systematischer Fehler muß bei drei und noch mehr bei zwei Meßwerten am Tag darauf geachtet werden, möglichst gleich viele Tage der beiden Arten (morgens geflutet und morgens entleert) zu haben. Außerdem sollten, wie schon erwähnt, die beiden verschiedenen Elementfüllungen (oberer Coreteil entleert und unterer Coreteil entleert) mit möglichst gleich vielen Meßtagen vertreten sein.

Bei der anderen Auswertemethode wurde nur der jeweils erste Meßwert des Tages verwendet. Auch hierbei wurden die beiden genannten Bedingungen beachtet.

Die zweite Methode ergab Werte, die betragsmäßig um 1 bis 4 % kleiner als die der ersten Methode waren. Dieser Unterschied ist gering im Vergleich zu den Diskrepanzen zwischen Messung und Rechnung; auch der statistische Meßfehler, der aus der Schwankung der Einzelmeßwerte bestimmt werden könnte, dürfte größer sein. Daher braucht die Art der Auswertung der Rohdaten vorläufig nicht weiter verfeinert zu werden. Die nach der ersten Methode erhaltenen Ergebnisse sind zusammen mit Rechenergebnissen (s.u.) in Tab. 2 dargestellt.

### 5.3 Vergleich mit Rechnungen

Für den Vergleich mit den berechneten Reaktivitäten wurde der Wert  $\beta_{\text{eff}} = 0.006759 \text{ s}^{-1}$  (s. Abschnitt 2.5) verwendet. Alle Rechnungen erfolgten mit DIXY /9/ in rz-Geometrie und 26 Energiegruppen. In der Testzone wurden mittels KAPER /14/ heterogenitätskorrigierte Wirkungsquerschnitte verwendet. Die Berechnung als Differenz von  $k_{\text{eff}}$ -Werten erweist sich hier als diejenige, die den Daten am nächsten kommt, insbesondere, wenn die Anisotropie der Diffusion explizit (s. Abschnitt 3.1) berücksichtigt wird. Mit impliziter Anisotropie -

d.h. einer einzigen, nach Benoist berechneten Diffusionskonstanten -  
ist die Übereinstimmung schlechter.

Bei den "exakten" Störungsrechnungen wurden die Flußverteilung des  
zu 60 % entleerten und die Adjungiertenverteilung des gefluteten  
Falles verwendet. Die explizite Berücksichtigung der Anisotropie bei  
den Störungsrechnungen war mit dem verwendeten Programm (DXPERT)  
nicht möglich.

Von IA wurden ebenfalls Nachrechnungen zu diesen Messungen vorgelegt  
/20/. Die besseren C/E-Verhältnisse, die dort gefunden wurden, sind  
möglicherweise auf die Verwendung einer detaillierten Korrektur der  
bremselastischen Wirkungsquerschnitte zurückzuführen.

## 6. Absorberwerte

### 6.1 Meßmethode und Messungen

In den Anordnungen 11B1 und 11C1 wurden die Reaktivitätswerte der eingefahrenen RT- und AS-Absorber nach der Methode der unterkritischen Quellmultiplikation gemessen. Die Neutronenquelle war inhärent durch die Spontanspaltung des Plutoniumbrennstoffs der Testzone und die ( $\alpha, n$ )-Reaktionen am Sauerstoff gegeben. Die RT-Bank wurde mit den Verstellspindeln der Elemente in 6 Schritten bis zur vollen Corehöhe (56.4 cm) eingefahren; die AS-Elemente wurden entsprechend ihrem Zweck im Leistungsreaktor nur über die volle Corehöhe eingefahren (s. Abschnitt 2.3.2). Das verfügbare hochangereicherte Borkarbid reichte nicht aus, um alle Absorber gleichzeitig ganz eingefahren darzustellen. In 11B1 wurden die RT-Elemente in zwei verschiedenen Boranreicherungen, 54% und 76%, untersucht. Auch einige Mischkonfigurationen aus AS-Elementen (Boranreicherung 94%) und RT-Bank wurden in 11B1 gemessen. In Tabelle 3 sind alle gemessenen Konfigurationen zusammengestellt.

Die Quellmultiplikationsmethode ist meßtechnisch einfach und zuverlässig. Um aus den Messungen Reaktivitätswerte zu gewinnen, müssen jedoch Konfigurationsfaktoren theoretisch berechnet und an den Rohdaten angebracht werden, um die Änderungen der räumlichen Verteilungen von Fluß und Adjungierter zu berücksichtigen, die durch das Einfahren von Absorberelementen verursacht werden. Daher sind die Ergebnisse dieser Meßmethode keine rein experimentellen Werte, sondern hängen in einem gewissen Maße von der Wahl von Kerndaten und Rechenmethoden ab.

In 11B1 wurde wie bei früheren SNEAK-Anordnungen zusätzlich auch die Quellsprung-Meßmethode mit einem  $^3\text{H}(d, n)$ -Neutronengenerator eingesetzt. Jedoch erwies sich in diesem Fall die Reproduzierbarkeit der Einzelmessung als problematisch, wahrscheinlich eine Folge instabiler Arbeitens des Generators. Außerdem erfordert diese Methode i. a. einen noch größeren Korrektur-Rechenaufwand. Sie wurde daher nicht weiter verfolgt.

Zur Neutronenflußmessung dienten die vier als AEG-Kanäle bezeichneten linearen Monitoren der SNEAK. Zu jeder Absorberkonfiguration gibt es daher zunächst vier unabhängige Meßwerte. Die Auswertung der

11B1-Messungen zeigte, daß auch nach Anbringung der Konfigurationsfaktoren eine teilweise erhebliche Streuung dieser vier Einzelwerte verblieb. Bei den Messungen in 11C1 wurden daher die Detektoren jeweils auf zwei verschiedenen Positionen nacheinander eingesetzt und außerdem zeitweise zusätzliche Detektoren im radialen Reflektor verwendet, so daß hier für jede Absorberkonfiguration Daten von acht oder neun Detektorpositionen zur Verfügung stehen. Die insgesamt in 11C1 benutzten Detektorpositionen sind in Abb. 26 dargestellt. Alle Detektoren befanden sich stets in Höhe der Core-Mittelebene.

## 6.2 Rechenmethoden

Methoden zur Konfigurationsfaktorberechnung sind von verschiedenen Autoren beschrieben worden /16, 23...25/. Unter anderem muß in jedem Fall die Flußdichteverteilung im unterkritischen Reaktor mit Quelle berechnet, also die inhomogene Diffusionsgleichung gelöst werden. Dies war mit den verfügbaren dreidimensionalen Vielgruppenprogrammen bisher nicht möglich. Die Rechnungen erfolgten daher zweidimensional in xy-Geometrie. Für Konfigurationen mit teileingefahrener RT-Bank, die in dieser Modellierung nicht beschreibbar sind, wurden im Fall der 11B1-Messungen genäherte Faktoren durch Interpolation bestimmt /5/. Für die entsprechenden Messungen in 11C1 sowie die in 11B1 gemessenen Mischkonfigurationen von AS- und teileingefahrenen RT-Elementen wurden bisher keine Konfigurationsfaktoren berechnet.

Die mit den Messungen zu vergleichenden theoretischen Reaktivitäten wurden durch  $k_{\text{eff}}$ -Berechnung mit DIXY /9/ in xy-Geometrie mit Universalbuckling und dem KFKINR001-Querschnittssatz ermittelt. Bei 11B1 wurden 6 Energiegruppen und homogene Querschnitte verwendet. Bei 11C1 wurde in 11 Gruppen gerechnet. Hier wurden außerdem für die Absorber und Folger alternativ einmal homogene (GRUCAL /13/), zum anderen mit dem Zellprogramm KAPER /14/ in Zylindergeometrie berechnete Wirkungsquerschnitte mit explizit anisotroper Diffusion eingesetzt.

Für diese Zylinderisierung wurde ein Modell aus 3 konzentrischen Zonen (umgeben von einer vierten Zone aus Corematerial) benutzt. Der Querschnitt des 4-Element-Blocks entsprechend Abb. 17 wurde dazu der Ein-

fachheit halber in annähernd quadratische Zonen aufgeteilt (Abb. 25), die im Fall der Stabzellen jeweils ganze Zahlen von Stäben enthielten. Diese Zonen wurden dann flächentreu zu Kreisringen verschmiert. Im Fall der Plättchenzellen (Natriumfolger) wurden die gleichen Zonenradien benutzt, aber alle drei Zonen enthielten die selbe, homogenisierte Mischung.

### 6.3 Ergebnisse

Nach dem beschriebenen Stand der Rechenmethoden lassen sich bis jetzt im wesentlichen nur Meßwerte für ganz eingefahrene Absorber sinnvoll mit berechneten Werten vergleichen. Dies geschieht in Tabelle 4. Mit GRUCAL und KAPER sind die beiden genannten Arten von Wirkungsquerschnitten für die Singularitäten (d.h. Absorber und Folger) gekennzeichnet. Folgende Schlüsse können gezogen werden:

- Die mittlere quadratische Abweichung der Einzelmeßwerte vom Mittelwert für jede Konfiguration ist bei 11C1 gleichmäßiger als bei 11B1. Das dürfte auf die größere Zahl der Detektorpositionen zurückzuführen sein.
- Der Übergang von homogenen zu KAPER-Wirkungsquerschnitten für die Absorber und Folger erhöht den theoretischen Absorberwert um 5...9%, den experimentellen um 2.5 ... 6%. Dadurch erhöhen sich die Verhältnisse Rechnung/Experiment (C/E), die schon mit homogenen Querschnitten größtenteils über 1 liegen, noch weiter.
- Unabhängig von den verwendeten Querschnitten steigt C/E mit der Boranreicherung an.

Als Ursache für das letztgenannte Verhalten ist ein Transporteffekt zu vermuten, nämlich eine Unterschätzung der Flußabsenkung im Inneren des Absorbers; mit zunehmender B10-Konzentration wird der Flußgradient steiler und daher der Fehler der Diffusionsnäherung größer. Qualitativ wird diese Deutung unterstützt durch Rechnungen an einem vereinfachten Modell (zentraler Absorber oder Folger in einheitlicher Brennstoffzone) in zweidimensionaler Diffusions- und Transporttheorie, aus denen eine Transportkorrektur für die Absorberwerte entnommen

werden kann /3/. Abb. 27 zeigt am Beispiel der mit GRUCAL-Querschnitten berechneten  $^{11}\text{B}_1$ -Ergebnisse, daß die Anreicherungsabhängigkeit durch diese Korrektur abgeflacht wird. Zweidimensionale Transportrechnungen für den ganzen kompliziert aufgebauten Reaktor in jeder einzelnen Absorberkonfiguration würden die Ergebnisse wahrscheinlich weiter verbessern, können jedoch in bestimmten Fällen an inhärenten Schwierigkeiten dieser Methode (ray effect /21/) scheitern. Außerdem wäre ein weniger aufwendiges Verfahren wünschenswert. Die Verwendung von mit der Stoßwahrscheinlichkeitsmethode (KAPER) berechneten Wirkungsquerschnitten in der Diffusionsrechnung behebt die Schwierigkeit aber offensichtlich nicht.

Erhebliche Überschätzungen der Absorberreaktivität durch die Diffusionstheorie insbesondere bei 94% Boranreicherung wurden auch bei IA gefunden /22/, während dort ebenfalls durchgeführte Monte-Carlo-Rechnungen zu sehr viel besserer Übereinstimmung führten.

Die Verfasser danken den Herren H. Fries, H.J. Peter, J. Lebkücher und E. Heneka für ihre wichtige Mitarbeit bei den Experimenten und der KTB/SNEAK-Betriebsgruppe für die gute Zusammenarbeit. Das hochangereicherte Borkarbid aus KNK-Beständen wurde uns durch PSB-PL zur Verfügung gestellt. Herr Dr. W. Väth führte einige Auslegungsrechnungen für die Anordnung 11C1 durch. Für Diskussionen danken wir den Herren Dr. R. Böhme, Dr. E. Kiefhaber und Dr. H. Küsters und für Hilfe bei Rechenproblemen den Herren B. Stehle, N. Moritz und W. Höbel.

Literatur

- /1/ H. Henssen u.a.: Die Auslegung des Reaktorkerns. KfK-Nachrichten 3/4/1977 S.10
- /2/ U. von Möllendorff und G. Henneges: Messung der Reaktivitäts-  
werte nachgebildeter KNK-II-Kontrollstäbe in den SNEAK-11-  
Anordnungen. Tagungsbericht Jahrestagung Kerntechnik 1980, S. 59
- /3/ U. von Möllendorff and F. Helm: SNEAK 11: Mockup Critical Studies  
of a Small Sodium-Cooled Fast Reactor. Proc. 1980 Advances in  
Reactor Physics and Shielding (Sun Valley, Idaho), S. 510
- /4/ U. von Möllendorff und G. Henneges: Axiale Spaltratenverteilung  
in SNEAK 11A. Unveröffentlichter Bericht, 1978
- /5/ G. Henneges und U. von Möllendorff: Unterkritische Experimente in  
SNEAK 11B1. Unveröffentlichter Bericht, 1979
- /6/ U. von Möllendorff: Messungen der Spaltratenverteilung in SNEAK  
11B2. Unveröffentlichter Bericht, 1981
- /7/ U. von Möllendorff: Messungen der Spaltratenverteilung in SNEAK  
11C1 und 11C2. Unveröffentlichter Bericht, 1982
- /8/ U. von Möllendorff: Analyse der unterkritischen Kontrollstabwert-  
Messungen in SNEAK 11C1. Unveröffentlichter Bericht, 1981
- /9/ W.Höbel: DIXY (Beschreibung in Vorbereitung)
- /10/ G. Buckel: Approximation der stationären, dreidimensionalen  
Mehrgruppen-Neutronendiffusionsgleichung durch ein Synthese-  
verfahren mit dem Karlsruher Syntheseprogramm KASY.  
KfK 1349 (1971)

- /11/ R.J. Tuttle, Nucl.Sci.Eng. 56(1975)37;  
s. auch E.A. Fischer, Nucl.Sci.Eng. 62(1977)105
- /12/ B.Stehle: D3D, ein FORTRAN-Programm zur Lösung der stationären dreidimensionalen Multigruppendiffusionsgleichungen.  
KfK 2118 (1975)
- /13/ D. Woll: GRUCAL, ein Programmsystem zur Berechnung makroskopischer Gruppenkonstanten.  
KfK 2108 (1975)
- /14/ P.E. McGrath: KAPER - Lattice Program for Heterogeneous Critical Facilities (User's Guide). KfK 1893 (1973);  
R. Böhme: Preliminary Input Description for KAPER3 Subroutines. Persönliche Mitteilung, 1979;  
R. Böhme, E.A. Fischer, P.E. McGrath and R. Kiesel, Short Description of the KAPROS Module KAPER4 for the Calculation of Heterogeneity Effects in Plate or Pin Cells of Fast-Reactor Lattices. Persönliche Mitteilung, 1982
- /15/ C.Günther und W. Kinnebrock: SNOW, ein zweidimensionales  $S_N$ -Programm zur Lösung der Neutronentransportgleichung in Platten- und Zylindergeometrie.  
KfK 1826 (1973)
- /16/ H. Giese u.a.: Physics Investigations of a Compact Simulation of a Large Fast Breeder Reactor.  
KfK 2573 (1978)
- /17/ U.von Möllendorff: Die SNEAK-Folienwechsleranlage zur Spalt-ratenmessung. Unveröffentlichter Bericht, 1978;  
Beschreibung der Programme SPAR, UGRUND, UGRUND2 und ZERK zur Auswertung von mittels Folienaktivierung gemessenen Spaltraten-verteilungen. Unveröffentlichter Bericht, 1979

- /18/ R. Böhme: Messung des Einflusses von Kontrollstäben auf die Leistungsverteilung in der SNR300-Nachbildung SNEAK 9A2 - Spaltkammertraversen - .  
KfK 1273/1 (1973) S. 121-15
- /19/ F. Sperber und J. Hüskens: Nachrechnung der SNEAK-11B2-Raten-traversen. Persönliche Mitteilung, 1982
- /20/ J. Hüskens, U. Wehmann und F. Sperber: Nachrechnung des Natrium-Void-Experiments in SNEAK 11C1. Persönliche Mitteilung, 1981
- /21/ G. Hennekes und K. Kufner: Vergleich von Diffusions- und Transportcode-Ergebnissen bei der Auswertung von Kontrollstabexperimenten im Rahmen des SNEAK-11B1-Experimentierprogramms.  
Persönliche Mitteilung, 1980
- /22/ J. Hüskens, U. Wehmann und F. Sperber: Nachrechnung der in SNEAK 11B1 gemessenen Absorberwirksamkeiten.  
Persönliche Mitteilung, 1981
- /23/ M. Pinter u.a.: Control Rod Worth and Power Distribution Measurements in the SNR Mock up SNEAK Assembly 9A.  
KfK 2077 (1974)
- /24/ W. Löhr: Studie über die Ermittlung von Konfigurationsfaktoren für das Quellmultiplikationsverfahren.  
Persönliche Mitteilung, 1977;  
Optimale Wahl des Anfangsflusses bei inhomogenen Quelliterationsproblemen. Persönliche Mitteilung, 1978
- /25/ B.M. Franklin and W. Scholtyssek: Source Multiplication Measurements in BZA. Persönliche Mitteilung, 1977;  
B.M. Franklin, S. Pilate, M. Schwarz and J.M. Stevenson: Control Rod Worth Measurements in BZB Using the Source Multiplication Technique. Persönliche Mitteilung, 1978

Tabelle 1

Vergleich der wichtigsten Atomzahldichten in KNK-II und SNEAK 11Einheit  $10^{21}$  Atome/cm<sup>3</sup>

	MkI			MkII			Karbid		Treiber o. Mod.			Treiber mit Mod.		
	KNK	A10	A13	KNK	Z7	Z11	KNK	C4	KNK	D5	D8	KNK	E	E11
Pu 239	1.46	1.42	1.42	1.29	1.14	1.14	1.02	1.13	-	-	-	-	-	-
Pu 240	0.27	0.37	0.37	0.32	0.31	0.31	0.25	0.29	-	-	-	-	-	-
Pu 241	0.11	0.09	0.09	0.10	0.08	0.08	0.07	0.06	-	-	-	-	-	-
U 235	4.04	3.53	5.37	2.38	2.02	3.07	5.43	4.31	3.17	3.29	5.35	2.68	2.88	2.88
U 238	0.35	2.03	4.15	1.71	3.97	4.07	2.41	3.66	4.52	6.91	10.97	3.83	5.27	5.27
O	12.38	7.45	7.47	11.52	10.83	10.83	-	3.00	15.22	13.78	14.69	12.87	11.00	11.01
C	-	0.09	0.09	-	0.006	0.007	9.22	7.87	-	4.63	4.94	-	5.19	5.94
Na	12.00	9.14	9.16	12.86	9.25	9.25	0.42	8.88	9.84	9.14	9.75	9.84	7.30	7.30
Fe+Cr+Ni	16.80	20.32	15.41	15.12	16.87	16.39	8.40	16.76	18.25	18.06	16.23	18.25	22.98	28.86
H	-	-	-	-	-	0.04	-	-	-	0.04	0.04	3.61	3.00	4.49

Tabelle 2     Natriumverlustreaktivität

Entleerter Teil der Zentralel.- Corezone	Entfernte Na-Menge	Meßwert	$\Delta k_{\text{eff}}$		Störungsrechn.	
			impl. Anis.	expl. Anis.	1.Ord.	exakt
	kg	¢	C/E	C/E	C/E	C/E
Oberste 30%	0.71	-5.35	1.33	1.24	1.43	1.36
Oberste 60%	1.41	-7.80	1.31	1.23	1.41	1.34
100%	2.35	-13.63		1.26	1.43	1.39

Tabelle 3      Gemessene Absorberkonfigurationen

Die Zahlen ab der 3. Zeile bedeuten Absorber-Einfahrtiefen in cm ab Core-Oberkante. AS<sub>1</sub> bezeichnet das innere Zweitabschaltelement, AS<sub>2</sub> die beiden äußeren Zweitabschaltelemente, RT die fünf Regel-Trim-Elemente (s. Abb. 1 oder 26)

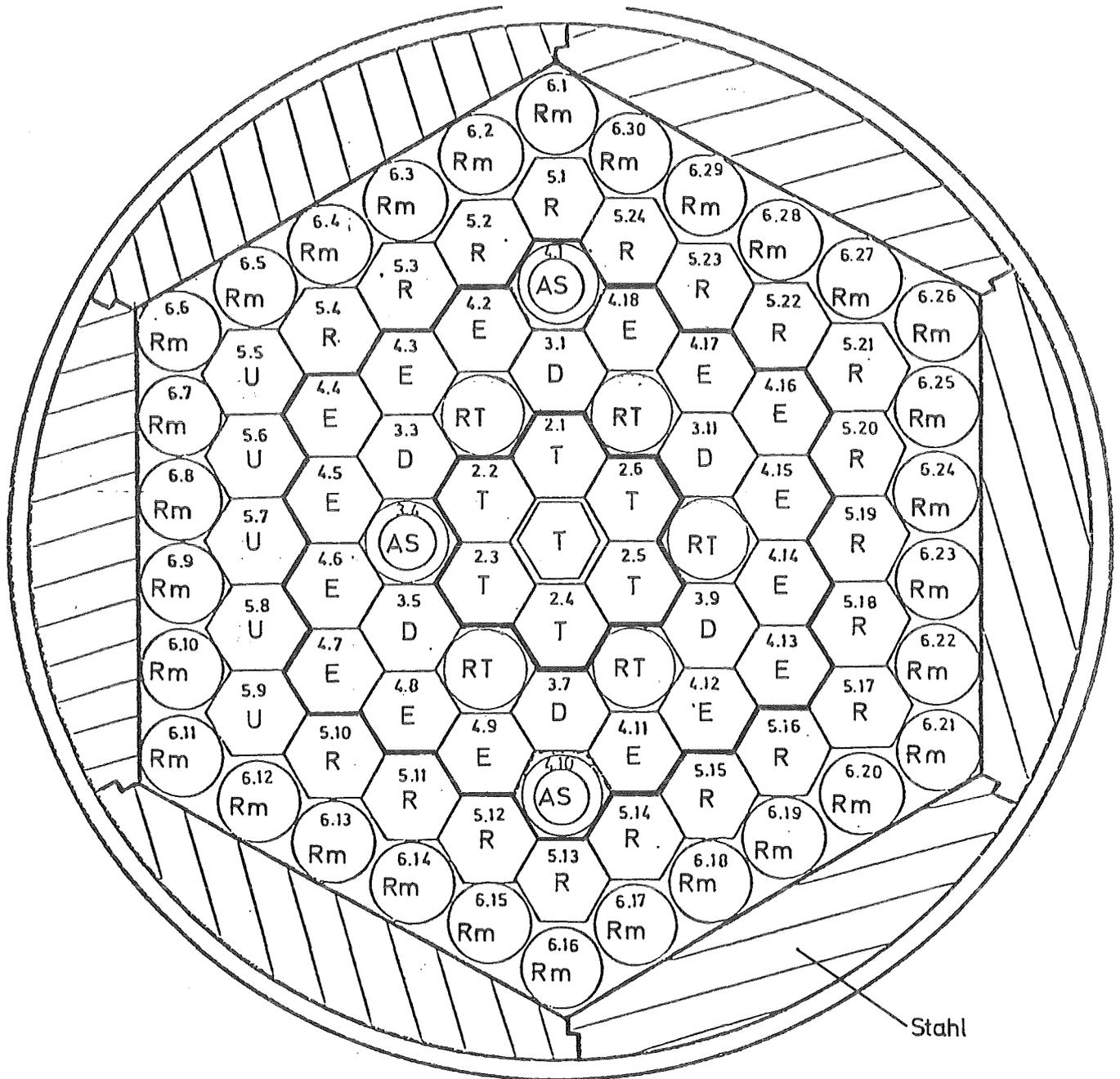
	AS <sub>1</sub>	AS <sub>2</sub>	RT	
<u>B10</u> (At.%) B10+B11	94	94	54	76
11B1	0	0	9.4 18.8 28.2 37.6 47.0 56.4	
	56.4	0	28.2 56.4	
	0	0		9.4 18.8 28.2 37.6 47.0 56.4
	56.4	0		0 28.2
	0	56.4		0 28.2
	56.4	56.4	0	
	11C1	0	0	
56.4		0	0	
0		56.4	0	
56.4		56.4	0	

Tabelle 4

Experimentelle (E) und theoretische (C) Reaktivitätswerte  
für ganz eingefahrene Absorber

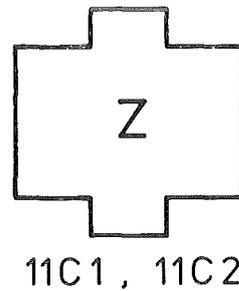
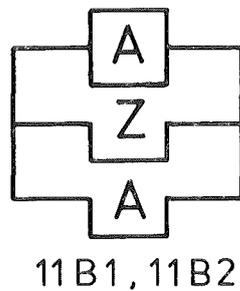
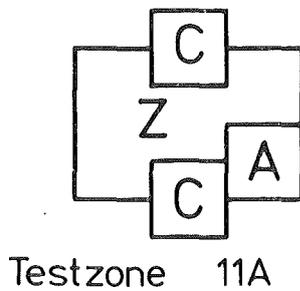
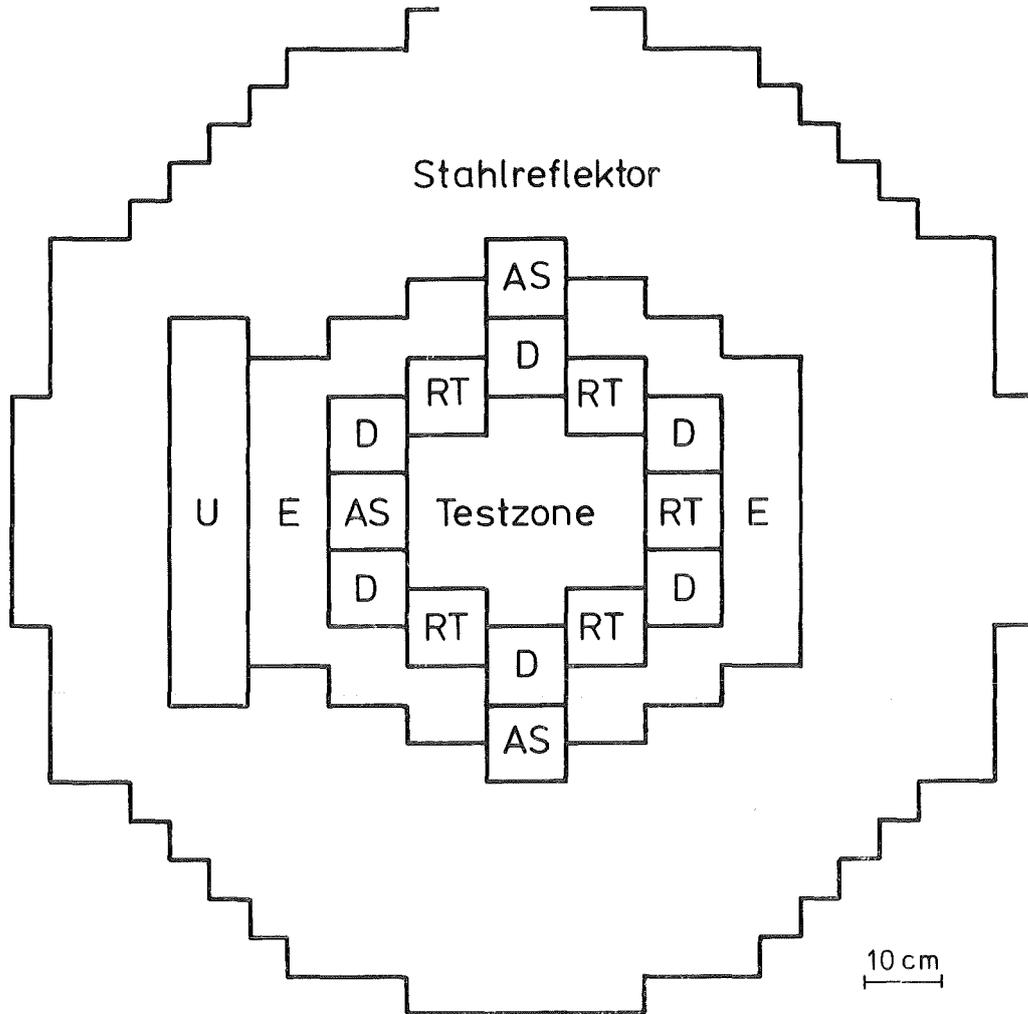
Bezeichnungen s. Tab. 3. Unter "Streuung" ist die mittlere quadratische Abweichung des Detektor-Einzelwertes vom Mittelwert nach Anbringung der Konfigurationsfaktoren angegeben.

Konfiguration		RT	RT	AS <sub>1</sub>	AS <sub>2</sub>	AS <sub>1</sub> +AS <sub>2</sub>
<u>B10</u> B10+B11 (At.)		54	76	94	94	94
11B1	C GRUCAL	21.27\$	29.12\$	6.03\$	5.10\$	11.46\$
	E GRUCAL	20.61\$	27.01\$	5.53\$	4.29\$	9.45\$
	Streuung	6.5%	7.7%	0.5%	8.3%	3.1%
	C/E GRUCAL	1.03	1.08	1.09	1.19	1.21
11C1	C GRUCAL		23.67\$	5.60\$	4.62\$	10.24\$
	C KAPER		25.24\$	5.90\$	5.04\$	10.92\$
	KAP/GRU		1.066	1.054	1.091	1.066
	E GRUCAL		24.51\$	4.76\$	3.93\$	9.14\$
	E KAPER		25.97\$	4.88\$	4.07\$	9.45\$
	Streuung		3.0%	3.1%	3.7%	4.0%
	KAP/GRU		1.060	1.025	1.036	1.034
	C/E GRUCAL		0.97	1.18	1.18	1.12
	C/E KAPER		0.97	1.21	1.24	1.16
	<u>11B1</u> 11C1 (E,GRUCAL)		1.10	1.16	1.09	1.03



T	Testelement	AS	Zweitabschaltelement
D	Treiber-element ohne Moderator	U	Brutelement
E	„ mit „	R	Reflektorel. ohne Mod.
RT	Regel-Trim-Element	Rm	„ mit „

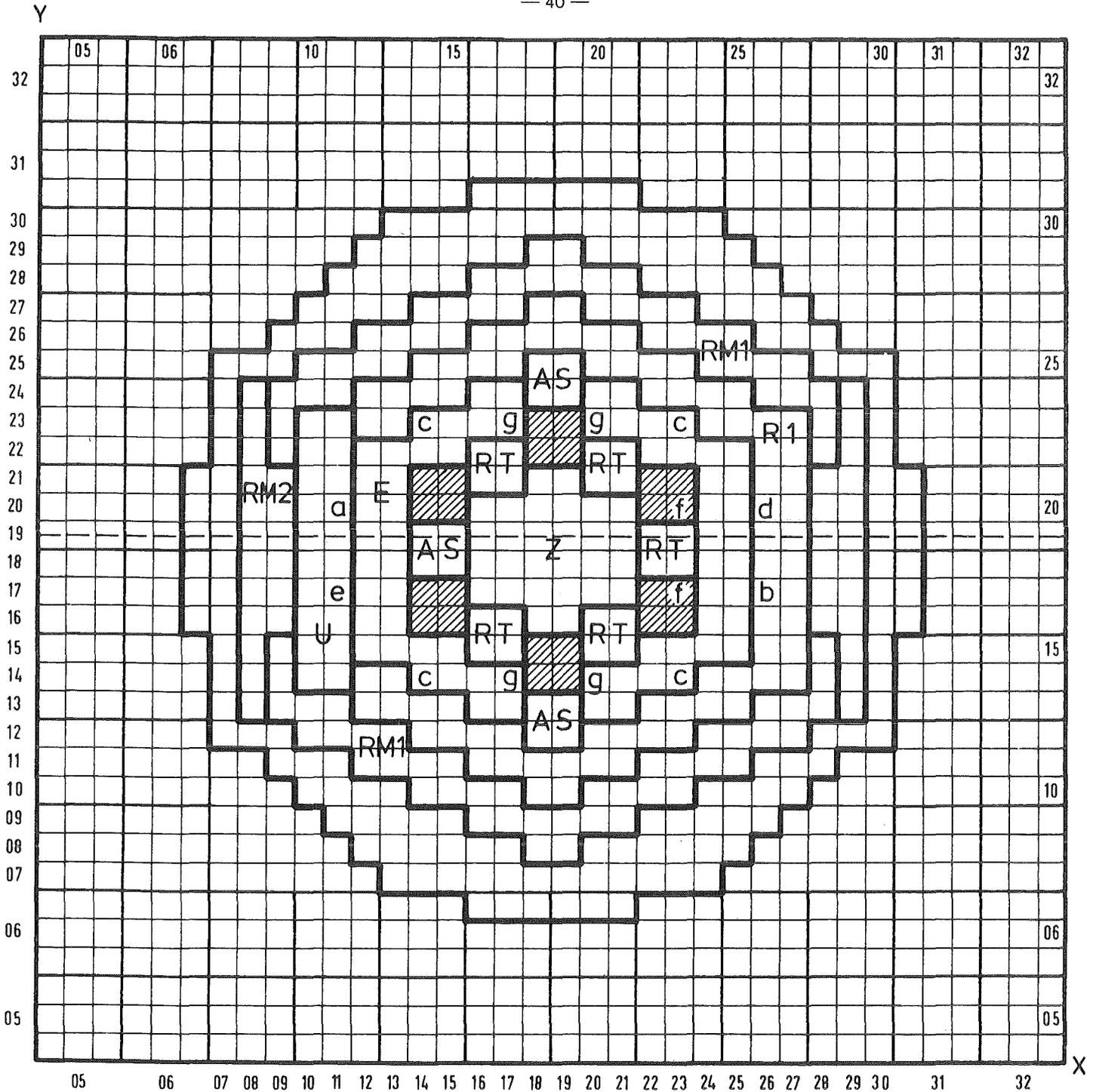
Abb. 1 Querschnitt KNK II



Grundrißzonen

- A Pu-U-Oxid Mk I
- Z Pu-U-Oxid Mk II
- C Pu-U-Karbid
- D Treiber ohne Moderator
- E Treiber mit Moderator
- RT Regel- Trimm- Element
- AS Zweitabschaltenelement
- U Brutelemente

Abb. 1a Übersichtsquerschnitt SNEAK 11



SNEAK - 11C2

Z, E, RT, AS, U s. Abb. 1

 D, s. Abb. 1

R 1, R 2 Stahlreflektor ohne Moderator

RM 1, RM 2 Stahlreflektor mit Moderator

a, b, c SNEAK - Sicherheitsstäbe

d, e, f, g SNEAK - Trimmstäbe

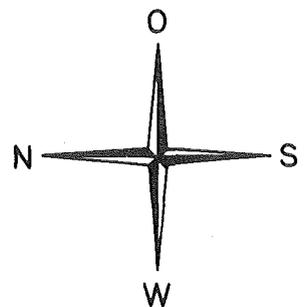
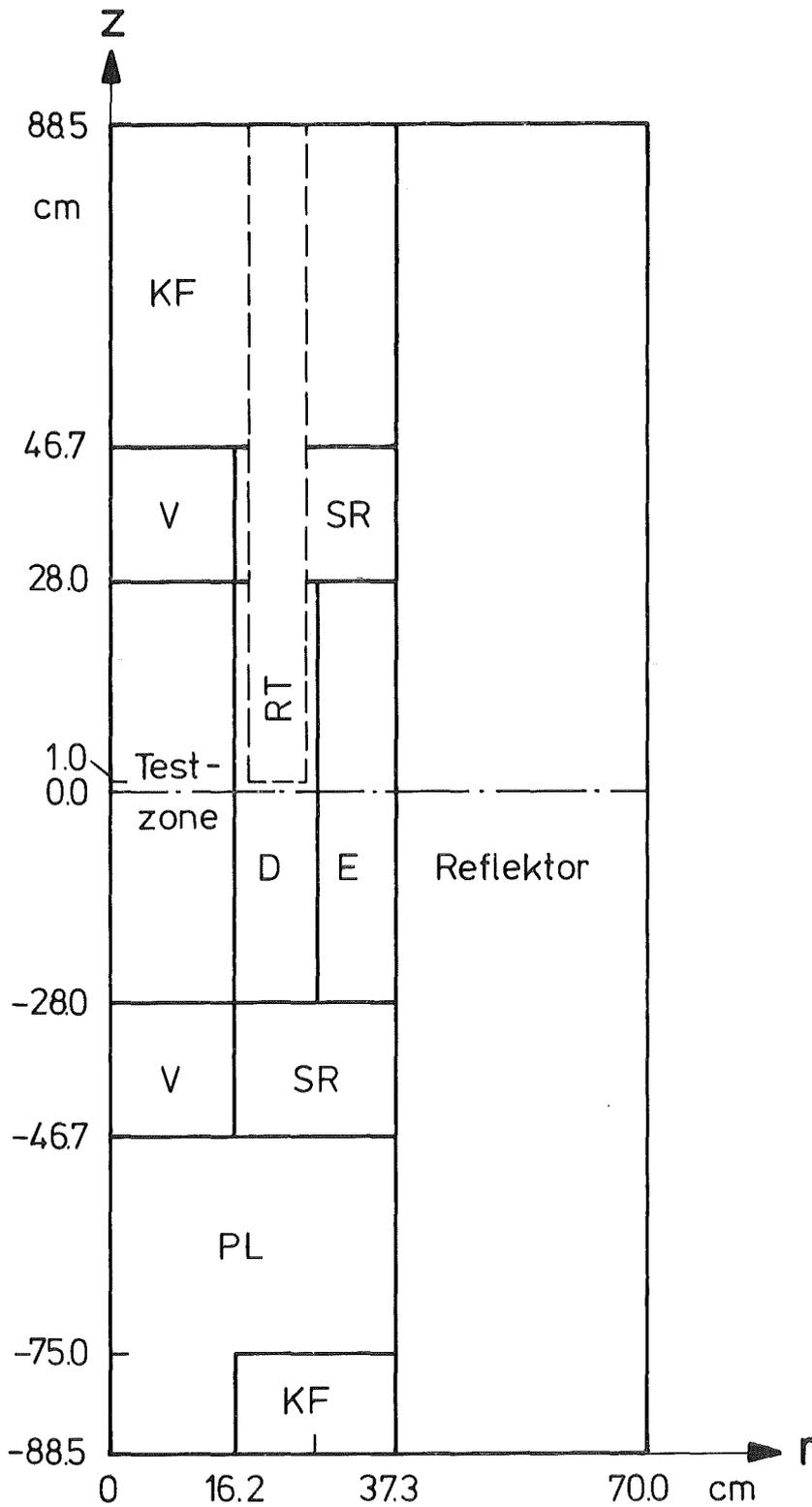


Abb. 2 Querschnitt SNEAK 11C 2



Simulierte KNK-Zonen:

- |    |                     |    |                         |
|----|---------------------|----|-------------------------|
| V  | Brüterblanket       | KF | Brennelementköpfe,-füße |
| PL | Spaltgas-Sammelraum | D  | Treiber ohne Moderator  |
| SR | Stahreflektor       | E  | Treiber mit Moderator   |
| RT | Regel-Trim-Stäbe    |    |                         |

Abb.3 Vereinfachter r-z-Plan SNEAK 11 C 2

Abb. 4 Fülltypen

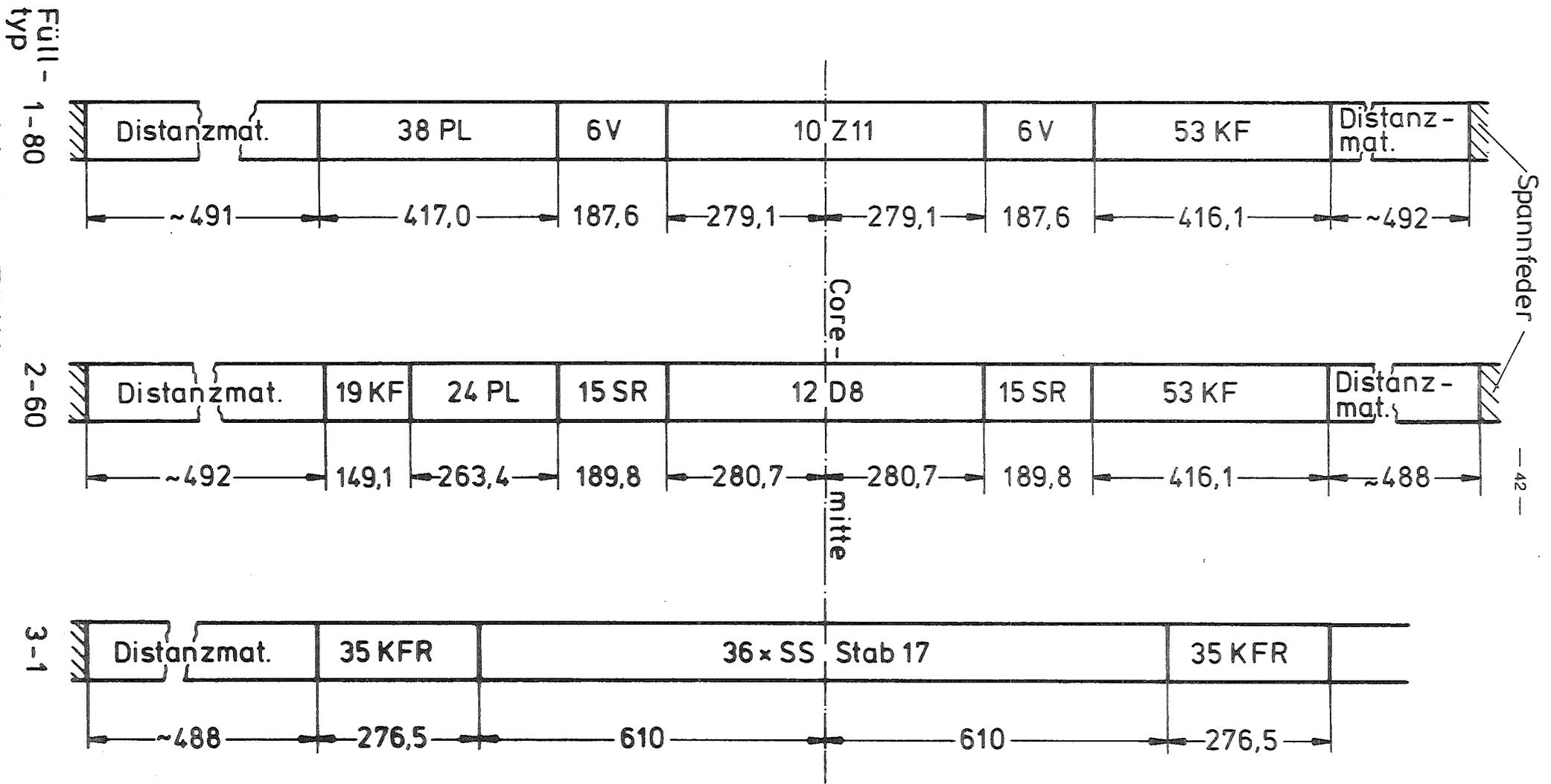


Abb. 5 Fülltypen

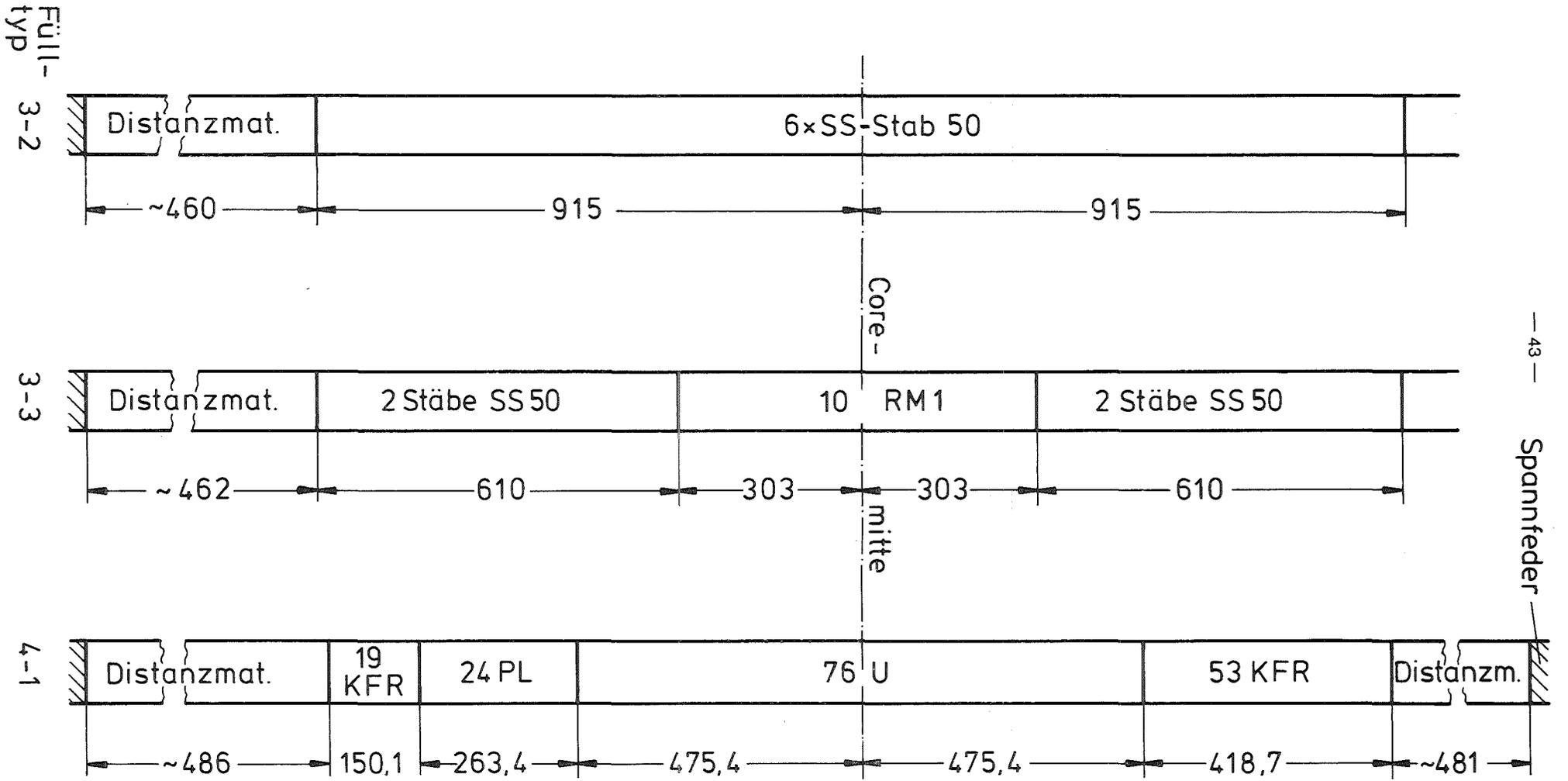
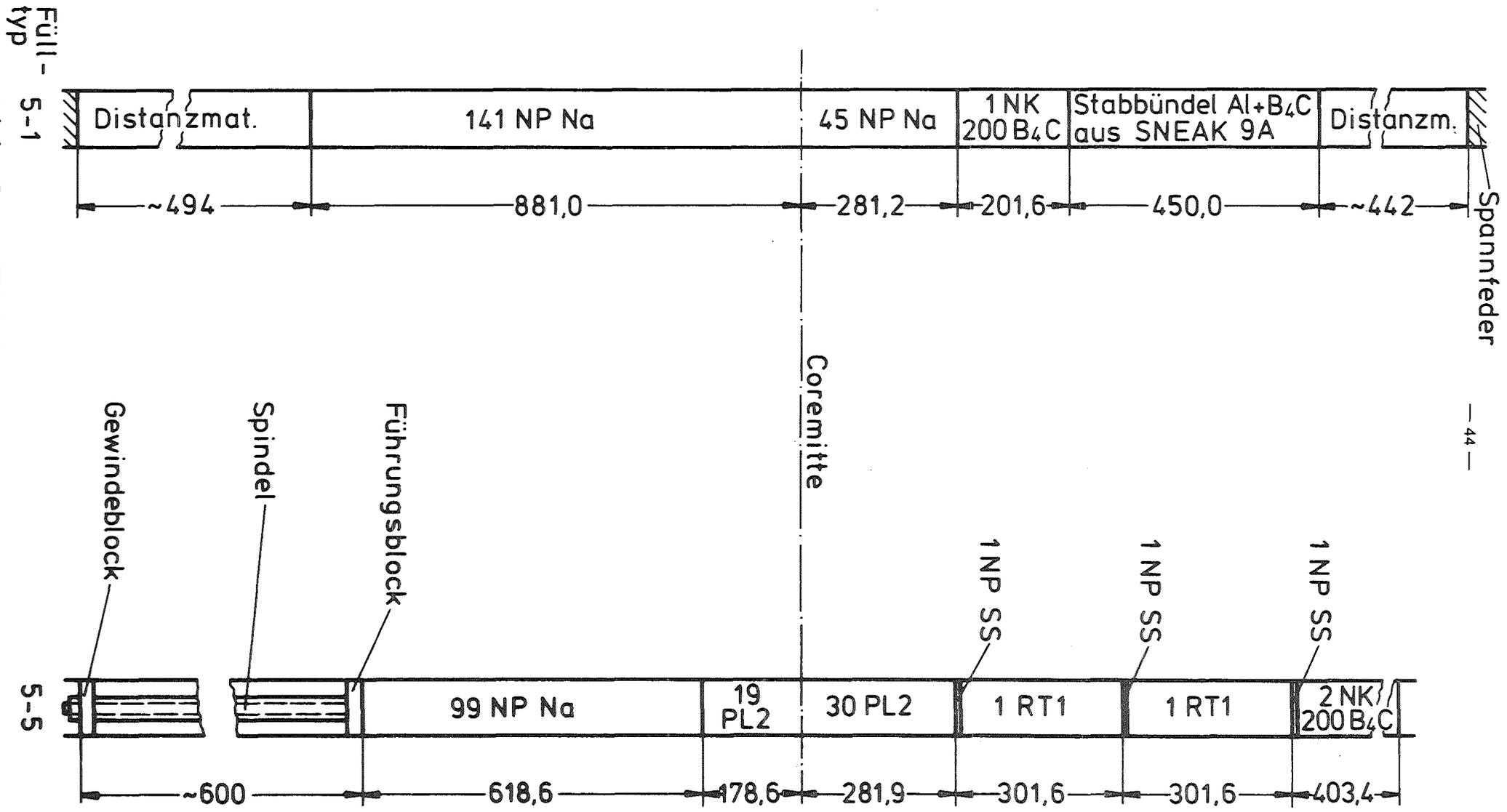


Abb. 6 Fülltypen



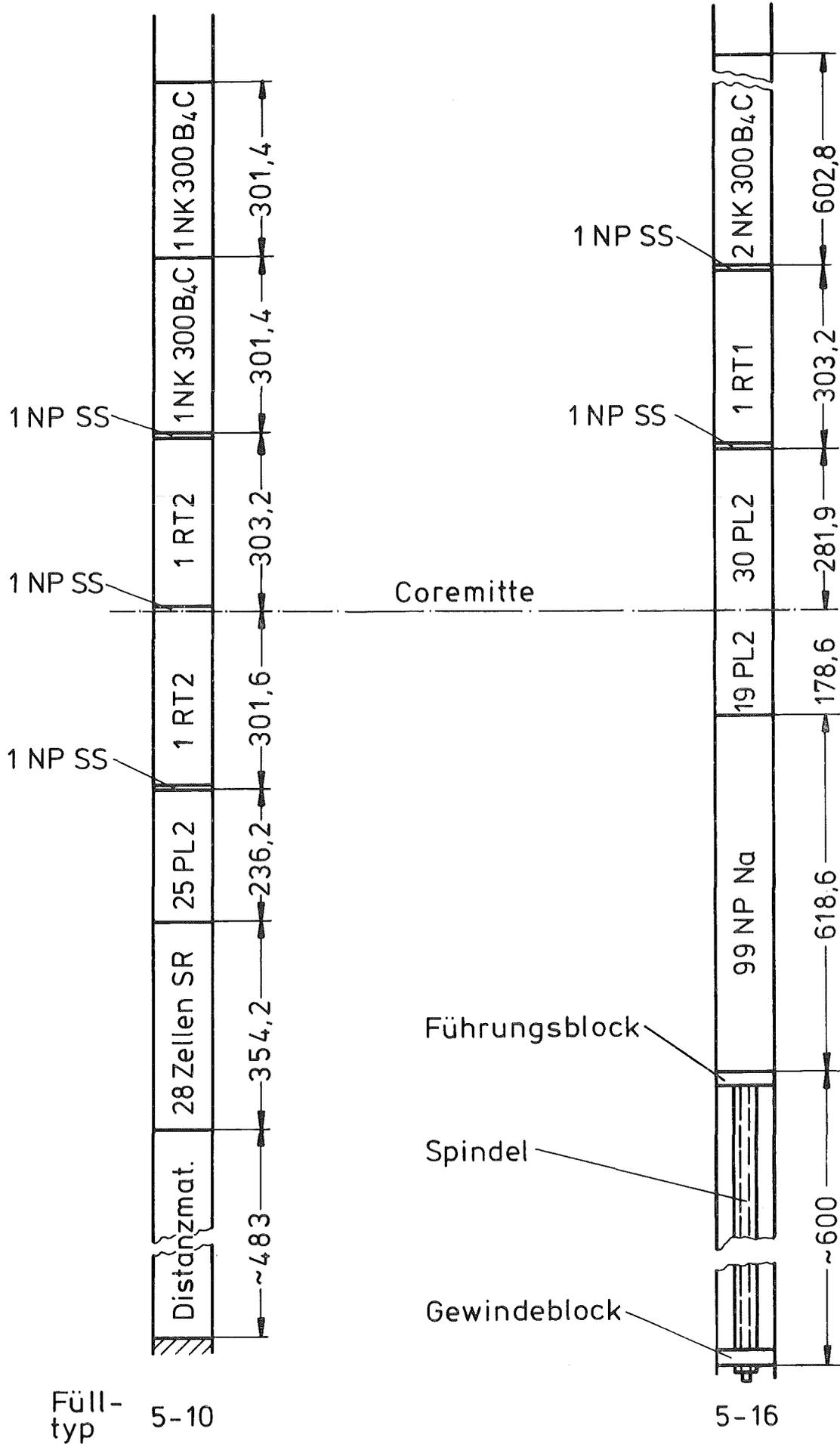
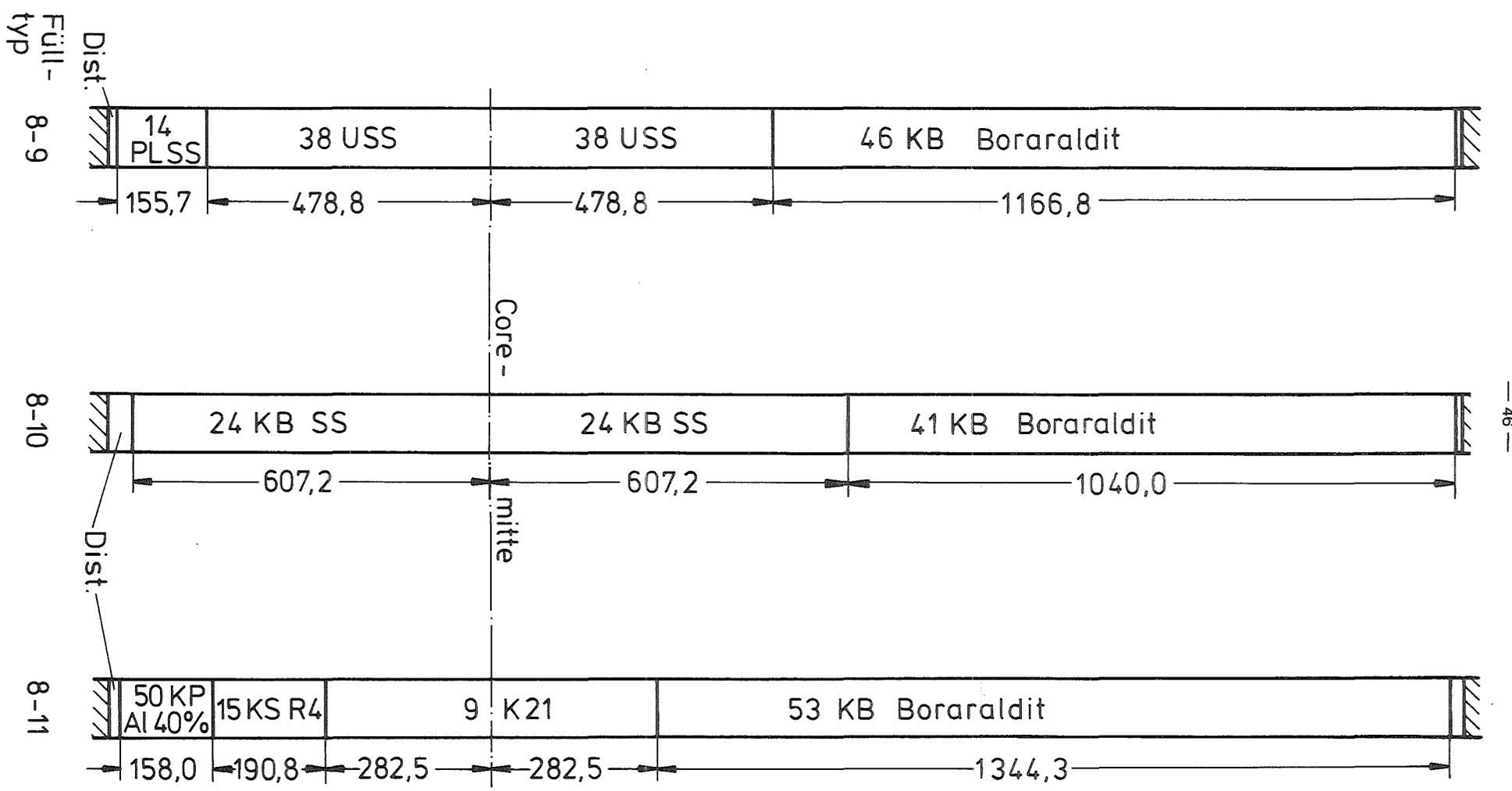


Abb. 7 Fülltypen

Abb. 8 Sicherheitsstab-Fülltypen SNEAK 11C2



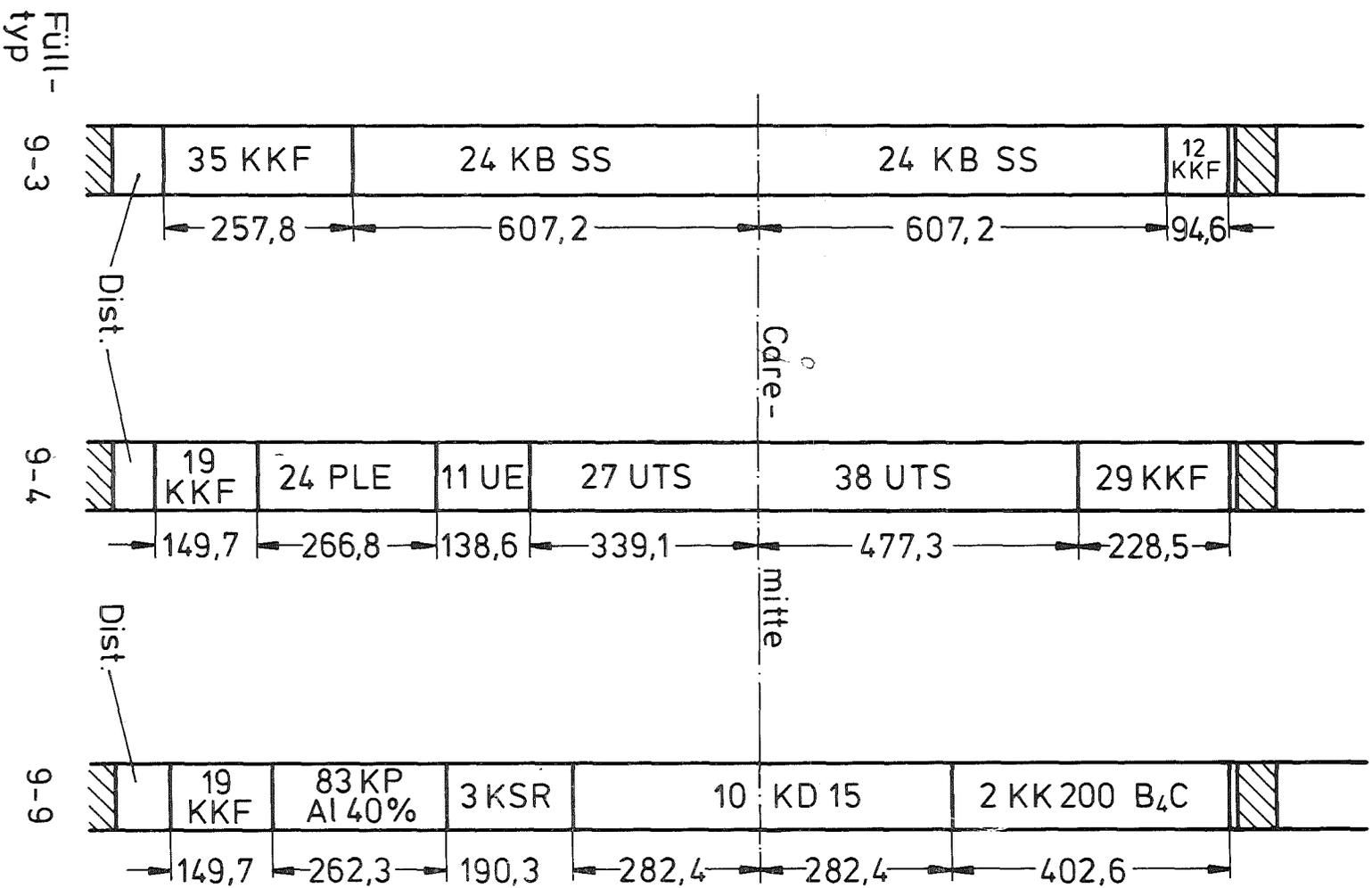


Abb. 9 Trimmstab-Fülltypen SNEAK 11C2

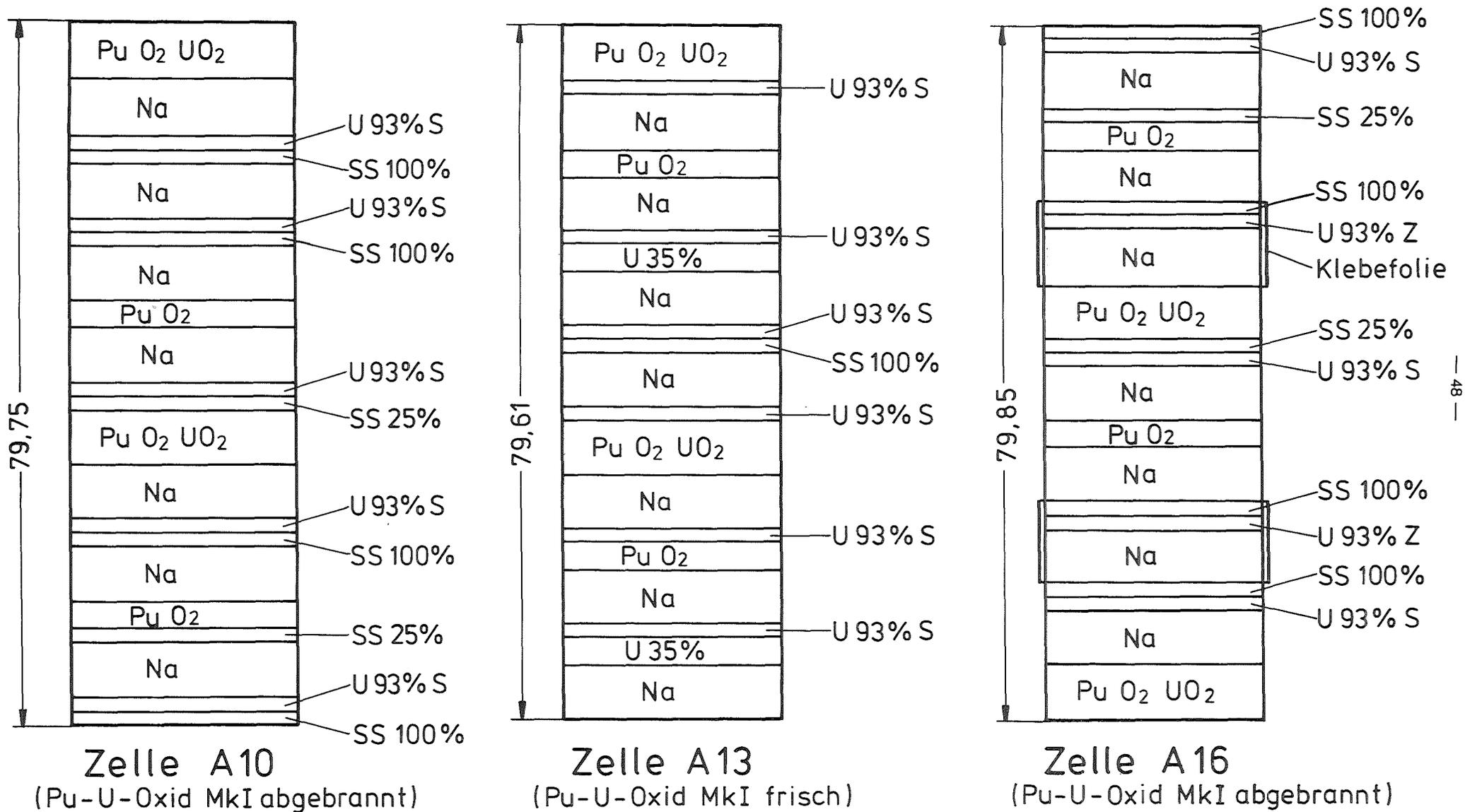
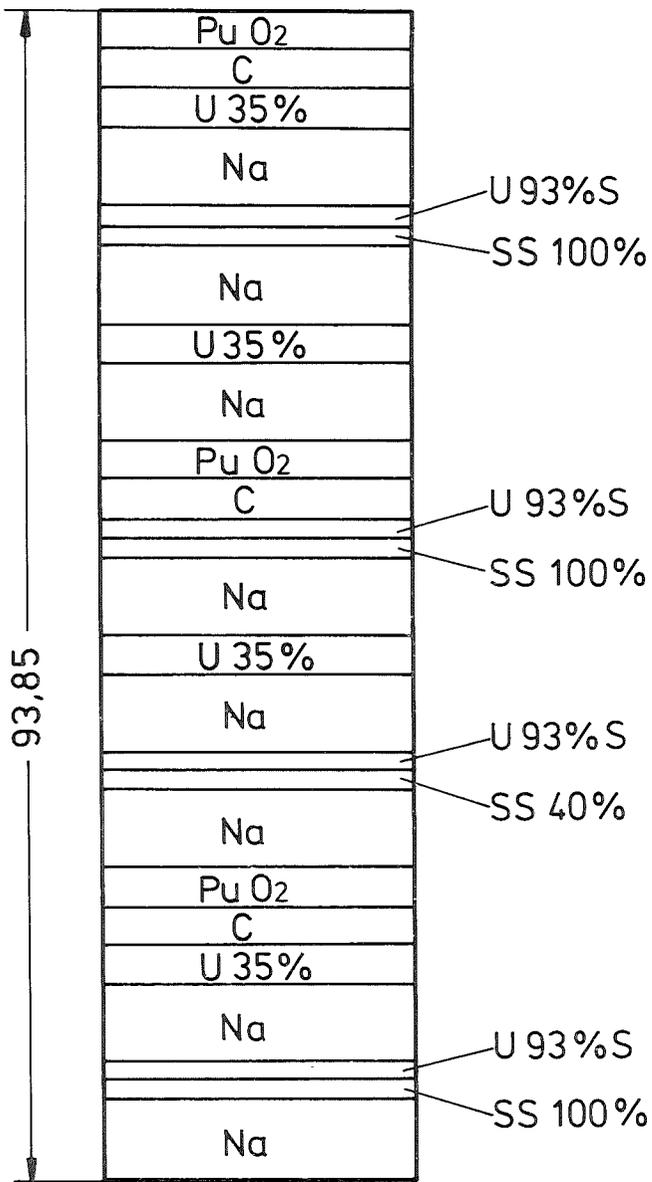
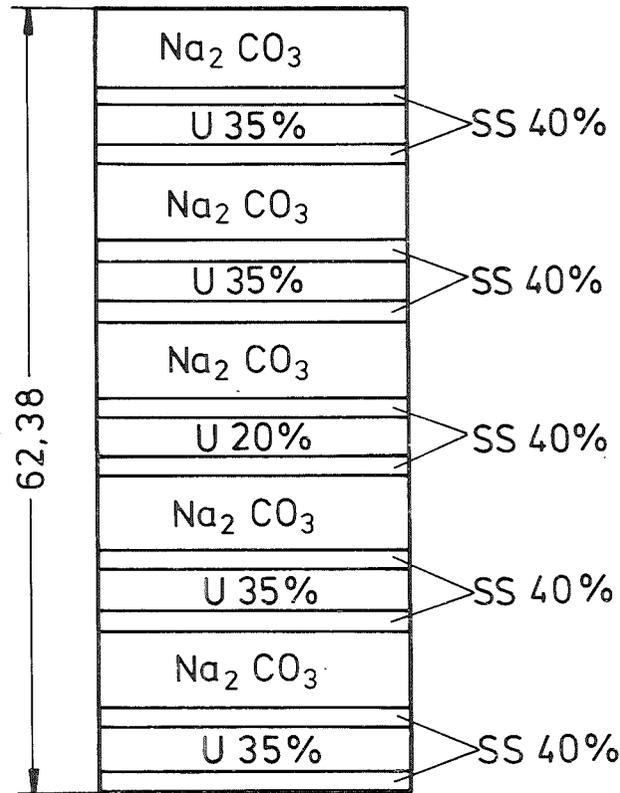


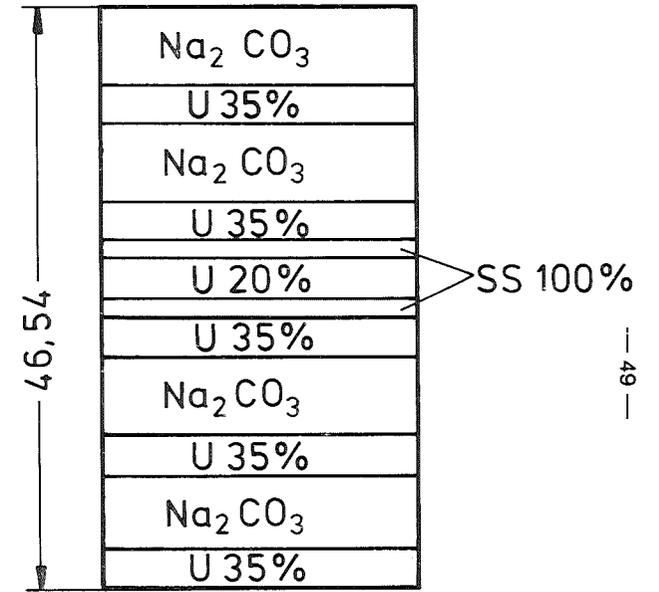
Abb.10 Einheitszellen



Zelle C4  
(Pu-U-Karbid abgebrannt)

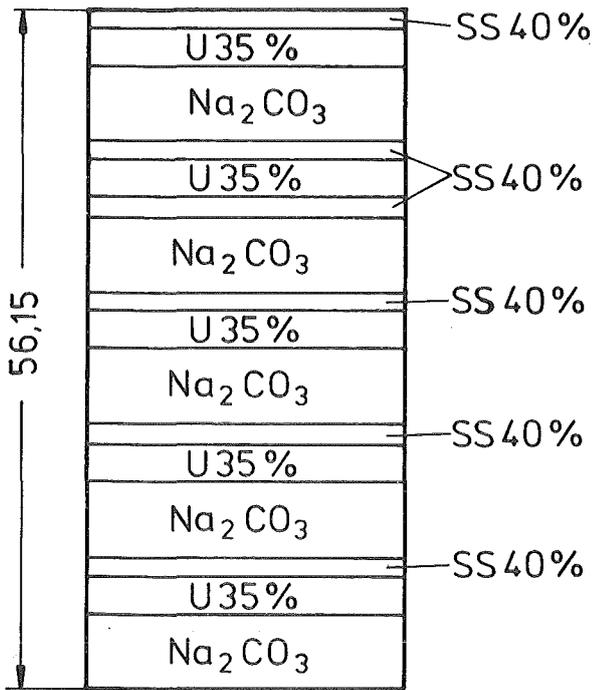


Zelle D5  
(Treiber o. Mod.)

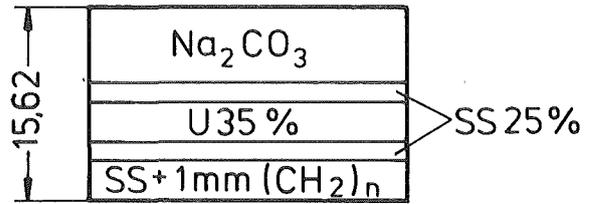


Zelle D8  
(Treiber o. Mod.)

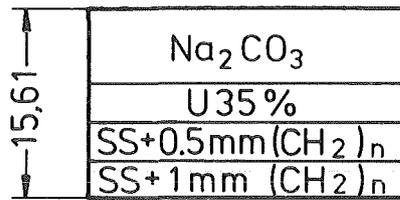
Abb.11 Einheitszellen



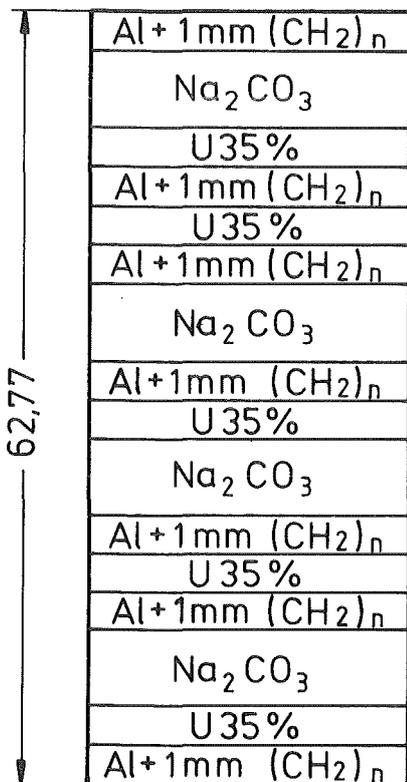
**Zelle D13**  
(Treiber o. Mod.)



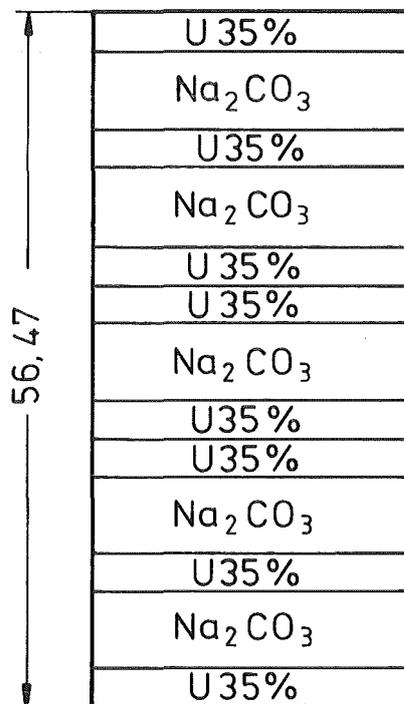
**Zelle E**  
(Treiber m. Mod.)



**Zelle E 11**  
(Treiber m. Mod.)

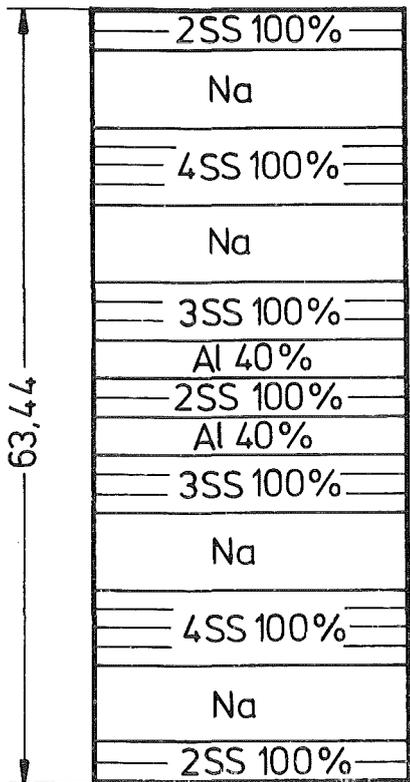
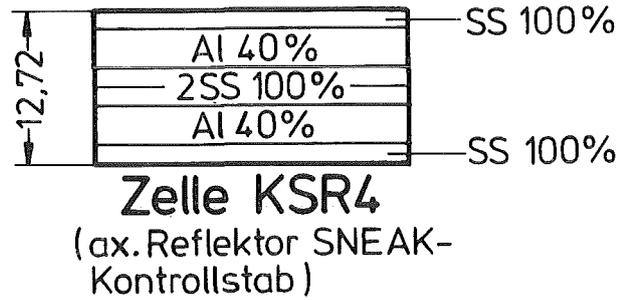
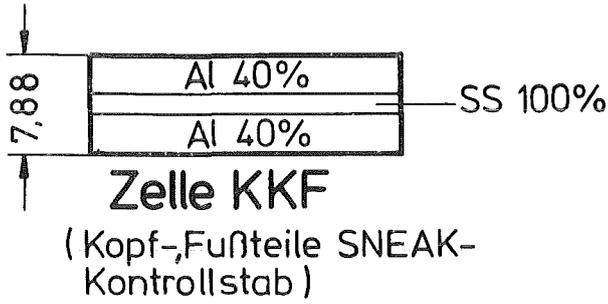
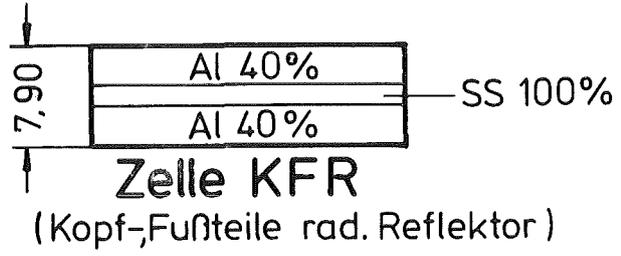
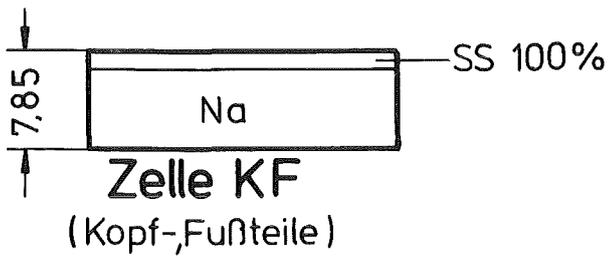


**Zelle K21**  
(Treiber m. Mod.,  
SNEAK-Kontrollstab)



**Zelle KD15**  
(Treiber o. Mod.,  
SNEAK-Kontrollstab)

**Abb. 12 Einheitszellen**



**Zelle KSR**  
(ax. Reflektor, SNEAK-Kontrollstab)

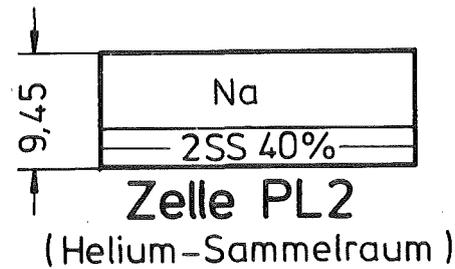
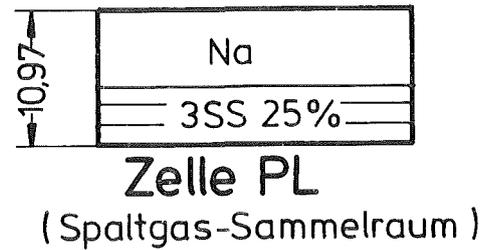
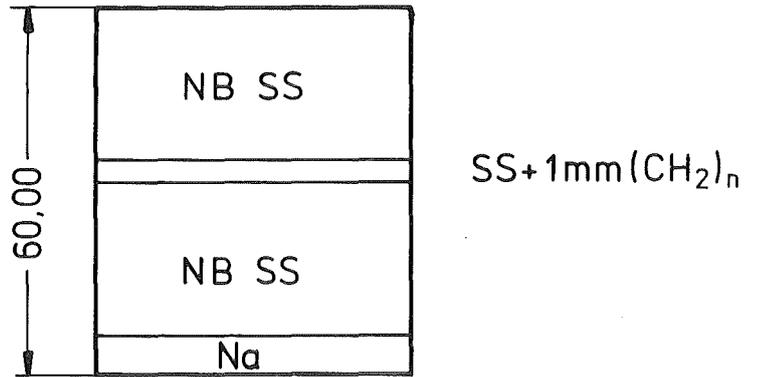
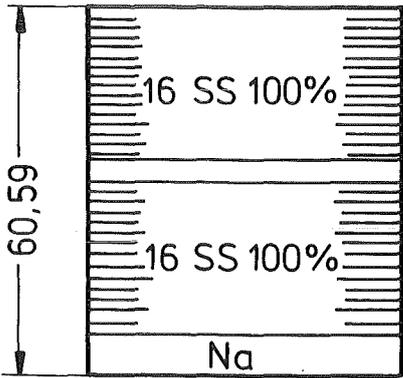


Abb.13 Einheitszellen

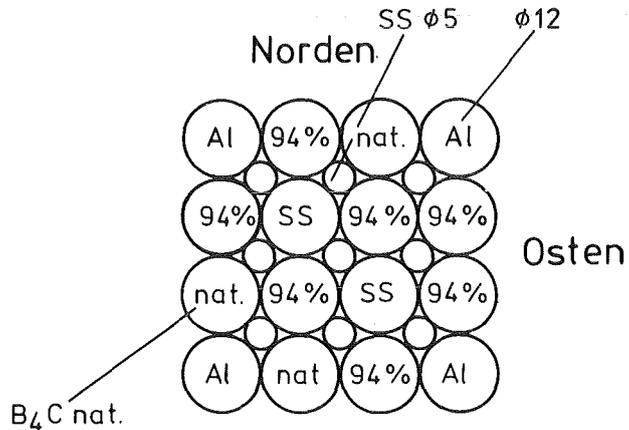


**Zelle RM1**  
(Reflektor m. Mod.)

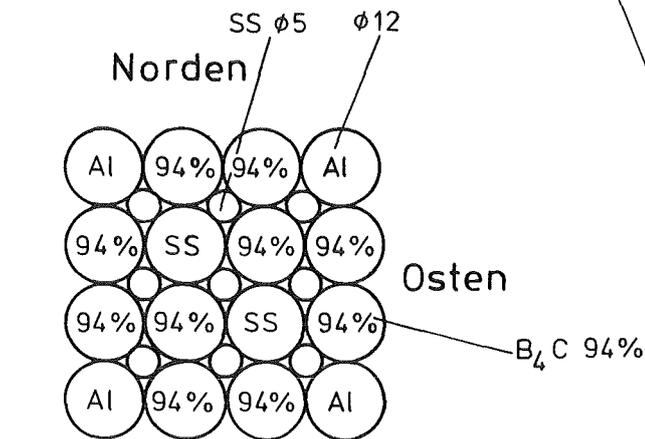


**Zelle RM2**  
(Reflektor m. Mod.)

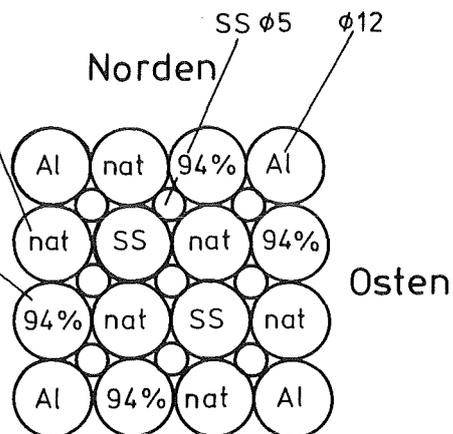
SS+1mm(CH<sub>2</sub>)<sub>n</sub>



**Stabzelle RT1**  
(Absorber, 76% Anreicherung.)



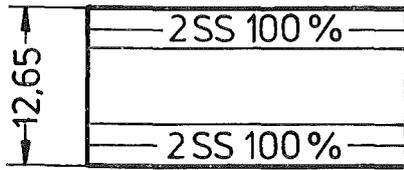
**Stabzelle RT2**  
(Absorber, 94% Anreicherung.)



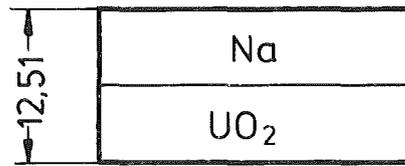
**Stabzelle RT3**  
(Absorber, 54% Anreicherung.)

Höhe RT1, RT2, RT3 = Stablänge = 300,0 mm

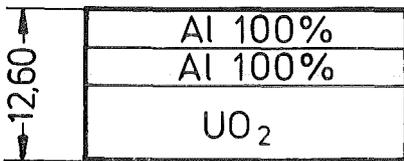
Abb.14 Einheitszellen (Höhenmaßstab bei RM1, RM2 halbiert)



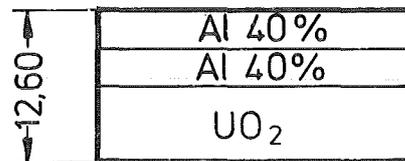
**Zelle SR**  
(ax. Stahlreflektor)



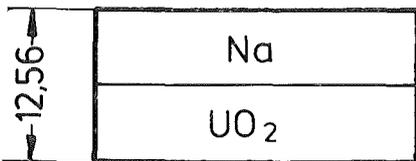
**Zelle U**  
(rad. Brutzone)



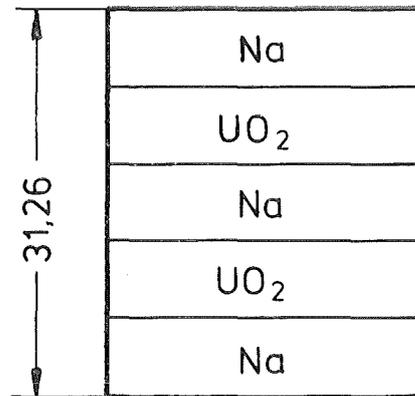
**Zelle UE**  
(rad. Brutzone,  
SNEAK-Kontrollstab)



**Zelle USS**  
(rad. Brutzone,  
SNEAK-Kontrollstab)

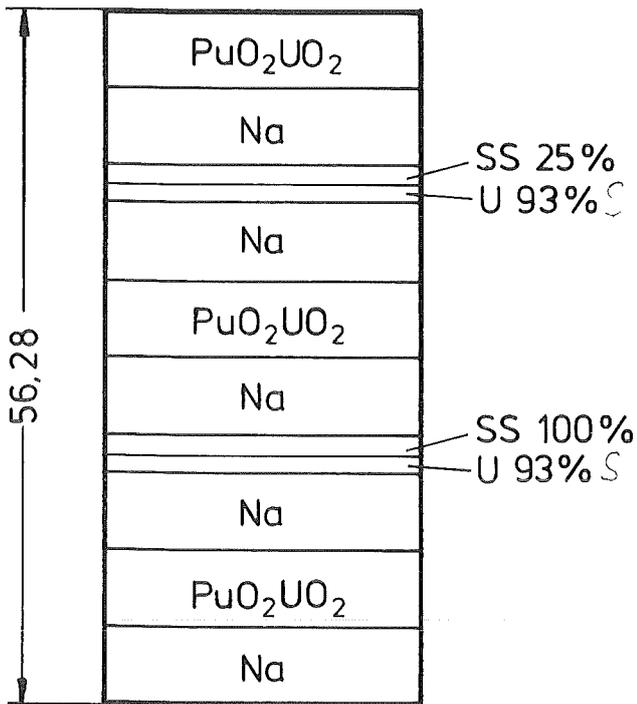


**Zelle UTS**  
(rad. Brutzone,  
SNEAK-Kontrollstab)



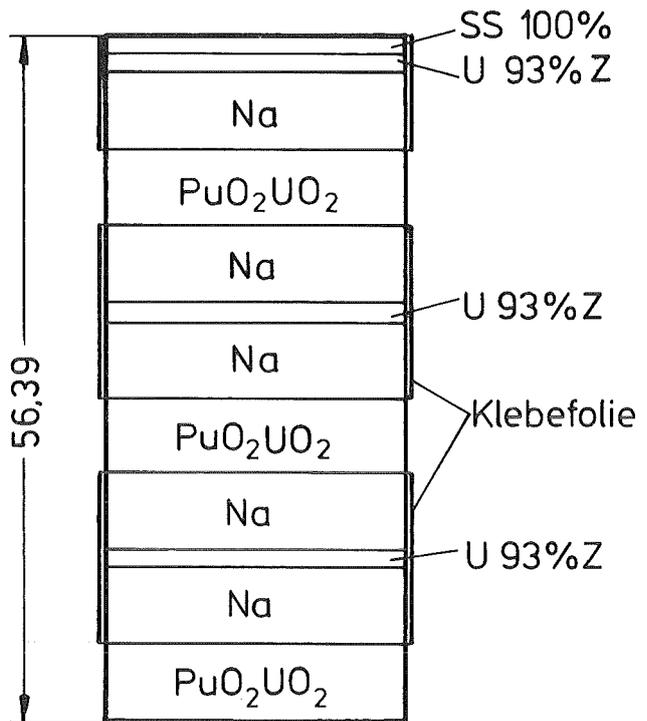
**Zelle V**  
(ax. Brutzone)

Abb. 15 Einheitszellen



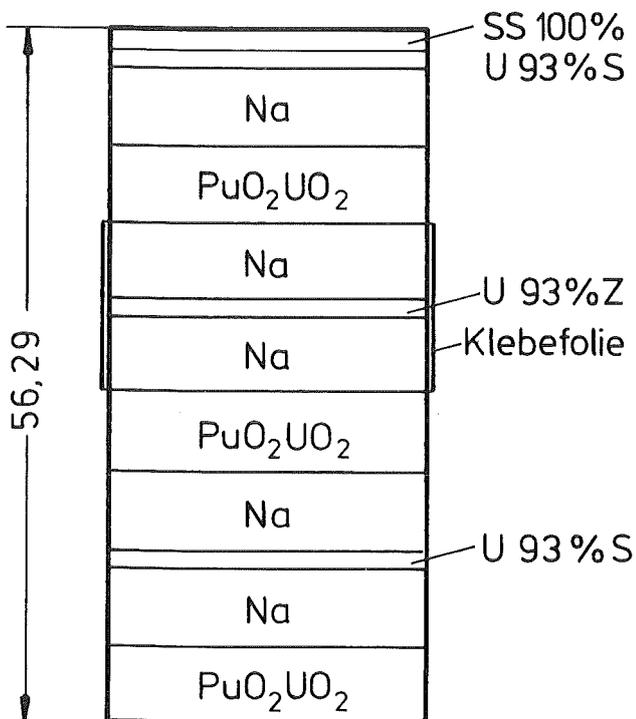
**Zelle Z7**

(Pu-U-Oxid Mk II abgebrannt)



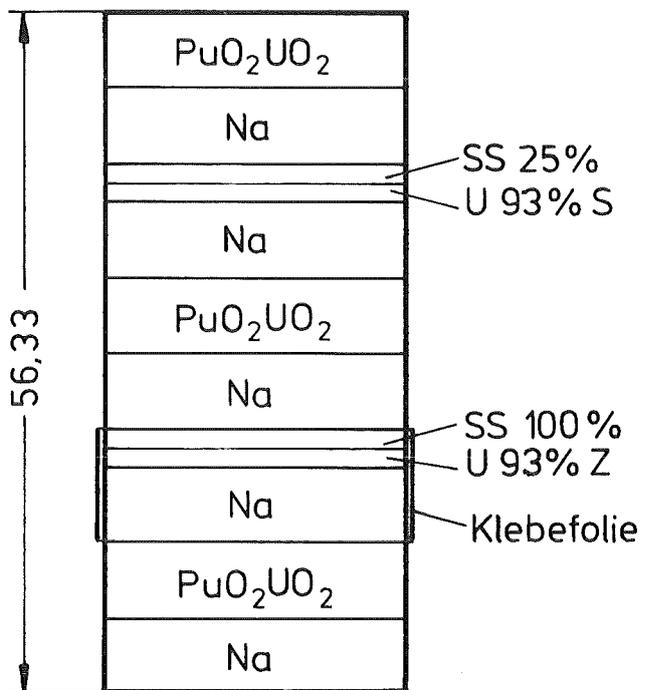
**Zelle Z9**

(Pu-U-Oxid Mk II frisch)



**Zelle Z11**

(Pu-U-Oxid Mk II frisch)



**Zelle Z14**

(Pu-U-Oxid Mk II abgebrannt)

**Abb.16 Einheitszellen**

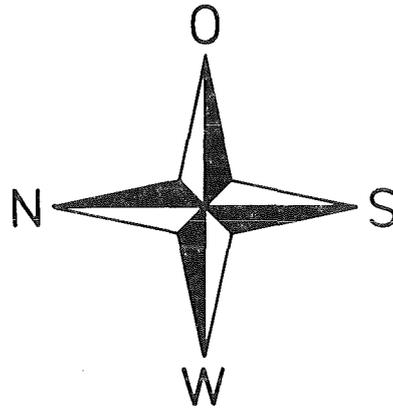
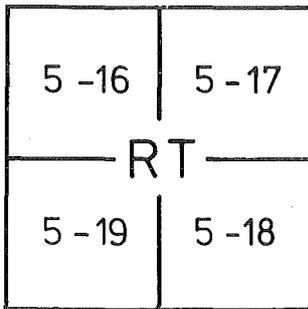
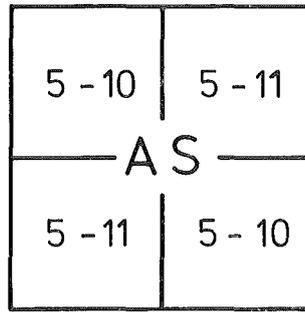
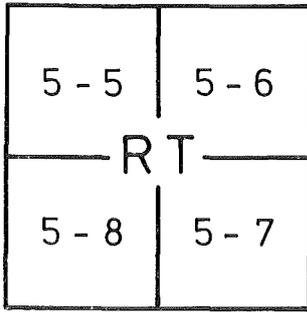


Abb. 17 Verwendung der Fülltypen in den simulierten AS- und RT-Elementen

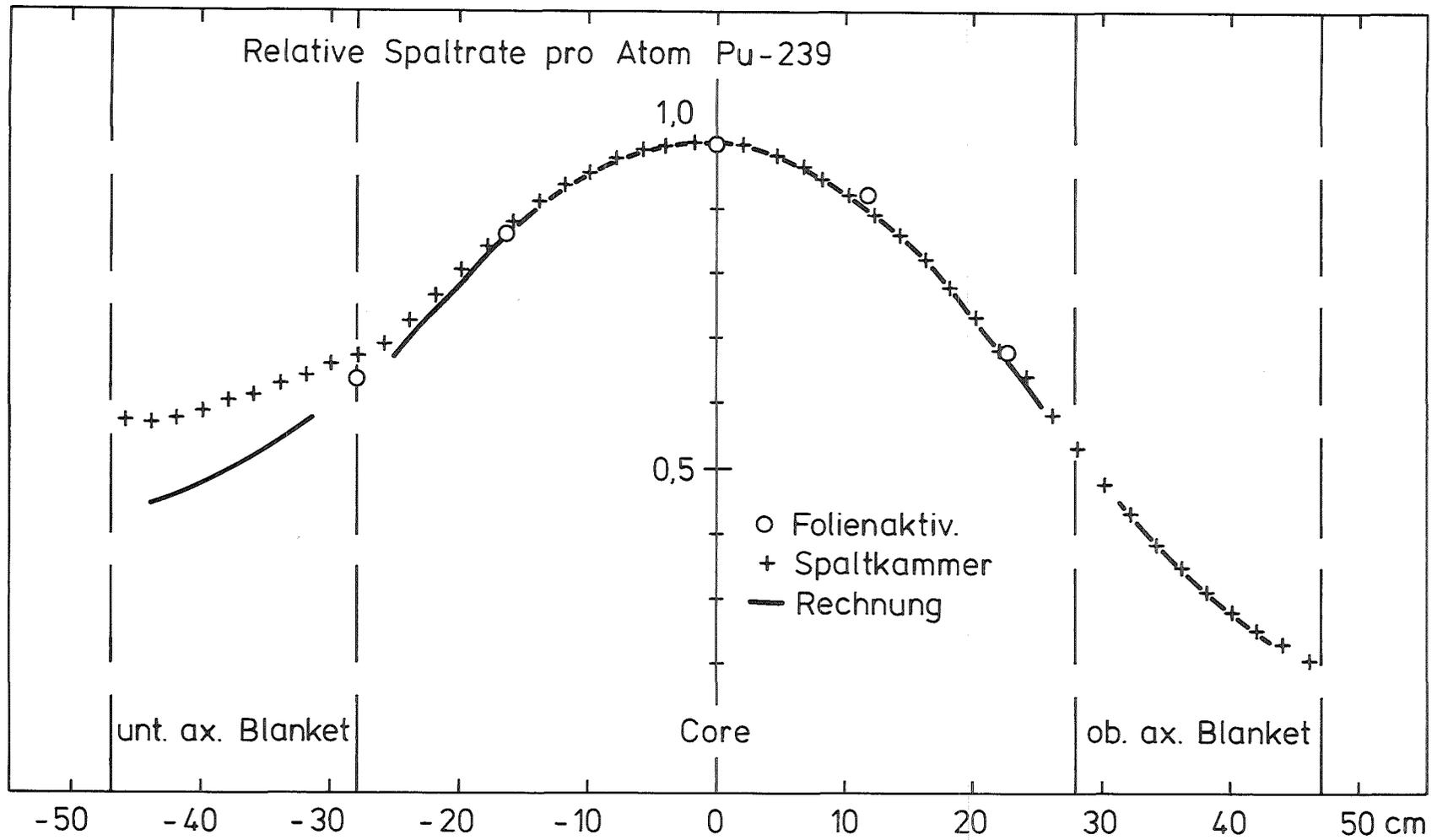


Abb.18 Axiale Pu 239 - Spaltratenverteilung in SNEAK 11A1, x/y=19/19

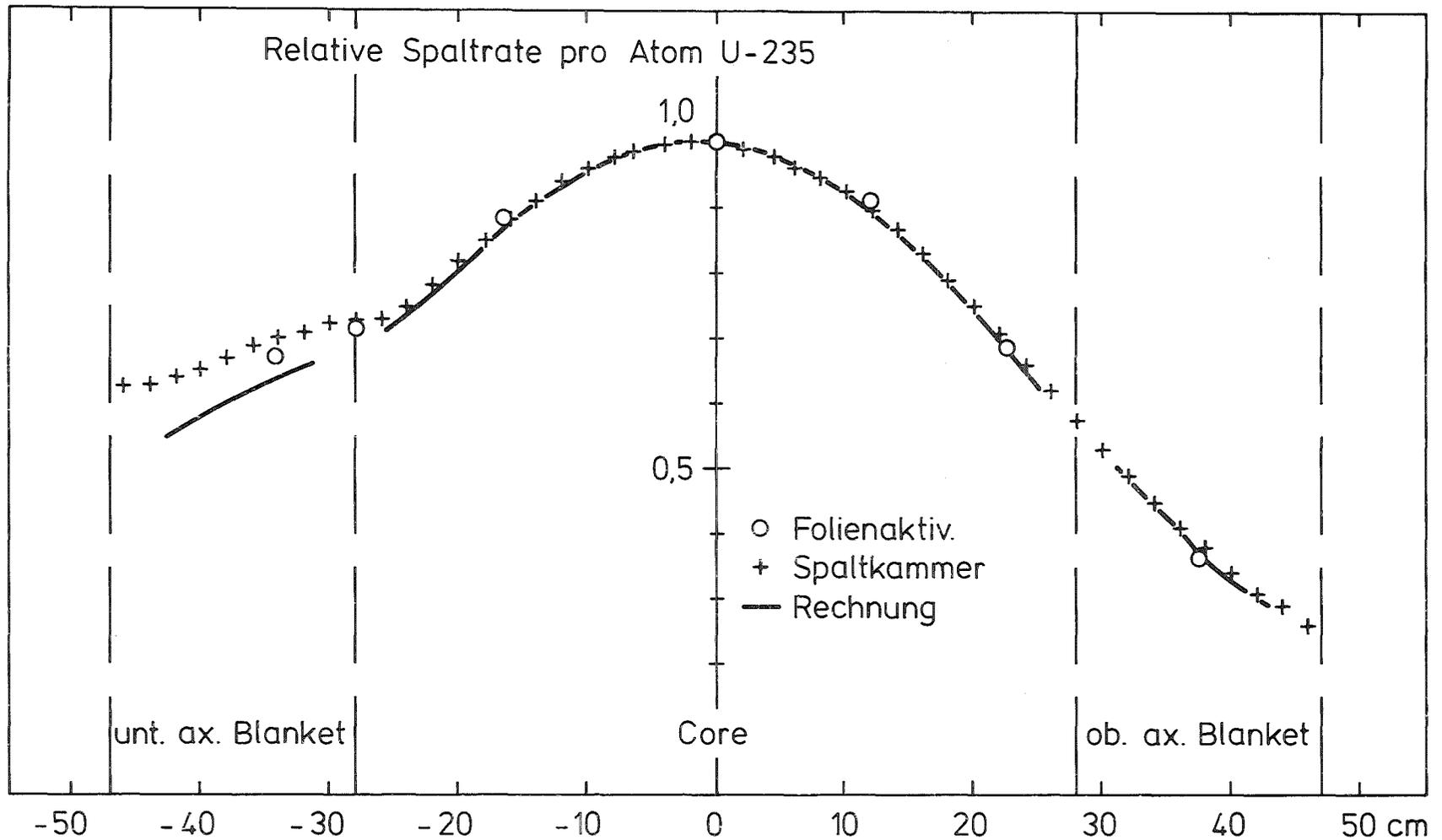


Abb. 19 Axiale U235 - Spaltratenverteilung in SNEAK 11A1, x/y = 19/19

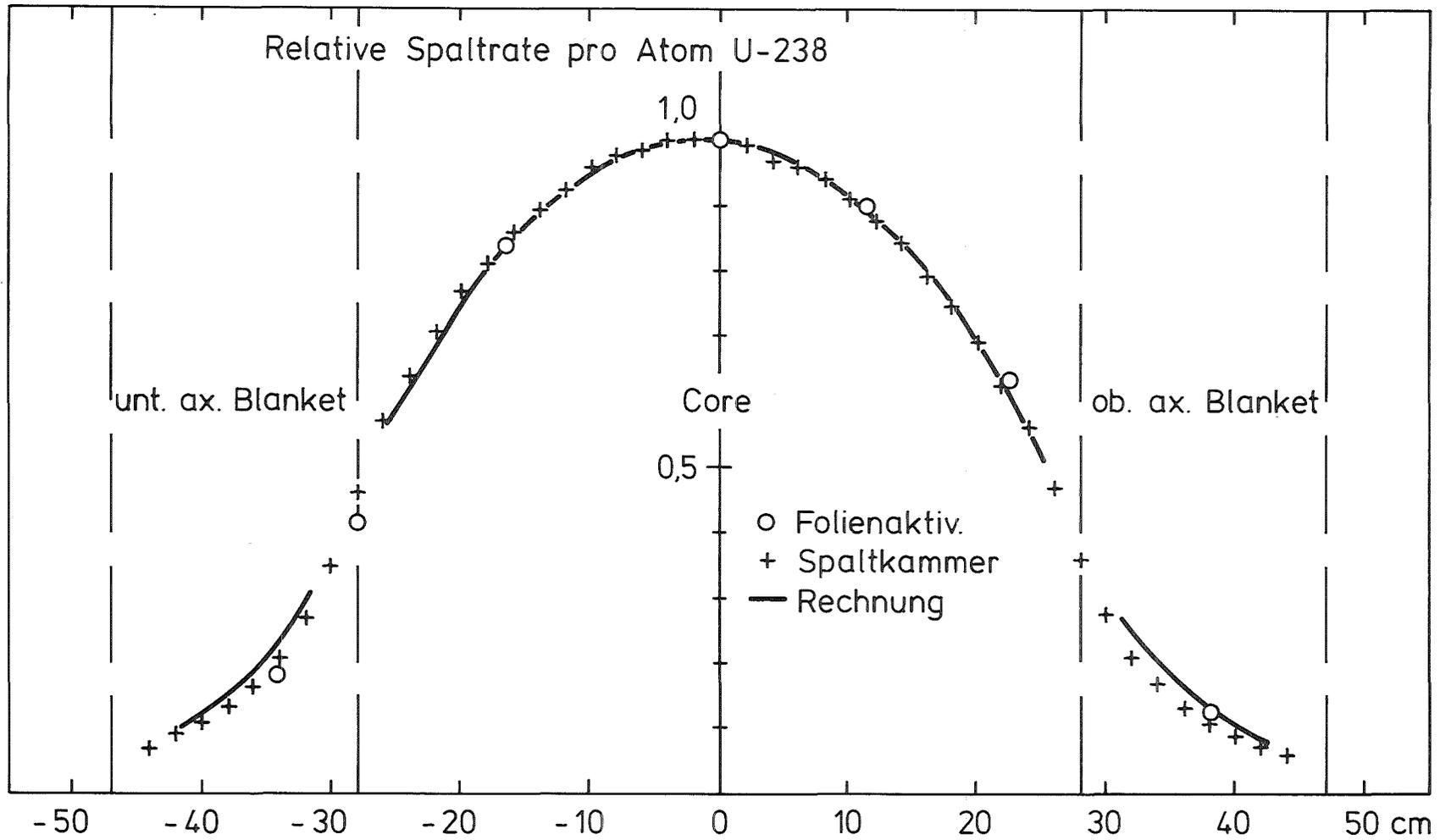


Abb. 20 Axiale U238 - Spaltratenverteilung in SNEAK 11A1,  $x/y = 19/19$

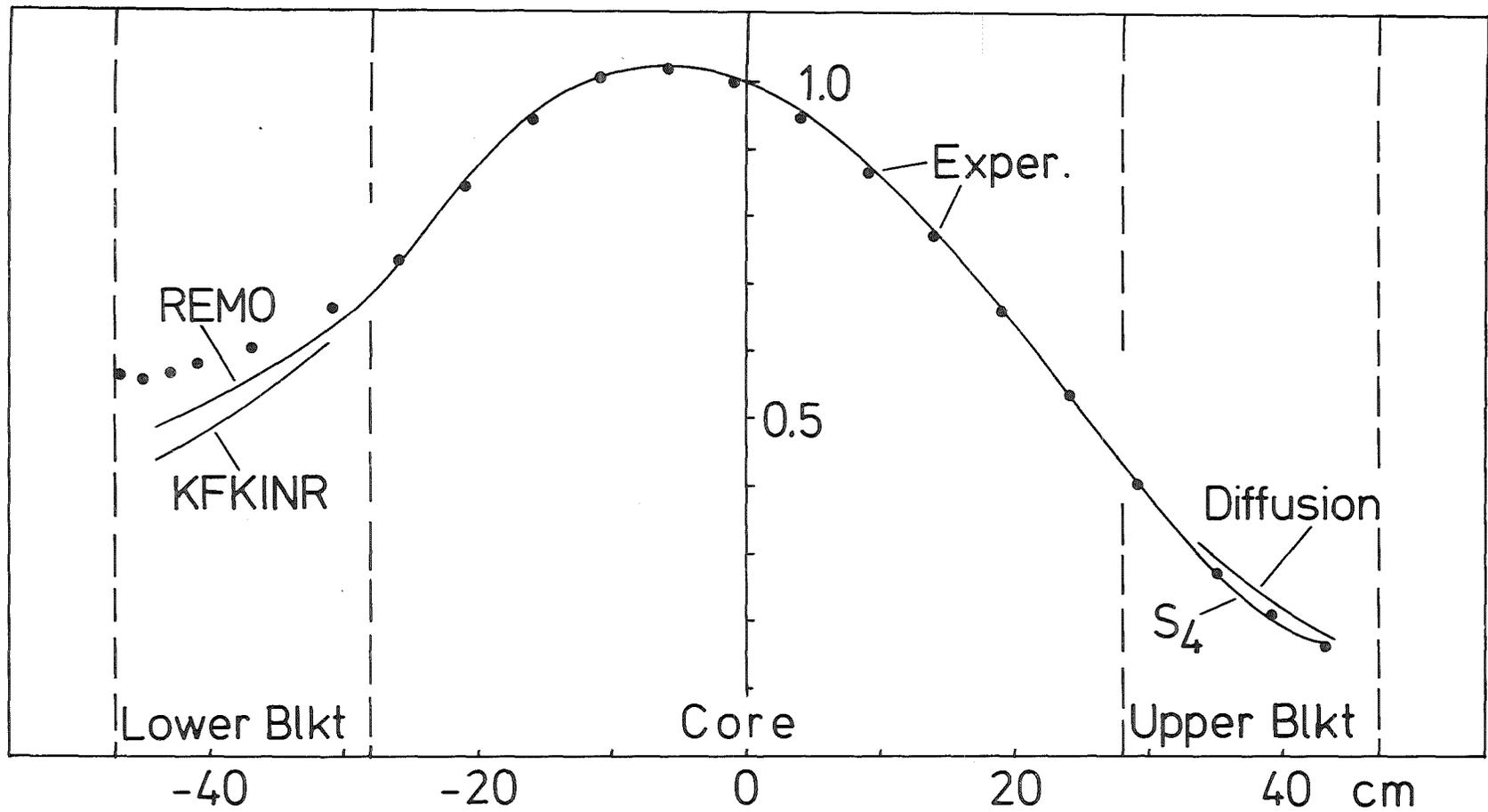


Abb. 21 Axiale Pu<sub>239</sub>-Spaltratenverteilung in SNEAK 11B2, x/y=19/19

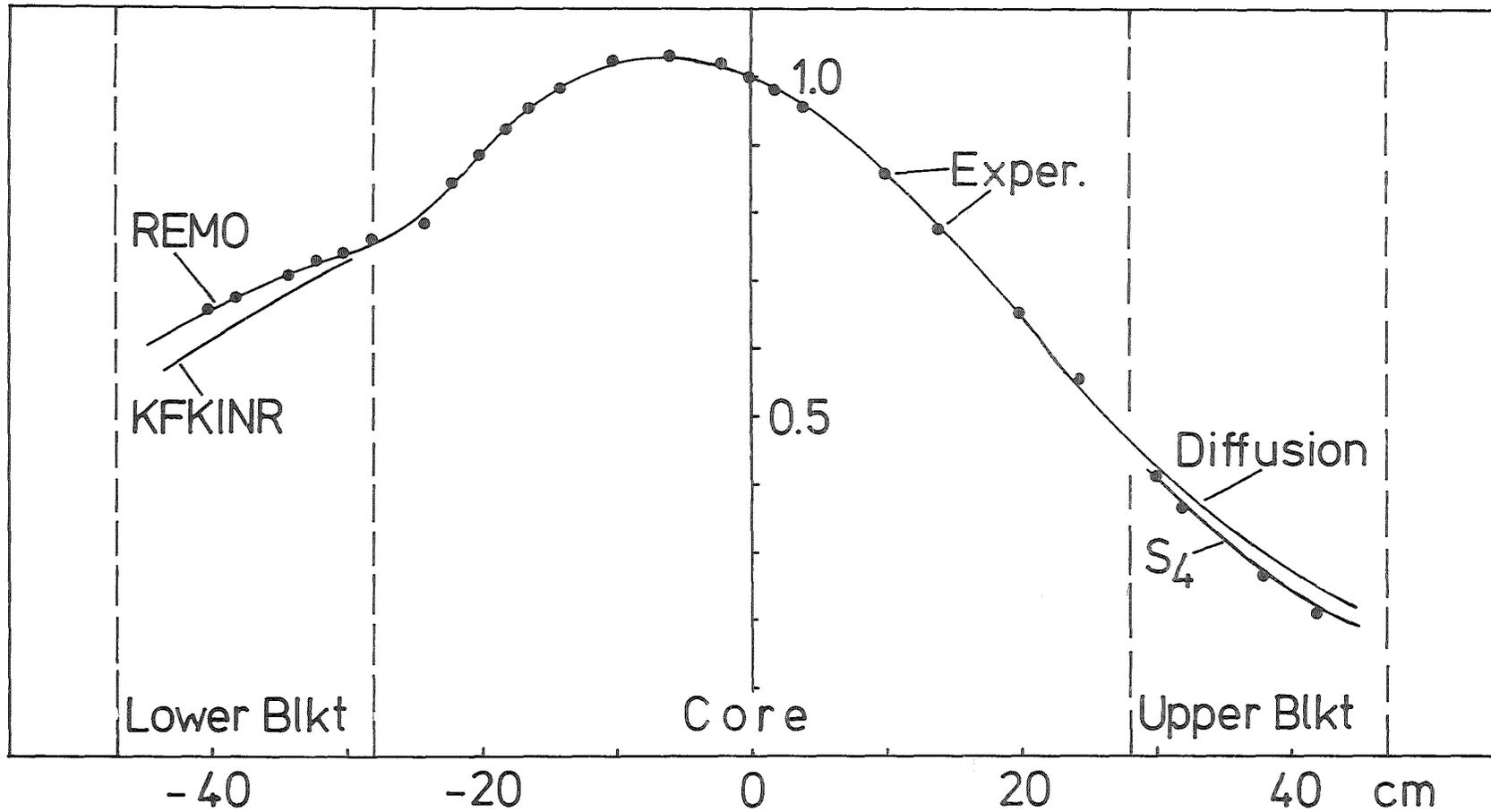


Abb. 22 Axiale  $^{235}\text{U}$ -Spaltratenverteilung in SNEAK 11B2,  $x/y = 19/19$

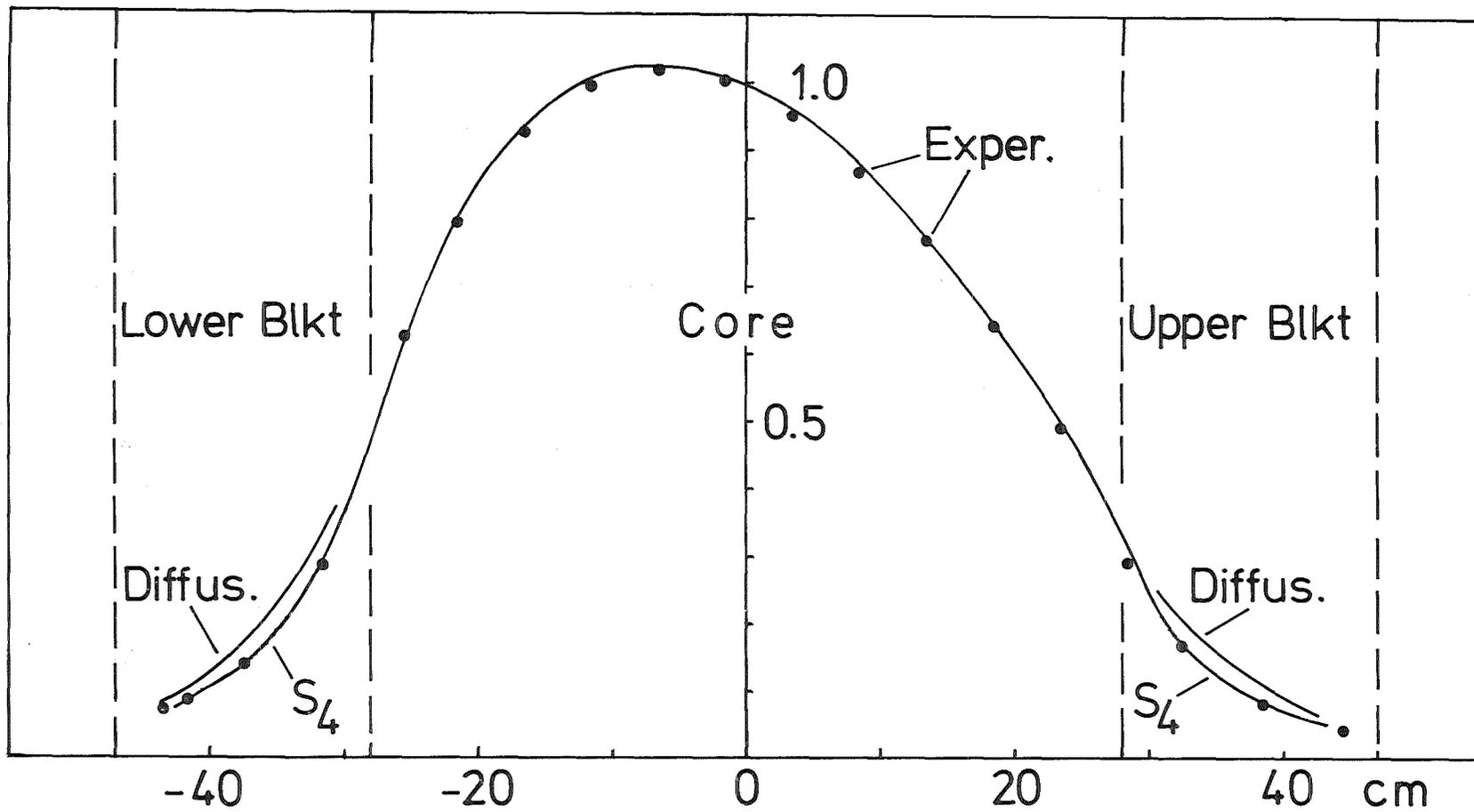


Abb.23 Axiale U238-Spaltratenverteilung in SNEAK 11B2, x/y=19/19

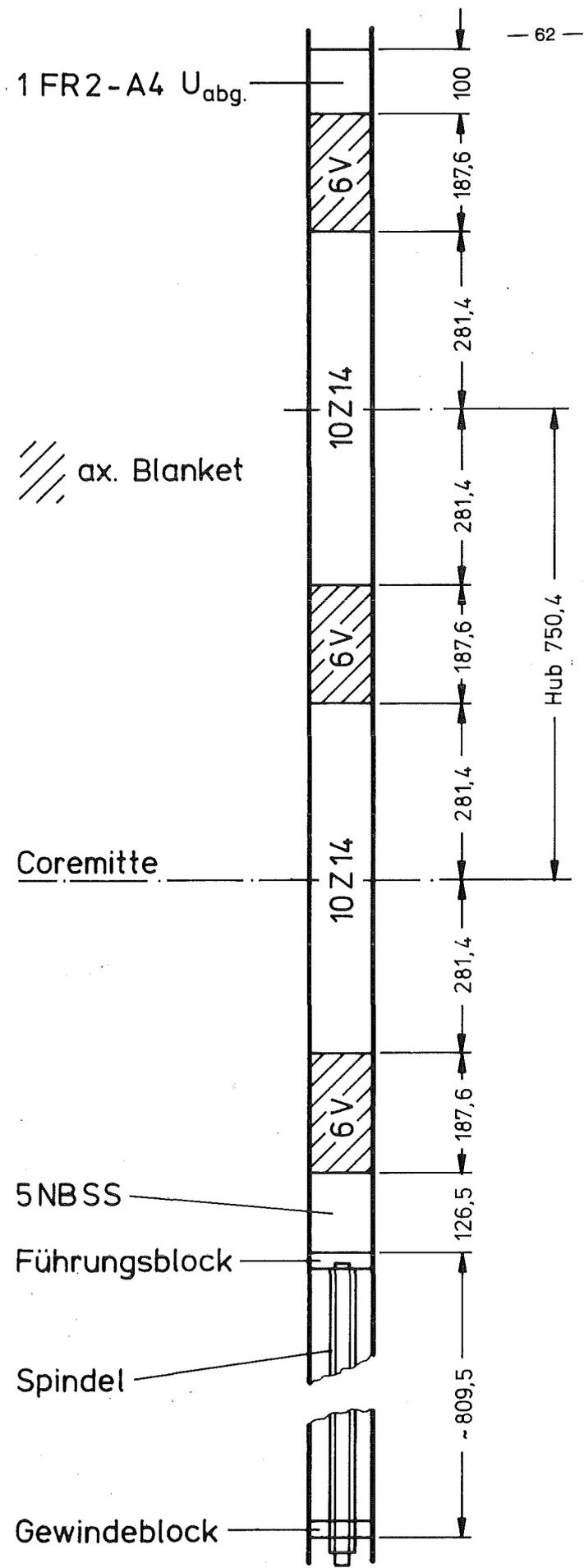


Abb. 24 Tandem - Fülltyp

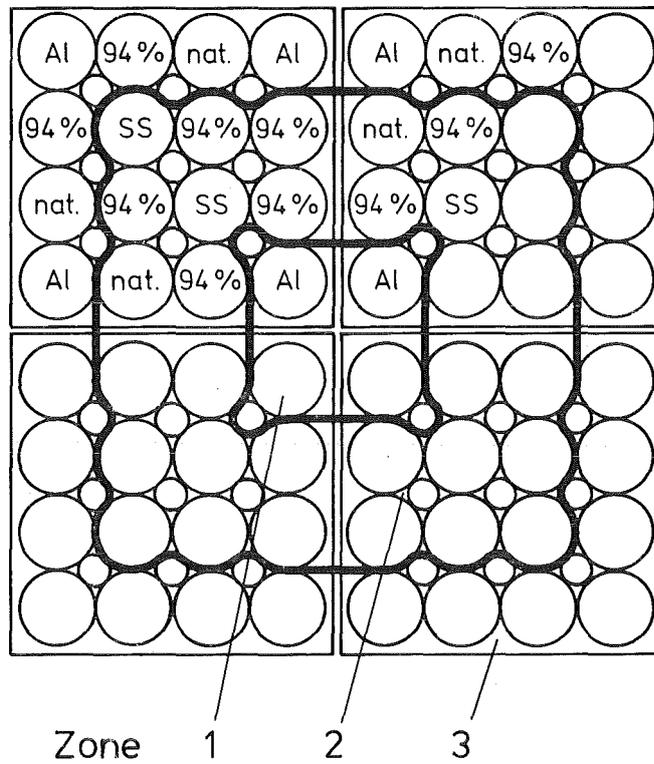


Abb. 25 Zonenunterteilung der RT-Elemente zur Zylinderisierung

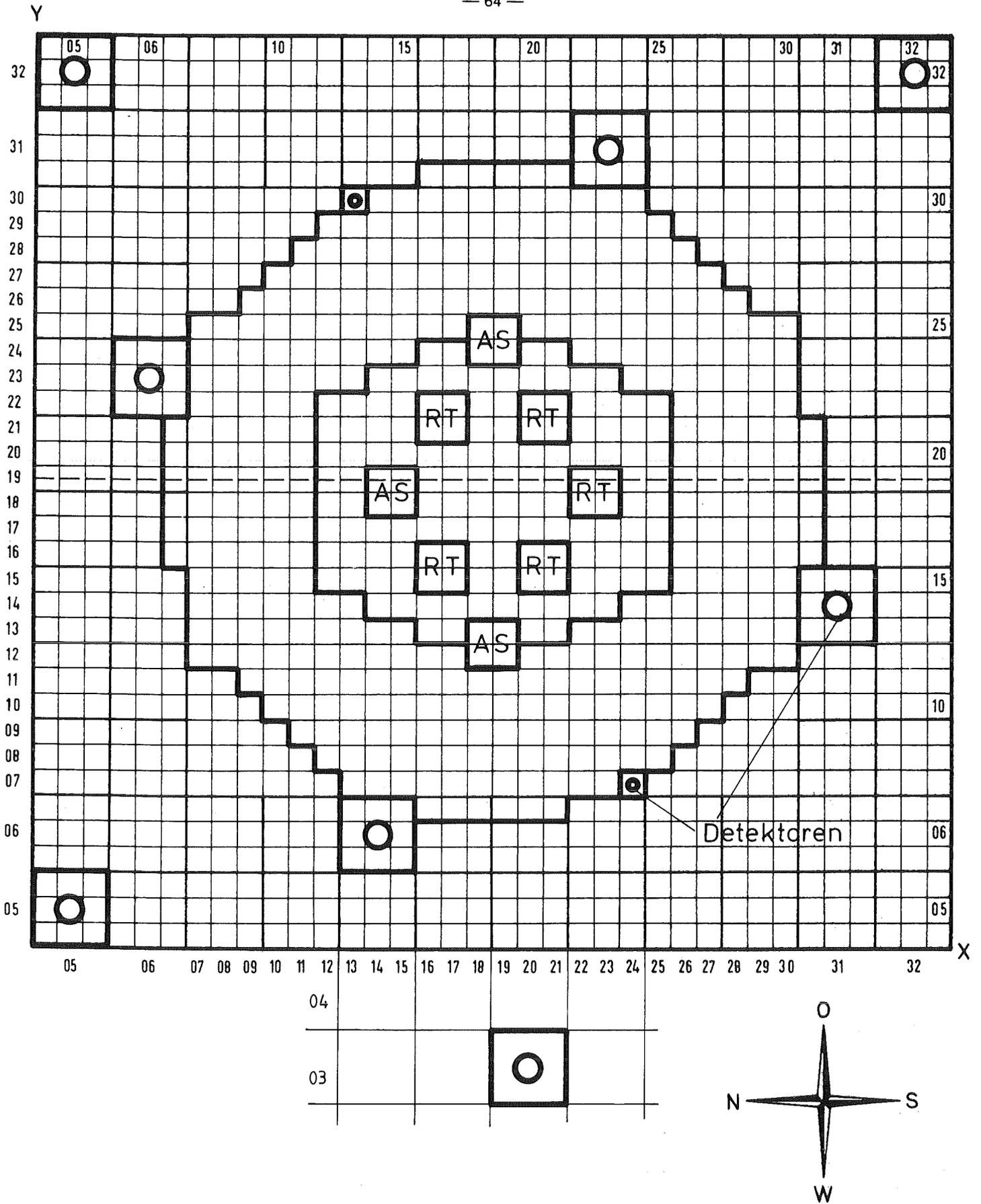


Abb.26 Detektorpositionen bei Quellmultiplikationsmessungen SNEAK 11C1

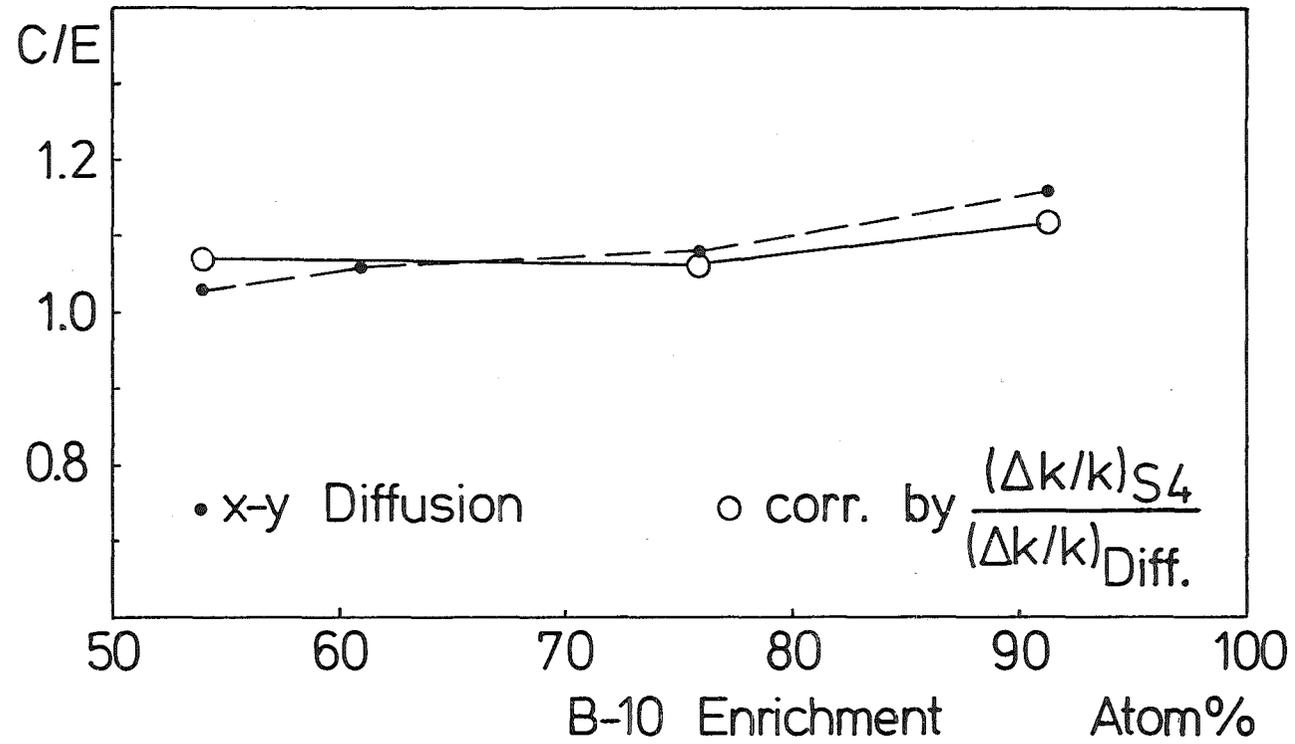


Abb. 27 Grobe Transportkorrektur von SNEAK-11B1-Absorberwerten