

**KERNFORSCHUNGSZENTRUM  
KARLSRUHE**

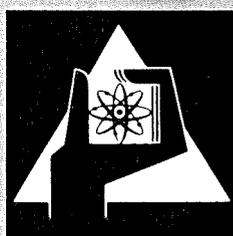
Juni 1976

KFK 2306

Institut für Material- und Festkörperforschung  
Projekt Schneller Brüter

**BR 2-Kapsel-Versuchsgruppe Mol-8C  
— Zerstörungsfreie Nachuntersuchung —**

P. Weimar, H. Steiner, H. van den Boorn



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

**KARLSRUHE**

Als Manuskript vervielfältigt

Für diesen Bericht behalten wir uns alle Rechte vor

GESELLSCHAFT FÜR KERNFORSCHUNG M. B. H.  
KARLSRUHE

K E R N F O R S C H U N G S Z E N T R U M   K A R L S R U H E

KFK 2306

Institut für Material- und Festkörperforschung  
Projekt Schneller Brüter

BR 2-Kapsel-Versuchsgruppe M o l - 8 C  
- Zerstörungsfreie Nachuntersuchung -

---

P. Weimar

H. Steiner

H. van den Boorn

Gesellschaft für Kernforschung mbH., Karlsruhe



## V O R B E M E R K U N G

Der in dem vorliegenden Bericht dargestellte Bestrahlungsversuch basiert auf der Zusammenarbeit mehrerer Arbeitsgruppen im Kernforschungszentrum Karlsruhe. Die vielfältige Mühe und Sorgfalt aller Beteiligten sei ausdrücklich anerkannt. Die Autoren danken an dieser Stelle weiterhin allen, die unmittelbar zur Abfassung der Dokumentation beitrugen, insbesondere Herrn F. Bauer für die Ausarbeitung der Diagramme und Abbildungen und Frau W. Ratzel für die Reinschrift des Manuskriptes sowie die redaktionelle Hilfe.

Mai 1976

P. Weimar, H.van den Boorn, H.Steiner

## K U R Z F A S S U N G

Im Rahmen der Karlsruher Bestrahlungsexperimente zur Entwicklung eines Schnell-Brüter-Brennelements setzt die Versuchsgruppe (Vg) Mol 8C die bereits mit Vg Mol 8B begonnene Serie der Oxidbestrahlungen im epithermischen Fluß mit kontinuierlicher Messung des Spaltgas-Druckaufbaus fort. Das Experiment umfaßt 10 Brennstäbe (520 mm aktive Länge), die einzeln in NaK-Kapseln im epithermischen Fluß im BR2 bestrahlt wurden. Der Brennstoff war mit 93 % U-235 angereichert. Der  $\text{PuO}_2$ -Anteil betrug 20 %. Die Abbrände betragen (Ausnahme Stab Nr. 9) durchweg über 100 MWd/kgM. Die Hüllinnentemperaturen lagen maximal zwischen 680 und 720°C. Es wurden variiert die Parameter Stableistung (350 - 550 W/cm), Schmierdichte (83-86-90 % TD), axiale Rückhaltung (mit/ohne) und der Radialspalt (25-70-127,  $\mu\text{m}$ ). Die Hüllrohre waren aus dem austenitischen Edelstahl 1.4988. Der Stabdurchmesser betrug 6,0 mm, die Wandstärke 0,38 mm. Bei den Stäben 1, 2, 9 und 10 traten Stabdefekte auf, die allerdings kapselspezifisch waren: Durchschmelzen der Hülle jeweils unterhalb der Abstandshalter wegen Gasansammlung. Die Durchleuchtung erbrachte für alle Stäbe eine regelmäßige Zentralkanalkontur.

In der vorliegenden Dokumentation wird nach Darstellung von Aufgabe und Ziel des Experimentes eine detaillierte Beschreibung der Prüflingsauslegung, der Spezifikation, der Herstellung, des Bestrahlungsablaufs, der Kalibrierung des Einsatzes, der Spaltgasmessung und der zerstörungsfreien Nachuntersuchung gegeben. Weiterhin werden die Hülldehnungen in Relation zur Leistungsgeschichte interpretiert.

## A B S T R A C T

### BR2-Capsule-Irradiation Mol 8C - Non-destructive Post Irradiation Examination

Within the frame of the GfK-irradiation experiments for the development of a fuel pin for Fast Breeder Reactors the series Mol 8C continues the series Mol 8B, which consisted of an irradiation under epithermal conditions with continuous measurement of fission gas pressure build-up. The experiment Mol 8C comprises 10 pins (520 mm of active length) which were irradiated in NaK in capsules under epithermal flux in the BR2. The fuel consisted of 93 % enriched U-235 in  $UO_2$  and 20 wt %  $PuO_2$ . Except for one pin (No. 9) burn-up values of more than 100 MWd/kgM were reached, as well as values between 680 and 720°C for the max. inner clad temperatures.

The following parameters were varied:

Rod power (350 - 550 W/cm), smear density (83-86-90 % TD), axial restraint (with/without) and the radial gap (25-70-127  $\mu$ m). The cladding consisted of austenitic steel No. 1.4988, its diameter and wall-thickness being 6,0 mm and 0,38 mm. The pins No 1, 2, 9 and 10 were defected by gas trapping and cladding melting beyond the distance stars in the capsule. The betatron radiographs showed a regular contour of the central void.

The documentation in this report presents the objectives of the experiment, a detailed description of design, specification and fabrication of the pins, the irradiation history, capsule calibration, measurement of fission gas-pressure and non-destructive post irradiation examination. Furtheron an interpretation of diameter increase in relation to the history of rod power and the distribution of cladding temperatures are given.

| <u>Inhalt:</u>                              | <u>Seite:</u> |
|---|---------------|
| 1. <u>Einleitung</u>                        | 1             |
| 2. <u>Aufgabenstellung und Versuchsziel</u> | 2             |
| 3. <u>Auslegungsdaten und Spezifikation</u> | 4             |
| 3.1 Brennstab                               | 4             |
| 3.2 Brenn- und Brutstoff                    | 4             |
| 3.3 Hüllrohr                                | 10            |
| 4. <u>Auslegungsrechnungen</u>              | 11            |
| 4.1 Bestrahlungsbedingungen                 | 11            |
| 4.2 Spaltgasfreisetzung                     | 11            |
| 4.3 Hüllrohrbeanspruchung                   | 11            |
| 5. <u>Prüflingsherstellung</u>              | 14            |
| 5.1 Ausgangspulver für Brenn- und Brutstoff | 14            |
| 5.2 Tablettenherstellung                    | 15            |
| 5.3 Hüll- und Strukturmaterial              | 29            |
| 5.4 Stabherstellung                         | 32            |
| 5.5 Stabprüfung                             | 32            |
| 6. <u>Bestrahlungseinrichtung</u>           | 33            |
| 6.1 FAFNIR-Kapsel                           | 33            |
| 6.2 Flußspektrum (epithermisch)             | 39            |
| 7. <u>Bestrahlung</u>                       | 44            |
| 7.1 Bestrahlungsablauf                      | 44            |
| 7.2 Ergebnisse während der Bestrahlung      | 61            |
| 8. <u>Zerstörungsfreie Nachuntersuchung</u> | 84            |
| 8.1 Profilometrie                           | 84            |
| 8.2 Durchleuchtung                          | 89            |
| 8.3 $\gamma$ -Spektrometrie                 |               |
| 9. <u>Interpretation der Hülldehnungen</u>  | 100           |
| 10. <u>Schlußbetrachtung</u>                | 131           |
| 11. <u>Literatur</u>                        | 132           |

## 1. Einleitung

Die Versuchsgruppe Mol 8C setzt die mit der Gruppe Mol 8B begonnene Serie der Oxidbestrahlungen mit kontinuierlicher Messung des Spaltgasdruckaufbaus bzw. der Gasfreisetzung fort. Das Experiment umfaßt 10 Brennstäbe mit 520 mm aktiver Länge, die einzeln in Kapseln im epithermischen Fluß des BR2 bestrahlt wurden. Als Brennstoff wurde Mischoxid  $UO_2$ - $PuO_2$  verschiedener Dichte in Tablettenform eingesetzt.

Hinsichtlich der Versuchsgruppe Mol 8B wurden folgende Parameter geändert:

|                                  |             |  |
|----------------------------------|-------------|--|
| - Stablänge                      | hier größer | 1024,4 mm  |
| - Stableistung                   | z.T. höher  | 350 - 550 W/cm   |
| - max. Hüllober-<br>flächentemp. | hier höher  | 640°C  |
| - Variation von:                 |             | Stableistung<br>Schmierdichte<br>Ax. Rückhaltung<br>Radialspalt. |

Die Pu-Anreicherung blieb mit 20 Gew.% unverändert, ebenso das Material für die Hüllrohre, W.Nr. 1.4988.

In diesem Bericht werden alle Details über die 10 Prüflinge dieser Versuchsgruppe angegeben wie Aufgabenstellung, Auslegung, Spezifikation, Herstellung der Prüflinge, Bestrahlungsablauf und zerstörungsfreie Nachuntersuchung. Weiterhin wird eine Interpretation der Hülldehnungen vorgenommen. Diese Zusammenstellung basiert auf einer Vielzahl von internen Niederschriften und persönlichen Mitteilungen. In der folgenden Übersicht sind der Zeitablauf des Experimentes und die für die einzelnen Schritte verantwortlichen Stellen und Personen angegeben.

| Zeitraum | Teilarbeit  | Hauptbeteiligte/<br>Institutionen     |
|----------|---|---------------------------------------|
| 1967     | Vorüberlegungen   | Gerken, Karsten/IAR                   |
| 1968     | Bestrahlungskapsel<br>FAFNIR                              | V.d.Hardt, Technologie<br>CEN/Mol     |
| 1968     | Auslegung und<br>Spezifikation                            | Gerken, Kummerer,<br>IAR/IMF          |
| 1971     | Herstellung der<br>Prüflinge                              | Dippel, Kummerer, IMF                 |
| 1970-73  | Organisation und<br>Betreuung der Bestrah-<br>lung im BR2 | V.d.Hardt, Freund, IMF,<br>GfK-AG Mol |
| 1974/75  | Untersuchung in den<br>Heißen Zellen GfK                  | Scheeder, Enderlein,<br>Pejsa, HZ/RBT |
| 1974/75  | Organisation und<br>Betreuung der NU                      | Weimar, IMF                           |

## 2. Aufgabenstellung und Versuchsziel

Bekanntlich werden die Hüllrohre eines Brennelements durch 3 verschiedenartige Kräfte beansprucht. Es sind dies:

- der Spaltgasdruck,
- der Festkörperdruck des schwellenden Brennstoffs
- die mechanische Wechselwirkung (Brennstoff-Hülle)  
die durch die Lastwechsel des Reaktors bedingt ist.

In diesem Experiment sollte dem Phänomen des Spaltgasdruckaufbaus im Oxidbrennstab nachgegangen werden. Zu diesem Zweck wurden die folgenden Parameter verknüpft (Tab. 1).

Tabelle 1 Verknüpfung von Parametervariation und Versuchsziel

| Parameter                     |                    | Verknüpfung | Versuchsziel   | Auswertung             |
|-------------------------------|--------------------|-------------|--|------------------------|
| 550 W/cm<br>350 W/cm          | Max. Stableistung  |             | Spaltgas-<br>freisetzung   | bei allen<br>10 Stäben |
| 90 % TD<br>86 % TD<br>83 % TD | Schmierdichte      |             | Verfügbarkeit der<br>inneren Porosität<br>für das Brenn-<br>stoffschwelen            | an<br>8 Stäben         |
| mit<br>ohne                   | Axiale Rückhaltung |             | Wechselweise Ver-<br>fügbarkeit des<br>radialen Spaltes und<br>der inneren Porosität | an<br>2 Stäben         |
| 25 μ<br>70 μ<br>127 μ         | Radialer Spalt     |             |  |                        |

Der Spaltgasdruckaufbau wird bei jedem Stab mittels eines Druckmessaufnehmers (Kapillare) kontinuierlich während der Bestrahlung angezeigt und registriert. In der bereits bei dem Experiment Mol 8B erprobten FAFNIR-Kapsel (Cd-Abschirmung, stagn. NaK) werden die Stäbe dem "schnellen" Neutronenspektrum des BR2 ausgesetzt. Die wesentlichen Unterschiede zum SNR-300-Stab sind bedingt durch die Bestrahlungskapazität und Core-Abmessungen des BR2:

- Kürzere aktive Länge und damit auch geringere Gesamtlänge des Prüflings
- Fehlen der unteren Brutstoffzone
- Reine Kapselbestrahlung, d.h. stagnierendes Kühlmittel (NaK).

Das Bestrahlungsexperiment soll neben den in Tabelle 1 angesprochenen Zielen noch folgende Fragen klären:

1. Bleiben die "Lang"-Stabprüflinge bis zu dem Zielabbrand von 90.00 MWd/kgM intakt?

2. Können die Zyklus-Freisetzungsraten mittels Modellrechnungen auch theoretisch verstanden werden?

Die Nachbestrahlungsuntersuchung soll darüberhinaus noch folgende Detailfragen klären:

- Korrosiver Hüllangriff
- Spaltproduktverteilung im Stab
- Bilanz der Spaltgase
- Integrales Schwellen des Brennstoffs mit der Hülle
- Kriechaufweitung der Hülle.

### 3. Auslegungsarbeiten und Spezifikation /1/

#### 3.1 Brennstab

In Tabelle 2 werden die Auslegungsdaten der Brennstäbe gegeben. Unter Benutzung der in Tabelle 1 gegebenen Parameterverknüpfung ergab sich eine Serie von insgesamt 13 Stäben (3 Reserve). Hervorgehoben sei die bei den Stäben C9 und C10 vorgenommene Dichteveriation innerhalb des Stabes.

Tabelle 3 gibt die Materialwerte in einer Gesamtübersicht wieder. Abbildung 1 zeigt den inneren und äußeren Aufbau des Prüflings. Das hier unter 5 aufgeführte Stützrohr im Gasplenum soll eine während der Bestrahlung auftretende Axialverlängerung von Brenn- und Brutstoff in eine Durchmesserzunahme "umlenken". Der sogenannte "axiale Restraint" wurde nur bei 6 Prüflingen (siehe Tab.2 ) vorgenommen.

#### 3.2 Brenn- und Brutstoff

##### 3.2.1 Brennstofftabletten

Chemische Zusammensetzung

- Der Nennwert der Brennstoffmischung ist  $80,0 \pm 0,5$  Gew.%  $\text{UO}_2$   
 $20,0 \pm 0,5$  Gew.%  $\text{PuO}_2$

Tabelle 2 Auslegungsdaten der Versuchsgruppe Mol 8 C

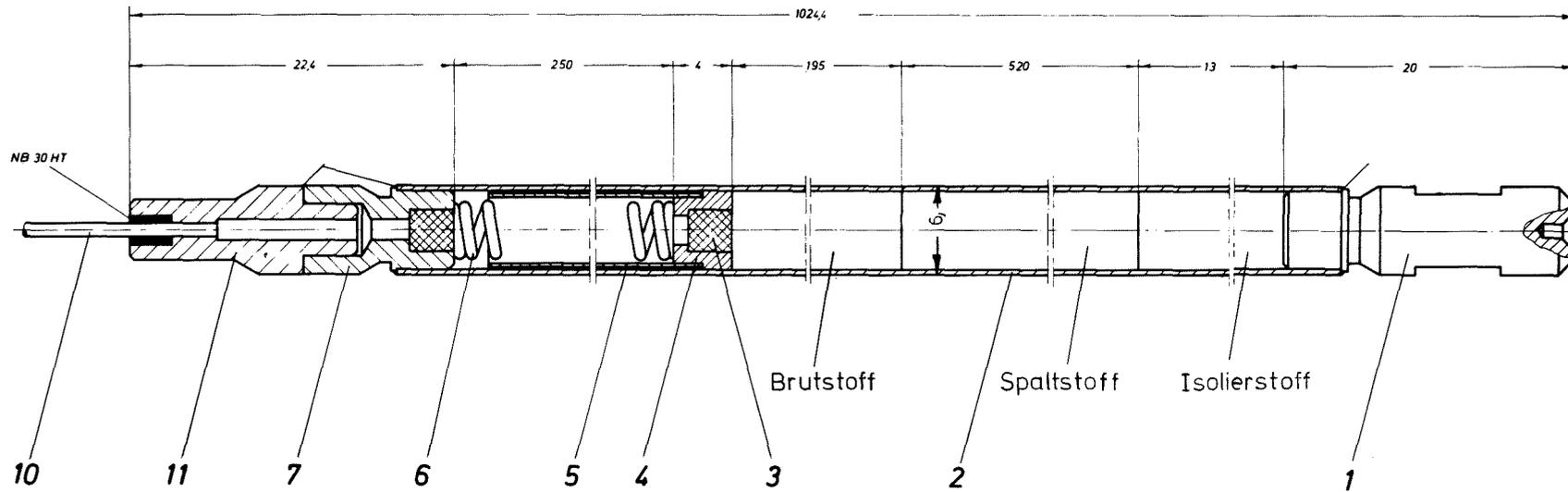
| Typ                   | Bezeichnung | Schmierdichte<br>(% th.D.) | Tablettendichte<br>(% th.D.) | Radial.Spalt<br>( $\mu$ ) | Tablettendurchmesser<br>(mm) | Axiale<br>Rückhaltung | Max.Stableistung <sup>1)</sup><br>(W/cm) |
|-----------------------|-------------|----------------------------|------------------------------|---------------------------|------------------------------|-----------------------|--|
| P                     | 8C - 1      | 90,0                       | 95,0                         | 70                        | 5,10                         | mit                   | 550                                      |
|                       | 8C - 2      |                            |                              |                           |                              |                       | 350                                      |
| Q                     | 8C - 3      |                            |                              |                           |                              | ohne                  | 550                                      |
|                       | 8C - 4      |                            |                              |                           |                              |                       | 350                                      |
| Reserve <sup>2)</sup> | 8C - 11     |                            |                              |                           |                              |                       |  |
| R                     | 8C - 5      |                            |                              |                           |                              | 83,0                  | 87,6                                     |
|                       | 8C - 6      | 350                        |                              |                           |                              |                       |  |
| S                     | 8C - 7      | ohne                       | 550                          |                           |                              |                       |  |
|                       | 8C - 8      |                            | 350                          |                           |                              |                       |  |
| Reserve <sup>2)</sup> | 8C - 12     |                            |                              |                           |                              |                       |  |
| T                     | 8C - 9      | 86,0                       | 87,6/90,8/95,0               | 25/70/127                 | 5,190/5,100/4,986            |                       |  |
|                       | 8C - 10     |                            |                              |                           |                              | 550                   |  |
| Reserve <sup>2)</sup> | 8C - 13     |                            |                              |                           |                              |                       |  |

1) Max. Stableistung zu Beginn eines Zyklus

2) Diese Reservestäbe werden unverschlossen beim Hersteller auf Abruf gelagert. Sie sollen mit und ohne axiale Rückhaltung lieferbar sein.

Tabelle 3: Auslegung und Spezifikation

|                                  |                                    |  |
|----------------------------------|------------------------------------|--|
| Außenmaße                        | Gesamtlänge des Brennstabes (mm)   | 1024,4 (ohne Kapillare)                                      |
|                                  | Außendurchmesser (mm)              | $6,0 \pm 0,03$   |
|                                  | Länge der Kapillare (mm)           | 3000   |
| Einteilung<br>der<br>Stablänge   | Oberer Endstopfen (mm)             | 23 (mit Stopfenkern)   |
|                                  | Spaltgasraum (mm)                  | 250  |
|                                  | Führungsstück ohne Stützrohr (mm)  | 4  |
|                                  | Führungsstück mit Stützrohr (mm)   | 246  |
|                                  | Brennstoffsäule (mm)               | $500 \pm 3$  |
|                                  | Brutstoffsäule (mm)                | $195 \pm 2$  |
|                                  | Isoliertabletten (mm)              | $13 \pm 0,5$   |
| Hülle                            | Unterer Endstopfen (mm)            | 20 (mit Stopfenkern)   |
|                                  | Material                           | Nr. 1.4988   |
|                                  | Innendurchmesser (mm)              | $5,24 \pm 0,03$  |
| Kapillare                        | Wandstärke (mm)                    | $0,38 \pm 0,03$  |
|                                  | Material                           | Nr. 4401   |
|                                  | Außendurchmesser (mm)              | $1,1 \pm 0,02$   |
| Brennstoff                       | Wandstärke (mm)                    | $0,2 \pm 0,01$   |
|                                  | Material                           | $UO_2$ - $PuO_2$   |
|                                  | $PuO_2$ -Anteil (Gew.-%)           | $20 \pm 1$   |
|                                  | U-235-Anteil im $UO_2$ (Gew.-%)    | 93   |
|                                  | O:Me-Verhältnis                    | $2,0 \pm 0,03$   |
|                                  | Geom.Tablettendichte (% th.D)      |  |
|                                  | Typ P u. Q                         | $95,0 \pm 2$   |
|                                  | Typ R u. S                         | $87,6 \pm 2$   |
|                                  | Typ T                              | 87,6 / 90,8 / 95,0   |
|                                  | Tablettendurchmesser (mm)          |  |
|                                  | Typ P, Q, R, S                     | $5,10 \pm 0,03$  |
| Typ T                            | 5,190 / 5,100 / 4,986              |  |
| Tablettenhöhe (mm)               | $6,5 \pm 1$                        |  |
| Schmierdichte (% th.D)           |                                    |  |
| Typen P u.Q / R u.S / T          | 90,0 / 83,0 / 86,0                 |  |
| Brutstoff<br>und<br>Isoliertabl. | Material                           | $UO_2$   |
|                                  | Tablettendichte (% th.D)           | $95 \pm 2,0$   |
|                                  | Tablettendurchmesser (mm)          | 5,10 u. 5,00   |
|                                  | Tablettenhöhe (mm)                 | 6,5  |
| Brennstoff-,<br>säule            | Brennstoffabschnitt (mm)           | $520 \pm 3,0$  |
|                                  | Brutstoffabschnitt (mm)            | $195 \pm 2,0$  |
|                                  | Isoliertabletten (mm)              | $13 \pm 0,5$   |
|                                  | Gesamtlänge (mm)                   | $728 \pm 5$  |
| Gasfüllung                       |                                    | 1 atm Helium   |
| Oberflächen-<br>kontamination    | Wischtest<br>oberflächlich fixiert | unter Nachweisgrenze<br>$22 \alpha$ -Zerf./ $cm^2 \cdot min$ |



| Teil | Stück | Benennung          | Werkstoff | Abmessung   | Zulässige Nr. Norm | Bemerkung |
|------|-------|--------------------|-----------|---|--------------------|-----------|
| 11   | 1     | Schweißprüfung     |           |   | LBZ8/2/12          |           |
| 11   | 1     | Endkappe           | 4988      |   | LBZ8/2/11          |           |
| 10   | 1     | Kapillare          | 4401      | $\varnothing = 0.2 \cdot 3000$                        |                    |           |
| 7    | 1     | Oberer Endstopfen  | 4988      |   | LBZ8/1/07          |           |
| 6    | 1     | Druckfeder         | 4310      | $L_0 = 255, d = 0.8, D_n = 4, i_1 = 200 \text{ Wdg.}$ |                    |           |
| 5    | 1     | Stützrohr          | 4988      | $5^{\circ} 0.25 \cdot 244$                            |                    |           |
| 4    | 1     | Führungsstück      | 4988      |   | LBZ8/1/04          |           |
| 3    | 2     | Sinterstahlfilter  | Cr Ni     | $28^{\circ} 3$  |                    |           |
| 2    | 1     | Hüllrohr           | 4988      |   | LBZ8/1/02          |           |
| 1    | 1     | Unterer Endstopfen | 4988      |   | LBZ8/1/01          |           |

| Übermaßzahlen | ~             | v    | 0         | 00 | 000 | 0000 | Werkstoff                    | Abmessung     | Zulässige Nr. Norm | Bemerkung |           |           |           |           |
|---------------|---------------|------|-----------|----|-----|------|------------------------------|---------------|--------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Positiv       | mes. in $\mu$ | 1000 | 40        | 10 | 4   | 1.2  | Freiüb.oleranz               | Me 8          | $\pm 0.1$          | $\pm 0.2$ | $\pm 0.3$ | $\pm 0.4$ | $\pm 0.5$ | $\pm 1.2$ |
| 1870          | Reg           | Name | Werkstoff |    |     |      | Gesellschaft für Kerntechnik | Zugab. Zulag. |                    |           |           |           |           |           |
| spez.         | 307           |      |           |    |     |      | m. S. H.                     | Ersetzt durch |                    |           |           |           |           |           |
| spez.         |               |      |           |    |     |      | 7500 Karlsruhe               | Ersetzt durch |                    |           |           |           |           |           |
| spez.         |               |      |           |    |     |      | Postfach 247                 | Zulässige Nr. |                    |           |           |           |           |           |
| Medizin       | Benennung     |      |           |    |     |      |                              | LBZ8/2/00     |                    |           |           |           |           |           |
| 5             | 1             |      |           |    |     |      |                              |               |                    |           |           |           |           |           |

Brennstabaufbau Mol 8C

Abb. 1

Der in diesem Bereich liegende wirkliche  $\text{PuO}_2$ -Gehalt der Mischung ist mit einer Analysengenauigkeit von  $\pm 0,1$  %  $\text{PuO}_2$  anzugeben.

- Der Sauerstoffgehalt ist in allen Tabletten einheitlich. Es wird ein Stöchiometriewert  $\text{O/Me} = 2,0 \pm 0,03$  mit einer Nachweisgenauigkeit von  $\pm 0,02$  angestrebt.
- Der  $\text{H}_2\text{O}$ -Gehalt muß unter 100 ppm liegen.
- Der gesamte Gasgehalt des Brennstoffes soll nicht höher als 0,1 Norm-cm<sup>3</sup> je Gramm Brennstoff - geprüft bei einer Freisetzungstemperatur von 1600°C - sein.
- Die sonstigen chemischen Verunreinigungen sollen insgesamt 1000 ppm nicht übersteigen.
- Isotopenzusammensetzung
  - Das  $\text{UO}_2$  enthält Uran mit 93 % U 235
  - Das  $\text{PuO}_2$  enthält Pu mit einer Isotopenzusammensetzung von etwa

91 % Pu 239

8 % Pu 240

1 % höhere Isotope.

Die wirkliche Zusammensetzung ist mit einer genauen Isotopenanalyse zu belegen.

- Homogenität

Die Pulvermischung wird gut homogenisiert. Alle  $\text{PuO}_2$ -Partikel sollen kleiner als 100 µm sein.

- Tablettendichte

Hier ist zwischen 3 Qualitäten zu unterscheiden:

P und Q 95,0  $\pm$  2 % TD

R und S 87,6  $\pm$  2 % TD

T (Sonderqual.) 87,6  $\pm$  1 % TD

90,8  $\pm$  1 % TD

95,0  $\pm$  1 % TD.

- Tablettengeometrie

- Der Tablettendurchmesser ist bei den Tablettensorten der Standardqualität  $5,10 \pm 0,03$  mm
- Bei den Tabletten der Sonderqualität gehört zu jeder Dichtestufe ein bestimmter Durchmesser, nämlich
  - zur Sorte  $t_1$  (87,6 %):  $5,190 \pm 0,010$  mm
  - zur Sorte  $t_2$  (90,8 %):  $5,100 \pm 0,010$  mm
  - zur Sorte  $t_3$  (95,0 %):  $4,986 \pm 0,010$  mm.
- Der Nennwert der Tablettenhöhe ist 6,50 mm. Die Einzelwerte können in einem Bereich von etwa 1 mm schwanken, wobei allerdings die Forderungen hinsichtlich der Höhe der Tablettensäulen und Säulenabschnitte erfüllt werden müssen. Die Stirnflächen sollen eben und orthogonal zu den Zylinderflächen sein.
- Oberfläche der Tabletten

Die Oberfläche darf keine sichtbaren Fehler aufweisen mit Ausnahme der beim Schleifen der Zylindermäntel unvermeidbar auftretenden Kantenabplatzungen. Dabei soll keine der linearen Abmessungen einer Abplatzung größer als 1 mm sein.

3.2.2 Brutstofftabletten

Material und Zusammensetzung

- Die Brutstofftabletten bestehen aus reinem  $UO_2$ , dessen Urananteil natürliche Isotopenzusammensetzung (0,7205 % U-235) aufweist.
- Der Sauerstoffgehalt ist in allen Tabletten einheitlich. Es wird ein Stöchiometriewert  $O/Me = 2,0 \pm 0,03$  mit einer Meßgenauigkeit von  $\pm 0,02$  angestrebt.
- Der  $H_2O$ -Gehalt muß unter 100 ppm liegen.
- Der gesamte Gasgehalt des Brutstoffes soll nicht höher als  $0,1 \text{ Norm-cm}^3$  je Gramm Brutstoff - geprüft bei einer Freisetzungstemperatur von  $1600^\circ\text{C}$  - sein.
- Die sonstigen chemischen Verunreinigungen sollen insgesamt 1000 ppm nicht übersteigen.

### Tablettendichte

Die Tablettendichte des Brutstoffes beträgt  $95,0 \pm 2,0$  % TD.

### Tablettengeometrie

- Es werden hinsichtlich des Durchmessers zwei Sorten unterschieden, nämlich

Sorte  $b_1$  :  $5,10 \pm 0,03$  mm

Sorte  $b_2$  :  $5,00 \pm 0,03$  mm.

- Der Nennwert der Tablettenhöhe ist 6,50 mm. Die Einzelwerte können in einem Bereich von etwa 1 mm schwanken, wobei allerdings die Forderungen hinsichtlich der Höhe der Tabletensäulen und Säulenabschnitte erfüllt werden müssen.

### Oberfläche der Tabletten

Die Oberfläche darf keine sichtbaren Fehler aufweisen mit Ausnahme der beim Schleifen der Zylindermäntel unvermeidbar auftretenden Kantenabplatzungen. Dabei soll keine der linearen Abmessungen einer Abplatzung größer als 1 mm sein.

## 3.3 Hüllrohr

Die Abmessungen des Hüllrohres gehen aus Tab. 3 hervor.

Der verwendete Werkstoff hat die Nummer 1.4988 (austenitisch X8CrNiMoVNb 1613).

- Chemische Zusammensetzung ( Richtanalyse ) in Gew.%.

|                |                          |
|----------------|--------------------------|
| C              | max. 0,1                 |
| Ni             | 12,5 - 14,5              |
| Cr             | 15,5 - 17,5              |
| Fe             | Rest                     |
| Mo             | 1,1 - 1,5                |
| Nb             | max. $10 \times C + 0,4$ |
| V              | 0,6 - 0,85               |
| Mn             | 1,0 - 1,5                |
| S              | max. 0,02                |
| Si             | 0,3 - 0,3                |
| B              | max. 20 ppm              |
| N <sub>2</sub> | 0,1.                     |

#### 4. Auslegungsrechnung

##### 4.1 Bestrahlungsbedingungen

In Abb. 2 sind für einen typischen axialen Flußverlauf der FAFNIR-Kapsel im BR-2 die Stableistung, Hüllinnentemperatur, Brennstaboberflächentemperatur und die Zentraltemperatur angegeben /2/.

Für einen Abbrand von ca. 90,0 MWd/kgM ergeben sich für Standzeit und Flußdosis folgende Werte /1/:

| $\chi$ (W/cm) | Standzeit (d)<br>90/83 % Schmierd. | Flußdosis<br>(E > 0,1 MeV)                |
|---------------|------------------------------------|---|
| 350           | 520 / 480                          | ca. $7,5 \cdot 10^{21}$ n/cm <sup>2</sup> |
| 550           | 335 / 310                          |   |

##### 4.2 Spaltgasfreisetzung

Die Spaltgasfreisetzung ist eine Funktion der mittleren Brennstofftemperatur, der Porosität der Bestrahlungszeit, sowie der Leistungszyklen des jeweiligen Treiber-Cores. Es wurden zur Ermittlung der Freisetzungsrates verschiedene Modelle entwickelt. Es soll hier nur Abb. 3 angegeben werden, die nach COMETHE II /3/ gerechnet wurde.

##### 4.3 Hüllrohrbeanspruchung

Die Hüllrohre werden durch Innendruck (Spaltgas und Schwellen) und durch mech. Wechselwirkung zyklisch beansprucht. Die Spannungsverhältnisse wurden mit "CRASH" /3/ nachgerechnet, wobei die Vergleichsspannung nach Mises und das Kriechen nach Norton ermittelt wurden. Die Materialdaten für den Werkstoff Nr.1.4988 (unbestrahlt) sind aus /4/ entnommen.

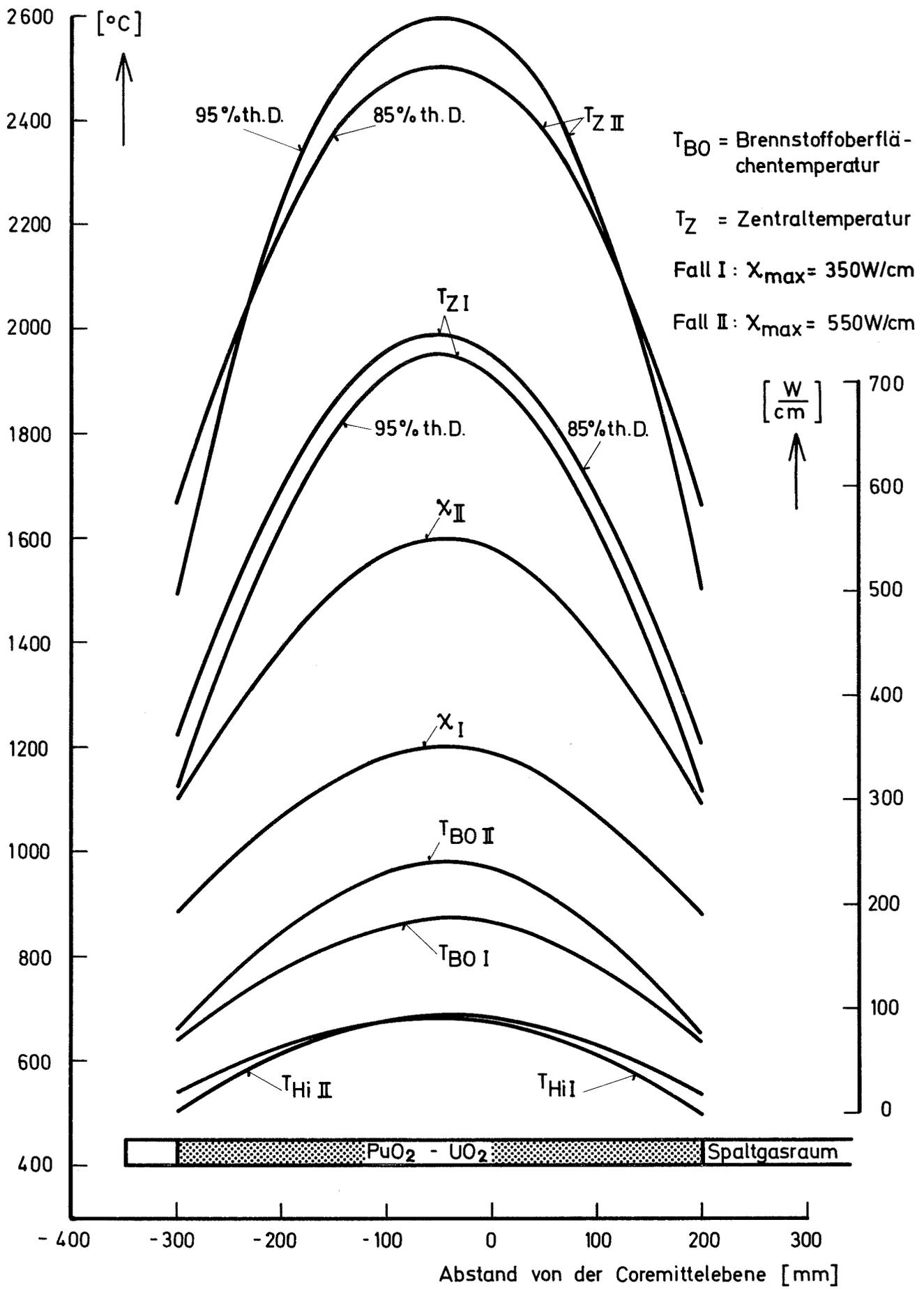


Abb. 2 Axialer Temperatur - und Leistungsverlauf im Brennstab für 85 und 95% th.D. der Tabletten

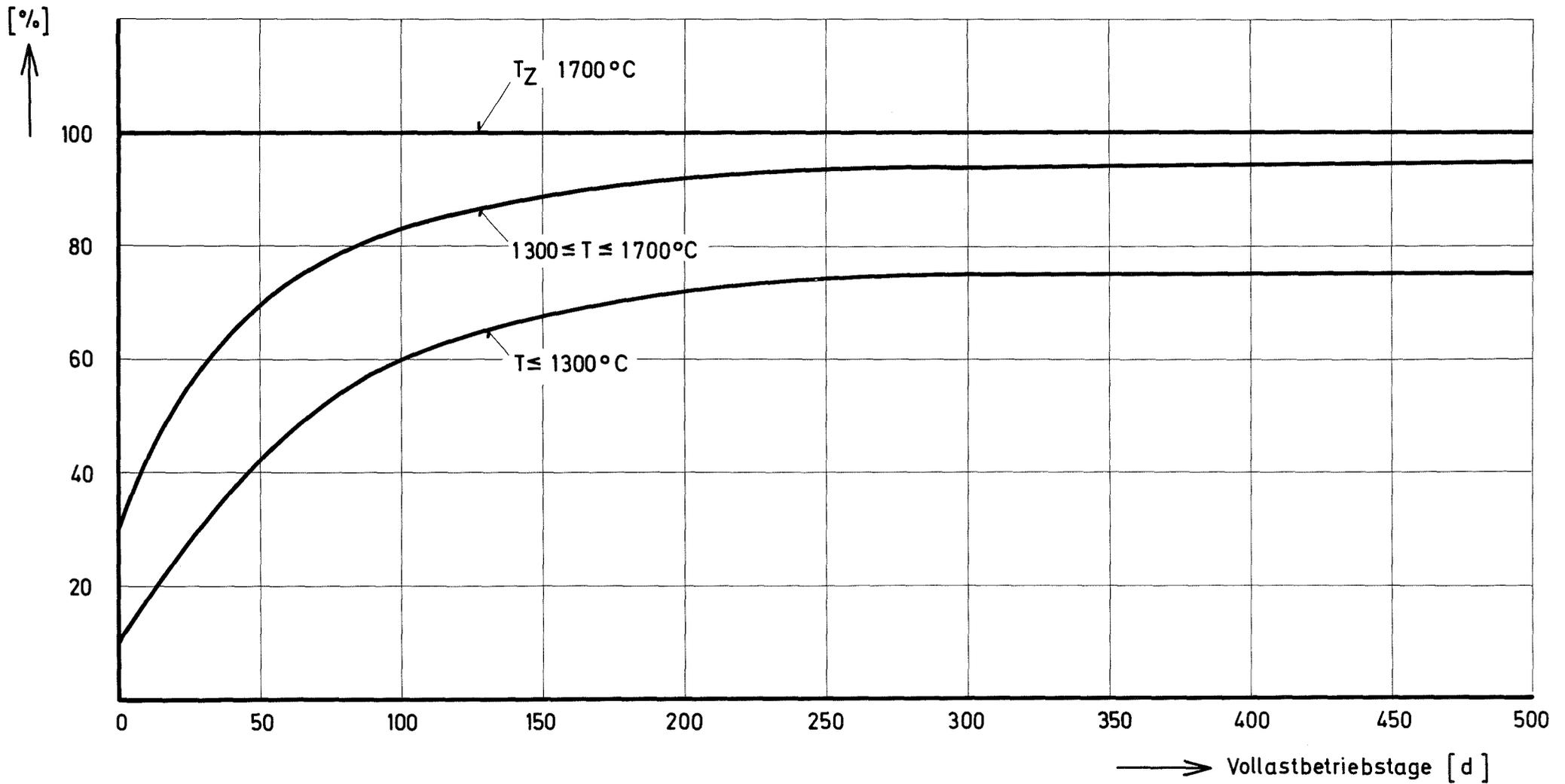


Abb. 3 Spaltgasfreisetzungsrates in Abhängigkeit von der Temperatur und der Bestrahlungszeit ( aus Comete II )

In der Tabelle 4 sind für den Ort der maximalen Stabileistung die Kriechrate und die maximale Vergleichsspannung für das Ende der Standzeit angegeben. Die Zyklusdauer beträgt im BR-2 ca. 21 Tage, wobei ca. 14 Tage Bestrahlungszeit sind. Die Belastung der Hülle durch Festkörperdruck aufgrund von Schwellen und Lastwechseln konnte nicht berücksichtigt werden.

Die maximale Kriechrate tritt an der Innenfaser, die maximale Vergleichsspannung an der Außenfaser auf. Verglichen mit den zulässigen Werten -  $\sigma_{0,2}$  (plastische Verformung),  $\epsilon_{zul}$  (aus Bestrahlungstests ermittelt) - zeigt es sich, daß noch eine große Sicherheitsspanne vorhanden ist. Jedoch reduziert sie sich durch die unbekanntenen Heißkanaleffekte, durch das Brennstoffschwellen und die mechanische Wechselwirkung aufgrund von Lastwechseln.

Tabelle 4 Hüllrohrbeanspruchung bei Mol 8C

|                             |                       | Fall I | Fall II |
|-----------------------------|-----------------------|--------|---------|
| Max. Stabileistung          | (W/cm)                | 350    | 550     |
| Standzeit                   | (h)                   | 18 150 | 11 590  |
| Vollastbetriebstage         | (h)                   | 12 100 | 7 660   |
| Anzahl der Zyklen im BR2    |                       | 36     | 23      |
| Max. Hüllinnentemperatur    | (°C)                  | 680    | 680     |
| Max. Vergleichsspannung     | (kp/mm <sup>2</sup> ) | 8,65   | 11,18   |
| Streckgrenze $\sigma_{0,2}$ | (kp/mm <sup>2</sup> ) | 18,80  | 18,80   |
| Max. Kriechrate             | (%)                   | 0,0069 | 0,0125  |
| Zulässige Kriechrate        | (%)                   | 0,15   | 0,15    |

## 5. Prüflingsherstellung

### 5.1 Ausgangspulver für den Brenn- und Brutstoff

Als oxidische Ausgangspulver standen zur Verfügung:

- a) UO<sub>2</sub> mit Natururan, ADU-gefällt, von Firma NUKEM für den Brennstoff
- b) UO<sub>2</sub> mit 93,01 % U-235, ADU-gefällt, von Firma NUKEM, für Tabletten der Brennstäbe 8C-1 bis 8C-4, 8C-9 und 8C-10
- c) UO<sub>2</sub> mit 93,16 % U-235, konvertiert, von Firma NUKEM, für die Tabletten der Brennstäbe 8C-5 bis 8C-8
- d) PuO<sub>2</sub> mit nominell 7,7 % Pu-240, oxalatgefällt aus verschiedenen Chargen der Lieferungen der USAEC.

Die genaue Isotopenzusammensetzung des Pu ist für die verwendeten Chargen in Tabelle 5 angegeben. Tabelle 6 enthält die chemischen Verunreinigungen der Ausgangspulver.

Tabelle 5 Isotopenzusammensetzung im PuO<sub>2</sub>

|                       | Meßergebnisse (Gew.-%) von |           |
|-----------------------|----------------------------|-----------|
|                       | Hanford/USA                | Karlsruhe |
| Charge FEU-25-04- 003 |                            |           |
| Pu-239                | 90,782                     | 90,887    |
| Pu-240                | 8,308                      | 8,232     |
| Pu-241                | 0,871                      | 0,842     |
| Pu-242                | 0,039                      | 0,039     |
| Charge EU-28-10-24    |                            |           |
| Pu-239                | 90,519                     | 90,498    |
| Pu-240                | 8,238                      | 8,278     |
| Pu-241                | 1,133                      | 1,127     |
| Pu-242                | 0,061                      | 0,061     |

Da bei den Brennstofftabletten 3 verschiedene Nenndichten laut Spezifikation gefordert wurden, wurde das unter b) und c) angeführte angereicherte UO<sub>2</sub> entsprechend der jeweiligen "Sinterfreudigkeit" für die oben angegebenen Stäbe verwendet. Das unter b) angeführte Pulver mußte für den Einsatz bei den Stäben des Typs T noch vorher kalziniert werden, da hier z.T. sehr niedrige Sinterdichten gefordert wurden. Es ergaben sich so 3 Grundgemische (s.Tab.7).

## 5.2 Tablettenherstellung

Die Pulvergemische wurden unter Zusatz von Polyvinylalkohol + H<sub>2</sub>O granuliert, bei 50°C getrocknet und durch ein Sieb mit 100 µm Maschenweite gestrichen.

Nach Volumendosierung dieses Granulats wurde mit 6 t/cm<sup>2</sup> gepreßt. Danach wurden die Tabletten entwachst und bei 1600°C unter Ar/5H<sub>2</sub> gesintert (Dauer 2h).

Die Meßergebnisse hinsichtlich Dichte und Geometrie sind in den Tabellen 8 - 17 angeführt. An einigen Brennstofftabletten eines jeden Mischansatzes wurden noch chemische Analysen durchgeführt (Tab.18).

Tabelle 6 : Chemische Verunreinigungen der Ausgangspulver (in ppm)

|    | UO <sub>2</sub> mit<br>Natururan | PuO <sub>2</sub> aus<br>FEU-25-04-003 | PuO <sub>2</sub> aus<br>EU-28-10-24 | UO <sub>2</sub> mit<br>93 <sup>2</sup> % U-235<br>ADU-gefällt | UO <sub>2</sub> mit<br>93 <sup>2</sup> % U-235<br>dir. konv. |
|----|----------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|---|--|
| Ag | 0,12                             | - <sup>+) )</sup>                     | -                                   | 0,3   | 0,16   |
| Al | < 8                              | -                                     | 100                                 | 12  | 29   |
| B  | < 0,08                           | -                                     | 1                                   | 0,11  | < 0,08   |
| C  | 140                              | -                                     | -                                   | 80  | -  |
| Ca | 26                               | -                                     | 90                                  | < 20  | -  |
| Cd | < 0,07                           | -                                     | < 1                                 | < 0,07  | < 0,07   |
| Cl | < 3                              | -                                     | -                                   | 7   | 32   |
| Co | < 1                              | -                                     | -                                   | < 1   | -  |
| Cr | < 3                              | 15                                    | < 5                                 | < 3   | 12   |
| Cu | -                                | -                                     | < 1                                 | -   | 0,5  |
| F  | 5                                | -                                     | -                                   | 12  | -  |
| Fe | 40                               | 100                                   | 40                                  | 63  | 75   |
| Cd | < 0,02                           | -                                     | -                                   | -   | -  |
| Mg | 2                                | 10                                    | 45                                  | 0,5   | -  |
| Mo | < 1                              | -                                     | < 10                                | < 1   | -  |
| Mn | < 1                              | -                                     | 5                                   | < 1   | 3  |
| N  | 18                               | -                                     | -                                   | 14  | -  |
| Ni | 6                                | 45                                    | 5                                   | 5   | 180  |
| P  | 6                                | -                                     | -                                   | 4   | -  |
| Pb | < 1                              | -                                     | < 10                                | < 1   | -  |
| Si | < 5                              | -                                     | < 10                                | < 5   | < 5  |
| Sn | < 5                              | -                                     | < 5                                 | < 5   | < 5  |
| Th | < 10                             | -                                     | -                                   | 96  | < 10   |
| V  | < 0,2                            | -                                     | < 10                                | 18  | < 3  |
| Zn | < 20                             | -                                     | < 50                                | < 20  | < 20   |
| Zr | < 0,2                            | -                                     | -                                   | 255   | -  |

+ ) bedeutet: nicht analysiert

Tabelle 7: Mischprotokoll für den Brennstoff

|                            |           |   |
|----------------------------|-----------|---|
| Misch-<br>kompo-<br>nenten | $K_{U1}$  | UO <sub>2</sub> mit 93,01 % U-235, ADU-gefällt        |
|                            | $K_{U2}$  | UO <sub>2</sub> mit 93,16 % U-235, direkt konvertiert |
|                            | $K_{Pu1}$ | PuO <sub>2</sub> aus Charge FEU-25-04-003             |
|                            | $K_{Pu2}$ | PuO <sub>2</sub> aus Charge EU-28-10-24               |

|   | K o m p o n e n t e n |              |           | Gesamt-<br>menge (g) | $\frac{Pu}{U+Pu}$ (Gew.-%) |
|---|-----------------------|--------------|-----------|----------------------|----------------------------|
|   | Herkunft              | Vorbehandlg. | Menge (g) |                      |                            |
| 1 | $K_{Pu1}$             | unkalz.      | 164,2     | 804,6                | 20,41                      |
|   | $K_{U1}$              | unkalz.      | 640,4     |                      |                            |
| 2 | $K_{Pu2}$             | unkalz.      | 193,23    | 963,45               | 20,06                      |
|   | $K_{U2}$              | unkalz.      | 770,22    |                      |                            |
| 3 | $K_{Pu2}$             | unkalz.      | 68,00     | 340,00               | 20,00                      |
|   | $K_{U1}$              | unkalz.      | 272,00    |                      |                            |

| EINZELWERTE                                    |             | Gewicht<br>(g) | Höhe<br>(mm) | Durchmesser<br>(mm) | Geom. Dichte<br>(% th.D. ) |
|--|-------------|----------------|--------------|---------------------|----------------------------|
| Unteres<br>Ende<br>der<br>Brennstoff-<br>säule | 1           | 1,3736         | 6,440        | 5,100               | 95,04                      |
|  | 2           | 1,3699         | 6,440        | 5,090               | 95,16                      |
|  | 3           | 1,3663         | 6,410        | 5,100               | 94,98                      |
|  | 4           | 1,3550         | 6,405        | 5,095               | 94,45                      |
|  | 5           | 1,3834         | 6,465        | 5,100               | 95,35                      |
|  | 6           | 1,3620         | 6,395        | 5,105               | 94,72                      |
|  | 7           | 1,3668         | 6,425        | 5,095               | 94,98                      |
|  | 8           | 1,3517         | 6,415        | 5,085               | 94,45                      |
|  | 9           | 1,3774         | 6,450        | 5,105               | 94,97                      |
|  | 10          | 1,3784         | 6,445        | 5,100               | 95,30                      |
|  | 11          | 1,3667         | 6,440        | 5,095               | 94,75                      |
|  | 12          | 1,3617         | 6,415        | 5,090               | 94,96                      |
|  | 13          | 1,3877         | 6,485        | 5,095               | 95,54                      |
|  | 14          | 1,3782         | 6,455        | 5,095               | 95,33                      |
|  | 15          | 1,3687         | 6,435        | 5,095               | 94,96                      |
|  | 16          | 1,3661         | 6,410        | 5,095               | 95,15                      |
|  | 17          | 1,3626         | 6,400        | 5,095               | 95,06                      |
|  | 18          | 1,3649         | 6,435        | 5,105               | 94,33                      |
|  | 19          | 1,3989         | 6,525        | 5,090               | 95,91                      |
|  | 20          | 1,3842         | 6,460        | 5,105               | 95,29                      |
|  | 21          | 1,3652         | 6,440        | 5,085               | 95,02                      |
|  | 22          | 1,3636         | 6,475        | 5,100               | 93,84                      |
|  | 23          | 1,3745         | 6,480        | 5,085               | 95,08                      |
|  | 24          | 1,3891         | 6,460        | 5,105               | 95,63                      |
|  | 25          | 1,3724         | 6,425        | 5,100               | 95,18                      |
|  | 26          | 1,3829         | 6,450        | 5,100               | 95,54                      |
|  | 27          | 1,3733         | 6,445        | 5,100               | 94,95                      |
|  | 28          | 1,3778         | 6,465        | 5,085               | 95,53                      |
|  | 29          | 1,3667         | 6,410        | 5,090               | 95,38                      |
|  | 30          | 1,3722         | 6,435        | 5,100               | 95,02                      |
|  | 31          | 1,3816         | 6,455        | 5,100               | 95,37                      |
|  | 32          | 1,3762         | 6,440        | 5,100               | 95,22                      |
|  | 33          | 1,3771         | 6,440        | 5,100               | 95,29                      |
|  | 34          | 1,3908         | 6,505        | 5,095               | 95,46                      |
|  | 35          | 1,3781         | 6,440        | 5,110               | 94,98                      |
|  | 36          | 1,3898         | 6,505        | 5,085               | 95,77                      |
|  | 37          | 1,3849         | 6,470        | 5,095               | 95,57                      |
|  | 38          | 1,3612         | 6,505        | 5,085               | 93,80                      |
|  | 39          | 1,3592         | 6,420        | 5,080               | 95,08                      |
|  | 40          | 1,3620         | 6,400        | 5,100               | 94,83                      |
|  | 41          | 1,4071         | 6,520        | 5,100               | 96,17                      |
|  | 42          | 1,3630         | 6,455        | 5,090               | 94,46                      |
|  | 43          | 1,3746         | 6,455        | 5,090               | 95,26                      |
|  | 44          | 1,3715         | 6,435        | 5,100               | 94,97                      |
|  | 45          | 1,3834         | 6,455        | 5,100               | 95,50                      |
|  | 46          | 1,3577         | 6,420        | 5,080               | 94,98                      |
|  | 47          | 1,3623         | 6,415        | 5,095               | 94,81                      |
|  | 48          | 1,3746         | 6,485        | 5,090               | 94,82                      |
|  | 49          | 1,3763         | 6,450        | 5,100               | 95,08                      |
|  | 50          | 1,3887         | 6,480        | 5,105               | 95,31                      |
| 51   | 1,3863      | 6,470          | 5,110        | 95,10               |                            |
| 52   | 1,3704      | 6,435          | 5,100        | 94,90               |                            |
| 53   | 1,3696      | 6,430          | 5,095        | 95,10               |                            |
| 54   | 1,3755      | 6,445          | 5,090        | 95,48               |                            |
| 55   | 1,3791      | 6,455          | 5,100        | 95,20               |                            |
| 56   | 1,3828      | 6,480          | 5,095        | 95,28               |                            |
| 57   | 1,3419      | 6,420          | 5,080        | 93,87               |                            |
| 58   | 1,3773      | 6,435          | 5,105        | 95,19               |                            |
| 59   | 1,3690      | 6,430          | 5,095        | 95,06               |                            |
| 60   | 1,3694      | 6,440          | 5,100        | 94,75               |                            |
| 61   | 1,3668      | 6,410          | 5,100        | 95,02               |                            |
| 62   | 1,3742      | 6,475          | 5,085        | 95,13               |                            |
| 63   | 1,3789      | 6,460          | 5,105        | 94,93               |                            |
| 64   | 1,3663      | 6,425          | 5,100        | 94,76               |                            |
| 65   | 1,3760      | 6,445          | 5,105        | 94,95               |                            |
| 66   | 1,3698      | 6,410          | 5,105        | 95,04               |                            |
| 67   | 1,3628      | 6,410          | 5,100        | 94,74               |                            |
| 68   | 1,3627      | 6,430          | 5,080        | 94,48               |                            |
| 69   | 1,3761      | 6,435          | 5,110        | 94,92               |                            |
| 70   | 1,3762      | 6,450          | 5,095        | 95,26               |                            |
| 71   | 1,3778      | 6,440          | 5,100        | 95,33               |                            |
| 72   | 1,3702      | 6,425          | 5,100        | 95,03               |                            |
| 73   | 1,3679      | 6,425          | 5,095        | 95,06               |                            |
| Oberes<br>Ende<br>der<br>Brennstoff-<br>säule  | 74          | 1,3843         | 6,470        | 5,095               | 95,53                      |
|  | 75          | 1,3864         | 6,480        | 5,095               | 95,52                      |
|  | 76          | 1,3727         | 6,430        | 5,105               | 94,94                      |
|  | 77          | 1,3918         | 6,475        | 5,105               | 95,59                      |
|  | 78          | 1,3840         | 6,455        | 5,105               | 95,35                      |
|  | 79          | 1,3732         | 6,460        | 5,090               | 95,09                      |
|  | 80          | 1,3742         | 6,435        | 5,100               | 95,16                      |
|  | 81          | 1,3700         | 6,435        | 5,095               | 95,05                      |
|  | GESAMTWERTE |                | 111,2556     | 521,704             |                            |
| MITTELWERTE                                    |             |                |              | 5,098               | 95,010                     |

Tabelle 8

Brennstoffsäule  
für  
Brennstab 8C-1

Tabelle 9:

Brennstoffsäule  
für  
Brennstab 8C-2

| EINZELWERTE |    | Gewicht<br>(g) | Höhe<br>(mm) | Durchmesser<br>(mm) | Geom.Dichte<br>(% th.D.) |
|-------------|----|----------------|--------------|---------------------|--------------------------|
| Unteres     | 1  | 1,3701         | 6,425        | 5,105               | 94,84                    |
|             | 2  | 1,3844         | 6,475        | 5,100               | 95,27                    |
| Ende        | 3  | 1,3707         | 6,480        | 5,075               | 95,19                    |
| der         | 4  | 1,3877         | 6,485        | 5,095               | 95,54                    |
| Brennstoff- | 5  | 1,3877         | 6,465        | 5,100               | 95,65                    |
| säule       | 6  | 1,3712         | 6,435        | 5,095               | 95,14                    |
|             | 7  | 1,3873         | 6,460        | 5,105               | 95,51                    |
|             | 8  | 1,3650         | 6,420        | 5,095               | 94,93                    |
|             | 9  | 1,3627         | 6,435        | 5,085               | 94,92                    |
|             | 10 | 1,3783         | 6,455        | 5,100               | 95,15                    |
|             | 11 | 1,3730         | 6,425        | 5,105               | 95,04                    |
|             | 12 | 1,3734         | 6,420        | 5,100               | 95,33                    |
|             | 13 | 1,3622         | 6,430        | 5,105               | 94,22                    |
|             | 14 | 1,3700         | 6,425        | 5,100               | 95,02                    |
|             | 15 | 1,3777         | 6,465        | 5,100               | 94,96                    |
|             | 16 | 1,3755         | 6,450        | 5,095               | 95,21                    |
|             | 17 | 1,3697         | 6,425        | 5,080               | 95,74                    |
|             | 18 | 1,3759         | 6,435        | 5,090               | 95,65                    |
|             | 19 | 1,3553         | 6,405        | 5,080               | 95,03                    |
|             | 20 | 1,3667         | 6,430        | 5,090               | 95,09                    |
|             | 21 | 1,3745         | 6,470        | 5,095               | 94,85                    |
|             | 22 | 1,3702         | 6,450        | 5,100               | 94,66                    |
|             | 23 | 1,3618         | 6,410        | 5,095               | 94,85                    |
|             | 24 | 1,3649         | 6,400        | 5,100               | 95,03                    |
|             | 25 | 1,3581         | 6,385        | 5,095               | 94,97                    |
|             | 26 | 1,3636         | 6,400        | 5,100               | 94,94                    |
|             | 27 | 1,3728         | 6,470        | 5,100               | 94,55                    |
|             | 28 | 1,3554         | 6,380        | 5,100               | 94,67                    |
|             | 29 | 1,3699         | 6,450        | 5,100               | 94,64                    |
|             | 30 | 1,3694         | 6,460        | 5,095               | 94,65                    |
|             | 31 | 1,3693         | 6,440        | 5,100               | 94,75                    |
|             | 32 | 1,3724         | 6,440        | 5,100               | 94,96                    |
|             | 33 | 1,3522         | 6,370        | 5,100               | 94,59                    |
|             | 34 | 1,3574         | 6,405        | 5,090               | 94,81                    |
|             | 35 | 1,3765         | 6,440        | 5,095               | 95,43                    |
|             | 36 | 1,3619         | 6,435        | 5,100               | 94,31                    |
|             | 37 | 1,3727         | 6,460        | 5,100               | 94,69                    |
|             | 38 | 1,3757         | 6,435        | 5,095               | 95,45                    |
|             | 39 | 1,3902         | 6,475        | 5,100               | 95,67                    |
|             | 40 | 1,3793         | 6,455        | 5,100               | 95,22                    |
|             | 41 | 1,3688         | 6,450        | 5,100               | 94,56                    |
|             | 42 | 1,3554         | 6,405        | 5,095               | 94,48                    |
|             | 43 | 1,3864         | 6,490        | 5,100               | 95,19                    |
|             | 44 | 1,3799         | 6,455        | 5,095               | 95,44                    |
|             | 45 | 1,3623         | 6,390        | 5,100               | 95,00                    |
|             | 46 | 1,3638         | 6,400        | 5,100               | 94,96                    |
|             | 47 | 1,3661         | 6,410        | 5,105               | 94,78                    |
|             | 48 | 1,3985         | 6,480        | 5,105               | 95,98                    |
|             | 49 | 1,3799         | 6,430        | 5,105               | 95,44                    |
|             | 50 | 1,3669         | 6,415        | 5,100               | 94,95                    |
|             | 51 | 1,3821         | 6,475        | 5,095               | 95,30                    |
|             | 52 | 1,3758         | 6,420        | 5,110               | 95,12                    |
|             | 53 | 1,3710         | 6,420        | 5,105               | 94,97                    |
|             | 54 | 1,3851         | 6,455        | 5,105               | 95,43                    |
|             | 55 | 1,4191         | 6,560        | 5,110               | 96,02                    |
|             | 56 | 1,3800         | 6,425        | 5,110               | 95,34                    |
|             | 57 | 1,3653         | 6,430        | 5,085               | 95,18                    |
|             | 58 | 1,3839         | 6,450        | 5,105               | 95,42                    |
|             | 59 | 1,3806         | 6,455        | 5,100               | 95,31                    |
|             | 60 | 1,3781         | 6,435        | 5,105               | 95,24                    |
|             | 61 | 1,3782         | 6,445        | 5,105               | 95,10                    |
|             | 62 | 1,3783         | 6,480        | 5,100               | 94,78                    |
|             | 63 | 1,3593         | 6,465        | 5,100               | 93,69                    |
|             | 64 | 1,3910         | 6,480        | 5,105               | 95,47                    |
|             | 65 | 1,3756         | 6,420        | 5,110               | 95,11                    |
|             | 66 | 1,3768         | 6,445        | 5,095               | 95,38                    |
|             | 67 | 1,3826         | 6,465        | 5,100               | 95,30                    |
|             | 68 | 1,3829         | 6,455        | 5,100               | 95,46                    |
|             | 69 | 1,3769         | 6,430        | 5,105               | 95,23                    |
|             | 70 | 1,3706         | 6,425        | 5,105               | 94,87                    |
|             | 71 | 1,3811         | 6,435        | 5,100               | 95,64                    |
|             | 72 | 1,3654         | 5,400        | 5,095               | 94,90                    |
| Oberes      | 73 | 1,3865         | 6,455        | 5,105               | 95,53                    |
| Ende        | 74 | 1,3830         | 6,450        | 5,100               | 95,55                    |
| der         | 75 | 1,3799         | 6,480        | 5,085               | 95,45                    |
| Brennstoff- | 76 | 1,4026         | 6,520        | 5,095               | 96,05                    |
| säule       | 77 | 1,3716         | 6,430        | 5,090               | 95,43                    |
|             | 78 | 1,3649         | 6,400        | 5,100               | 95,03                    |
|             | 79 | 1,3792         | 6,435        | 5,105               | 95,32                    |
|             | 80 | 1,3809         | 6,470        | 5,100               | 95,11                    |
|             | 81 | 1,3704         | 6,410        | 5,110               | 94,89                    |
| GESAMTWERTE |    | 111,3194       | 521,72       |                     |                          |
| MITTELWERTE |    |                |              | 5,099               | 95,118                   |

| EINZELWERTE                               |        | Gewicht<br>(g) | Höhe<br>(mm) | Durchmesser<br>(mm) | Geom.Dichte<br>(% th. D.) |
|---|--------|----------------|--------------|---------------------|---------------------------|
| Unteres<br>Ende<br>der<br>Brennstoffsäule | 1      | 1,3659         | 6,400        | 5,105               | 94,92                     |
|   | 2      | 1,3690         | 6,465        | 5,100               | 94,36                     |
|   | 3      | 1,3724         | 6,425        | 5,100               | 95,18                     |
|   | 4      | 1,3668         | 6,405        | 5,100               | 95,09                     |
|   | 5      | 1,4239         | 6,565        | 5,110               | 96,27                     |
|   | 6      | 1,3560         | 6,385        | 5,095               | 94,82                     |
|   | 7      | 1,3775         | 6,435        | 5,110               | 95,01                     |
|   | 8      | 1,3872         | 6,465        | 5,115               | 95,05                     |
|   | 9      | 1,3707         | 6,425        | 5,100               | 95,06                     |
|   | 10     | 1,3727         | 6,415        | 5,100               | 95,35                     |
|   | 11     | 1,3732         | 6,420        | 5,105               | 95,13                     |
|   | 12     | 1,3802         | 6,425        | 5,110               | 95,35                     |
|   | 13     | 1,3957         | 6,490        | 5,100               | 95,83                     |
|   | 14     | 1,3689         | 6,415        | 5,105               | 94,90                     |
|   | 15     | 1,3843         | 6,450        | 5,100               | 95,64                     |
|   | 16     | 1,3856         | 6,455        | 5,100               | 95,65                     |
|   | 17     | 1,3652         | 6,415        | 5,100               | 94,83                     |
|   | 18     | 1,3775         | 6,430        | 5,105               | 95,27                     |
|   | 19     | 1,3719         | 6,410        | 5,105               | 95,18                     |
|   | 20     | 1,3679         | 6,405        | 5,100               | 95,17                     |
|   | 21     | 1,3864         | 6,455        | 5,100               | 95,71                     |
|   | 22     | 1,3777         | 6,435        | 5,110               | 95,03                     |
|   | 23     | 1,3804         | 6,455        | 5,100               | 95,29                     |
|   | 24     | 1,3643         | 6,410        | 5,095               | 95,03                     |
|   | 25     | 1,3597         | 6,420        | 5,085               | 94,93                     |
|   | 26     | 1,3703         | 6,430        | 5,095               | 95,15                     |
|   | 27     | 1,3596         | 6,410        | 5,110               | 94,15                     |
|   | 28     | 1,3774         | 6,435        | 5,110               | 95,01                     |
|   | 29     | 1,3807         | 6,430        | 5,105               | 95,50                     |
|   | 30     | 1,3681         | 6,410        | 5,105               | 94,92                     |
|   | 31     | 1,3876         | 6,460        | 5,095               | 95,90                     |
|   | 32     | 1,3679         | 6,410        | 5,100               | 95,09                     |
|   | 33     | 1,3759         | 6,430        | 5,100               | 95,35                     |
|   | 34     | 1,3894         | 6,455        | 5,110               | 95,54                     |
|   | 35     | 1,3863         | 6,460        | 5,100               | 95,63                     |
|   | 36     | 1,3608         | 6,405        | 5,095               | 94,86                     |
|   | 37     | 1,3670         | 6,395        | 5,100               | 95,25                     |
|   | 38     | 1,3795         | 6,445        | 5,105               | 95,19                     |
|   | 39     | 1,3809         | 6,420        | 5,115               | 95,29                     |
|   | 40     | 1,3826         | 6,445        | 5,105               | 95,40                     |
|   | 41     | 1,3800         | 6,430        | 5,110               | 95,26                     |
|   | 42     | 1,3790         | 6,460        | 5,090               | 95,50                     |
|   | 43     | 1,3639         | 6,415        | 5,095               | 94,93                     |
|   | 44     | 1,3599         | 6,425        | 5,085               | 94,87                     |
|   | 45     | 1,3633         | 6,440        | 5,110               | 93,96                     |
|   | 46     | 1,4007         | 6,530        | 5,090               | 95,96                     |
|   | 47     | 1,3856         | 6,455        | 5,105               | 95,46                     |
|   | 48     | 1,3783         | 6,435        | 5,110               | 95,07                     |
|   | 49     | 1,3757         | 6,450        | 5,100               | 95,04                     |
|   | 50     | 1,3670         | 6,430        | 5,100               | 94,73                     |
|   | 51     | 1,4040         | 6,495        | 5,110               | 95,95                     |
|   | 52     | 1,3790         | 6,435        | 5,110               | 95,12                     |
|   | 53     | 1,3815         | 6,455        | 5,100               | 95,37                     |
|   | 54     | 1,3728         | 6,435        | 5,105               | 94,88                     |
|   | 55     | 1,3883         | 6,455        | 5,110               | 95,46                     |
|   | 56     | 1,3809         | 6,460        | 5,105               | 95,07                     |
|   | 57     | 1,3752         | 6,440        | 5,110               | 94,78                     |
|   | 58     | 1,3826         | 6,460        | 5,100               | 95,37                     |
|   | 59     | 1,3636         | 6,400        | 5,105               | 94,76                     |
|   | 60     | 1,3816         | 6,450        | 5,100               | 95,45                     |
|   | 61     | 1,3694         | 6,410        | 5,100               | 95,20                     |
|   | 62     | 1,3769         | 6,420        | 5,115               | 95,01                     |
|   | 63     | 1,3972         | 6,480        | 5,110               | 95,70                     |
|   | 64     | 1,3832         | 6,440        | 5,110               | 95,33                     |
|   | 65     | 1,3889         | 6,475        | 5,090               | 95,96                     |
|   | 66     | 1,3539         | 6,375        | 5,100               | 94,64                     |
|   | 67     | 1,3599         | 6,415        | 5,085               | 95,02                     |
|   | 68     | 1,3696         | 6,410        | 5,115               | 94,65                     |
|   | 69     | 1,3657         | 6,425        | 5,085               | 95,28                     |
|   | 70     | 1,3773         | 6,425        | 5,105               | 95,34                     |
|   | 71     | 1,3856         | 6,465        | 5,095               | 95,69                     |
|   | 72     | 1,3732         | 6,430        | 5,100               | 95,16                     |
|   | 73     | 1,3938         | 6,455        | 5,110               | 95,84                     |
|   | 74     | 1,3643         | 6,395        | 5,105               | 94,88                     |
|   | 75     | 1,4054         | 6,520        | 5,095               | 96,24                     |
|   | 76     | 1,3747         | 6,410        | 5,105               | 95,38                     |
|   | 77     | 1,3639         | 6,405        | 5,105               | 94,70                     |
|   | 78     | 1,3784         | 6,440        | 5,110               | 95,00                     |
|   | 79     | 1,3905         | 6,470        | 5,100               | 95,77                     |
|   | 80     | 1,3852         | 6,455        | 5,110               | 95,25                     |
| 81  | 1,3744 | 6,415          | 5,110        | 95,10               |                           |
| GESAMTWERTE                               |        | 111,5293       | 521,396      |                     |                           |
| MITTELWERTE                               |        |                |              | 5,103               | 95,215                    |

Tabelle 10:

Brennstoffsäule

für

Brennstab 8C-3

Tabelle 11:

Brennstoffsäule  
für  
Brennstab 8C-4

| EINZELWERTE |    | Gewicht<br>(g) | Höhe<br>(mm) | Durchmesser<br>(mm) | Geom.Dichte<br>(% th. D.) |
|-------------|----|----------------|--------------|---------------------|---------------------------|
| Unteres     | 1  | 1,3825         | 6,435        | 5,110               | 95,36                     |
|             | 2  | 1,3583         | 6,390        | 5,100               | 94,72                     |
| Ende        | 3  | 1,3883         | 6,455        | 5,110               | 95,46                     |
| der         | 4  | 1,3808         | 6,435        | 5,110               | 95,24                     |
| Brennstoff- | 5  | 1,3756         | 6,430        | 5,105               | 95,14                     |
| säule       | 6  | 1,3729         | 6,420        | 5,110               | 94,92                     |
|             | 7  | 1,3777         | 6,445        | 5,105               | 95,07                     |
|             | 8  | 1,3860         | 6,450        | 5,110               | 95,38                     |
|             | 9  | 1,3736         | 6,440        | 5,105               | 94,86                     |
|             | 10 | 1,3732         | 6,430        | 5,105               | 94,98                     |
|             | 11 | 1,3682         | 6,430        | 5,095               | 95,00                     |
|             | 12 | 1,3718         | 6,430        | 5,105               | 94,88                     |
|             | 13 | 1,3681         | 6,420        | 5,105               | 94,77                     |
|             | 14 | 1,3647         | 6,415        | 5,090               | 95,17                     |
|             | 15 | 1,3862         | 6,465        | 5,105               | 95,36                     |
|             | 16 | 1,3948         | 6,475        | 5,105               | 95,80                     |
|             | 17 | 1,3819         | 6,475        | 5,100               | 95,10                     |
|             | 18 | 1,4213         | 6,550        | 5,110               | 96,31                     |
|             | 19 | 1,3762         | 6,460        | 5,085               | 95,49                     |
|             | 20 | 1,3741         | 6,410        | 5,105               | 95,34                     |
|             | 21 | 1,3773         | 6,435        | 5,095               | 95,56                     |
|             | 22 | 1,3716         | 6,430        | 5,095               | 95,24                     |
|             | 23 | 1,3714         | 6,425        | 5,095               | 95,30                     |
|             | 24 | 1,3584         | 6,435        | 5,085               | 94,62                     |
|             | 25 | 1,3735         | 6,410        | 5,105               | 95,29                     |
|             | 26 | 1,3763         | 6,425        | 5,105               | 95,26                     |
|             | 27 | 1,3755         | 6,415        | 5,110               | 95,17                     |
|             | 28 | 1,3702         | 6,410        | 5,100               | 95,25                     |
|             | 29 | 1,3814         | 6,440        | 5,105               | 95,40                     |
|             | 30 | 1,3711         | 6,395        | 5,110               | 95,16                     |
|             | 31 | 1,3855         | 6,445        | 5,115               | 95,23                     |
|             | 32 | 1,3726         | 6,425        | 5,100               | 95,20                     |
|             | 33 | 1,3768         | 6,445        | 5,105               | 95,00                     |
|             | 34 | 1,3693         | 6,425        | 5,100               | 95,26                     |
|             | 35 | 1,3764         | 6,450        | 5,100               | 95,09                     |
|             | 36 | 1,3688         | 6,420        | 5,095               | 95,19                     |
|             | 37 | 1,3602         | 6,385        | 5,100               | 94,93                     |
|             | 38 | 1,3743         | 6,450        | 5,105               | 94,76                     |
|             | 39 | 1,3850         | 6,445        | 5,105               | 95,57                     |
|             | 40 | 1,3723         | 6,415        | 5,110               | 94,95                     |
|             | 41 | 1,3735         | 6,440        | 5,105               | 94,85                     |
|             | 42 | 1,3794         | 6,450        | 5,095               | 95,48                     |
|             | 43 | 1,3770         | 6,435        | 5,100               | 95,35                     |
|             | 44 | 1,3724         | 6,420        | 5,100               | 95,26                     |
|             | 45 | 1,3816         | 6,455        | 5,095               | 95,56                     |
|             | 46 | 1,3743         | 6,435        | 5,095               | 95,35                     |
|             | 47 | 1,3769         | 6,455        | 5,090               | 95,42                     |
|             | 48 | 1,3804         | 6,430        | 5,115               | 95,10                     |
|             | 49 | 1,3715         | 6,445        | 5,095               | 95,01                     |
|             | 50 | 1,3612         | 6,420        | 5,090               | 94,85                     |
|             | 51 | 1,3702         | 6,435        | 5,090               | 95,26                     |
|             | 52 | 1,3645         | 6,425        | 5,085               | 95,19                     |
|             | 53 | 1,3708         | 6,410        | 5,110               | 94,92                     |
|             | 54 | 1,3901         | 6,470        | 5,100               | 95,74                     |
|             | 55 | 1,3670         | 6,405        | 5,100               | 95,10                     |
|             | 56 | 1,3807         | 6,440        | 5,110               | 95,16                     |
|             | 57 | 1,3811         | 6,455        | 5,110               | 94,97                     |
|             | 58 | 1,3812         | 6,445        | 6,105               | 95,31                     |
|             | 59 | 1,3666         | 6,405        | 5,100               | 95,08                     |
|             | 60 | 1,3862         | 6,440        | 5,110               | 95,54                     |
|             | 61 | 1,3717         | 6,435        | 5,095               | 95,17                     |
|             | 62 | 1,3751         | 6,440        | 5,095               | 95,90                     |
|             | 63 | 1,3676         | 6,440        | 5,080               | 95,37                     |
|             | 64 | 1,3676         | 6,415        | 5,100               | 95,00                     |
|             | 65 | 1,3672         | 6,430        | 5,095               | 94,93                     |
|             | 66 | 1,3746         | 6,430        | 5,105               | 95,07                     |
|             | 67 | 1,4052         | 6,500        | 5,110               | 95,96                     |
|             | 68 | 1,3503         | 6,445        | 5,080               | 94,10                     |
|             | 69 | 1,3722         | 6,420        | 5,100               | 95,24                     |
|             | 70 | 1,3919         | 6,470        | 5,105               | 95,68                     |
|             | 71 | 1,3805         | 6,430        | 5,115               | 95,11                     |
|             | 72 | 1,3793         | 6,445        | 5,105               | 95,18                     |
|             | 73 | 1,3838         | 6,440        | 5,105               | 95,56                     |
|             | 74 | 1,3611         | 6,390        | 5,105               | 94,73                     |
| Oberes      | 75 | 1,3765         | 6,445        | 5,100               | 95,17                     |
| Ende        | 76 | 1,3733         | 6,435        | 5,105               | 94,91                     |
| der         | 77 | 1,3815         | 6,430        | 5,105               | 95,55                     |
| Brennstoff- | 78 | 1,3755         | 6,435        | 5,100               | 95,25                     |
| säule       | 79 | 1,3723         | 6,440        | 5,100               | 94,95                     |
|             | 80 | 1,3764         | 6,450        | 5,110               | 94,72                     |
|             | 81 | 1,3718         | 6,425        | 5,100               | 95,14                     |
| GESAMTWERTE |    | 111,4621       | 521,74       |                     |                           |
| MITTELWERTE |    |                |              | 5,102               | 95,197                    |

| EINZELWERTE                                    |    | Gewicht<br>(g) | Höhe<br>(mm) | Durchmesser<br>(mm) | Geom.Dichte<br>(% th. D.) |
|--|----|----------------|--------------|---------------------|---------------------------|
| Unteres<br>Ende<br>der<br>Brennstoff-<br>säule | 1  | 1,2952         | 6,625        | 5,100               | 87,11                     |
|  | 2  | 1,2925         | 6,555        | 5,110               | 87,52                     |
|  | 3  | 1,2879         | 6,585        | 5,100               | 87,15                     |
|  | 4  | 1,2845         | 6,570        | 5,110               | 86,78                     |
|  | 5  | 1,2699         | 6,510        | 5,100               | 86,92                     |
|  | 6  | 1,3024         | 6,605        | 5,110               | 87,52                     |
|  | 7  | 1,2221         | 6,320        | 5,100               | 86,17                     |
|  | 8  | 1,2682         | 6,435        | 5,100               | 87,82                     |
|  | 9  | 1,2656         | 6,585        | 5,090               | 85,97                     |
|  | 10 | 1,2613         | 6,595        | 5,080               | 85,89                     |
|  | 11 | 1,3007         | 6,655        | 5,105               | 86,92                     |
|  | 12 | 1,2871         | 6,495        | 5,100               | 88,29                     |
|  | 13 | 1,2803         | 6,510        | 5,100               | 87,64                     |
|  | 14 | 1,2930         | 6,545        | 5,100               | 88,03                     |
|  | 15 | 1,2918         | 6,535        | 5,100               | 88,08                     |
|  | 16 | 1,2774         | 6,615        | 5,095               | 86,22                     |
|  | 17 | 1,2569         | 6,560        | 5,085               | 85,88                     |
|  | 18 | 1,2783         | 6,475        | 5,100               | 87,97                     |
|  | 19 | 1,2637         | 6,560        | 5,100               | 85,84                     |
|  | 20 | 1,2429         | 6,440        | 5,105               | 85,83                     |
|  | 21 | 1,2804         | 6,560        | 5,095               | 87,14                     |
|  | 22 | 1,2755         | 6,520        | 5,105               | 87,00                     |
|  | 23 | 1,2740         | 6,515        | 5,100               | 87,14                     |
|  | 24 | 1,2943         | 6,570        | 5,105               | 87,61                     |
|  | 25 | 1,2673         | 6,505        | 5,100               | 86,81                     |
|  | 26 | 1,2829         | 6,585        | 5,105               | 86,64                     |
|  | 27 | 1,2773         | 6,535        | 5,110               | 86,75                     |
|  | 28 | 1,2878         | 6,555        | 5,100               | 87,54                     |
|  | 29 | 1,2626         | 6,505        | 5,100               | 86,49                     |
|  | 30 | 1,2669         | 6,510        | 5,100               | 86,72                     |
|  | 31 | 1,2784         | 6,580        | 5,100               | 86,58                     |
|  | 32 | 1,2483         | 6,490        | 5,095               | 85,88                     |
|  | 33 | 1,2826         | 6,540        | 5,095               | 87,56                     |
|  | 34 | 1,2556         | 6,500        | 5,100               | 86,08                     |
|  | 35 | 1,2538         | 6,360        | 5,110               | 87,50                     |
|  | 36 | 1,2368         | 6,365        | 5,100               | 86,59                     |
|  | 37 | 1,2794         | 6,520        | 5,100               | 86,64                     |
|  | 38 | 1,2673         | 6,550        | 5,100               | 86,22                     |
|  | 39 | 1,2632         | 6,520        | 5,095               | 86,50                     |
|  | 40 | 1,2708         | 6,500        | 5,100               | 87,12                     |
|  | 41 | 1,2815         | 6,550        | 5,110               | 86,84                     |
|  | 42 | 1,2835         | 6,580        | 5,105               | 86,75                     |
|  | 43 | 1,2318         | 6,370        | 5,100               | 86,17                     |
|  | 44 | 1,2854         | 6,550        | 5,110               | 87,11                     |
|  | 45 | 1,2349         | 6,385        | 5,105               | 86,01                     |
|  | 46 | 1,3091         | 6,700        | 5,100               | 87,07                     |
|  | 47 | 1,2502         | 6,390        | 5,100               | 87,18                     |
|  | 48 | 1,2587         | 6,470        | 5,110               | 86,35                     |
|  | 49 | 1,2394         | 6,370        | 5,105               | 86,53                     |
|  | 50 | 1,2716         | 6,500        | 5,110               | 86,83                     |
|  | 51 | 1,2613         | 6,535        | 5,100               | 86,00                     |
|  | 52 | 1,2750         | 6,570        | 5,100               | 86,48                     |
|  | 53 | 1,2841         | 6,540        | 5,110               | 87,15                     |
|  | 54 | 1,2862         | 6,725        | 5,080               | 85,88                     |
|  | 55 | 1,2681         | 6,575        | 5,105               | 85,77                     |
|  | 56 | 1,2725         | 6,545        | 5,110               | 86,30                     |
|  | 57 | 1,2964         | 6,620        | 5,110               | 86,79                     |
|  | 58 | 1,2930         | 6,550        | 5,105               | 87,79                     |
|  | 59 | 1,2951         | 6,500        | 5,100               | 88,78                     |
|  | 60 | 1,2320         | 6,320        | 5,095               | 87,04                     |
|  | 61 | 1,2925         | 6,545        | 5,110               | 87,65                     |
|  | 62 | 1,2194         | 6,335        | 5,070               | 86,79                     |
|  | 63 | 1,2724         | 6,570        | 5,090               | 88,06                     |
|  | 64 | 1,2923         | 6,565        | 5,090               | 88,06                     |
|  | 65 | 1,2920         | 6,520        | 5,110               | 87,96                     |
|  | 66 | 1,2757         | 6,540        | 5,105               | 86,75                     |
|  | 67 | 1,2762         | 6,550        | 5,100               | 86,82                     |
|  | 68 | 1,2836         | 6,565        | 5,110               | 86,78                     |
|  | 69 | 1,2460         | 6,375        | 5,105               | 86,92                     |
|  | 70 | 1,2432         | 6,390        | 5,115               | 86,19                     |
|  | 71 | 1,2739         | 6,550        | 5,110               | 86,33                     |
|  | 72 | 1,2619         | 6,515        | 5,100               | 86,31                     |
|  | 73 | 1,3293         | 6,810        | 5,105               | 86,81                     |
|  | 74 | 1,3127         | 6,635        | 5,110               | 87,82                     |
|  | 75 | 1,2588         | 6,520        | 5,110               | 85,70                     |
|  | 76 | 1,2683         | 6,570        | 5,105               | 85,85                     |
|  | 77 | 1,2688         | 6,385        | 5,105               | 88,38                     |
|  | 78 | 1,2854         | 6,580        | 5,085               | 87,56                     |
|  | 79 | 1,2770         | 6,570        | 5,105               | 86,44                     |
|  | 80 | 1,2970         | 6,565        | 5,110               | 87,69                     |
| GESAMTWERTE                                    |    | 101,6531       | 522,32       |                     |                           |
| MITTELWERTE                                    |    |                |              | 5,102               | 86,685                    |

Tabelle 12:

Brennstoffsäule  
für  
Brennstab 8C-5

Tabelle 13:

Brennstoffsäule  
für  
Brennstab 8C-6

| EINZELWERTE          |             | Gewicht<br>(g) | Höhe<br>(mm) | Durchmesser<br>(mm) | Geom.Dichte<br>(% th.D. ) |
|----------------------|-------------|----------------|--------------|---------------------|---------------------------|
| Unteres              | 1           | 1,2868         | 6,590        | 5,105               | 86,84                     |
|                      | 2           | 1,2677         | 6,510        | 5,100               | 86,77                     |
|                      | 3           | 1,2726         | 6,490        | 5,100               | 87,58                     |
|                      | 4           | 1,2825         | 6,485        | 5,090               | 88,47                     |
|                      | 5           | 1,2760         | 6,520        | 5,095               | 87,38                     |
|                      | 6           | 1,2991         | 6,520        | 5,110               | 88,45                     |
|                      | 7           | 1,2757         | 6,555        | 5,110               | 86,38                     |
|                      | 8           | 1,2739         | 6,535        | 5,090               | 87,21                     |
| Brennstoff-<br>säule | 9           | 1,2804         | 6,525        | 5,105               | 87,27                     |
|                      | 10          | 1,2828         | 6,550        | 5,100               | 87,27                     |
|                      | 11          | 1,2636         | 6,520        | 5,090               | 86,70                     |
|                      | 12          | 1,2703         | 6,550        | 5,095               | 86,59                     |
|                      | 13          | 1,2422         | 6,410        | 5,095               | 86,52                     |
|                      | 14          | 1,2821         | 6,480        | 5,100               | 88,16                     |
|                      | 15          | 1,2658         | 6,515        | 5,090               | 86,92                     |
|                      | 16          | 1,2683         | 6,430        | 5,095               | 88,07                     |
| 17                   | 1,2787      | 6,570          | 5,105        | 86,56               |                           |
| 18                   | 1,2795      | 6,505          | 5,095        | 87,82               |                           |
| 19                   | 1,2374      | 6,380          | 5,100        | 86,42               |                           |
| 20                   | 1,2671      | 6,450          | 5,100        | 87,54               |                           |
| 21                   | 1,2491      | 6,405          | 5,090        | 87,24               |                           |
| 22                   | 1,2648      | 6,535          | 5,085        | 86,75               |                           |
| 23                   | 1,2759      | 6,525          | 5,105        | 86,96               |                           |
| 24                   | 1,2759      | 6,565          | 5,100        | 86,60               |                           |
| 25                   | 1,2750      | 6,525          | 5,095        | 87,24               |                           |
| 26                   | 1,3068      | 6,750          | 5,100        | 86,27               |                           |
| 27                   | 1,3028      | 6,630          | 5,100        | 87,56               |                           |
| 28                   | 1,2888      | 6,560          | 5,105        | 87,37               |                           |
| 29                   | 1,2813      | 6,540          | 5,095        | 87,47               |                           |
| 30                   | 1,2637      | 6,375          | 5,100        | 88,33               |                           |
| 31                   | 1,2632      | 6,460          | 5,100        | 87,13               |                           |
| 32                   | 1,2496      | 6,480          | 5,100        | 85,93               |                           |
| 33                   | 1,2759      | 6,520          | 5,090        | 87,54               |                           |
| 34                   | 1,2850      | 6,540          | 5,100        | 87,55               |                           |
| 35                   | 1,2828      | 6,590          | 5,105        | 86,57               |                           |
| 36                   | 1,2882      | 6,540          | 5,105        | 87,60               |                           |
| 37                   | 1,2746      | 6,495          | 5,100        | 87,45               |                           |
| 38                   | 1,2334      | 6,375          | 5,095        | 86,38               |                           |
| 39                   | 1,2955      | 6,605          | 5,105        | 87,22               |                           |
| 40                   | 1,2754      | 6,445          | 5,100        | 88,18               |                           |
| 41                   | 1,2868      | 6,565          | 5,095        | 87,51               |                           |
| 42                   | 1,2714      | 6,515          | 5,100        | 86,96               |                           |
| 43                   | 1,2830      | 6,520          | 5,100        | 87,69               |                           |
| 44                   | 1,2733      | 6,515          | 5,095        | 87,26               |                           |
| 45                   | 1,2820      | 6,515          | 5,100        | 87,68               |                           |
| 46                   | 1,3123      | 6,640          | 5,100        | 88,06               |                           |
| 47                   | 1,2903      | 6,550          | 5,100        | 87,78               |                           |
| 48                   | 1,2876      | 6,615          | 5,095        | 86,90               |                           |
| 49                   | 1,2514      | 6,400          | 5,105        | 86,95               |                           |
| 50                   | 1,2317      | 6,380          | 5,090        | 86,36               |                           |
| 51                   | 1,2838      | 6,645          | 5,105        | 85,92               |                           |
| 52                   | 1,2731      | 6,550          | 5,095        | 86,78               |                           |
| 53                   | 1,2870      | 6,620          | 5,105        | 86,46               |                           |
| 54                   | 1,2285      | 6,350          | 5,095        | 86,37               |                           |
| 55                   | 1,2808      | 6,530          | 5,110        | 87,06               |                           |
| 56                   | 1,2814      | 6,525          | 5,095        | 87,68               |                           |
| 57                   | 1,2941      | 6,495          | 5,105        | 88,61               |                           |
| 58                   | 1,3009      | 6,600          | 5,100        | 87,83               |                           |
| 59                   | 1,2756      | 6,565          | 5,100        | 86,58               |                           |
| 60                   | 1,2802      | 6,455          | 5,100        | 88,37               |                           |
| 61                   | 1,2604      | 6,490          | 5,100        | 86,54               |                           |
| 62                   | 1,2648      | 6,520          | 5,095        | 86,61               |                           |
| 63                   | 1,2704      | 6,485          | 5,100        | 87,29               |                           |
| 64                   | 1,2522      | 6,400          | 5,110        | 86,84               |                           |
| 65                   | 1,2767      | 6,535          | 5,085        | 87,57               |                           |
| 66                   | 1,2700      | 6,555          | 5,085        | 86,84               |                           |
| 67                   | 1,2708      | 6,490          | 5,100        | 87,25               |                           |
| 68                   | 1,2787      | 6,535          | 5,100        | 87,19               |                           |
| 69                   | 1,2359      | 6,370          | 5,095        | 86,62               |                           |
| 70                   | 1,2840      | 6,540          | 5,100        | 87,48               |                           |
| 71                   | 1,2467      | 6,445          | 5,100        | 86,19               |                           |
| Oberes               | 72          | 1,2760         | 6,535        | 5,080               | 87,69                     |
|                      | 73          | 1,2763         | 6,605        | 5,100               | 86,10                     |
| Ende                 | 74          | 1,2774         | 6,485        | 5,105               | 87,60                     |
|                      | 75          | 1,2499         | 6,410        | 5,105               | 86,72                     |
| der                  | 76          | 1,2841         | 6,575        | 5,110               | 86,68                     |
|                      | 77          | 1,3105         | 6,570        | 5,100               | 88,88                     |
|                      | 78          | 1,2579         | 6,535        | 5,085               | 86,28                     |
|                      | 79          | 1,2760         | 6,520        | 5,110               | 86,86                     |
|                      | 80          | 1,2785         | 6,530        | 5,110               | 86,90                     |
|                      | GESAMTWERTE |                | 101,7226     | 521,231             |                           |
| MITTELWERTE          |             |                |              | 5,099               | 87,145                    |

| E I N Z E L W E R T E                     |                 | Gewicht<br>(g) | Höhe<br>(mm) | Durchmesser<br>(mm) | Geom.Dichte<br>(% th.D. ) |       |
|---|-----------------|----------------|--------------|---------------------|---------------------------|-------|
| Unteres<br>Ende<br>der<br>Brennstoffsäule | 1               | 1,2669         | 6,480        | 5,105               | 86,95                     |       |
|   | 2               | 1,3178         | 6,690        | 5,110               | 87,43                     |       |
|   | 3               | 1,2864         | 6,605        | 5,110               | 86,44                     |       |
|   | 4               | 1,2703         | 6,575        | 5,100               | 86,09                     |       |
|   | 5               | 1,2733         | 6,545        | 5,100               | 86,69                     |       |
|   | 6               | 1,2755         | 6,540        | 5,100               | 86,90                     |       |
|   | 7               | 1,2598         | 6,530        | 5,085               | 86,48                     |       |
|   | 8               | 1,2722         | 6,550        | 5,100               | 86,55                     |       |
|   | 9               | 1,2793         | 6,585        | 5,105               | 86,40                     |       |
|   | 10              | 1,2720         | 6,540        | 5,105               | 86,50                     |       |
|   | 11              | 1,2714         | 6,520        | 5,100               | 86,89                     |       |
|   | 12              | 1,2447         | 6,385        | 5,115               | 86,36                     |       |
|   | 13              | 1,3081         | 6,580        | 5,105               | 88,41                     |       |
|   | 14              | 1,2935         | 6,505        | 5,110               | 88,26                     |       |
|   | 15              | 1,2601         | 6,500        | 5,100               | 86,38                     |       |
|   | 16              | 1,2797         | 6,530        | 5,105               | 87,15                     |       |
|   | 17              | 1,2814         | 6,560        | 5,100               | 87,04                     |       |
|   | 18              | 1,2840         | 6,535        | 5,110               | 87,21                     |       |
|   | 19              | 1,2878         | 6,655        | 5,100               | 86,23                     |       |
|   | 20              | 1,2372         | 6,365        | 5,100               | 86,61                     |       |
|   | 21              | 1,2525         | 6,375        | 5,095               | 87,72                     |       |
|   | 22              | 1,2658         | 6,425        | 5,110               | 87,44                     |       |
|   | 23              | 1,2621         | 6,485        | 5,100               | 86,72                     |       |
|   | 24              | 1,2484         | 6,270        | 5,100               | 88,72                     |       |
|   | 25              | 1,2988         | 6,600        | 5,110               | 87,34                     |       |
|   | 26              | 1,2651         | 6,535        | 5,090               | 86,60                     |       |
|   | 27              | 1,2907         | 6,520        | 5,090               | 88,56                     |       |
|   | 28              | 1,2665         | 6,445        | 5,090               | 87,91                     |       |
|   | 29              | 1,2472         | 6,360        | 5,100               | 87,38                     |       |
|   | 30              | 1,2724         | 6,600        | 5,095               | 86,08                     |       |
|   | 31              | 1,2540         | 6,420        | 5,100               | 87,04                     |       |
|   | 32              | 1,2652         | 6,480        | 5,095               | 87,17                     |       |
|   | 33              | 1,2651         | 6,500        | 5,100               | 86,73                     |       |
|   | 34              | 1,2649         | 6,540        | 5,100               | 86,18                     |       |
|   | 35              | 1,3053         | 6,590        | 5,100               | 88,26                     |       |
|   | 36              | 1,2406         | 6,380        | 5,105               | 86,48                     |       |
|   | 37              | 1,2970         | 6,605        | 5,105               | 87,33                     |       |
|   | 38              | 1,2800         | 6,555        | 5,100               | 87,01                     |       |
|   | 39              | 1,2745         | 6,575        | 5,110               | 86,04                     |       |
|   | 40              | 1,2800         | 6,560        | 5,100               | 86,95                     |       |
|   | 41              | 1,2947         | 6,535        | 5,105               | 88,11                     |       |
|   | 42              | 1,2868         | 6,595        | 5,100               | 86,94                     |       |
|   | 43              | 1,2728         | 6,510        | 5,100               | 87,12                     |       |
|   | 44              | 1,2496         | 6,360        | 5,100               | 87,55                     |       |
|   | 45              | 1,2638         | 6,510        | 5,090               | 86,84                     |       |
|   | 46              | 1,2788         | 6,555        | 5,100               | 86,93                     |       |
|   | 47              | 1,2780         | 6,565        | 5,100               | 86,75                     |       |
|   | 48              | 1,2721         | 6,545        | 5,085               | 87,12                     |       |
|   | 49              | 1,2743         | 6,510        | 5,100               | 87,22                     |       |
|   | 50              | 1,2918         | 6,560        | 5,100               | 87,75                     |       |
|   | 51              | 1,3147         | 6,655        | 5,110               | 87,68                     |       |
|   | 52              | 1,2488         | 6,380        | 5,105               | 87,05                     |       |
|   | 53              | 1,2340         | 6,390        | 5,100               | 86,05                     |       |
|   | 54              | 1,2677         | 6,545        | 5,105               | 86,14                     |       |
|   | 55              | 1,3067         | 6,58         | 5,100               | 88,49                     |       |
|   | 56              | 1,2430         | 6,390        | 5,100               | 86,68                     |       |
|   | 57              | 1,2739         | 6,625        | 5,080               | 86,36                     |       |
|   | 58              | 1,2698         | 6,510        | 5,105               | 86,74                     |       |
|   | 59              | 1,2781         | 6,545        | 5,105               | 86,84                     |       |
|   | 60              | 1,2755         | 6,550        | 5,090               | 87,11                     |       |
|   | 61              | 1,2800         | 6,545        | 5,095               | 87,32                     |       |
|   | 62              | 1,2710         | 6,530        | 5,090               | 87,07                     |       |
|   | 63              | 1,2588         | 6,360        | 5,105               | 88,02                     |       |
|   | 64              | 1,2918         | 6,575        | 5,110               | 87,20                     |       |
|   | 65              | 1,2512         | 6,400        | 5,100               | 87,11                     |       |
|   | 66              | 1,2695         | 6,565        | 5,105               | 86,00                     |       |
|   | 67              | 1,2809         | 6,585        | 5,100               | 86,68                     |       |
|   | 68              | 1,2815         | 6,555        | 5,100               | 87,12                     |       |
|   | 69              | 1,2720         | 6,500        | 5,100               | 87,20                     |       |
|   | 70              | 1,2291         | 6,370        | 5,100               | 85,98                     |       |
|   | 71              | 1,2781         | 6,605        | 5,090               | 86,56                     |       |
|   | Oberes          | 72             | 1,2687       | 6,505               | 5,105                     | 86,74 |
|   | Ende            | 73             | 1,3092       | 6,540               | 5,110                     | 88,85 |
|   | der             | 74             | 1,2825       | 6,525               | 5,100                     | 87,58 |
|   | Brennstoffsäule | 75             | 1,2868       | 6,585               | 5,100                     | 87,08 |
|   | 76              | 1,2794         | 6,525        | 5,100               | 87,37                     |       |
|   | 77              | 1,2587         | 6,445        | 5,105               | 86,85                     |       |
|   | 78              | 1,2770         | 6,580        | 5,105               | 86,31                     |       |
|   | 79              | 1,2600         | 6,530        | 5,100               | 85,98                     |       |
|   | 80              | 1,2734         | 6,515        | 5,110               | 86,75                     |       |
| <b>G E S A M T W E R T E</b>              |                 | 101,8521       | 521,340      |                     |                           |       |
| <b>M I T T E L W E R T E</b>              |                 |                |              | 5,101               | 87,011                    |       |

Tabelle 14:

Brennstoffsäule  
für  
Brennstab 8C-7



| E I N Z E L W E R T E                         |  | Gewicht<br>(g) | Höhe<br>(mm) | Durchmesser<br>(mm) | Geom.Dichte<br>(% th.D.) |       |
|---|--|----------------|--------------|---------------------|--------------------------|-------|
| Oberes<br>Ende<br>der<br>Brennstoff-<br>säule | 1  | 1,3366         | 6,515        | 4,986               | 95,65                    |       |
|   | 2  | 1,3513         | 6,575        | 4,991               | 95,62                    |       |
|   | 3  | 1,3466         | 6,570        | 4,985               | 95,59                    |       |
|   |  | 4              | 1,3422       | 6,540               | 4,991                    | 95,49 |
|   | 5  | 1,3418         | 6,545        | 4,989               | 95,46                    |       |
|   |  | 6              | 1,3421       | 6,525               | 5,106                    | 91,44 |
|   | 7  | 1,3402         | 6,535        | 5,100               | 91,38                    |       |
|   | 8  | 1,3045         | 6,350        | 5,106               | 91,33                    |       |
|   |  | 9              | 1,3432       | 6,535               | 5,105                    | 91,41 |
|   |  | 10             | 1,3420       | 6,525               | 5,105                    | 91,40 |
|   |  | 11             | 1,3389       | 6,495               | 5,193                    | 88,60 |
|   | 12   | 1,3434         | 6,525        | 5,189               | 88,62                    |       |
|   | 13   | 1,3327         | 6,460        | 5,195               | 88,60                    |       |
|   |  | 14             | 1,3330       | 6,465               | 5,192                    | 88,65 |
|   |  | 15             | 1,3293       | 6,450               | 5,193                    | 88,58 |
|   | 16   | 1,3325         | 6,530        | 4,978               | 95,44                    |       |
|   | 17   | 1,3393         | 6,535        | 4,989               | 95,43                    |       |
|   | 18   | 1,3381         | 6,540        | 4,985               | 95,43                    |       |
|   |  | 19             | 1,3353       | 6,510               | 4,992                    | 95,40 |
|   |  | 20             | 1,3392       | 6,535               | 4,990                    | 95,39 |
|   | 21   | 1,3393         | 6,530        | 5,105               | 91,21                    |       |
|   | 22   | 1,3424         | 6,540        | 5,104               | 91,32                    |       |
|   | 23   | 1,3379         | 6,515        | 5,108               | 91,22                    |       |
|   |  | 24             | 1,3374       | 6,515               | 5,106                    | 91,26 |
|   |  | 25             | 1,3347       | 6,510               | 5,103                    | 91,25 |
|   | 26   | 1,3348         | 6,490        | 5,192               | 88,43                    |       |
|   | 27   | 1,3352         | 6,490        | 5,190               | 88,52                    |       |
|   | 28   | 1,3498         | 6,555        | 5,194               | 88,47                    |       |
|   |  | 29             | 1,3306       | 6,455               | 5,194                    | 88,56 |
|   |  | 30             | 1,3405       | 6,500               | 5,195                    | 88,57 |
|   | 31   | 1,3377         | 6,535        | 4,988               | 95,36                    |       |
|   | 32   | 1,3274         | 6,495        | 4,986               | 95,28                    |       |
|   | 33   | 1,3270         | 6,495        | 4,985               | 95,29                    |       |
|   |  | 34             | 1,3297       | 6,525               | 4,980                    | 95,24 |
|   |  | 35             | 1,3333       | 6,520               | 4,989                    | 95,22 |
|   | 36   | 1,3543         | 6,600        | 5,108               | 91,15                    |       |
|   | 37   | 1,3333         | 6,500        | 5,108               | 91,12                    |       |
|   | 38   | 1,3068         | 6,400        | 5,100               | 90,99                    |       |
|   |  | 39             | 1,3359       | 6,515               | 5,107                    | 91,12 |
|   |  | 40             | 1,3409       | 6,540               | 5,107                    | 91,11 |
|   | 41   | 1,3278         | 6,450        | 5,196               | 88,37                    |       |
|   | 42   | 1,3864         | 6,740        | 5,196               | 88,30                    |       |
|   | 43   | 1,3223         | 6,425        | 5,195               | 88,38                    |       |
|   |  | 44             | 1,3279       | 6,450               | 5,196                    | 88,38 |
|   |  | 45             | 1,3405       | 6,530               | 5,189                    | 88,36 |
|   | 46   | 1,3305         | 6,500        | 4,992               | 95,20                    |       |
|   | 47   | 1,3248         | 6,500        | 4,982               | 95,17                    |       |
|   | 48   | 1,3325         | 6,525        | 4,987               | 95,17                    |       |
|   |  | 49             | 1,3229       | 6,480               | 4,988                    | 95,10 |
|   |  | 50             | 1,3257       | 6,510               | 4,982                    | 95,09 |
|   | 51   | 1,3188         | 6,445        | 5,106               | 90,97                    |       |
|   | 52   | 1,3357         | 6,515        | 5,108               | 91,07                    |       |
|   | 53   | 1,3319         | 6,505        | 5,105               | 91,06                    |       |
|   |  | 54             | 1,3330       | 6,515               | 5,105                    | 90,99 |
|   |  | 55             | 1,3263       | 6,490               | 5,099                    | 91,10 |
|   | 56   | 1,3252         | 6,460        | 5,190               | 88,27                    |       |
|   | 57   | 1,3242         | 6,445        | 5,194               | 88,27                    |       |
|   | 58   | 1,3235         | 6,435        | 5,196               | 88,29                    |       |
|   |  | 59             | 1,3830       | 6,740               | 5,190                    | 88,29 |
|   |  | 60             | 1,3223       | 6,440               | 5,192                    | 88,28 |
|   | 61   | 1,3318         | 6,545        | 4,981               | 95,06                    |       |
|   | 62   | 1,3215         | 6,495        | 4,981               | 95,05                    |       |
|   | 63   | 1,3225         | 6,500        | 4,982               | 95,01                    |       |
|   |  | 64             | 1,3215       | 6,475               | 4,989                    | 95,04 |
|   |  | 65             | 1,3132       | 6,440               | 4,990                    | 94,91 |
|   | 66   | 1,3344         | 6,535        | 5,103               | 90,88                    |       |
|   | 67   | 1,3305         | 6,505        | 5,106               | 90,93                    |       |
|   | 68   | 1,3336         | 6,515        | 5,107               | 90,96                    |       |
|   |  | 69             | 1,3293       | 6,520               | 5,100                    | 90,85 |
|   |  | 70             | 1,3244       | 6,490               | 5,100                    | 90,93 |
|   | Unteres<br>Ende<br>der<br>Brennstoff-<br>säule | 71             | 1,3788       | 6,735               | 5,189                    | 88,12 |
|   |  | 72             | 1,3288       | 6,465               | 5,196                    | 88,24 |
|   |  | 73             | 1,3402       | 6,520               | 5,196                    | 88,24 |
|   |  |                | 74           | 1,3300              | 6,480                    | 5,196 |
|   |  | 75             | 1,3199       | 6,430               | 5,196                    | 88,12 |
|   |  | 76             | 1,3063       | 6,410               | 4,989                    | 94,90 |
|   |  | 77             | 1,3137       | 6,450               | 4,988                    | 94,88 |
|   |  | 78             | 1,3092       | 6,440               | 4,984                    | 94,85 |
|   | 79   |                | 1,3152       | 6,470               | 4,985                    | 94,81 |
|   | 80   |                | 1,3019       | 6,435               | 4,987                    | 94,82 |
| G E S A M T W E R T E                         |  | 106,6366       | 520,44       | -                   | -                        |       |

Tabelle 16:

Brennstoffsäule  
für  
Brennstab 8C-9

Tabelle 17:

Brennstoffsäule  
für B  
Brennstab 8C-10

| EINZELWERTE |                   | Gewicht<br>(g) | Höhe<br>(mm) | Durchmesser<br>(mm) | Geom.Dichte<br>(% th. D.) |
|-------------|-------------------|----------------|--------------|---------------------|---------------------------|
| Oberes      | 1                 | 1,3111         | 6,455        | 4,984               | 94,77                     |
|             | 2                 | 1,3080         | 6,450        | 4,982               | 94,70                     |
| Ende        | t <sub>3</sub> 3  | 1,3211         | 6,495        | 4,988               | 94,75                     |
| der         | 4                 | 1,3009         | 6,420        | 4,980               | 94,70                     |
| Brennstoff- | 5                 | 1,3089         | 6,455        | 4,983               | 94,71                     |
| säule       | 6                 | 1,3266         | 6,505        | 5,101               | 90,84                     |
|             | 7                 | 1,3327         | 6,515        | 5,109               | 90,83                     |
|             | t <sub>2</sub> 8  | 1,3284         | 6,500        | 5,107               | 90,82                     |
|             | 9                 | 1,3268         | 6,495        | 5,105               | 90,85                     |
|             | 10                | 1,3375         | 6,555        | 5,104               | 90,78                     |
|             | 11                | 1,3315         | 6,515        | 5,188               | 88,01                     |
|             | 12                | 1,3202         | 6,450        | 5,195               | 87,90                     |
|             | t <sub>1</sub> 13 | 1,3214         | 6,440        | 5,196               | 88,08                     |
|             | 14                | 1,3227         | 6,455        | 5,196               | 87,97                     |
|             | 15                | 1,3179         | 6,440        | 5,192               | 87,99                     |
|             | 16                | 1,2982         | 6,405        | 4,981               | 94,68                     |
|             | 17                | 1,3051         | 6,420        | 4,988               | 94,70                     |
|             | t <sub>3</sub> 18 | 1,3124         | 6,460        | 4,989               | 94,60                     |
|             | 19                | 1,3072         | 6,450        | 4,983               | 94,60                     |
|             | 20                | 1,3110         | 6,470        | 4,983               | 94,58                     |
|             | 21                | 1,3268         | 6,495        | 5,108               | 90,74                     |
|             | 22                | 1,2908         | 6,330        | 5,103               | 90,76                     |
|             | t <sub>2</sub> 23 | 1,3046         | 6,395        | 5,104               | 90,76                     |
|             | 24                | 1,2889         | 6,330        | 5,100               | 90,73                     |
|             | 25                | 1,3212         | 6,480        | 5,104               | 90,71                     |
|             | 26                | 1,3252         | 6,470        | 5,195               | 87,96                     |
|             | 27                | 1,3297         | 6,510        | 5,196               | 87,68                     |
|             | t <sub>1</sub> 28 | 1,3389         | 6,540        | 5,196               | 87,89                     |
|             | 29                | 1,3173         | 6,445        | 5,195               | 87,78                     |
|             | 30                | 1,3270         | 6,510        | 5,188               | 87,78                     |
|             | 31                | 1,2935         | 6,395        | 4,980               | 94,53                     |
|             | 32                | 1,3058         | 6,450        | 4,983               | 94,50                     |
|             | t <sub>3</sub> 33 | 1,3082         | 6,450        | 4,988               | 94,48                     |
|             | 34                | 1,3159         | 6,480        | 4,990               | 94,52                     |
|             | 35                | 1,2977         | 6,400        | 4,988               | 94,46                     |
|             | 36                | 1,3354         | 6,540        | 5,108               | 90,70                     |
|             | 37                | 1,2927         | 6,340        | 5,105               | 90,68                     |
|             | t <sub>2</sub> 38 | 1,3205         | 6,490        | 5,101               | 90,63                     |
|             | 39                | 1,2923         | 6,340        | 5,104               | 90,69                     |
|             | 40                | 1,3318         | 6,520        | 5,109               | 90,70                     |
|             | 41                | 1,3180         | 6,450        | 5,195               | 87,76                     |
|             | 42                | 1,3332         | 6,525        | 5,194               | 87,78                     |
|             | t <sub>1</sub> 43 | 1,3257         | 6,500        | 5,192               | 87,69                     |
|             | 44                | 1,3183         | 6,455        | 5,196               | 87,67                     |
|             | 45                | 1,3270         | 6,505        | 5,193               | 87,67                     |
|             | 46                | 1,2975         | 6,395        | 4,999               | 94,40                     |
|             | 47                | 1,3096         | 6,470        | 4,986               | 94,37                     |
|             | t <sub>3</sub> 48 | 1,3055         | 6,445        | 4,987               | 94,40                     |
|             | 49                | 1,3023         | 6,430        | 4,986               | 94,42                     |
|             | 50                | 1,3219         | 6,525        | 4,988               | 94,37                     |
|             | 51                | 1,3146         | 6,465        | 5,104               | 90,47                     |
|             | 52                | 1,3303         | 6,540        | 5,106               | 90,42                     |
|             | t <sub>2</sub> 53 | 1,3707         | 6,745        | 5,101               | 90,52                     |
|             | 54                | 1,3356         | 6,560        | 5,107               | 90,48                     |
|             | 55                | 1,3329         | 6,545        | 5,105               | 90,57                     |
|             | 56                | 1,3292         | 6,510        | 5,196               | 87,65                     |
|             | 57                | 1,3213         | 6,470        | 5,196               | 87,67                     |
|             | t <sub>1</sub> 58 | 1,3090         | 6,420        | 5,195               | 87,56                     |
|             | 59                | 1,3266         | 6,505        | 5,196               | 87,55                     |
|             | 60                | 1,3247         | 6,500        | 5,192               | 87,62                     |
|             | 61                | 1,2986         | 6,430        | 4,985               | 94,19                     |
|             | 62                | 1,3000         | 6,430        | 4,983               | 94,37                     |
|             | t <sub>3</sub> 63 | 1,3016         | 6,435        | 4,986               | 94,30                     |
|             | 64                | 1,3015         | 6,445        | 4,983               | 94,26                     |
|             | 65                | 1,2985         | 6,425        | 4,985               | 94,26                     |
|             | 66                | 1,2825         | 6,315        | 5,105               | 90,32                     |
|             | 67                | 1,2850         | 6,330        | 5,105               | 90,28                     |
|             | t <sub>2</sub> 68 | 1,3413         | 6,600        | 5,105               | 90,38                     |
|             | 69                | 1,3264         | 6,535        | 5,104               | 90,30                     |
|             | 70                | 1,3155         | 6,475        | 5,107               | 90,28                     |
|             | 71                | 1,3204         | 6,490        | 5,190               | 87,54                     |
|             | 72                | 1,3221         | 6,500        | 5,195               | 87,35                     |
| Unteres     | t <sub>1</sub> 73 | 1,3024         | 6,415        | 5,187               | 87,46                     |
| Ende        | 74                | 1,3204         | 6,495        | 5,191               | 87,44                     |
| der         | 75                | 1,3527         | 6,650        | 5,196               | 87,32                     |
| Brennstoff- | 76                | 1,2985         | 6,435        | 4,985               | 94,11                     |
| säule       | t <sub>3</sub> 77 | 1,3032         | 6,445        | 4,989               | 94,16                     |
|             | 78                | 1,2848         | 6,375        | 4,981               | 94,15                     |
|             | 79                | 1,3096         | 6,470        | 4,992               | 94,14                     |
|             | 80                | 1,2996         | 6,435        | 4,987               | 94,12                     |
| GESAMTWERTE |                   | 105,1891       | 517,39       | -                   | -                         |

Tabelle 18: Chemische Analysen von Brennstofftabletten

1. Pu-Gehalt

|  | 1. Ansatz | 2. Ansatz | 3. Ansatz |
|--|-----------|-----------|-----------|
| $\frac{\text{Pu}}{\text{U+Pu}}$ (Gew.-%) | 20,38     | 19,98     | 20,10     |

2. Chemische Verunreinigungen

|    | 1. Ansatz | 2. Ansatz | 3. Ansatz |
|----|-----------|-----------|-----------|
| C  | 200       | 47        | 54        |
| Cl | 27        | 1         | 16        |
| F  | 7         | 70 - 140  | 6         |
| B  | 0,1       | 0,1       | 0,1       |
| Mg | 10        | < 5       | < 5       |
| Mn | < 5       | 35        | < 10      |
| Pb | < 10      | < 10      | < 10      |
| Cr | 15        | 30        | 20        |
| Sn | < 5       | < 5       | < 10      |
| Fe | 90        | 400       | 270       |
| Ni | 80        | 110       | 15        |
| Co | < 5       | < 5       |           |
| Al | 200       | 150       | 100       |
| Mo | < 5       | < 10      | < 10      |
| Cu | < 2       | < 1       | < 2       |
| Cd | 1         | < 1       | < 1       |
| Na | 10        | < 10      | < 10      |
| Ag | < 5       | < 5       | < 5       |
| Zn | 5         | < 5       | < 5       |
| Si | 300       |           | 45        |
| Ca | 20        | 10        | 10        |
| V  | < 5       | < 10      | < 10      |

3. Stöchiometrie

O/Me-Wert (oxidierend gemessen): Tabletten p u. t<sub>3</sub> :  
 " t<sub>1</sub> " t<sub>2</sub> : } 1,99  
 " r<sub>1</sub> " :

Die Brennstäbe 8C-1 bis 8C-4 enthalten je 81 Brennstofftabletten, die Brennstäbe 8C-5 bis 8C-10 je 80 Brennstofftabletten. In allen Stäben befinden sich am unteren Ende der Brennstoffsäule je zwei Isoliertabletten. Am oberen Ende der Brennstoffsäule schließen sich jeweils Brutstofftabletten mit 5,0 mm Durchmesser an, denen weitere 28 Brutstofftabletten mit 5,1 mm Durchmesser folgen. Jede Tablette wurde hinsichtlich Gewicht und Dimensionen vermessen und die Einzeltabletten zu Säulen zusammengelegt. Die Wiedergabe aller Einzelwerte für die Tabletten befindet sich in den Tabellen 8 - 17. Die Zusammenfassung der Materialwerte der Stäbe 8C-1 bis 8C-10 enthalten die Tabellen 19 - 22 Die Zählung der Tabletten beginnt bei allen Brennstäben am unteren mit der Kennzeichnung versehenen Endstopfen.

### 5.3 Hüll- und Strukturmaterial

Für die Herstellung des Prüflings wurde Rohr- und Vollstabmaterial aus dem austenitischen Edelstahl X8CrNiMoVNb 1613 (Werkstoff-Nummer 1.4988) verwendet.

Die Nennabmessungen waren:

- |                     |                               |
|---------------------|-------------------------------|
| - bei den Rohren    | Durchmesser 6 mm              |
|                     | Wandstärke 0,38 mm            |
| - beim Stabmaterial | Knüppeldurchmesser ca. 10 mm. |

Das Halbzeug wurde von der Firma Mannesmann im Rahmen größerer Lieferchargen bezogen. Nach einer Vorprüfung bei Firma NUKEM wurden die Rohre im Prüflabor des IMF/LB einer genauen Kontrolle unterzogen. Es wurden der Innendurchmesser, der Außendurchmesser und die Wandstärke gemessen. Ferner wurden die Rohre einer Ultraschall-Rißprüfung unterworfen und ausgewählt. In Karlsruhe wurden die Rohre abgelängt, die Endstopfen gedreht und das Führungsstück mit Haltefeder und Sinterstahlfilter vorbereitet.

Tabelle 19: Materialwerte für die Brennstäbe Nr. 8C-1, -2, -3, -4

| <u>Brennstoff</u>       |             |                        |                            |                           |           |              |
|-------------------------|-------------|------------------------|----------------------------|---------------------------|-----------|--------------|
| Stab-Nr.                | Gewicht (g) | Höhe <sup>+</sup> (mm) | mittlerer Durchmesser (mm) | mittlere Dichte (% th.D.) | Pu-Gehalt | U-235-Gehalt |
| 8C-1                    | 111,2556    | 521,704                | 5,098                      | 95,010                    | 19,625    | 72,253       |
| 8C-2                    | 111,3195    | 521,720                | 5,099                      | 95,118                    | 19,638    | 72,295       |
| 8C-3                    | 111,5293    | 521,396                | 5,103                      | 95,215                    | 19,674    | 72,431       |
| 8C-4                    | 111,4621    | 521,740                | 5,103                      | 95,197                    | 19,662    | 72,387       |
| <u>Brutstoff</u>        |             |                        |                            |                           |           |              |
| 8C-1                    | 42,282      | 196,96                 | 5,10 <sup>++</sup> )       | 96,00                     | -         | 0,269        |
| 8C-2                    | 41,922      | 195,64                 | 5,10                       | 95,97                     | -         | 0,266        |
| 8C-3                    | 42,234      | 197,15                 | 5,10                       | 95,92                     | -         | 0,268        |
| 8C-4                    | 42,092      | 196,20                 | 5,10                       | 96,08                     | -         | 0,267        |
| <u>Isoliertabletten</u> |             |                        |                            |                           |           |              |
| 8C-1                    | 2,812       | 13,01                  | 5,105                      | 96,37                     | -         | -            |
| 8C-2                    | 2,829       | 13,14                  | 5,100                      | 96,16                     | -         | -            |
| 8C-3                    | 2,727       | 12,69                  | 5,095                      | 96,14                     | -         | -            |
| 8C-4                    | 2,746       | 12,85                  | 5,100                      | 95,49                     | -         | -            |

<sup>+</sup>) aus den Einzelhöhen der Tabletten errechnet/ <sup>++</sup>) ohne Einbeziehung der beiden Tabletten mit 5,0 mm Ø!

Tabelle 20: Materialwerte für die Brennstäbe Nr. 8C-5, -6, -7, -8

| <u>Brennstoff</u>       |             |                        |                            |                           |           |              |
|-------------------------|-------------|------------------------|----------------------------|---------------------------|-----------|--------------|
| Stab-Nr.                | Gewicht (g) | Höhe <sup>+</sup> (mm) | mittlerer Durchmesser (mm) | mittlere Dichte (% th.D.) | Pu-Gehalt | U-235-Gehalt |
| 8C-5                    | 101,6531    | 522,200                | 5,102                      | 86,685                    | 17,932    | 66,502       |
| 8C-6                    | 101,7226    | 521,231                | 5,099                      | 87,145                    | 17,944    | 66,547       |
| 8C-7                    | 101,8521    | 521,340                | 5,101                      | 87,011                    | 17,967    | 66,632       |
| 8C-8                    | 101,8374    | 520,930                | 5,097                      | 87,210                    | 17,964    | 66,622       |
| <u>Brutstoff</u>        |             |                        |                            |                           |           |              |
| 8C-5                    | 41,802      | 195,800                | 5,090                      | 95,730                    | -         | 0,265        |
| 8C-6                    | 41,584      | 194,690                | 5,090                      | 95,770                    | -         | 0,264        |
| 8C-7                    | 41,778      | 195,710                | 5,090                      | 95,720                    | -         | 0,265        |
| 8C-8                    | 41,745      | 195,720                | 5,085                      | 95,830                    | -         | 0,265        |
| <u>Isoliertabletten</u> |             |                        |                            |                           |           |              |
| 8C-5                    | 2,711       | 13,080                 | 5,000                      | 96,340                    | -         | -            |
| 8C-6                    | 2,687       | 13,030                 | 5,000                      | 96,090                    | -         | -            |
| 8C-7                    | 2,734       | 13,170                 | 4,998                      | 96,530                    | -         | -            |
| 8C-8                    | 2,690       | 12,995                 | 5,005                      | 96,210                    | -         | -            |

<sup>+</sup>) aus den Einzelhöhen der Tabletten errechnet

Tabelle 21: Materialwerte des Brennstab-Sondertypes Mol 8C-9

| a) Brennstoff                           |                         |                      |                          |                     |
|---|-------------------------|----------------------|--------------------------|---------------------|
| Tabletten-<br>sorte                     | Gewicht                 | H<br>(5er Gruppe)    | Mittlerer<br>Durchmesser | Mittlere<br>% th.D. |
| t <sub>3</sub>                          | 6,7185                  | 32,745               | 4,988                    | 95,56               |
| t <sub>2</sub>                          | 6,6720                  | 32,470               | 5,104                    | 91,39               |
| t <sub>1</sub>                          | 6,6773                  | 32,395               | 5,192                    | 88,61               |
| t <sub>3</sub>                          | 6,6844                  | 32,650               | 4,987                    | 95,42               |
| t <sub>2</sub>                          | 6,6917                  | 32,610               | 5,105                    | 91,25               |
| t <sub>1</sub>                          | 6,6909                  | 32,490               | 5,103                    | 88,51               |
| t <sub>3</sub>                          | 6,6551                  | 32,570               | 4,986                    | 95,28               |
| t <sub>2</sub>                          | 6,6712                  | 32,555               | 5,106                    | 91,10               |
| t <sub>1</sub>                          | 6,7049                  | 32,595               | 5,194                    | 88,36               |
| t <sub>3</sub>                          | 6,6346                  | 32,515               | 5,986                    | 95,15               |
| t <sub>2</sub>                          | 6,6457                  | 32,470               | 5,104                    | 91,04               |
| t <sub>1</sub>                          | 6,6782                  | 32,520               | 5,192                    | 88,28               |
| t <sub>3</sub>                          | 6,6186                  | 32,455               | 4,985                    | 95,01               |
| t <sub>2</sub>                          | 6,6522                  | 32,565               | 5,105                    | 90,91               |
| t <sub>1</sub>                          | 6,6977                  | 32,630               | 5,197                    | 88,16               |
| t <sub>3</sub>                          | 6,5436                  | 32,205               | 4,987                    | 94,85               |
| Gesamtgew.:<br>Gesamthöhe <sup>+)</sup> | 106,6366<br>520,440     | -<br>-               | -<br>-                   | -<br>-              |
| Pu-Gehalt:<br>U-235-Gehalt:             | 18,811 g<br>69,253 g    |                      |                          |                     |
|   | b) Bruttostoff          | c) Isoliertabl.      |                          |                     |
| Gewicht<br>Höhe <sup>+)</sup>           | 41,860 g<br>195,420 mm  | 2,808 g<br>12,985 mm |                          |                     |
| mittl. Durchmesser                      | 5,102 mm <sup>++)</sup> | 5,107 mm             |                          |                     |
| mittl. Dichte                           | 95,95 % th.D.           | 96,32 % th.D.        |                          |                     |
| Gehalt an U-235                         | 27,185 g                | -                    |                          |                     |

+ ) Höhen berechnet aus Einzelwerten der Tabletten

++) ohne Einbeziehung der beiden Tabletten mit 5,00 mm Durchmesser

Tabelle 22: Materialwerte des Brennstab-Sondertypes Mol 8C-10

| a) Brennstoff                           |                         |                      |                          |                     |
|---|-------------------------|----------------------|--------------------------|---------------------|
| Tabletten-<br>sorte                     | Gewicht                 | H<br>(5er Gruppe)    | Mittlerer<br>Durchmesser | Mittlere<br>% th.D. |
| t <sub>3</sub>                          | 6,2420                  | 32,275               | 4,983                    | 94,73               |
| t <sub>2</sub>                          | 6,6520                  | 32,570               | 5,105                    | 90,82               |
| t <sub>1</sub>                          | 6,6137                  | 32,300               | 5,193                    | 87,99               |
| t <sub>3</sub>                          | 6,5339                  | 32,205               | 4,985                    | 94,63               |
| t <sub>2</sub>                          | 6,5323                  | 32,030               | 5,105                    | 90,74               |
| t <sub>1</sub>                          | 6,6381                  | 32,475               | 5,194                    | 87,82               |
| t <sub>3</sub>                          | 6,5211                  | 32,175               | 4,986                    | 94,50               |
| t <sub>2</sub>                          | 6,5727                  | 32,230               | 5,105                    | 90,68               |
| t <sub>1</sub>                          | 6,6222                  | 32,435               | 5,194                    | 87,71               |
| t <sub>3</sub>                          | 6,5368                  | 32,265               | 4,987                    | 94,39               |
| t <sub>2</sub>                          | 6,6841                  | 32,855               | 5,105                    | 90,49               |
| t <sub>1</sub>                          | 6,6108                  | 32,405               | 5,195                    | 87,61               |
| t <sub>3</sub>                          | 6,5112                  | 32,205               | 4,985                    | 94,31               |
| t <sub>2</sub>                          | 6,5507                  | 32,255               | 5,105                    | 90,31               |
| t <sub>1</sub>                          | 6,6180                  | 32,550               | 5,192                    | 87,42               |
| t <sub>3</sub>                          | 6,4954                  | 32,160               | 4,987                    | 94,14               |
| Gesamtgew.:<br>Gesamthöhe <sup>+)</sup> | 105,1891<br>-           | -<br>517,390         | -<br>-                   | -<br>-              |
| Pu-Gehalt:<br>U-235-Gehalt:             | 18,555 g<br>68,313 g    |                      |                          |                     |
|   | b) Bruttostoff          | c) Isoliertabl.      |                          |                     |
| Gewicht<br>Höhe <sup>+)</sup>           | 42,186 g<br>196,630 mm  | 2,771 g<br>12,945 mm |                          |                     |
| mittl. Durchmesser                      | 5,103 mm <sup>++)</sup> | 5,102 mm             |                          |                     |
| mittl. Dichte                           | 96,010 % th.D.          | 95,59 % th.D.        |                          |                     |
| Gehalt an U-235                         | 27,317 g                | -                    |                          |                     |

+ ) Höhen berechnet aus Einzelwerten der Tabletten

++) ohne Einbeziehung der beiden Tabletten mit 5,00 mm Durchmesser

#### 5.4 Stabherstellung

Nach sorgfältiger Reinigung aller Teile wurden die unteren Endstopfen unter Helium-Schutzgas in die Hüllrohre eingeschweißt. Die Fertigungskontrolle prüfte hierauf die Dichtheit und die Schweißqualität an den unteren Endstopfen (Kennzeichnung). Die Prüfungen ergaben keine Beanstandungen.

Beim Füllen der Rohre wurden die Tabletten durch eine Schutzkappe eingeschoben. Danach wurde das Führungsstück (bei einigen Stäben mit Stützrohr) mit Haltefeder eingeführt und die Stäbe nach mehrmaligem Spülen mit Helium gefüllt. Unter sicherem Luftabschluß wurde der Endstopfen eingepreßt und anschließend unter Helium mit dem Hüllrohr verschweißt. Die Brennstäbe mit den eingeschweißten oberen Endstopfen wurden nun einer Zwischenprüfung unterzogen, bei der die Beschaffenheit der Schweißnaht untersucht wurde. Erst nach dem sich hierbei keine Beanstandungen ergaben, wurde das Aufnahmestück mit der Kapillare in den oberen Endstopfen eingeschraubt.

Bei den Stäben 8C-1 bis 8C-4 sowie 8C-9 und 8C-10 wurden die Kapillare bzw. das Aufnahmestück für die Kapillare mit Nicrobraze 50 nach dem Lichtlötverfahren eingelötet. Bei den zuerst gefertigten Stäben 8C-5 bis 8C-8 war Silberlot verwendet worden. Da dies aus Verträglichkeitsgründen gegenüber Natrium nicht zulässig ist, wurden in Mol die Kapillare wieder von den Stäben gelöst und die Lötung mit Nicrobraze 50 wiederholt.

Die Kontaminationsprüfung der Stäbe ergab keine nennenswerte äußere Kontamination.

#### 5.5 Stabprüfung

Die Röntgenprüfung der Schweißnähte und der Lötungen sowie der Helium-Lecktest wurde bei GfK in der Abteilung Fertigungskontrolle ausgeführt. Die Prüfung der Schweißnähte und die der Lötungen war mit Ausnahme der Stäbe 8C-9 und 8C-10 ohne Befund.

Die spezifizierte Leckrate für die Stäbe einschließlich der Kapillaren war  $10^{-9}$  Torr  $\cdot$  l  $\cdot$  sec $^{-1}$ . Die gemessene Leckrate der Stäbe 8C-1 bis 8C-4 betrug  $2 \cdot 10^{-9}$  bis  $4 \cdot 10^{-9}$  Torr  $\cdot$  l  $\cdot$  sec $^{-1}$ , die der Stäbe 8C-5 bis 8C-8 je  $1 \cdot 10^{-8}$  Torr  $\cdot$  l  $\cdot$  sec $^{-1}$ . Der Innendruck betrug bei allen diesen Stäben 1 atm. Wegen der gefundenen Poren in den Lötungen der Stäbe 8C-9 und 8C-10 wurden diese Stäbe bei einem Innendruck von 80 atü Helium geprüft. Die gefundenen Leckraten betragen  $3,5 \cdot 10^{-9}$  bzw.  $1,5 \cdot 10^{-9}$  Torr  $\cdot$  l  $\cdot$  sec $^{-1}$ . Aufgrund dieses Ergebnisses für die Stäbe 8C-9 und 8C-10 wurden die Lötungen mit den Poren belassen.

Abschließend wurden die Brennstäbe ihrer gesamten Länge nach mit einem Vergleichsmaß geröntgt. In Tabelle 23 sind die aus den Röntgenaufnahmen gewonnenen Werte für die Längen der Tablettensäulen den berechneten Werten gegenübergestellt. Es zeigt sich, daß beim Einfüllen der Tabletten ein zusätzlicher Längenbedarf besteht. Dieser kann durch leichtes Verkanten der Tabletten, die Rauigkeit der Stirnflächen oder kleine Oxidteilchen bedingt sein. Im übrigen ist die Genauigkeit der Meßwerte aus den Röntgenaufnahmen auf ca. 1/10 mm begrenzt.

## 6. Bestrahlungseinrichtung

### 6.1 FAFNIR-Kapsel

Die Brennstäbe wurden einzeln in FAFNIR-Einsätzen bestrahlt. Der Aufbau dieses schon bei der Bestrahlung 8B1/2 benutzten Einsatzes geht aus Abb.4 hervor. Der Brennstab ist in einem dichten Behälter zentriert. Dieser Behälter wird bis über den Brennstab zur guten Wärmeabführung mit NaK-Eutektikum gefüllt und befindet sich wiederum zur doppelten Umhüllung des NaK gegenüber dem Primärkreislauf in einem dichten Aufhängerrohr, dem Einsatzunterteil. Zwischen NaK-Behälter und Aufhängerrohr befindet sich in Höhe des Brennstabes die Wärmebarriere (Gasspalt), die so ausgelegt wurde, daß bei der Sollstableistung gleichzeitig die gewünschte Hüllwandinnentemperatur erreicht wird. Das Aufhängerrohr über der Länge des Brennstabes besteht aus einem Kadmium-Edelstahl-Sandwichrohr zur Abschirmung der thermischen Neutronen (Abb.5+6). Im Aufhängerrohr befinden sich der Druckumformer außerhalb des Corebereiches und

Tabelle 23: Vergleich der berechneten und tatsächlichen Säulenhöhen von Brennstoff und Brutstoff

| Stab-Nr. | Berechnete Höhen |           |              | Gesamthöhe | Tatsächliche Höhen<br>(Berechnet aus theor. Innenlänge des Brennstabes (987 mm) + gemessene Länge des Gasplenums) |
|----------|------------------|-----------|--------------|------------|---|
|          | Brennstoff       | Brutstoff | Isoliertabl. |            |   |
| 8C-1     | 521,704          | 196,96    | 13,010       | 731,67     | --+)  |
| 8C-2     | 521,730          | 195,64    | 13,140       | 730,50     | --+)  |
| 8C-3     | 521,396          | 197,15    | 12,690       | 731,23     | --+)  |
| 8C-4     | 521,740          | 196,20    | 12,850       | 730,79     | --+)  |
| 8C-5     | 522,200          | 195,80    | 13,080       | 731,08     | 731,37  |
| 8C-6     | 521,231          | 194,69    | 13,030       | 728,95     | 730,19  |
| 8C-7     | 521,340          | 195,71    | 13,170       | 730,22     | 730,09  |
| 8C-8     | 520,930          | 195,72    | 12,995       | 729,64     | 730,49  |
| 8C-9     | 520,440          | 195,420   | 12,985       | 728,84     | 730,49  |
| 8C-10    | 517,390          | 196,630   | 12,945       | 726,96     | 728,80  |

+ ) Röntgenaufnahmen nicht auswertbar!

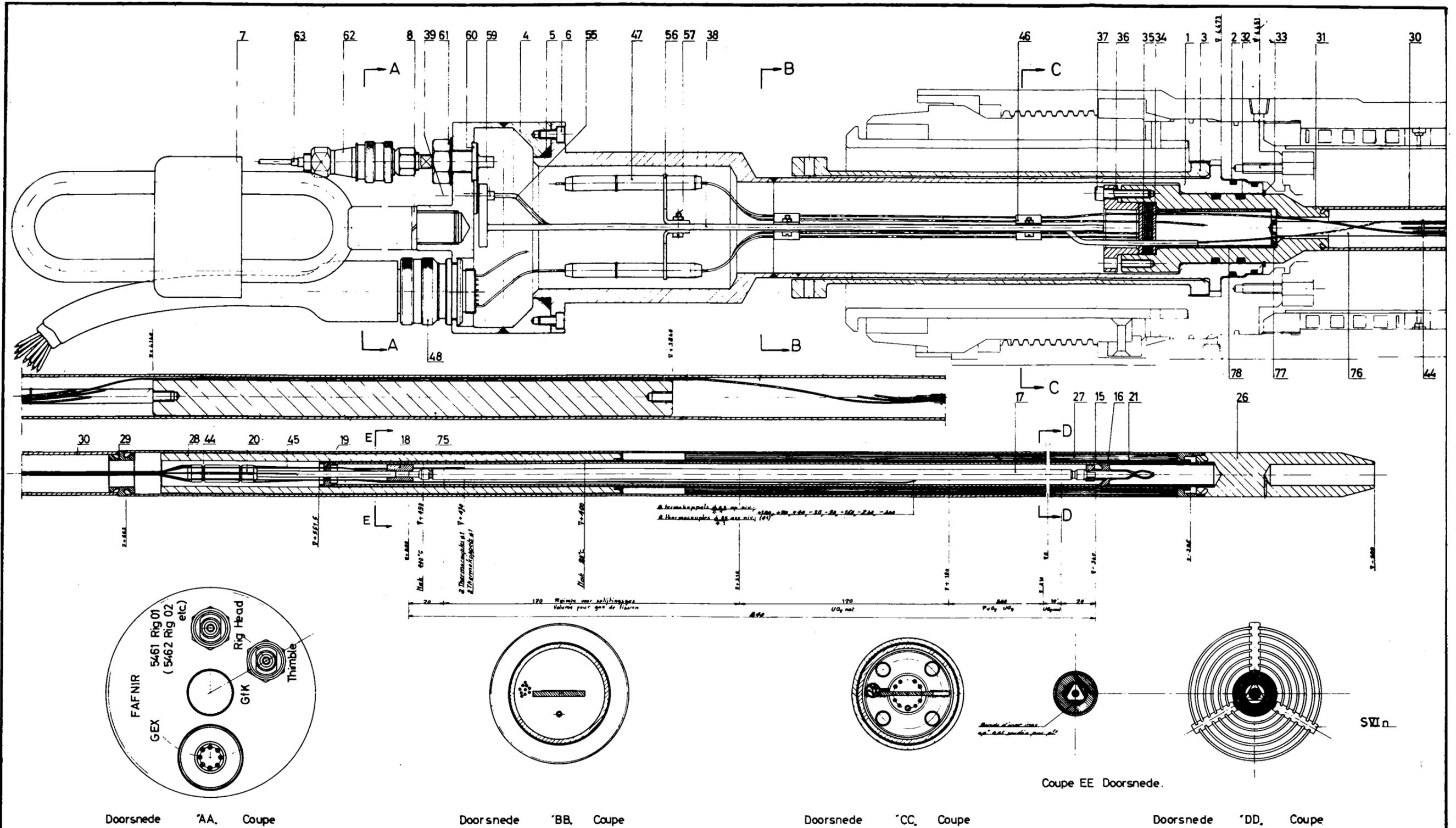


Abb. 4 Bestrahlungskapsel „FAFNIR“

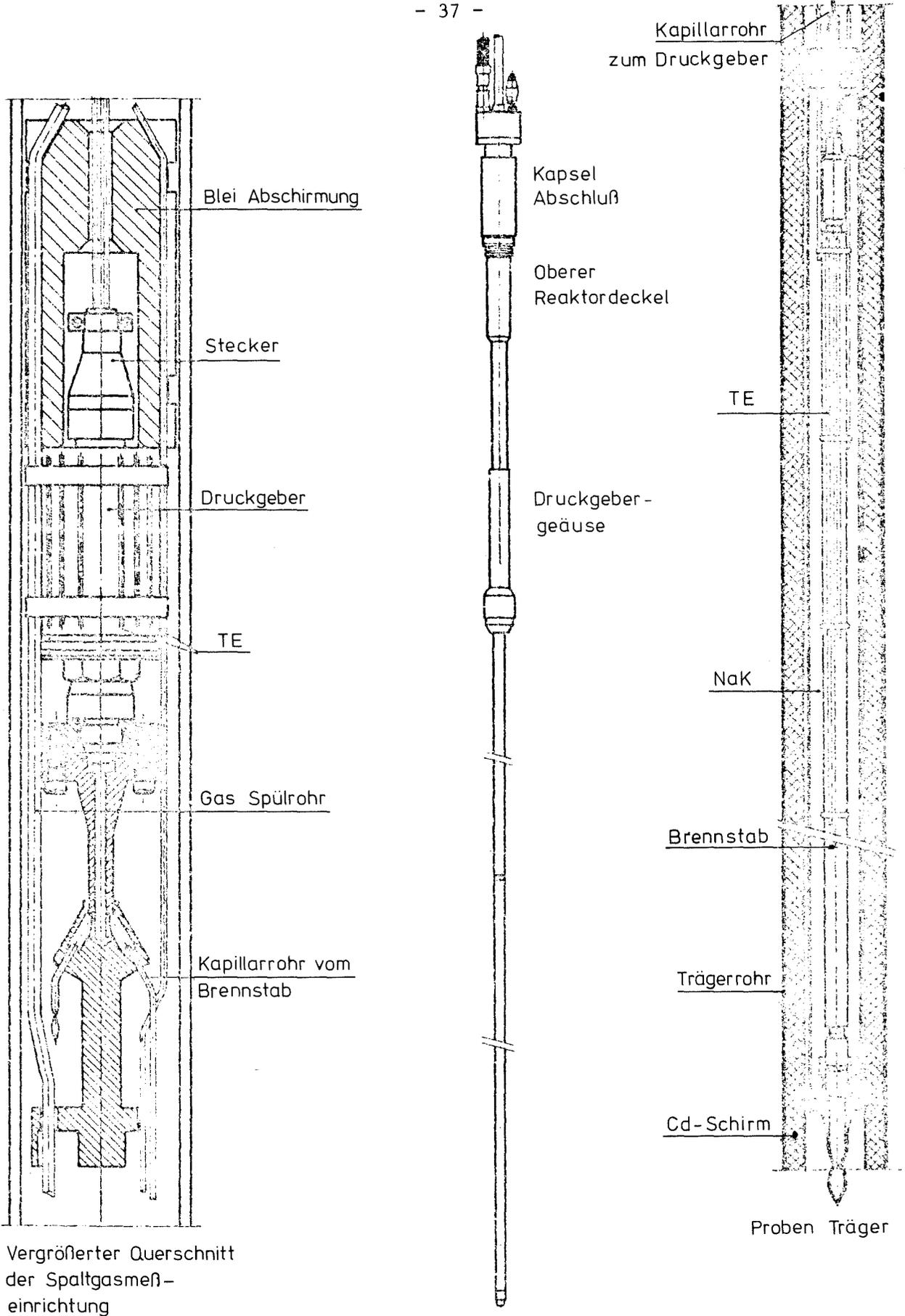
| N° | Désignation     | Remarque            | Q     | Pos.  | Classe |
|----|-----------------|---------------------|-------|-------|--------|
| 1  | Site de surface | Coups non autorisés | < 5   | > 5   | < 20   |
| 2  | Absorption      | Masses interdites   | < 5   | > 5   | < 20   |
| 3  |                 |                     | ± 0,1 | ± 0,2 | ± 0,3  |
| 4  |                 |                     | ± 0,1 | ± 0,2 | ± 0,3  |
| 5  |                 |                     | ± 0,1 | ± 0,2 | ± 0,3  |
| 6  |                 |                     | ± 0,1 | ± 0,2 | ± 0,3  |
| 7  |                 |                     | ± 0,1 | ± 0,2 | ± 0,3  |
| 8  |                 |                     | ± 0,1 | ± 0,2 | ± 0,3  |
| 9  |                 |                     | ± 0,1 | ± 0,2 | ± 0,3  |
| 10 |                 |                     | ± 0,1 | ± 0,2 | ± 0,3  |
| 11 |                 |                     | ± 0,1 | ± 0,2 | ± 0,3  |
| 12 |                 |                     | ± 0,1 | ± 0,2 | ± 0,3  |
| 13 |                 |                     | ± 0,1 | ± 0,2 | ± 0,3  |
| 14 |                 |                     | ± 0,1 | ± 0,2 | ± 0,3  |
| 15 |                 |                     | ± 0,1 | ± 0,2 | ± 0,3  |
| 16 |                 |                     | ± 0,1 | ± 0,2 | ± 0,3  |
| 17 |                 |                     | ± 0,1 | ± 0,2 | ± 0,3  |
| 18 |                 |                     | ± 0,1 | ± 0,2 | ± 0,3  |
| 19 |                 |                     | ± 0,1 | ± 0,2 | ± 0,3  |
| 20 |                 |                     | ± 0,1 | ± 0,2 | ± 0,3  |
| 21 |                 |                     | ± 0,1 | ± 0,2 | ± 0,3  |
| 22 |                 |                     | ± 0,1 | ± 0,2 | ± 0,3  |
| 23 |                 |                     | ± 0,1 | ± 0,2 | ± 0,3  |
| 24 |                 |                     | ± 0,1 | ± 0,2 | ± 0,3  |
| 25 |                 |                     | ± 0,1 | ± 0,2 | ± 0,3  |
| 26 |                 |                     | ± 0,1 | ± 0,2 | ± 0,3  |
| 27 |                 |                     | ± 0,1 | ± 0,2 | ± 0,3  |
| 28 |                 |                     | ± 0,1 | ± 0,2 | ± 0,3  |
| 29 |                 |                     | ± 0,1 | ± 0,2 | ± 0,3  |
| 30 |                 |                     | ± 0,1 | ± 0,2 | ± 0,3  |
| 31 |                 |                     | ± 0,1 | ± 0,2 | ± 0,3  |
| 32 |                 |                     | ± 0,1 | ± 0,2 | ± 0,3  |
| 33 |                 |                     | ± 0,1 | ± 0,2 | ± 0,3  |
| 34 |                 |                     | ± 0,1 | ± 0,2 | ± 0,3  |
| 35 |                 |                     | ± 0,1 | ± 0,2 | ± 0,3  |
| 36 |                 |                     | ± 0,1 | ± 0,2 | ± 0,3  |
| 37 |                 |                     | ± 0,1 | ± 0,2 | ± 0,3  |
| 38 |                 |                     | ± 0,1 | ± 0,2 | ± 0,3  |
| 39 |                 |                     | ± 0,1 | ± 0,2 | ± 0,3  |
| 40 |                 |                     | ± 0,1 | ± 0,2 | ± 0,3  |
| 41 |                 |                     | ± 0,1 | ± 0,2 | ± 0,3  |
| 42 |                 |                     | ± 0,1 | ± 0,2 | ± 0,3  |
| 43 |                 |                     | ± 0,1 | ± 0,2 | ± 0,3  |
| 44 |                 |                     | ± 0,1 | ± 0,2 | ± 0,3  |
| 45 |                 |                     | ± 0,1 | ± 0,2 | ± 0,3  |
| 46 |                 |                     | ± 0,1 | ± 0,2 | ± 0,3  |
| 47 |                 |                     | ± 0,1 | ± 0,2 | ± 0,3  |
| 48 |                 |                     | ± 0,1 | ± 0,2 | ± 0,3  |
| 49 |                 |                     | ± 0,1 | ± 0,2 | ± 0,3  |
| 50 |                 |                     | ± 0,1 | ± 0,2 | ± 0,3  |
| 51 |                 |                     | ± 0,1 | ± 0,2 | ± 0,3  |
| 52 |                 |                     | ± 0,1 | ± 0,2 | ± 0,3  |
| 53 |                 |                     | ± 0,1 | ± 0,2 | ± 0,3  |
| 54 |                 |                     | ± 0,1 | ± 0,2 | ± 0,3  |
| 55 |                 |                     | ± 0,1 | ± 0,2 | ± 0,3  |
| 56 |                 |                     | ± 0,1 | ± 0,2 | ± 0,3  |
| 57 |                 |                     | ± 0,1 | ± 0,2 | ± 0,3  |
| 58 |                 |                     | ± 0,1 | ± 0,2 | ± 0,3  |
| 59 |                 |                     | ± 0,1 | ± 0,2 | ± 0,3  |
| 60 |                 |                     | ± 0,1 | ± 0,2 | ± 0,3  |
| 61 |                 |                     | ± 0,1 | ± 0,2 | ± 0,3  |
| 62 |                 |                     | ± 0,1 | ± 0,2 | ± 0,3  |
| 63 |                 |                     | ± 0,1 | ± 0,2 | ± 0,3  |
| 64 |                 |                     | ± 0,1 | ± 0,2 | ± 0,3  |
| 65 |                 |                     | ± 0,1 | ± 0,2 | ± 0,3  |
| 66 |                 |                     | ± 0,1 | ± 0,2 | ± 0,3  |
| 67 |                 |                     | ± 0,1 | ± 0,2 | ± 0,3  |
| 68 |                 |                     | ± 0,1 | ± 0,2 | ± 0,3  |
| 69 |                 |                     | ± 0,1 | ± 0,2 | ± 0,3  |
| 70 |                 |                     | ± 0,1 | ± 0,2 | ± 0,3  |
| 71 |                 |                     | ± 0,1 | ± 0,2 | ± 0,3  |
| 72 |                 |                     | ± 0,1 | ± 0,2 | ± 0,3  |
| 73 |                 |                     | ± 0,1 | ± 0,2 | ± 0,3  |
| 74 |                 |                     | ± 0,1 | ± 0,2 | ± 0,3  |
| 75 |                 |                     | ± 0,1 | ± 0,2 | ± 0,3  |
| 76 |                 |                     | ± 0,1 | ± 0,2 | ± 0,3  |
| 77 |                 |                     | ± 0,1 | ± 0,2 | ± 0,3  |
| 78 |                 |                     | ± 0,1 | ± 0,2 | ± 0,3  |

GROUPE D'EXPLOITATION  
 DU REACTEUR BR 2 ET DE  
 SES INSTALLATIONS CONNEEXES  
 Service - Depot : Tech.st.

GROUPE VOOR EXPLOITATIE  
 VAN DE REACTOR BR 2 EN  
 ZIJN BIJHORENDE INSTALLATIES  
 Dienst - Opslag : Tech.st.

FAFNIR. Mk II  
 GEX

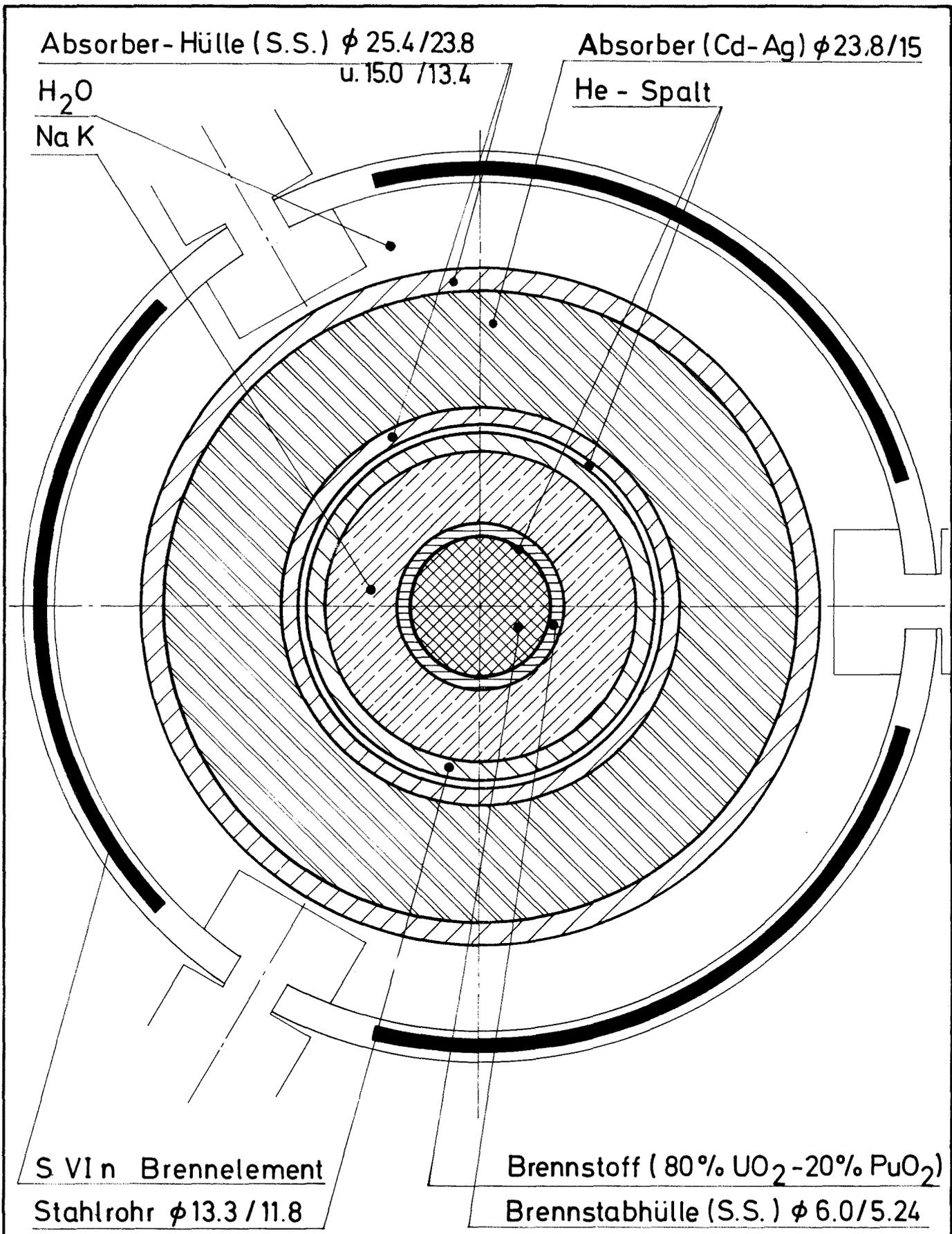
BESTRALING VAN EEN BRANDSTOFNAALD. Samenstelling  
 IRRADIATION D'UNE AIGUILLE DE COMBUSTIBLE. Ensemble.



Vergrößerter Querschnitt  
der Spaltgasmeß-  
einrichtung

Abb. 5

FUEL ARRAY FAST NEUTRON  
IRRADIATION RIG  
FAFNIR



Querschnitt v. Brennelement  
u. Bestrahlungskapsel

Abb. 6

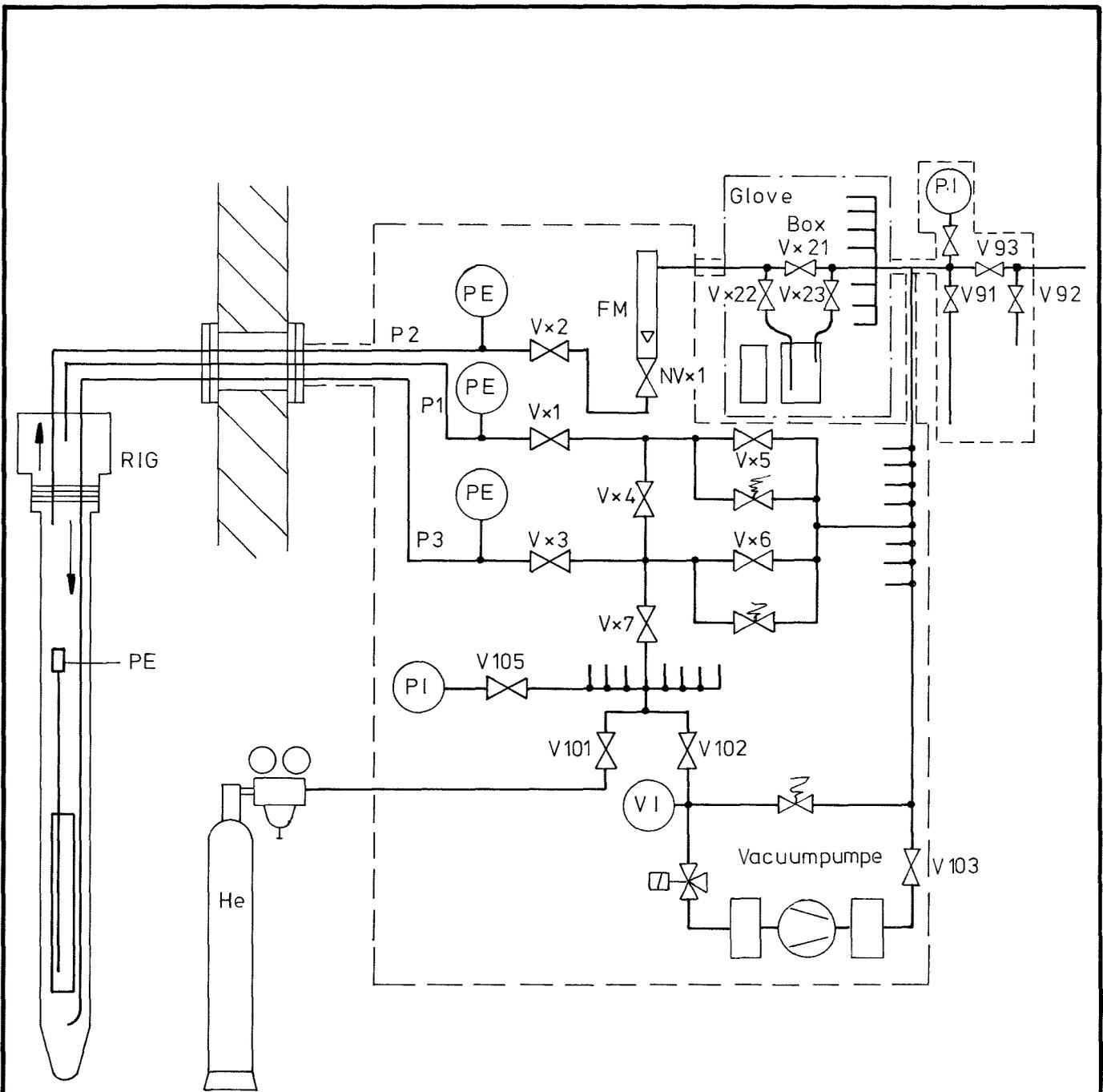
eine Gaszufuhr- und Gasabfuhrleitung. Einsatzunterteil und Einsatzkopf sind heliumdicht voneinander getrennt (Stopfbuchsendichtung) und zur Kontrolle der Integrität mit unterschiedlichen Drücken beaufschlagt. Von den insgesamt 12 Thermoelementen sind neun in verschiedenen Höhenkoten direkt auf die Hüllaußenseite des Brennstabes aufgebunden. In der heißesten Zone sind zwei Elemente um  $180^\circ$  versetzt angebracht, ein Thermoelement ist zur Messung des Temperatursprungs im NaK-Spalt an der Innenseite des NaK-Behälters befestigt und zwei sind zur Kontrolle des NaK-Füllstandes 1 bis 2 mm in das NaK-Bad eingetaucht.

Thermoelementausgleichsleitungen, Versorgungs- und Meßsignalleitungen des Druckumformers sowie die Gasleitungen zur Druckbeaufschlagung von Einsatzkopf und -unterteil sind über den Einsatzkopf mit der Out-pile-Anlage verbunden. Diese Anlage gestattet den Parallelbetrieb von acht FAFNIR-Einsätzen und enthält pro Einsatz einen 12-Punkt-Drucker für die Thermoelemente, einen Linienschreiber für den Spaltgasdruck, einen pneumatischen Teil zur Druckbeaufschlagung und Spülung des Einsatzes mit der zugehörigen Gasprobenentnahmestation und Aktivitätsüberwachung. Gemeinsame Teile sind ein Punktdrucker für Einsatzkopfdruck und ein Punktdrucker für Einsatzdruck, Eingangs- und Ausgangsseite.

Der pneumatische Schrank besitzt ferner die notwendigen Gasversorgungsleitungen, Alarmeinheiten und einen Vakuumpumpensatz. Das Flußschema des pneumatischen Schrankes mit Glove-Box ist in Abb. 7 wiedergegeben. Die 10 Brennstäbe wurden von der GfK beigestellt, die 10 FAFNIR-Einsätze von CEN, Abteilung Technologie, entworfen und hergestellt. Die Out-pile-Anlage wurde von der Gruppe Technologie in Mol entworfen und von CEN-Grenoble in Auftrag gebaut. Die Betreuung der Bestrahlung im BR2 oblag der Arbeitsgruppe Mol der GfK.

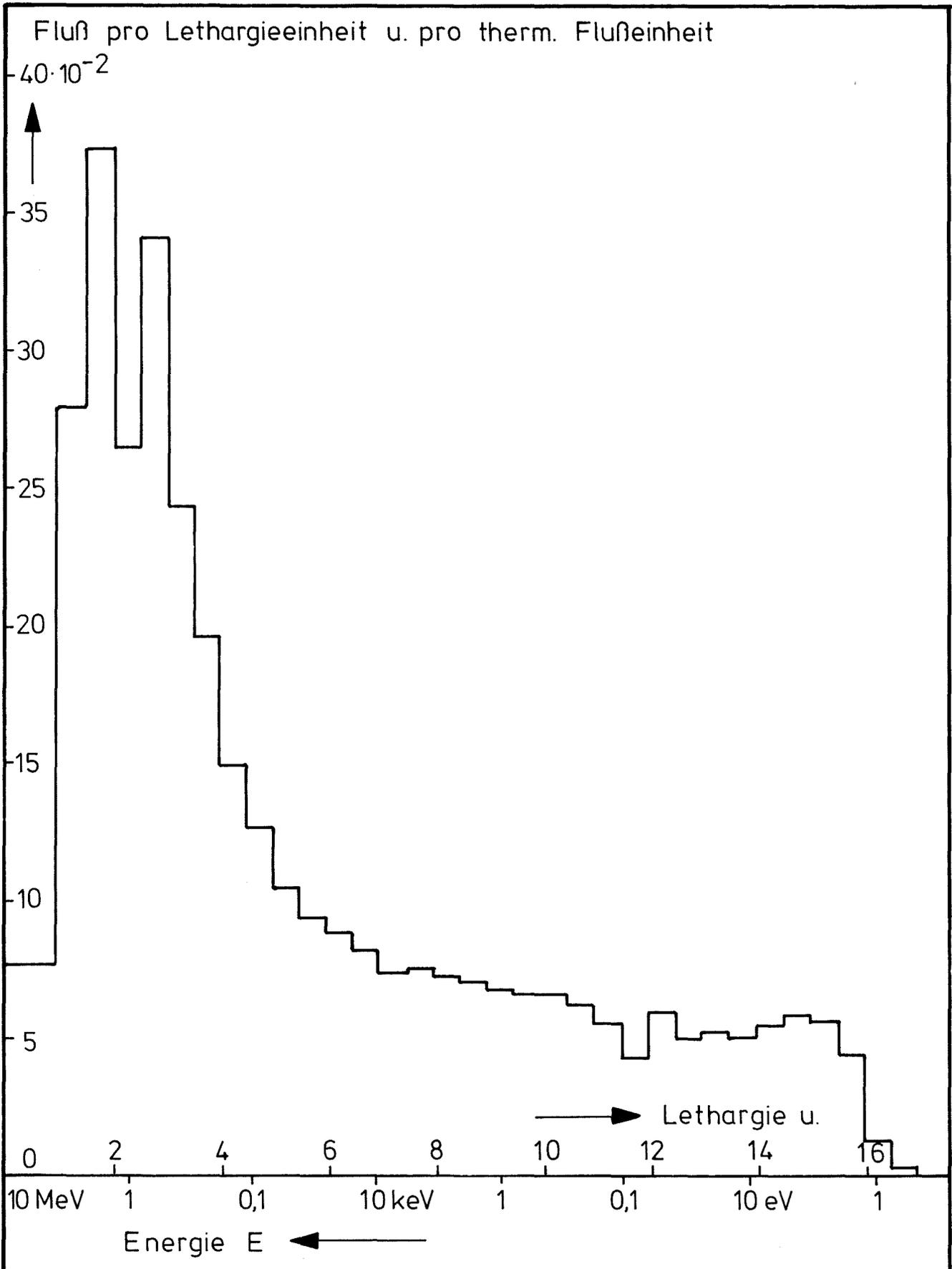
## 6.2 Flußspektrum (epithermisch)

In Abb. 8 wird das relative Flußspektrum im Brennstab unter Berücksichtigung der Cadmium-Abschirmung gegeben. Abb. 9 gibt die Leistungsdichteverteilung im Brennstab wieder. Infolge der hohen  $\sigma_f$ -Werte im Energiebereich 1 - 1000 eV ( $\text{Pu}^{239}$ !) finden dort praktisch 2/3 der Spaltungen und nur noch ca. 1/3 im "schnellen" Energiebereich von ca. 1 MeV statt. Abbildung 10 zeigt schließlich eine Flußabsenkung im Energiebereich 10 - 21,5 eV für den Brennstab Mol 8C-5 zu Beginn der Bestrahlung gerechnet nach MERKUR.



Schematische Darstellung der kontinuierlichen  
Spaltgasdruckmessung

Abb. 7

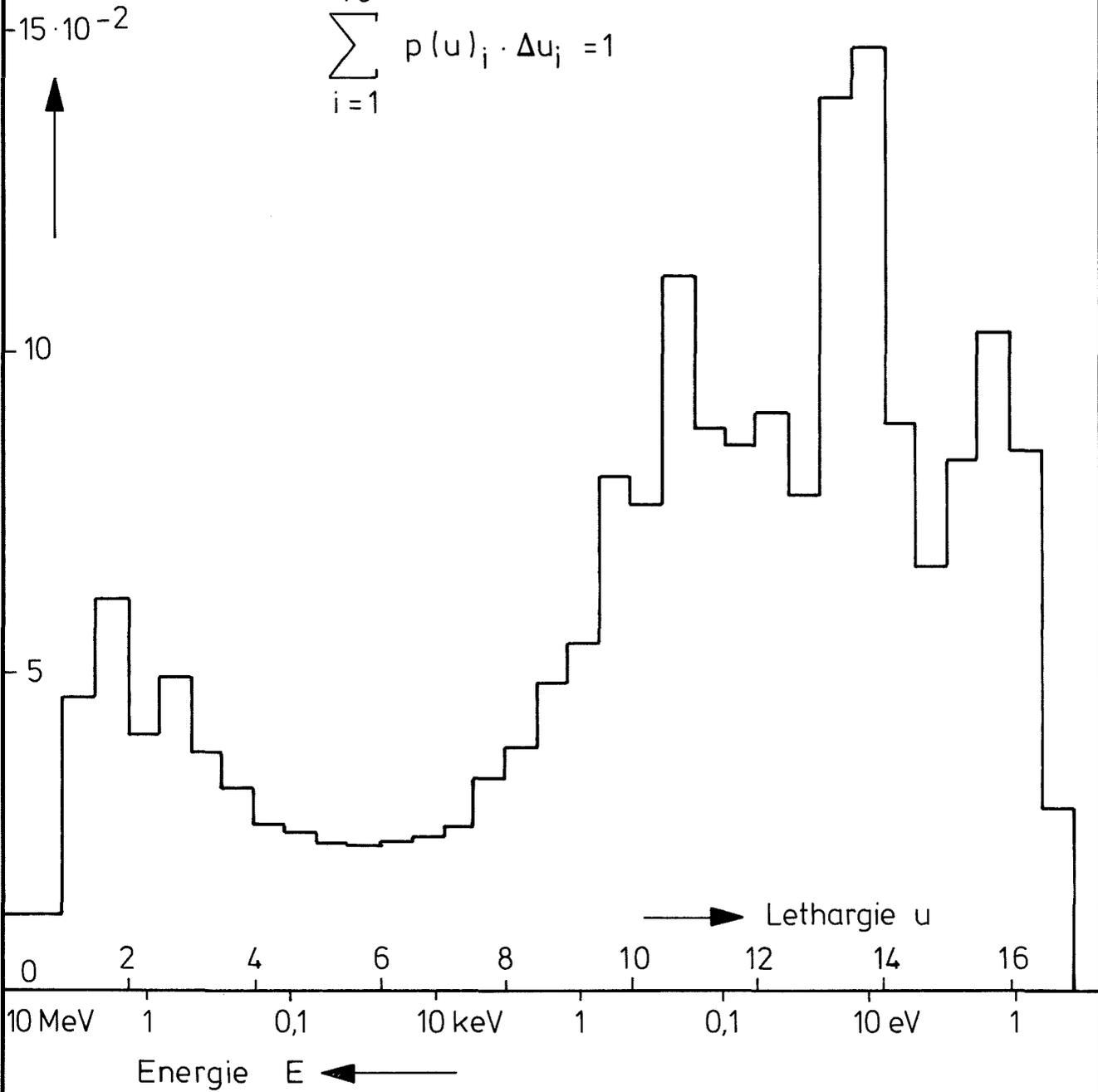


Mittleres Neutronenfluß-  
spektrum im Brennstoff

Abb. 8

Leistungsdichte pro Lethargieeinheit  
normiert zu:

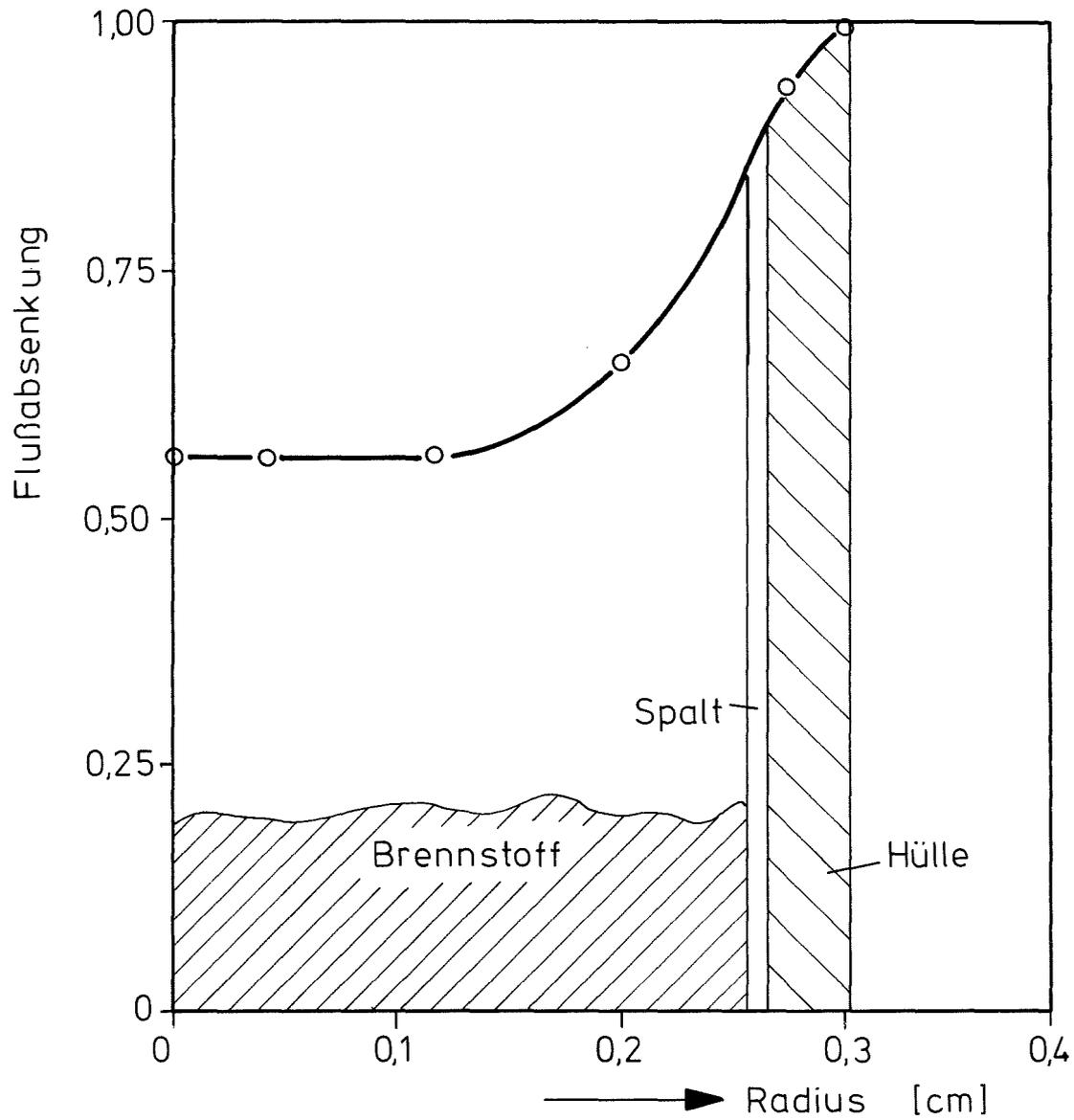
$$\sum_{i=1}^{40} p(u)_i \cdot \Delta u_i = 1$$



Mittleres Leistungsdichte -  
spektrum im Brennstoff

Abb. 9

### Stab 8C-5



GfK Karlsruhe  
IMF/III

Flußabsenkung bei Bestrahlungsbeginn (nach MERKUR)

Abb. 10

## 7. Bestrahlung

### 7.1 Bestrahlungsablauf

Die Bestrahlung begann mit den Stäben C1 und C2 im BR2-Zyklus 15/70 am 11.11.1970 und wurde beendet im BR2-Zyklus 2/74 am 15.3.1974 mit den Stäben C2 und C4. Die BR2-Zyklen in ihrer "Feinstruktur" für Mol 8C sind in /7/ enthalten.

Der Bestrahlungsablauf geht aus den beigefügten Tabellen 24 - 33 hervor. Die Positionen der verschiedenen Einsätze sind in Abb.11 enthalten.

Zu den Tabellen sind folgende Erläuterungen nötig:

- der Abbrand des BR2-Brennelementes, BE-Abbrand, gilt bei Zyklusbeginn,
- die maximalen ungestörten Flüsse sowie die -Heizung gelten für die Soll-Reaktorleistung bei Zyklusbeginn,
- die maximalen ungestörten Dosen entsprechen der tatsächlich freigesetzten Gesamtenergie des Reaktors,
- die Soll-Reaktorleistung ist die nominelle Reaktorleistung. Die mittlere Zyklusleistung errechnet sich aus freigesetzter Energie und Zykluszeit,
- max. Temperatur und abs. max. Stableistung im Zyklus sind die während eines Zyklus erreichte max. Temperatur und die dazugehörige Stableistung. Diese Werte haben nur geringe Aussagekraft für die gesamte Bestrahlung, da sie nicht während des gesamten Zyklus und auch nicht immer an derselben Stabstelle auftreten.
- Hot Spot ist die durch ein Thermoelement erfaßte Stelle des Brennstabes, die die höchste Belastung zeigt. Die Abweichung beträgt in Einzelfällen kurzzeitig max. 5 %.
- Stableistung "Mittel über Zyklus und Stab" ist der Mittelwert aus den über die Stablänge geometrisch gemittelten Stableistungen bei Zyklusbeginn und Zyklusende. Schwankungen in der Reaktorleistung und/oder Trimmstabverstellungen und die daraus resultierenden Stableistungsschwankungen im Laufe des Reaktorzyklus werden hier nicht berücksichtigt, so daß dieser Wert gelegentlich ziemlich ungenau ist. In Punkt 7.2.1 wird diese Stableistung anhand des Flußprofils in den BR2-Bestrahlungskanälen berechnet. In Tab. 34 werden dann beide Werte miteinander verglichen.



| ZYKLUS BR2 | KANAL                        | BE-<br>ABBRAND<br>[%] | MAX. UNGESTÖRT. FLUSS bez. DOSIS       |                        |  |                        | $\delta$ -<br>HEIZUNG<br>[W/grAl] | FREIGES.<br>ENERGIE<br>[MWD] | SOLL -<br>REAKTOR-<br>LEISTUNG<br>[MW th] | ZYKLUS<br>ZEIT<br>>80% RL<br>[D] | MAX.<br>TEMP IN<br>ZYKLUS<br>[°C] | STABLEISTUNG [W/cm] |  |   | ABBRAND [MWD / kg Me]               |                   |                                     | SPALTGAS<br>DRUCK<br>ZYKLUS<br>ENDE<br>[bar] | GESAMT-<br>FREI-<br>SETZUNG |                                     |
|------------|------------------------------|-----------------------|--|------------------------|--|------------------------|-----------------------------------|------------------------------|---|----------------------------------|-----------------------------------|---------------------|--|---|-------------------------------------|-------------------|-------------------------------------|--|-----------------------------|-------------------------------------|
|            |                              |                       | THERMISCH                              |                        | SCHNELL                                |                        |                                   |                              |   |                                  |                                   | ABSOL.              | MITTEL<br>ÜBER<br>ZYKLUS<br>HOT-<br>SPOT | MITTEL<br>ÜBER<br>ZYKLUS<br>UND<br>STAB | MITTEL<br>ÜBER<br>ZYKLUS<br>HOTSPOT | GESAMT<br>HOTSPOT | MITTEL<br>ÜBER<br>ZYKLUS<br>U. STAB |  |                             | GESAMT<br>ÜBER<br>ZYKLUS<br>U. STAB |
|            |                              |                       | [10 <sup>14</sup> n/cm <sup>2</sup> s] | [10 <sup>20</sup> nvt] | [10 <sup>16</sup> n/cm <sup>2</sup> s] | [10 <sup>20</sup> nvt] |                                   |                              |   |                                  | MAX. I.<br>ZYKLUS                 | MAX. I.<br>ZYKLUS   | MAX. I.<br>ZYKLUS                        | MAX. I.<br>ZYKLUS                       | MAX. I.<br>ZYKLUS                   | MAX. I.<br>ZYKLUS | MAX. I.<br>ZYKLUS                   |  |                             |                                     |
| 15/70      | H 37                         | 32                    | 2.19                                   | 2.58                   | 1.51                                   | 1.78                   | 5.7                               | 956.3                        | 70  | 14.45                            | 635                               | 296                 | 267                                      | 228                                     | 2.049                               | -                 | 1.751                               | -  | 4.4                         | 1.926                               |
| 16/70      | H 37                         | 32                    | 2.18                                   | 2.36                   | 1.50                                   | 1.62                   | 5.4                               | 875.4                        | 70  | 12.49                            | 628                               | 290                 | 262                                      | 208                                     | 1.737                               | 3.773             | 1.382                               | 3.133  | 4.5                         | 1.144                               |
| 17/70      | H 37                         | 31                    | 2.15                                   | 2.50                   | 1.51                                   | 1.75                   | 5.9                               | 941.1                        | 70  | 14.41                            | 626                               | 288                 | 275                                      | 215                                     | 2.108                               | 5.881             | 1.647                               | 4.780  | 4.5                         | 0.75                                |
| 1/71       | H 323                        | 31                    | 2.20                                   | 3.72                   | 2.47                                   | 4.18                   | 6.1                               | 1371.6                       | 70  | 18.38                            | 672                               | 330                 | 280                                      | 226                                     | 2.810                               | 8.691             | 2.269                               | 7.049  | 6.4                         | 1.077                               |
| 2/71       | H 323                        | 28                    | 2.06                                   | 3.75                   | 2.42                                   | 4.40                   | 5.9                               | 1475.9                       | 70  | 20.91                            | 633                               | 295                 | 262                                      | 226                                     | 2.914                               | 11.605            | 2.511                               | 9.560  | 2.8                         | - ①                                 |
| 3/71       | H 323                        | 15                    | 2.22                                   | 3.43                   | 2.87                                   | 4.41                   | 6.3                               | 1252.7                       | 70  | 17.15                            | 620                               | 293                 | 259                                      | 185                                     | 2.362                               | 13.967            | 1.688                               | 11.248                                       | 2.9                         | 0.019                               |
| 4/71       | H 323                        | 28                    | 2.15                                   | 4.08                   | 3.05                                   | 5.79                   | 6.4                               | 1537.6                       | 70  | 22.1                             | 640                               | 321                 | 267                                      | 201                                     | 3.139                               | 17.106            | 2.354                               | 13.602                                       | 3.2                         | 0.062                               |
| 5/71       | H 323                        | 25                    | 1.99                                   | 3.19                   | 2.98                                   | 5.21                   | 6.1                               | 1419.7                       | 70  | 18.93                            | 612                               | 276                 | 259                                      | 189                                     | 2.609                               | 19.715            | 1.903                               | 15.505                                       | 3.6                         | 0.109                               |
| 6/71       | H 323                        | 24                    | 1.73                                   | 3.14                   | 2.89                                   | 5.25                   | 6.6                               | 1468.2                       | 70  | 20.97                            | 657                               | 317                 | 295                                      | 240                                     | 3.283                               | 22.998            | 2.677                               | 18.182                                       | 5.4                         | 0.301                               |
| 7/71       | H 323                        | 21                    | 1.37                                   | 1.35                   | 2.39                                   | 2.36                   | 5.6                               | 800.6                        | 70  | 11.96                            | 662                               | 322                 | 299                                      | 240                                     | 1.899                               | 24.897            | 1.525                               | 19.707                                       | 5.9                         | 0.332                               |
| 8/71       | H 323                        | 19                    | 1.37                                   | 2.01                   | 2.44                                   | 3.57                   | 5.6                               | 1191.3                       | 70  | 16.37                            | 682                               | 341                 | 305                                      | 253                                     | 2.650                               | 27.547            | 2.199                               | 21.906                                       | 6.8                         | 0.385                               |
| 9/71       | H 323                        | 33                    | 1.58                                   | 2.37                   | 2.36                                   | 3.55                   | 5.2                               | 1215.6                       | 70  | 16.95                            | 667                               | 322                 | 289                                      | 232                                     | 2.607                               | 30.154            | 2.088                               | 23.994                                       | 7.2                         | 0.387                               |
| 10/71      | H 323                        | 36                    | 1.62                                   | 2.39                   | 2.39                                   | 3.39                   | 5.0                               | 1194.6                       | 70  | 16.17                            | 655                               | 315                 | 286                                      | 224                                     | 2.455                               | 32.609            | 1.921                               | 25.915                                       | 7.6                         | 0.390                               |
| 11/71      | H 323                        | 39                    | 1.60                                   | 3.06                   | 2.30                                   | 4.4                    | 5.3                               | 1548.2                       | 70  | 21.37                            | 680                               | 338                 | 323                                      | 250                                     | 3.669                               | 36.278            | 2.834                               | 28.749                                       | 9.2                         | 0.469                               |
| 1/72       | H 323                        | 39                    | 1.98                                   | 3.71                   | 2.73                                   | 5.3                    | 6.0                               | 1516.1                       | 70  | 21.48                            | 667                               | 326                 | 275                                      | 225                                     | 3.144                               | 39.422            | 2.565                               | 31.314                                       | 10.5                        | 0.518                               |
| 2/72       | H 323                        | 42                    | 2.03                                   | 2.99                   | 2.75                                   | 4.06                   | 5.8                               | 1185.4                       | 70  | 16.09                            | 650                               | 310                 | 283                                      | 217                                     | 2.417                               | 41.839            | 1.855                               | 33.169                                       | 11.60                       | 0.559                               |
| 3/72       | H 323                        | 40                    | 2.01                                   | 3.64                   | 2.80                                   | 5.08                   | 6.0                               | 1468.7                       | 70  | 19.91                            | 686                               | 344                 | 324                                      | 264                                     | 3.426                               | 45.264            | 2.797                               | 35.966                                       | 12.50                       | 0.568                               |
| 4/72       | H 323                        | 49                    | 2.08                                   | 4.21                   | 2.58                                   | 5.23                   | 5.5                               | 1640.5                       | 70  | 21.83                            | 686                               | 344                 | 319                                      | 235                                     | 3.699                               | 48.963            | 2.731                               | 38.697                                       | 15.15                       | 0.673                               |
| 5/72       | H 337                        | 58                    | 2.17                                   | 5.75                   | 2.43                                   | 6.44                   | 5.1                               | 2148.2                       | 70  | 29.25                            | 649                               | 310                 | 279                                      | 215                                     | 4.333                               | 53.296            | 3.342                               | 42.039                                       | 16.30                       | 0.677                               |
| 6/72       | H 337                        | 55                    | 1.82                                   | 3.86                   | 2.12                                   | 4.5                    | 4.7                               | 1808.3                       | 73.5                                      | 23.09                            | 633                               | 294                 | 261                                      | 187                                     | 3.206                               | 56.502            | 2.292                               | 44.331                                       | 17.20                       | 0.685                               |
| 7/72       | H 337                        | 50                    | 1.76                                   | 3.78                   | 2.10                                   | 4.52                   | 4.8                               | 1729.0                       | 73.5                                      | 22.98                            | 621                               | 284                 | 254                                      | 182                                     | 3.096                               | 59.598            | 2.219                               | 46.550                                       | 17.85                       | 0.682                               |
| 8/72       | H 337                        | 49                    | 1.75                                   | 3.31                   | 2.17                                   | 4.11                   | 4.8                               | 1611.1                       | 73.5                                      | 20.56                            | 629                               | 291                 | 264                                      | 201                                     | 2.889                               | 62.487            | 2.198                               | 48.748                                       | 19.20                       | 0.709                               |
| 9/72       | H 337                        | 44                    | 1.63                                   | 3.92                   | 2.16                                   | 5.21                   | 5.0                               | 2047.4                       | 73.5                                      | 25.53                            | 637                               | 298                 | 266                                      | 175                                     | 3.613                               | 66.100            | 2.380                               | 51.128                                       | 20.15                       | 0.715                               |
| 10/72      | H 337                        | 43                    | 1.60                                   | 3.32                   | 2.31                                   | 4.56                   | 5.2                               | 1678.8                       | 73.5                                      | 20.02                            | 651                               | 311                 | 298                                      | 227                                     | 3.171                               | 69.271            | 2.411                               | 53.539                                       | 22.30                       | 0.768                               |
| 11/72      | H 337                        | 49                    | 1.76                                   | 1.30                   | 2.17                                   | 1.60                   | 4.90                              | 631.0                        | 73.5                                      | 7.88                             | 649                               | 300                 | 266                                      | 207                                     | 1.113                               | 70.384            | 0.866                               | 54.405                                       | 22.80                       | 0.775                               |
| 1/73       | H 337                        | 52                    | 1.83                                   | 3.16                   | 2.19                                   | 3.80                   | 4.80                              | 1471.3                       | 73.5                                      | 17.86                            | 622                               | 284                 | 251                                      | 184                                     | 2.378                               | 72.762            | 1.748                               | 56.153                                       | 22.60                       | 0.743                               |
| 2/73       | H 337                        | 49                    | 1.80                                   | 3.70                   | 2.20                                   | 4.52                   | 4.60                              | 1747.4                       | 73.5                                      | 20.75                            | 598                               | 266                 | 246                                      | 180                                     | 2.717                               | 75.479            | 1.982                               | 58.135                                       | 25.00                       | 0.805                               |
| 3/73       | H 337                        | 46                    | 1.75                                   | 4.73                   | 2.31                                   | 6.23                   | 4.70                              | 2298.9                       | 73.5                                      | 27.91                            | 652                               | 312                 | 276                                      | 215                                     | 4.096                               | 79.575            | 3.184                               | 61.318                                       | 25.60                       | 0.784                               |
| 4/73       | H 337                        | 53                    | 1.87                                   | 3.74                   | 2.12                                   | 4.24                   | 4.50                              | 1701.5                       | 73.5                                      | 20.05                            | 650                               | 309                 | 292                                      | 221                                     | 3.114                               | 82.689            | 2.350                               | 63.668                                       | 27.20                       | 0.808                               |
| 5/73       | H 337                        | 54                    | 1.88                                   | 3.94                   | 2.19                                   | 4.60                   | 4.60                              | 1782.8                       | 73.5                                      | 22.14                            | 649                               | 309                 | 281                                      | 216                                     | 3.300                               | 85.989            | 2.537                               | 66.205                                       | 29.40                       | 0.847                               |
| 6/73       | H 337                        | 56                    | 1.70                                   | 3.40                   | 2.37                                   | 4.75                   | 4.40                              | 1700.9                       | 73.5                                      | 20.61                            | 636                               | 297                 | 272                                      | 212                                     | 2.982                               | 88.971            | 2.317                               | 68.522                                       | 30.40                       | 0.849                               |
| 7/73       | H 337                        | 54                    | 1.71                                   | 3.31                   | 2.40                                   | 4.66                   | 4.50                              | 1646.1                       | 73.5                                      | 18.83                            | 643                               | 314                 | 267                                      | 211                                     | 2.675                               | 91.646            | 2.116                               | 70.638                                       | 31.20                       | 0.847                               |
| 8/73       | H 337                        | 55                    | 1.68                                   | 4.95                   | 2.25                                   | 6.99                   | 4.50                              | 2505.0                       | 73.5                                      | 29.41                            | 642                               | 304                 | 283                                      | 230                                     | 4.428                               | 96.074            | 3.598                               | 74.236                                       | 32.70                       | 0.849                               |
| 9/73       | H 337                        | 53                    | 1.69                                   | 4.91                   | 2.34                                   | 6.99                   | 4.50                              | 2469.2                       | 73.5                                      | 29.71                            | 643                               | 304                 | 283                                      | 217                                     | 4.471                               | 100.545           | 3.433                               | 77.669                                       | 34.50                       | 0.860                               |
| 10/73      | H 337                        | 56                    | 1.74                                   | 2.58                   | 2.31                                   | 3.41                   | 4.40                              | 1261.3                       | 73.5                                      | 14.58                            | 640                               | 301                 | 286                                      | 227                                     | 2.215                               | 102.760           | 1.760                               | 79.429                                       | 35.20                       | 0.860                               |
| 11/73      | H 337                        | 55                    | 1.65                                   | 3.99                   | 2.24                                   | 5.43                   | 4.30                              | 2058.3                       | 73.5                                      | 24.85                            | 632                               | 294                 | 278                                      | 215                                     | 3.677                               | 106.437           | 2.841                               | 82.270                                       | 36.60                       | 0.866                               |
| 1/74       | H 337                        | 53                    | 1.69                                   | 3.80                   | 2.34                                   | 5.27                   | 4.30                              | 1915.1                       | 73.5                                      | 22.67                            | 640                               | 301                 | 272                                      | 217                                     | 3.273                               | 109.710           | 2.609                               | 84.879                                       | 37.20                       | 0.854                               |
| 2/74       | H 337                        | 50                    | 1.84                                   | 3.50                   | 2.65                                   | 5.05                   | 5.10                              | 1543.3                       | 70.0                                      | 20.46                            | 649                               | 310                 | 300                                      | 231                                     | 3.261                               | 112.971           | 2.512                               | 87.391                                       | 38.20                       | 0.854                               |
| SUMME      |                              |                       |  | 129.73                 |  | 157.8                  |                                   | 58926.4                      |   | 761.56                           |                                   |                     |  |   |                                     | 112.971           |                                     | 87.391                                       | 38.20                       |                                     |
| Bem.       | ① negative Freisetzungsrates |                       |  |                        |  |                        |                                   |                              |   |                                  | MITTELWERTE                       |                     | 279                                      | 216.5                                   | Bestrahlungsablauf MOL 8C.2         |                   |                                     |  | Tab. 25                     |                                     |

| ZYKLUS<br>BR2 | KANAL | BE-<br>ABBRAND<br>[%] | MAX. UNGESTÖRT. FLUSS bez. DOSIS       |                       |  |                       | $\delta$ -<br>HEIZUNG<br>[W/gr.Al] | FREIGES.<br>ENERGIE<br>[MWD] | SOLL-<br>REAKTOR-<br>LEISTUNG<br>[MW th] | ZYKLUS<br>ZEIT<br>>80% RL<br>[D] | MAX.<br>TEMP. IN<br>ZYKLUS<br>[°C] | STABLEISTUNG [W/cm]              |  |  |                                      | ABBRAND [MWD / kg Me] |                                     |                                     | SPALTGAS<br>DRUCK<br>ZYKLUS<br>ENDE<br>[bar] | GESAMT-<br>FREI-<br>SETZUNG |  |
|---------------|-------|-----------------------|--|-----------------------|--|-----------------------|------------------------------------|------------------------------|--|----------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|--|--|--------------------------------------|-----------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--|-----------------------------|--|
|               |       |                       | THERMISCH                              |                       | SCHNELL                                |                       |                                    |                              |  |                                  |                                    | ABSOL.                           | MITTEL<br>ÜBER<br>HOT-<br>SPOT         | MITTEL<br>ÜBER<br>ZYKL.<br>UND<br>STAB | MITTEL<br>ÜBER<br>ZYKLUS<br>HOTSPOT  | GESAMT<br>HOTSPOT     | MITTEL<br>ÜBER<br>ZYKLUS<br>U. STAB | GESAMT<br>ÜBER<br>ZYKLUS<br>U. STAB |  |                             |  |
|               |       |                       | [10 <sup>14</sup> n/cm <sup>2</sup> s] | [10 <sup>20</sup> nv] | [10 <sup>14</sup> n/cm <sup>2</sup> s] | [10 <sup>20</sup> nv] |                                    |                              |  |                                  | MAX. I.<br>ZYKL.                   | MAX. I.<br>ZYKL.<br>HOT-<br>SPOT | MITTEL<br>ÜBER<br>ZYKL.<br>UND<br>STAB | MITTEL<br>ÜBER<br>ZYKLUS<br>HOTSPOT    |                                      |                       |                                     |                                     |  |                             |  |
| 15/70         |       |                       |  |                       |  |                       |                                    |                              |  |                                  |                                    |                                  |  |  |                                      |                       |                                     |                                     |  |                             |  |
| 16/70         |       |                       |  |                       |  |                       |                                    |                              |  |                                  |                                    |                                  |  |  |                                      |                       |                                     |                                     |  |                             |  |
| 17/70         |       |                       |  |                       |  |                       |                                    |                              |  |                                  |                                    |                                  |  |  |                                      |                       |                                     |                                     |  |                             |  |
| 1/71          | G 120 | 19                    | 2.23                                   | 3.77                  | 2.78                                   | 4.7                   | 6.6                                | 1371.6                       | 70                                       | 10.88                            | 447                                | 356                              | 335                                    | 262                                    | 3.36                                 | -                     | 2.627                               | -                                   | 5.2  | 2.247                       |  |
| 2/71          | F 166 | 17                    | 2.1                                    | 3.82                  | 3.42                                   | 6.23                  | 6.9                                | 1475.9                       | 70                                       | 20.91                            | 467                                | 402                              | 392                                    | 339                                    | 4.356                                | 7.651                 | 3.763                               | 6.39                                | 2.4  | -                           |  |
| 3/71          | F 314 | 26                    | 2.91                                   | 4.5                   | 3.50                                   | 5.41                  | 8.1                                | 1252.7                       | 70                                       | 17.15                            | 580                                | 568                              | 523                                    | 393                                    | 4.768                                | 12.419                | 3.582                               | 9.972                               | 6.6  | 0.34                        |  |
| 4/71          | -     | 28                    | 2.80                                   | 5.31                  | 3.30                                   | 6.26                  | 7.8                                | 1537.6                       | 70                                       | 22.10                            | 557                                | 582                              | 489                                    | 381                                    | 5.739                                | 10.158                | 4.469                               | 14.441                              | 7.2  | 0.32                        |  |
| 5/71          | -     | 41                    | 2.55                                   | 4.47                  | 3.41                                   | 5.98                  | 7.4                                | 1419.7                       | 70                                       | 18.93                            | 563                                | 541                              | 484                                    | 366                                    | 4.72                                 | 23.03                 | 3.68                                | 18.121                              | 8.1  | 0.36                        |  |
| 6/71          | -     | 36                    | 2.52                                   | 4.566                 | 3.54                                   | 6.42                  | 8.1                                | 1468.2                       | 70                                       | 20.97                            | 550                                | 584                              | 489                                    | 399                                    | 5.454                                | 28.484                | 4.451                               | 22.572                              | 8.9  | 0.366                       |  |
| 7/71          | -     | 30                    | 1.96                                   | 1.93                  | 3.04                                   | 3.0                   | 7.3                                | 800.6                        | 70                                       | 11.96                            | 540                                | 506                              | 474                                    | 380                                    | 3.011                                | 31.495                | 2.418                               | 24.990                              | 9.2  | 0.355                       |  |
| 8/71          | -     | 28                    | 1.97                                   | 2.896                 | 3.13                                   | 4.6                   | 7.4                                | 1191.3                       | 70                                       | 16.37                            | 561                                | 537                              | 505                                    | 415                                    | 4.395                                | 35.89                 | 3.613                               | 28.603                              | 10.7   | 0.42                        |  |
| 9/71          | -     | 26                    | 1.95                                   | 2.925                 | 3.25                                   | 4.88                  | 7.3                                | 1215.6                       | 70                                       | 16.95                            | 579                                | 568                              | 502                                    | 411                                    | 4.521                                | 40.413                | 3.707                               | 32.310                              | 11.8   | 0.442                       |  |
| 10/71         | -     | 13                    | 1.75                                   | 2.58                  | 3.39                                   | 4.99                  | 7.7                                | 1194.6                       | 70                                       | 16.17                            | 560                                | 536                              | 495                                    | 390                                    | 4.250                                | 44.661                | 3.348                               | 35.658                              | 12.4   | 0.438                       |  |
| 11/71         | -     | 0                     | 1.49                                   | 2.85                  | 3.29                                   | 6.29                  | 8.1                                | 1548.2                       | 70                                       | 21.37                            | 564                                | 542                              | 500                                    | 393                                    | 5.906                                | 50.567                | 4.463                               | 40.121                              | 14.0   | 0.474                       |  |
| 1/72          | -     | 0                     | 1.53                                   | 2.86                  | 3.37                                   | 6.3                   | 8.3                                | 1516.1                       | 70                                       | 21.48                            | 546                                | 514                              | 462                                    | 370                                    | 5.278                                | 55.844                | 4.221                               | 44.342                              | 16.0   | 0.524                       |  |
| 2/72          | -     | 0                     | 1.53                                   | 2.257                 | 3.37                                   | 4.97                  | 8.4                                | 1195.4                       | 70                                       | 16.09                            | 548                                | 518                              | 487                                    | 376                                    | 4.160                                | 60.004                | 3.215                               | 47.557                              | 17.4   | 0.55                        |  |
| 3/72          | -     | 0                     | 1.54                                   | 2.79                  | 3.39                                   | 6.15                  | 8.4                                | 1468.7                       | 70                                       | 19.91                            | 574                                | 558                              | 529                                    | 422                                    | 5.603                                | 65.606                | 4.46                                | 52.017                              | 20.3   | 0.62                        |  |
| 4/72          | -     | 0                     | 1.50                                   | 3.04                  | 3.30                                   | 6.68                  | 8.3                                | 1640.5                       | 70                                       | 21.83                            | 583                                | 573                              | 523                                    | 420                                    | 6.067                                | 71.673                | 4.876                               | 56.893                              | 23.2   | 0.674                       |  |
| 5/72          | -     | 0                     | 1.47                                   | 3.9                   | 3.24                                   | 8.59                  | 8.2                                | 2148.2                       | 70                                       | 29.35                            | 550                                | 520                              | 482                                    | 383                                    | 7.485                                | 79.158                | 5.946                               | 62.839                              | 24.8   | 0.664                       |  |
| 6/72          | -     | 0                     | 1.50                                   | 3.18                  | 3.30                                   | 6.99                  | 8.3                                | 1808.3                       | 73.5                                     | 23.09                            | 574                                | 558                              | 474                                    | 353                                    | 5.821                                | 84.979                | 4.337                               | 67.176                              | 26.8   | 0.684                       |  |
| 7/72          | -     | 0                     | 1.37                                   | 2.95                  | 3.65                                   | 7.24                  | 8.7                                | 1829.0                       | 73.5                                     | 22.98                            | 564                                | 544                              | 470                                    | 361                                    | 5.739                                | 90.718                | 4.414                               | 71.590                              | 27.9   | 0.674                       |  |
| 8/72          | -     | 0                     | 1.37                                   | 2.59                  | 3.66                                   | 6.93                  | 8.8                                | 1611.1                       | 73.5                                     | 20.56                            | 571                                | 553                              | 506                                    | 404                                    | 5.531                                | 96.249                | 4.418                               | 76.008                              | 30   | 0.693                       |  |
| 9/72          | -     | 0                     | 1.33                                   | 3.20                  | 3.54                                   | 7.52                  | 8.6                                | 2047.4                       | 73.5                                     | 25.53                            | 565                                | 544                              | 489                                    | 352                                    | 6.627                                | 102.876               | 4.775                               | 80.783                              | 30.8   | 0.673                       |  |
| 10/72         | -     | 0                     | 1.34                                   | 2.64                  | 3.59                                   | 7.08                  | 8.7                                | 1678.8                       | 73.5                                     | 20.02                            | 557                                | 528                              | 477                                    | 401                                    | 5.070                                | 107.946               | 4.263                               | 85.046                              | 31.8   | 0.664                       |  |
| 11/72         | -     | 0                     | 1.34                                   | 0.99                  | 3.58                                   | 2.66                  | 8.6                                | 631.0                        | 73.5                                     | 7.88                             | 525                                | 481                              | 441                                    | 375                                    | 3.848                                | 109.794               | 1.573                               | 86.619                              | 33.2   | 0.686                       |  |
| 1/73          | -     | 4                     | 1.43                                   | 2.47                  | 3.68                                   | 6.36                  | 8.5                                | 1471.3                       | 73.5                                     | 17.86                            | 531                                | 492                              | 444                                    | 364                                    | 4.212                                | 114.006               | 3.452                               | 90.071                              | 33.1   | 0.658                       |  |
| 2/73          |       |                       |  |                       |  |                       |                                    |                              |  |                                  |                                    |                                  |  |  |                                      |                       |                                     |                                     |  |                             |  |
| 3/73          |       |                       |  |                       |  |                       |                                    |                              |  |                                  |                                    |                                  |  |  |                                      |                       |                                     |                                     |  |                             |  |
| 4/73          |       |                       |  |                       |  |                       |                                    |                              |  |                                  |                                    |                                  |  |  |                                      |                       |                                     |                                     |  |                             |  |
| 5/73          |       |                       |  |                       |  |                       |                                    |                              |  |                                  |                                    |                                  |  |  |                                      |                       |                                     |                                     |  |                             |  |
| 6/73          |       |                       |  |                       |  |                       |                                    |                              |  |                                  |                                    |                                  |  |  |                                      |                       |                                     |                                     |  |                             |  |
| 7/73          |       |                       |  |                       |  |                       |                                    |                              |  |                                  |                                    |                                  |  |  |                                      |                       |                                     |                                     |  |                             |  |
| 8/73          |       |                       |  |                       |  |                       |                                    |                              |  |                                  |                                    |                                  |  |  |                                      |                       |                                     |                                     |  |                             |  |
| 9/73          |       |                       |  |                       |  |                       |                                    |                              |  |                                  |                                    |                                  |  |  |                                      |                       |                                     |                                     |  |                             |  |
| 10/73         |       |                       |  |                       |  |                       |                                    |                              |  |                                  |                                    |                                  |  |  |                                      |                       |                                     |                                     |  |                             |  |
| 11/73         |       |                       |  |                       |  |                       |                                    |                              |  |                                  |                                    |                                  |  |  |                                      |                       |                                     |                                     |  |                             |  |
| 1/74          |       |                       |  |                       |  |                       |                                    |                              |  |                                  |                                    |                                  |  |  |                                      |                       |                                     |                                     |  |                             |  |
| 2/74          |       |                       |  |                       |  |                       |                                    |                              |  |                                  |                                    |                                  |  |  |                                      |                       |                                     |                                     |  |                             |  |
| SUMME         |       |                       |  | 72.5                  |  | 137.8                 |                                    | 33515.8                      |  | 448.24                           |                                    |                                  |  |  |                                      | 114.006               |                                     | 90.071                              | 33.1   | 0.658                       |  |
| Bem.          |       |                       |  |                       |  |                       |                                    |                              |  |                                  |                                    | MITTELWERTE                      | 478                                    | 378.7                                  | Bestrahlungsablauf MOL 8C 3. Tab. 26 |                       |                                     |                                     |  |                             |  |

| ZYKLUS<br>BR2 | KANAL | BE-<br>ABBRAND<br>[%] | MAX. UNGESTÖRT. FLUSS bez. DOSIS       |                        |  |                        | δ-<br>HEIZUNG<br>[W/gr.Al] | FREIGES<br>ENERGIE<br>[MWD] | SOLL-<br>REAKTOR-<br>LEISTUNG<br>[MW th] | ZYKLUS<br>ZEIT<br>>80% RL<br>[D] | MAX.<br>TEMP. IN<br>ZYKLUS<br>[°C] | STABLEISTUNG [W/cm] |   |  | ABBRAND [MWD / kg Me]                |                   |                                     |                                     | SPALTGAS<br>DRUCK<br>ZYKLUS<br>ENDE<br>[bar] | GESAMT-<br>FREI-<br>SETZUNG |
|---------------|-------|-----------------------|--|------------------------|--|------------------------|----------------------------|-----------------------------|--|----------------------------------|------------------------------------|---------------------|---|--|--------------------------------------|-------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--|-----------------------------|
|               |       |                       | THERMISCH                              |                        | SCHNELL                                |                        |                            |                             |  |                                  |                                    | ABSOL.              | MITTEL<br>ÜBER<br>ZYKL. I<br>HOT-<br>SPOT | MITTEL<br>ÜBER<br>ZYKL.<br>UND<br>STAB | MITTEL<br>ÜBER<br>ZYKLUS<br>HOTSPOT  | GESAMT<br>HOTSPOT | MITTEL<br>ÜBER<br>ZYKLUS<br>U. STAB | GESAMT<br>ÜBER<br>ZYKLUS<br>U. STAB |  |                             |
|               |       |                       | [10 <sup>14</sup> n/cm <sup>2</sup> s] | [10 <sup>20</sup> nvt] | [10 <sup>14</sup> n/cm <sup>2</sup> s] | [10 <sup>20</sup> nvt] |                            |                             |  |                                  | MAX. I.<br>ZYKL.                   |                     |   |  |                                      |                   |                                     |                                     |  |                             |
| 15/70         |       |                       |  |                        |  |                        |                            |                             |  |                                  |                                    |                     |   |  |                                      |                   |                                     |                                     |  |                             |
| 16/70         | H 23  | 33                    | 2.11                                   | 2.28                   | 1.4                                    | 1.51                   | 5.5                        | 875.4                       | 70                                       | 12.49                            | 560                                | 292                 | 265                                       | 231                                    | 1.757                                | -                 | 1.531                               | -                                   | 3.8  | 0.615                       |
| 17/70         | -     | 18                    | 2.09                                   | 2.43                   | 2.03                                   | 2.36                   | 6.6                        | 941.1                       | 70                                       | 14.41                            | 590                                | 309                 | 282                                       | 227                                    | 2.156                                | 3.913             | 1.742                               | 3.273                               | -  | -                           |
| 1/71          | -     | 17                    | 2.20                                   | 3.72                   | 2.97                                   | 5.02                   | 7.3                        | 1371.6                      | 70                                       | 18.88                            | 666                                | 392                 | 360                                       | 302                                    | 3.612                                | 7.525             | 3.029                               | 6.302                               | 1.95   | 0.017                       |
| 2/71          | -     | 25                    | 2.06                                   | 3.75                   | 2.54                                   | 4.63                   | 6.4                        | 1475.9                      | 70                                       | 20.91                            | 632                                | 358                 | 324                                       | 297                                    | 3.598                                | 11.123            | 3.3                                 | 9.602                               | 4  | 0.462                       |
| 3/71          | -     | 27                    | 2.22                                   | 3.43                   | 2.40                                   | 3.71                   | 5.6                        | 1252.7                      | 70                                       | 17.15                            | 582                                | 312                 | 281                                       | 227                                    | 2.565                                | 13.688            | 2.066                               | 11.668                              | 4.1  | 0.397                       |
| 4/71          | -     | 40                    | 2.15                                   | 4.08                   | 2.50                                   | 4.74                   | 5.6                        | 1537.6                      | 70                                       | 22.10                            | 592                                | 322                 | 283                                       | 221                                    | 3.322                                | 17.010            | 2.595                               | 14.263                              | 4.0  | 0.31                        |
| 5/71          | -     | 25                    | 1.99                                   | 3.49                   | 2.98                                   | 5.22                   | 6.0                        | 1419.7                      | 70                                       | 18.93                            | 641                                | 366                 | 308                                       | 244                                    | 3.104                                | 20.114            | 2.454                               | 16.717                              | 5  | 0.391                       |
| 6/71          | -     | 18                    | 1.73                                   | 3.14                   | 3.14                                   | 5.69                   | 7.3                        | 1462.2                      | 70                                       | 20.97                            | 636                                | 362                 | 343                                       | 286                                    | 3.225                                | 23.939            | 3.191                               | 19.908                              | 5.9  | 0.311                       |
| 7/71          | H 337 | 17                    | 1.37                                   | 1.35                   | 2.49                                   | 2.46                   | 6.0                        | 800.6                       | 70                                       | 11.96                            | 605                                | 332                 | 311                                       | 257                                    | 1.974                                | 25.912            | 1.633                               | 21.541                              | 6.4  | 0.44                        |
| 8/71          | H 23  | 21                    | 1.41                                   | 2.07                   | 2.46                                   | 3.61                   | 5.7                        | 1191.3                      | 70                                       | 16.37                            | 615                                | 342                 | 317                                       | 267                                    | 2.755                                | 22.667            | 2.326                               | 23.867                              | 6.4  | 0.397                       |
| 9/71          | H 337 | 23                    | 1.46                                   | 2.19                   | 2.53                                   | 3.79                   | 5.6                        | 1215.6                      | 70                                       | 16.95                            | 597                                | 318                 | 289                                       | 245                                    | 2.606                                | 31.273            | 2.209                               | 26.076                              | 6.2  | 0.348                       |
| 10/71         | -     | 28                    | 1.53                                   | 2.56                   | 2.48                                   | 3.65                   | 5.3                        | 1194.6                      | 70                                       | 16.17                            | 576                                | 306                 | 281                                       | 237                                    | 2.415                                | 33.688            | 2.040                               | 28.116                              | 7.0  | 0.382                       |
| 11/71         | -     | 14                    | 1.30                                   | 2.48                   | 2.51                                   | 4.79                   | 6.1                        | 1546.2                      | 70                                       | 21.37                            | 631                                | 357                 | 340                                       | 281                                    | 2.858                                | 37.546            | 3.195                               | 31.311                              | 8.9  | 0.371                       |
| 1/72          | -     | 18                    | 1.66                                   | 3.11                   | 3.07                                   | 5.74                   | 6.9                        | 1516.1                      | 70                                       | 21.48                            | 618                                | 344                 | 301                                       | 258                                    | 3.139                                | 40.985            | 2.950                               | 34.216                              | 10.5   | 1.519                       |
| 2/72          | -     | 15                    | 1.61                                   | 2.37                   | 3.08                                   | 4.55                   | 6.9                        | 1195.4                      | 70                                       | 16.09                            | 602                                | 330                 | 303                                       | 247                                    | 2.587                                | 41.572            | 2.113                               | 36.374                              | 11.1   | 0.451                       |
| 3/72          | -     | 13                    | 1.58                                   | 2.86                   | 3.11                                   | 5.64                   | 7.1                        | 1468.7                      | 70                                       | 19.91                            | 622                                | 354                 | 339                                       | 291                                    | 3.584                                | 47.156            | 3.077                               | 39.451                              | 11.8   | 0.454                       |
| 4/72          | -     | 23                    | 1.70                                   | 3.14                   | 2.96                                   | 5.99                   | 6.7                        | 1640.5                      | 70                                       | 21.83                            | 629                                | 354                 | 325                                       | 273                                    | 1.765                                | 50.921            | 3.169                               | 42.620                              | 13.75  | 0.517                       |
| 5/72          | H 323 | 28                    | 1.74                                   | 4.61                   | 2.85                                   | 7.55                   | 6.0                        | 1145.2                      | 70                                       | 29.25                            | 590                                | 311                 | 282                                       | 231                                    | 4.380                                | 55.301            | 3.586                               | 46.206                              | 14.7   | 0.51                        |
| 6/72          | -     | 27                    | 1.48                                   | 3.13                   | 3.16                                   | 5.21                   | 5.4                        | 1802.3                      | 73.5                                     | 23.09                            | 561                                | 291                 | 262                                       | 201                                    | 3.216                                | 58.516            | 2.464                               | 48.670                              | 15.1   | 0.511                       |
| 7/72          | -     | 16                    | 1.33                                   | 2.86                   | 2.52                                   | 5.42                   | 5.7                        | 1829.0                      | 73.5                                     | 22.98                            | 558                                | 290                 | 262                                       | 205                                    | 2.194                                | 61.710            | 2.501                               | 51.171                              | 15.7   | 0.511                       |
| 8/72          | -     | 10                    | 1.19                                   | 2.25                   | 2.90                                   | 5.49                   | 6.3                        | 1611.1                      | 73.5                                     | 20.56                            | 565                                | 295                 | 280                                       | 234                                    | 3.064                                | 64.774            | 2.557                               | 53.728                              | 17.8   | 0.569                       |
| 9/72          | -     | 0                     | 1.01                                   | 2.43                   | 2.69                                   | 6.47                   | 6.3                        | 2047.4                      | 73.5                                     | 25.53                            | 565                                | 296                 | 272                                       | 200                                    | 3.688                                | 68.462            | 2.714                               | 56.442                              | 17.5   | 0.53                        |
| 10/72         | -     | 0                     | 1.02                                   | 2.01                   | 2.73                                   | 5.39                   | 6.3                        | 1672.8                      | 73.5                                     | 20.02                            | 572                                | 302                 | 282                                       | 236                                    | 3.064                                | 71.526            | 2.511                               | 58.953                              | 18.35  | 0.533                       |
| 11/72         | -     | 0                     | 1.02                                   | 0.76                   | 2.72                                   | 2.01                   | 6.3                        | 631.0                       | 73.5                                     | 7.98                             | 558                                | 290                 | 264                                       | 220                                    | 1.107                                | 72.633            | 0.921                               | 59.974                              | 19.25  | 0.562                       |
| 1/73          | -     | 3                     | 1.07                                   | 1.85                   | 2.79                                   | 4.83                   | 6.2                        | 1471.3                      | 73.5                                     | 17.86                            | 544                                | 276                 | 253                                       | 210                                    | 2.401                                | 75.033            | 1.99                                | 61.864                              | 18.90  | 0.532                       |
| 2/73          | -     | 0                     | 1.04                                   | 2.14                   | 2.78                                   | 5.70                   | 6.2                        | 1747.4                      | 73.5                                     | 20.75                            | 556                                | 282                 | 275                                       | 203                                    | 3.026                                | 78.059            | 2.463                               | 64.327                              | 21.2   | 0.587                       |
| 3/73          | -     | 0                     | 1.04                                   | 2.81                   | 2.77                                   | 7.48                   | 6.1                        | 2298.9                      | 73.5                                     | 27.91                            | 602                                | 329                 | 291                                       | 246                                    | 4.319                                | 82.372            | 3.648                               | 67.975                              | 22.6   | 0.605                       |
| 4/73          | -     | 0                     | 1.05                                   | 2.10                   | 2.80                                   | 5.6                    | 6.1                        | 1701.5                      | 73.5                                     | 20.05                            | 616                                | 342                 | 322                                       | 262                                    | 1.437                                | 85.214            | 2.796                               | 70.771                              | 26.2   | 0.681                       |
| 5/73          | -     | 0                     | 1.05                                   | 2.20                   | 2.90                                   | 5.86                   | 6.2                        | 1782.2                      | 73.5                                     | 22.14                            | 584                                | 313                 | 292                                       | 243                                    | 2.432                                | 89.246            | 2.863                               | 73.634                              | 29.1   | 0.739                       |
| 6/73          | -     | 10                    | 1.14                                   | 2.28                   | 2.79                                   | 5.58                   | 5.9                        | 1700.9                      | 73.5                                     | 20.61                            | 568                                | 297                 | 284                                       | 218                                    | 3.109                                | 91.355            | 2.602                               | 76.136                              | 30.4   | 0.749                       |
| 7/73          | -     | 13                    | 1.21                                   | 2.34                   | 2.85                                   | 5.51                   | 5.9                        | 1646.1                      | 73.5                                     | 18.73                            | 582                                | 316                 | 285                                       | 242                                    | 2.951                                | 95.206            | 2.423                               | 78.659                              | 31.1   | 0.745                       |
| 8/73          | -     | 0                     | 1.02                                   | 3.00                   | 2.73                                   | 8.04                   | 6.0                        | 2505.0                      | 73.5                                     | 29.41                            | 575                                | 305                 | 294                                       | 257                                    | 3.599                                | 95.205            | 4.017                               | 82.676                              | 33.35  | 0.766                       |
| 9/73          | -     | 12                    | 1.19                                   | 3.45                   | 2.91                                   | 8.15                   | 5.8                        | 2469.2                      | 73.5                                     | 29.71                            | 581                                | 311                 | 279                                       | 221                                    | 4.412                                | 102.217           | 3.495                               | 86.171                              | 34.3   | 0.757                       |
| 10/73         | -     | 0                     | 1.04                                   | 1.54                   | 2.77                                   | 4.11                   | 6.1                        | 2161.3                      | 73.5                                     | 14.58                            | 570                                | 300                 | 287                                       | 249                                    | 2.820                                | 106.417           | 1.918                               | 88.099                              | 35.5   | 0.77                        |
| 11/73         | H 37  | 0                     | 1.00                                   | 2.42                   | 2.67                                   | 6.44                   | 5.9                        | 2051.7                      | 73.5                                     | 14.95                            | 556                                | 287                 | 271                                       | 233                                    | 3.576                                | 110.013           | 3.074                               | 91.773                              | 36.5   | 0.768                       |
| 1/74          | -     | 10                    | 1.16                                   | 2.61                   | 2.81                                   | 6.33                   | 6.2                        | 1915.1                      | 73.5                                     | 21.67                            | 605                                | 317                 | 311                                       | 244                                    | 3.743                                | 112.756           | 2.942                               | 94.115                              | 37.5   | 0.766                       |
| 2/74          |       |                       |  |                        |  |                        |                            |                             |  |                                  |                                    |                     |   |  |                                      |                   |                                     |                                     |  |                             |
| SUMME         |       |                       |  | 95.5                   |  | 184.3                  |                            | 56419.2                     |  | 726.65                           |                                    |                     |   |  |                                      | 113.756           |                                     | 94.115                              | 37.5   | 0.766                       |
| Bem.          |       |                       |  |                        |  |                        |                            |                             |  |                                  | MITTELWERTE                        | 295                 | 244                                       |  | Bestrahlungsablauf MOL 8C4.. Tab. 27 |                   |                                     |                                     |  |                             |

| ZYKLUS BR2 | KANAL | BE-<br>ABBRAND<br>[%] | MAX. UNGESTÖRT. FLUSS bez. DOSIS       |                        |  |                        | δ-<br>HEIZUNG<br>[W/grAl] | FREIGES<br>ENERGIE<br>[MWD] | SOLL -<br>REAKTOR-<br>LEISTUNG<br>[MW th] | ZYKLUS<br>ZEIT<br>>80% RL<br>[D] | MAX.<br>TEMP. IN<br>ZYKLUS<br>[°C] | STABLEISTUNG [W/cm] |  |   | ABBRAND [MWD / kg Me]               |                   |                                     | SPALTGAS<br>DRUCK<br>ZYKLUS<br>ENDE<br>[bar] | GESAMT-<br>FREI-<br>SETZUNG |                                     |
|------------|-------|-----------------------|--|------------------------|--|------------------------|---------------------------|-----------------------------|---|----------------------------------|------------------------------------|---------------------|--|---|-------------------------------------|-------------------|-------------------------------------|--|-----------------------------|-------------------------------------|
|            |       |                       | THERMISCH                              |                        | SCHNELL                                |                        |                           |                             |   |                                  |                                    | ABSOL.              | MITTEL<br>ÜBER<br>ZYKLUS<br>HOT-<br>SPOT | MITTEL<br>ÜBER<br>ZYKLUS<br>UND<br>STAB | MITTEL<br>ÜBER<br>ZYKLUS<br>HOTSPOT | GESAMT<br>HOTSPOT | MITTEL<br>ÜBER<br>ZYKLUS<br>U. STAB |  |                             | GESAMT<br>ÜBER<br>ZYKLUS<br>U. STAB |
|            |       |                       | [10 <sup>14</sup> n/cm <sup>2</sup> s] | [10 <sup>20</sup> nvt] | [10 <sup>16</sup> n/cm <sup>2</sup> s] | [10 <sup>20</sup> nvt] |                           |                             |   |                                  | MAX. I.<br>ZYKL.                   |                     |  |   |                                     |                   |                                     |  |                             |                                     |
| 15/70      |       |                       |  |                        |  |                        |                           |                             |   |                                  |                                    |                     |  |   |                                     |                   |                                     |  |                             |                                     |
| 16/70      |       |                       |  |                        |  |                        |                           |                             |   |                                  |                                    |                     |  |   |                                     |                   |                                     |  |                             |                                     |
| 17/70      |       |                       |  |                        |  |                        |                           |                             |   |                                  |                                    |                     |  |   |                                     |                   |                                     |  |                             |                                     |
| 1/71       |       |                       |  |                        |  |                        |                           |                             |   |                                  |                                    |                     |  |   |                                     |                   |                                     |  |                             |                                     |
| 2/71       |       |                       |  |                        |  |                        |                           |                             |   |                                  |                                    |                     |  |   |                                     |                   |                                     |  |                             |                                     |
| 3/71       | G240  | 18                    | 1.79                                   | 2.77                   | 3.02                                   | 4.66                   | 7                         | 1252.7                      | 70  | 17.15                            | 496                                | 3P4                 | 362                                      | 2P9                                     | 3.577                               | -                 | 2.252                               | -  | 4.6                         | -                                   |
| 4/71       | F 166 | 16                    | 2.04                                   | 3.07                   | 3.39                                   | 6.43                   | 7.4                       | 1537.6                      | 70  | 20.10                            | 519                                | 413                 | 361                                      | 300                                     | 4.594                               | 8.171             | 3.216                               | 6.668  | 4.8                         | 0.069                               |
| 5/71       | F 14  | 37                    | 2.15                                   | 3.77                   | 2.62                                   | 4.58                   | 6.4                       | 1419.7                      | 70  | 18.93                            | 612                                | 544                 | 470                                      | 37P                                     | 5.132                               | 13.303            | 4.119                               | 10.7P7                                       | 5.6                         | 0.212                               |
| 6/71       | -     | 14                    | 2.15                                   | 3.90                   | 4.06                                   | 7.36                   | 9.5                       | 1468.2                      | 70  | 20.97                            | 621                                | 55P                 | 519                                      | 439                                     | 6.271                               | 19.571            | 5.303                               | 16.090                                       | 5.5                         | 0.12P                               |
| 7/71       | -     | 17                    | 1.21                                   | 1.79                   | 3.30                                   | 3.26                   | 7.9                       | 800.6                       | 70  | 11.96                            | 571                                | 485                 | 461                                      | 3P4                                     | 3.177                               | 22.751            | 2.647                               | 11.737                                       | 5.2                         | 0.073                               |
| 8/71       | -     | 16                    | 1.77                                   | 2.60                   | 3.27                                   | 4.30                   | 7.7                       | 1191.3                      | 70  | 16.37                            | 597                                | 521                 | 492                                      | 417                                     | 4.644                               | 27.395            | 3.932                               | 22.669                                       | -                           | - ①                                 |
| 9/71       | -     | 14                    | 1.24                                   | 2.76                   | 3.52                                   | 5.28                   | 7.9                       | 1215.6                      | 70  | 16.95                            | 587                                | 502                 | 491                                      | 371                                     | 4.794                               | 32.189            | 3.629                               | 26.298                                       | -                           | -                                   |
| 10/71      | -     | 0                     | 1.56                                   | 2.30                   | 3.13                                   | 5.05                   | 7.9                       | 1194.6                      | 70  | 16.17                            | 603                                | 530                 | 454                                      | 397                                     | 4.228                               | 36.417            | 3.698                               | 29.996                                       | 7.2                         | 0.11P                               |
| 11/71      | -     | 0                     | 1.51                                   | 2.89                   | 3.31                                   | 6.33                   | 8.4                       | 1548.2                      | 70  | 21.37                            | 622                                | 55P                 | 523                                      | 446                                     | 6.442                               | 42.859            | 5.496                               | 35.492                                       | 10.15                       | 0.357                               |
| 1/72       | -     | 0                     | 1.66                                   | 3.11                   | 3.66                                   | 6.35                   | 9.3                       | 1516.1                      | 70  | 20.09                            | 634                                | 576                 | 525                                      | 440                                     | 6.072                               | 48.931            | 5.089                               | 40.581                                       | 12.0                        | 0.417                               |
| 2/72       | -     | 0                     | 1.66                                   | 2.45                   | 3.66                                   | 5.41                   | 9.1                       | 1195.4                      | 70  | 16.09                            | 606                                | 534                 | 419                                      | 407                                     | 4.538                               | 53.469            | 3.77P                               | 44.359                                       | 12.7                        | 0.417                               |
| 3/72       | -     | 0                     | 1.67                                   | 3.03                   | 3.64                                   | 6.6                    | 9.4                       | 1468.7                      | 70  | 19.91                            | 646                                | 594                 | 553                                      | 46P                                     | 6.344                               | 59.813            | 5.375                               | 49.734                                       | 15.6                        | 0.506                               |
| 4/72       | -     | 0                     | 1.63                                   | 3.30                   | 3.5P                                   | 7.14                   | 9.4                       | 1640.5                      | 70  | 21.23                            | 621                                | 55P                 | 502                                      | 413                                     | 6.316                               | 66.129            | 5.194                               | 54.92P                                       | 17.8                        | 0.549                               |
| 5/72       | -     | 0                     | 1.59                                   | 4.22                   | 3.51                                   | 9.3                    | 9.2                       | 2148.2                      | 70  | 29.25                            | 596                                | 520                 | 429                                      | 374                                     | 7.232                               | 73.361            | 6.306                               | 61.234                                       | 19.4                        | 0.552                               |
| 6/72       | -     | 0                     | 1.51                                   | 3.20                   | 3.32                                   | 7.04                   | 8.5                       | 1802.3                      | 73.5                                      | 23.09                            | 554                                | 460                 | 421                                      | 335                                     | 5.599                               | 78.960            | 4.455                               | 65.6P9                                       | 21.0                        | 0.571                               |
| 7/72       | -     | 0                     | 1.50                                   | 3.23                   | 3.31                                   | 7.12                   | 8.6                       | 1829.0                      | 73.5                                      | 22.9P                            | 525                                | 503                 | 450                                      | 355                                     | 5.965                               | 84.925            | 4.698                               | 70.387                                       | 23.6                        | 0.617                               |
| 8/72       | E 30  | 37                    | 2.17                                   | 4.11                   | 3.83                                   | 7.25                   | 9.1                       | 1611.1                      | 73.5                                      | 20.56                            | 602                                | 52P                 | 465                                      | 39P                                     | 5.512                               | 90.437            | 4.711                               | 75.090                                       | 25.2                        | 0.627                               |
| 9/72       | E 30  | 29                    | 1.94                                   | 4.67                   | 3.97                                   | 9.55                   | 9.3                       | 2047.4                      | 73.5                                      | 25.53                            | 609                                | 539                 | 493                                      | 373                                     | 7.251                               | 97.688            | 5.421                               | 80.579                                       | 25                          | 0.579                               |
| 10/72      | -     | 18                    | 1.70                                   | 3.35                   | 4.14                                   | 8.17                   | 9.7                       | 1678.8                      | 73.5                                      | 20.02                            | 617                                | 550                 | 531                                      | 458                                     | 6.125                               | 103.813           | 5.282                               | 85.861                                       | 27.2                        | 0.602                               |
| 11/72      | -     | 18                    | 1.70                                   | 1.26                   | 4.12                                   | 3.06                   | 9.6                       | 631.0                       | 73.5                                      | 7.88                             | 621                                | 556                 | 505                                      | 449                                     | 8.295                               | 106.10P           | 2.041                               | 87.902                                       | 28.7                        | 0.627                               |
| 1/73       | -     | 23                    | 1.8                                    | 3.11                   | 4.09                                   | 7.0P                   | 9.4                       | 1471.3                      | 73.5                                      | 17.86                            | 59P                                | 520                 | 46P                                      | 394                                     | 4.812                               | 110.920           | 4.050                               | 91.952                                       | 28.4                        | 0.592                               |
| 2/73       | -     | 27                    | 1.88                                   | 3.86                   | 3.99                                   | 8.2                    | 9.4                       | 1747.4                      | 73.5                                      | 20.75                            | 575                                | 426                 | 444                                      | 370                                     | 5.305                               | 116.225           | 4.421                               | 96.373                                       | 30.7                        | 0.619                               |
| 3/73       |       |                       |  |                        |  |                        |                           |                             |   |                                  |                                    |                     |  |   |                                     |                   |                                     |  |                             |                                     |
| 4/73       |       |                       |  |                        |  |                        |                           |                             |   |                                  |                                    |                     |  |   |                                     |                   |                                     |  |                             |                                     |
| 5/73       |       |                       |  |                        |  |                        |                           |                             |   |                                  |                                    |                     |  |   |                                     |                   |                                     |  |                             |                                     |
| 6/73       |       |                       |  |                        |  |                        |                           |                             |   |                                  |                                    |                     |  |   |                                     |                   |                                     |  |                             |                                     |
| 7/73       |       |                       |  |                        |  |                        |                           |                             |   |                                  |                                    |                     |  |   |                                     |                   |                                     |  |                             |                                     |
| 8/73       |       |                       |  |                        |  |                        |                           |                             |   |                                  |                                    |                     |  |   |                                     |                   |                                     |  |                             |                                     |
| 9/73       |       |                       |  |                        |  |                        |                           |                             |   |                                  |                                    |                     |  |   |                                     |                   |                                     |  |                             |                                     |
| 10/73      |       |                       |  |                        |  |                        |                           |                             |   |                                  |                                    |                     |  |   |                                     |                   |                                     |  |                             |                                     |
| 11/73      |       |                       |  |                        |  |                        |                           |                             |   |                                  |                                    |                     |  |   |                                     |                   |                                     |  |                             |                                     |
| 1/74       |       |                       |  |                        |  |                        |                           |                             |   |                                  |                                    |                     |  |   |                                     |                   |                                     |  |                             |                                     |
| 2/74       |       |                       |  |                        |  |                        |                           |                             |   |                                  |                                    |                     |  |   |                                     |                   |                                     |  |                             |                                     |
| SUMME      |       |                       |  | 69.5                   |  | 140.6                  |                           | 32415.7                     |   | 427.8                            |                                    |                     |  |   |                                     | 116.225           |                                     | 96.373                                       | 30.7                        | 0.619                               |
| Bem.       |       |                       |  |                        |  |                        |                           |                             |   |                                  | MITTELWERTE                        | 473                 | 393.4                                    | Bestrahlungsablauf MOL 8C 5.            |                                     |                   | Tab. 28                             |  |                             |                                     |

49

| ZYKLUS<br>BR2 | KANAL | BE-<br>ABBRAND<br>[%] | MAX. UNGESTÖRT. FLUSS bez. DOSIS       |                       |  |                       | γ-<br>HEIZUNG<br>[W/gr.Al] | FREIGES<br>ENERGIE<br>[MWD] | SOLL -<br>REAKTOR-<br>LEISTUNG<br>[MW th] | ZYKLUS<br>ZEIT<br>->80% RL<br>[D] | MAX<br>TEMP IN<br>ZYKLUS<br>[°C] | STABLEISTUNG [W/cm] |   |  |                                     | ABBRAND [MWD / kg Me] |                                     |                                     | SPALTGAS<br>DRUCK<br>ZYKLUS<br>ENDE<br>[bar] | GESAMT-<br>FREI-<br>SETZUNG |  |                                     |
|---------------|-------|-----------------------|--|-----------------------|--|-----------------------|----------------------------|-----------------------------|---|-----------------------------------|----------------------------------|---------------------|---|--|-------------------------------------|-----------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--|-----------------------------|--|-------------------------------------|
|               |       |                       | THERMISCH                              |                       | SCHNELL                                |                       |                            |                             |   |                                   |                                  | ABSOL.              | MITTEL<br>ÜBER<br>ZYKL.<br>HOT-<br>SPOT | MITTEL<br>ÜBER<br>ZYKL.<br>UND<br>STAB | MITTEL<br>ÜBER<br>ZYKLUS<br>HOTSPOT | GESAMT<br>HOTSPOT     | MITTEL<br>ÜBER<br>ZYKLUS<br>U. STAB | GESAMT<br>ÜBER<br>ZYKLUS<br>U. STAB |  |                             |  |                                     |
|               |       |                       | [10 <sup>14</sup> n/cm <sup>2</sup> s] | [10 <sup>20</sup> nv] | [10 <sup>14</sup> n/cm <sup>2</sup> s] | [10 <sup>20</sup> nv] |                            |                             |   |                                   | MAX. I.<br>ZYKL.                 | MAX. I.<br>ZYKL.    | MAX. I.<br>ZYKL.                        | MAX. I.<br>ZYKL.                       |                                     |                       |                                     |                                     |  |                             |  |                                     |
| 15/70         |       |                       |  |                       |  |                       |                            |                             |   |                                   |                                  |                     |   |  |                                     |                       |                                     |                                     |  |                             |  |                                     |
| 16/70         | H323  | 36                    | 2.18                                   | 2.36                  | 1.30                                   | 1.40                  | 5.20                       | 875.4                       | 70  | 12.49                             | 491                              | 282                 | 246                                     | 207                                    | 1.768                               | -                     | 1.493                               | -                                   | 2.50   | -                           |  |                                     |
| 17/70         | -     | 36                    | 2.15                                   | 2.50                  | 2.17                                   | 2.52                  | 6.40                       | 941.1                       | 70  | 14.41                             | 457                              | 250                 | 227                                     | 183                                    | 1.889                               | 3.657                 | 1.522                               | 3.015                               | 2.50   | 0.152                       |  |                                     |
| 1/71          | H 37  | 32                    | 2.20                                   | 3.72                  | 2.46                                   | 4.17                  | 6.00                       | 1372.6                      | 70  | 18.88                             | 544                              | 332                 | 306                                     | 258                                    | 3.331                               | 6.988                 | 2.802                               | 5.817                               | 2.90   | 0.236                       |  |                                     |
| 2/71          | -     | 17                    | 2.06                                   | 3.75                  | 2.78                                   | 5.07                  | 6.40                       | 1475.9                      | 70  | 20.91                             | 577                              | 367                 | 315                                     | 278                                    | 3.799                               | 10.787                | 3.345                               | 9.162                               | 3.00   | 0.175                       |  |                                     |
| 3/71          | -     | 34                    | 2.22                                   | 3.48                  | 1.97                                   | 3.05                  | 6.00                       | 1252.7                      | 70  | 17.15                             | 548                              | 336                 | 303                                     | 214                                    | 2.999                               | 13.786                | 2.718                               | 11.280                              | 3.30   | 0.203                       |  |                                     |
| 4/71          | -     | 28                    | 2.15                                   | 4.08                  | 3.05                                   | 5.79                  | 6.20                       | 1537.6                      | 70  | 22.10                             | 517                              | 305                 | 271                                     | 198                                    | 3.447                               | 17.233                | 2.526                               | 13.806                              | 3.20   | 0.149                       |  |                                     |
| 5/71          | -     | 14                    | 1.75                                   | 3.07                  | 3.12                                   | 5.47                  | 6.40                       | 1429.7                      | 70  | 18.93                             | 550                              | 338                 | 304                                     | 235                                    | 3.319                               | 20.552                | 2.561                               | 16.367                              | 5.20   | 0.405                       |  |                                     |
| 6/71          | -     | 15                    | 1.73                                   | 3.13                  | 3.20                                   | 5.79                  | 7.10                       | 1488.2                      | 70  | 20.97                             | 563                              | 351                 | 314                                     | 268                                    | 3.799                               | 24.351                | 3.238                               | 19.605                              | 5.70   | 0.396                       |  |                                     |
| 7/71          | -     | 16                    | 1.37                                   | 1.35                  | 2.52                                   | 2.49                  | 5.70                       | 800.6                       | 70  | 11.96                             | 576                              | 304                 | 293                                     | 240                                    | 2.015                               | 26.366                | 1.652                               | 21.257                              | 5.70   | 0.366                       |  |                                     |
| 8/71          | -     | 15                    | 1.37                                   | 2.01                  | 2.54                                   | 3.74                  | 5.70                       | 1191.3                      | 70  | 16.37                             | 542                              | 330                 | 295                                     | 246                                    | 2.783                               | 29.149                | 2.324                               | 23.581                              | 5.80   | 0.339                       |  |                                     |
| 9/71          | -     | 24                    | 1.46                                   | 2.19                  | 2.48                                   | 3.73                  | 5.30                       | 1215.6                      | 70  | 16.95                             | 511                              | 299                 | 279                                     | 222                                    | 2.724                               | 31.873                | 2.764                               | 25.745                              | 5.75   | 0.306                       |  |                                     |
| 10/71         | -     | 26                    | 1.49                                   | 2.20                  | 2.48                                   | 3.65                  | 5.10                       | 1194.6                      | 70  | 16.17                             | 536                              | 324                 | 302                                     | 233                                    | 2.814                               | 34.687                | 2.767                               | 27.912                              | 6.35   | 0.332                       |  |                                     |
| 11/71         | -     | 32                    | 1.52                                   | 2.90                  | 2.38                                   | 4.55                  | 5.30                       | 1548.2                      | 70  | 21.37                             | 528                              | 315                 | 298                                     | 241                                    | 3.667                               | 38.354                | 2.966                               | 30.878                              | 6.80   | 0.333                       |  |                                     |
| 1/72          | -     | 12                    | 1.56                                   | 2.92                  | 3.09                                   | 3.78                  | 6.70                       | 1516.1                      | 70  | 21.48                             | 521                              | 308                 | 275                                     | 223                                    | 3.408                               | 41.762                | 2.756                               | 33.634                              | 8.45   | 0.438                       |  |                                     |
| 2/72          | -     | 13                    | 1.58                                   | 2.33                  | 3.08                                   | 4.55                  | 6.80                       | 1195.4                      | 70  | 16.09                             | 540                              | 328                 | 300                                     | 240                                    | 2.785                               | 44.547                | 2.229                               | 35.863                              | 9.90   | 0.484                       |  |                                     |
| 3/72          | -     | 18                    | 1.66                                   | 3.01                  | 3.08                                   | 5.58                  | 6.60                       | 1468.7                      | 70  | 19.91                             | 523                              | 310                 | 294                                     | 247                                    | 3.370                               | 47.917                | 2.834                               | 38.697                              | 9.80   | 0.443                       |  |                                     |
| 4/72          | -     | 19                    | 1.64                                   | 3.32                  | 2.98                                   | 6.03                  | 6.50                       | 1640.5                      | 70  | 21.83                             | 546                              | 333                 | 297                                     | 238                                    | 3.737                               | 51.654                | 2.990                               | 41.687                              | 11.80  | 0.521                       |  |                                     |
| 5/72          | -     | 22                    | 1.65                                   | 4.37                  | 2.92                                   | 7.74                  | 6.40                       | 2148.2                      | 70  | 29.25                             | 509                              | 296                 | 253                                     | 216                                    | 4.259                               | 55.913                | 3.647                               | 45.334                              | 13.40  | 0.560                       |  |                                     |
| 6/72          | -     | 18                    | 1.37                                   | 2.90                  | 2.53                                   | 5.36                  | 5.70                       | 1802.3                      | 73.5                                      | 23.09                             | 466                              | 258                 | 238                                     | 197                                    | 3.168                               | 59.081                | 2.627                               | 47.961                              | 13.85  | 0.550                       |  |                                     |
| 7/72          | -     | 11                    | 1.27                                   | 2.73                  | 2.53                                   | 5.44                  | 5.80                       | 1829.0                      | 73.5                                      | 22.98                             | 500                              | 288                 | 267                                     | 221                                    | 3.532                               | 62.613                | 2.924                               | 50.895                              | 16.50  | 0.638                       |  |                                     |
| 8/72          | -     | 14                    | 1.31                                   | 2.43                  | 2.53                                   | 4.79                  | 5.80                       | 1611.1                      | 73.5                                      | 20.56                             | 509                              | 297                 | 278                                     | 229                                    | 3.389                               | 65.902                | 2.710                               | 53.595                              | 18.80  | 0.704                       |  |                                     |
| 9/72          | -     | 0                     | 1.01                                   | 2.43                  | 2.69                                   | 6.47                  | 6.30                       | 2047.4                      | 73.5                                      | 25.53                             | 510                              | 298                 | 273                                     | 200                                    | 4.016                               | 69.918                | 2.947                               | 56.542                              | 19.2   | 0.683                       |  |                                     |
| 10/72         | -     | 0                     | 1.02                                   | 2.01                  | 2.73                                   | 5.39                  | 6.40                       | 1678.8                      | 73.5                                      | 20.02                             | 546                              | 334                 | 314                                     | 253                                    | 3.622                               | 73.540                | 2.913                               | 59.455                              | 22.10  | 0.761                       |  |                                     |
| 11/72         | -     | 0                     | 1.02                                   | 0.76                  | 2.72                                   | 2.01                  | 6.30                       | 631.0                       | 73.5                                      | 7.88                              | 520                              | 308                 | 272                                     | 239                                    | 1.235                               | 74.775                | 1.006                               | 60.541                              | 22.75  | 0.772                       |  |                                     |
| 1/73          | -     | 3                     | 1.07                                   | 1.85                  | 2.79                                   | 4.11                  | 6.30                       | 1471.3                      | 73.5                                      | 17.86                             | 511                              | 300                 | 267                                     | 218                                    | 1.751                               | 77.526                | 2.242                               | 61.783                              | 21.80  | 0.710                       |  |                                     |
| 2/73          | -     | 0                     | 1.04                                   | 2.14                  | 2.78                                   | 5.71                  | 6.50                       | 1747.4                      | 73.5                                      | 20.75                             | 490                              | 280                 | 259                                     | 192                                    | 3.091                               | 80.617                | 2.291                               | 65.074                              | 23.00  | 0.727                       |  |                                     |
| 3/73          | -     | 9                     | 1.14                                   | 3.08                  | 2.83                                   | 7.65                  | 6.20                       | 2298.9                      | 73.5                                      | 27.91                             | 570                              | 358                 | 325                                     | 244                                    | 5.321                               | 85.838                | 3.923                               | 68.997                              | 25.70  | 0.775                       |  |                                     |
| 4/73          | -     | 24                    | 1.35                                   | 2.70                  | 2.83                                   | 5.66                  | 6.30                       | 1701.5                      | 73.5                                      | 20.05                             | 590                              | 382                 | 370                                     | 285                                    | 4.279                               | 90.117                | 3.298                               | 72.295                              | 27.00  | 0.781                       |  |                                     |
| 5/73          | -     | 35                    | 1.48                                   | 3.10                  | 2.75                                   | 5.76                  | 5.50                       | 1782.8                      | 73.5                                      | 22.14                             | 537                              | 324                 | 297                                     | 235                                    | 3.792                               | 93.909                | 3.001                               | 75.296                              | 27.60  | 0.768                       |  |                                     |
| 6/73          | -     | 19                    | 1.26                                   | 2.52                  | 2.77                                   | 5.54                  | 5.60                       | 1700.9                      | 73.5                                      | 20.61                             | 562                              | 350                 | 330                                     | 275                                    | 3.980                               | 97.829                | 3.266                               | 78.562                              | 28.90  | 0.771                       |  |                                     |
| 7/73          | -     | 29                    | 1.40                                   | 2.71                  | 2.78                                   | 5.37                  | 5.50                       | 1646.1                      | 73.5                                      | 18.83                             | 589                              | 380                 | 351                                     | 283                                    | 3.905                               | 101.634               | 3.067                               | 81.628                              | 29.80  | 0.770                       |  |                                     |
| 8/73          | -     | 27                    | 1.35                                   | 3.97                  | 2.72                                   | 8.01                  | 5.80                       | 2505.0                      | 73.5                                      | 29.41                             | 576                              | 366                 | 338                                     | 271                                    | 5.724                               | 107.358               | 4.591                               | 86.219                              | 31.70  | 0.779                       |  |                                     |
| 9/73          | -     | 28                    | 1.38                                   | 4.01                  | 2.76                                   | 8.01                  | 5.40                       | 2469.2                      | 73.5                                      | 29.71                             | 566                              | 354                 | 320                                     | 254                                    | 5.471                               | 112.829               | 4.342                               | 90.561                              | 31.42  | 0.735                       |  |                                     |
| 10/73         | -     | 27                    | 1.38                                   | 2.05                  | 2.77                                   | 4.11                  | 5.50                       | 1261.3                      | 73.5                                      | 14.58                             | 504                              | 298                 | 270                                     | 196                                    | 3.266                               | 115.095               | 1.640                               | 91.009                              | 32.40  | 0.746                       |  |                                     |
| 11/73         |       |                       |  |                       |  |                       |                            |                             |   |                                   |                                  |                     |   |  |                                     |                       |                                     |                                     |  |                             |  |                                     |
| 1/74          |       |                       |  |                       |  |                       |                            |                             |   |                                   |                                  |                     |   |  |                                     |                       |                                     |                                     |  |                             |  |                                     |
| 2/74          |       |                       |  |                       |  |                       |                            |                             |   |                                   |                                  |                     |   |  |                                     |                       |                                     |                                     |  |                             |  |                                     |
| SUMME         |       |                       |  | 94.1                  |  | 140.5                 |                            | 52445.4                     |   | 679.13                            |                                  |                     |   |  |                                     | 115.095               |                                     | 91.009                              | 32.40  | 0.746                       |  |                                     |
| Bem.          |       |                       |  |                       |  |                       |                            |                             |   |                                   |                                  | MITTELWERTE         | 292.4                                   | 234.7                                  |                                     |                       |                                     |                                     |  |                             |  | Bestrahlungsablauf MOL 8C6. Tab. 29 |

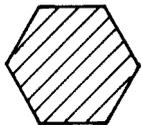
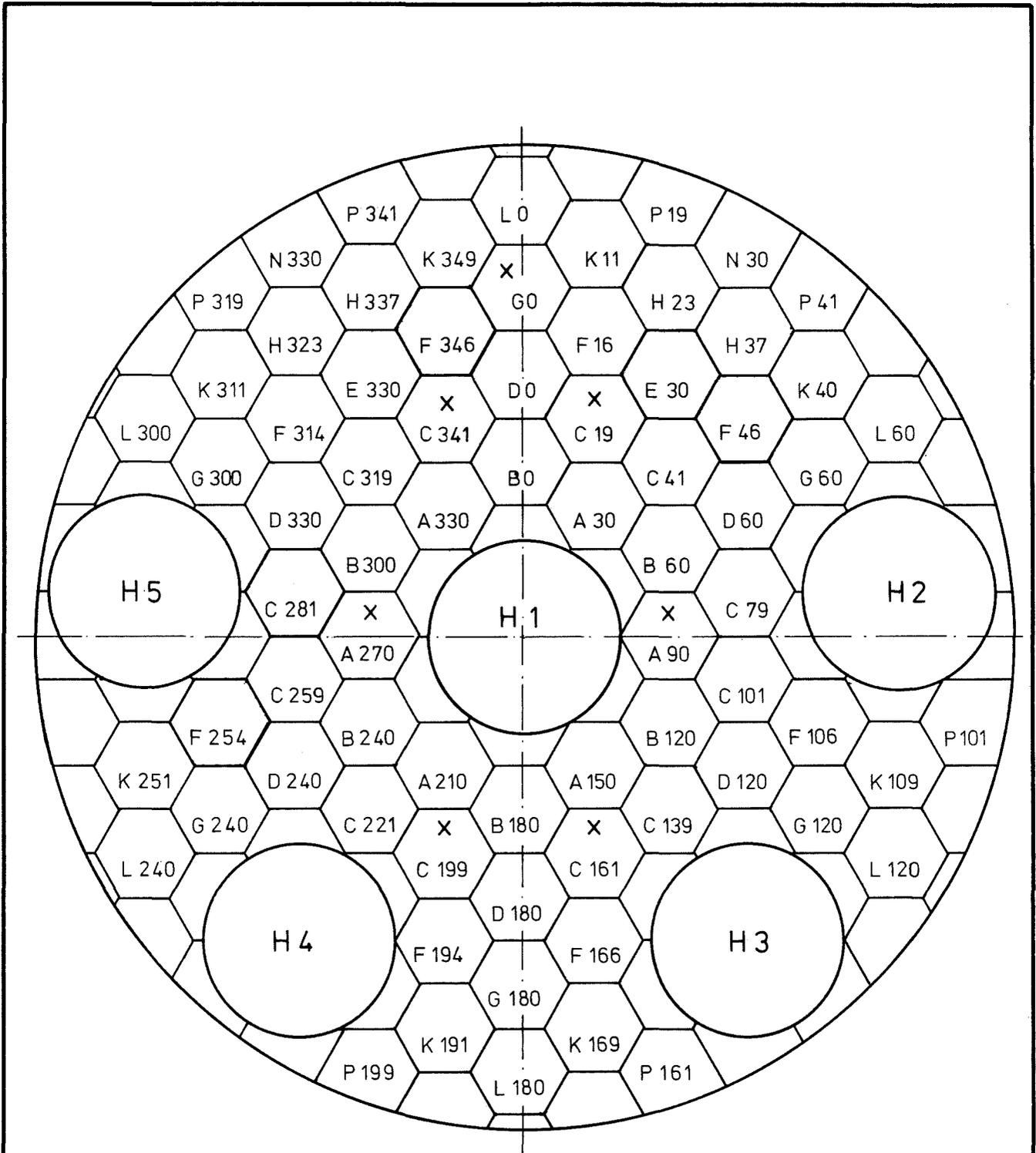
| ZYKLUS<br>BR2 | KANAL | BE-<br>ABBRAND<br>[%] | MAX. UNGESTÖRT. FLUSS bez. DOSIS       |                        |  |                        | $\beta$ -<br>HEIZUNG<br>[W/grAl] | FREIGES<br>ENERGIE<br>[MWD] | SOLL -<br>REAKTOR-<br>LEISTUNG<br>[MW th] | ZYKLUS<br>ZEIT<br>>80% RL<br>[D] | MAX.<br>TEMP IN<br>ZYKLUS<br>[°C] | STABLEISTUNG [W/cm] |  |   | ABBRAND [MWD / kg Me]               |                   |                                     |                                     | SPALTGAS<br>DRUCK<br>ZYKLUS<br>ENDE<br>[bar] | GESAMT-<br>FREI-<br>SETZUNG |
|---------------|-------|-----------------------|--|------------------------|--|------------------------|----------------------------------|-----------------------------|---|----------------------------------|-----------------------------------|---------------------|--|---|-------------------------------------|-------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--|-----------------------------|
|               |       |                       | THERMISCH                              |                        | SCHNELL                                |                        |                                  |                             |   |                                  |                                   | ABSOL.              | MITTEL<br>ÜBER<br>ZYKLUS<br>HOT-<br>SPOT | MITTEL<br>ÜBER<br>ZYKLUS<br>UND<br>STAB | MITTEL<br>ÜBER<br>ZYKLUS<br>HOTSPOT | GESAMT<br>HOTSPOT | MITTEL<br>ÜBER<br>ZYKLUS<br>U. STAB | GESAMT<br>ÜBER<br>ZYKLUS<br>U. STAB |  |                             |
|               |       |                       | [10 <sup>14</sup> n/cm <sup>2</sup> s] | [10 <sup>20</sup> nvt] | [10 <sup>16</sup> n/cm <sup>2</sup> s] | [10 <sup>20</sup> nvt] |                                  |                             |   |                                  | MAX. I.<br>ZYKL.                  |                     |  |   |                                     |                   |                                     |                                     |  |                             |
| 15/70         |       |                       |  |                        |  |                        |                                  |                             |   |                                  |                                   |                     |  |   |                                     |                   |                                     |                                     |  |                             |
| 16/70         |       |                       |  |                        |  |                        |                                  |                             |   |                                  |                                   |                     |  |   |                                     |                   |                                     |                                     |  |                             |
| 17/70         |       |                       |  |                        |  |                        |                                  |                             |   |                                  |                                   |                     |  |   |                                     |                   |                                     |                                     |  |                             |
| 1/71          |       |                       |  |                        |  |                        |                                  |                             |   |                                  |                                   |                     |  |   |                                     |                   |                                     |                                     |  |                             |
| 2/71          | G 240 | 18                    | 2.11                                   | 3.84                   | 2.64                                   | 4.21                   | 6.40                             | 1475.9                      | 70  | 20.91                            | 460                               | 372                 | 325                                      | 282                                     | 3.973                               | -                 | 3.399                               | -                                   | 1.00   | -                           |
| 3/71          | F 194 | 18                    | 2.12                                   | 3.28                   | 3.46                                   | 5.35                   | 7.20                             | 1252.7                      | 70  | 17.15                            | 528                               | 464                 | 428                                      | 458                                     | 4.217                               | 8.140             | 2.312                               | 8.9.6                               | 6.0  | 0.297                       |
| 4/71          | -     | 15                    | 2.04                                   | 3.87                   | 3.39                                   | 6.54                   | 7.50                             | 1537.6                      | 70  | 22.10                            | 500                               | 425                 | 350                                      | 316                                     | 4.451                               | 12.593            | 4.356                               | 11.092                              | 6.0  | 0.105                       |
| 5/71          | F 346 | 37                    | 2.15                                   | 3.77                   | 1.63                                   | 2.5                    | 6.40                             | 1419.7                      | 70  | 18.93                            | 580                               | 550                 | 49                                       | 378                                     | 5.367                               | 17.955            | 1.719                               | 15.211                              | 9.00   | 0.451                       |
| 6/71          | -     | 18                    | 2.15                                   | 3.90                   | 3.90                                   | 7.07                   | 9.20                             | 1468.2                      | 70  | 20.97                            | 596                               | 563                 | 516                                      | 433                                     | 6.119                               | 24.122            | 5.210                               | 20.447                              | 9.00   | 0.436                       |
| 7/71          | -     | 20                    | 1.81                                   | 1.79                   | 3.17                                   | 3.3                    | 7.20                             | 800.6                       | 70  | 11.96                            | 546                               | 488                 | 461                                      | 384                                     | 3.154                               | 17.463            | 2.536                               | 23.087                              | 10.0   | 0.326                       |
| 8/71          | -     | 16                    | 1.77                                   | 2.60                   | 3.27                                   | 4.20                   | 7.20                             | 1191.3                      | 70  | 16.37                            | 594                               | 561                 | 503                                      | 419                                     | 4.746                               | 31.107            | 1.954                               | 27.041                              | 11.3   | 0.448                       |
| 9/71          | -     | 25                    | 1.96                                   | 2.94                   | 3.33                                   | 4.99                   | 7.40                             | 1215.6                      | 70  | 16.95                            | 570                               | 510                 | 492                                      | 395                                     | 4.704                               | 16.911            | 3.258                               | 30.899                              | 10.1   | 0.351                       |
| 10/71         | -     | 25                    | 1.97                                   | 2.90                   | 3.34                                   | 4.93                   | 7.20                             | 1194.6                      | 70  | 16.17                            | 560                               | 509                 | 468                                      | 393                                     | 4.358                               | 11.164            | 3.570                               | 34.469                              | 10.0   | 0.451                       |
| 11/71         | -     | 0                     | 1.51                                   | 2.88                   | 3.31                                   | 6.33                   | 8.40                             | 1540.2                      | 70  | 21.37                            | 610                               | 584                 | 552                                      | 468                                     | 6.791                               | 40.060            | 5.762                               | 40.231                              | 17.00  | 0.625                       |
| 1/72          | -     | 0                     | 1.66                                   | 3.11                   | 3.66                                   | 6.25                   | 9.30                             | 1516.1                      | 70  | 21.48                            | 598                               | 566                 | 482                                      | 427                                     | 5.905                               | 54.035            | 5.225                               | 15.516                              | 12.20  | 0.643                       |
| 2/72          | -     | 0                     | 1.66                                   | 2.45                   | 3.66                                   | 5.40                   | 9.0                              | 1195.4                      | 70  | 16.09                            | 568                               | 510                 | 499                                      | 400                                     | 4.615                               | 58.630            | 2.704                               | 49.200                              | 19.20  | 0.611                       |
| 3/72          | -     | 0                     | 1.67                                   | 3.03                   | 3.67                                   | 6.65                   | 9.4                              | 1468.7                      | 70  | 19.91                            | 614                               | 590                 | 551                                      | 471                                     | 6.312                               | 64.962            | 5.402                               | 54.622                              | 20.80  | 0.619                       |
| 4/72          | -     | 0                     | 1.63                                   | 3.30                   | 3.58                                   | 7.23                   | 9.3                              | 1640.5                      | 70  | 21.33                            | 606                               | 590                 | 501                                      | 451                                     | 6.392                               | 71.260            | 5.577                               | 60.699                              | 21.10  | 0.638                       |
| 5/72          | -     | 0                     | 1.59                                   | 4.22                   | 3.51                                   | 9.29                   | 8.90                             | 2148.2                      | 70  | 29.35                            | 564                               | 504                 | 476                                      | 379                                     | 7.023                               | 76.283            | 6.553                               | 66.752                              | 23.0   | 0.609                       |
| 6/72          | -     | 0                     | 1.51                                   | 3.20                   | 3.32                                   | 7.03                   | 8.3                              | 1802.3                      | 71.5                                      | 23.09                            | 546                               | 482                 | 444                                      | 355                                     | 5.905                               | 25.121            | 4.724                               | 71.476                              | 25.1   | 0.614                       |
| 7/72          | -     | 0                     | 1.50                                   | 3.22                   | 3.31                                   | 7.11                   | 8.3                              | 1829.0                      | 71.5                                      | 22.98                            | 553                               | 495                 | 452                                      | 355                                     | 5.756                               | 21.024            | 4.668                               | 76.174                              | 27.0   | 0.630                       |
| 8/72          | E 330 | 37                    | 2.17                                   | 4.11                   | 3.23                                   | 7.25                   | 9.2                              | 1611.1                      | 71.5                                      | 20.56                            | 600                               | 568                 | 496                                      | 427                                     | 5.276                               | 96.020            | 5.061                               | 81.235                              | 28.3   | 0.627                       |
| 9/72          | -     | 39                    | 2.13                                   | 5.13                   | 3.63                                   | 7.74                   | 9.0                              | 2047.4                      | 71.5                                      | 25.53                            | 589                               | 551                 | 520                                      | 479                                     | 7.679                               | 102.609           | 5.570                               | 86.207                              | 29.4   | 0.616                       |
| 10/72         | -     | 40                    | 2.06                                   | 4.06                   | 3.46                                   | 6.22                   | 8.9                              | 1678.2                      | 71.5                                      | 20.02                            | 593                               | 560                 | 530                                      | 454                                     | 6.200                               | 110.219           | 5.118                               | 91.923                              | 31.3   | 0.604                       |
| 11/72         | -     | 40                    | 2.06                                   | 4.53                   | 3.44                                   | 6.55                   | 8.7                              | 631.0                       | 71.5                                      | 7.38                             | 588                               | 552                 | 471                                      | 415                                     | 5.139                               | 111.962           | 4.887                               | 93.070                              | 31.8   | 0.610                       |
| 1/73          | -     | 44                    | 2.16                                   | 3.74                   | 3.33                                   | 5.76                   | 8.5                              | 1471.3                      | 73.5                                      | 17.26                            | 571                               | 529                 | 47                                       | 390                                     | 4.256                               | 117.224           | 4.216                               | 97.226                              | 31.2   | 0.61                        |
| 2/73          |       |                       |  |                        |  |                        |                                  |                             |   |                                  |                                   |                     |  |   |                                     |                   |                                     |                                     |  |                             |
| 3/73          |       |                       |  |                        |  |                        |                                  |                             |   |                                  |                                   |                     |  |   |                                     |                   |                                     |                                     |  |                             |
| 4/73          |       |                       |  |                        |  |                        |                                  |                             |   |                                  |                                   |                     |  |   |                                     |                   |                                     |                                     |  |                             |
| 5/73          |       |                       |  |                        |  |                        |                                  |                             |   |                                  |                                   |                     |  |   |                                     |                   |                                     |                                     |  |                             |
| 6/73          |       |                       |  |                        |  |                        |                                  |                             |   |                                  |                                   |                     |  |   |                                     |                   |                                     |                                     |  |                             |
| 7/73          |       |                       |  |                        |  |                        |                                  |                             |   |                                  |                                   |                     |  |   |                                     |                   |                                     |                                     |  |                             |
| 8/73          |       |                       |  |                        |  |                        |                                  |                             |   |                                  |                                   |                     |  |   |                                     |                   |                                     |                                     |  |                             |
| 9/73          |       |                       |  |                        |  |                        |                                  |                             |   |                                  |                                   |                     |  |   |                                     |                   |                                     |                                     |  |                             |
| 10/73         |       |                       |  |                        |  |                        |                                  |                             |   |                                  |                                   |                     |  |   |                                     |                   |                                     |                                     |  |                             |
| 11/73         |       |                       |  |                        |  |                        |                                  |                             |   |                                  |                                   |                     |  |   |                                     |                   |                                     |                                     |  |                             |
| 1/74          |       |                       |  |                        |  |                        |                                  |                             |   |                                  |                                   |                     |  |   |                                     |                   |                                     |                                     |  |                             |
| 2/74          |       |                       |  |                        |  |                        |                                  |                             |   |                                  |                                   |                     |  |   |                                     |                   |                                     |                                     |  |                             |
| SUMME         |       |                       |  | 72.9                   |  | 131.4                  |                                  | 32144.2                     |   | 429.36                           |                                   |                     |  |   |                                     | 117.224           |                                     | 97.226                              | 32.2   | 0.612                       |
| Bem.          |       |                       |  |                        |  |                        |                                  |                             |   |                                  |                                   | MITTELWERTE         | 476.4                                    | 396.4                                   | Bestrahlungsablauf MOL 8C Z.        |                   |                                     |                                     | Tab. 30                                      |                             |

| ZYKLUS BR2 | KANAL | BE-<br>ABBRAND<br>[%] | MAX. UNGESTÖRT. FLUSS bez. DOSIS                    |                                   | γ-<br>HEIZUNG |                            | FREIGES<br>ENERGIE<br>[MWD] | SOLL-<br>REAKTOR-<br>LEISTUNG<br>[MW th] | ZYKLUS<br>ZEIT<br>>80% RL<br>[D] | MAX.<br>TEMP IN<br>ZYKLUS<br>[°C] | STABLEISTUNG [W/cm]                        |   |                                     | ABBRAND [MWD / kg Me] |                                      |                                     | SPALTGAS<br>DRUCK<br>ZYKLUS<br>ENDE<br>[bar] | GESAMT-<br>FREI-<br>SETZUNG |       |       |
|------------|-------|-----------------------|---|-----------------------------------|---------------|----------------------------|-----------------------------|--|----------------------------------|-----------------------------------|--|---|-------------------------------------|-----------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|--|-----------------------------|-------|-------|
|            |       |                       | THERMISCH<br>[10 <sup>14</sup> n/cm <sup>2</sup> s] | SCHNELL<br>[10 <sup>20</sup> nvt] | [W/grAl]      | ABSOL.<br>MAX. I.<br>ZYKL. |                             |  |                                  |                                   | MITTEL<br>ÜBER<br>ZYKL. I.<br>HOT-<br>SPOT | MITTEL<br>ÜBER<br>ZYKL. I.<br>UND<br>STAB | MITTEL<br>ÜBER<br>ZYKLUS<br>HOTSPOT | GESAMT<br>HOTSPOT     | MITTEL<br>ÜBER<br>ZYKLUS<br>U. STAB  | GESAMT<br>ÜBER<br>ZYKLUS<br>U. STAB |  |                             |       |       |
| 15/70      |       |                       |   |                                   |               |                            |                             |  |                                  |                                   |  |   |                                     |                       |                                      |                                     |  |                             |       |       |
| 16/70      |       |                       |   |                                   |               |                            |                             |  |                                  |                                   |  |   |                                     |                       |                                      |                                     |  |                             |       |       |
| 17/70      | H 337 | 31                    | 2.09  | 2.13                              | 1.47          | 1.71                       | 5.7                         | 941.1                                    | 70                               | 14.41                             | 512  | 235                                       | 224                                 | 169                   | 1.858                                | -                                   | 1.400  | -                           | 7.10  | 0.163 |
| 1/71       | -     | 10                    | 2.20  | 3.72                              | 2.96          | 5.01                       | 7.4                         | 1371.6                                   | 70                               | 18.88                             | 634  | 336                                       | 309                                 | 234                   | 3.361                                | 8.219                               | 2.551  | 3.951                       | 7.70  | 0.405 |
| 2/71       | -     | 16                    | 2.06  | 3.75                              | 2.81          | 5.18                       | 6.8                         | 1475.9                                   | 70                               | 20.91                             | 584  | 293                                       | 276                                 | 227                   | 3.325                                | 8.544                               | 2.738  | 6.689                       | 8.40  | 0.478 |
| 3/71       | -     | 33                    | 2.22  | 3.43                              | 2.89          | 4.47                       | 6.2                         | 1252.7                                   | 70                               | 17.15                             | 568  | 278                                       | 254                                 | 175                   | 2.510                                | 11.054                              | 1.732  | 8.421                       | 8.35  | 0.366 |
| 4/71       | -     | 27                    | 2.15  | 4.08                              | 3.13          | 5.94                       | 6.6                         | 1537.6                                   | 70                               | 22.10                             | 586  | 293                                       | 261                                 | 185                   | 3.318                                | 14.372                              | 2.358  | 10.779                      | 8.50  | 0.318 |
| 5/71       | -     | 18                    | 1.75  | 3.07                              | 2.93          | 5.23                       | 6.0                         | 1419.7                                   | 70                               | 18.93                             | 554  | 268                                       | 248                                 | 178                   | 2.705                                | 17.077                              | 1.945  | 12.724                      | 9.75  | 0.494 |
| 6/71       | -     | 18                    | 1.73  | 3.13                              | 3.14          | 5.68                       | 7.2                         | 1468.2                                   | 70                               | 20.97                             | 605  | 310                                       | 291                                 | 219                   | 3.520                                | 20.597                              | 2.646  | 15.370                      | 10.60 | 0.535 |
| 7/71       | H 023 | 17                    | 1.37  | 1.35                              | 2.49          | 2.46                       | 5.9                         | 800.6                                    | 70                               | 11.96                             | 580  | 288                                       | 272                                 | 201                   | 1.874                                | 22.471                              | 1.385  | 16.755                      | 10.80 | 0.518 |
| 8/71       | -     | 21                    | 1.41  | 2.07                              | 2.46          | 3.61                       | 5.7                         | 1191.3                                   | 70                               | 16.37                             | 616  | 320                                       | 293                                 | 221                   | 2.765                                | 25.236                              | 2.085  | 18.840                      | 12.3  | 0.643 |
| 9/71       | -     | 24                    | 1.46  | 2.19                              | 2.48          | 3.72                       | 5.6                         | 1215.6                                   | 70                               | 16.95                             | 592  | 292                                       | 267                                 | 200                   | 2.610                                | 27.846                              | 1.958  | 20.798                      | 12.3  | 0.582 |
| 10/71      | -     | 26                    | 1.49  | 2.20                              | 2.48          | 2.74                       | 5.4                         | 1194.6                                   | 70                               | 16.17                             | 598  | 304                                       | 283                                 | 208                   | 2.632                                | 30.478                              | 1.939  | 22.737                      | 12.85 | 0.588 |
| 11/71      | -     | 0                     | 1.14  | 2.18                              | 2.50          | 4.78                       | 6.3                         | 1548.2                                   | 70                               | 21.37                             | 637  | 338                                       | 321                                 | 237                   | 3.958                                | 34.436                              | 2.922  | 25.659                      | 14.30 | 0.650 |
| 1/72       | -     | 0                     | 1.39  | 2.60                              | 3.05          | 5.71                       | 7.4                         | 1516.1                                   | 70                               | 21.48                             | 643  | 344                                       | 304                                 | 246                   | 3.761                                | 38.197                              | 3.039  | 28.688                      | 17.75 | 0.856 |
| 2/72       | -     | 0                     | 1.39  | 2.05                              | 3.04          | 4.49                       | 7.4                         | 1195.4                                   | 70                               | 16.09                             | 632  | 334                                       | 308                                 | 215                   | 2.853                                | 41.050                              | 1.994  | 30.692                      | 18.4  | 0.749 |
| 3/72       | -     | 0                     | 1.39  | 2.52                              | 3.04          | 5.51                       | 7.4                         | 1468.7                                   | 70                               | 19.91                             | 646  | 347                                       | 323                                 | 245                   | 3.702                                | 44.752                              | 2.817  | 33.509                      | 19.55 | 0.856 |
| 4/72       | -     | 0                     | 1.36  | 2.75                              | 2.99          | 6.05                       | 7.4                         | 1640.5                                   | 70                               | 21.93                             | 647  | 348                                       | 314                                 | 227                   | 3.955                                | 48.707                              | 2.855  | 36.364                      | 20.60 | 0.855 |
| 5/72       | -     | 0                     | 1.33  | 3.53                              | 2.92          | 7.74                       | 7.2                         | 2148.2                                   | 70                               | 29.25                             | 615  | 319                                       | 268                                 | 199                   | 4.525                                | 53.232                              | 3.346  | 39.710                      | 20.70 | 0.789 |
| 6/72       | -     | 0                     | 1.14  | 2.42                              | 2.51          | 5.31                       | 6.3                         | 1802.3                                   | 73.5                             | 29.09                             | 563  | 274                                       | 249                                 | 181                   | 3.311                                | 56.543                              | 2.406  | 42.116                      | 21.0  | 0.760 |
| 7/72       | -     | 0                     | 1.04  | 2.24                              | 2.78          | 5.98                       | 6.6                         | 1829.0                                   | 73.5                             | 22.98                             | 602  | 307                                       | 281                                 | 197                   | 3.719                                | 60.262                              | 2.615  | 44.731                      | 22.55 | 0.795 |
| 8/72       | -     | 0                     | 1.04  | 1.97                              | 2.79          | 5.28                       | 6.5                         | 1611.1                                   | 73.5                             | 20.56                             | 589  | 296                                       | 275                                 | 192                   | 3.256                                | 63.518                              | 2.272  | 47.003                      | 24.25 | 0.839 |
| 9/72       | -     | 0                     | 1.01  | 2.43                              | 2.69          | 6.47                       | 6.5                         | 2047.4                                   | 73.5                             | 25.53                             | 604  | 310                                       | 283                                 | 180                   | 4.158                                | 67.676                              | 2.655  | 49.658                      | 25.05 | 0.831 |
| 10/72      | -     | 0                     | 1.02  | 2.01                              | 2.73          | 5.38                       | 6.6                         | 1678.8                                   | 73.5                             | 20.02                             | 631  | 333                                       | 318                                 | 225                   | 3.671                                | 71.347                              | 2.600  | 52.258                      | 26.1  | 0.835 |
| 11/72      | -     | 0                     | 1.02  | 0.76                              | 2.72          | 2.02                       | 6.6                         | 631.0                                    | 73.5                             | 7.88                              | 634  | 337                                       | 302                                 | 219                   | 1.371                                | 72.718                              | 0.993  | 53.251                      | 27.2  | 0.867 |
| 1/73       | -     | 3                     | 1.07  | 1.85                              | 2.79          | 4.75                       | 6.6                         | 1471.3                                   | 73.5                             | 17.86                             | 620  | 324                                       | 290                                 | 195                   | 2.984                                | 75.702                              | 2.004  | 55.255                      | 26.75 | 0.817 |
| 2/73       | -     | 0                     | 1.04  | 2.14                              | 2.78          | 5.71                       | 6.6                         | 1747.4                                   | 73.5                             | 20.75                             | 582  | 290                                       | 269                                 | 176                   | 3.214                                | 78.916                              | 2.107  | 57.362                      | 28.3  | 0.849 |
| 3/73       | -     | 14                    | 1.21  | 3.27                              | 2.83          | 6.96                       | 6.2                         | 2298.9                                   | 73.5                             | 27.91                             | 661  | 360                                       | 340                                 | 244                   | 5.467                                | 84.383                              | 3.920  | 61.282                      | 29.8  | 0.850 |
| 4/73       | -     | 26                    | 1.37  | 2.74                              | 2.84          | 5.68                       | 6.1                         | 1701.5                                   | 73.5                             | 20.05                             | 660  | 360                                       | 350                                 | 259                   | 4.050                                | 88.433                              | 2.989  | 64.271                      | 30.9  | 0.850 |
| 5/73       | -     | 33                    | 1.46  | 3.06                              | 2.74          | 5.74                       | 5.6                         | 1782.8                                   | 73.5                             | 22.14                             | 615  | 319                                       | 291                                 | 215                   | 3.710                                | 92.143                              | 2.742  | 67.013                      | 31.6  | 0.839 |
| 6/73       | -     | 19                    | 1.26  | 2.52                              | 2.77          | 5.54                       | 6.1                         | 1700.9                                   | 73.5                             | 20.61                             | 680  | 380                                       | 359                                 | 252                   | 4.263                                | 96.406                              | 2.993  | 70.006                      | 32.1  | 0.820 |
| 7/73       | -     | 40                    | 1.69  | 3.27                              | 2.35          | 4.55                       | 5.1                         | 1646.1                                   | 73.5                             | 18.83                             | 655  | 354                                       | 332                                 | 250                   | 3.599                                | 100.005                             | 2.710  | 72.716                      | 33.6  | 0.836 |
| 8/73       | -     | 46                    | 1.58  | 4.65                              | 2.46          | 7.24                       | 5.3                         | 2505.0                                   | 73.5                             | 29.41                             | 678  | 376                                       | 348                                 | 258                   | 5.902                                | 105.907                             | 4.365  | 77.081                      | 35.95 | 0.858 |
| 9/73       | -     | 48                    | 1.63  | 4.73                              | 2.47          | 7.16                       | 5.0                         | 2469.7                                   | 73.5                             | 29.71                             | 647  | 348                                       | 322                                 | 233                   | 5.511                                | 111.418                             | 3.995  | 81.076                      | 35.50 | 0.803 |
| 10/73      | -     | 49                    | 1.65  | 2.45                              | 2.48          | 3.68                       | 5.0                         | 1261.3                                   | 73.5                             | 14.58                             | 615  | 319                                       | 298                                 | 202                   | 2.509                                | 113.927                             | 1.700  | 82.776                      | 36.05 | 0.802 |
| 11/73      |       |                       |   |                                   |               |                            |                             |  |                                  |                                   |  |   |                                     |                       |                                      |                                     |  |                             |       |       |
| 1/74       |       |                       |   |                                   |               |                            |                             |  |                                  |                                   |  |   |                                     |                       |                                      |                                     |  |                             |       |       |
| 2/74       |       |                       |   |                                   |               |                            |                             |  |                                  |                                   |  |   |                                     |                       |                                      |                                     |  |                             |       |       |
| SUMME      |       |                       |   | 89.6                              |               | 167.32                     |                             | 51570                                    |                                  | 666.64                            |  |   |                                     |                       |                                      | 113.927                             |  | 82.776                      | 36.05 | 0.802 |
| Bem.       |       |                       |   |                                   |               |                            |                             |  |                                  |                                   | MITTELWERTE                                |   | 294.6                               | 214                   | Bestrahlungsablauf MOL 8C.8. Tab. 31 |                                     |  |                             |       |       |

| ZYKLUS<br>BR2 | KANAL | BE-<br>ABBRAND<br>[%] | MAX. UNGESTÖRT. FLUSS bez. DOSIS                    |                                   |  |   | ̑-<br>HEIZUNG<br>[W/grAl] | FREIGES<br>ENERGIE<br>[MWD] | SOLL -<br>REAKTOR-<br>LEISTUNG<br>[MW th] | ZYKLUS<br>ZEIT<br>>80% RL<br>[D] | MAX.<br>TEMP IN<br>ZYKLUS<br>[°C] | STABLEISTUNG [W/cm]                 |                                     | ABBRAND [MWD / kg Me]               |       |                             |       | SPALTGAS<br>DRUCK<br>ZYKLUS<br>ENDE<br>[bar] | GESAMT-<br>FREI-<br>SETZUNG |         |
|---------------|-------|-----------------------|---|-----------------------------------|--|---|---------------------------|-----------------------------|---|----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------|-----------------------------|-------|--|-----------------------------|---------|
|               |       |                       | THERMISCH<br>[10 <sup>14</sup> n/cm <sup>2</sup> s] | SCHNELL<br>[10 <sup>20</sup> hvt] | MITTEL<br>ÜBER<br>ZYKLUS<br>HOT-<br>SPOT | MITTEL<br>ÜBER<br>ZYKLUS<br>UND<br>STAB |                           |                             |   |                                  |                                   | MITTEL<br>ÜBER<br>ZYKLUS<br>HOTSPOT | GESAMT<br>ÜBER<br>ZYKLUS<br>U. STAB | GESAMT<br>ÜBER<br>ZYKLUS<br>U. STAB |       |                             |       |  |                             |         |
| 15/70         |       |                       |   |                                   |  |   |                           |                             |   |                                  |                                   |                                     |                                     |                                     |       |                             |       |  |                             |         |
| 16/70         |       |                       |   |                                   |  |   |                           |                             |   |                                  |                                   |                                     |                                     |                                     |       |                             |       |  |                             |         |
| 17/70         |       |                       |   |                                   |  |   |                           |                             |   |                                  |                                   |                                     |                                     |                                     |       |                             |       |  |                             |         |
| 1/71          |       |                       |   |                                   |  |   |                           |                             |   |                                  |                                   |                                     |                                     |                                     |       |                             |       |  |                             |         |
| 2/71          |       |                       |   |                                   |  |   |                           |                             |   |                                  |                                   |                                     |                                     |                                     |       |                             |       |  |                             |         |
| 3/71          |       |                       |   |                                   |  |   |                           |                             |   |                                  |                                   |                                     |                                     |                                     |       |                             |       |  |                             |         |
| 4/71          |       |                       |   |                                   |  |   |                           |                             |   |                                  |                                   |                                     |                                     |                                     |       |                             |       |  |                             |         |
| 5/71          |       |                       |   |                                   |  |   |                           |                             |   |                                  |                                   |                                     |                                     |                                     |       |                             |       |  |                             |         |
| 6/71          |       |                       |   |                                   |  |   |                           |                             |   |                                  |                                   |                                     |                                     |                                     |       |                             |       |  |                             |         |
| 7/71          |       |                       |   |                                   |  |   |                           |                             |   |                                  |                                   |                                     |                                     |                                     |       |                             |       |  |                             |         |
| 8/71          |       |                       |   |                                   |  |   |                           |                             |   |                                  |                                   |                                     |                                     |                                     |       |                             |       |  |                             |         |
| 9/71          |       |                       |   |                                   |  |   |                           |                             |   |                                  |                                   |                                     |                                     |                                     |       |                             |       |  |                             |         |
| 10/71         | F 166 | 47                    | 2.18  | 3.21                              | 6.22                                     | 3.96                                    | 4.6                       | 1194.6                      | 70  | 16.17                            | 506                               | 348                                 | 318                                 | 284                                 | 2.855 | -                           | 2.550 | -  | -                           | -       |
| 11/71         | -     | 32                    | 1.89  | 3.61                              | 2.87                                     | 5.48                                    | 5.3                       | 1548.2                      | 70  | 21.37                            | 521                               | 365                                 | 329                                 | 269                                 | 3.909 | 6.764                       | 3.192 | 5.742  | 5.6                         | 0.077   |
| 1/72          | -     | 20                    | 2.01  | 3.76                              | 3.33                                     | 6.23                                    | 6.8                       | 1516.1                      | 70  | 21.48                            | 570                               | 426                                 | 371                                 | 363                                 | 4.437 | 11.201                      | 4.339 | 10.081                                       | 6.8                         | 0.306   |
| 2/72          | -     | 20                    | 2.02  | 2.98                              | 3.31                                     | 4.88                                    | 6.7                       | 1195.4                      | 70  | 16.09                            | 606                               | 474                                 | 449                                 | 370                                 | 4.017 | 15.218                      | 3.308 | 13.389                                       | 7.8                         | 0.395   |
| 3/72          | -     | 22                    | 2.06  | 3.73                              | 3.34                                     | 6.05                                    | 6.7                       | 1468.7                      | 70  | 19.91                            | 612                               | 484                                 | 401                                 | 317                                 | 4.443 | 19.661                      | 3.508 | 16.897                                       | 8.4                         | 0.392   |
| 4/72          | -     | 10                    | 1.80  | 3.64                              | 3.16                                     | 6.40                                    | 7.2                       | 1640.5                      | 70  | 21.83                            | 614                               | 486                                 | 401                                 | 317                                 | 4.865 | 24.526                      | 3.843 | 20.740                                       | 9.6                         | 0.447   |
| 5/72          | -     | 13                    | 1.81  | 4.80                              | 3.13                                     | 8.3                                     | 7.0                       | 2148.2                      | 70  | 29.25                            | 655                               | 545                                 | 447                                 | 386                                 | 7.274 | 31.800                      | 6.282 | 27.022                                       | 14.6                        | 0.751   |
| 6/72          | -     | 16                    | 1.66  | 3.52                              | 2.85                                     | 6.04                                    | 6.1                       | 1802.3                      | 73.5                                      | 23.09                            | 566                               | 422                                 | 385                                 | 325                                 | 4.947 | 36.747                      | 4.178 | 31.200                                       | 15.1                        | 0.686   |
| 7/72          | -     | 23                    | 1.70  | 3.66                              | 3.36                                     | 7.22                                    | 6.4                       | 1829                        | 73.5                                      | 22.98                            | 662                               | 555                                 | 481                                 | 375                                 | 6.149 | 42.896                      | 4.795 | 35.995                                       | 18.7                        | 0.815   |
| 8/72          | F 014 | 36                    | 2.10  | 3.98                              | 3.16                                     | 5.98                                    | 7.3                       | 1611.1                      | 73.5                                      | 20.56                            | 624                               | 502                                 | 456                                 | 349                                 | 5.213 | 48.109                      | 3.995 | 39.990                                       | 20.5                        | 0.833   |
| 9/72          | -     | 25                    | 1.86  | 4.48                              | 3.16                                     | 7.53                                    | 7.4                       | 2047.4                      | 73.5                                      | 25.53                            | 640                               | 524                                 | 462                                 | 302                                 | 6.552 | 54.661                      | 4.281 | 44.271                                       | 22.2                        | 0.837   |
| 10/72         | -     | 30                    | 2.01  | 3.97                              | 3.21                                     | 6.33                                    | 7.6                       | 1678.8                      | 73.5                                      | 20.02                            | 632                               | 510                                 | 493                                 | 374                                 | 5.485 | 60.146                      | 4.165 | 48.436                                       | 24.8                        | 0.884   |
| 11/72         | -     | 28                    | 1.96  | 1.45                              | 3.25                                     | 2.41                                    | 7.7                       | 631                         | 73.5                                      | 7.88                             | 640                               | 524                                 | 433                                 | 353                                 | 1.897 | 62.043                      | 1.547 | 49.983                                       | 25.6                        | 0.881   |
| 1/73          | -     | 32                    | 2.07  | 3.58                              | 3.22                                     | 5.57                                    | 7.5                       | 1471.3                      | 73.5                                      | 17.86                            | 628                               | 506                                 | 423                                 | 322                                 | 4.203 | 66.246                      | 3.196 | 53.179                                       | 26.0                        | 0.855   |
| 2/73          | -     | 35                    | 2.14  | 4.40                              | 3.19                                     | 6.55                                    | 7.3                       | 1747.4                      | 73.5                                      | 20.75                            | 582                               | 440                                 | 395                                 | 292                                 | 4.552 | 70.798                      | 3.369 | 56.548                                       | 28.0                        | 0.882   |
| 3/73          | -     | 39                    | 2.20  | 5.95                              | 3.11                                     | 8.40                                    | 7.0                       | 2298.9                      | 73.5                                      | 27.91                            | 624                               | 501                                 | 451                                 | 359                                 | 6.995 | 77.793                      | 5.566 | 62.114                                       | 30.3                        | 0.884   |
| 4/73          | -     | 42                    | 2.28  | 4.56                              | 3.08                                     | 6.16                                    | 7.3                       | 1701.4                      | 73.5                                      | 20.05                            | 580                               | 440                                 | 429                                 | 344                                 | 4.781 | 82.574                      | 3.841 | 65.955                                       | 31.4                        | 0.87    |
| 5/73          | -     | 32                    | 1.87  | 3.92                              | 3.53                                     | 7.4                                     | 7.6                       | 1782.8                      | 73.5                                      | 22.14                            | 572                               | 430                                 | 396                                 | 319                                 | 4.871 | 87.445                      | 3.933 | 69.888                                       | 33.4                        | 0.884   |
| 6/73          | -     | 32                    | 1.87  | 3.74                              | 3.55                                     | 7.1                                     | 7.8                       | 1700.9                      | 73.5                                      | 20.61                            | 630                               | 510                                 | 464                                 | 357                                 | 5.316 | 92.761                      | 4.095 | 73.983                                       | 34.4                        | 0.865   |
| 7/73          |       |                       |   |                                   |  |   |                           |                             |   |                                  |                                   |                                     |                                     |                                     |       |                             |       |  |                             |         |
| 8/73          |       |                       |   |                                   |  |   |                           |                             |   |                                  |                                   |                                     |                                     |                                     |       |                             |       |  |                             |         |
| 9/73          |       |                       |   |                                   |  |   |                           |                             |   |                                  |                                   |                                     |                                     |                                     |       |                             |       |  |                             |         |
| 10/73         |       |                       |   |                                   |  |   |                           |                             |   |                                  |                                   |                                     |                                     |                                     |       |                             |       |  |                             |         |
| 11/73         |       |                       |   |                                   |  |   |                           |                             |   |                                  |                                   |                                     |                                     |                                     |       |                             |       |  |                             |         |
| 1/74          |       |                       |   |                                   |  |   |                           |                             |   |                                  |                                   |                                     |                                     |                                     |       |                             |       |  |                             |         |
| 2/74          |       |                       |   |                                   |  |   |                           |                             |   |                                  |                                   |                                     |                                     |                                     |       |                             |       |  |                             |         |
| SUMME         |       |                       |   | 72.94                             |  | 118                                     |                           | 31014                       |   | 395.47                           |                                   |                                     |                                     |                                     |       | 92.761                      |       | 73.983                                       | 34.4                        | 0.865   |
| Bem.          |       |                       |   |                                   |  |   |                           |                             |   |                                  |                                   |                                     | MITTELWERTE                         | 420.2                               | 335.6 | Bestrahlungsablauf MOL 8C9. |       |  |                             | Tab. 32 |

153

| ZYKLUS<br>BR2 | KANAL | BE-<br>ABBRAND<br>[%] | MAX. UNGESTÖRT. FLUSS bez. DOSIS |                        |                            |                        | γ-<br>HEIZUNG<br>[W/grAl] | FREIGES.<br>ENERGIE<br>[MWD] | SOLL -<br>REAKTOR-<br>LEISTUNG<br>[MW th] | ZYKLUS<br>ZEIT<br>>80 % RL<br>[D] | MAX.<br>TEMP. IN<br>ZYKLUS<br>[°C] | STABLEISTUNG [W/cm²] |   | ABBRAND [MWD / kg Me]                  |                                     |                   |                                     |                                     | SPALTGAS<br>DRUCK<br>ZYKLUS<br>ENDE<br>[bar] | GESAMT-<br>FREI-<br>SETZUNG |         |
|---------------|-------|-----------------------|----------------------------------|------------------------|----------------------------|------------------------|---------------------------|------------------------------|---|-----------------------------------|------------------------------------|----------------------|---|--|-------------------------------------|-------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--|-----------------------------|---------|
|               |       |                       | THERMISCH                        |                        | SCHNELL                    |                        |                           |                              |   |                                   |                                    | ABSOL.               | MITTEL<br>ÜBER<br>ZYKL.<br>HOT-<br>SPOT | MITTEL<br>ÜBER<br>ZYKL.<br>UND<br>STAB | MITTEL<br>ÜBER<br>ZYKLUS<br>HOTSPOT | GESAMT<br>HOTSPOT | MITTEL<br>ÜBER<br>ZYKLUS<br>U. STAB | GESAMT<br>ÜBER<br>ZYKLUS<br>U. STAB |  |                             |         |
|               |       |                       | [10 <sup>14</sup> n/cm² s]       | [10 <sup>20</sup> nvt] | [10 <sup>16</sup> n/cm² s] | [10 <sup>20</sup> nvt] |                           |                              |   |                                   | MAX. I.<br>ZYKL.                   |                      |   |  |                                     |                   |                                     |                                     |  |                             |         |
| 15/70         |       |                       |                                  |                        |                            |                        |                           |                              |   |                                   |                                    |                      |   |  |                                     |                   |                                     |                                     |  |                             |         |
| 16/70         |       |                       |                                  |                        |                            |                        |                           |                              |   |                                   |                                    |                      |   |  |                                     |                   |                                     |                                     |  |                             |         |
| 17/70         |       |                       |                                  |                        |                            |                        |                           |                              |   |                                   |                                    |                      |   |  |                                     |                   |                                     |                                     |  |                             |         |
| 1/71          |       |                       |                                  |                        |                            |                        |                           |                              |   |                                   |                                    |                      |   |  |                                     |                   |                                     |                                     |  |                             |         |
| 2/71          |       |                       |                                  |                        |                            |                        |                           |                              |   |                                   |                                    |                      |   |  |                                     |                   |                                     |                                     |  |                             |         |
| 3/71          |       |                       |                                  |                        |                            |                        |                           |                              |   |                                   |                                    |                      |   |  |                                     |                   |                                     |                                     |  |                             |         |
| 4/71          |       |                       |                                  |                        |                            |                        |                           |                              |   |                                   |                                    |                      |   |  |                                     |                   |                                     |                                     |  |                             |         |
| 5/71          |       |                       |                                  |                        |                            |                        |                           |                              |   |                                   |                                    |                      |   |  |                                     |                   |                                     |                                     |  |                             |         |
| 6/71          |       |                       |                                  |                        |                            |                        |                           |                              |   |                                   |                                    |                      |   |  |                                     |                   |                                     |                                     |  |                             |         |
| 7/71          |       |                       |                                  |                        |                            |                        |                           |                              |   |                                   |                                    |                      |   |  |                                     |                   |                                     |                                     |  |                             |         |
| 8/71          |       |                       |                                  |                        |                            |                        |                           |                              |   |                                   |                                    |                      |   |  |                                     |                   |                                     |                                     |  |                             |         |
| 9/71          |       |                       |                                  |                        |                            |                        |                           |                              |   |                                   |                                    |                      |   |  |                                     |                   |                                     |                                     |  |                             |         |
| 10/71         | F 194 | 32                    | 7.96                             | 2.89                   | 2.91                       | 4.29                   | 5.3                       | 1194.6                       | 70  | 16.17                             | 519                                | 439                  | 381                                     | 344                                    | 3.422                               | -                 | 3.089                               | -                                   | 6.2  | -                           |         |
| 11/71         | -     | 0                     | 1.41                             | 2.69                   | 2.65                       | 5.06                   | 6.3                       | 1548.2                       | 70  | 21.37                             | 496                                | 408                  | 374                                     | 295                                    | 4.443                               | 7.865             | 3.509                               | 6.598                               | 6.4  | 0.128                       |         |
| 1/72          | -     | 11                    | 1.84                             | 3.44                   | 3.25                       | 6.08                   | 7.1                       | 1516.1                       | 70  | 21.48                             | 562                                | 498                  | 414                                     | 389                                    | 4.944                               | 12.809            | 4.643                               | 11.241                              | 7.6  | 0.32                        |         |
| 2/72          | -     | 0                     | 1.65                             | 2.43                   | 3.10                       | 4.57                   | 7.3                       | 1195.4                       | 70  | 16.09                             | 577                                | 520                  | 497                                     | 394                                    | 4.444                               | 17.253            | 3.527                               | 14.768                              | 8.6  | 0.37                        |         |
| 3/72          | -     | 23                    | 2.07                             | 3.75                   | 3.39                       | 6.14                   | 6.7                       | 1468.7                       | 70  | 19.91                             | 568                                | 508                  | 452                                     | 349                                    | 5.000                               | 22.253            | 3.861                               | 18.629                              | 9.0  | 0.355                       |         |
| 4/72          | -     | 10                    | 1.80                             | 3.64                   | 3.16                       | 6.4                    | 7.1                       | 1640.5                       | 70  | 21.83                             | 578                                | 521                  | 436                                     | 335                                    | 5.288                               | 27.541            | 4.072                               | 22.701                              | 10.2   | 0.408                       |         |
| 5/72          | -     | 12                    | 1.79                             | 4.75                   | 3.13                       | 8.3                    | 7.1                       | 2148.2                       | 70  | 29.25                             | 606                                | 564                  | 488                                     | 409                                    | 7.941                               | 35.482            | 6.661                               | 29.362                              | 14.6   | 0.646                       |         |
| 6/72          | -     | 17                    | 1.68                             | 3.56                   | 2.85                       | 6.04                   | 6.1                       | 1802.3                       | 73.5                                      | 23.09                             | 536                                | 460                  | 416                                     | 333                                    | 5.338                               | 40.820            | 4.278                               | 33.640                              | 14.8   | 0.577                       |         |
| 7/72          | -     | 20                    | 1.65                             | 3.55                   | 3.31                       | 7.12                   | 6.5                       | 1829.0                       | 73.5                                      | 28.98                             | 562                                | 498                  | 465                                     | 356                                    | 5.942                               | 46.762            | 4.553                               | 38.193                              | 16.2   | 0.589                       |         |
| 8/72          | F 346 | 37                    | 2.12                             | 4.01                   | 3.11                       | 5.89                   | 7.0                       | 1611.1                       | 73.5                                      | 20.56                             | 567                                | 506                  | 466                                     | 378                                    | 5.324                               | 52.086            | 4.324                               | 42.517                              | 18.9   | 0.669                       |         |
| 9/72          | -     | 17                    | 1.66                             | 3.99                   | 3.74                       | 9.0                    | 8.0                       | 2047.4                       | 73.5                                      | 25.53                             | 587                                | 535                  | 492                                     | 341                                    | 6.989                               | 59.075            | 4.847                               | 47.364                              | 21.8   | 0.736                       |         |
| 10/72         | -     | 17                    | 1.62                             | 3.2                    | 3.68                       | 7.25                   | 8.2                       | 1678.8                       | 73.5                                      | 20.02                             | 599                                | 554                  | 540                                     | 420                                    | 6.012                               | 65.087            | 4.680                               | 52.044                              | 23.8   | 0.754                       |         |
| 11/72         | -     | 20                    | 1.67                             | 1.24                   | 3.65                       | 2.71                   | 8.0                       | 631                          | 73.5                                      | 7.88                              | 603                                | 560                  | 499                                     | 397                                    | 2.187                               | 67.274            | 1.739                               | 53.783                              | 24.5   | 0.759                       |         |
| 1/73          | -     | 24                    | 1.77                             | 3.06                   | 3.68                       | 8.36                   | 7.8                       | 1471.3                       | 73.5                                      | 17.86                             | 576                                | 518                  | 460                                     | 368                                    | 4.567                               | 71.841            | 3.657                               | 57.440                              | 25.4   | 0.745                       |         |
| 2/73          | E 330 | 42                    | 2.14                             | 4.4                    | 3.41                       | 7.0                    | 8.3                       | 1747.4                       | 73.5                                      | 20.75                             | 620                                | 586                  | 512                                     | 409                                    | 5.902                               | 77.743            | 4.717                               | 62.157                              | 27.6   | 0.767                       |         |
| 3/73          | -     | 44                    | 2.37                             | 6.4                    | 2.99                       | 8.08                   | 7.9                       | 2298.9                       | 73.5                                      | 27.9                              | 606                                | 566                  | 497                                     | 399                                    | 7.712                               | 85.455            | 6.187                               | 68.344                              | 29.0   | 0.742                       |         |
| 4/73          | F 346 | 43                    | 2.29                             | 4.58                   | 3.13                       | 6.26                   | 6.7                       | 1701.4                       | 73.5                                      | 20.05                             | 573                                | 514                  | 471                                     | 389                                    | 5.255                               | 90.710            | 4.338                               | 72.682                              | 29.7   | 0.719                       |         |
| 5/73          | -     | 20                    | 1.66                             | 3.48                   | 3.69                       | 7.73                   | 8.0                       | 1782.8                       | 73.5                                      | 22.14                             | 584                                | 532                  | 466                                     | 384                                    | 5.736                               | 96.446            | 4.731                               | 77.413                              | 32.5   | 0.755                       |         |
| 6/73          | E 330 | 53                    | 2.29                             | 4.58                   | 2.81                       | 5.62                   | 7.6                       | 1700.9                       | 73.5                                      | 20.61                             | 606                                | 564                  | 528                                     | 427                                    | 6.054                               | 102.500           | 4.889                               | 82.302                              | 33.8   | 0.745                       |         |
| 7/73          | -     | 47                    | 2.45                             | 4.74                   | 2.87                       | 5.55                   | 7.5                       | 1646.1                       | 73.5                                      | 18.83                             | 612                                | 573                  | 516                                     | 415                                    | 5.400                               | 107.900           | 4.345                               | 86.647                              | 35.1   | 0.741                       |         |
| 8/73          | -     | 51                    | 2.26                             | 6.65                   | 2.92                       | 8.6                    | 7.8                       | 2505.0                       | 73.5                                      | 29.41                             | 614                                | 578                  | 514                                     | 437                                    | 8.398                               | 116.298           | 7.141                               | 93.788                              | 36.2   | 0.710                       |         |
| 9/73          |       |                       |                                  |                        |                            |                        |                           |                              |   |                                   |                                    |                      |   |  |                                     |                   |                                     |                                     |  |                             |         |
| 10/73         |       |                       |                                  |                        |                            |                        |                           |                              |   |                                   |                                    |                      |   |  |                                     |                   |                                     |                                     |  |                             |         |
| 11/73         |       |                       |                                  |                        |                            |                        |                           |                              |   |                                   |                                    |                      |   |  |                                     |                   |                                     |                                     |  |                             |         |
| 1/74          |       |                       |                                  |                        |                            |                        |                           |                              |   |                                   |                                    |                      |   |  |                                     |                   |                                     |                                     |  |                             |         |
| 2/74          |       |                       |                                  |                        |                            |                        |                           |                              |   |                                   |                                    |                      |   |  |                                     |                   |                                     |                                     |  |                             |         |
| SUMME         |       |                       |                                  | 81                     |                            | 136                    |                           | 35165.1                      |   | 443.71                            |                                    |                      |   |  |                                     | 116.298           |                                     | 93.788                              | 36.2   | 0.710                       |         |
| Bem.          |       |                       |                                  |                        |                            |                        |                           |                              |   |                                   |                                    | MITTELWERTE          | 470.6                                   | 379.4                                  |                                     |                   |                                     | Bestrahlungsablauf                  | MOL 8C.10                                    |                             | Tab. 33 |



Bestrahlungskanal

x Regelstab

Positionskarte BR 2-Core

Abb. 11

Tabelle 34: Verlauf der Betriebsbedingungen über die Bestrahlungszeit

|      | Ferti-<br>gungs-<br>spalt<br>[mm] | Solltp.<br>[°C] | Hüllw.<br>innen-<br>temp.<br>[°C] | Stabl.<br>[W/cm] | kalibr.<br>Spalt<br>[mm] | Solltp.<br>[°C] | Hüllw.<br>innen-<br>temp.<br>[°C] | Stabl.<br>(1)<br>[W/cm] | Stabl.<br>(2)<br>[W/cm] | End-<br>spalt<br>(3)<br>[mm] | Solltp.<br>[°C] | Hüllw.<br>innen-<br>temp.<br>[°C] | Stabl.<br>[W/cm] |
|------|-----------------------------------|-----------------|-----------------------------------|------------------|--------------------------|-----------------|-----------------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------------|-----------------|-----------------------------------|------------------|
| 8C1  | 0,07                              | 618             | 680                               | 516              | 0,07                     | 618             | 680                               | 516                     | 428                     | 0,042                        | 618             | 695                               | 510              |
| 8C2  | 0,16                              | 644             | 680                               | 310              | 0,16                     | 644             | 680                               | 310                     | 280                     | 0,123                        | 644<br>(4) 635  | 690<br>680                        | 338<br>330       |
| 8C3  | 0,05                              | 586             | 654                               | 550              | 0,04                     | 558<br>(604)    | 630<br>(680)                      | 550                     | 454<br>(500)            | 0,015                        | 558             | 642                               | 534              |
| 8C4  | 0,12                              | 596             | 640                               | 350              | 0,13                     | 618<br>(637)    | 654<br>(680)                      | 350                     | 305<br>(323)            | 0,095                        | 618<br>(4) 591  | 670<br>645                        | 370<br>350       |
| 8C5  | 0,06                              | 608             | 680                               | 550              | 0,057                    | 605<br>(614)    | 672<br>(680)                      | 550                     | 452<br>(460)            | 0,026                        | 605             | 690                               | 548              |
| 8C6  | 0,11                              | 574             | 615                               | 350              | 0,1                      | 556<br>(617)    | 598<br>(668)                      | 350                     | 306<br>(350)            | 0,079                        | 556             | 604                               | 345              |
| 8C7  | 0,05                              | 586             | 654                               | 550              | 0,047                    | 576<br>(606)    | 645<br>(680)                      | 550                     | 450<br>(484)            | 0,017                        | 576             | 675                               | 550              |
| 8C8  | 0,13                              | 617             | 660                               | 350              | 0,14                     | 640             | 680                               | 330                     | 309                     | 0,1                          | 640             | 696                               | 380              |
| 8C9  | 0,07                              | 618             | 680                               | 516              | 0,072                    | 618             | 680                               | 516                     | 425                     | 0,046                        | 618             | 700                               | 500              |
| 8C10 | 0,05                              | 586             | 654                               | 550              | 0,05                     | 586<br>(608)    | 654<br>(680)                      | 550                     | 450<br>(477)            | 0,02                         | 586             | 670                               | 550              |
|      | 1                                 | 2               | 3                                 | 4                | 5                        | 6               | 7                                 | 8                       | 9                       | 10                           | 11              | 12                                | 13               |

- (1) Stableistung, die erreicht wird ohne Berücksichtigung der "NaK-Konvektion"  
 (2) Stableistung, die erreicht wird nach Berücksichtigung der "NaK-Konvektion"  
 (3) Aus Diagramm 3 ermittelte Spalte bei Bestrahlungsende  
 (4) Erniedrigung der Solltemperaturen entsprechend Hüllwandinnensolltemperatur (8C2) und Sollstableistung (8C4). Diese Massnahme war notwendig, da diese Einsätze in den letzten Bestrahlungszyklen die gewünschten Solltemperaturen tatsächlich erreichten.

- Die Abbrände sind aus den vorher definierten Stableistungen berechnet mittels der Formel

$$\text{Abbrand} = \frac{\text{Stableistung z Bestrahlungszeit}}{\text{Menge U-Pu-Metall pro Zentimeter}}$$

- Die "Gesamtfreisetzungsrage" wird wie folgt berechnet:

$$F_{\text{ges}} = \frac{P_{t = tz} - P_{t = 0}}{A_{\text{ges.z.St.}}} \cdot Z$$

- $P_{t = tz}$  und  $P_{t = 0}$  sind Spaltgasdrücke bei Bestrahlungsende bzw. -anfang
- $A_{\text{ges.z.St.}}$  ist der über Zeit und Brennstab gemittelte Gesamtabbrand (unkorrigiert)

$$Z = \frac{V_{\text{Gasplenum}}}{V_{\text{Spaltstoff}} \cdot U \cdot T_1 \cdot \rho}$$

$V_{\text{Gasplenum}}$  = Volumen des Spaltgasraumes  
+ Volumen des Druckumformersystems

$V_{\text{Spaltstoff}}$  berechnet mit Hüllinnendurchmesser

$U$  = Umrechnungsfaktor für Maßeinheit =  $9,1 \cdot 10^{-5}$

$T_1$  = Mittlere Spaltgastemperatur, hier mit  $373^{\circ}\text{K}$  angenommen

$\rho$  = Schmierdichte des Mischoxids

Aus den Tab.24-33ist zu entnehmen, daß die Bestrahlungsbedingungen der einzelnen Brennstäbe dauernd den verlangten Betriebsbedingungen angepaßt wurden. Dies geschah hauptsächlich durch die Wahl des Treiber-Brennelements, der Bestrahlungsposition und durch Anpassung der Position der Trimmstäbe in Kombination mit der Reaktorleistung. Ein linearer Zusammenhang zwischen Neutronenfluß und erreichter Temperatur bzw. Stableistung ist nicht feststellbar soweit es den thermischen und schnellen Flußanteil betrifft.

Aus der Tab. 34 ist weiterhin ersichtlich, daß der Sollwert  $680^{\circ}\text{C}$  für die Hüllwandinnentemperatur sowie die Sollstableistungen von 550 bzw. 350 W/cm in mehreren Fällen kurzzeitig überschritten wurden. Die maximal zulässige Hüllwandinnentemperatur von  $720^{\circ}\text{C}$  sowie die maximal zulässigen Stableistungen von 605 bzw. 385 W/cm wurden nur in ganz seltenen Störfällen erreicht oder überschritten. Die Angaben für thermische und schnelle Flüsse sind aufgrund der Ergebnisse der letzten Flußmessungen korrigiert worden (Abb. 12 u. 13).

Das Verhalten der FAFNIR-Einsätze während der Bestrahlung war ausgezeichnet. Ein großer Prozentsatz der Thermoelemente und Druckumformer arbeiteten über die gesamte Bestrahlungszeit. Weniger robust erwiesen sich die Ausgleichskabel. Die Out-pile-Anlage funktionierte zuverlässig.

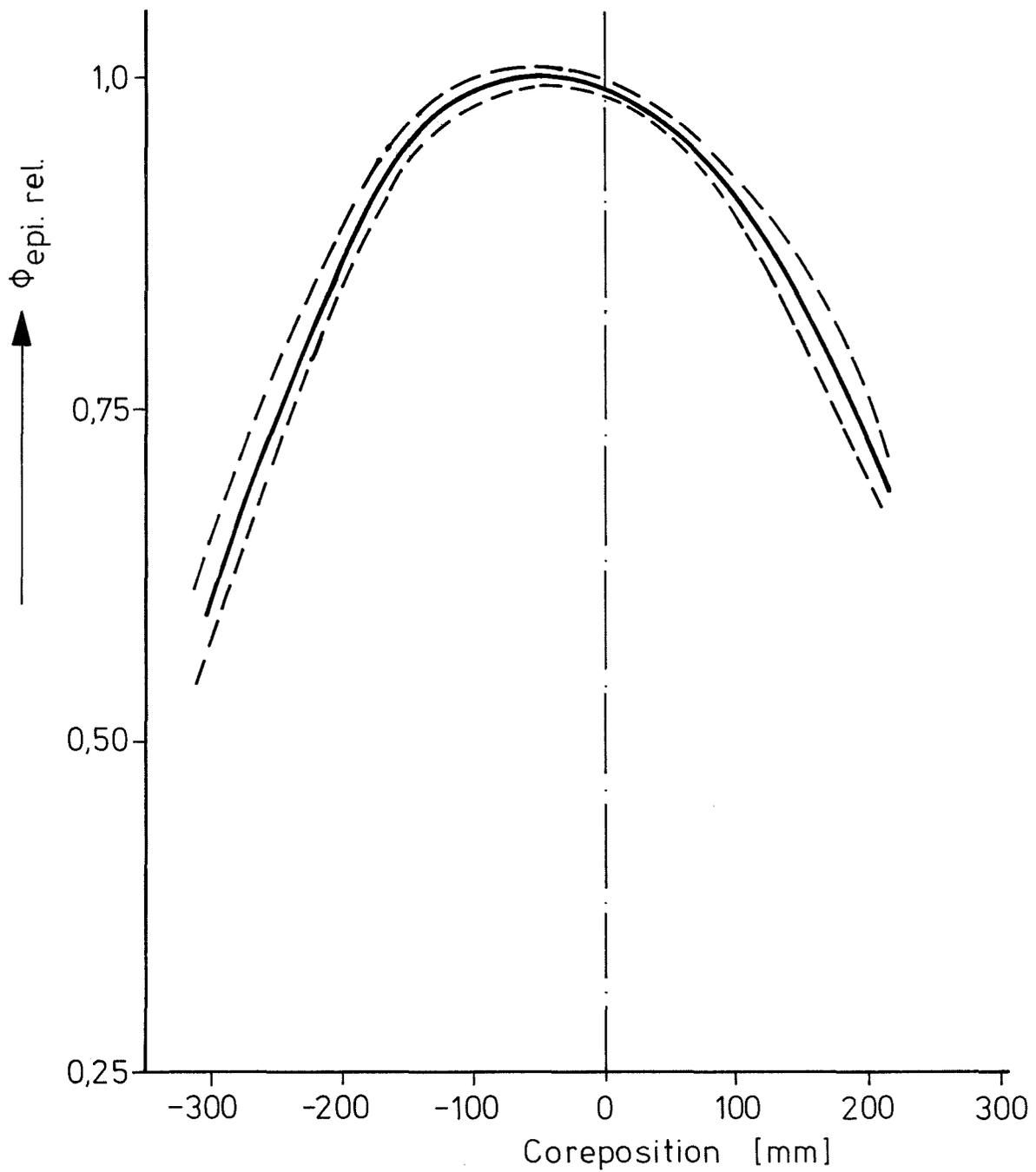
Der Betriebsaufwand der Einsätze umfaßte folgende Aktivitäten:

- Vorbereitung der Einsätze und Anlagen für Reaktorstart,
- Inbetriebnahme,
- Protokollierung aller Meßwerte im 4-Stunden-Rhythmus
- Außerbetriebnahme
- Eingriffe bei 4-Stunden-Alarmen und
- Wartung bzw. Reparaturen an Anlagen und Einsätzen.

Nach jedem Reaktorzyklus wurde für jeden Einsatz ein Zyklusbericht verfaßt /11/.

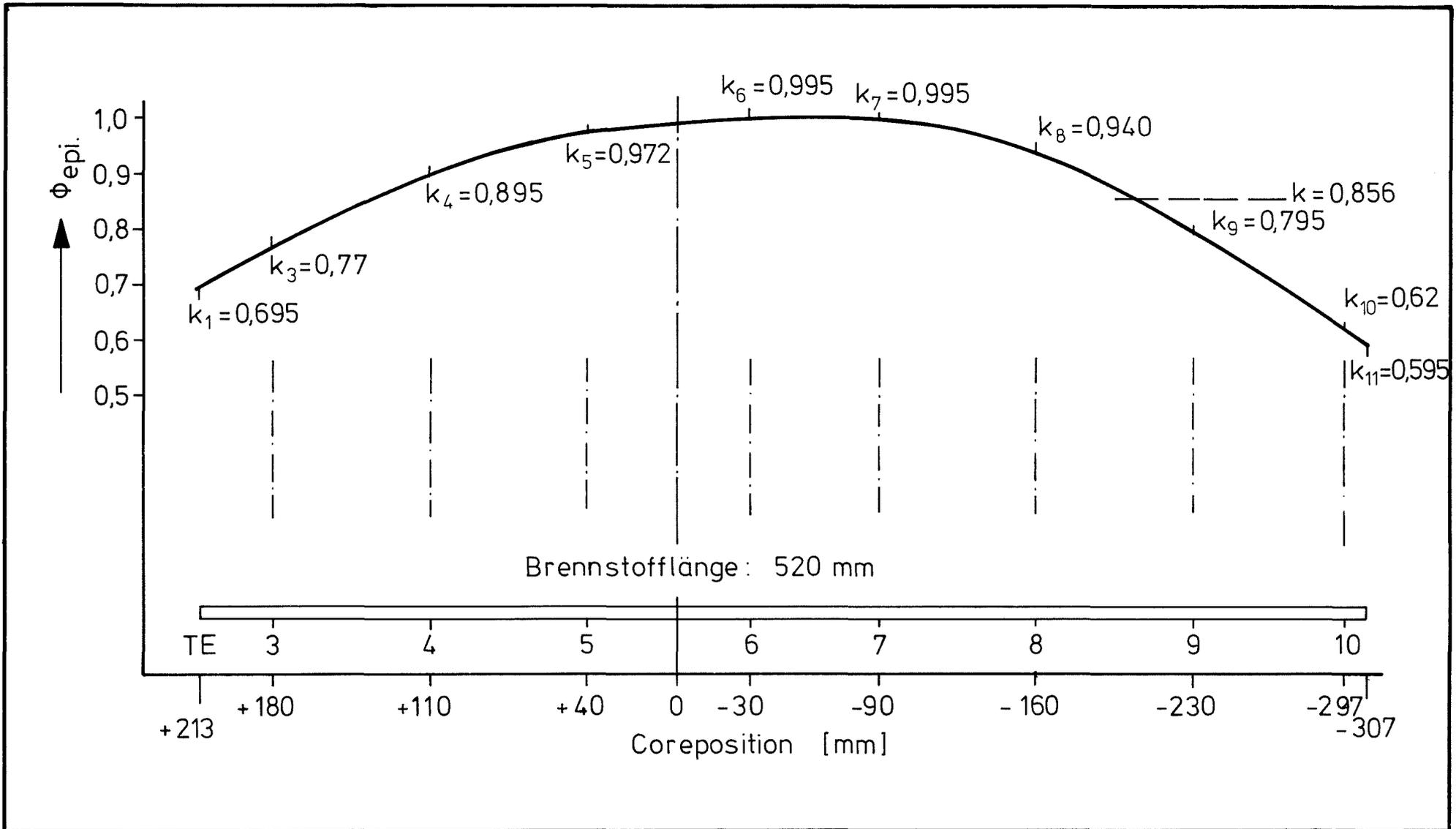
Der berechnete Zusammenhang zwischen registrierter Temperatur und Stableistung basiert auf einigen Annahmen. Deshalb wurde parallel zur FAFNIR-Bestrahlung ein FAFNIR-Kalibrationseinsatz eingesetzt. Dieser Einsatz erlaubte es, die Kenntnisse über den Zusammenhang zwischen Temperatur und Stableistung und über die Kenndaten typischer FAFNIR-Bestrahlungspositionen im BR2 zu verbessern.

Einen wesentlichen Beitrag zur besseren Interpretation der Bestrahlungsergebnisse lieferte weiter ein Out-pile-Versuch, wobei ein FAFNIR-Einsatz mittels elektrischer Heizung thermodynamisch untersucht wurde. Hierbei stellte man fest, daß der in /9/ dargestellte



Normalisierte, epithermische  
Flußverteilung in FAFNIR -  
Bestrahlungskanälen

Abb. 12



Bestimmung der Korrekturfaktoren  $k$  und  $k_n$  aus normalisierter, epithermischer, axialer Flußverteilung in FAFNIR-Bestrahlungskanälen

Abb. 13

korrigierte Zusammenhang zwischen Hüllwandtemperaturen und linearer Spaltleistung gut mit den experimentellen Ergebnissen übereinstimmt. Die Korrekturfaktoren, betreffend den Beitrag der NaK-Konvektion bei der Wärmedurchgangsrechnung (siehe Tab.34), wurden hiermit bestätigt.

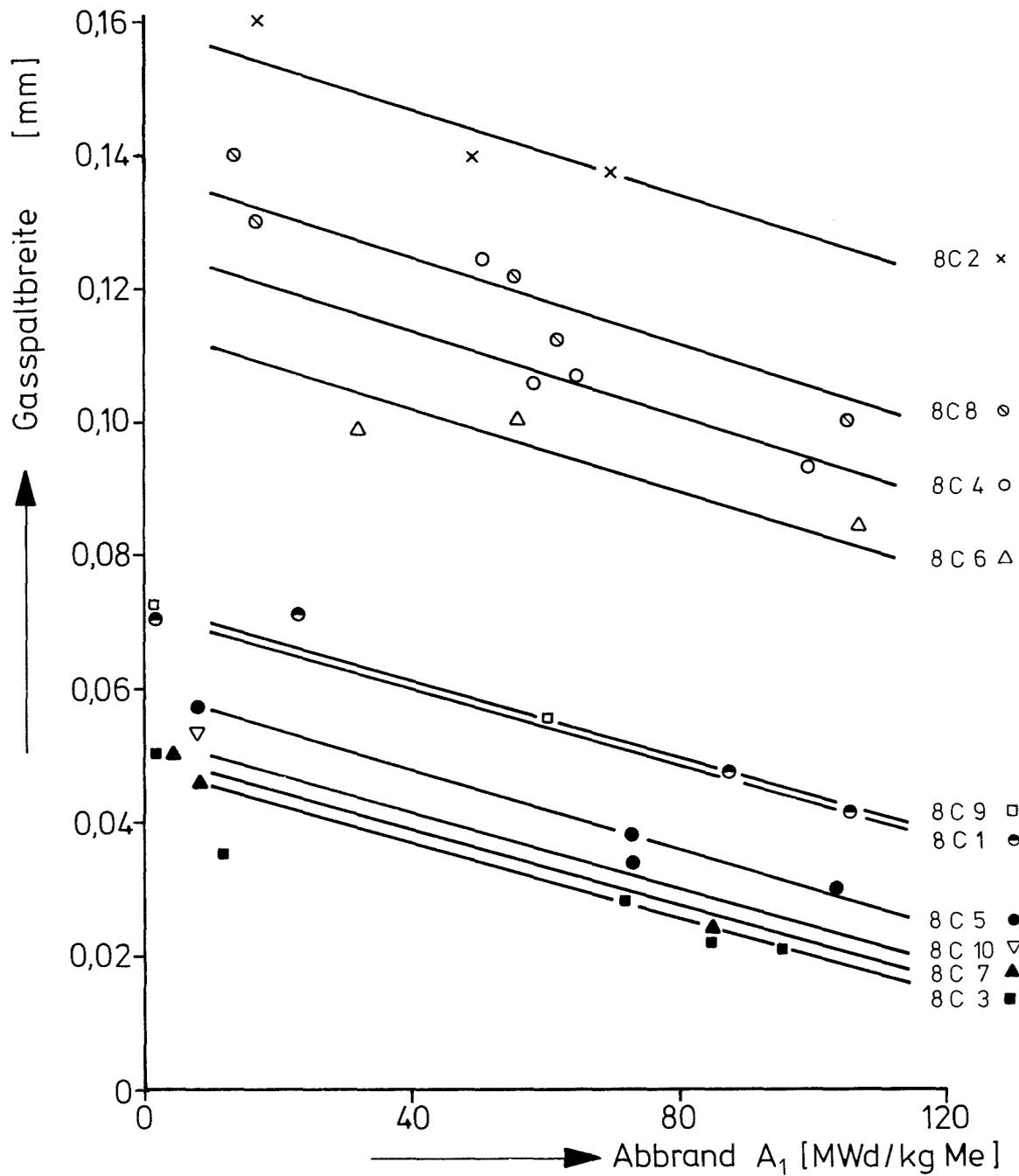
## 7.2 Ergebnisse während der Bestrahlung

### 7.2.1 Zusammenhang zwischen Temperatur und Stableistung

Für den praktischen Betrieb der 8C-Einsätze wurden als Betriebsbedingungen  $550 \text{ W/cm} \pm 10 \%$  und  $350 \text{ W/cm} \pm 10 \%$  für die Stableistung und  $680^\circ\text{C}$  und  $720^\circ\text{C}$  als Sollwert bzw. max. zulässiger Wert für die Hüllwandinnentemperatur spezifiziert.

Der Zusammenhang zwischen der an der Außenhülle des Brennstabes registrierten Temperatur und der linearen Stableistung wurde rechnerisch aus der Wärmedurchgangsgleichung bestimmt /10/. Das Rechenprogramm berücksichtigt die Temperaturabhängigkeit der Wärmeleit- und Wärmeübergangszahlen der einzelnen Komponenten, die durch thermische Dehnung hervorgerufenen Dimensionsänderungen und den Beitrag der Wärmestrahlung. In dem NaK-Behälter wird mit ungestörter, natürlicher Konvektion des Flüssigmetalls gerechnet. Für eine Reihe von Gasspalten zwischen dem NaK-Behälter und dem Cd-Sandwichrohr liefert das Programm den Zusammenhang zwischen gemessener Temperatur und Stableistung bei konstanter Primärwassertemperatur und  $\gamma$ -Wärme. Die  $\gamma$ -Wärme ist die in den Strukturmaterialien des Einsatzes erzeugte Wärme durch Absorption von Gammaquanten, die durch (n,  $\gamma$ )-Reaktionen im Core und Cadmiumschirm entstehen.

Die Dimensionen der Gasspalte in Abb. 14 sind auf Raumtemperatur bezogen. Die Kurvenschar der Diagramme wurde sowohl für Helium als auch für Neon als wärmeleitendes Gas im Gasspalt berechnet. Anhand dieser Kurvenschar und den gemessenen Fertigungsspalten wurden die Solltemperaturen für die ersten Inbetriebnahmen festgelegt.



Änderung des mittleren Gasspaltes  
Kalibrationswerte

Abb. 14

Aus Tabelle 34, Spalte 1 - 4 ist ersichtlich, welche Stableistungen und Hüllwandinnentemperaturen dabei erreicht werden konnten.

Zwei Ergebnisse während der Bestrahlung haben einen Einfluß auf den Betrieb der Einsätze ausgeübt:

Zuerst kam man durch theoretische Überlegungen und durch die ersten Ergebnisse von Nachuntersuchungen an früheren FAFNIR-Einsätzen zu der Annahme, daß die Konvektion des Flüssigmetalls im NaK-Behälter nicht ungestört stattfindet und demzufolge dieser Beitrag in der Wärmedurchgangsrechnung überschätzt wurde.

Eine erste Korrektur des Zusammenhangs zwischen gemessener Temperatur und Stableistung erfolgte /9/. Es wurde abgeschätzt, daß bei den gleichen Betriebssolltemperaturen 17 % weniger Leistung bei 550 W/cm-Stäben und 12 % weniger Leistung bei 350 W/cm-Stäben abgeführt wurde. Die Betriebsbedingungen wurden jedoch wegen der relativ unsicheren Annahmen noch nicht korrigiert.

Der Aufbau des Einsatzes erlaubte weiterhin, daß der Gasspalt während des Betriebes kalibriert werden konnte: Es wird bei konstanter, möglichst hoher Reaktorleistung d.h. Eingangstemperatur, im Gasspalt ein He-Ne-Gasaustausch vorgenommen und die entsprechenden Temperaturen beobachtet. Aus den Wärmedurchgangsrechnungen für Helium und Neon kann die Spaltbreite errechnet werden.

Dieser "warme" Gasspalt wurde während der Bestrahlung regelmäßig überprüft, wobei sich herausstellte, daß der Spalt im Laufe der Bestrahlung etwa linear abnahm. Abb. 14 gibt einen Überblick über den Spaltverlauf.

Eine Abnahme der Spaltbreite im Laufe der Bestrahlung bedeutet, daß bei gleichbleibender Betriebstemperatur eine größere Leistung abgeführt werden kann. Eine Überprüfung der zulässigen Betriebstemperatur erfolgte daher anhand der kalibrierten Gasspalte.

Anhand dieser Gasspalte (Spalte 5) wurden die neuen Solltemperaturen (Spalte 6) festgelegt. Die hierbei erreichbaren Hüllwandinnentemperaturen und Stableistungen (Spalte 7 und 8) wurden bestimmt ohne Berücksichtigung der zuerst geschätzten "NaK-Konvektions-Korrektur". In Spalte 9 ist die Stableistung eingetragen, die bei den Temperaturen aus Spalte 6 abgeführt werden könnten (unter Berücksichtigung der Korrektur der NaK-Konvektionen). Die in den Spalten 6, 7 und 9 zwischen Klammern angeführten Zahlen sind die Werte, die man bei Korrektur der NaK-Konvektion für die Gasspalte der Spalte 5 hätte einstellen müssen, um die gewünschte Sollstableistung (Einsatz 8C6) oder Hüllwandinnentemperatur (Einsätze 8C3, 8C4, 8C5, 8C7 und 8C10) zu erreichen. Von diesem Zeitpunkt an wurden die erreichbaren Stableistungen aufgrund der Solltemperaturen aus Spalte 6 unter Berücksichtigung des abnehmenden Gasspaltes fortlaufend überprüft (ohne Berücksichtigung der NaK-Konvektionskorrektur). Die Stableistungen erreichten im weiteren Verlauf der Bestrahlung gelegentlich Werte über die Sollstableistung, ohne daß die maximal zulässigen Stableistungen jedoch überschritten wurden. Das gilt auch für die Hüllwandinnentemperatur.

Die Bestrahlungsbedingungen hätten generell für einige Experimente erniedrigt werden müssen, wenn nicht die vorgenannten Out-pile-Versuche im weiteren Verlauf der Bestrahlung bestätigt hätten, daß der Beitrag der NaK-Konvektion bei der Wärmeabfuhr vernachlässigt werden kann.

Die Spalten 10, 11, 12 und 13 der Tabelle 34 enthalten schließlich die Bestrahlungsdaten, die bei Bestrahlungsende und bei der gleichen Solltemperatur ohne Konvektion erreicht werden konnten. Da nur die Einsätze 8C2 und 8C4 die gewünschten Solltemperaturen erreichten, wurden hier die Solltemperaturen für die letzten Zyklen herabgesetzt. Maximal zulässige Temperaturen und/oder Stableistungen wurden nur in seltenen Ausnahmefällen erreicht.

### 7.2.2 Abbrandberechnung und Korrekturen

Die Abbrandberechnung wurde durchgeführt aufgrund der gemessenen Temperaturen (siehe hierzu Punkt 7.1). In den Tabellen 24-33 sind die Abbrände als unkorrigierte Werte eingetragen. Als Abbrandziel wurde ein Abbrand von etwa 115 MWd/kgMe festgelegt. Nach der Bestrahlung stellte sich heraus, daß die Abbrandzunahme durch Spaltverminderung, die Abbrandabnahme durch Wegfall der NaK-Konvektion übertraf, so daß schließlich der Zielabbrand von 100 MWd/kgMe überschritten wurde.

In der Tabelle 35 werden Abbrandberechnungen und -korrekturen zusammengefaßt. Hierzu sind folgende Erläuterungen nötig:

- A1 ist der aus den Zyklusberichten berechnete unkorrigierte Abbrand an der Stelle des heißesten Thermoelements. Dieser Abbrand ist über die Bestrahlungszeit integriert. Der "Hot Spot" lag bei -30 mm bei den Einsätzen 8C1, 8C2, 8C3, 8C6, 8C7, 8C8 und 8C9, sonst bei -90 mm. Der Unterschied zwischen den Positionen -30 und -90 mm war immer sehr gering, was dem axialen epithermischen Flußprofil in Abb. 12 entspricht. Dieser Abbrand kann als maximaler Abbrand des Brennstabes im Hot Spot betrachtet werden.
- A2 ist der max. Abbrand des Brennstabes nach Korrektur mit dem sogenannten NaK-Konvektions-Korrekturfaktor.
- A3 ist der maximale Abbrand des Brennstabes nach Berücksichtigung der Korrektur der Gasspaltabnahme und "Konvektion"  
(Faktor  $F = \begin{pmatrix} 0,88 \\ 0,83 \end{pmatrix} + 0,00136 \cdot A1$ ).
- Dieser Wert ist der korrigierte, maximale Gesamtabbrand des Brennstabes im Hot Spot.
- A4 ist der Gesamtabbrand des Brennstabes, gemittelt über Zeit und Stablänge. Die Teilwerte dieses Abbrandes werden als rechnerische Mittelwerte aus den über die Stablänge integrierten Stableistungen bei Zyklusbeginn und Zyklusende berechnet.

Tabelle 35: Abbrandberechnung und -Korrektur

| Experiment | Max. Abbrand im Hot Spot gem. über die Zeit |  |  | Abbrand gem. über Zeit und Stablänge |  |  | Abbrände für die einzelnen Höhenkoten, berechnet aus A3 mit Hilfe des Flussprofils |                              |                             |                                  |                              |                              |                              |                             |
|------------|---|--|--|--------------------------------------|--|--|--|------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|-----------------------------|
|            | Ausgangswert Hot-spot                       | Korrektur NaK-Konvektion: A2=fA1<br>f <sub>1</sub> =0,83 für 550 W/cm<br>f <sub>2</sub> =0,88 für 350 W/cm | Korrektur der Spalt-abnahme + NaK-Konvektion A3=F.A1 | Ausgangswert                         | Wert, korrigiert entsprechend A3 A5=F.A4 | Wert, berechnet auf Grund d. Flussprofils A3.K=A6<br>K=0,856 | Höhe -297 mm<br>TE10; k <sub>10</sub> =0,62<br>A7=A3.k10                           | Höhe -230 mm<br>TE9 k9=0,795 | Höhe -160 mm<br>TE8 k8=0,94 | Höhe - 90 mm<br>TE7, 11 k7=0,995 | Höhe - 30 mm<br>TE6 k6=0,995 | Höhe + 40 mm<br>TE5 k5=0,972 | Höhe +110 mm<br>TE4 k4=0,895 | Höhe +180 mm<br>TE3 k3=0,77 |
|            | A1  | A2   | A3   | A4                                   | A5                                       | A6   | A7   | A8                           | A9<br>(A'9)                 | A10<br>(A'10)                    | A11<br>(A'11)                | A12                          | A13                          | A14                         |
| 8C1        | 107,024                                     | 88,83  | 104,41   | 79,371                               | 77,43                                    | 89,37  | 64,73  | 83,06                        | 98,14<br>(85)               | 103,89<br>(96,16)                | 103,89<br>(104,41)           | 101,49                       | 93,45                        | 80,4                        |
| 8C2        | 112,971                                     | 99,41  | 116,77   | 87,391                               | 90,01                                    | 99,95  | 72,4   | 92,83                        | 109,76<br>(100,96)          | 116,19<br>(110,1)                | 116,18<br>(116,77)           | 113,5                        | 104,51                       | 89,91                       |
| 8C3        | 114,006                                     | 94,62  | 112,30   | 90,071                               | 88,72                                    | 96,13  | 69,63  | 89,28                        | 105,56<br>(98,64)           | 111,74<br>(109,81)               | 111,74<br>(112,3)            | 109,16                       | 100,51                       | 86,47                       |
| 8C4        | 113,756                                     | 100,1  | 117,70   | 94,115                               | 97,38                                    | 100,75   | 72,97  | 93,57                        | 110,64<br>(111,8)           | 117,11<br>(117,70)               | 117,11<br>(116,38)           | 114,40                       | 105,34                       | 90,63                       |
| 8C5        | 116,225                                     | 96,467   | 114,84   | 96,373                               | 95,22                                    | 98,30  | 71,2   | 91,3                         | 107,95<br>(108,89)          | 114,27<br>(114,84)               | 114,27<br>(113,08)           | 111,62                       | 102,78                       | 88,43                       |
| 8C6        | 115,095                                     | 101,28   | 119,3  | 92,209                               | 95,58                                    | 102,12   | 73,97  | 94,84                        | 112,14<br>(110,61)          | 118,70<br>(117,46)               | 118,70<br>(119,3)            | 115,96                       | 106,77                       | 91,86                       |
| 8C7        | 117,824                                     | 97,79  | 116,67   | 97,826                               | 96,87                                    | 99,87  | 72,34  | 92,76                        | 109,67<br>(111,33)          | 116,09<br>(116,5)                | 116,1<br>(116,67)            | 113,41                       | 104,42                       | 89,84                       |
| 8C8        | 113,927                                     | 100,25   | 117,91   | 82,776                               | 85,67                                    | 100,93   | 73,1   | 93,74                        | 110,83<br>(95,4)            | 117,32<br>(109,63)               | 117,32<br>(117,91)           | 114,6                        | 105,53                       | 90,79                       |
| 8C9        | 92,761                                      | 76,99  | 88,69  | 73,983                               | 70,74                                    | 75,92  | 54,99  | 70,51                        | 83,37<br>(76,97)            | 88,25<br>(86,07)                 | 88,25<br>(88,69)             | 86,21                        | 79,38                        | 68,29                       |
| 8C10       | 116,298                                     | 96,53  | 114,92   | 93,788                               | 92,68                                    | 98,37  | 71,25  | 91,36                        | 114,36<br>(114,25)          | 114,36<br>(114,92)               | 114,35<br>(113,31)           | 111,7                        | 102,85                       | 88,49                       |

Der Verlauf der Stableistung über die Zykluszeit wird hierbei nicht berücksichtigt. Im allgemeinen wurden während des Reaktorzyklus höhere Stableistungen erreicht als bei Zyklusbeginn und gegen Zyklusende.

- A5 ist der korrigierte Abbrand, gemittelt über Stab und Zeit. Der Korrekturfaktor ist derselbe, wie der für A3.
- A6 ist der Abbrand über Zeit und Stab, diesmal berechnet über das Flußprofil.

Ausgangswert ist der über die gesamte Bestrahlungzeit integrierte Abbrand im Hot Spot, A3. In den Abbildungen 12 u. 13 ist dargestellt, wie aus dem Profil des epithermischen Flusses (gemessenes Profil) für die betreffende Stablänge der mittlere Koeffizient  $K = 0,856$  bestimmt wird. Den hiermit aus A3 berechneten mittleren Abbrand A6 betrachten wir als eine genauere Angabe als A5. Er liegt im Mittel 8% höher als A5.

- A7 bis A14 sind Abbrände für die einzelnen Höhenkoten über die Zeit integriert und berechnet aus A3. Die Koeffizienten  $k_n$  resultieren aus dem axialen Flußprofil des epithermischen Flusses. In den Positionen -30, -90 und -160 mm wurden die über die Zeit integrierten Werte aus den Zyklusberichten, korrigiert mit dem Faktor F, als Vergleich eingetragen. Es sind dies die Abbrände A9', A10' bzw. A11'.

Aus dem Vergleich (siehe S. 68) zwischen A9, A10, A11 und A9', A10', A11' fällt zuerst die meist gute Übereinstimmung auf. Hieraus kann man folgern, daß auch der Vergleich zwischen A5 und A6 zulässig ist.

Treten größere Unterschiede auf zwischen A9 und A9' bzw. zwischen A10 und A10' dann liegen die aus A3 über das Flußprofil berechneten Werte über den Zykluswerten.

|     | Höhe | TE    | A9     | A9'    | A10    | A10'   | $\frac{A}{A'}$ | Bemerkung              |
|-----|------|-------|--------|--------|--------|--------|----------------|------------------------|
| 8C1 | -160 | 8     | 98,14  | 85,00  | 103,89 | 96,16  | 1,15           | TE8 defekt             |
|     | - 90 | 7, 11 |        |        | 103,89 | 96,16  | 1,08           | Spaltunter-<br>schiede |
| 8C2 | -160 | 8     | 109,76 | 100,96 |        |        | 1,08           | TE in Ordnung          |
|     | - 90 | 7, 11 |        |        | 116,19 | 110,10 | 1,05           | TE in Ordnung          |
| 8C3 | -160 | 8     | 105,56 | 98,64  |        |        |                | TE in Ordnung          |
| 8C8 | -160 | 8     | 110,83 | 95,40  |        |        | 1,16           | TE8 defekt             |
|     | - 90 | 7, 11 |        |        | 117,32 | 109,63 | 1,07           | TE7, 11 defekt         |
| 8C9 | -160 | 8     | 83,37  | 76,97  |        |        | 1,08           | TE8 defekt             |

#### Vergleich der Abbrände

Die größten Unterschiede bei 8C1 und 8C8 auf Höhe -160 mm können durch frühzeitigen Ausfall der Thermoelemente teilweise erklärt werden. Darum mußten die Temperaturen für diese Höhenkoten aus dem Temperaturverlauf extrapoliert werden. Größere örtliche Gasspaltunterschiede im Vergleich zu dem benutzten mittleren Gasspalt täuschen bei 8C2 und 8C3 abweichende Zyklusabbrände bei -90 und -160 mm vor.

Das benutzte axiale Profil des epithermischen Flusses wurde mittels Flußsonden in typischen FAFNIR-Bestrahlungspositionen gemessen.

Die Möglichkeit, den Abbrand direkt aus dem Neutronenflußspektrum oder aus den Spaltraten für die einzelnen Spaltstoffisotopen zu bestimmen, wird für den BR2 nicht praktiziert.

Eine Ungenauigkeit liegt in der Formel zur Berechnung des Abbrandes. Hierbei wird eine mittlere Stableistung über die Zykluszeit multipliziert mit einer Zykluszeit bei der die Reaktorleistung 80 % oder mehr der nominellen Reaktorleistung beträgt.

Abbrände, die bei Reaktorleistungen unter 80 % der Nominalleistung erzielt wurden, werden hierbei also nicht berücksichtigt. Eine Abschätzung der Betriebszeiten bei verminderter Reaktorleistung im Vergleich zu den Vollastbetriebszeiten ergibt, daß zu den erreichten Abbränden etwa 1 % hinzugefügt werden sollte. Diese Korrektur wurde wegen ihrer Geringfügigkeit in Tabelle 35 nicht durchgeführt.

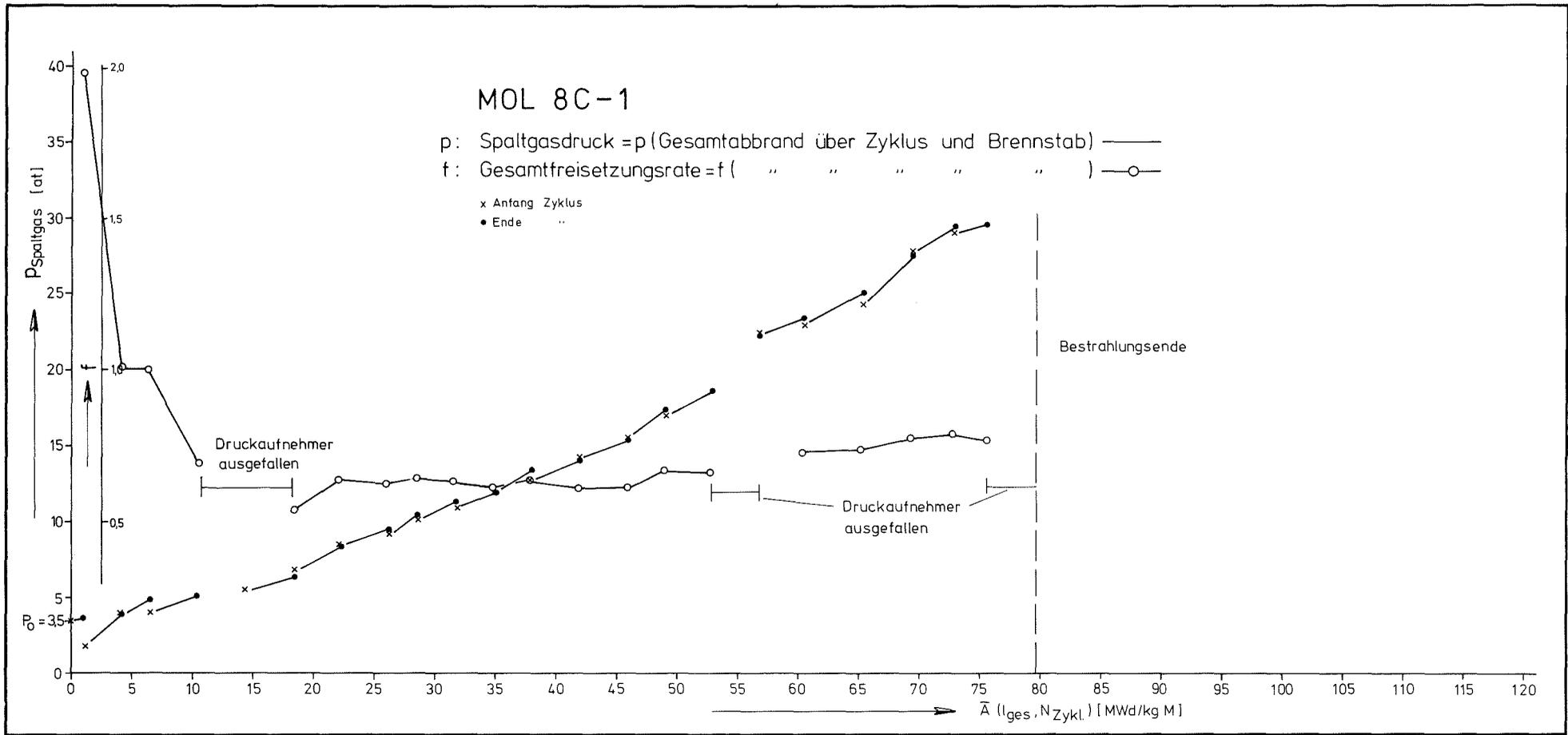
### 7.2.3 Spaltgasdruckaufbau

Wie schon zuvor erwähnt, war jeder Brennstab der Mol 8C-Reihe über ein Kapillarrohr mit einem Druckumformer im Aufhängerohr verbunden. Die Einbaulage des Druckumformers wurde so gewählt, daß auf der einen Seite der Druckumformer einer möglichst geringen Neutronenbelastung ausgesetzt war, und auf der anderen Seite die bis zum Druckumformer hochsteigenden Spaltgase eine noch annehmbare Aktivität auf der Höhe des Einsatzkopfes verursachen können. Es konnte weder eine Neutronenschädigung des Druckumformers noch eine erhöhte Aktivität des Einsatzoberteils während der Bestrahlung festgestellt werden. Eine Nachuntersuchung der bei Mol 8B benutzten Druckumformer des gleichen Fabrikats ergab, daß auch die Kennlinien der Druckumformer durch die Bestrahlung nicht beeinflusst wurden. Die Druckumformer wurden vor und nach der Bestrahlung geeicht. Das Brennstabgasplenum mit dem Druckumformerfreivolumen wurde auf Dichtheit getestet und mit Helium geflutet. Das gesamte Freivolumen für die Spaltgase wurde hierbei ebenfalls bestimmt.

Beim Abtrennen und anschließendem Verschweißen dieses Stützens entwich eine unbestimmte Heliummenge, so daß bei Bestrahlungsbeginn unterschiedliche Brennstabinnendrucke vorlagen (siehe Abb. 15 - 24).

Die Druckumformer der Einsätze 8C1, 8C2, 8C4, 8C6 und 8C8 messen den Druckunterschied zwischen Brennstabinnern und Einsatzunterteil (relative Druckumformer), die anderen sind Absolut-Druckumformer, d.h. sie sind unabhängig von Druckschwankungen im Einsatzunterteil.

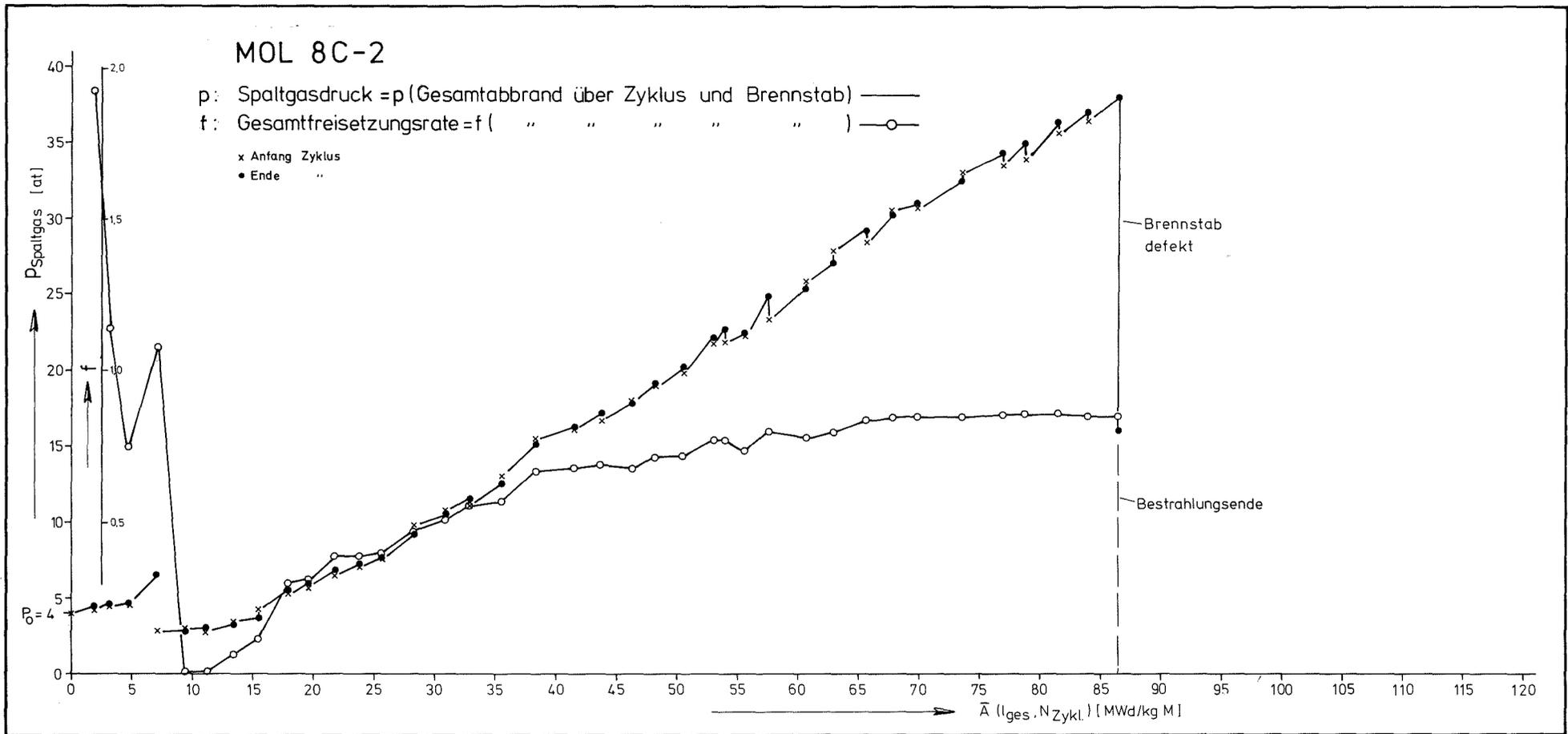
In den beigefügten Abbildungen 15 - 24 sind über den mittleren Abbrand über Zeit und Stablänge der Spaltgasdruckaufbau, die Zyklusfreisetzungsraten und die Gesamtfreisetzungsraten aufgetragen. In Abb. 25 sind die Spaltgasdruckverläufe und die Freisetzungsraten aller 10 Stäbe nochmals zusammengefaßt. Eine grobe Betrachtung dieser Abbildungen führt zu folgenden Aussagen:



GfK Karlsruhe  
IMF/III

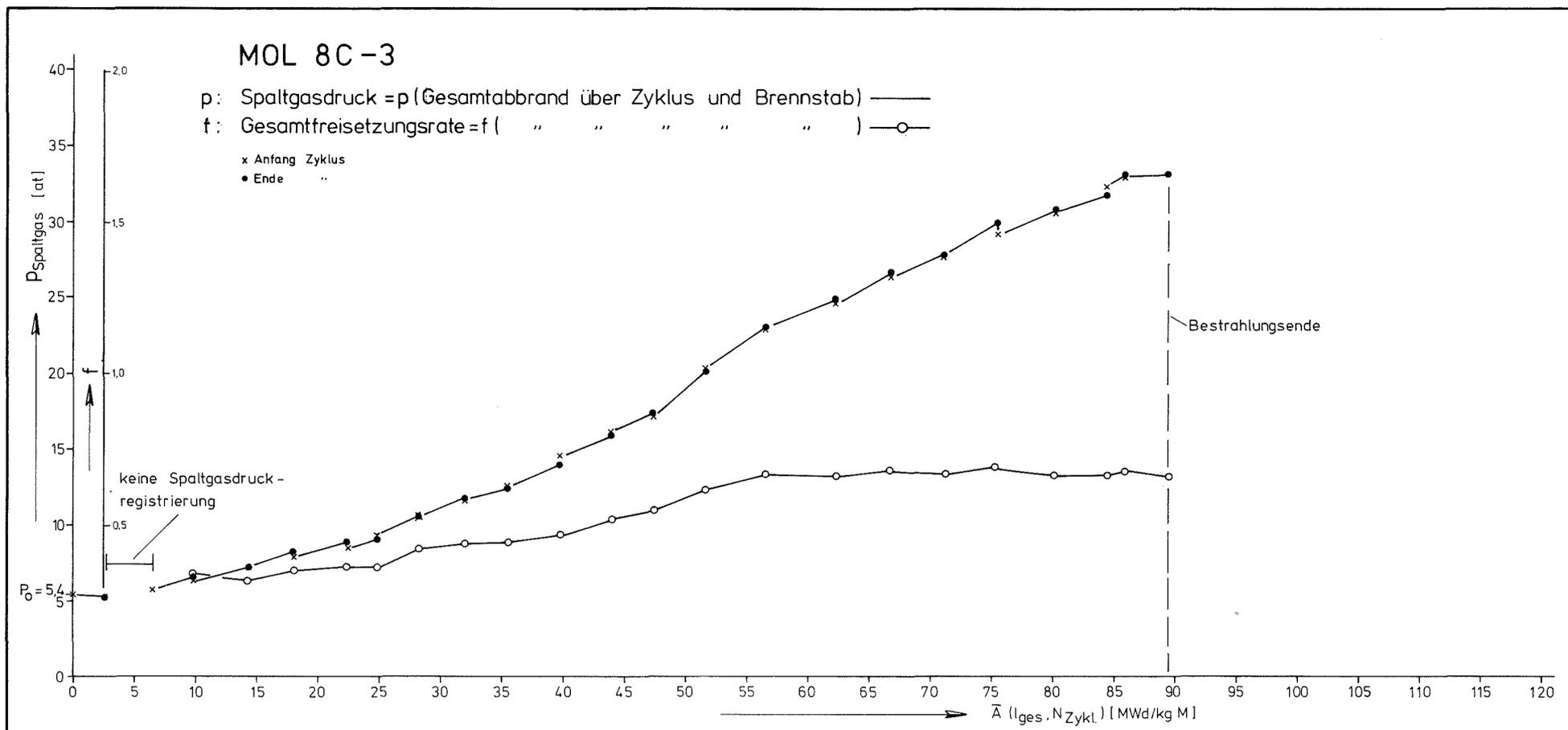
MOL 8C: Spaltgasdruckaufbau und -freisetzungsrate als Funktion des Abbrandes

Abb. 15



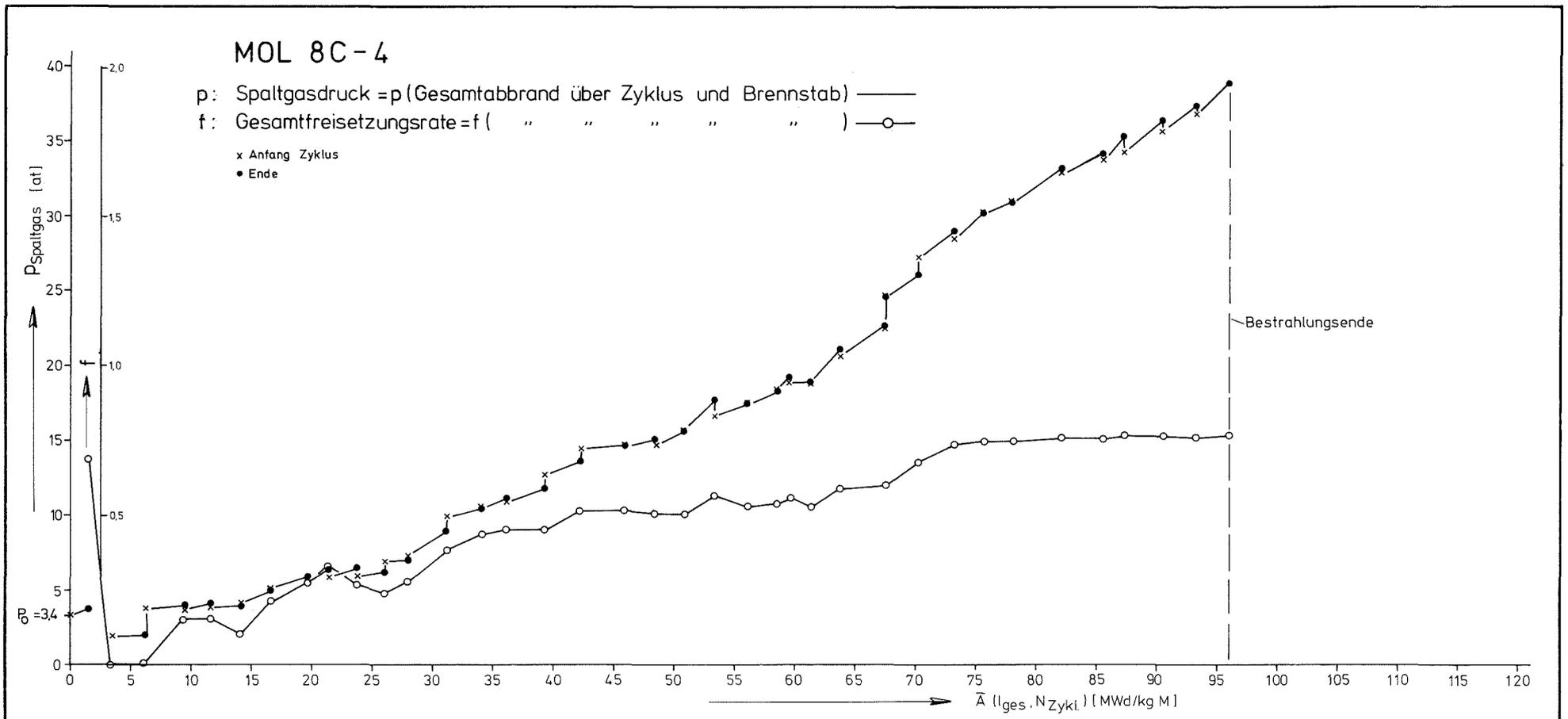
- 71 -

|               |  |         |
|---------------|--|---------|
| GfK Karlsruhe | MOL 8C: Spaltgasdruckaufbau und -freisetzungsrate als Funktion des Abbrandes | Abb. 16 |
| IMF/III       |  |         |



-72-

|               |  |         |
|---------------|--|---------|
| GfK Karlsruhe | MOL 8C: Spaltgasdruckaufbau und -freisetzungsrate als Funktion des Abbrandes | Abb. 17 |
| IMF/III       |  |         |

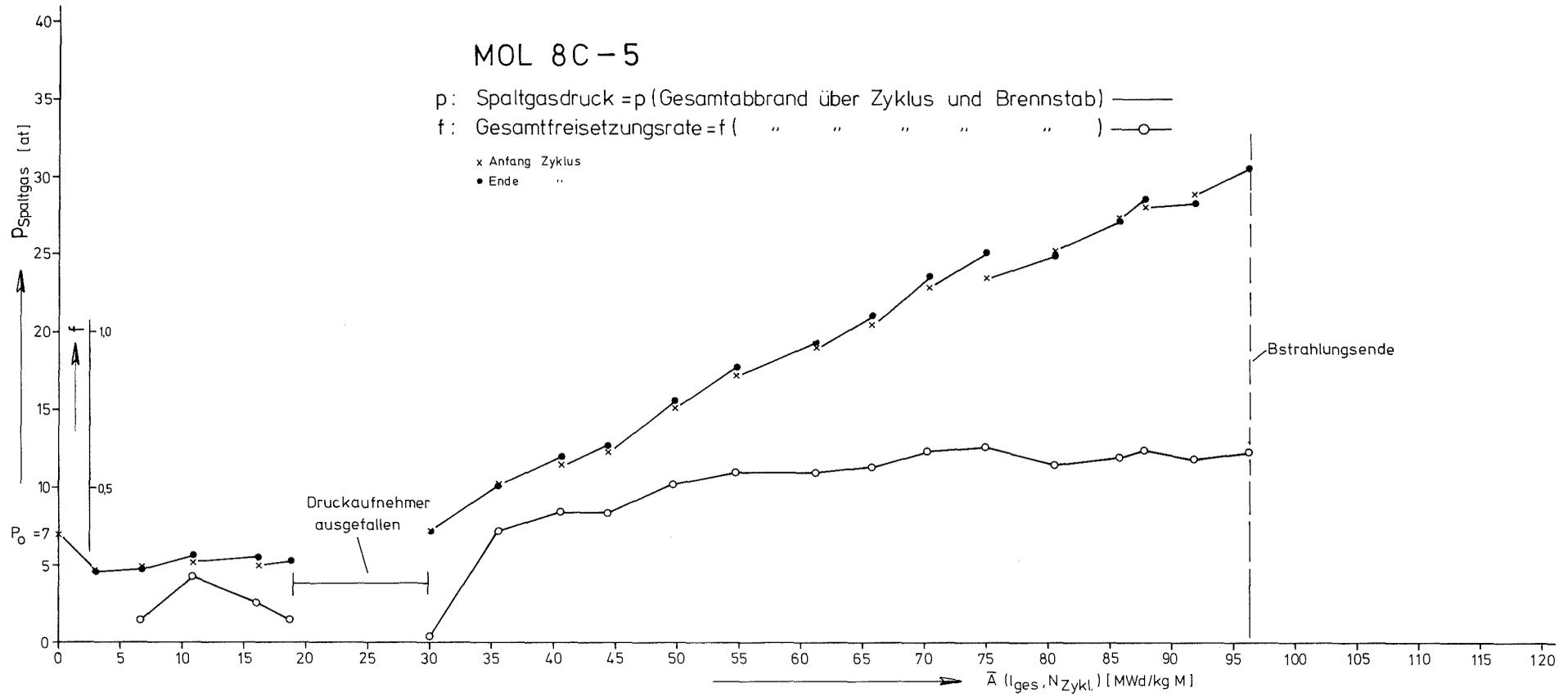


- 73 -

GfK Karlsruhe  
IMF/III

MOL 8C: Spaltgasdruckaufbau und -freisetzungsrate als Funktion des Abbrandes

Abb. 18

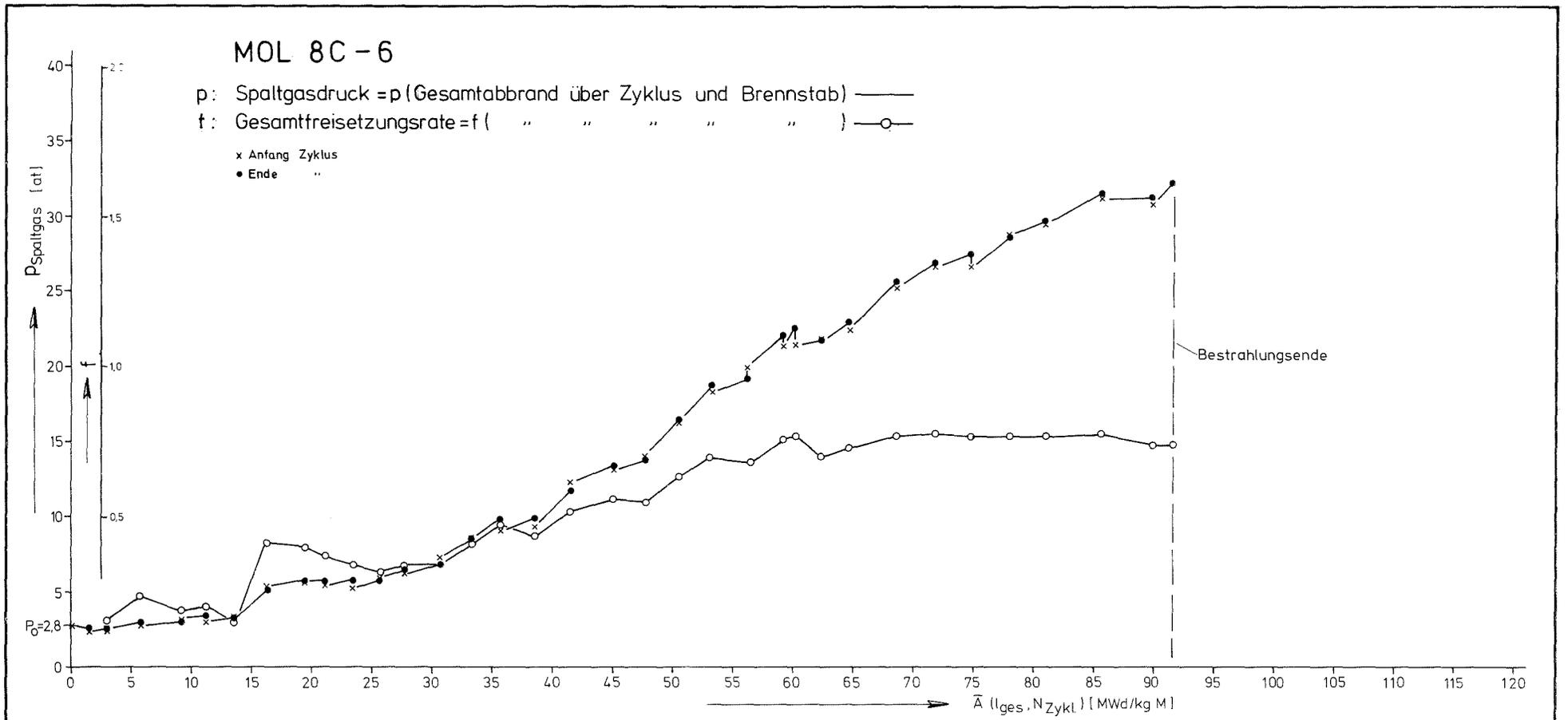


GfK Karlsruhe

IMF/III

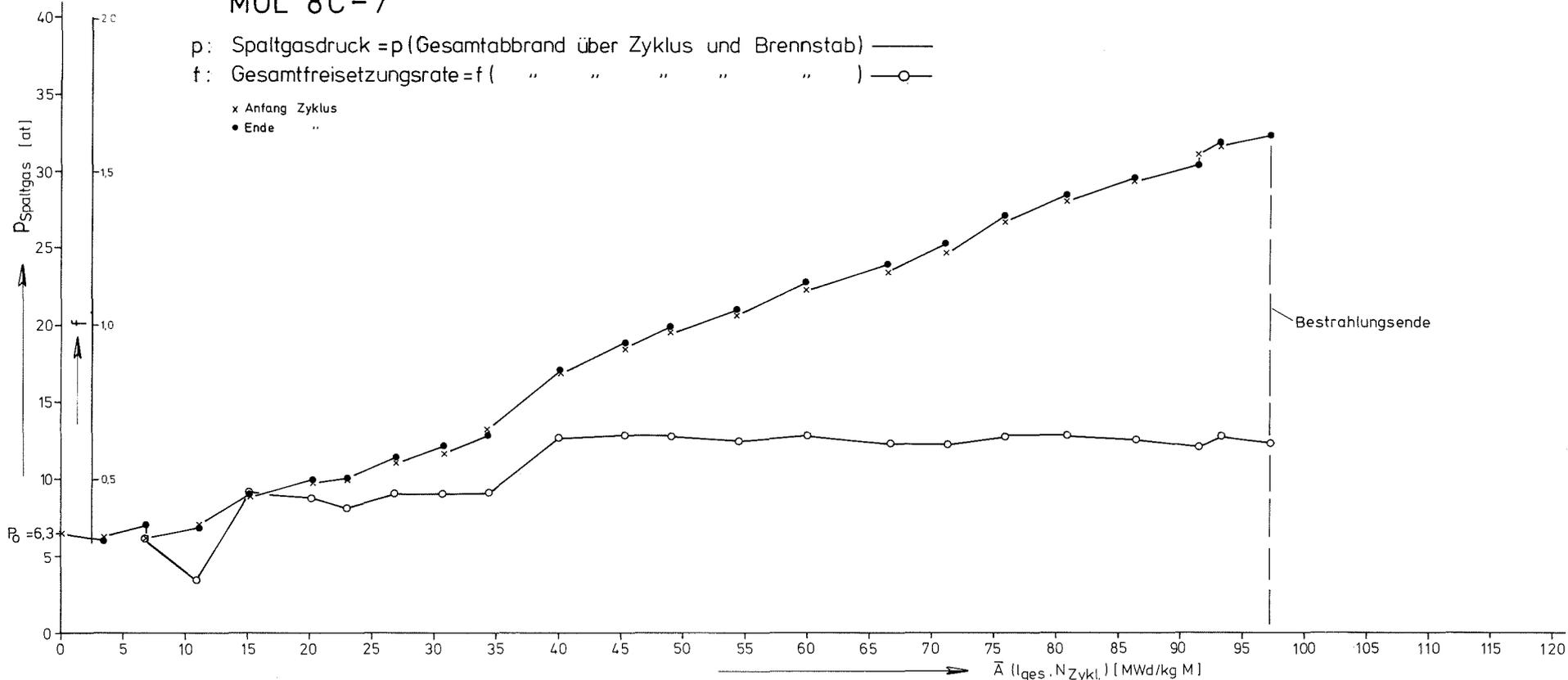
MOL 8C: Spaltgasdruckaufbau und -freisetzungsrate als Funktion des Abbrandes

Abb. 19



|               |  |         |
|---------------|--|---------|
| GfK Karlsruhe | MOL 8C: Spaltgasdruckaufbau und -freisetzungsrate als Funktion des Abbrandes | Abb. 20 |
| IMF/III       |  |         |

# MOL 8C-7

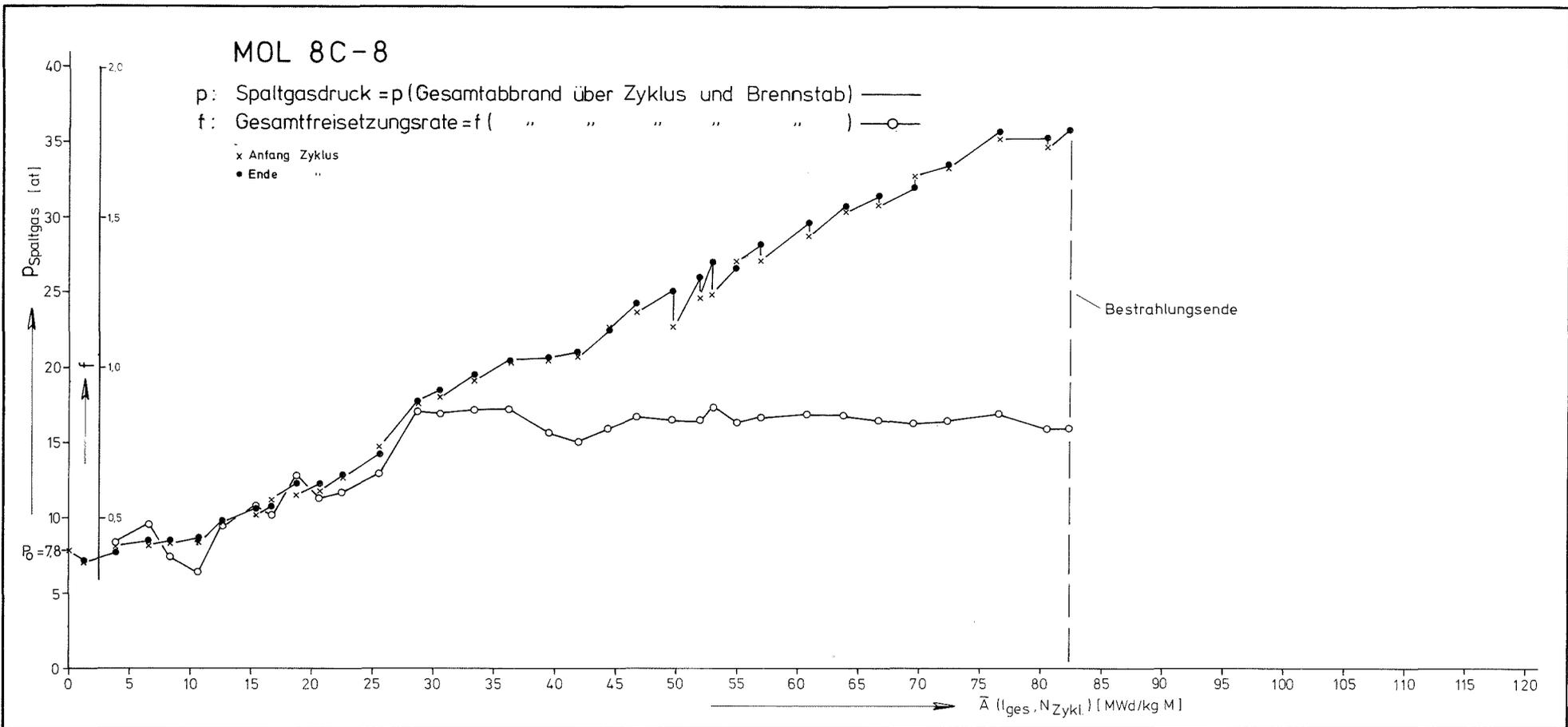


GfK Karlsruhe

IMF/III

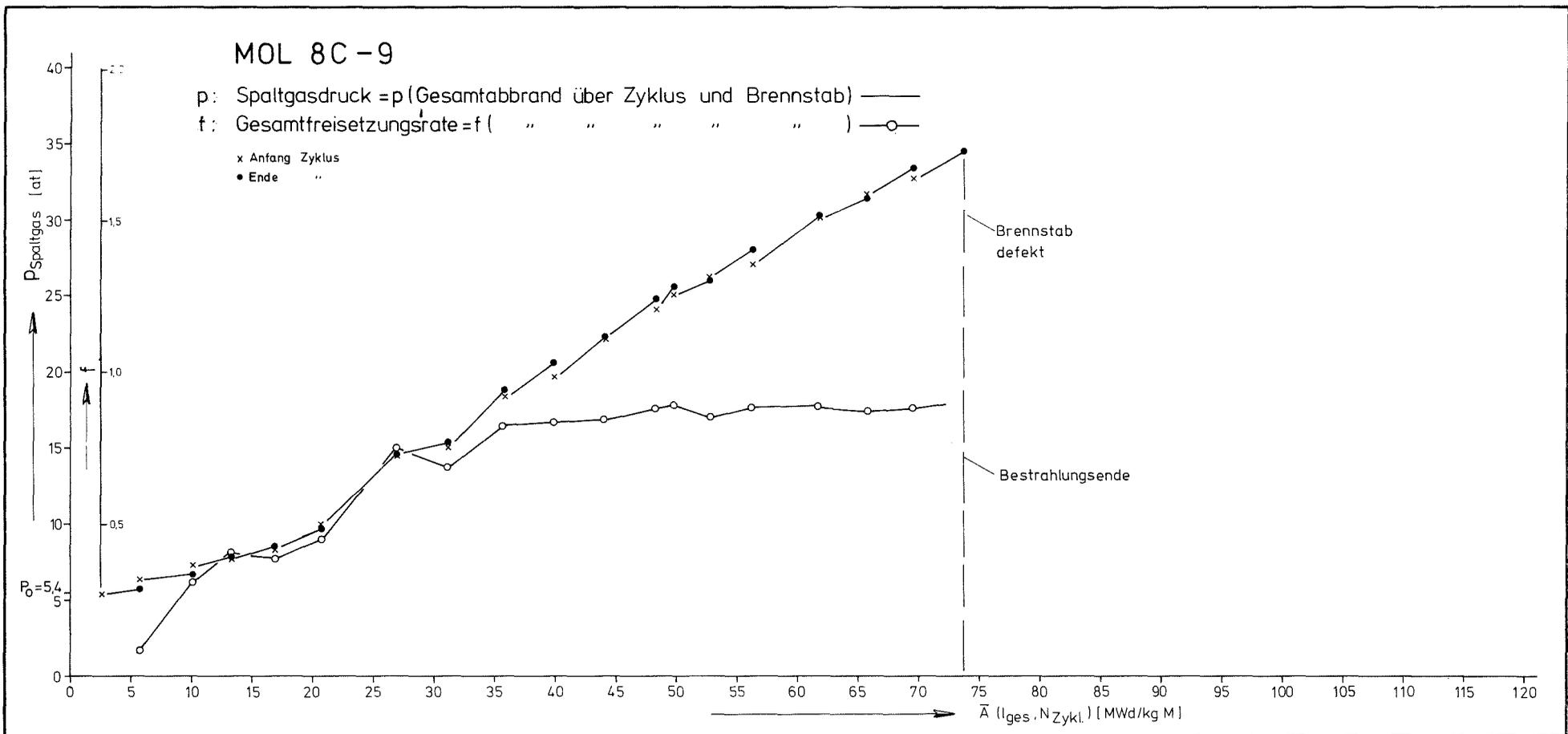
MOL 8C: Spaltgasdruckaufbau und -freisetzungsrates als Funktion des Abbrandes

Abb. 21



-77-

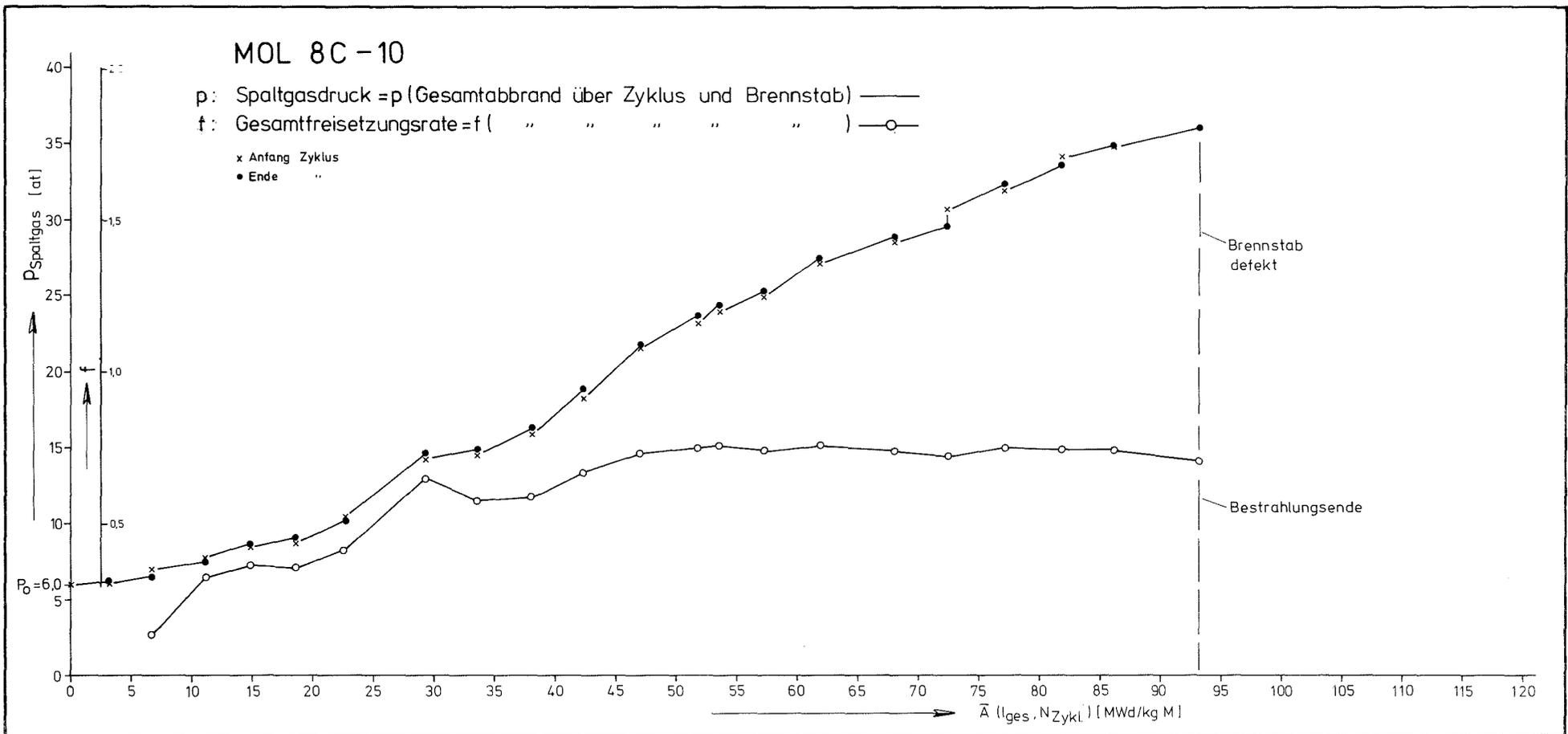
|               |  |         |
|---------------|--|---------|
| GfK Karlsruhe | MOL 8C: Spaltgasdruckaufbau und -freisetzungsrate als Funktion des Abbrandes | Abb. 22 |
| IMF/III       |  |         |



GfK Karlsruhe  
IMF/III

MOL 8C: Spaltgasdruckaufbau und -freisetzungsrate als Funktion des Abbrandes

Abb. 23

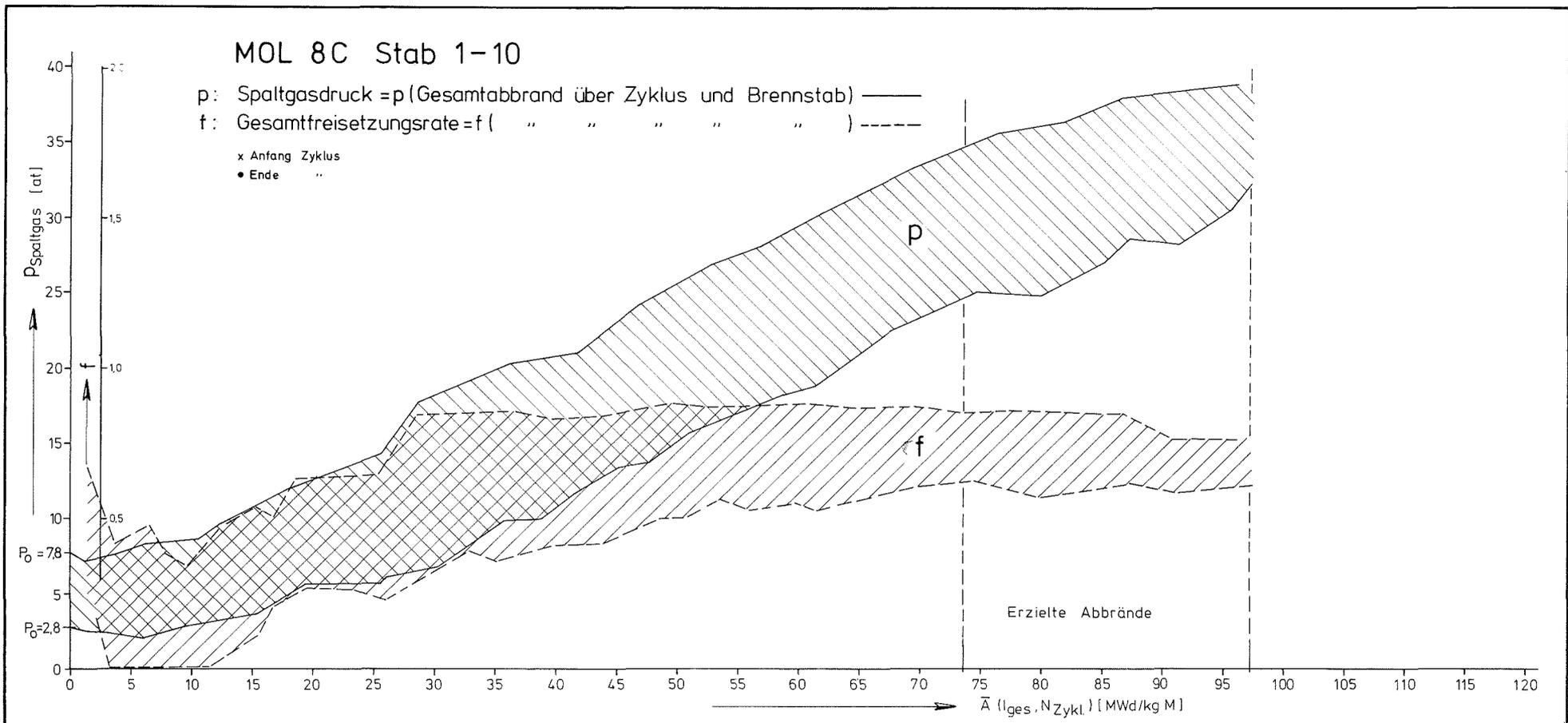


GfK Karlsruhe

IMF/III

MOL 8C: Spaltgasdruckaufbau und -freisetzungsrate als Funktion des Abbrandes

Abb. 24



GfK Karlsruhe  
IMF/III

MOL 8C: Spaltgasdruckaufbau und -freisetzungsrate als Funktion des Abbrandes

Abb. 25

- Ein stetiger Spaltgasdruckaufbau findet ab etwa 10 MWd/kgMe statt. Bei niedrigeren Abbränden bleibt der Druck in dem Brennstab etwa konstant. Die Druckschwankungen im chronologischen Verlauf des Brennstabinnendruckes, speziell zwischen den Drücken bei Zyklusende und bei Zyklusbeginn des darauffolgenden Reaktorzyklus, sind hauptsächlich auf die zum Zeitpunkt der Druckmessung herrschenden unterschiedlichen Temperaturen zurückzuführen. Eine durchgeführte Temperaturkorrektur anhand einer mittleren Temperatur für das gesamte Gasplenum führte nicht zu einer Verbesserung in der Kontinuität der Druckauftragung.
- Die Messung des Spaltgasdruckes (Abb.15-24) in dem wichtigen Bereich ersten Abbrandprozentos ist durch den wechselhaften Reaktorbetrieb zu sehr beeinflusst, um genaue Aussagen machen zu können. In einigen Fällen ist zuerst ein deutlicher Druckabfall zu sehen, jedoch kann man nicht berechnen, wie groß der Temperatureffekt hierbei war, da die Temperaturschwankungen in dem Meßvolumen nicht bekannt sind. Zur Messung des Druckverlaufes in diesem Bereich ist eine temperaturunabhängige Absolutmessung notwendig.
- Die gemessenen Enddrücke sind die Drücke des insgesamt zur Verfügung stehenden Freivolumens in Brennstab, Kapillaren und Druckumformer. Korrigiert auf das Freivolumen des Brennstabes allein ergeben sich für diese Brennstäbe die in Tabelle 36 aufgeführten Spaltgasdrücke  $P_{SK}$ .
- Die verwendeten Volumina betragen:  
Gasvolumen  $V_{Plenum} = 8,9 \text{ cm}^3$   
Spaltgasvolumen im Brennstab  
 $V_S = 6,8 \text{ cm}^3$  (für die Brennstäbe 8C3, 8C4, 8C7 und 8C8)  
 $V_S = 5,9 \text{ cm}^3$  (für die Brennstäbe 8C1, 8C2, 8C5, 8C6, 8C9 u. 8C10).

Tabelle 36 Verhältnis zwischen Spaltgasdruck und Abbrand bei Bestrahlungsende

| Einsatz  | Abbrände |        | Druck bei Bestrahlungsende und Betriebstemp. bzw. Raumtemp. |                     | Druck, korrigiert auf Spaltgasvolumen<br>$P_{SK}$ bar | $\frac{P_{SK}}{A5}$ | $\frac{P_{SK}}{A6}$ |
|--|----------|--------|---|---------------------|---|---------------------|---------------------|
|  | A5       | A6     | $P_S$ bar   | $P_{SE}$ bar        |   |                     |                     |
| 8C1  | 77,40    | 89,40  | 32,0 <sup>+) </sup>   | 26,0 <sup>+) </sup> | 48,3  | 0,620               | 0,540               |
| 8C2  | 90,00    | 100,00 | 38,2  | 31,0                | 57,6  | 0,640               | 0,576               |
| 8C3  | 88,70    | 96,10  | 33,1  | 27,4                | 43,3  | 0,490               | 0,450               |
| 8C4  | 99,75    | 103,81 | 36,8  | 33,1                | 48,2  | 0,480               | 0,460               |
| 8C5  | 95,20    | 98,30  | 30,7  | 26,0                | 46,3  | 0,486               | 0,470               |
| 8C6  | 95,60    | 102,10 | 32,4  | 25,4                | 48,9  | 0,510               | 0,480               |
| 8C7  | 96,90    | 99,90  | 32,2  | 27,2                | 42,1  | 0,430               | 0,420               |
| <b>8C8</b>   | 85,70    | 100,90 | 36,0  | 29,0                | 47,1  | 0,550               | 0,470               |
| 8C9  | 70,70    | 75,90  | 34,4  | 23,4                | 51,9  | 0,730               | 0,680               |
| 8C10   | 92,70    | 98,40  | 36,2  | 26,4                | 54,6  | 0,590               | 0,550               |
| <sup>+) </sup> Geschätzter Wert, da Druckumformer im letzten Bestrahlungszyklus defekt |          |        |   |                     | Mittelwert  | 0,550               | 0,510               |

Tabelle 36 ist zu entnehmen, daß die Spaltgasdruckzunahme etwa 0,5 bar pro MWd/kgMe Abbrand beträgt.

- Für Abbrände kleiner als 1 % können infolge stärkerer Druckschwankungen keine zuverlässigen Aussagen bezüglich der Gesamtfreisetzungsrates gewonnen werden.
- Darauf folgt eine Periode, in der der Spaltgasdruck mehr ansteigt als der Abbrand, so daß die Freisetzungsrates deutlich zunimmt. Schließlich erreicht jeder Brennstab einen Zustand, bei dem Spaltgasdruck- und Abbrandzunahme proportional sind. Die Freisetzungsrates bleibt konstant. Diese Gesamtfreisetzungsrates bei Zyklusende liegt für alle Brennstäbe im Mittel bei 0,75. Sie wird in den meisten Fällen bei 50 MWd/kgMe Abbrand schon erreicht.
- Die Zyklusfreisetzungsrates, d.h. das Verhältnis zwischen Druck- und Abbrandzunahme pro Zyklus ist eine Momentaufnahme, die durch den unregelmäßigen Druckverlauf zu stark beeinflußt wird und für die Gesamtbeurteilung des Spaltgasdruckaufbaus nicht verwendet werden sollte.

#### 7.2.4 Brennstabschäden

Bei normalem Verlauf der Bestrahlung wurden die Einsätze bei einem berechneten unkorrigierten maximalen Abbrand von etwa 115 MWd/kgMe ausgebaut. Als Betriebsanweisung für einen frühzeitigen Abbruch der Bestrahlung galt, daß der Reaktor sofort abgeschaltet und der Einsatz ausgebaut werden mußte, wenn gleichzeitig Temperaturschwankungen und Spaltgasdruckabfall auftraten, d.h. wenn die Dichtigkeit des Brennstabes nicht mehr gewährleistet ist.

Diese Phänomene traten auf bei den Einsätzen 8C1, 8C2, 8C9 und 8C10. In chronologischer Reihenfolge sah die Registrierung der Brennstabdefekte so aus, daß anfänglich leichte Temperaturunregelmäßigkeiten an einem oder mehreren Thermoelementen nicht sofort mit einem Spaltgasdruckabfall in Beziehung gebracht werden konnten.

Erst eine längere Beobachtung der Spaltgasdruckregistrierung ließ in solchen Fällen auf einen tatsächlichen Druckabfall schließen. In diesen vier Fällen wurde der Reaktor abgeschaltet und der Einsatz entladen. Im Falle von 8C9 erfolgte die Abschaltung durch eine Fehlinterpretation der Spaltgasdruckaufzeichnung etwa sieben Stunden zu spät.

Neutrografische Aufnahmen der Brennstäbe nach Bestrahlung zeigten bei den vier defekten Stäben größere Defektstellen unterhalb der Abstandshalter bei etwa -90 mm und vor allem bei + 180 mm, bezogen auf Reaktor-0-Ebene (Abb. 26 und 27).

Dies führte zu der Annahme, daß beim Auftreten von feinen Rissen in der Brennstabhülle die sich im Brennstab befindenden Füllgase und gasförmigen Spaltprodukte über die Risse entwichen und in dem umgebenden NaK hochstiegen bis zu den Abstandshaltern. Bei den Abstandshaltern kam es zur Stauung der Gase, so daß hier eine örtliche Wärmebarriere gebildet wurde, die zu einem Durchbrennen der Brennstabhülle führte.

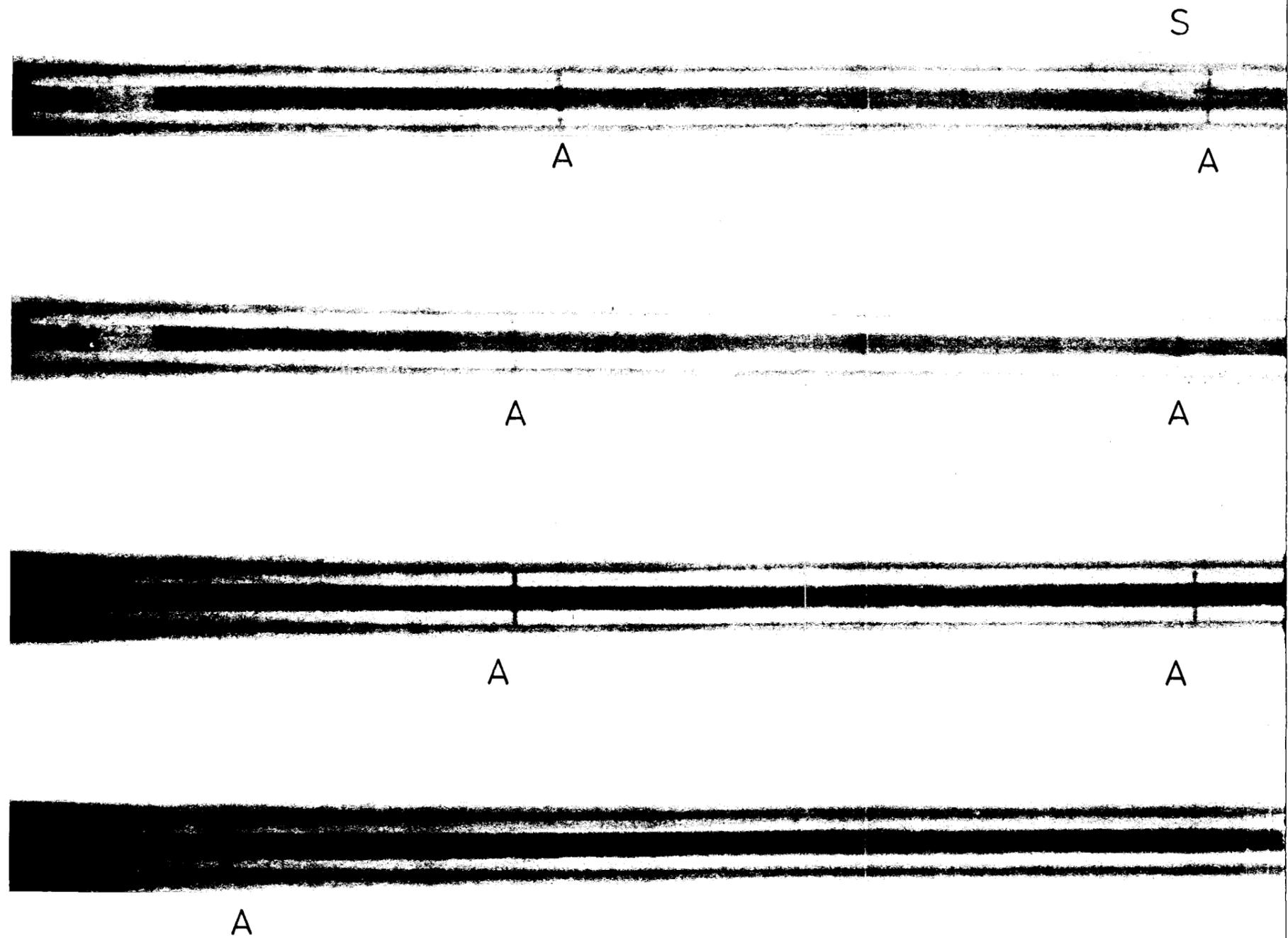
Zusätzlich zu dieser Erscheinung zeigten die Stäbe 8C9 und 8C10 in der Heißen Zone oberhalb des mittleren Abstandshalters, d.h. bei etwa -50 mm bezogen auf Reaktor-0-Ebene, eine deutliche Berst-  
erscheinung /11/.

## 8. Zerstörungsfreie Nachuntersuchung

### 8.1 Profilometrie

An allen 10 Prüflingen wurde vor und nach der Bestrahlung eine Vermessung der äußeren Dimensionen vorgenommen. Die Durchmesser wurden mittels Wendelschrieben bzw. Mantellinienschrieben bestimmt. Die Durchmesserbestimmung wurde auf einer Meßbank mit Hilfe eines induktiven Wegaufnehmers als Meßtaster durchgeführt, wobei die Meßwerte kontinuierlich aufgezeichnet wurden.

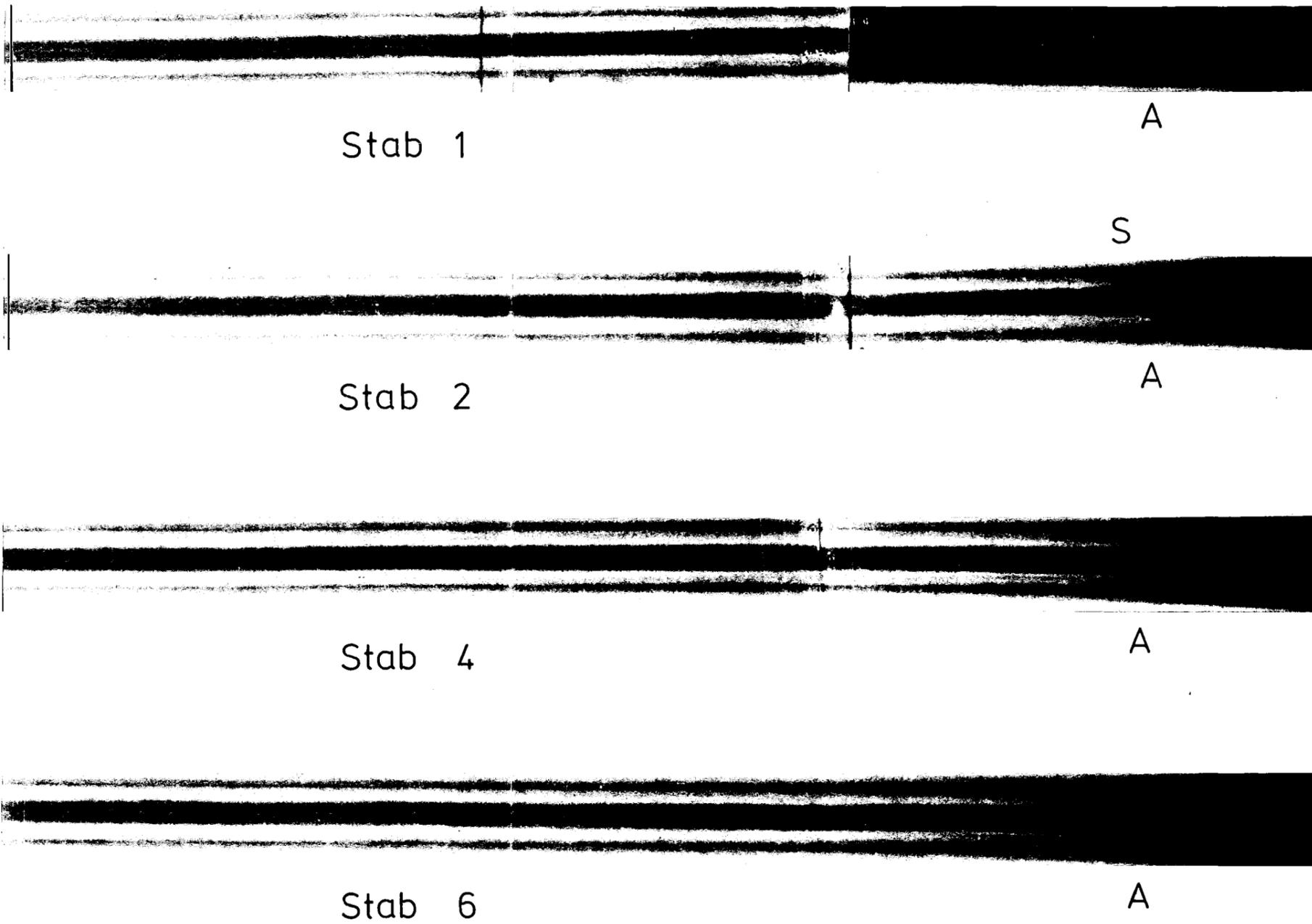
Die Stäbe 1, 4, 7, 9 und 10 wurden mittels der Wendelschriebe und die restlichen Stäbe 5, 6 und 8 mittels Mantellinienschrieben erfaßt. Letztere wurden 90° zueinander versetzt angefertigt. Die Zuordnung ist auf den Abbildungen 28 - 32 markiert.



Neutrografie der FAF

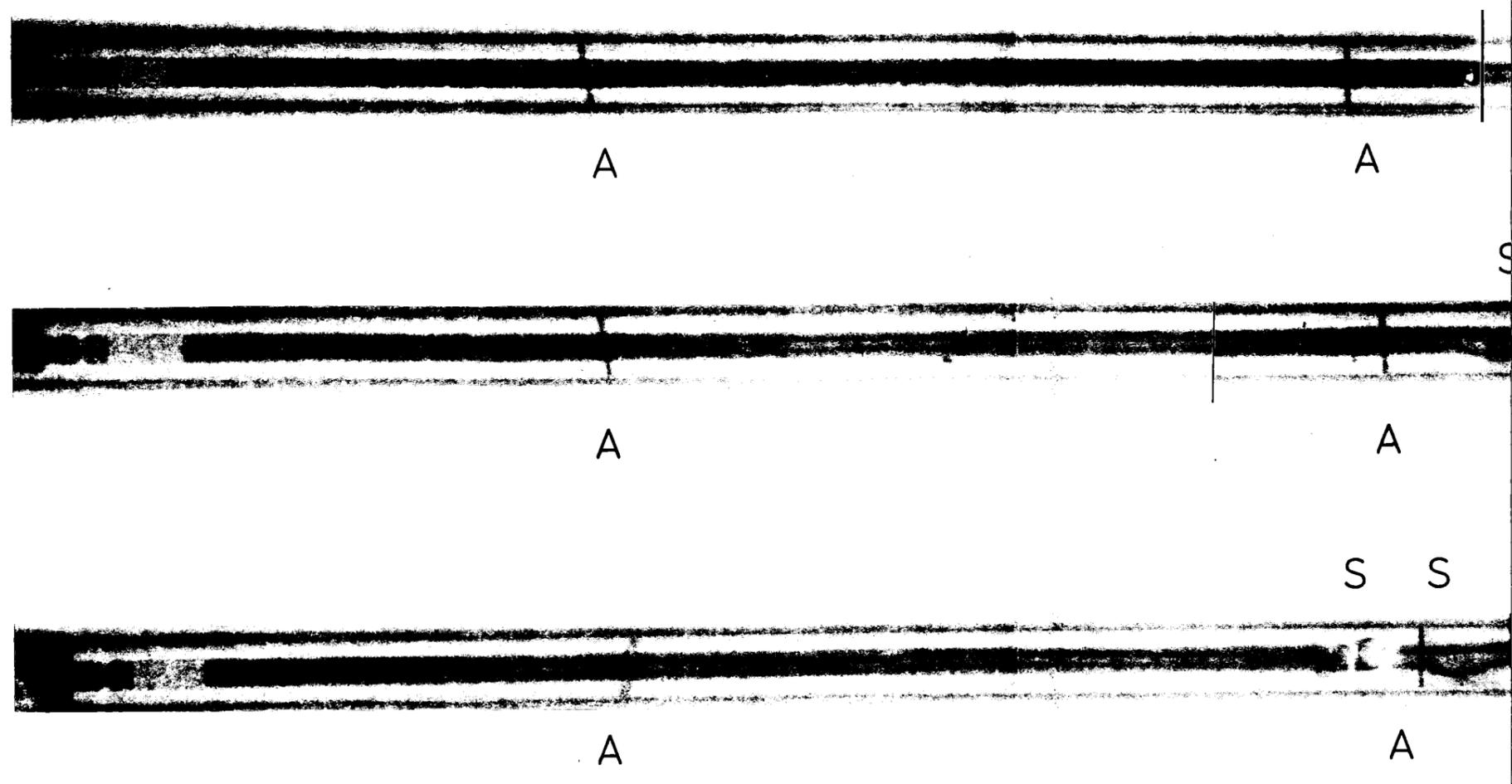
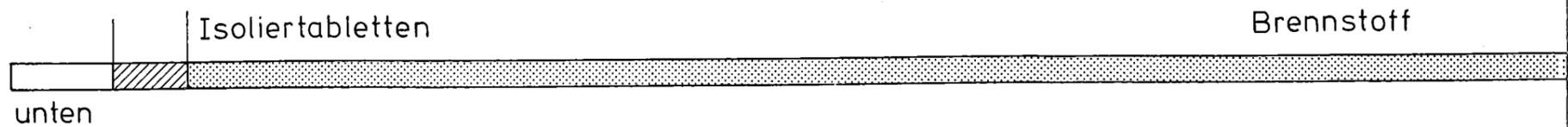
Brutstoff

A = Abstandshalter S = Schadensstelle



NIR-Kapsel mit Prüfling

Abb. 26



Neutrografie der FAF

Brutstoff

A = Abstandshalter    S = Schadensstelle

Stab 8

A

S

Stab 9

A

S

Stab 10

A

Die Wendelschriebe wurden mit einer Steigung von 5 mm/Umdrehung bei 4 Umdrehungen/min. gefahren. Nach Differenzbildung der Schriebe vor und nach der Bestrahlung wurde der Wert auf den Nominaldurchmesser bezogen. Die Durchmesseränderung  $\Delta D(\%)$  wird in den Abbildungen 28 - 32 über der Stabachse wiedergegeben. Die Tabelle 37 gibt die jeweiligen Maxima wieder.

Tabelle 37 Maxima der Durchmesseränderung

|                | C1  | C2   | C3   | C4   | C5   | C6   | C7   | C8   | C9   | C10  |
|----------------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $\Delta D(\%)$ | 0,5 | 1,60 | 0,35 | 1,85 | 0,95 | 0,30 | 0,55 | 0,55 | 1,10 | 1,40 |

## 8.2 Durchleuchtung

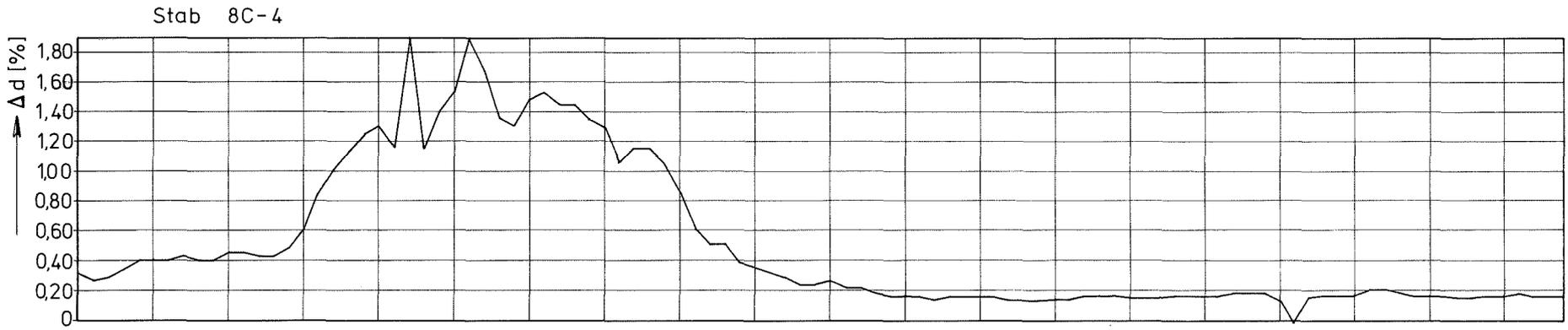
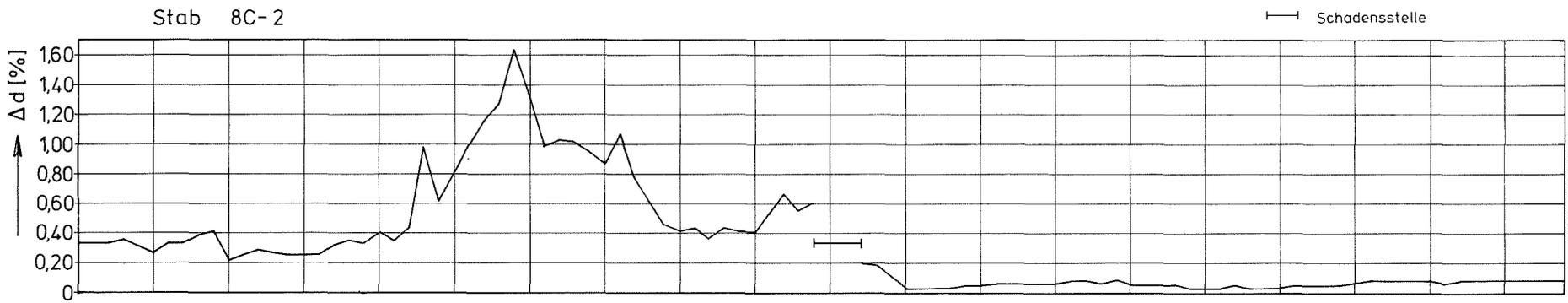
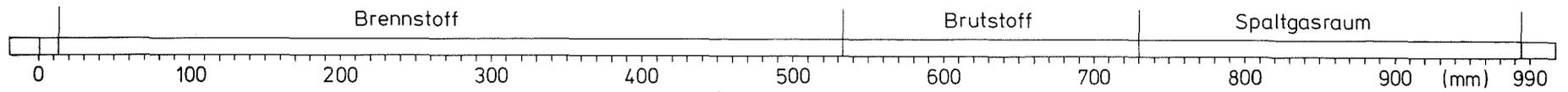
Die Brennstäbe wurden mit Ausnahme der Stäbe C3, C5 und C7 bereits in Mol am BR2 in der FAFNIR-Kapsel neutronografiert (siehe Abb. 26 u. 27). Sehr gut sind hier bereits die Defekte der Stäbe 1, 2, 9 und 10 erkennbar. In Karlsruhe wurden alle Stäbe (außer 9 und 10) im Rahmen der zerstörungsfreien Nachuntersuchung nochmals in den Heißen Zellen mittels eines Betatrons (19 MeV) durchstrahlt. Diese Bilder sind in Abb. 33 und 34 enthalten. In der Tabelle 38 sind die Hauptmerkmale, die anhand der Betatron-Aufnahmen zu erkennen sind, zusammengestellt.

Tabelle 38 Beobachtungen anhand der Betatron-Aufnahmen

| Stab | B e m e r k u n g  |
|------|--|
| 1    | Untere Isoliertablette abgeplatzt, Cs-Anhäufung oben <sup>+) </sup>  |
| 2    | Defektstelle weiß, Spalte in Brutstoff-Säule   |
| 3    | Zentralkanal wird nach unten dünner Cs-Anhäufung oben <sup>+) </sup>   |
| 4    | Cs-Anhäufung oben <sup>+) </sup>   |
| 5    | Cs-Anhäufung oben <sup>+) </sup> und unten <sup>++) </sup> , Spalte in Brutstoff-Säule, Zentralkanal teilweise blockiert |
| 6    | siehe Stab 8   |
| 7    | siehe Stab 5   |
| 8    | Cs-Anhäufung unten <sup>+) </sup> , Spalte in Brutstoff-Säule  |
| 9    | keine Betatron-Durchstrahlung  |
| 10   | keine Betatron-Durchstrahlung  |

<sup>+)</sup>  Übergang Brennstoff - Brutstoff,

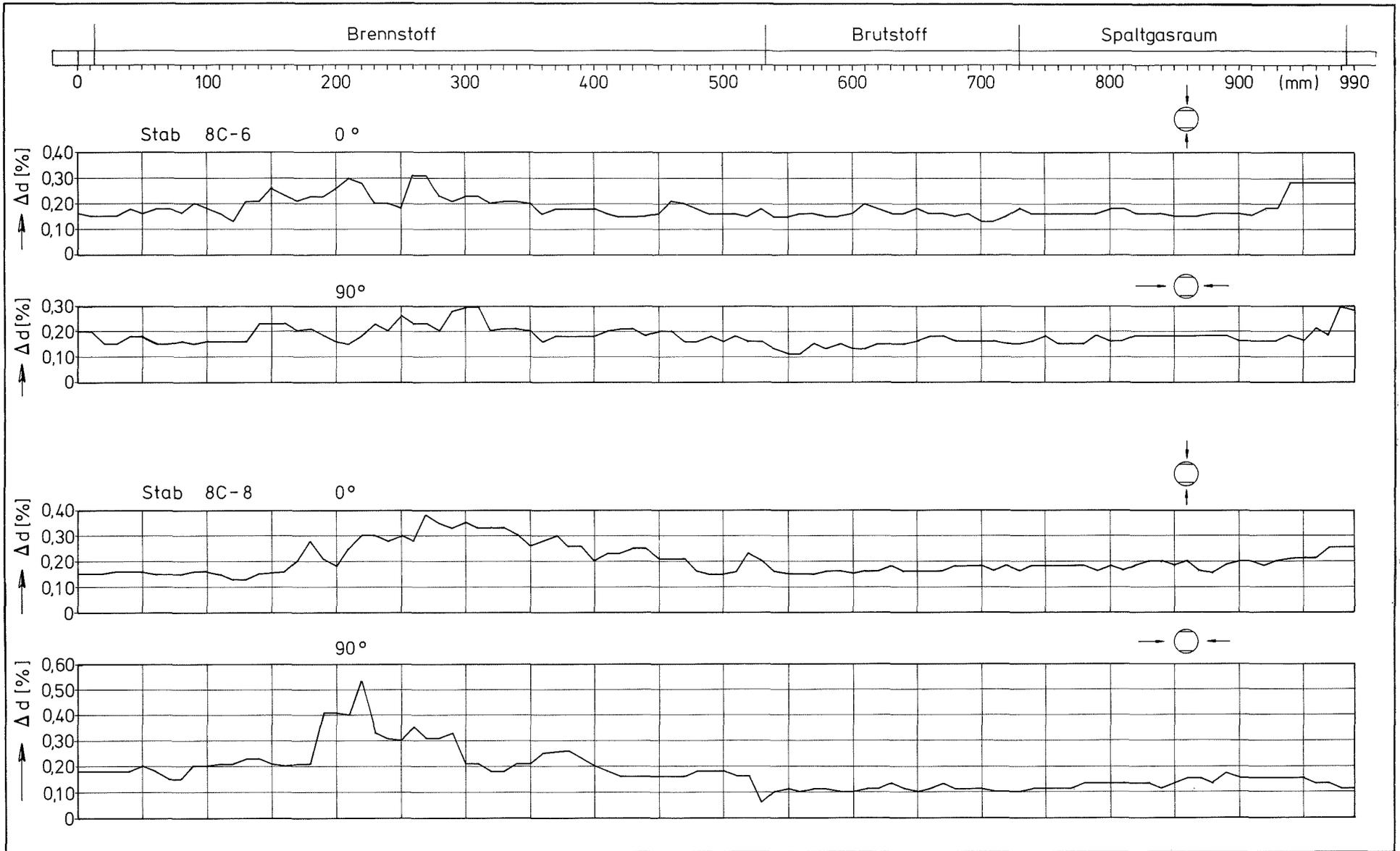
<sup>++)</sup>  Übergang Brennstoff - untere Isoliertablette



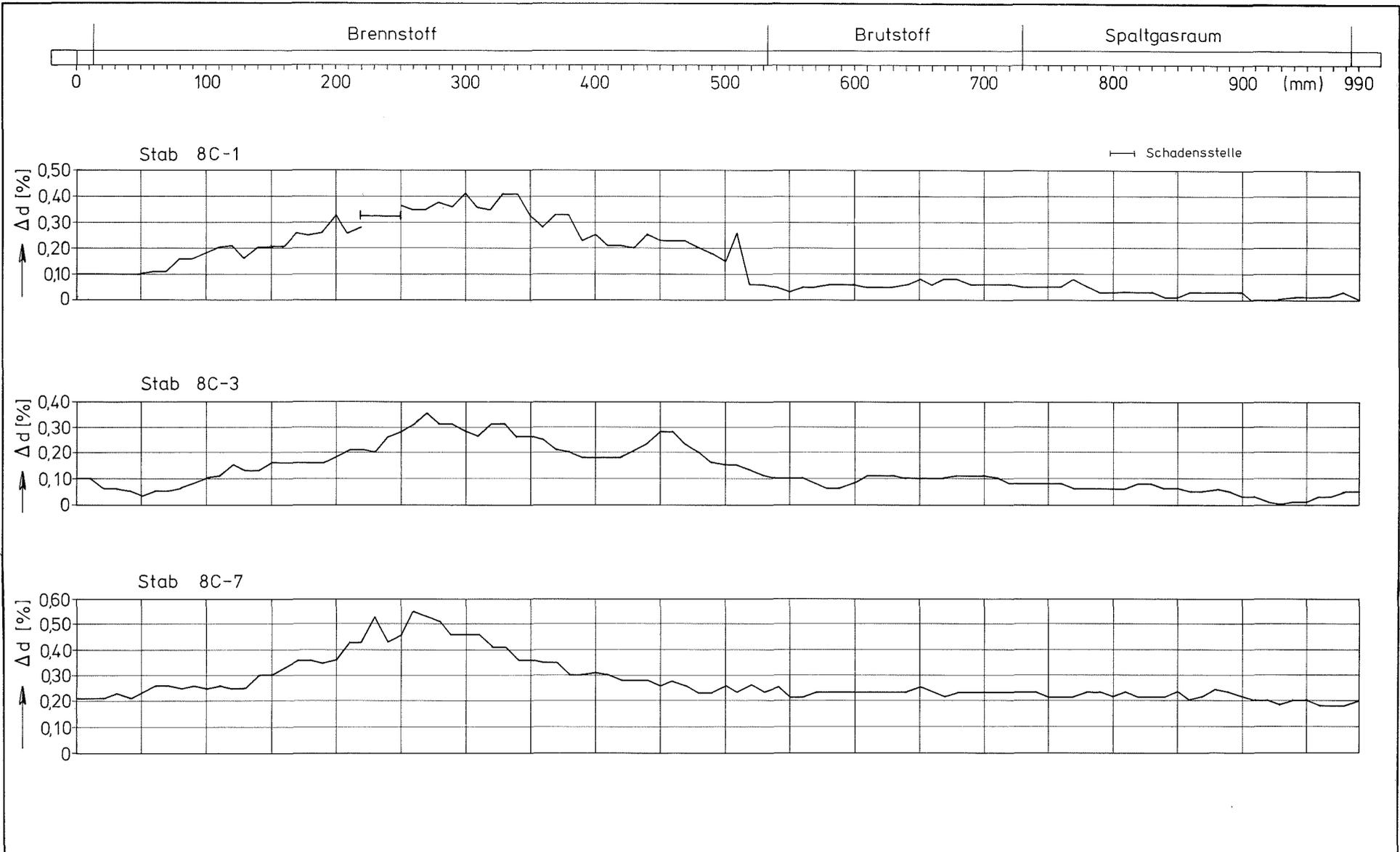
GfK Karlsruhe  
IMF/III

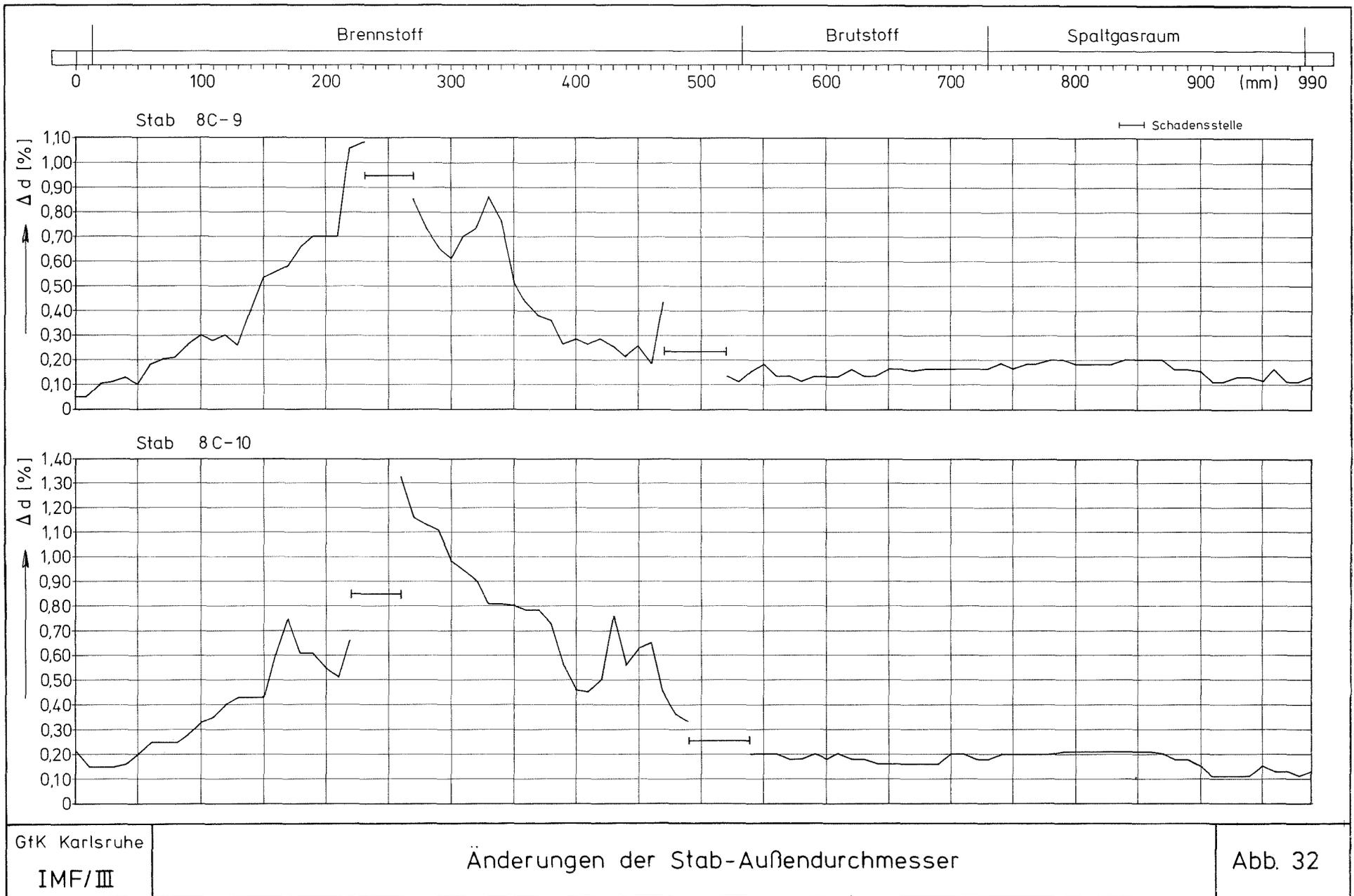
Änderungen der Stab-Außendurchmesser

Abb. 28



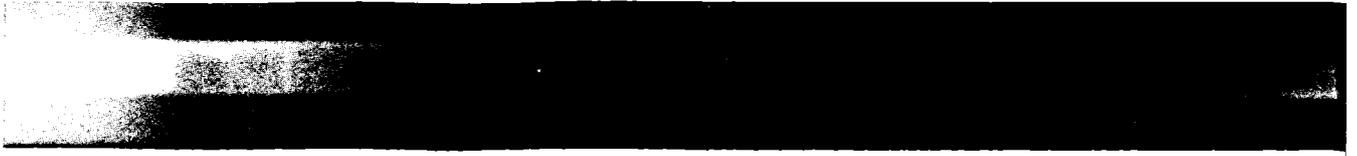






Isolier tablette

unten



Brennstoff

S

Betatron-Durchleuchtungen

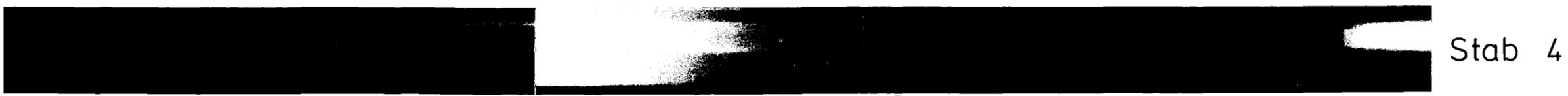
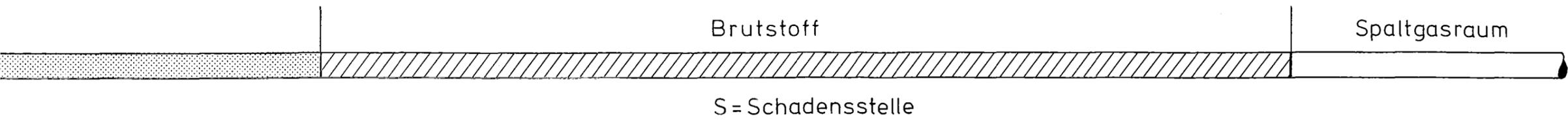
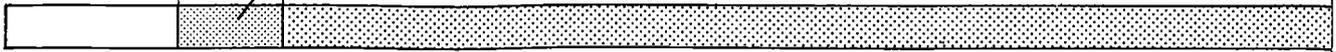
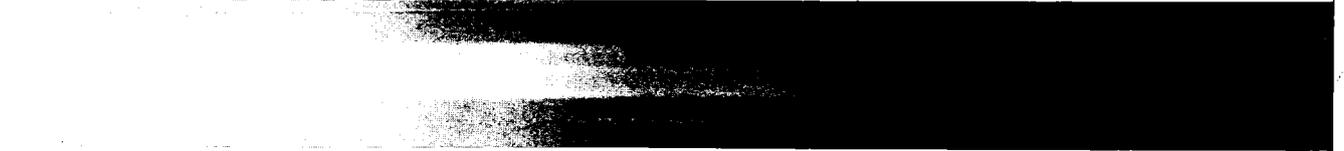
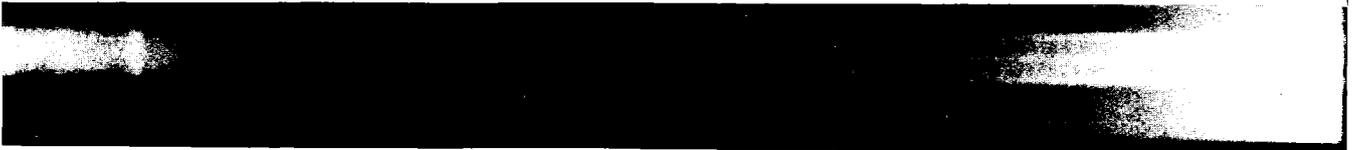


Abb. 33

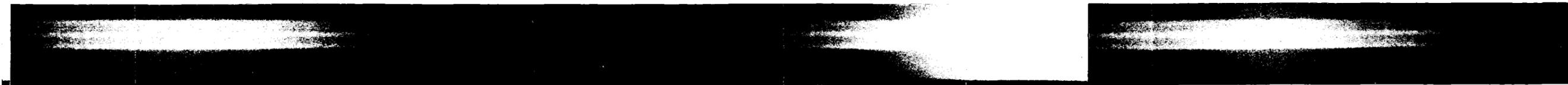
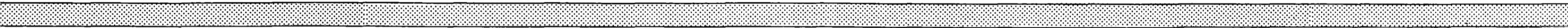
Isolierplatte



unten



Brennstoff



Betatron-Durchleuchtungen

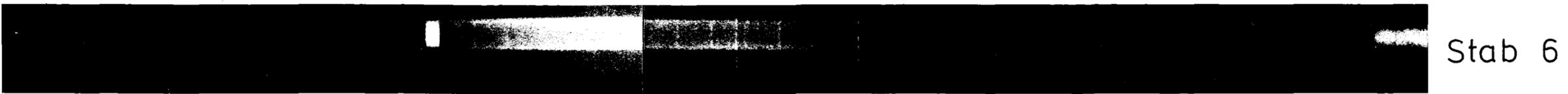
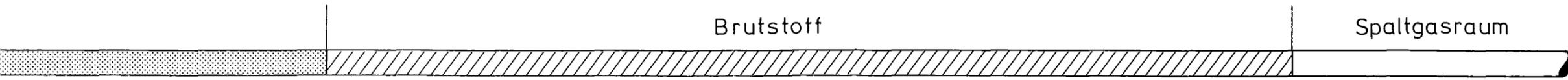


Abb. 34

### 8.3 $\gamma$ -Spektrometrie

Zur Charakterisierung der Brennstoffsäulen hinsichtlich der Rißstruktur, des axialen Leistungsverlaufes der Brennstoffverlagerung und der Spaltproduktwanderung wurden die Prüflinge  $\gamma$ -spektrometrisch untersucht. In dieser Untersuchung wurde zum einen die  $\gamma$ -Aktivität entlang der Stabachse als  $\gamma$ -Profil erstellt, zum anderen  $\gamma$ -Spektren von bestimmten Bereichen des Prüflings aufgenommen.

Als Detektor diente hierzu ein Halbleiterkristall (GeLi) mit nachgeschaltetem Multikanal-Analysator. Profile und Spektren wurden mit einem schlitzförmigen Kollimator mit den Maßen 0,5 mm x 20 mm x 700 mm durch die Abschirmwand der Heißen Zellen aufgenommen. Während der Messung rotierten die Prüflinge um ihre Längsachse. Hierdurch wurde erreicht, daß Aktivitätsansammlungen im Bereich der Brennstoffaußenzonen nicht durch eine zufällige ungünstige Orientierung des Prüflings zum Detektor unbeachtet blieben.

Die Standard-Untersuchung wurde mit den Aufnahmen eines typischen  $\gamma$ -Spektrums begonnen. Dazu wurde ein Brennstoffsäulenbereich ausgewählt, der eine möglichst geringe Konzentrationsänderung an Spaltprodukten erwarten ließ. Gewöhnlich war dies etwa die Mitte der Brennstoffsäule. Anhand des  $\gamma$ -Spektrums wurden dann die besonderen Energiebereiche für bestimmte  $\gamma$ -Profile ausgewählt. Unabhängig von  $\gamma$ -Spektren wurde von jedem Prüfling ein integrales Profil aufgenommen, das die  $\gamma$ -Linien im weiten Bereich zwischen 400 keV und 1700 keV umfaßte.

Zu den Profilen, die an allen Prüflingen gemessen wurden, zählte auch das Zr/Nb-95-Profil. Vom Spalt-Zirkon ist bekannt, daß es sich in Oxidbrennstoff unter den hier betrachteten Bestrahlungsbedingungen nicht an- oder abreichert. Somit kann das Zr/Nb-95-Profil in besonderem Maße als Brennstoff-Indikator zur Ermittlung von Brennstoffverlagerungen herangezogen werden. Bei kurzen Bestrahlungszeiten ist dem Profil auch der axiale Stableistungsverlauf zu entnehmen.

Je nach Abklingdauer wurden weitere Nuklid-Profile zur Bestimmung der Spaltproduktwanderung vermessen. Es waren dies insbesondere Profile für Cs/Ba-137 und Ru-106.

Zur Vervollständigung der Nuklidprofile in Bezug auf die Spaltproduktwanderung wurden, verteilt über die gesamte Prüflingslänge, zusätzliche Spektren aufgenommen, wo immer die Profile einen Hinweis auf anomale Spaltproduktverteilungen brachten. Im Mittel waren etwa 6 Spektren für die Charakterisierung der Spaltproduktwanderung ausreichend. In Einzelfällen wurde die Zahl noch erhöht.

Von den hier untersuchten Stäben werden in den nachfolgenden Abbildungen 35 - 50 sowohl das integrale  $\gamma$ -Profil, als auch das Cs-137- und das Zr/Nb-95-Profil gezeigt.

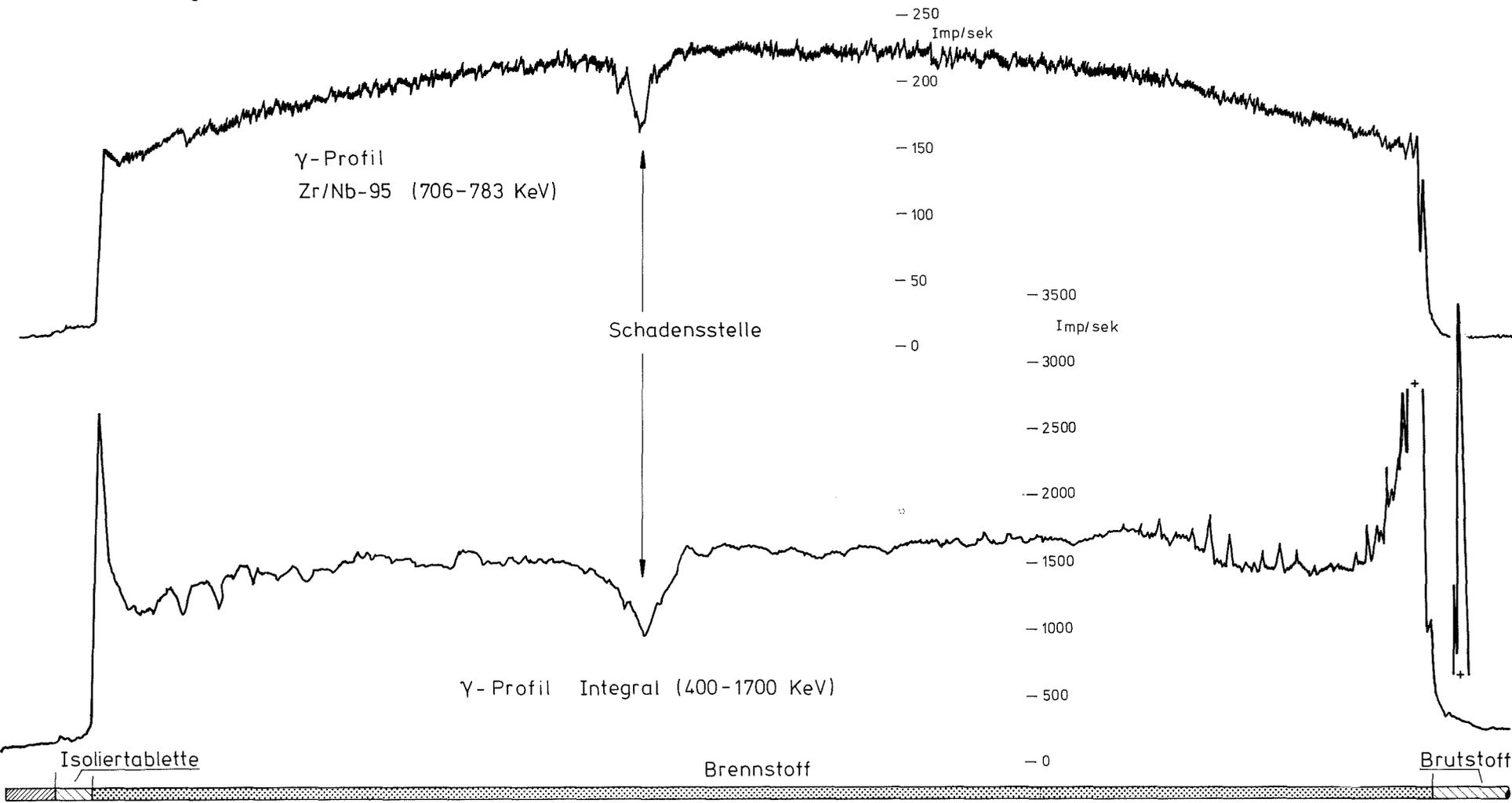
Die Cs-137-Profile zeigen das bereits gewohnte Bild: starke Cs-137-Anreicherungen an den Enden der Spaltstoffsäule und Cs-Defizit an den Stellen der Stabschäden.

Die Zr/Nb-Profile zeigen eine unterschiedliche Aufwölbung in Höhe Brennstoffsäulen-Mitte, was mit den unterschiedlichen Positionen der Kapseln im BR2 während der einzelnen Zyklen erklärbar ist.

## 9. Interpretation der Hülldehnungen

Zur Erklärung der bei den Prüflingen der Vg Mol 8C aufgetretenen Hüllverformungen sind sowohl Fließen des Hüllmaterials als auch Kriechen in Betracht zu ziehen, denn die Hülltemperaturen lagen bei einigen Prüflingen, zumindest über einen Teil der Bestrahlungszeit hinweg, hoch genug. Von großem Interesse ist nun die Klärung der Frage, welches der beiden Phänomene (Fließen oder Kriechen) die dominierende Rolle gespielt hat.

Abklingzeit 352 d



- 101 -

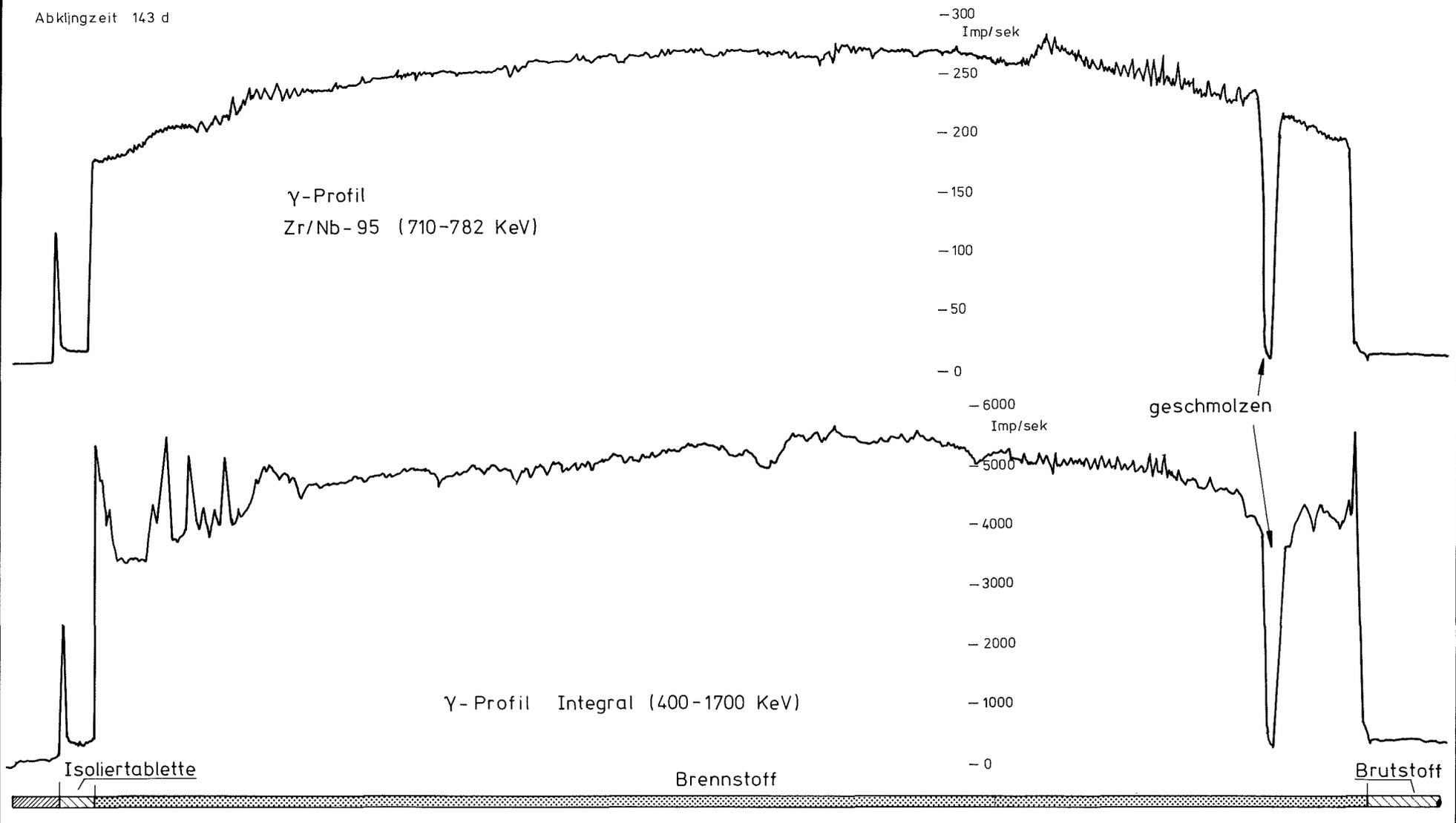
GfK Karlsruhe

IMF/III

γ-Profile  
Mol 8C Stab-Nr. 1

Abb. 35

Abklingzeit 143 d



-102-

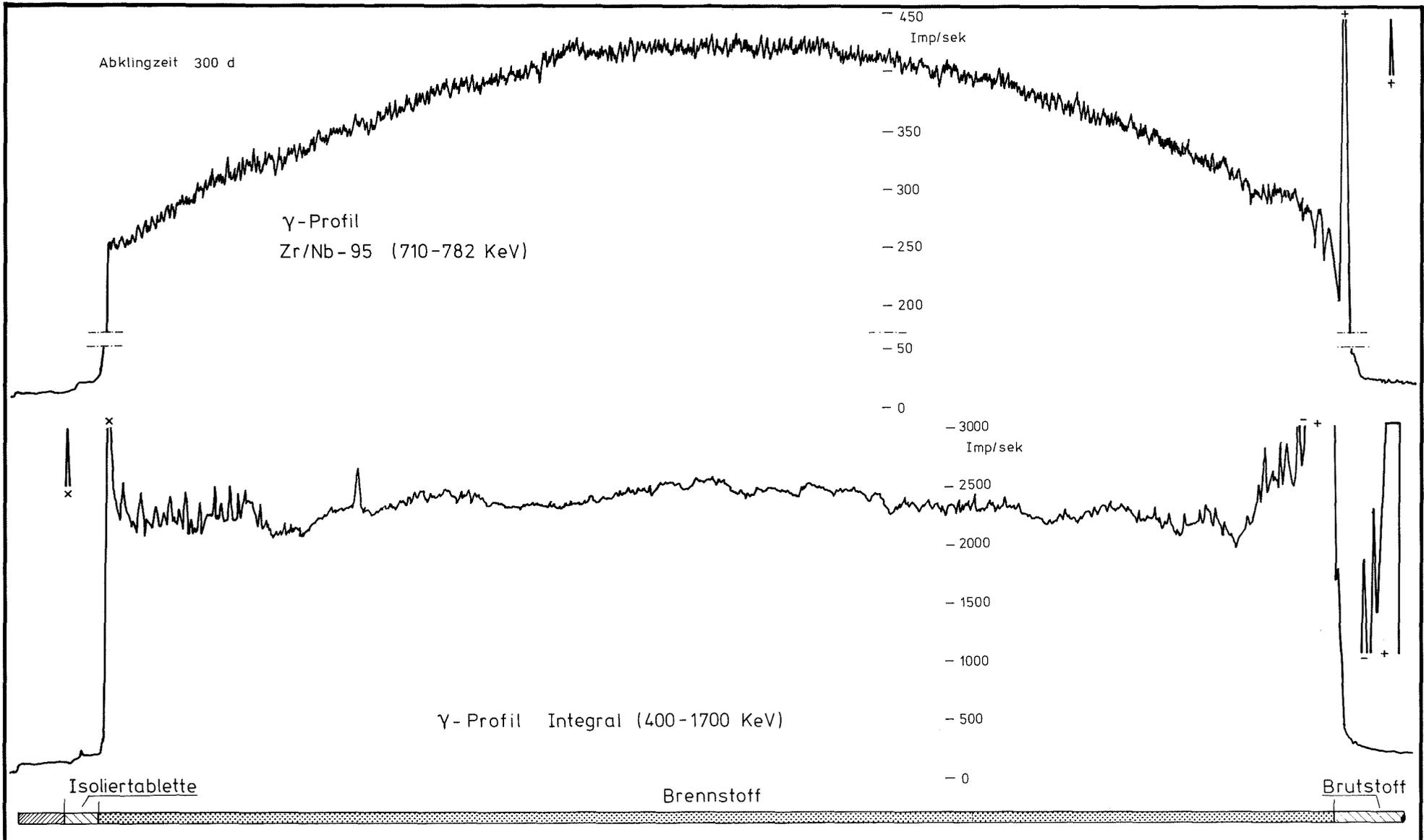
GfK Karlsruhe

$\gamma$ -Profile

Abb. 36

IMF/III

Mol 8C Stab-Nr. 2

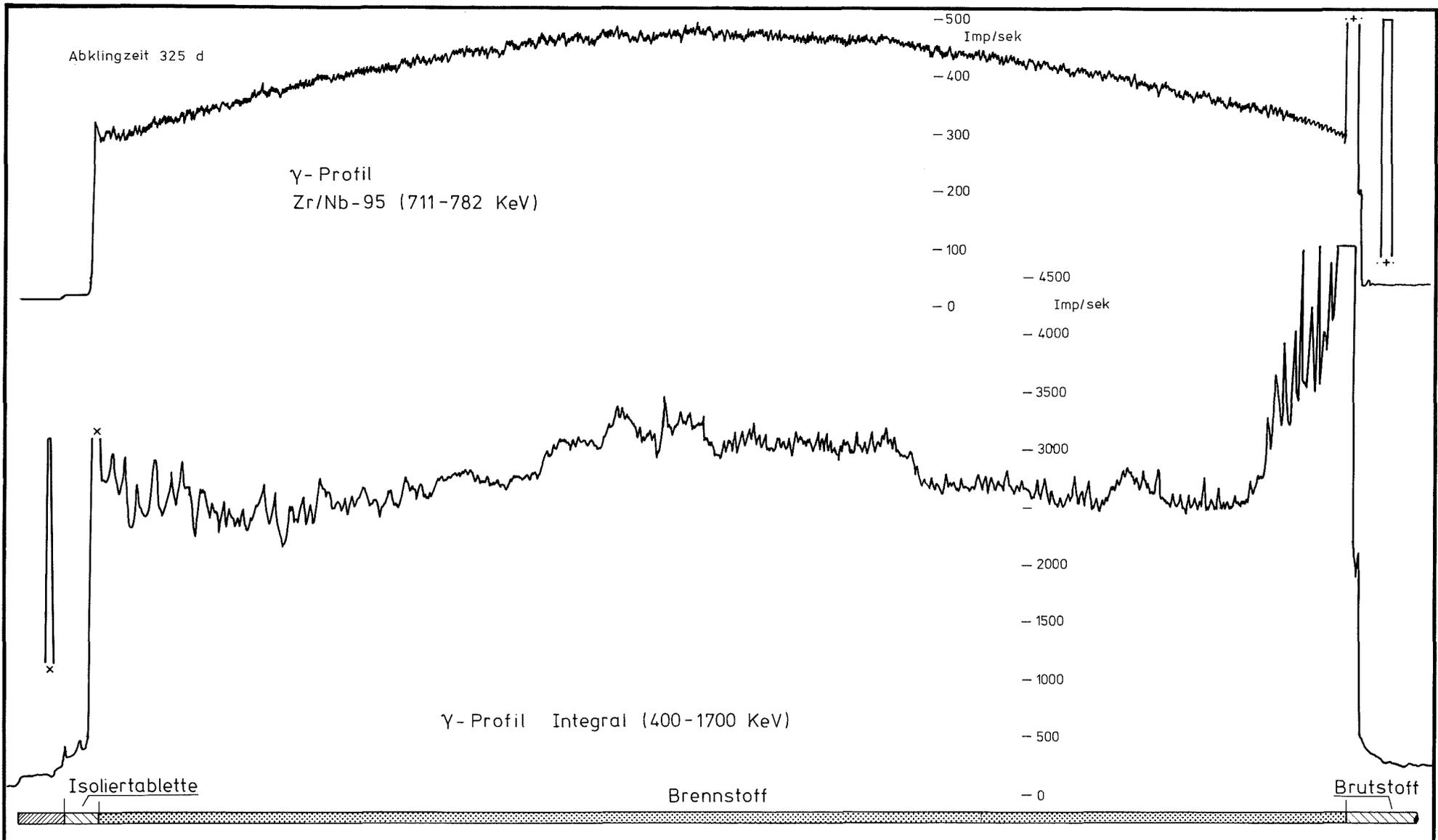


GfK Karlsruhe

IMF/III

$\gamma$ -Profile  
Mol 8C Stab-Nr. 3

Abb. 37



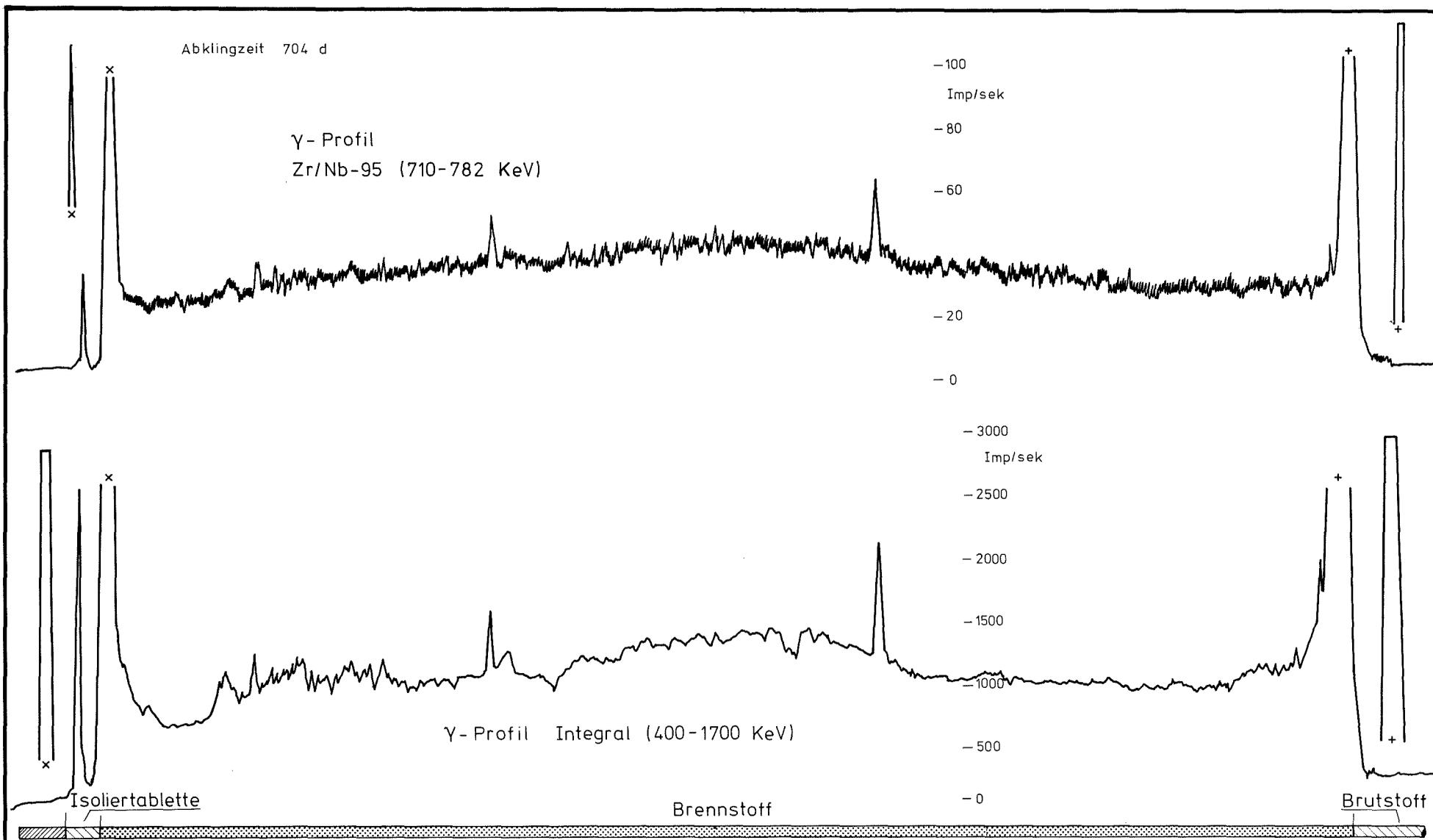
GfK Karlsruhe

IMF/III

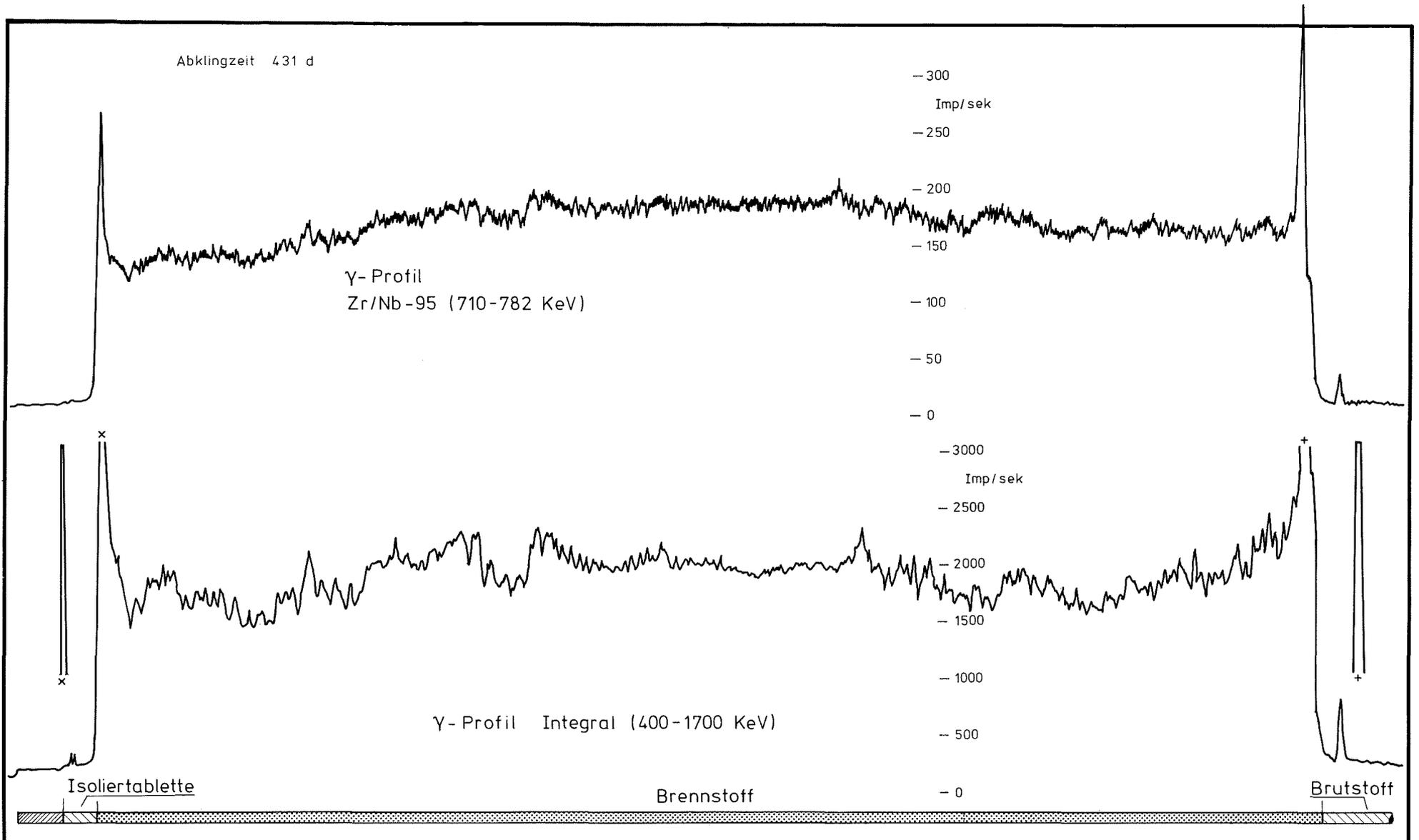
$\gamma$ -Profile

Mol 8C Stab-Nr. 4

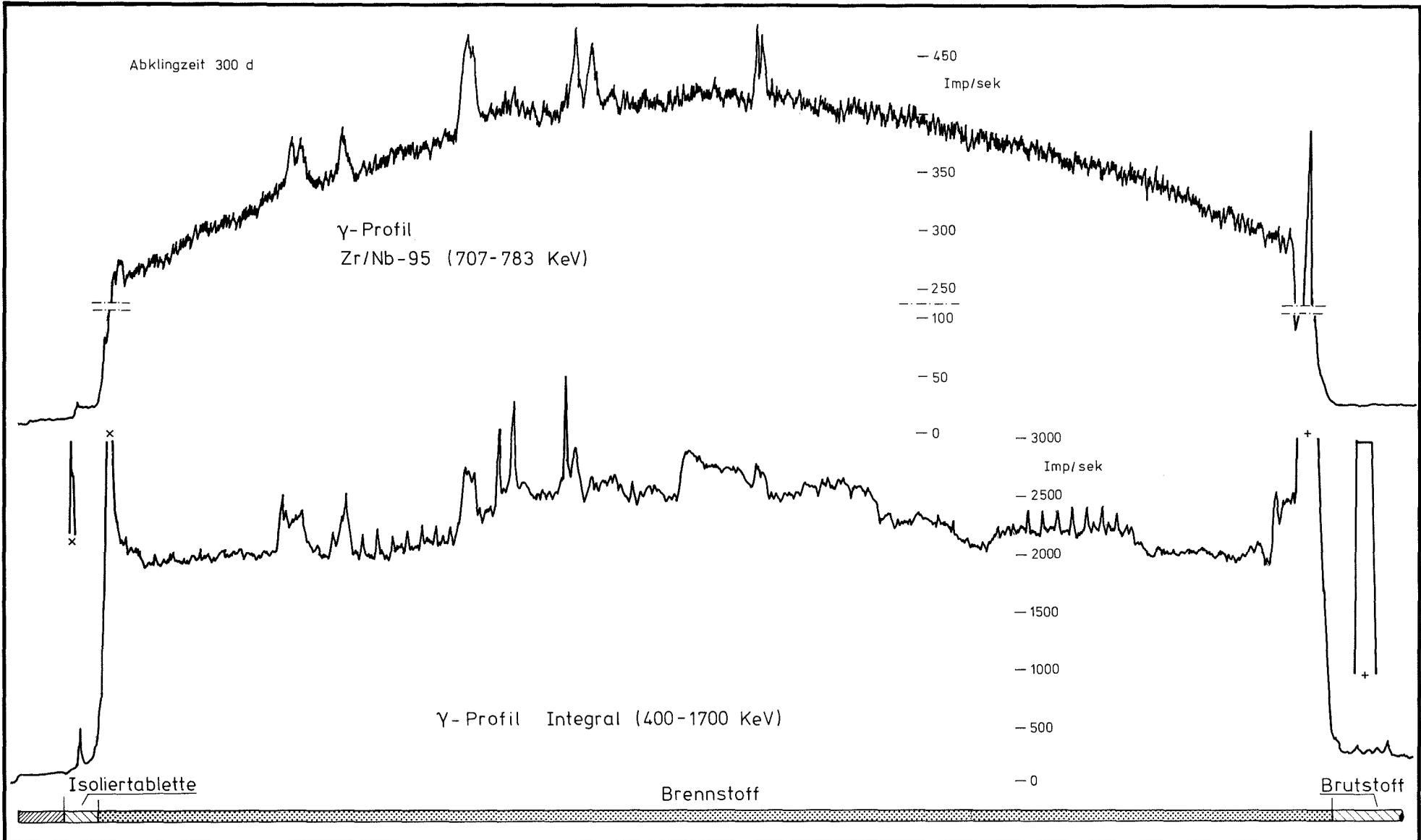
Abb. 38



|               |                   |         |
|---------------|-------------------|---------|
| GfK Karlsruhe | $\gamma$ -Profile | Abb. 39 |
| IMF/III       | Mol 8C Stab-Nr. 5 |         |



|                                     |   |                |
|-------------------------------------|---|----------------|
| <p>GfK Karlsruhe</p> <p>IMF/III</p> | <p>γ-Profile</p> <p>Mol 8C Stab-Nr. 6</p> | <p>Abb. 40</p> |
|-------------------------------------|---|----------------|



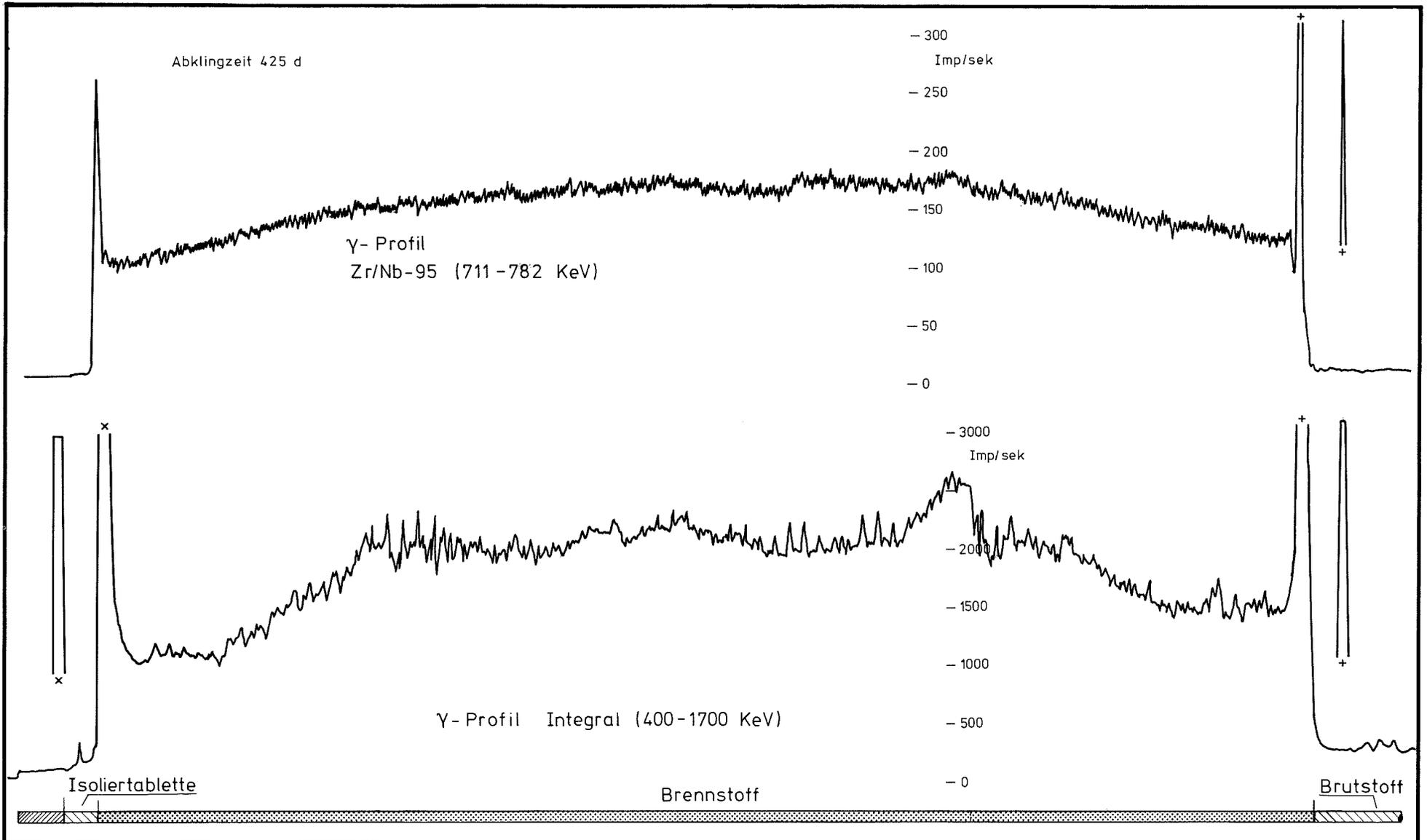
GfK Karlsruhe

IMF/III

γ-Profile

Mol 8C Stab-Nr. 7

Abb. 41



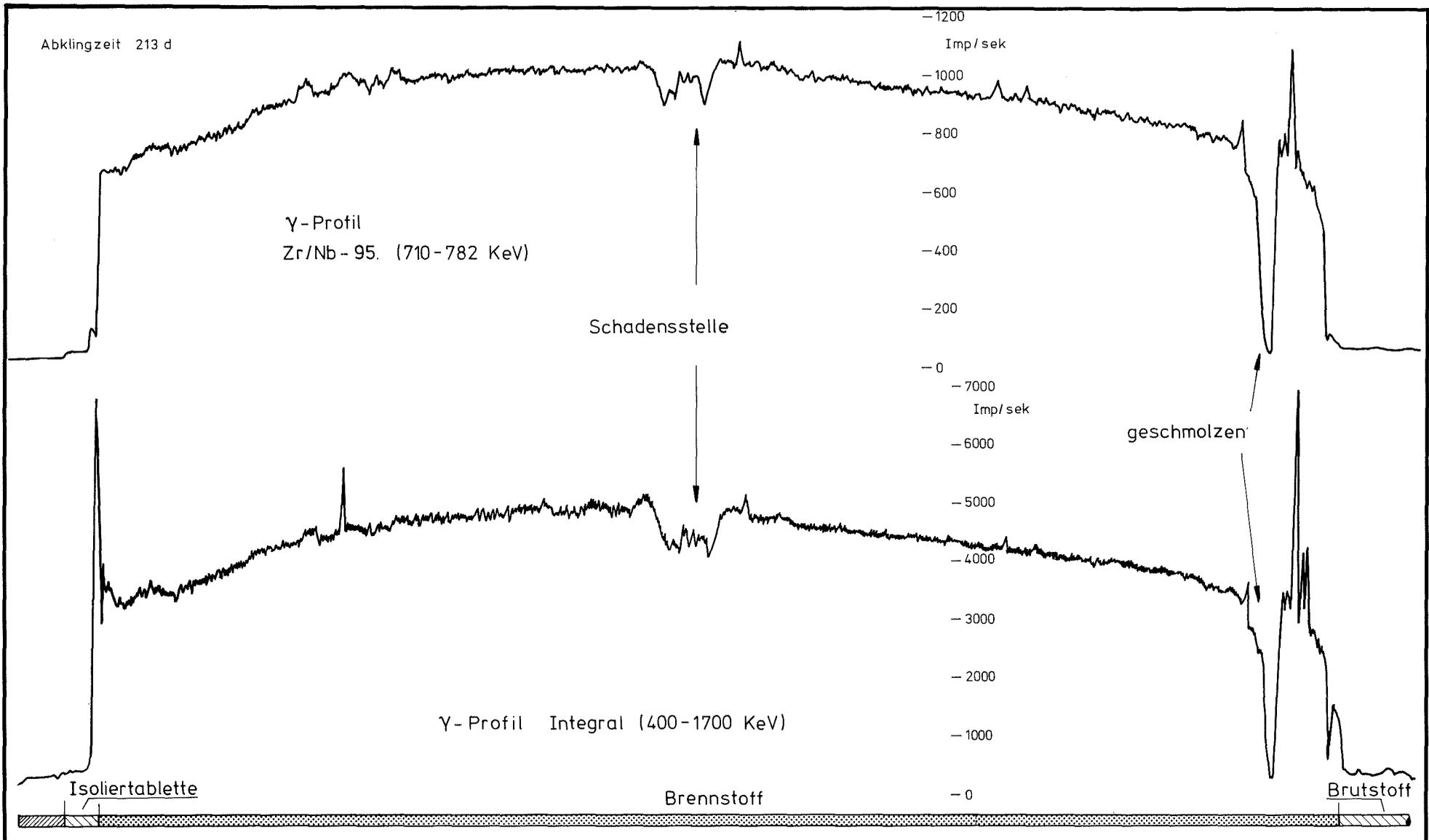
GfK Karlsruhe

IMF/III

γ-Profile

Mol 8C Stab-Nr. 8

Abb. 42



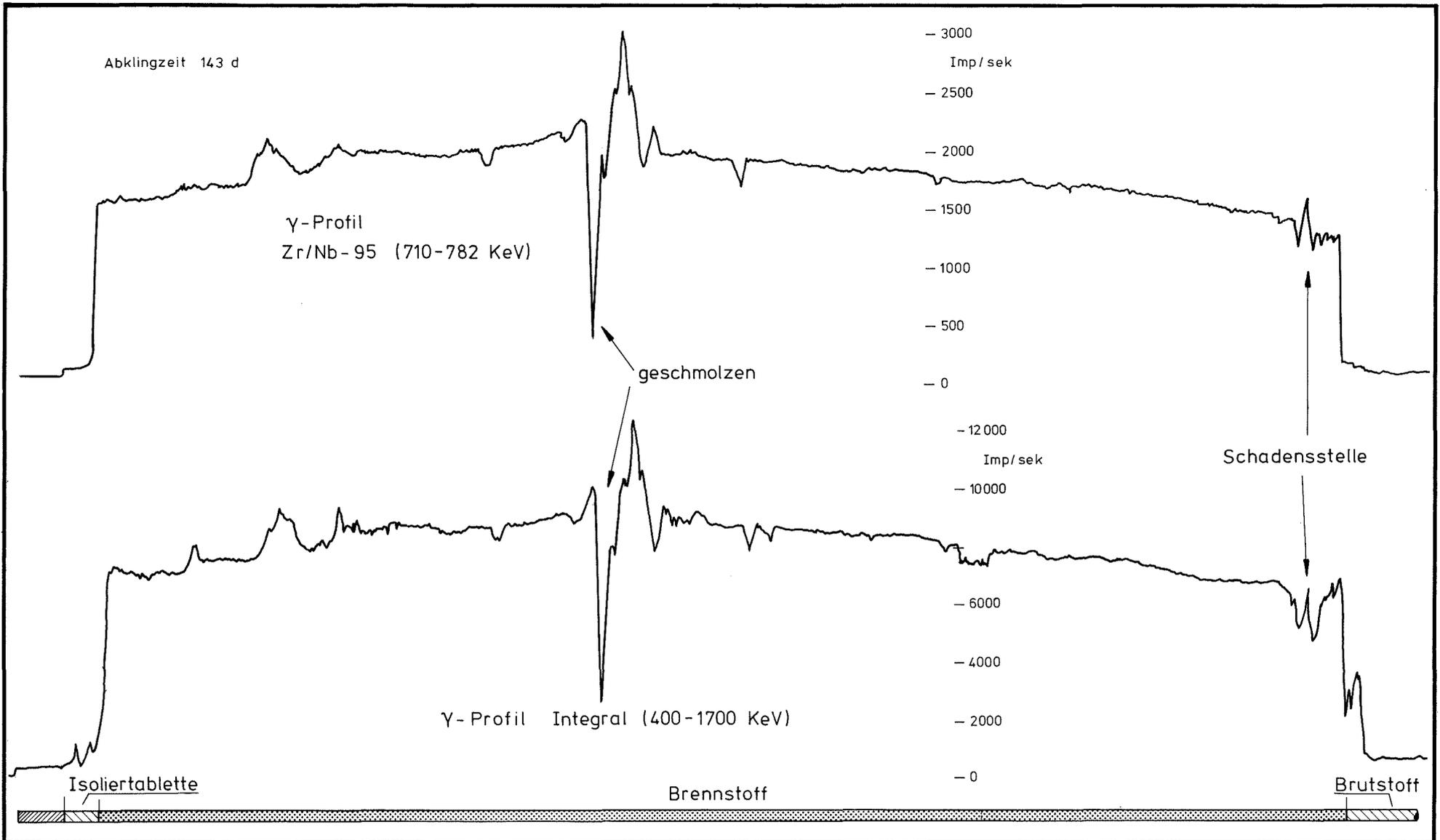
GfK Karlsruhe

IMF/III

γ-Profile

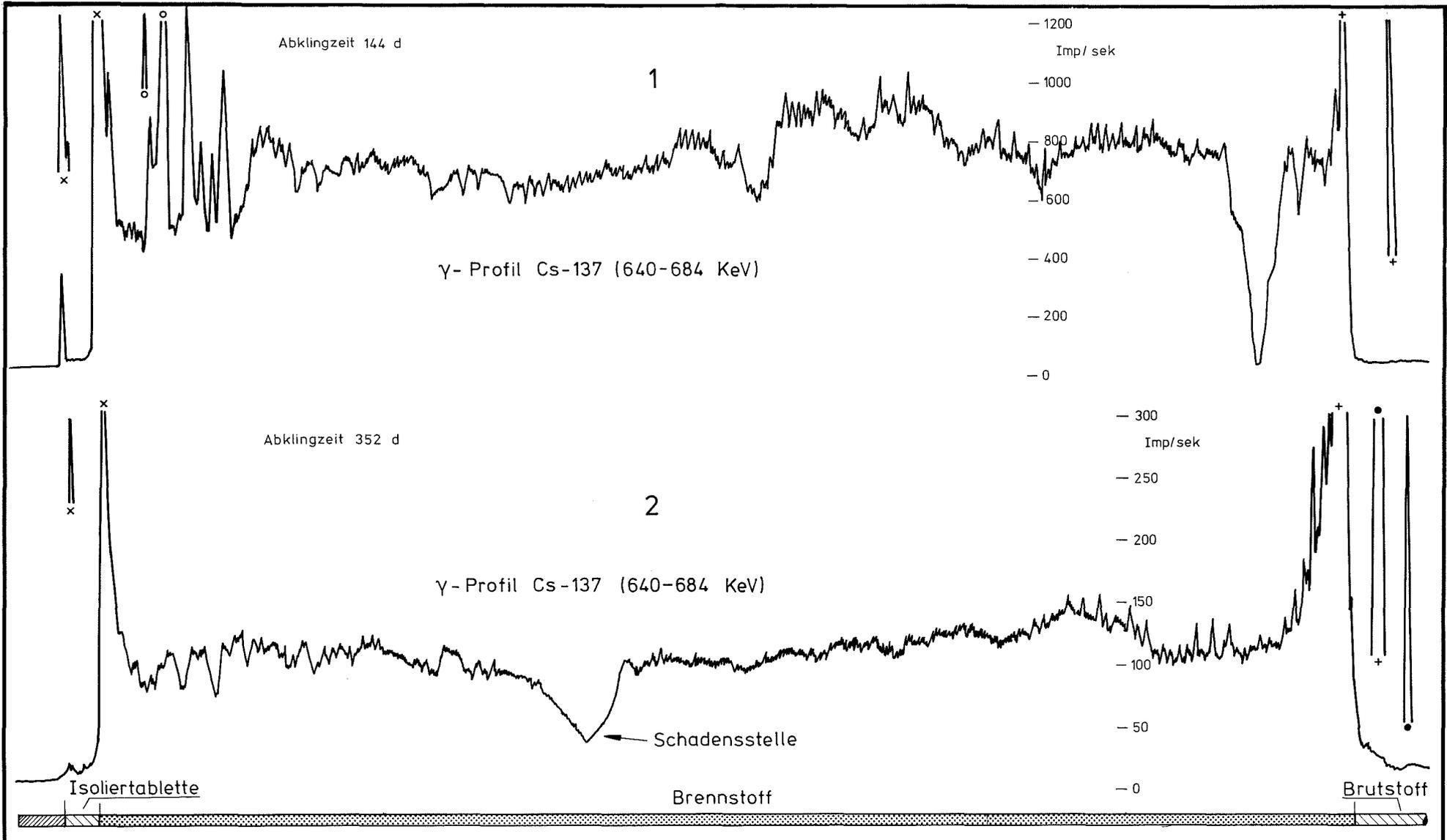
Mol 8C Stab-Nr. 9

Abb. 43



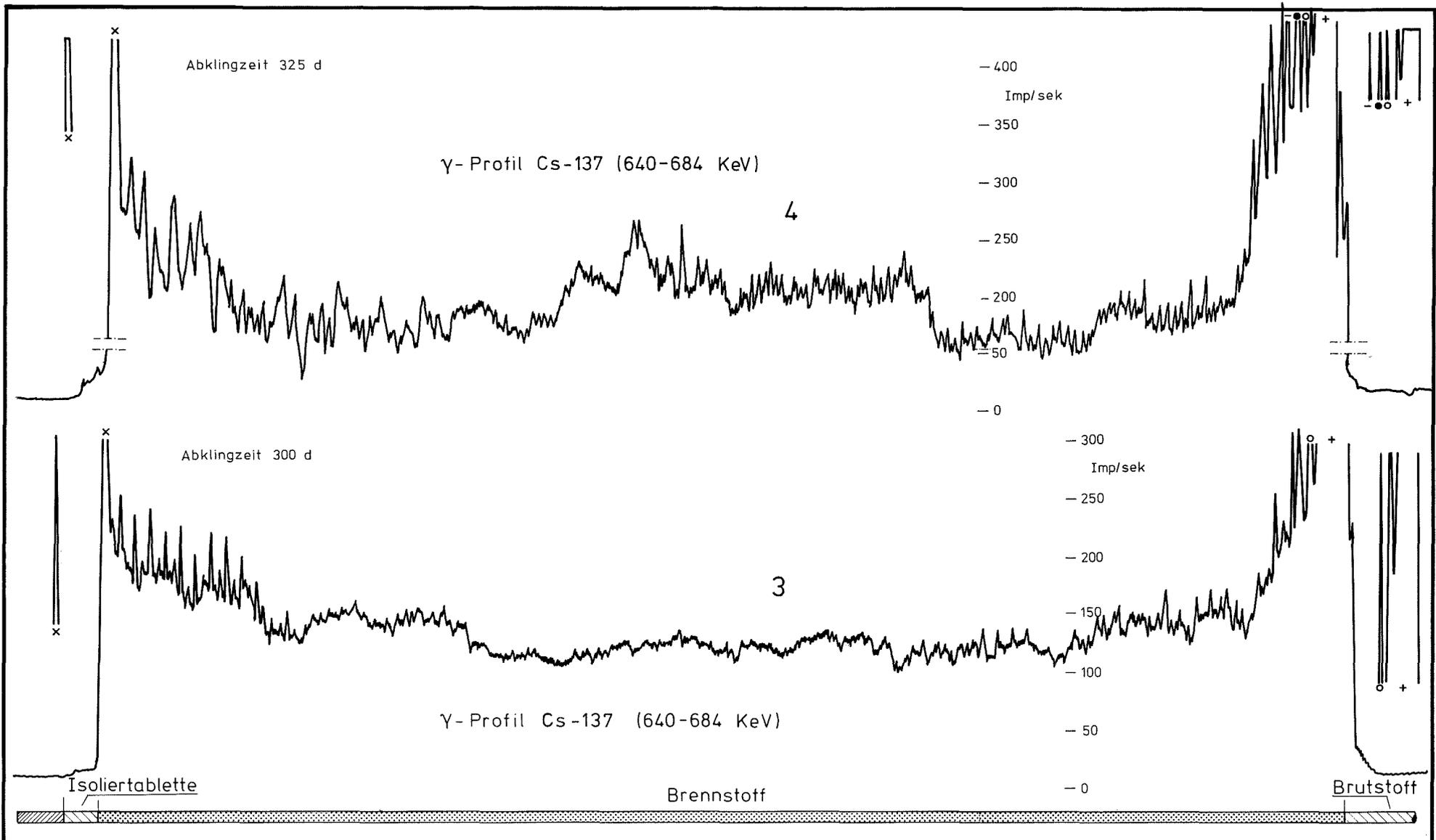
- 110 -

|                                     |   |                |
|-------------------------------------|---|----------------|
| <p>GfK Karlsruhe</p> <p>IMF/III</p> | <p><math>\gamma</math>- Profile</p> <p>Mol 8C Stab-Nr. 10</p> | <p>Abb. 44</p> |
|-------------------------------------|---|----------------|

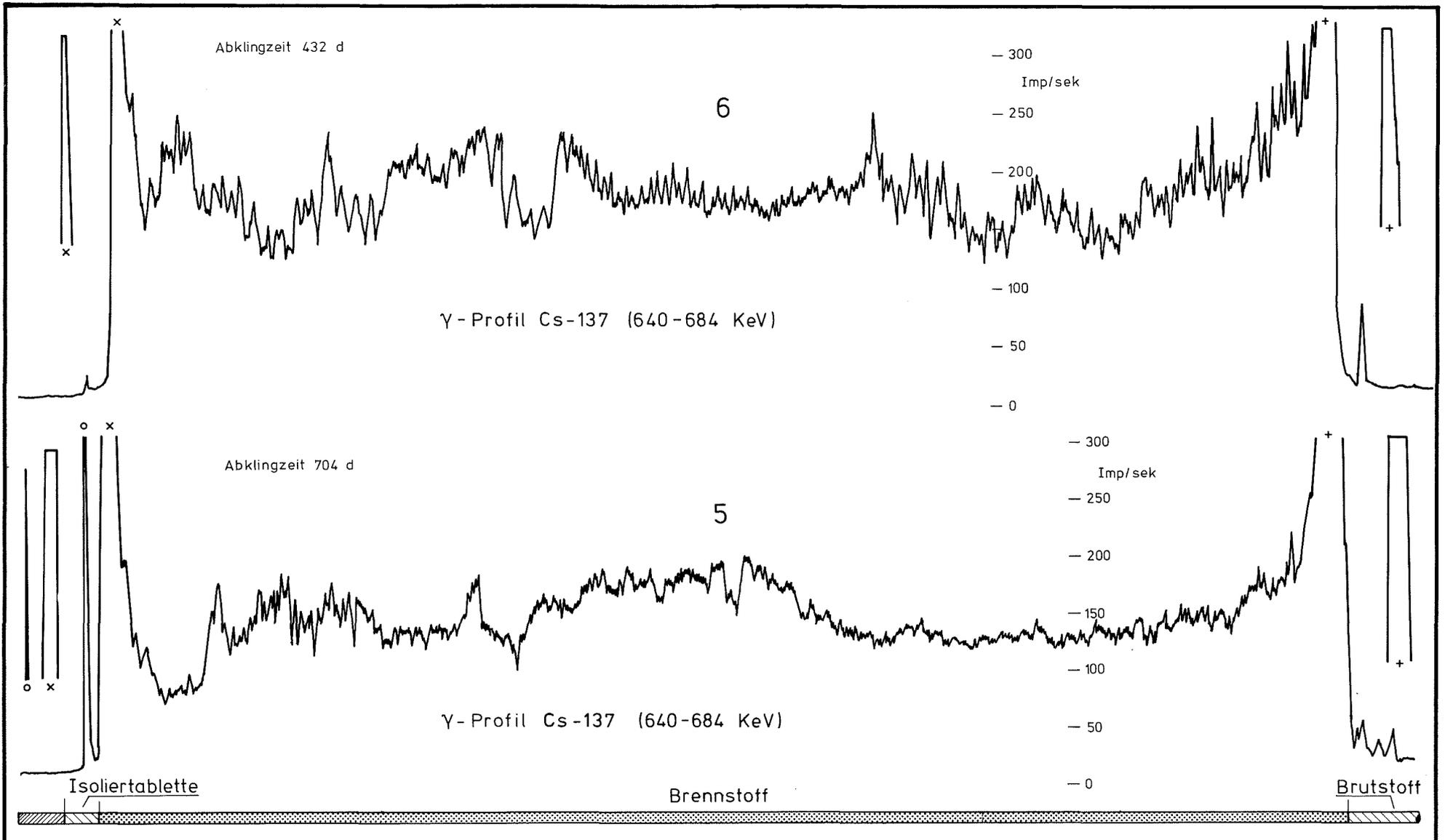


- 111 -

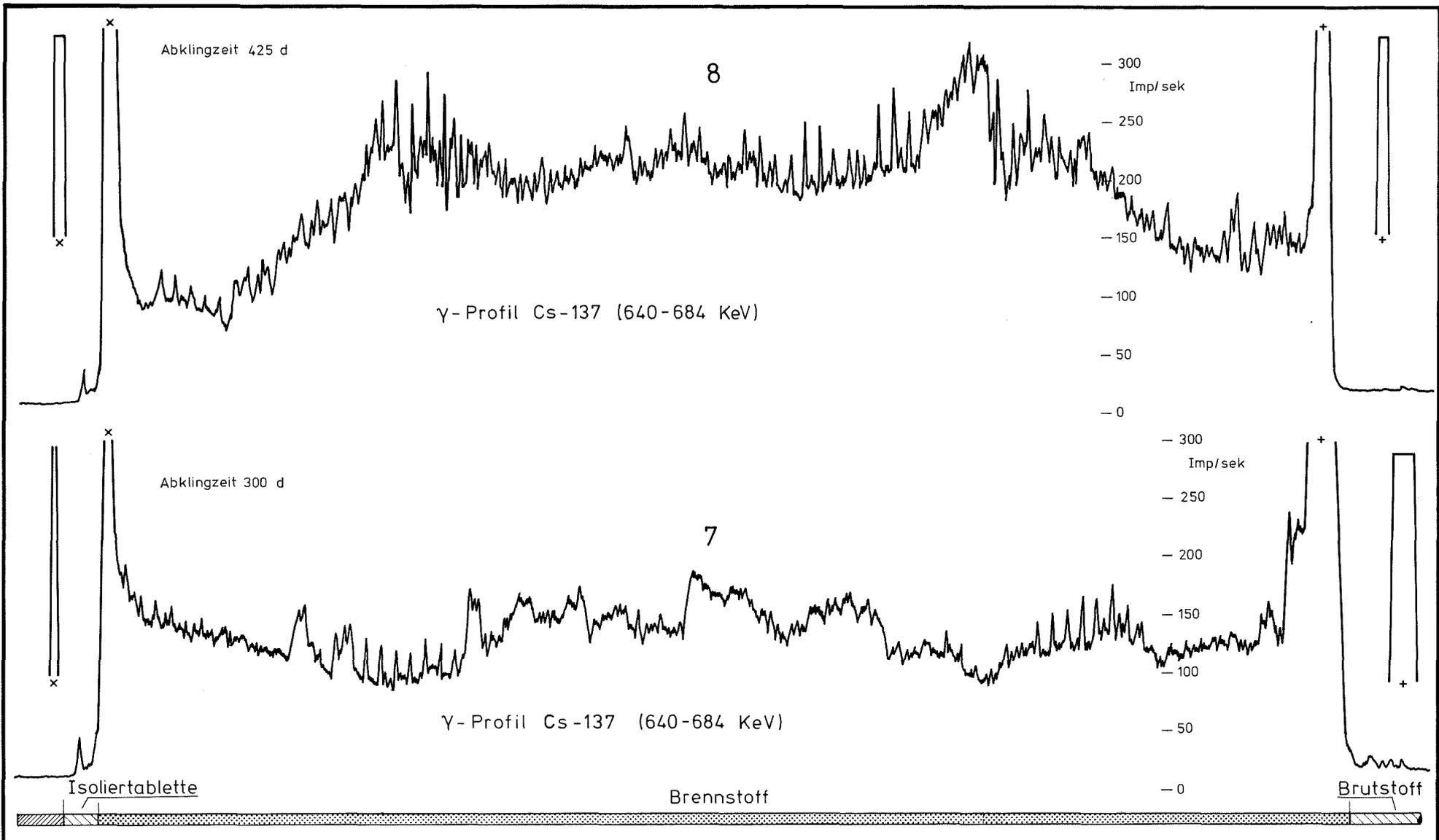
|               |                         |         |
|---------------|-------------------------|---------|
| GfK Karlsruhe | γ-Profile               | Abb. 45 |
| IMF/III       | Mol 8C Stab-Nr. 1 und 2 |         |



|               |                         |         |
|---------------|-------------------------|---------|
| GfK Karlsruhe | $\gamma$ -Profile       | Abb. 46 |
| IMF/III       | Mol 8C Stab-Nr. 3 und 4 |         |



|               |                         |         |
|---------------|-------------------------|---------|
| GfK Karlsruhe | γ-Profile               | Abb. 47 |
| IMF/III       | Mol 8C Stab-Nr. 5 und 6 |         |



- 114 -

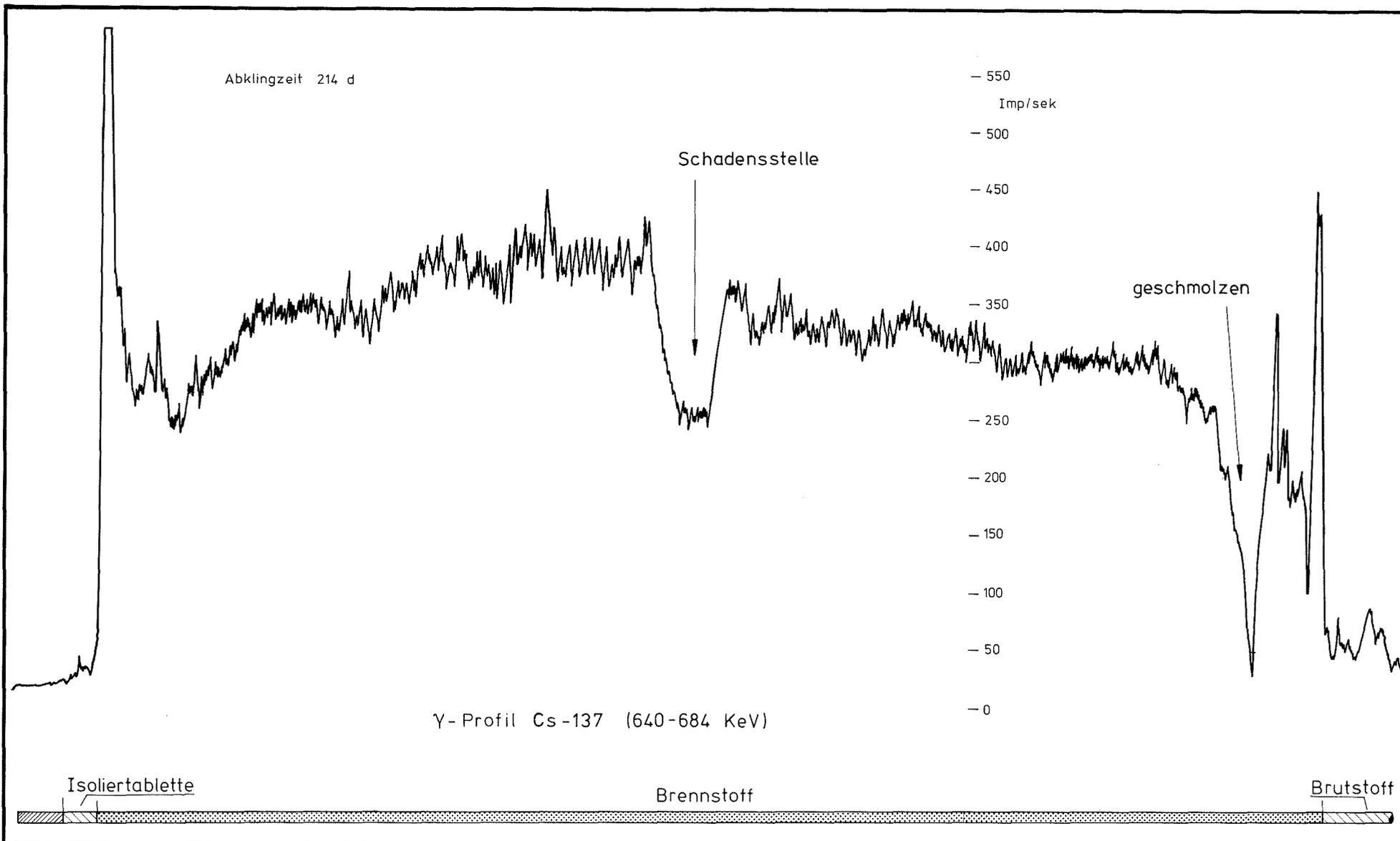
GfK Karlsruhe

γ-Profile

Abb. 48

IMF/III

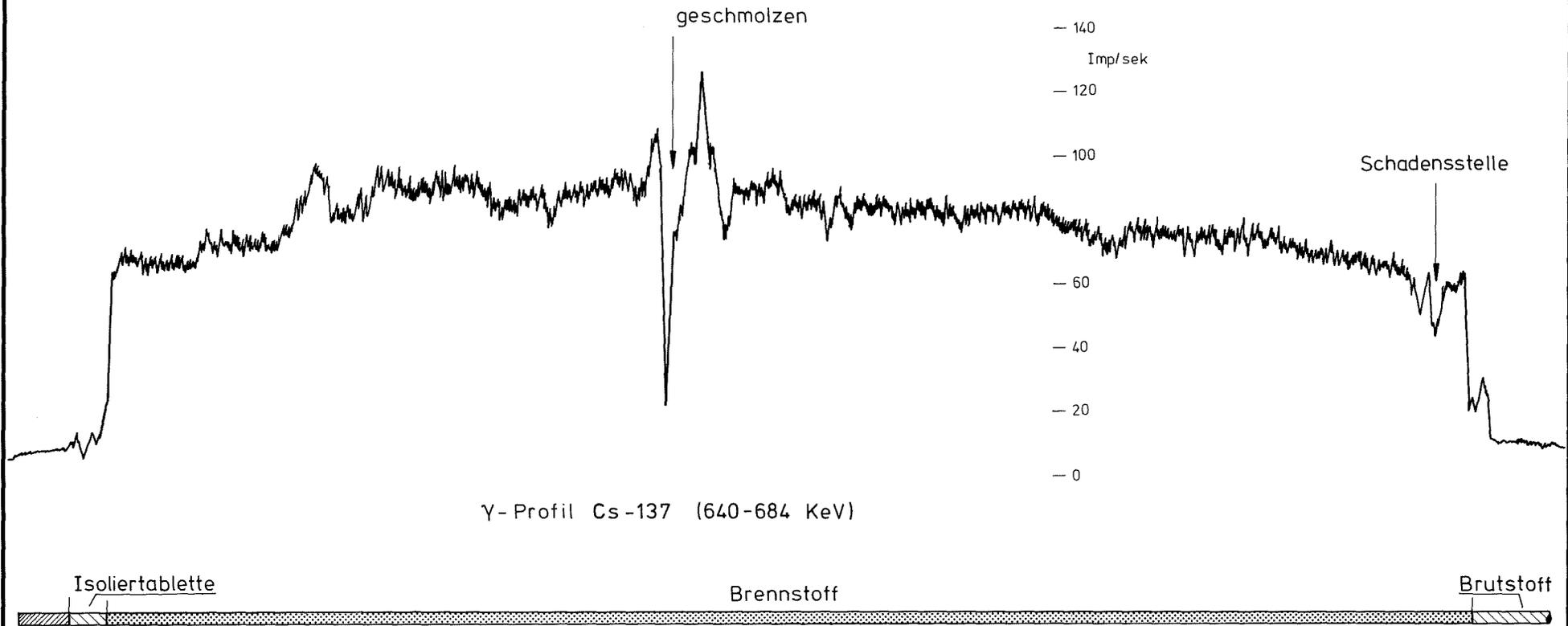
Mol 8C Stab-Nr. 7 und 8



- 115 -

|               |                   |         |
|---------------|-------------------|---------|
| GfK Karlsruhe | Y-Profile         | Abb. 49 |
| IMF/III       | Mol 8C Stab-Nr. 9 |         |

Abklingzeit 143 d



γ-Profil Cs-137 (640-684 KeV)

Isolierplatte

Brennstoff

Brutstoff

GfK Karlsruhe

γ-Profil

Abb. 50

IMF/III

Mol 8C Stab-Nr. 10

Beide Effekte sind hauptsächlich infolge instationärer Vorgänge wirksam geworden; dies ist aus Abbildung 51 zu ersehen. Es sind hier die maximalen Hülldehnungen der Prüflinge als Funktion des Abbrandes am "Hotspot" aufgetragen. Es existiert keine Korrelation zwischen Abbrand und Größe der Hülldehnung. Daraus ist zu schließen, daß das Brennstoffschwellen und die Spaltgasfreisetzung (in direkter Weise) keinen wesentlichen Beitrag zur mechanischen Belastung der Hülle liefern. Dies wurde auch schon von anderer Seite für oxidische Brennstäbe festgestellt /13/.

Da die Prüflinge unterschiedliche Schmierdichten (83,86 und 90 % TD) hatten, wurden in der Abbildung 52 die maximalen Hülldehnungen  $(\Delta d/d)_{\max}$ . (die Spitzen sind dabei aber unberücksichtigt) als Funktion der Schmierdichte aufgetragen. Die Stäbe mit der Schmierdichte von 83 % TD haben relativ kleine Hüllverformungen erfahren. Doch zeigen die Prüflinge mit 90 % TD Schmierdichte gravierende Unterschiede in den Hülldehnungen, die sich nur durch die unterschiedliche Belastung aufgrund von Lastwechseln erklären lassen. Aus Abbildung 52 ist weiter zu ersehen, daß die axiale Rückhaltung keinen großen Effekt hat.

In /14, 15 und 16/ wurde gezeigt, daß die Leistungsrampen in Zahl und Höhe in entscheidender Weise für die bei den Prüflingen der FR2-Kapselversuchsgruppen 4b und 5b aufgetretenen Hüllverformungen verantwortlich sind. Innerhalb eines gewissen Streubereiches sind die relativen Hülldehnungen  $\Delta d/d$  der Summe der "normierten" positiven Leistungssprünge  $\Sigma \Delta \chi^{\text{norm}}$   $(\Delta \chi^{\text{norm}} = (\chi_2 - \chi_1) / \chi_1)$

$\chi_2$  = Stableistung zu Beginn des neuen Zyklus,

$\chi_1$  = Stableistung zu Ende des alten Zyklus

direkt proportional, d.h. je größer der Wert von  $\Sigma \Delta \chi^{\text{norm}}$ , umso größer waren auch die Hülldehnungen bei den Prüflingen der beiden genannten Versuchsgruppen. Die Hülltemperaturen lagen dabei so niedrig, daß das Hüllkriechen (Vg5b) /15/ keine Rolle bzw. nur bei den Prüflingen einiger Kapselversuchseinsätze (Vg4b) eine gewisse Rolle gespielt hat /14/.

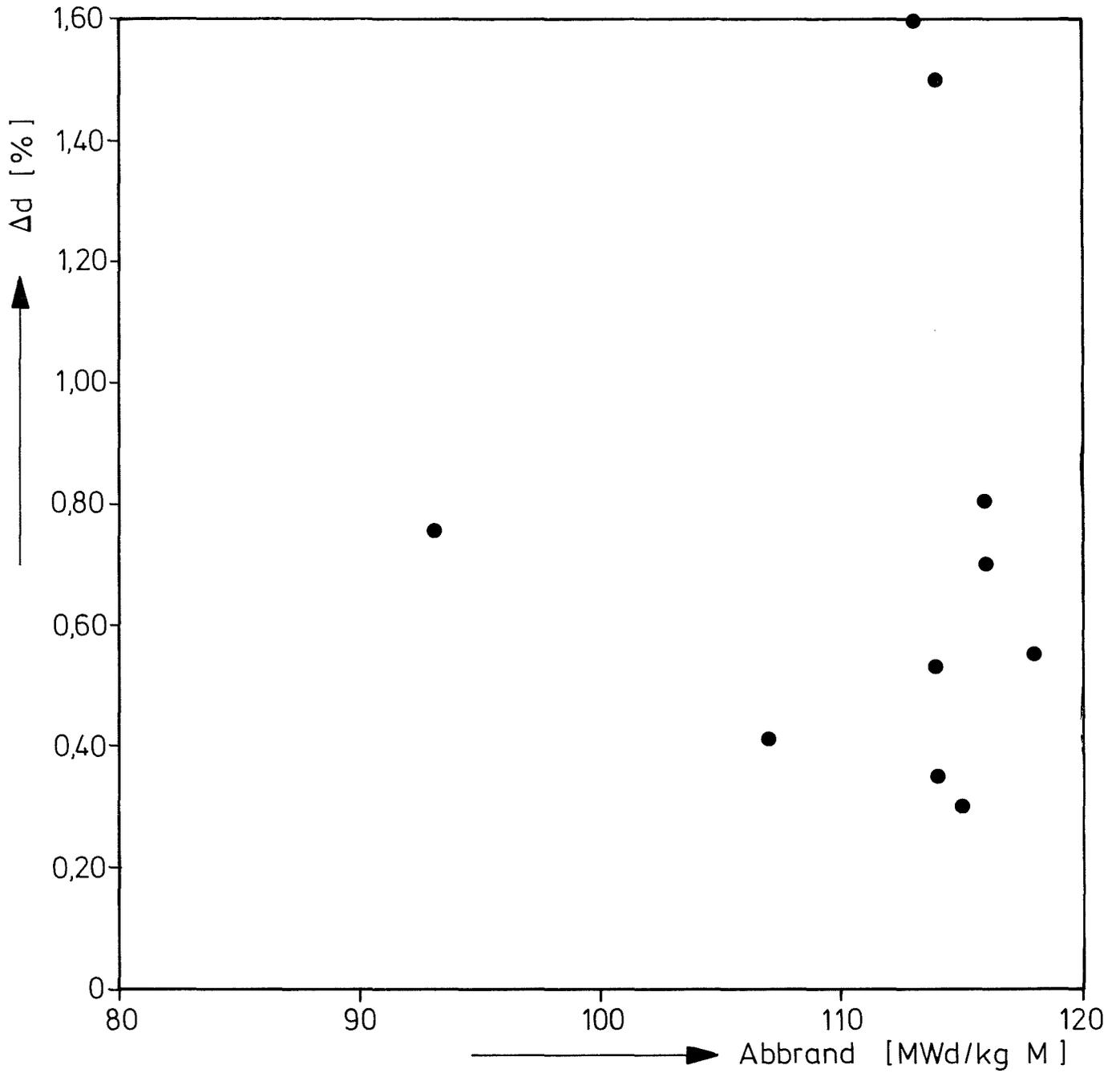


Abb. 51: Maximale Hülldehnung als Funktion des Abbrandes am "Hotspot"

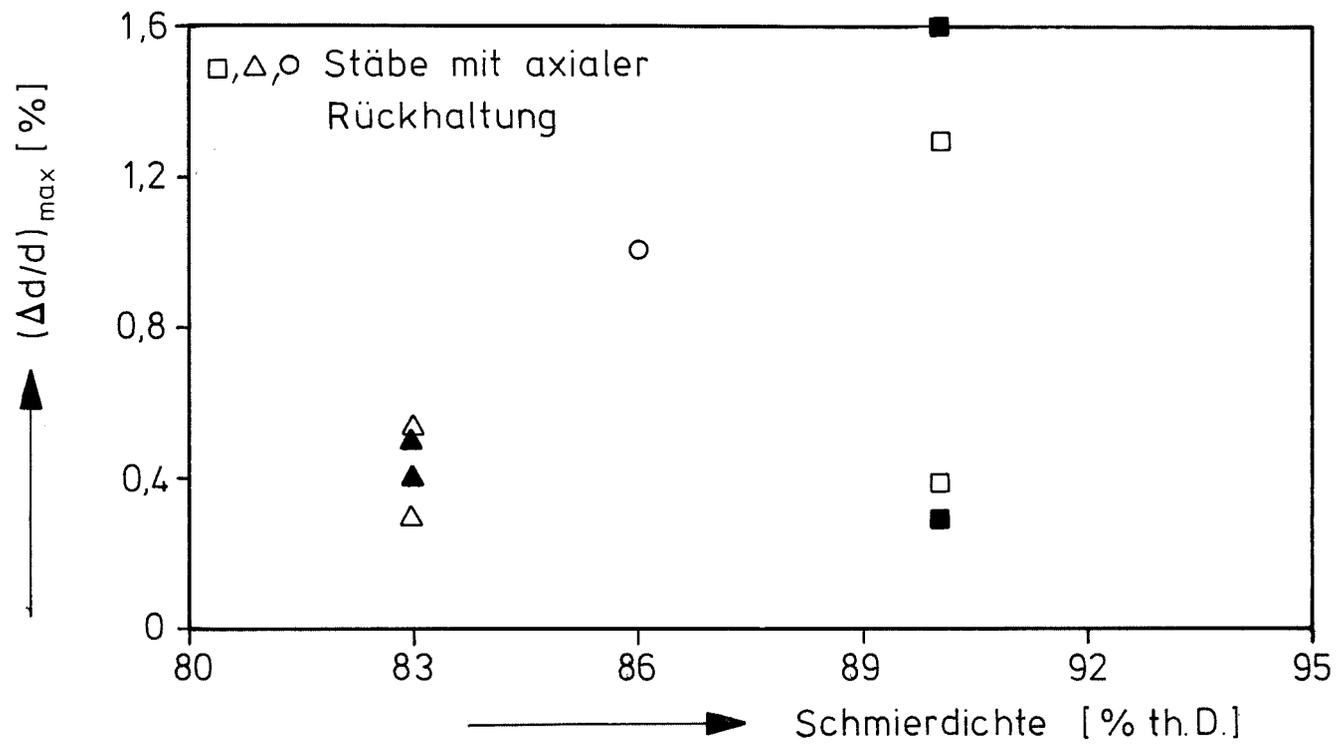


Abb.52: Maximale Hülldehnungen als Funktion der Schmierdichte

Bei der Vg Mol 8C wurden nun teilweise Hüllaußentemperaturen von mehr als 600°C erreicht. Es ist also anzunehmen, daß das Hüllkriechen dabei eine bedeutende Rolle gespielt haben muß. Letzteres soll im folgenden untersucht werden.

Für einige Stäbe (8C-1, 8C-2, 8C-4 und 8C-7) wurde  $\Sigma\Delta\chi^{\text{norm}}$  bei verschiedenen TE-Positionen berechnet und in den Abbildungen 53 - 56 über der Stablänge zusammen mit den gemessenen Hülldehnungen aufgetragen. Man erhält so eine gewisse Vorstellung über den axialen Verlauf der Hüllbelastung durch Leistungsrampen. Wie man sieht, ergibt sich für alle untersuchten Stäbe prinzipiell der gleiche Verlauf von  $\Sigma\Delta\chi^{\text{norm}}$ : die Ausgleichsgeraden dieser Größe steigen von links nach rechts mehr oder minder steil an. Die Belastung der Hülle durch Leistungsrampen sollte also am oberen Ende der Brennstoffsäule am größten gewesen sein.

Dabei sind aber verschiedene Effekte wie Rißausheilung und "Relocation" des Brennstoffs noch nicht berücksichtigt. Diese haben sicher einen Einfluß auf die mechanische Belastung der Hülle und sollten in starkem Maße von der Brennstofftemperatur abhängen /13/. Lag nun ein starker axialer Gradient in der linearen Stableistung vor (dies ist bei den Prüflingen der Vg Mol 8C der Fall), dann muß auch ein starker axialer Temperaturgradient geherrscht haben. In den axialen Bereichen mit maximaler Stableistung (und maximaler Hülltemperatur) dürfte sich der Brennstoff durch Zyklieren stärker nach außen geschoben haben als in den kälteren Zonen. Dies würde bedeuten, daß die axiale Verteilung von  $\Sigma\Delta\chi^{\text{norm}}$  nicht mehr der axialen Verteilung der mechanischen Belastung der Hülle durch Leistungsrampen entspricht.

Leider liegen im Moment noch keine experimentellen Daten über die Temperaturabhängigkeit der beiden oben genannten Effekte vor, so daß man sich im Moment mit der Größe  $\Sigma\Delta\chi^{\text{norm}}$  als Maß für die Hüllbelastung durch Leistungsrampen behelfen muß. (Bei den Prüflingen der Vg 4b und Vg 5b war diese Größe ausreichend, da aufgrund der geringen Höhe der Brennstoffsäule (ca. 80 mm) ein axialer Leistungsgradient nicht ins Gewicht fiel).

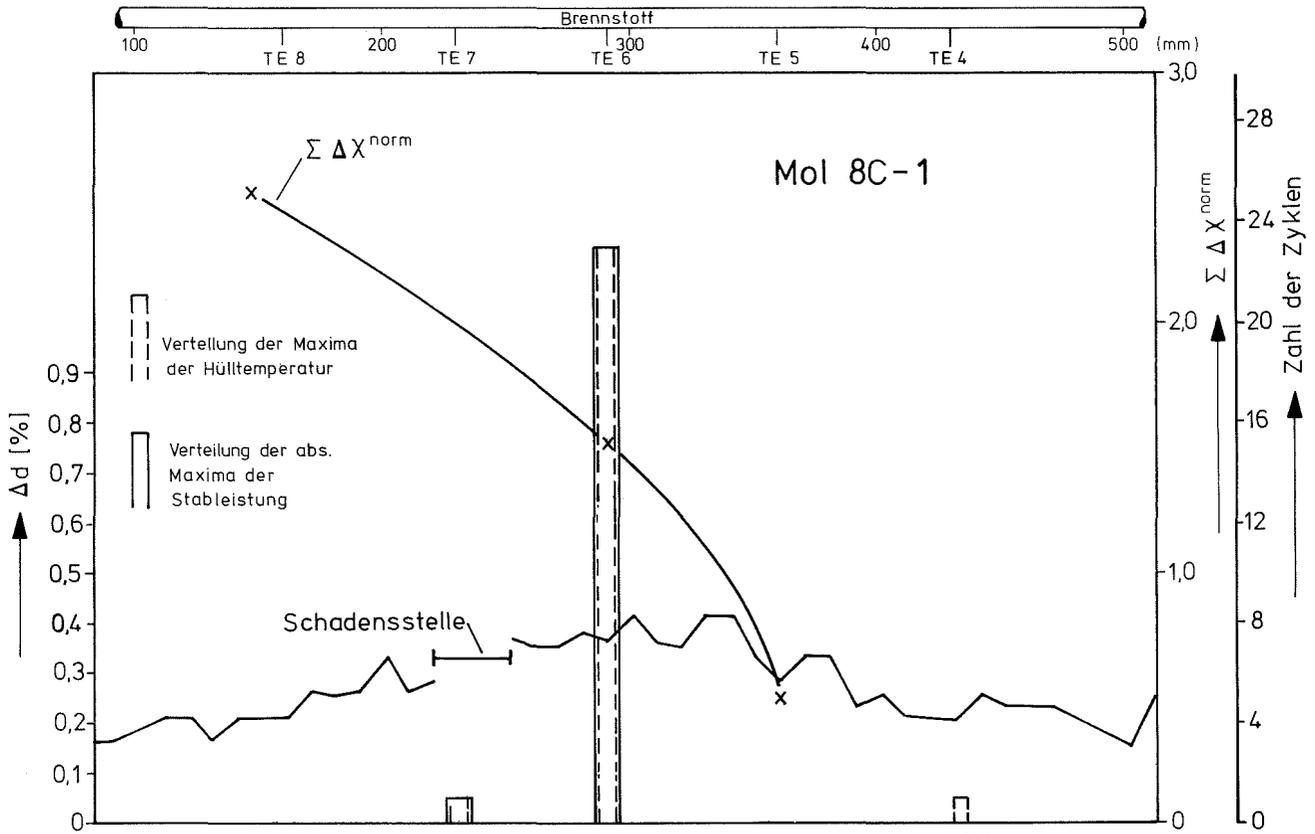


Abb.53: Hülldehnungen  $\Delta d/d$ , Summe der "normierten" Leistungssprünge  $\Sigma \Delta X^{norm}$  und Häufigkeit der Maxima von Hülltemperatur und Stableistung entlang der Brennstoffsäule

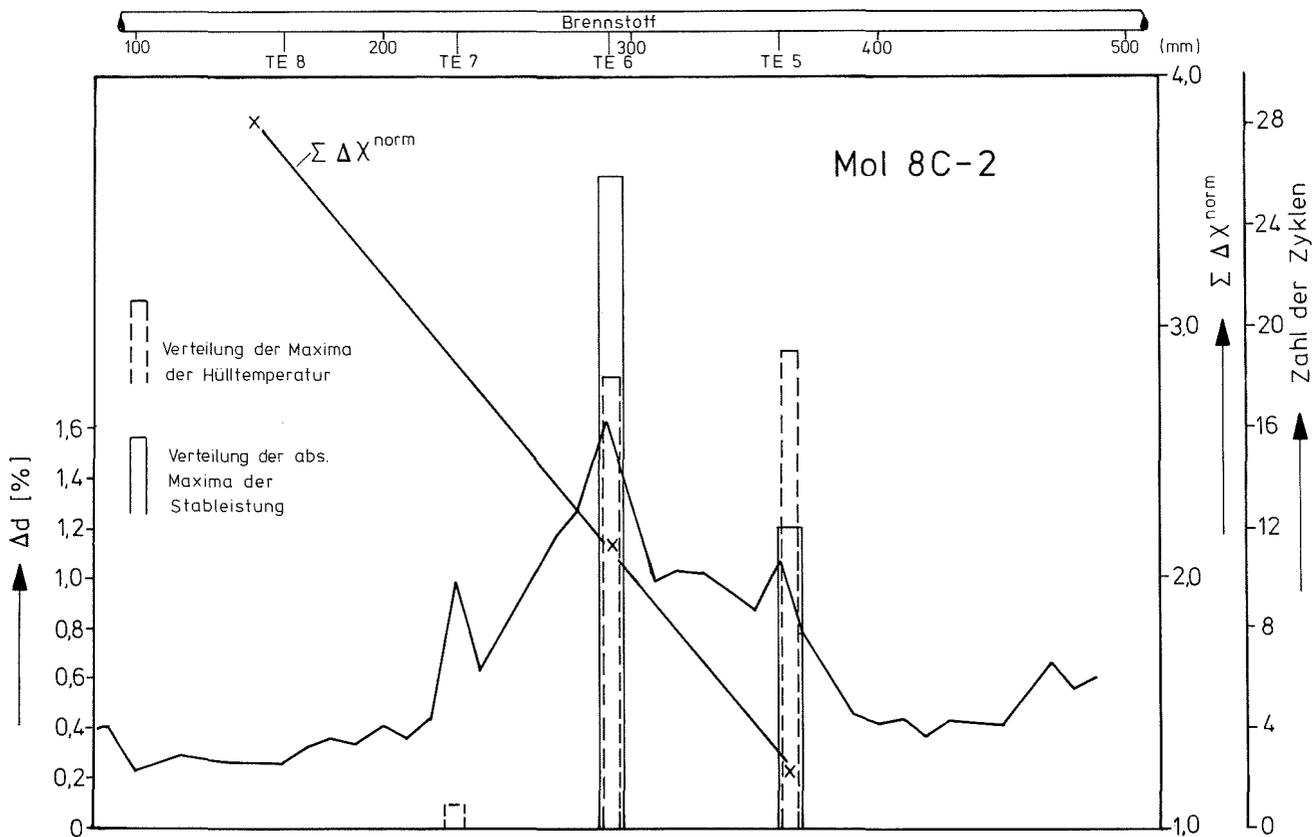


Abb.54: Hülldehnungen  $\Delta d/d$ , Summe der "normierten" Leistungssprünge  $\Sigma \Delta X^{norm}$  und Häufigkeit der Maxima von Hülltemperatur und Stableistung entlang der Brennstoffsäule

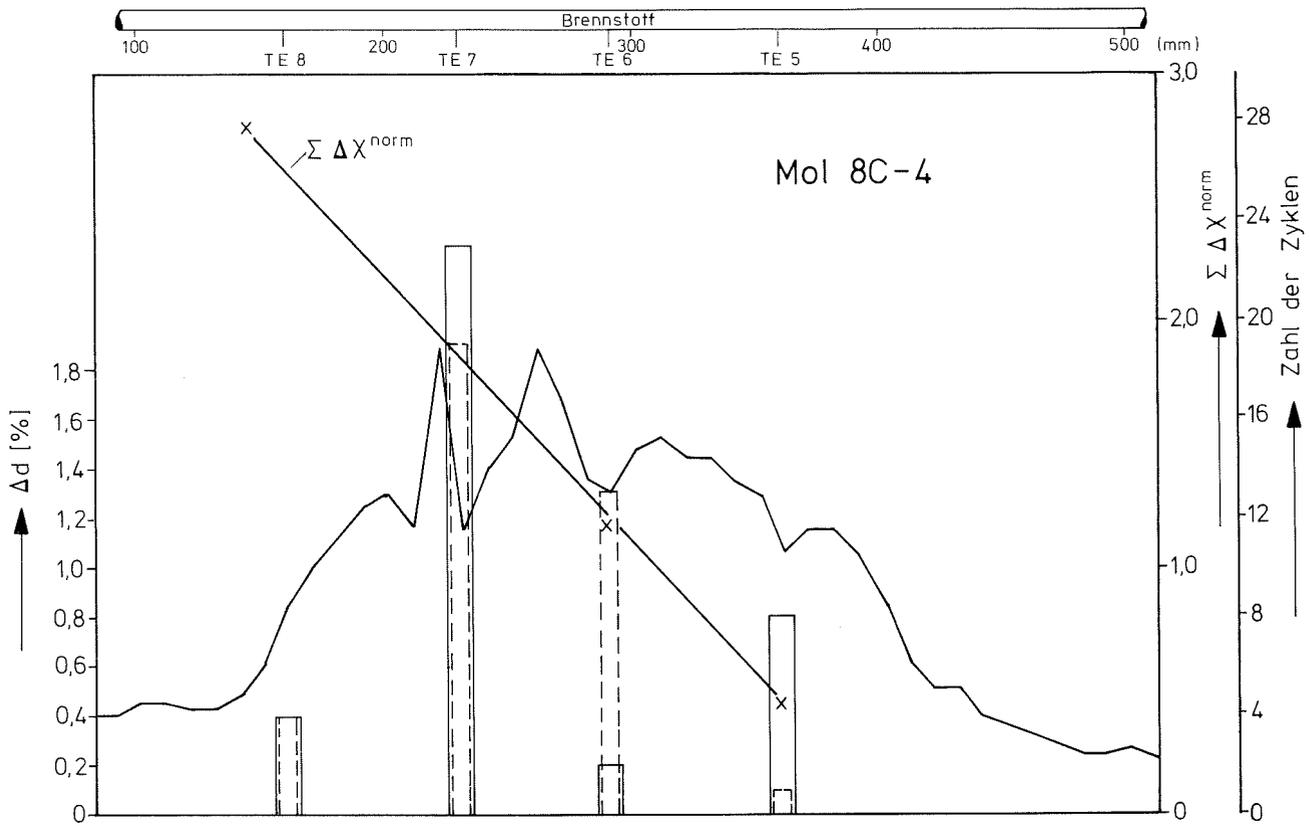


Abb.55: Hülldehnungen  $\Delta d/d$ , Summe der "normierten" Leistungssprünge  $\Sigma \Delta X^{norm}$  und Häufigkeit der Maxima von Hülltemperatur und Stableistung entlang der Brennstoffsäule

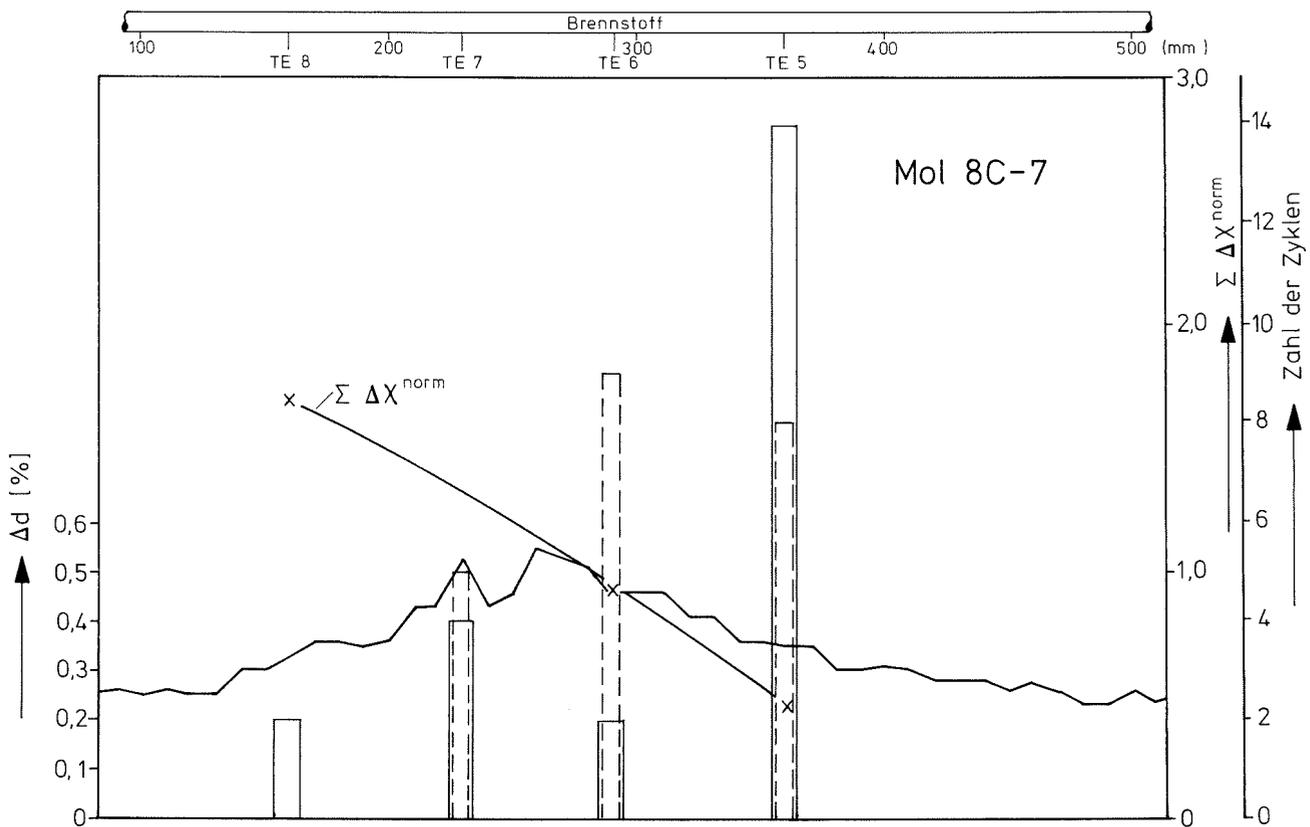


Abb.56: Hülldehnungen  $\Delta d/d$ , Summe der "normierten" Leistungssprünge  $\Sigma \Delta X^{norm}$  und Häufigkeit der Maxima von Hülltemperatur und Stableistung entlang der Brennstoffsäule

Der Verlauf von  $\Sigma\Delta\chi^{\text{norm}}$  über die Länge der Brennstoffsäule ist nun gänzlich verschieden von dem der Hülldehnungen; da wo  $\Sigma\Delta\chi^{\text{norm}}$  groß ist, sind die Hülldehnungen klein. Zudem sind diese, grob gesprochen, symmetrisch bezüglich des Maximums (soweit vorhanden).

Man muß also annehmen, daß der durch thermische Differenzdehnung bei Leistungsrampen sich aufbauende Kontaktdruck zwischen Brennstoff und Hülle beschränkt geblieben ist, so daß die Fließgrenze des Hüllmaterials kaum überschritten wurde. Die Ursache dafür ist in der speziellen Form des Anfahrens zu suchen. Bei allen Zyklen wurde der Reaktor nur bis zu höchstens 80 % Nominalleistung "schnell" hochgefahren; der restliche Leistungsanstieg fand dann so langsam statt, daß die Spannungen im Brennstoff schnell genug relaxieren konnten und ein weiterer Aufbau des Kontaktdrucks verhindert wurde.

In /17/ wurde gezeigt, daß bei den Prüflingen der Vg 5b aller Wahrscheinlichkeit nach, nur Leistungssprünge größer 20 % zu Hülldehnungen aufgrund des Überschreitens der Fließgrenze geführt haben. Wenn man diesen Wert als repräsentativ akzeptiert, dann muß man schließen, daß bei allen Prüflingen der Vg Mol 8C nur Leistungssprünge größer ca. 40 % zu Hüllaufweitungen aufgrund von Fließen des Hüllmaterials geführt haben können. Da nun die Prüflinge von Mol 8C nur wenige solcher Leistungsrampen erfahren haben, wäre damit geklärt, warum hohe Werte von  $\Sigma\Delta\chi^{\text{norm}}$  so geringe Hüllaufweitungen zur Folge hatten.

Die charakteristische Form der Hülldehnungen deutet nun darauf hin, daß das Hüllkriechen eine bedeutende Rolle gespielt hat. Nach dem in /13/ entwickelten Modell zur Berechnung der Hülldehnungen aufgrund plastischen Fließens sollte unter der Annahme von realistischen Werten für die Plastizitätstemperatur die Hülldehnung an den kälteren axialen Zonen stärker sein als in der Zone maximaler Stabileistung und Hülltemperatur. Es wird in /13/ ein deutliches Minimum in der letzteren Zone vorhergesagt.

Dies widerspricht nun den bei den Prüflingen von Mol 8C gefundenen experimentellen Tatsachen. In /13/ wurde das Hüllkriechen unberücksichtigt gelassen; es sollen deshalb im folgenden die Hüllverformungen unter diesem Aspekt diskutiert werden.

Die Kriechraten und damit auch die Kriechdehnungen in der Hülle sind in erster Linie Funktionen der Hülltemperatur und -spannung und der Zeit, während der die Hülle unter mechanischer Belastung steht. Die wichtigste Variable sollte aber die Hülltemperatur sein, da die Kriechrate exponentiell von dieser Größe abhängt. Die axiale Verteilung der Hülltemperatur bei den Prüflingen von Mol 8C hat sich nun von Zyklus zu Zyklus geändert, insbesondere lag das Maximum nicht ständig an derselben Stelle.

Es wurde deshalb die Häufigkeit des Maximums der Hülltemperatur  $T_{Ha}^{max}$  (und der Stabileistung  $\chi^{max}$ ) bei den jeweiligen TE-Positionen bestimmt und in den Abbildungen 53 - 62 aufgetragen. Man erhält so eine Vorstellung, in welcher axialen Zone die Hülltemperatur am häufigsten ihr Maximum hatte. Diese Maxima lagen nun am häufigsten bei den TE's 5, 6 und 7, also in dem Bereich, in dem auch die Hülldehnungen maximal sind (soweit überhaupt ein charakteristisches Maximum vorhanden ist). Bis auf die beiden Prüflinge 8C-9 und 8C-10, die beide einen Hüllschaden zeigten, ist die Korrelation zwischen dem Maximum in der Häufigkeit von  $T_{Ha}^{max}$  und dem der Hülldehnung (soweit vorhanden) relativ gut. Die steilen Spitzen in der Hülldehnung, die man bei einigen Prüflingen (z.B. beim 8C-2) an den TE-Positionen findet, dürften durch TE-Teste nach der Demontage zu erklären sind.

Über die absolute Höhe von  $T_{Ha}^{max}$  ist in der Häufigkeitsverteilung keine Aussage gemacht, ebenso nicht über Dauer und Größe der mechanischen Belastung der Hülle. Damit dürfte zu erklären sein, warum bei einigen Prüflingen (z.B. beim 8C-6) die Hülldehnungen über die ganze axiale Länge der Brennstoffsäule klein sind und warum insbesondere kein charakteristisches Maximum in der Hüllverformung zu finden ist.

Beim Prüfling 8C-6 war die Größe von  $\Sigma\Delta\chi^{norm}$  durchaus vergleichbar mit der anderer Prüflinge, die weitaus größere Hülldehnungen erfahren haben. Ist die Annahme richtig, daß die Hülldehnungen hauptsächlich auf Hüllkriechen zurückzuführen sind, dann müssen beim 8C-6 die Hülltemperaturen niedrig gewesen sein.

Ein nennenswertes Kriechen der Hülle findet natürlich nur dann statt, wenn die Hülle unter starker mechanischer Belastung steht, also Kontaktdruck zwischen Hülle und Brennstoff herrscht. Nach der Diskussion zu Beginn des Abschnitts kann dies nur bei instationären Vorgängen der Fall gewesen sein und zwar in erster Linie bei den Leistungsrampen.

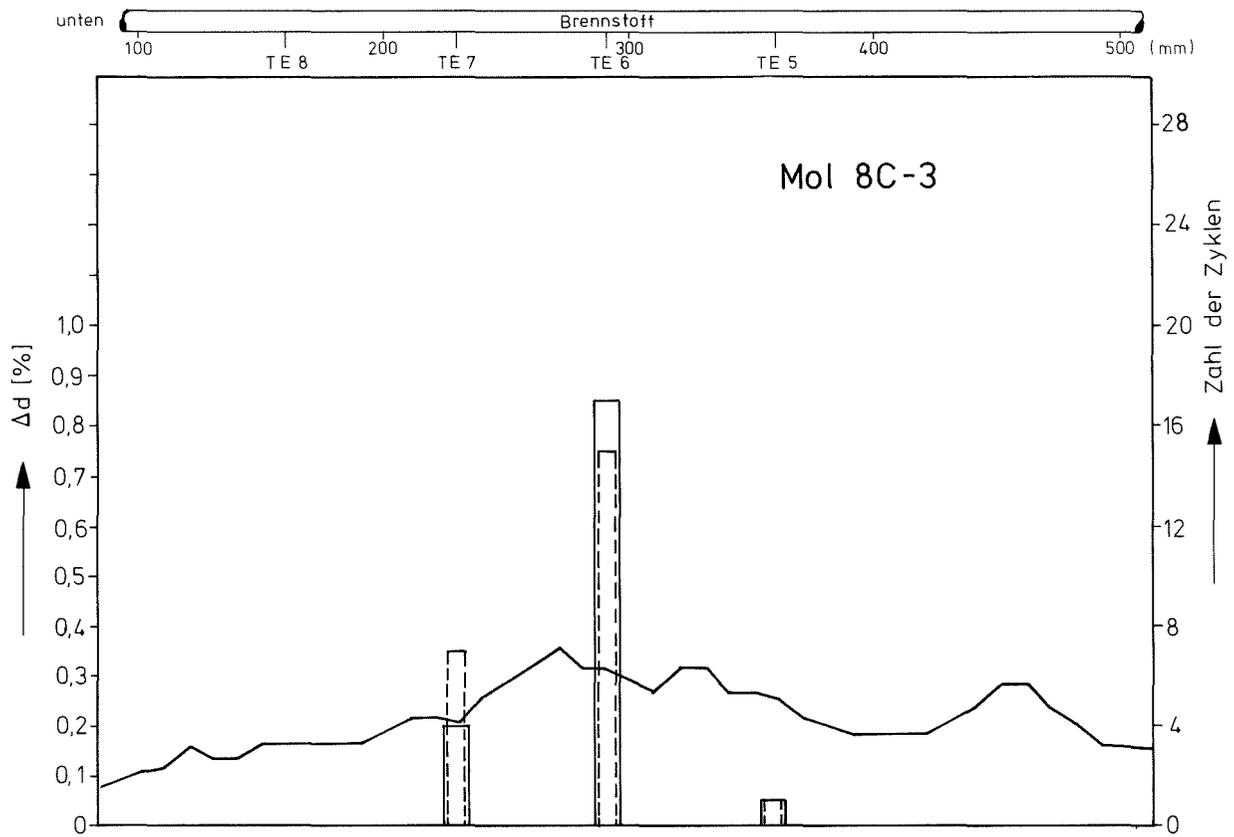


Abb.57:Hülldehnungen  $\Delta d/d$  und Häufigkeit der Maxima von Hülltemperatur und Stableistung entlang der Brennstoffsäule

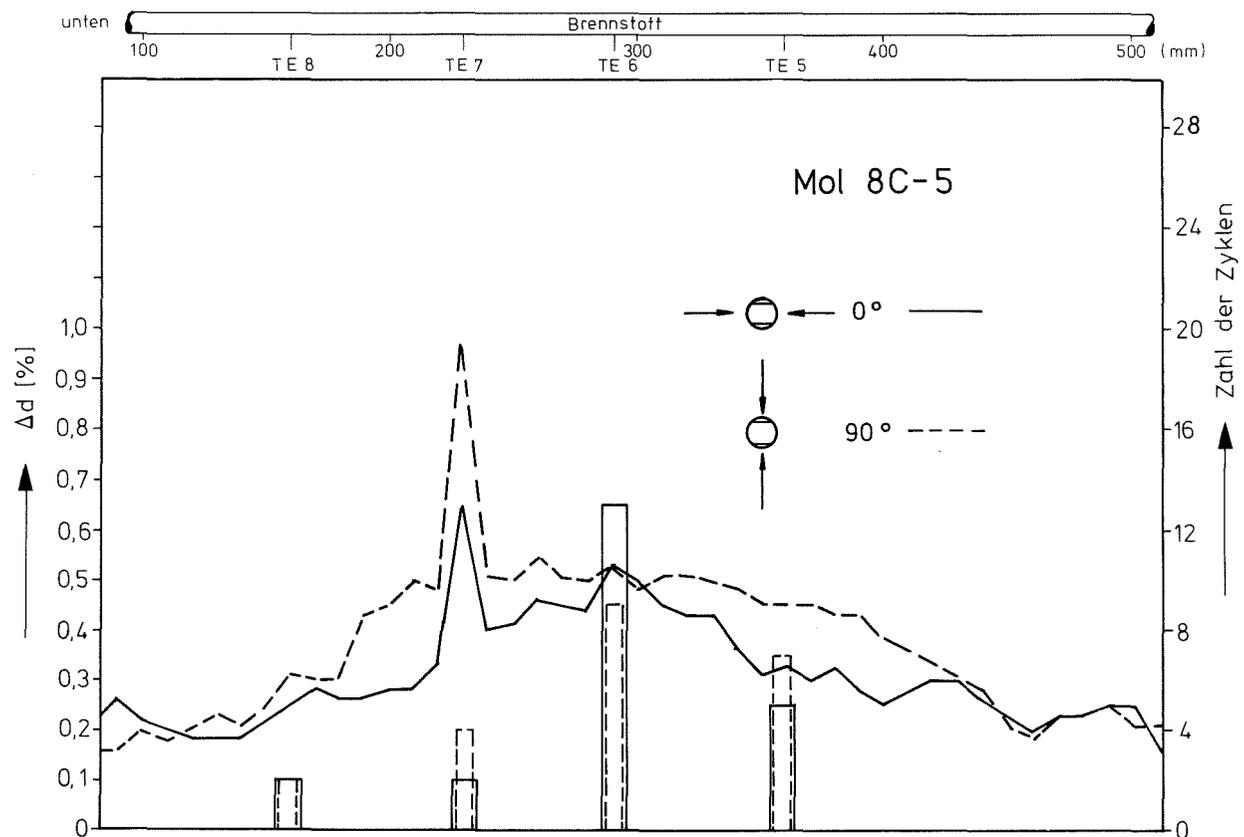


Abb.58:Hülldehnungen  $\Delta d/d$  und Häufigkeit der Maxima von Hülltemperatur und Stableistung entlang der Brennstoffsäule

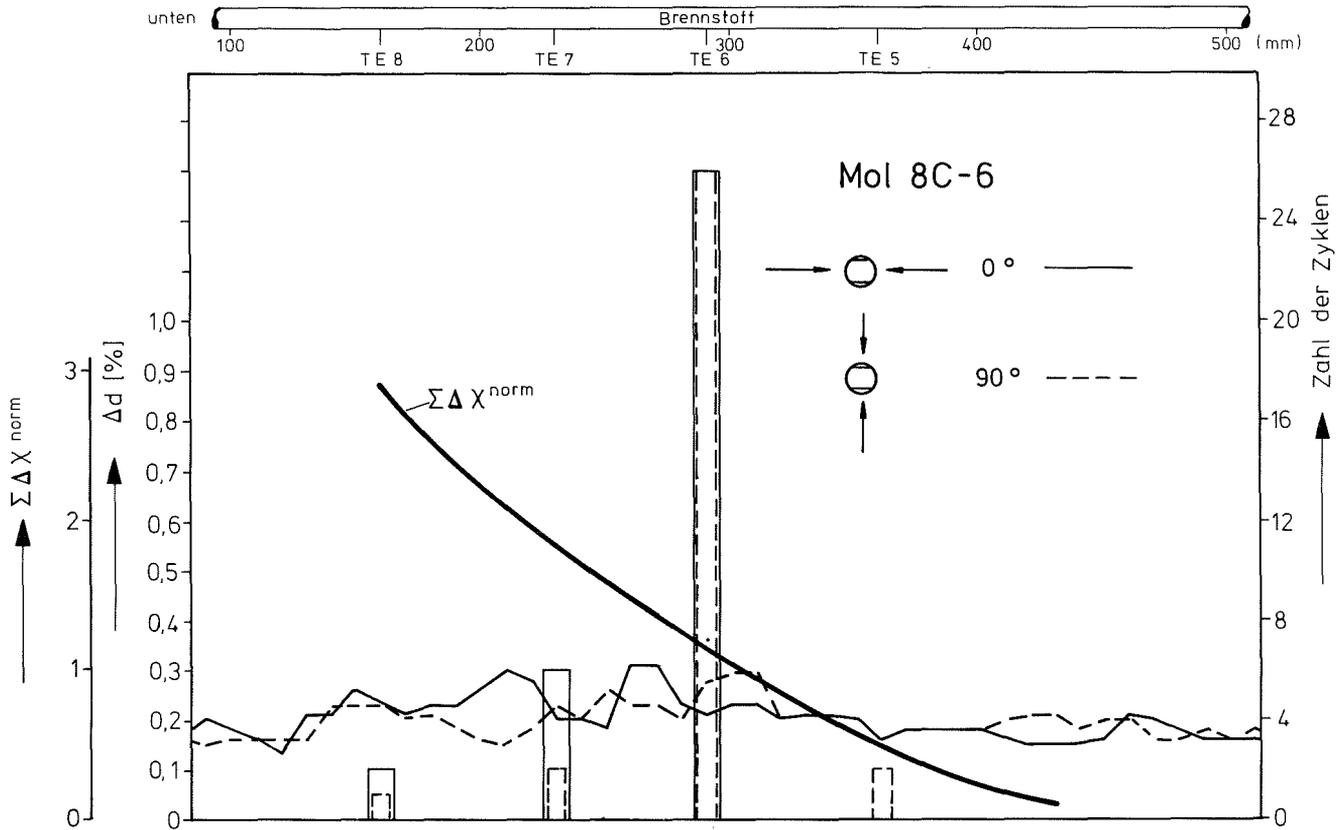


Abb.59: Hülldehnungen  $\Delta d/d$  und Häufigkeit der Maxima von Hülltemperatur und Stableistung entlang der Brennstoffsäule

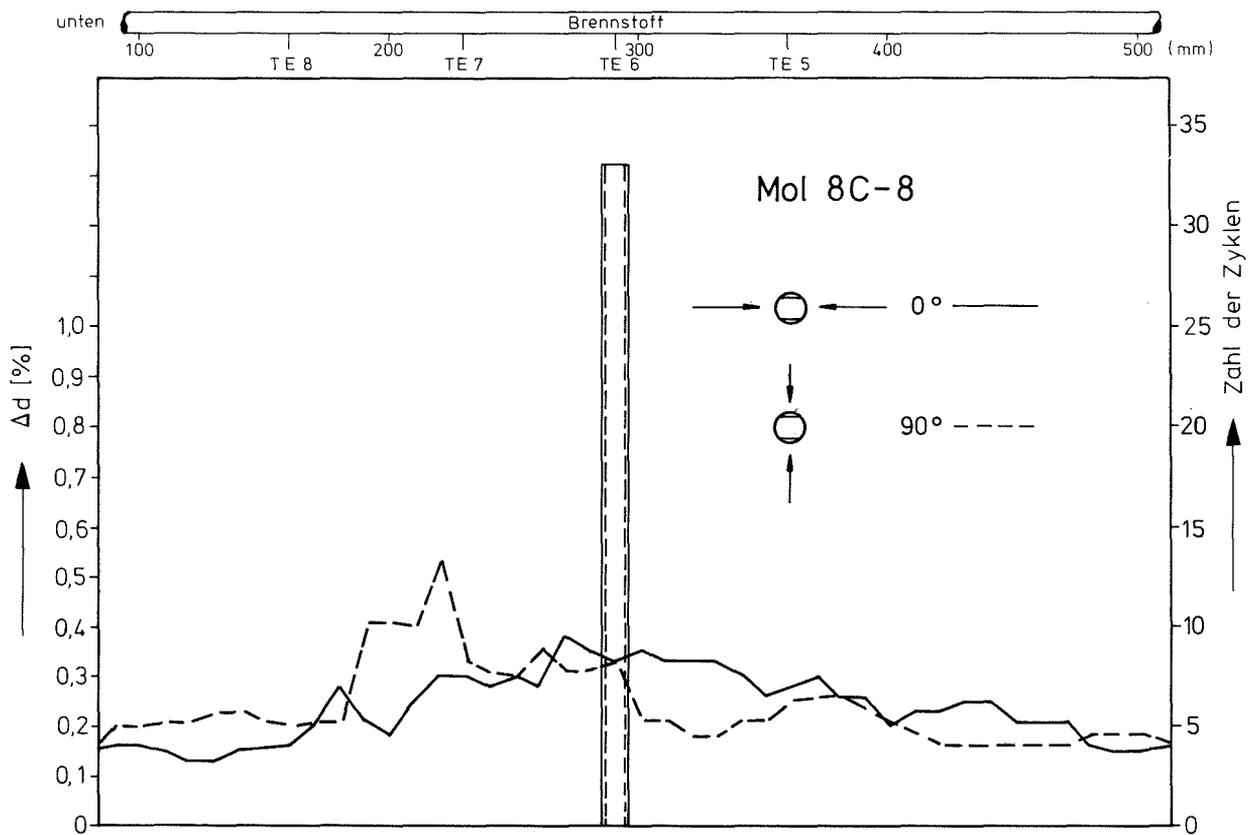


Abb.60: Hülldehnungen  $\Delta d/d$  und Häufigkeit der Maxima von Hülltemperatur und Stableistung entlang der Brennstoffsäule

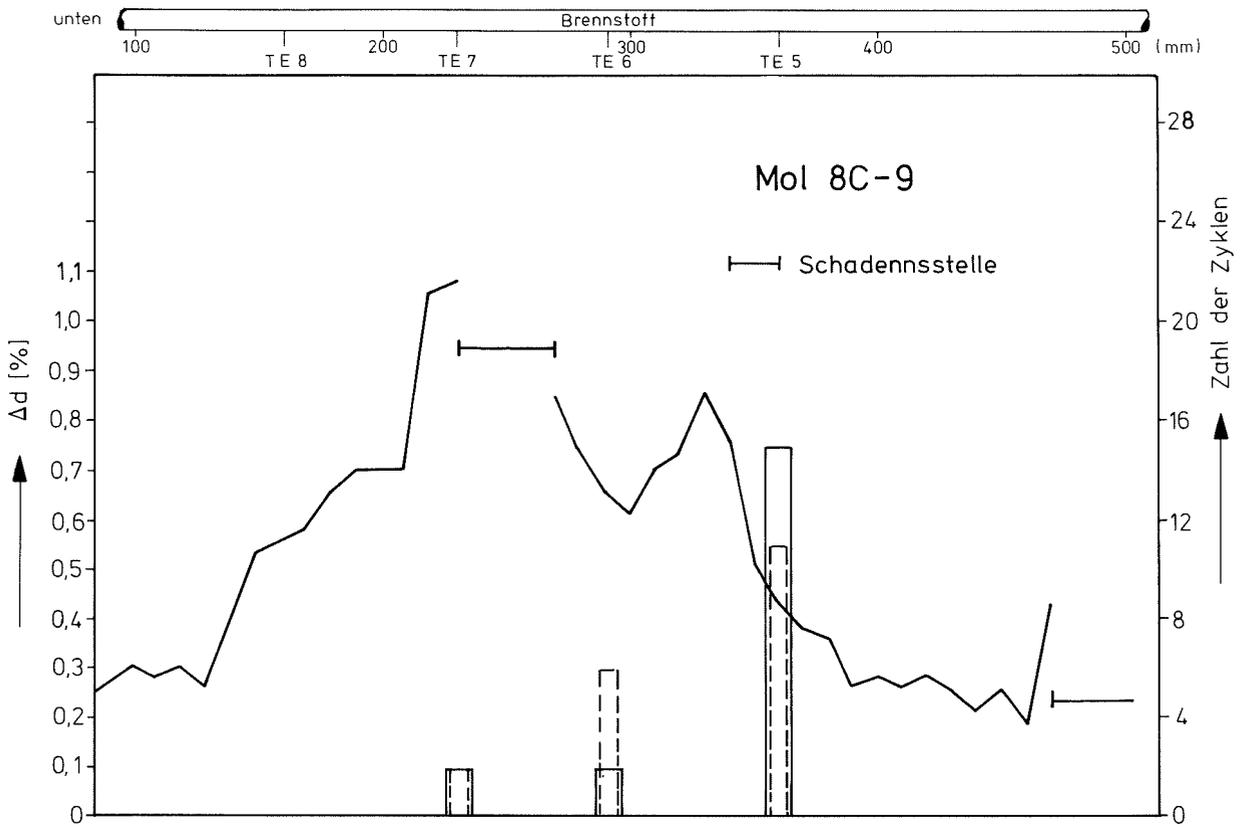


Abb.61:Hülldehnungen  $\Delta d/d$  und Häufigkeit der Maxima von Hülltemperatur und Stobleistung entlang der Brennstoffsäule

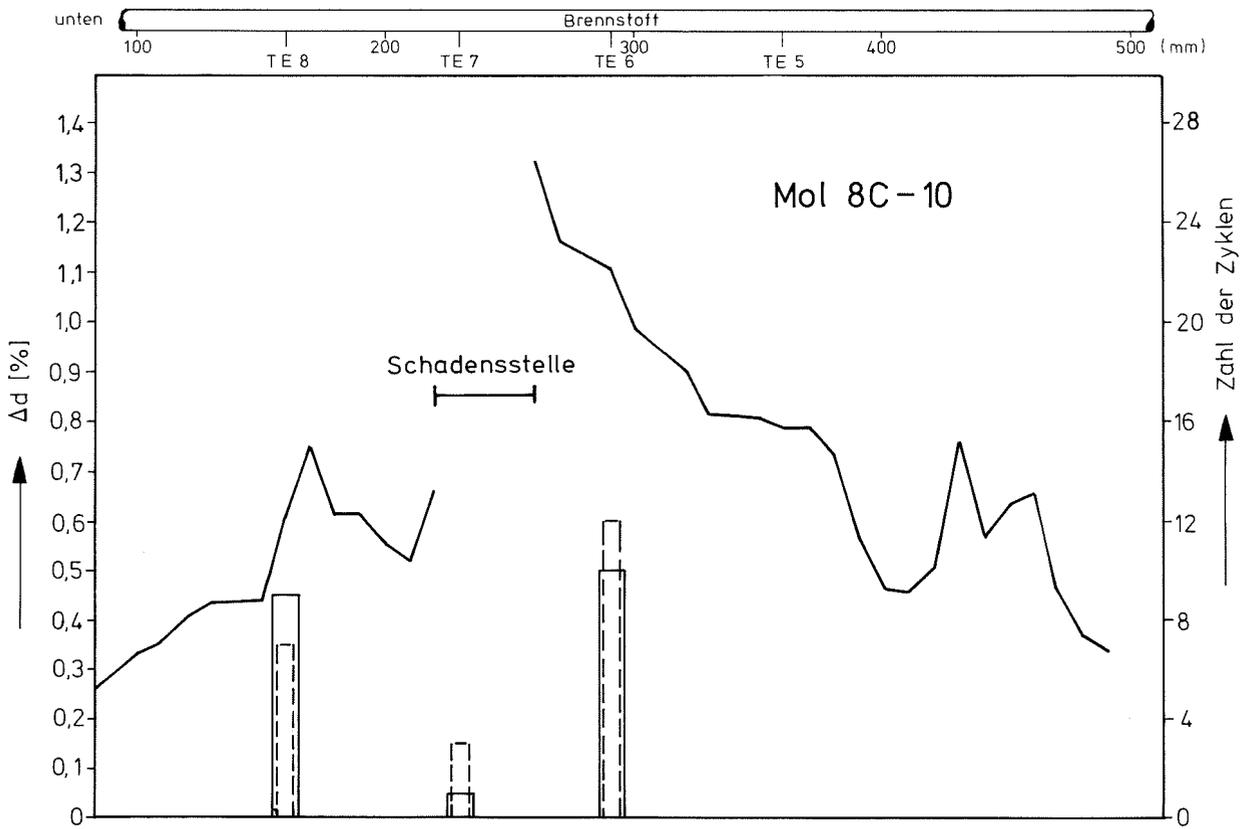


Abb.62:Hülldehnungen  $\Delta d/d$  und Häufigkeit der Maxima von Hülltemperatur und Stobleistung entlang der Brennstoffsäule

In Abbildung 63 wurden deshalb für den 8C-6 die Hülltemperaturen bei Beginn der Zyklen mit den größten Leistungsrampen gegen die axiale Höhe  $z$  aufgetragen. Wie man sieht, wird dabei eine Temperatur von  $450^{\circ}\text{C}$  nicht wesentlich überschritten. Die Hülltemperaturen des Prüflings 8C-6 waren also in den entscheidenden Phasen niedrig.

In der Abbildung 64 wurden im Gegensatz dazu die Hülltemperaturen des Prüflings 8C-2 aufgetragen (auch wieder zu Beginn der Zyklen mit den größten Leistungsrampen). Hier liegen die Hülltemperaturen im relevanten axialen Bereich zum Teil wesentlich höher; beim TE 6 wurden ca.  $600^{\circ}\text{C}$  erreicht. Aus dem axialen Verlauf der Hülltemperatur läßt sich aber der axiale Verlauf der Hülldehnung qualitativ schwerlich verstehen. Es ist z.B. nicht zu verstehen, warum beim TE 7 die Höhe des 8C-2 so wenig gedehnt ist (die Spitze sei hierbei unberücksichtigt).

Dies sollte allerdings durch eine Nachrechnung mit Brennstabcodes möglich sein. Die in SATURN 1e enthaltenen Rißausheilungsmechanismen durch thermische Ausdehnung und Schwellen sind allein nicht ausreichend, um die experimentellen Gegebenheiten bei den Prüflingen der Vg Mol 8C richtig zu beschreiben; außerdem ist der "Relocation"-Effekt modellmäßig noch nicht vollständig erfaßt, insbesondere was die Abhängigkeit von der Brennstofftemperatur anbelangt. Dadurch kommt es bei Rechnungen mit SATURN 1e zu keinem nennenswerten Kontaktdruckaufbau. Ein weiterer Punkt ist der der Rechenökonomie. Die Stäbe wurden teilweise mehr als 30 Zyklen lang bestrahlt. Zur Nachrechnung der ganzen Bestrahlungsgeschichte würde SATURN 1e sehr viel Rechenzeit verbrauchen. Um aber zu quantitativen Aussagen zu kommen, müßte die Bestrahlungsgeschichte mehrerer Stäbe an mehreren axialen Schnitten nachgerechnet werden. Da das Rechenprogramm SATURN 1e noch nicht optimiert ist und noch nicht vollständig ausgetestet, würde dies einen sehr großen Zeitaufwand erfordern.

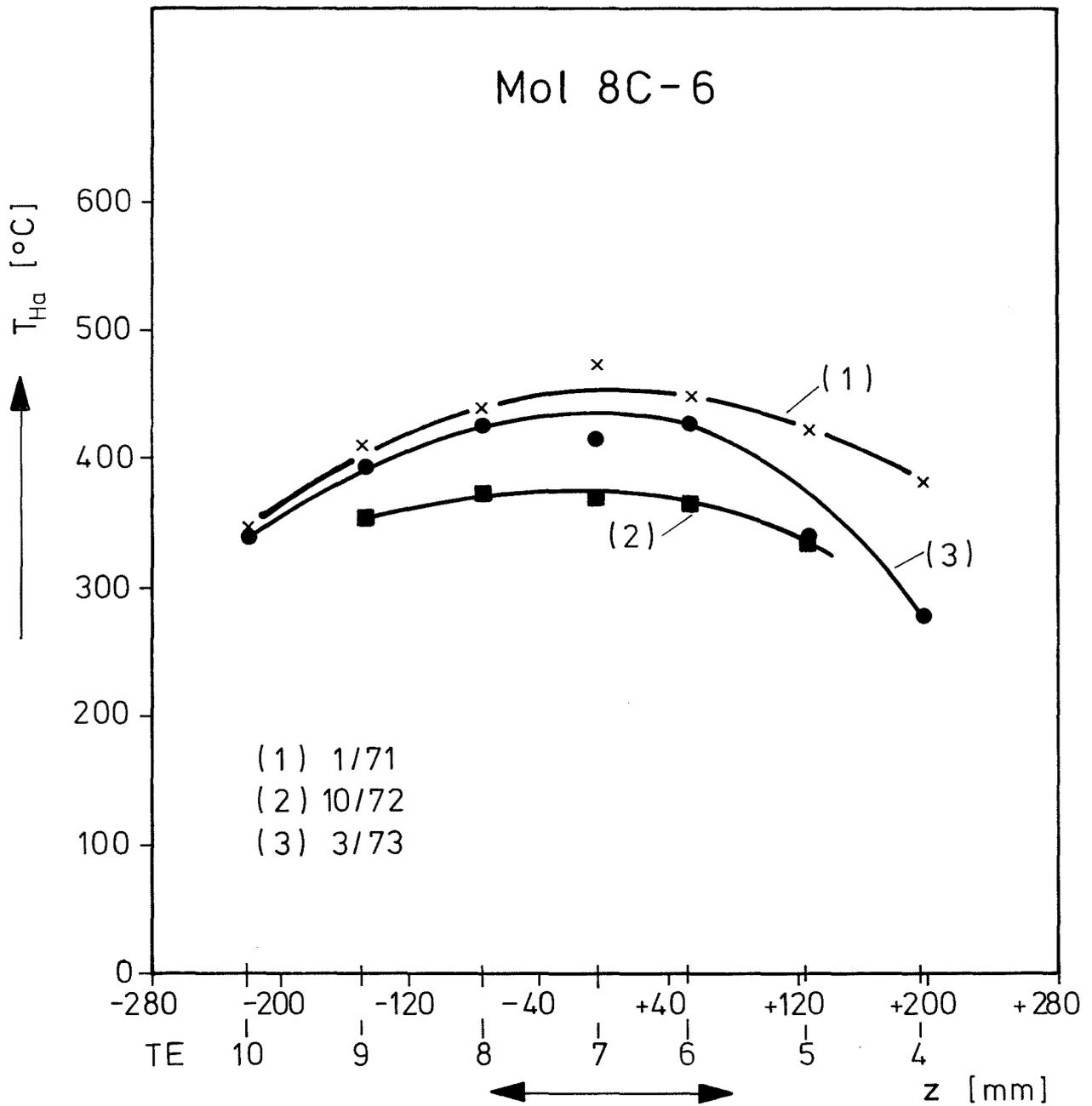


Abb.63 : Axiale Verteilung der Hüllaußentemperatur bei den größten Leistungsrampen (TE 8)

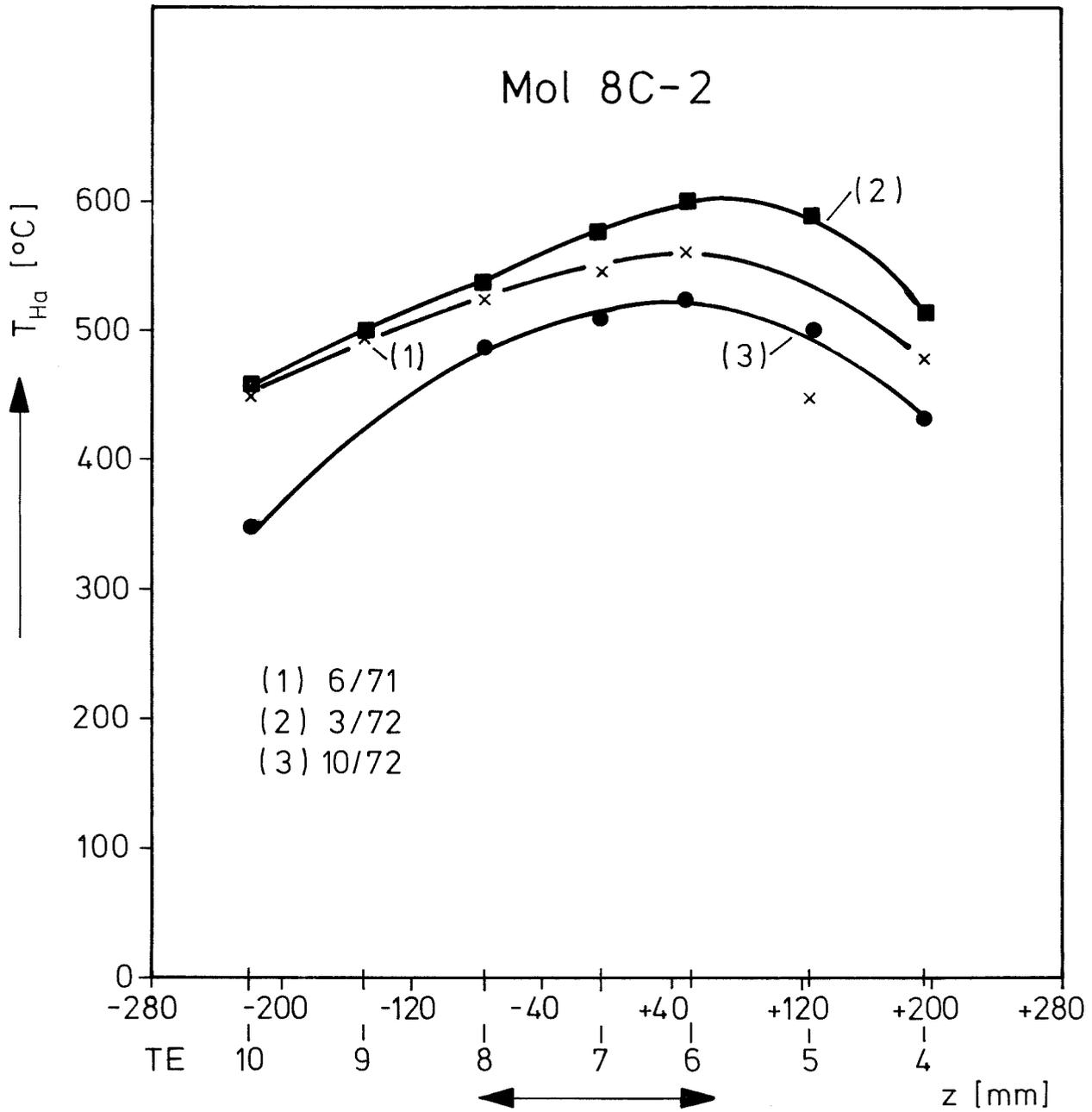


Abb.64: Axiale Verteilung der Hüllaußentemperatur bei den Leistungsrampen größer als 30 % (TE 8)

## 10. Schlußbetrachtung

Nach Abschluß der zerstörungsfreien Nachuntersuchung der 10 Stäbe der Kapselversuchsgruppe Mol 8C kann folgende Bilanz gezogen werden:

1. Die spezifikationsgemäße Stabileistung von 350 bzw. 550 W/cm und die angestrebte max. Hüllinnentemperatur von 680°C bzw. 720°C wurden erreicht.
2. Der angestrebte Abbrand von 90 MWd/kgMe wurde überschritten.
3. Bei 4 von 10 Prüflingen traten aus kapselspezifischen Gründen Heißstellen im NaK unterhalb der Abstandshalter auf, was zum Durchschmelzen der Hüllrohre führte.
4. Die axiale Rückhaltung einiger Stäbe hatte keinen großen Effekt auf die Hüllverformungen.
5. Bei den Prüflingen mit großen Hülldehnungen hat aller Wahrscheinlichkeit nach das Hüllkriechen eine entscheidende Rolle gespielt. Hüllverformungen aufgrund plastischen Fließens infolge von Lastwechseln sollten aufgrund der speziellen Form des Anfahrens beschränkt geblieben sein. Daraus kann man schließen, daß die Hülldehnungen von Oxid-Brennstäben klein bleiben sollten, wenn folgendes gewährleistet ist:
  - a) die Hülltemperaturen dürfen nicht zu hoch liegen (ein Wert von ca. 450°C sollte nicht entscheidend überschritten werden),
  - b) das Anfahren des Reaktors muß spezifiziert sein.

Nur weitere Bestrahlungsexperimente können zeigen, ob die Spezifikation, daß nur bis zu höchstens 80 % Nominalleistung "schnell" hochgefahren wird, generell ausreicht, um die mechanische Belastung der Hülle durch thermische Differenzdehnung beschränkt zu halten. Besser wäre mit Sicherheit eine Spezifikation, die sich an der Stabileistung zu Ende des vorhergehenden Zyklus orientiert.

6. Die In-Pile-Spaltgasmeßeinrichtung hat sich ausgezeichnet bewährt. Hierdurch war es möglich, die Spaltgasfreisetzungsrates im Mischoxid experimentell zu bestimmen.

11. Literatur:

- /1/ A. Gerken, K. Kummerer:  
Auslegung und Spezifikation des  $UO_2$ - $PuO_2$ -Brennstab-Bestrahlungs-  
versuches Mol 8C im BR2 (unveröffentlicht)
- /2/ G. Karsten, H. Kämpf, A. Gerken, M. Guyette:  
Theoretical and Computer Analysis on the Behaviour of Fast Reactor  
Fuel Pins and Related Parts of the Core under Operational Conditions,  
KFK 878 (1969)
- /3/ M. Guyette:  
CRASH: a Computer Programme for the Analysis of Creep and Plasticity  
in Fuel Pin Sheaths, KFK 1050 (1970)
- /4/ K.D. Closs:  
Physik.- u. mechan. Eigenschaften von Hüllmaterialien (unveröffentlicht)
- /5/ Th. Dippel, K. Kummerer:  
Herstellung Pu-haltiger Prüflinge für die Versuchsgruppe Mol 8C  
im Reaktor BR2 in Mol (unveröffentlicht)
- /6/ P.v.d.Hardt:  
Auslegung des Reaktoreinsatzes - Mol 8B  
Technical Note (unveröffentlicht)
- /7/ M. Heck:  
Anfahrbedingungen des BR2 (unveröffentlicht)
- /8/ R. Kirchner:  
AG-Mol-Berichte (unveröffentlicht)
- /9/ J. van Loy:  
Capsules with Fission Gas Pressure Measurement Mol 8C-Project  
Technical Note (unveröffentlicht)

- /10/ J. van Loy:  
Thermal Behaviour Calculations for FAFNIR Capsules  
Technical Note (unveröffentlicht)
- /11/ GfK-Arbeitsgruppe Mol:  
AG-Mol-Abschlußberichte (unveröffentlicht)
- /12/ GfK-Arbeitsgruppe Mol:  
AG-Mol-Notizen (unveröffentlicht)
- /13/ I. Müller:  
Parameter-Modellstudien zur mechanischen Wechselwirkung zwischen  
Brennstoff und Hülle von Schnellbrüter-Oxidbrennstäben bei Leistungs-  
änderungen (unveröffentlicht)
- /14/ H. Steiner:  
Hülldehnungen der FR2-Kapsel-Versuchsgruppe 4b (unveröffentlicht)
- /15/ H. Steiner:  
Analyse der Hülldehnungen der Versuchsgruppe 5b (unveröffentlicht)
- /16/ A. Gerken:  
Modelltheoretische Analyse der Brennstabbelastungen durch zyklischen  
Leistungsbetrieb anhand des experimentellen Datenmaterials der  
KVE Vg. 4a, 4b, 5b und Mol 8B, KFK 1913 (1974)
- /17/ H. Steiner:  
Ab welcher Größe führen Leistungssprünge zu Hüllaufweitungen?  
(unveröffentlicht)