

**KERNFORSCHUNGSZENTRUM
KARLSRUHE**

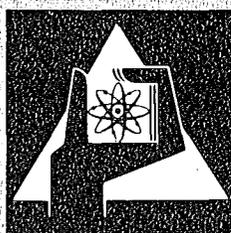
Juni 1975

KFK 1877

Institut für Material- und Festkörperforschung
Projekt Schneller Brüter

Die Bestrahlungsnachuntersuchung von fünfzehn UO_2/PuO_2 -
Brennstäben aus dem Experiment DFR-350

D. Geithoff



**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

KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE

KFK 1877

Institut für Material- und Festkörperforschung

Projekt Schneller Brüter

Die Bestrahlungsnachuntersuchung von fünfzehn UO_2/PuO_2 -
Brennstäben aus dem Experiment DFR-350

D. Geithoff

Gesellschaft für Kernforschung mbH., Karlsruhe

K U R Z F A S S U N G

Im Rahmen der Brennstabentwicklung für einen schnellen, natriumgekühlten Brutreaktor wurde ein Bündel mit 77 Brennstäben im Dounreay Fast Reactor bis zu einem Abbrand von maximal 5,65 % Fima bestrahlt. Die Brennstäbe hatten in ihrer Auslegung insofern prototypischen Charakter als ihre Hülle aus einem austenitischen Edelstahl (Werkstoff-Nr. 1.4961 und 1.4988) bestand und als Brennstoff ein mechanisches Gemisch von UO_2 (80 %) und PuO_2 (20 %) in Tablettenform verwendet wurde. Außerdem enthielten die Brennstäbe noch eine Brutstoffsäule aus UO_2 -Tabletten und ein Gasplenum.

Bei der Bestrahlung wurden durch eine Stabileistung von maximal 450 W/cm und eine maximale Hüllwandtemperatur von 630 °C die Verhältnisse in einem schnellen Brutreaktor ebenfalls weitgehend simuliert.

Nach dem erfolgreichen Abschluß der Bestrahlung wurde das Bündel zerlegt und fünfzehn Stäbe in den Heißen Zellen der Gesellschaft für Kernforschung zunächst zerstörungsfrei und schließlich zerstörend untersucht. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind Gegenstand dieses Berichts. Im einzelnen wurden zur Erforschung des Bestrahlungsverhaltens die im Inhaltsverzeichnis aufgeführten Methoden angewandt. Es sei hier angeführt, daß die Keramografie besonders ausgedehnt wurde, da dies der erste Versuch mit industriegefertigtem Brennstoff in einem schnellen Reaktor war.

Als wichtigste Aussagen aus diesen Untersuchungen lassen sich das Phänomen der Wanderung des Spaltcäsiums und die Tatsache herausstellen, daß kein Stab Anzeichen für ein kurz bevorstehendes Versagen aufweist. Somit dürfte die in diesem Versuch getestete Stabspezifikation, verbunden mit den vorgegebenen Bestrahlungsbedingungen, eine höhere Lebensdauer der Stäbe voraussetzen lassen.

A B S T R A C T

The Post Irradiation Examination of Fifteen UO_2/PuO_2 - Fuel Pins from the Experiment D F R - 3 5 0

Within the framework of the fuel pin development for a sodium cooled fast reactor a subassembly containing 77 fuel pins has been irradiated up to 5.65 % fima in the Dounreay fast reactor. The pins were prototypes in terms of fuel and cladding material. The fuel consisted of mechanically mixed UO_2 (80 %) and PuO_2 (20 %) pressed into pellets whereas austenitic steels (W.-No. 1.4961 and 1.4988) were used as cladding material. Furthermore a blanket column of UO_2 pellets and a gas plenum were incorporated in the pin.

For the irradiation the conditions in a fast breeder were simulated in as much as the linear rod power was fixed at 450 W/cm and a maximum cladding temperature of 630 °C was maintained.

After the successful completion of the irradiation, the subassembly was dismantled and fifteen pins were selected for a nondestructive and destructive examination at the hot cells of the Gesellschaft für Kernforschung.

This report is giving the results of these examinations. The various methods used are listed in the table of contents. It should be added that the ceramographic examinations have been extensive since this was the first experiment where an industrially fabricated fuel had been irradiated in a fast reactor.

The most important results of the examinations seem to be the migration of fission product cesium and the fact that no signs of impending pin failure have been found. Thus the pin specification tested in this experiment is capable of achieving higher burnups under the irradiation conditions described above.

<u>I n h a l t</u>	Seite
1. Einleitung	1
2. Stab-Herstellung und Bestrahlung	2
3. Zerstörungsfreie Nachuntersuchung	4
3.1 Visuelle Kontrolle	6
3.2 Äußere Vermessung	6
3.3 γ -Spektrometrie	25
3.4 Durchleuchtung	26
4. Zerstörende Nachuntersuchung	27
4.1 Spaltgasbestimmung	27
4.2 Keramografie	28
4.3 Radiochemische Abbrandbestimmung	33
5. Erklärung zur Dokumentation der Keramografie	40
6. Schlußfolgerungen	41
Literatur	42
Liste der Tabellen und Liste der Abbildungen	43
Anhang I	γ -Profile
Anhang II	Übersichten und Detailkeramografie

1. Einleitung

Unter der Bezeichnung DFR-350 wurde in den Jahren 1968 bis 1973 ein Bestrahlungsexperiment durchgeführt, bei dem ein UO_2/PuO_2 -Brennstab-Bündel im schnellen Neutronenfluß einen Abbrand von 5,65 Atomprozent erreichte. Bei diesem gemeinsamen Experiment dreier Partner stellte von den insgesamt 77 Stäben die Gesellschaft für Kernforschung (GfK) 23, die Firma Belgonucleaire (BN) 16 und das französische Commissariat à l'Energie Atomique (CEA) 38 Brennstäbe. Die Bestrahlung erfolgte im zentralen Hexagon des Dounreay Fast Reactor mit Natrium/Kalium als Kühlmittel und führte zu dem gesetzten Abbrandziel ohne daß ein Stabschaden aufgetreten ist.

Nach Ablauf der Bestrahlung wurde das Bündel zerlegt und die 39 Stäbe der GfK und BN in den Heißen Zellen des Dounreay Experimental Reactor Establishment (DERE) einer zerstörungsfreien Nachuntersuchung unterworfen. Über die Ergebnisse dieser Untersuchungen sowie über Spezifikation und Herstellung der Stäbe und den Bestrahlungsablauf ist bereits berichtet worden /1,2/. Eine Reihe von Stäben wurde für ein Folge-Experiment (DFR-435) ausgewählt, so daß für eine zerstörende Analyse in den Heißen Zellen der GfK insgesamt 15 Stäbe übrig blieben. Sie trugen die Bezeichnungen G2, G4, G6, G14, G21, G36, G39, G40, G41, G43, G49, G50, G56, G57 und G61. Den Untersuchungen an diesen 15 Stäben gilt der folgende Bericht. Aus mehreren Gründen wurden, wie später noch erläutert wird, einige der bereits in Dounreay durchgeführten zerstörungsfreien Nachuntersuchungen wiederholt und in das Gesamt-Untersuchungsprogramm der GfK eingeschlossen. Bei der Planung, Betreuung und Durchführung der Nachuntersuchung sowie bei der anschließenden Dokumentation waren eine Vielzahl von Mitarbeitern des Kernforschungszentrums sowie andere Institutionen beteiligt. Die nachstehende Tabelle gibt Aufschluß über die für die Teilbereiche verantwortlichen Personen.

Zeitraum	Teilarbeit	Institution und Hauptbeteiligte
1972 bis 1973	Allgemeine Arbeiten in den Heißen Zellen	RBT/Z; Scheeder, Enderlein
	Spaltgasbestimmungen	RBT/CP; Dr. Gräbner
	Radiochemische Abbrandbestimmungen	IRCH; Dr. Wertenbach
	Röntgendurchleuchtungen	TU-I ⁺); Werner
	Zusammenstellung von Diagrammen und Bildern	IMF III; Ernst
	Keramografie	RBT/Z; Pejsa
	Mitarbeit bei der Aufstellung der Schnittpläne	INTERATOM; Dr. Dünner
1974	Organisation und Betreuung der Nachuntersuchung und Dokumentation der Ergebnisse	IMF III; Dr. Geithoff

⁺) Euratom - Institut für Transurane, Karlsruhe

Da die in diesem Bericht zusammengestellten Untersuchungsergebnisse dem an der Auswertung beteiligten Personenkreis schon längere Zeit zugänglich ist, ist die Auswertung bereits erfolgt /3/.

2. Stab-Herstellung und Bestrahlung

Die Stab-Herstellung einschließlich der vorangegangenen Spezifikation ist ebenso wie die Bestrahlungsgeschichte eingehend an anderer Stelle dargelegt worden /1,2/. Es sollen deshalb hier nur die wichtigsten Daten in abgekürzter Form wiedergegeben werden.

Brennstoff

Zusammensetzung: UO_2/PuO_2 (80 %, 20 %) mechanisch gemischt
Urananteil enthält 86,4 % U-235
Plutoniumanteil enthält 91,1 % Pu-239
8,2 % Pu-240
0,7 % Pu-241
Stöchiometrie O/Me = 2,00

Form: Tabletten mit einseitiger Stirnflächenmulde
(3,2 Vol.-%)
Tablettendurchmesser 5,04 mm
Tablettenhöhe 5,00 mm
Tablettendichte 89,9 % th.D.

Hüllrohr

Material: Austenitischer Cr-Ni-Stahl mit der
Werkstoff-Nr. 1.4961 für die Stäbe G36 - G61
Austenitischer Cr-Ni-Stahl mit der
Werkstoff-Nr. 1.4988 für die Stäbe G2 - G33

Abmessungen: Außendurchmesser 6,00 mm
Hüllwandstärke 0,38 mm
Innendurchmesser 5,24 mm

Aus Hüllrohrinnendurchmesser und Brennstoff-Tablettendichte errechnet sich die Schmierdichte unter Einbeziehung der Stirnmulde zu 80,5 % th.D.

Der Aufbau des Brennstabes ist in Abb. 1 dargestellt. Seine wesentlichsten Elemente sind die 290 mm lange Brennstoffsäule, die sich am oberen (kalten) Ende daran anschließende 100 mm lange Brutstoffsäule und der 88 mm lange Spaltgasraum, ebenfalls oberhalb der Brennstoffsäule.

Zur Typisierung des Bestrahlungsverlaufes seien hier die wesentlichsten Bestrahlungsdaten genannt:

Bestrahlungszeit: 26.1.1969 bis 20.4.1970
202,7 Vollasttage im zentralen Hexagon des DFR
Kühlmitteltemperatur: Einlaß 230°C, Auslaß am gemischten Kanalfluß
553°C. Innerhalb des Bündels wurden je nach

Position nominelle Na/K-Austrittstemperaturen zwischen ca. 400°C und 590°C errechnet, jedoch lag die Mehrzahl der Werte zwischen 570°C und 590°C.

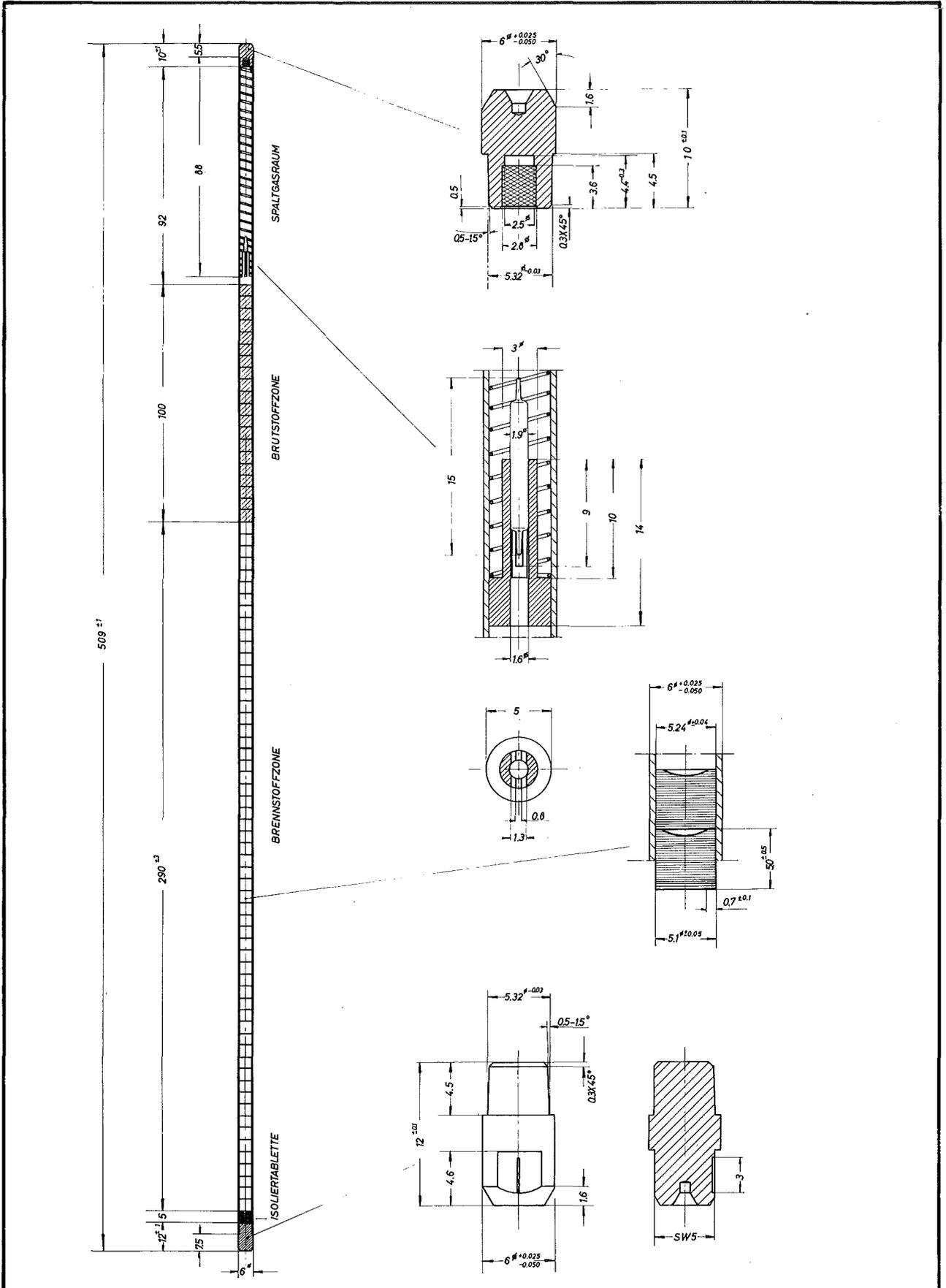
Abbrand: Für den maximalen Abbrand wurden 5,65 % Fima errechnet, der über die Stablänge gemittelte Wert betrug 5,2 %. Wegen der zentralen Position des Bündels gelten diese Daten für alle Stäbe.

Neutronenfluenz: Die maximale Fluenz für Neutronen mit einer Energie $> 0,1$ MeV erreichte $3,8 \times 10^{22}$ n/cm² bei einer totalen Fluenz von $4,3 \times 10^{22}$ n/cm².

3. Zerstörungsfreie Nachuntersuchung

Im Anschluß an die Zerlegung des Bündels war eine zerstörungsfreie Nachuntersuchung der Einzelstäbe nach dem Routine-Verfahren des DERE in den Heißen Zellen in Downreay bereits durchgeführt worden. Dennoch erschien es sinnvoll die 15 nach Karlsruhe transportierten Stäbe nochmals zerstörungsfrei zu analysieren. Es gab dafür drei Gründe. Zunächst sollte sichergestellt werden, daß die Stäbe durch den Transport nicht gelitten hatten, sei es durch eine Deformation der Hülle oder durch ein Zerrütteln und Verschieben der Brennstoffsäule. Ein weiterer Grund lag darin, die Untersuchungsmethoden und -ergebnisse der GfK mit denen des DERE zu vergleichen, um die eigenen Analysenverfahren hinsichtlich ihrer Qualität richtig einschätzen zu können. Schließlich hatten aber auch einige Untersuchungsschritte im DERE nur unbefriedigende Ergebnisse erbracht, so daß von einer Analyse mit anderen Untersuchungsgeräten zusätzliche Information erwartet werden durfte. Dies galt vor allem für die Röntgendurchleuchtung und die γ -Spektroskopie, in einem geringeren Maße auch für die Dimensionskontrolle.

So wurden die 15 Stäbe nochmals in Karlsruhe dem hier üblichen Verfahren der zerstörungsfreien Nachuntersuchung unterworfen.



GfK Karlsruhe
IMF / III

DFR-350
Aufbau eines Brennstabes

Abb. 1

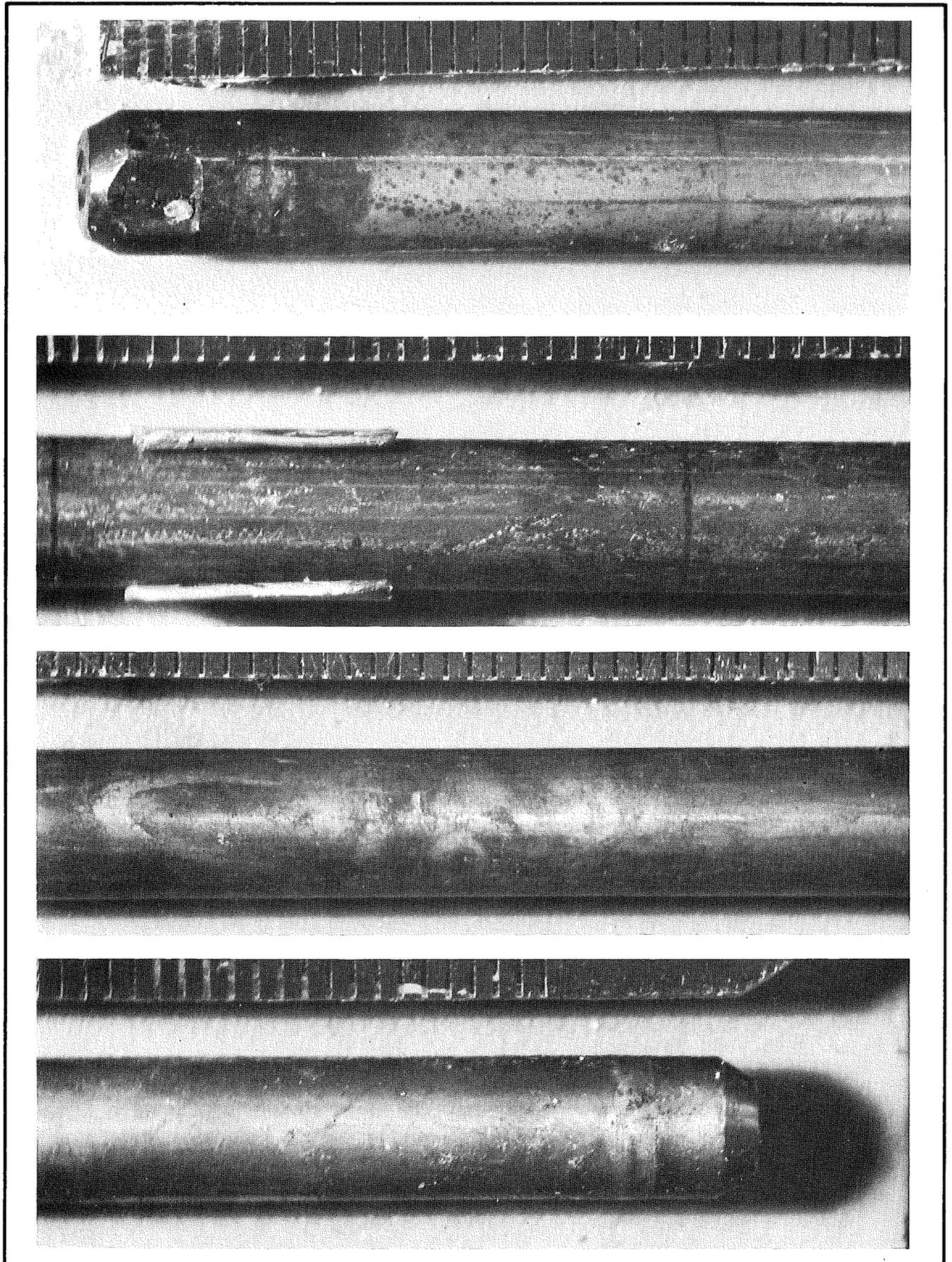
3.1 Visuelle Kontrolle

Mit Hilfe eines Periskops wurden die Oberflächen der Stäbe auf Besonderheiten abgesucht. Es wurde jedoch nichts gefunden, was über das bereits Bekannte hinausging. Zur Dokumentation wurden von jedem Stab mindestens drei Detailfotos angefertigt, die Kopf- und Fußende sowie ein typisches Mittelstück zeigten. Da diese Bilder nur wenig aussagen, sind sie in diesem Bericht nicht vollständig wiedergegeben. Zwei Beispiele, in Abb. 2 und Abb. 3 dargestellt, sollen das typische Aussehen der Stäbe verdeutlichen.

3.2 Äußere Vermessung

Eine vollständige äußere Vermessung umfaßt die Bestimmung des Stabdurchmessers entlang der Stabachse (evtl. in verschiedenen Winkelorientierungen), die Bestimmung der Stablänge sowie die Durchbiegung. Hiervon ist zweifellos der wichtigste Punkt die Ermittlung des Stabdurchmessers. Im DERE wurden für die Durchmesserkontrolle die Stäbe mit einem vergleichsweise groben Vermessungsnetz überzogen. Entlang der Stabachse wurde in Abständen von 1 Inch (2,54 cm) der maximale und minimale Stabaußendurchmesser bestimmt. Für eine Auswertung des Experimentes ist es jedoch wünschenswert, den Verlauf des Außendurchmessers genauer zu kennen, weshalb die Stäbe in Karlsruhe nochmals vermessen wurden, zumal auch genaue Vorbestrahlungsdaten vorlagen.

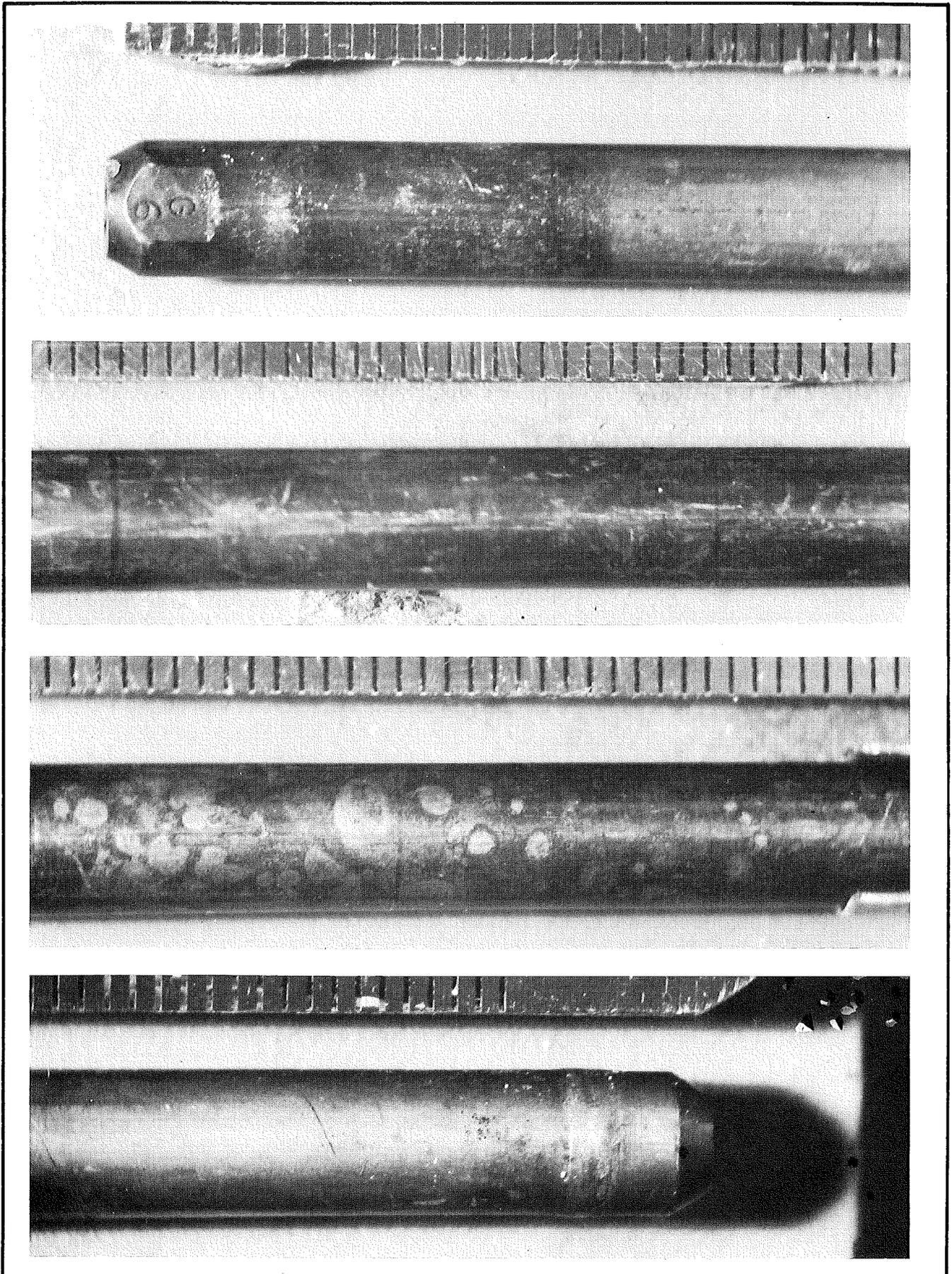
Zur Messung wurden die Stäbe zwischen zwei parallelen Meßschneiden, von denen die eine mit einem induktiven Wegaufnehmer ausgestattet war, in einer schraubenförmigen Bewegung durchgeführt. Die Ganghöhe dieser Schraube betrug 5 mm. Damit wurde entlang einer Mantellinie alle 2,5 mm ein Meßpunkt erzeugt. Die verwendete Meßbank glich im Aufbau und Meßprinzip dem Gerät, das für die Vermessung der gleichen Stäbe vor der Bestrahlung verwendet wurde. Lediglich die Ganghöhe war damals geringer, nämlich 3 mm. Die als Meßwerte erhaltenen sogenannten Wendelschriebe wurden (Vergrößerung 1000:1) im Hinblick auf eine übersichtliche Darstellung ausgewertet, indem von 10 mm Stablänge jeweils ein Durchmessermaximal- und -minimalwert durch Mittelung gebildet wurde. Diese Daten sind in den Abb. 4 bis 18 gegen die Stabachse aufgetragen.



GfK Karlsruhe
IMF/III

Experiment DFR-350
Visuelle Inspektion von Stab G 4

Abb. 2



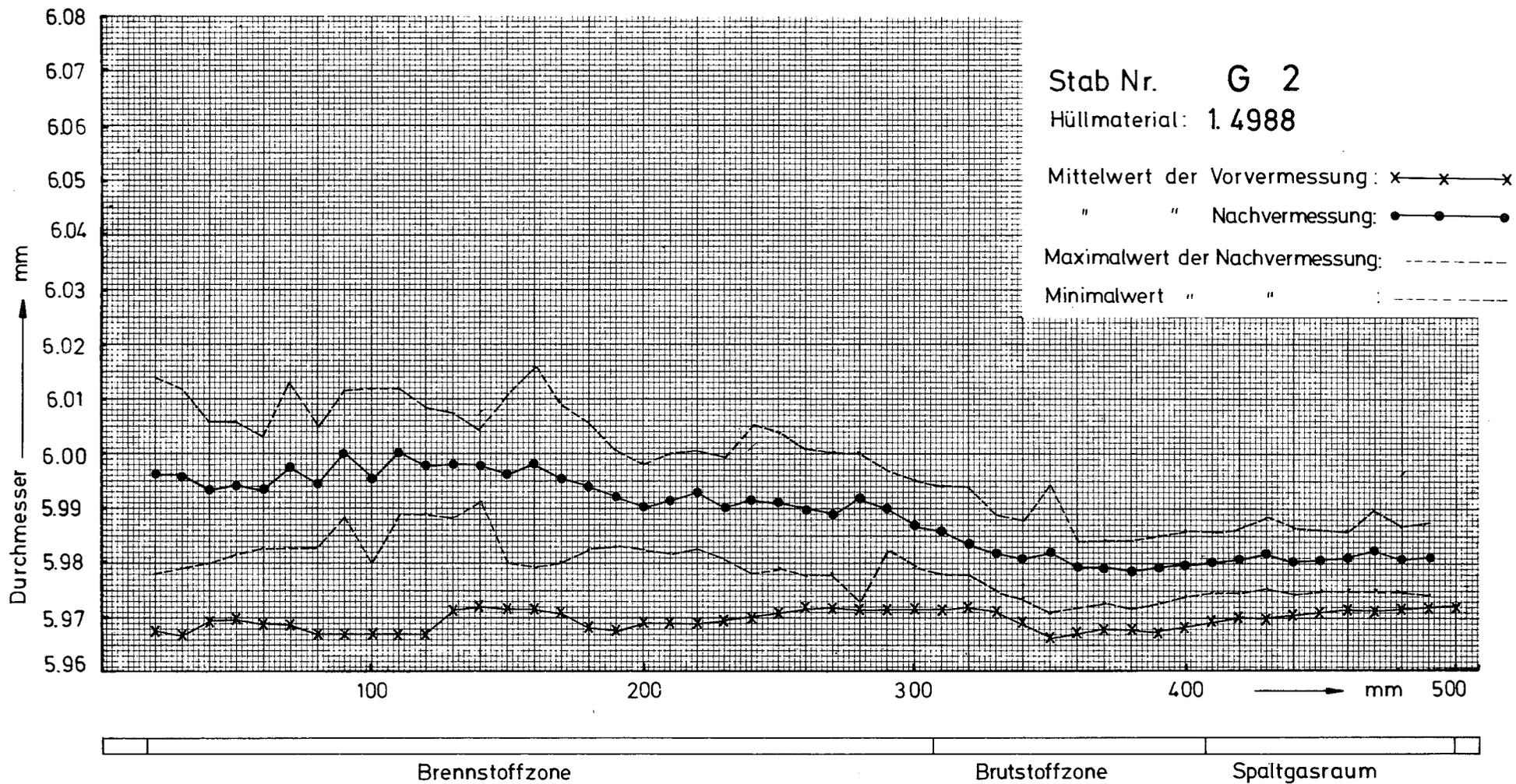
GfK Karlsruhe
IMF/III

Experiment DFR - 350
Visuelle Inspektion von Stab G 6

Abb. 3

Verglichen mit den von dem DERE erstellten Durchmesserprofilen /1/ zeigen die GfK-Durchmesserprofile eine genauere Feinstruktur. Steile Spitzen sind zu Kuppen abgerundet, die in sich zum Teil noch feinere Einbrüche (Doppelmaximum) aufweisen. Ovalitäten und Gesamtverlauf beider Meßserien ähneln einander hingegen sehr stark. Bemerkenswert ist ferner, daß die Durchmessergrößen bei den GfK-Messungen um 10 - 15 μm höherliegen als beim DERE. Diese Diskrepanz konnte nicht geklärt werden. Der Versuch, einen geeichten Meisterbolzen von beiden Meßanlagen vermessen zu lassen scheiterte, weil die DERE ihr Gerät inzwischen durch ein neues ersetzt hatte.

Neben dem Durchmesser wurde auch noch die Durchbiegung der Stäbe ermittelt. Mit Ausnahme der Feststellung, daß die Außenstäbe des Bündels stärker gekrümmt waren, während die Innenstäbe praktisch gerade blieben, kommt den genauen Durchbiegungswerten keine größere Bedeutung zu, da die Winkelorientierung der Stäbe im Bündel verlorengegangen war. Es ist lediglich aus den Röntgenaufnahmen des Bündels bekannt, daß die Außenstäbe nach dem Abkühlen nach innen zu gekrümmt waren /1/, was auf eine fehlende Fixierung der unteren Stabenden zurückgeführt wird.

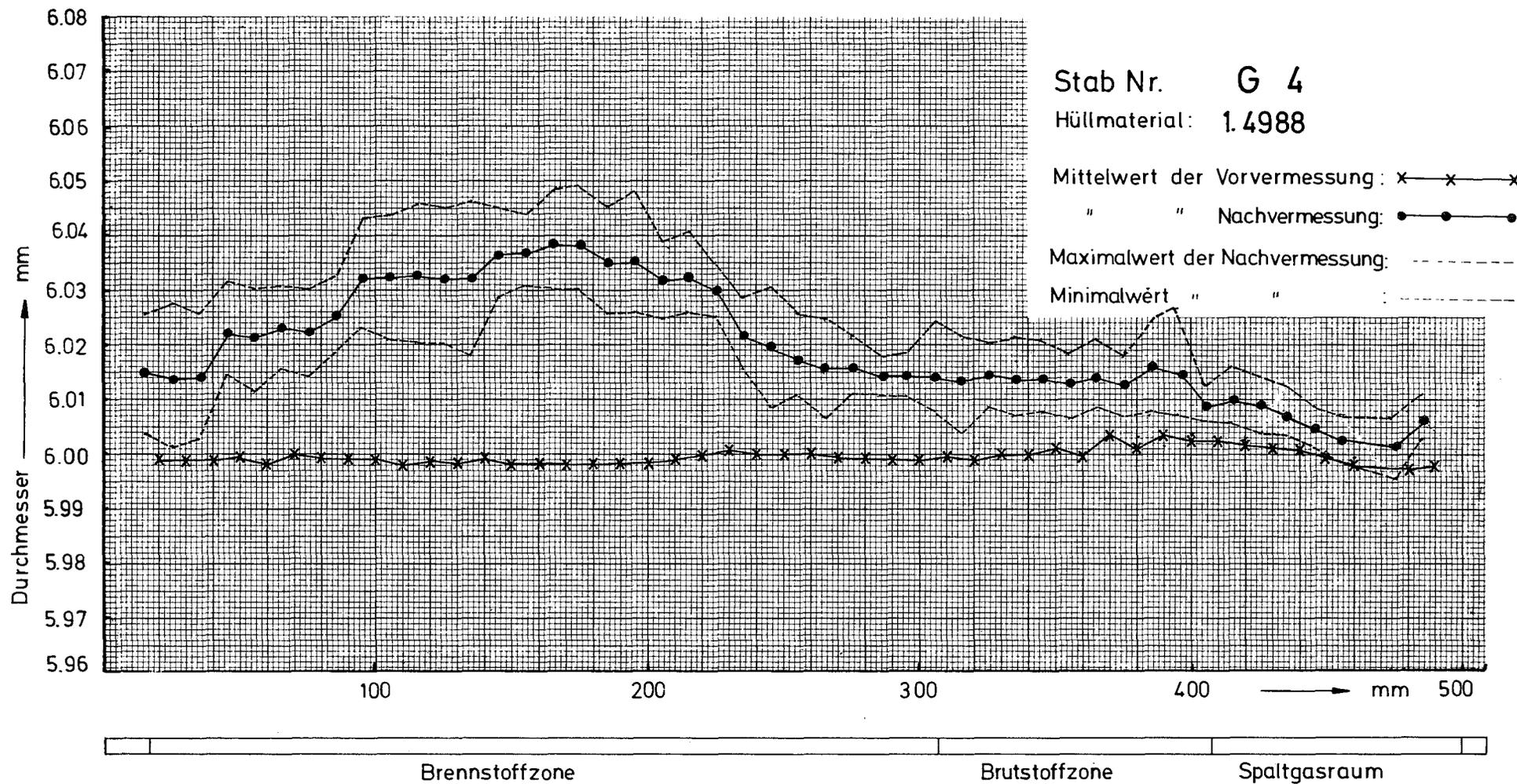


- 10 -

GfK Karlsruhe
IMF/ III

Dounreay-Bündel DFR - 350
2. Vermessung des Stabdurchmessers

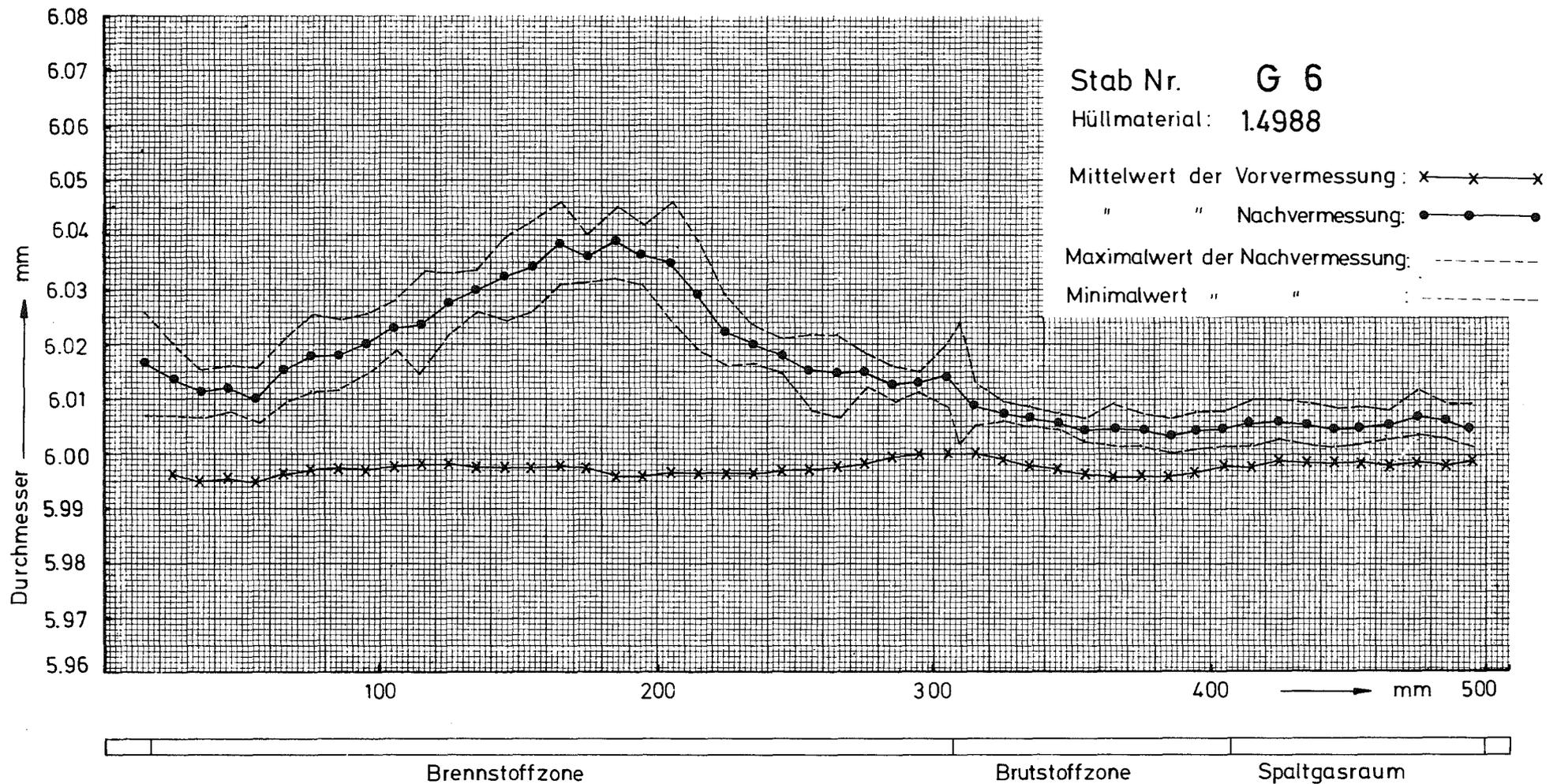
Abb.: 4



GfK Karlsruhe
IMF/ III

Dounreay-Bündel DFR - 350
2. Vermessung des Stabdurchmessers

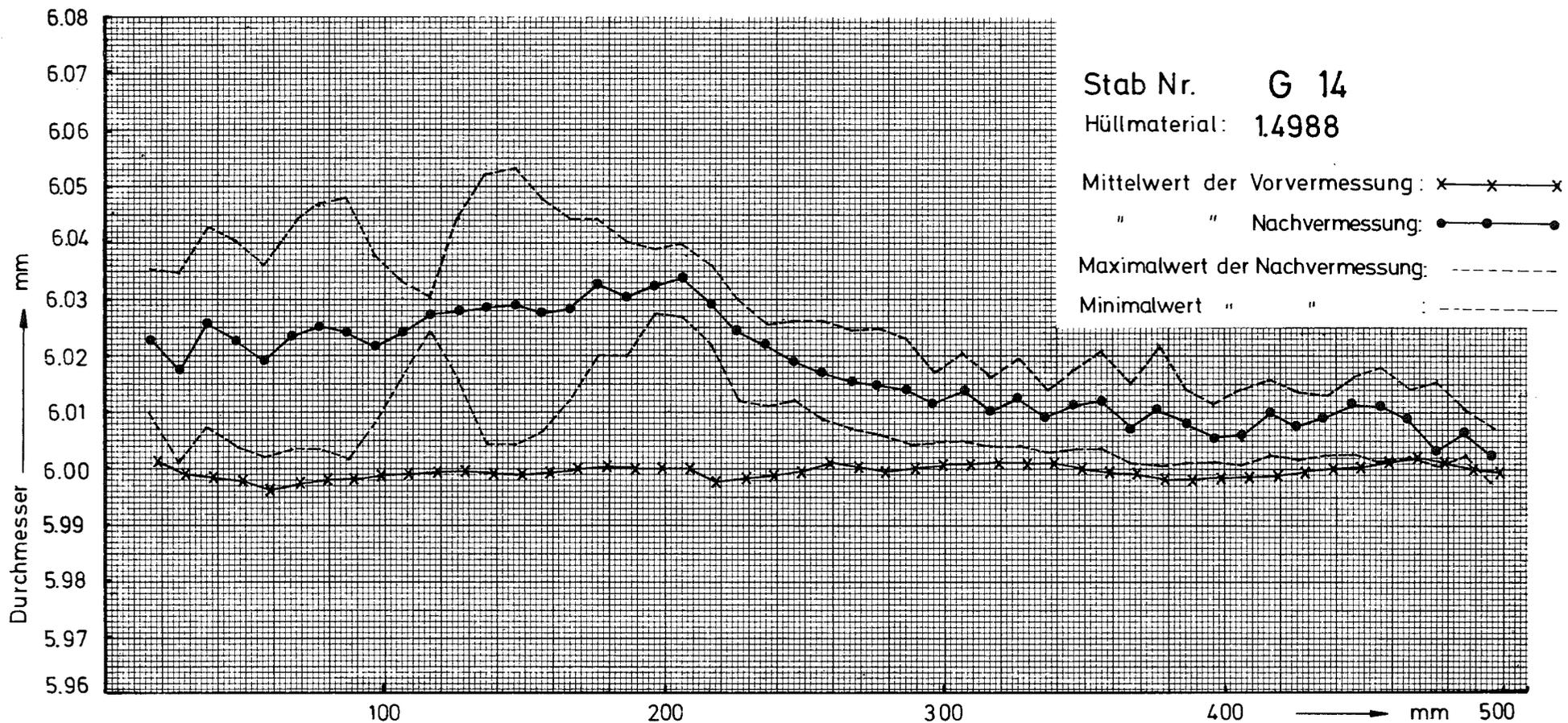
Abb.: 5



GfK Karlsruhe
IMF/ III

Dounreay-Bündel DFR - 350
2. Vermessung des Stabdurchmessers

Abb.: 6

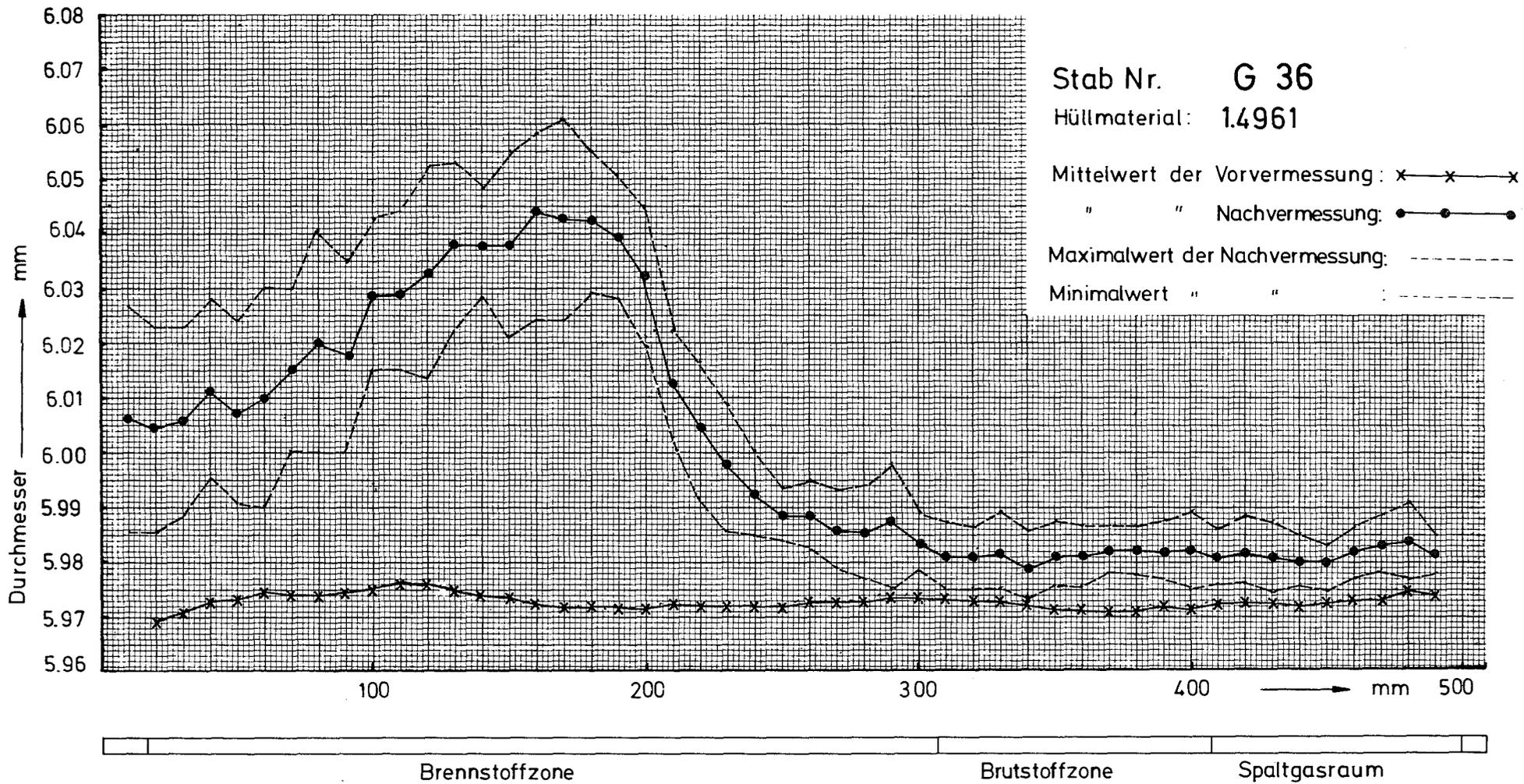


- 13 -

GfK Karlsruhe
IMF/ III

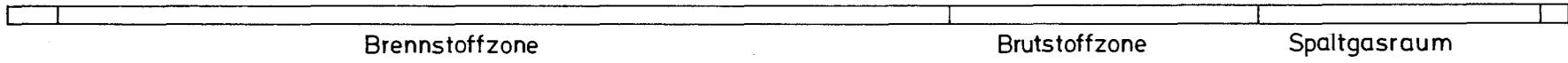
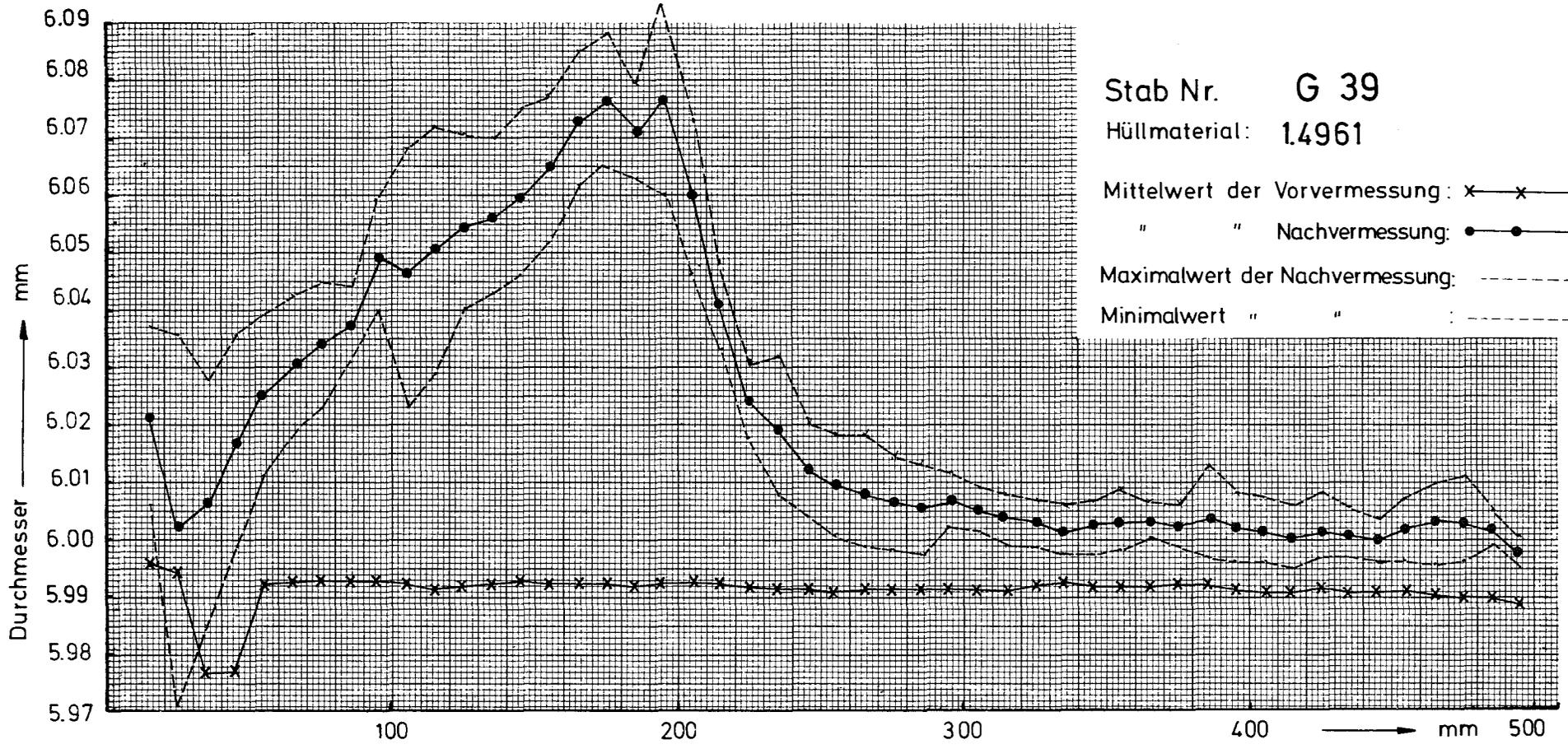
Dounreay-Bündel DFR - 350
2. Vermessung des Stabdurchmessers

Abb.: 7



- 15 -

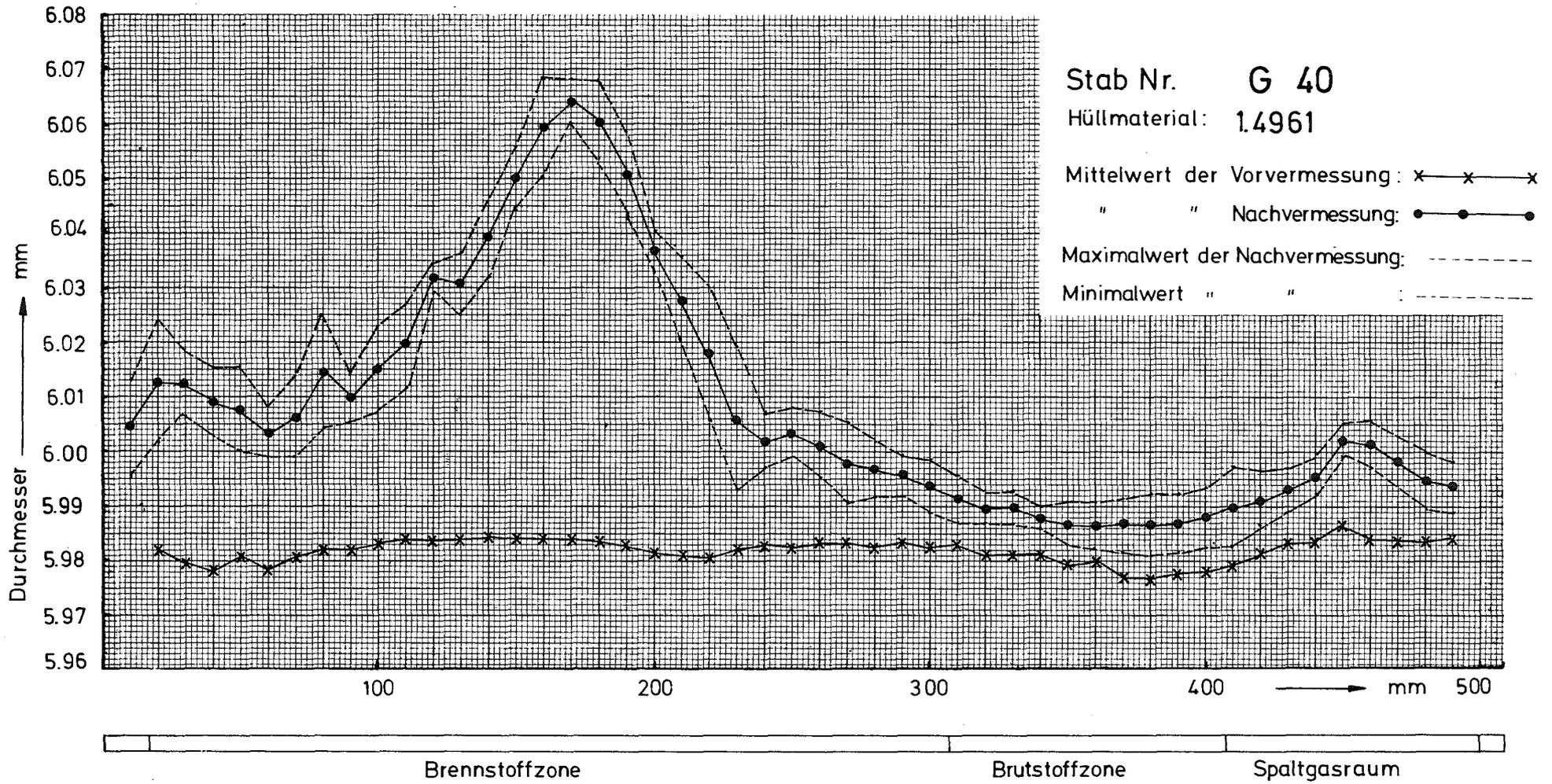
GfK Karlsruhe IMF/ III	Dounreay-Bündel DFR - 350 2. Vermessung des Stabdurchmessers	Abb.: 9
---------------------------	--	---------



GfK Karlsruhe
 IMF/ III

Dounreay-Bündel DFR - 350
 2. Vermessung des Stabdurchmessers

Abb.: 10

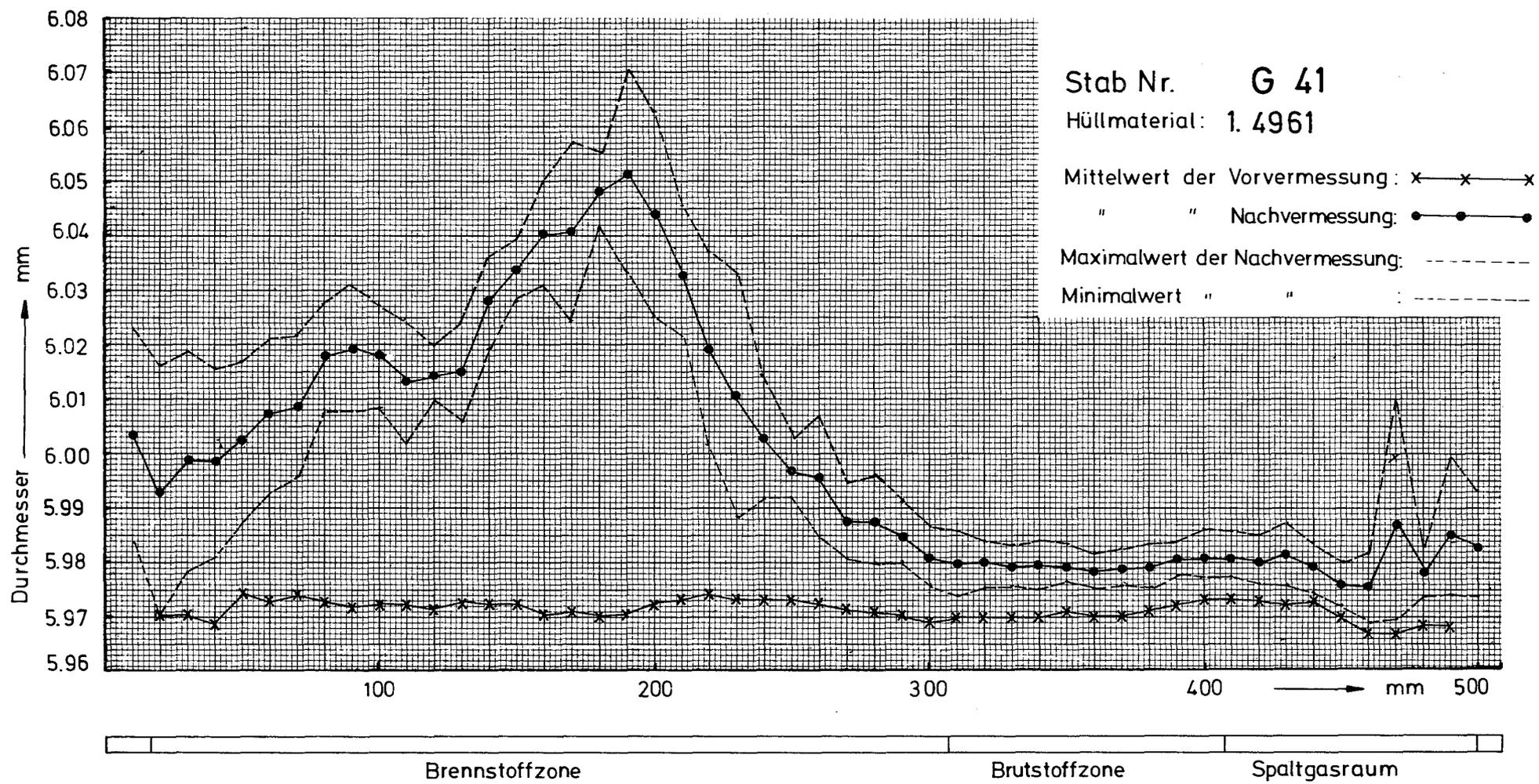


- 17 -

GfK Karlsruhe
IMF/ III

Dounreay-Bündel DFR - 350
2. Vermessung des Stabdurchmessers

Abb.: 11

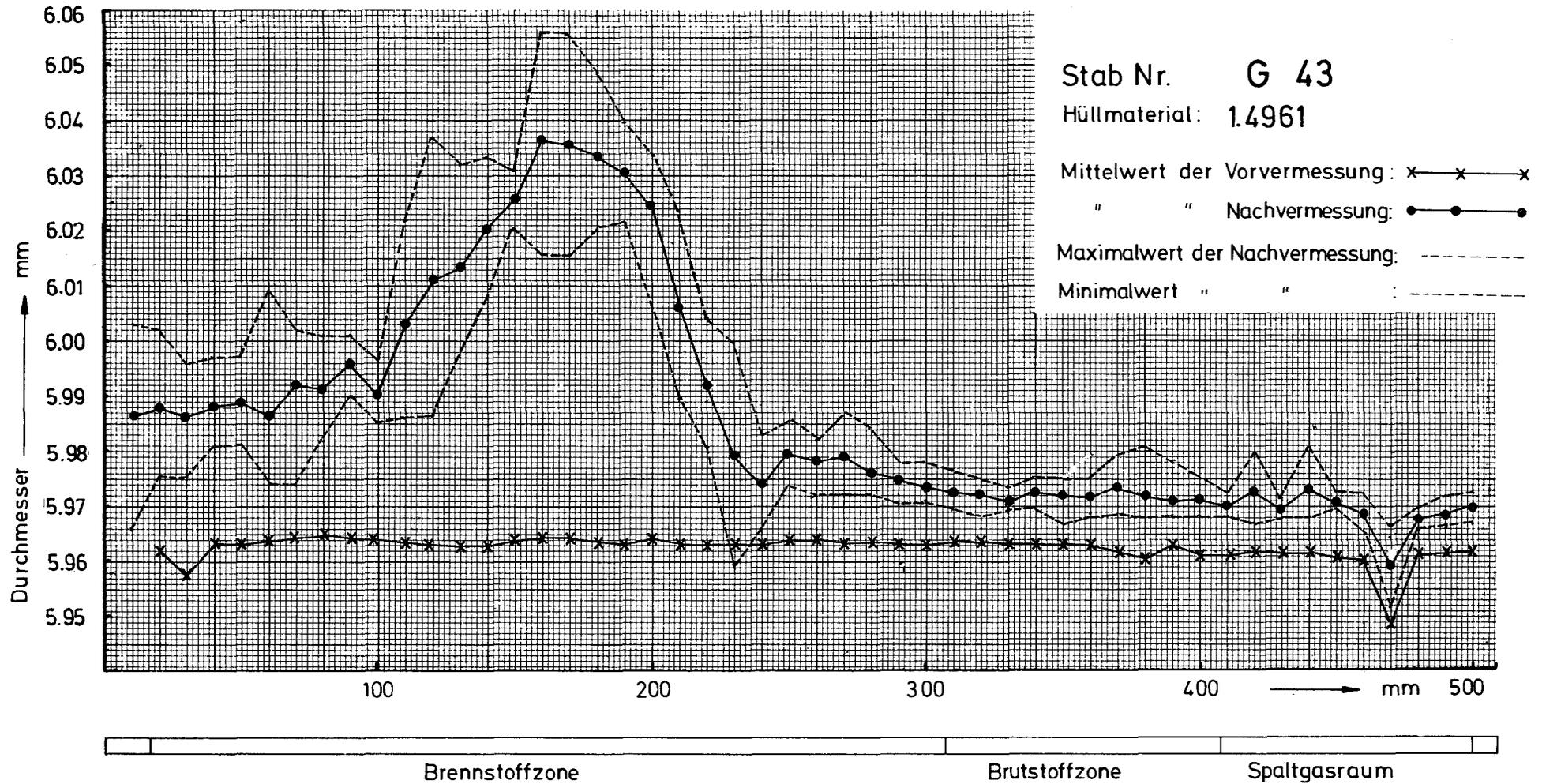


- 18 -

GfK Karlsruhe
IMF/ III

Dounreay-Bündel DFR - 350
2. Vermessung des Stabdurchmessers

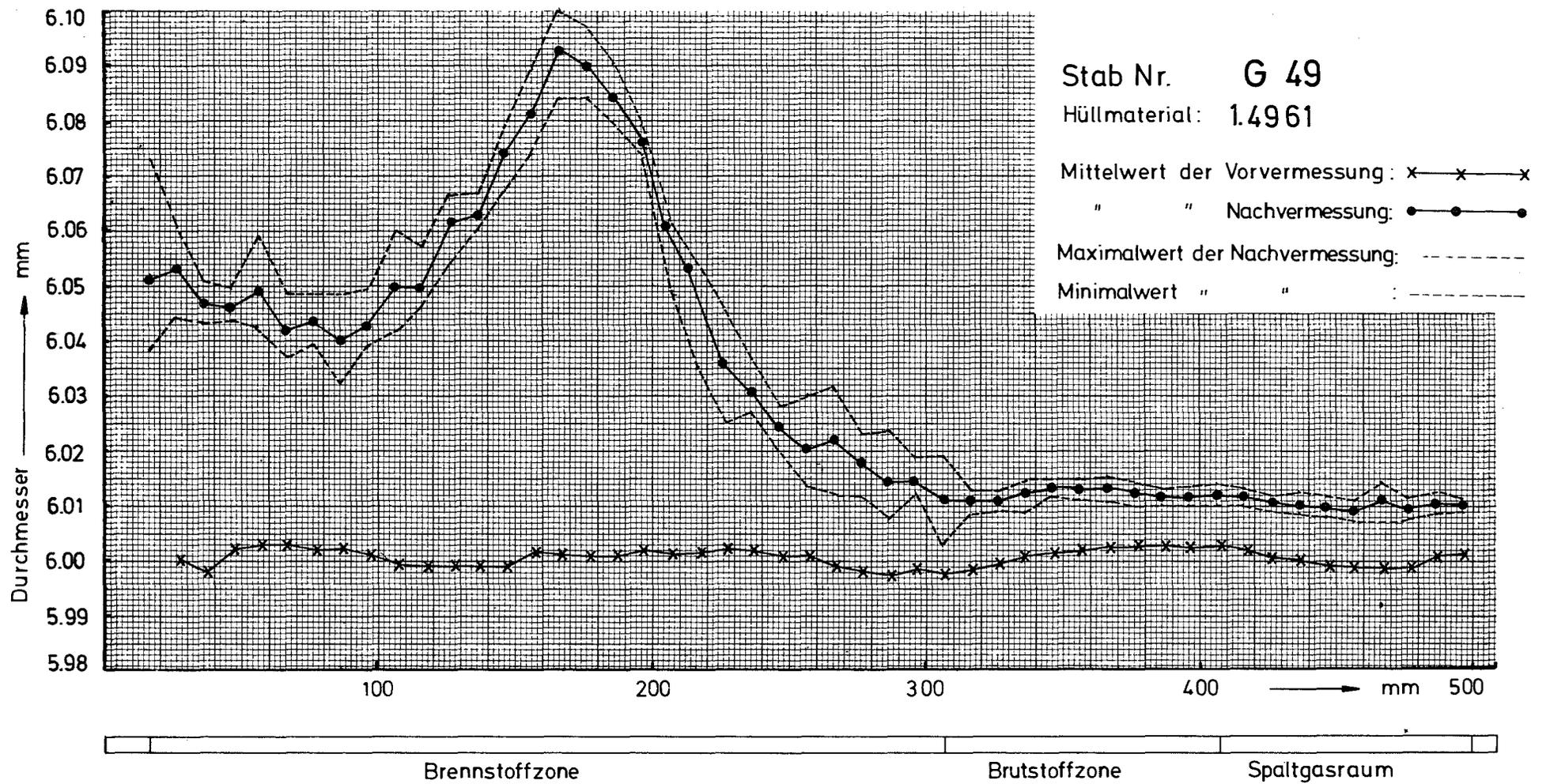
Abb.: 12



GfK Karlsruhe
IMF/ III

Dounreay-Bündel DFR - 350
2. Vermessung des Stabdurchmessers

Abb.: 13

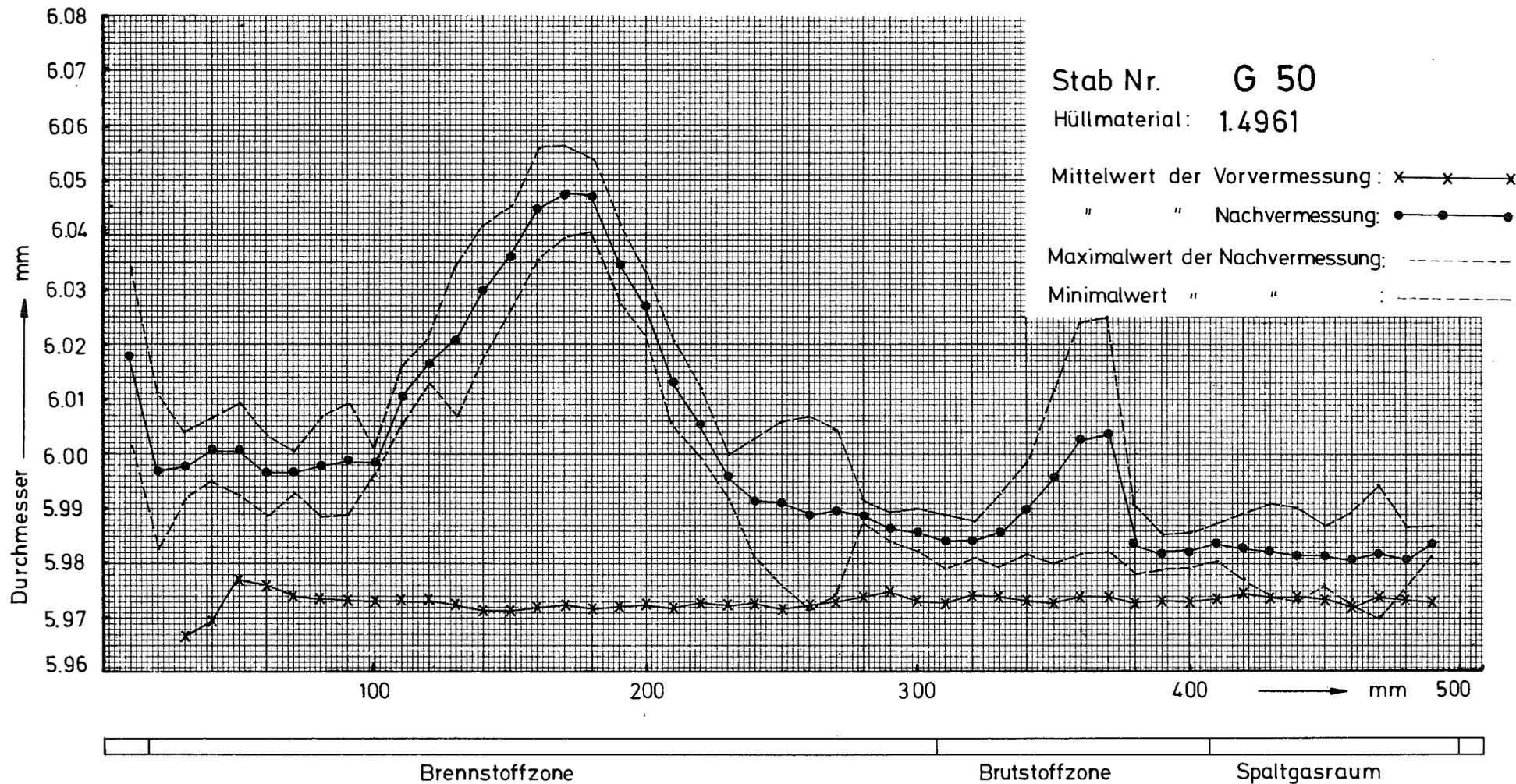


- 20 -

GfK Karlsruhe
IMF/ III

Dounreay-Bündel DFR - 350
2. Vermessung des Stabdurchmessers

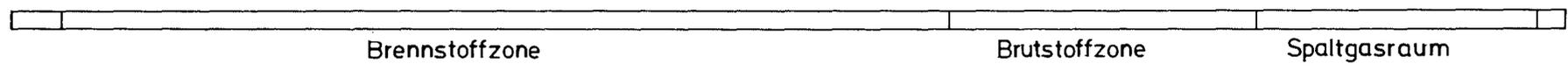
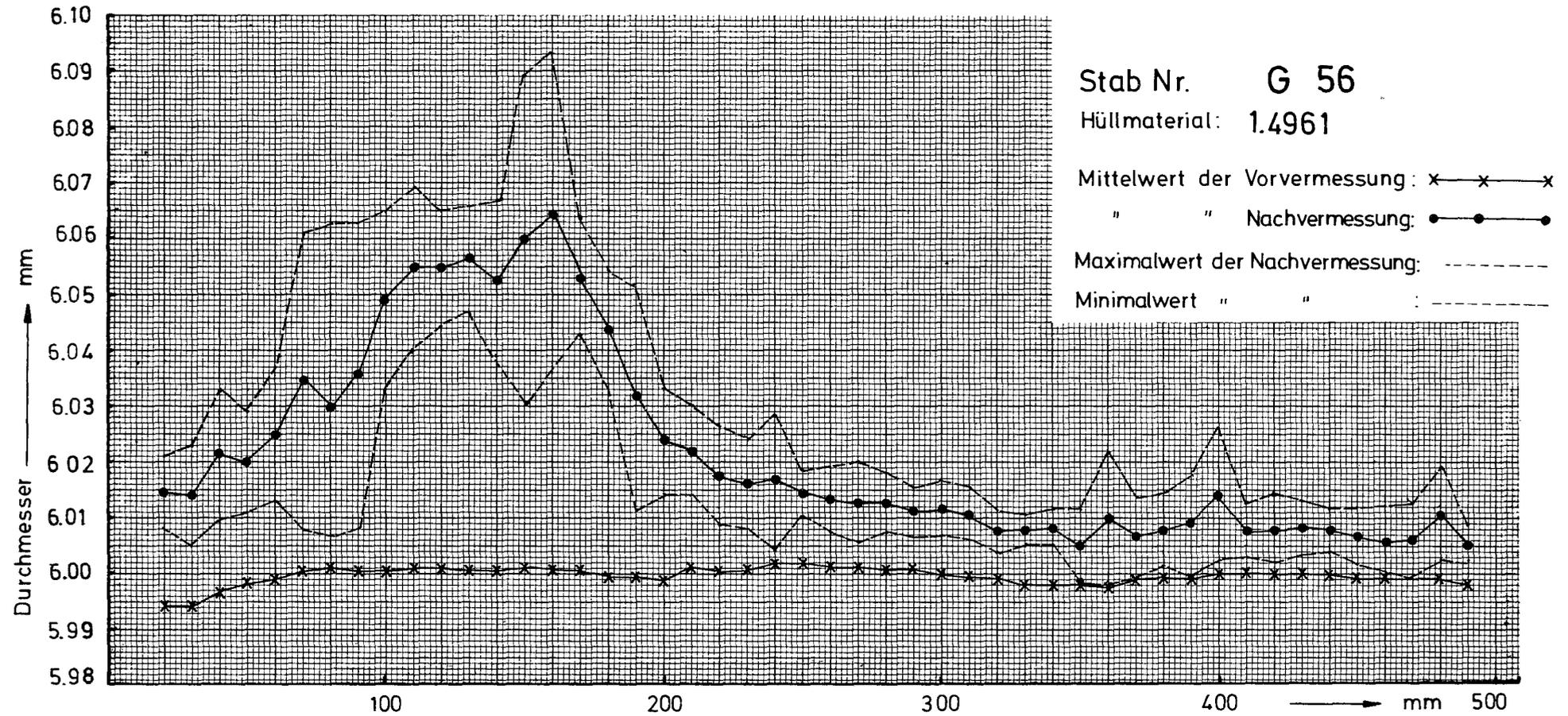
Abb.: 14



GfK Karlsruhe
IMF/ III

Dounreay-Bündel DFR - 350
2. Vermessung des Stabdurchmessers

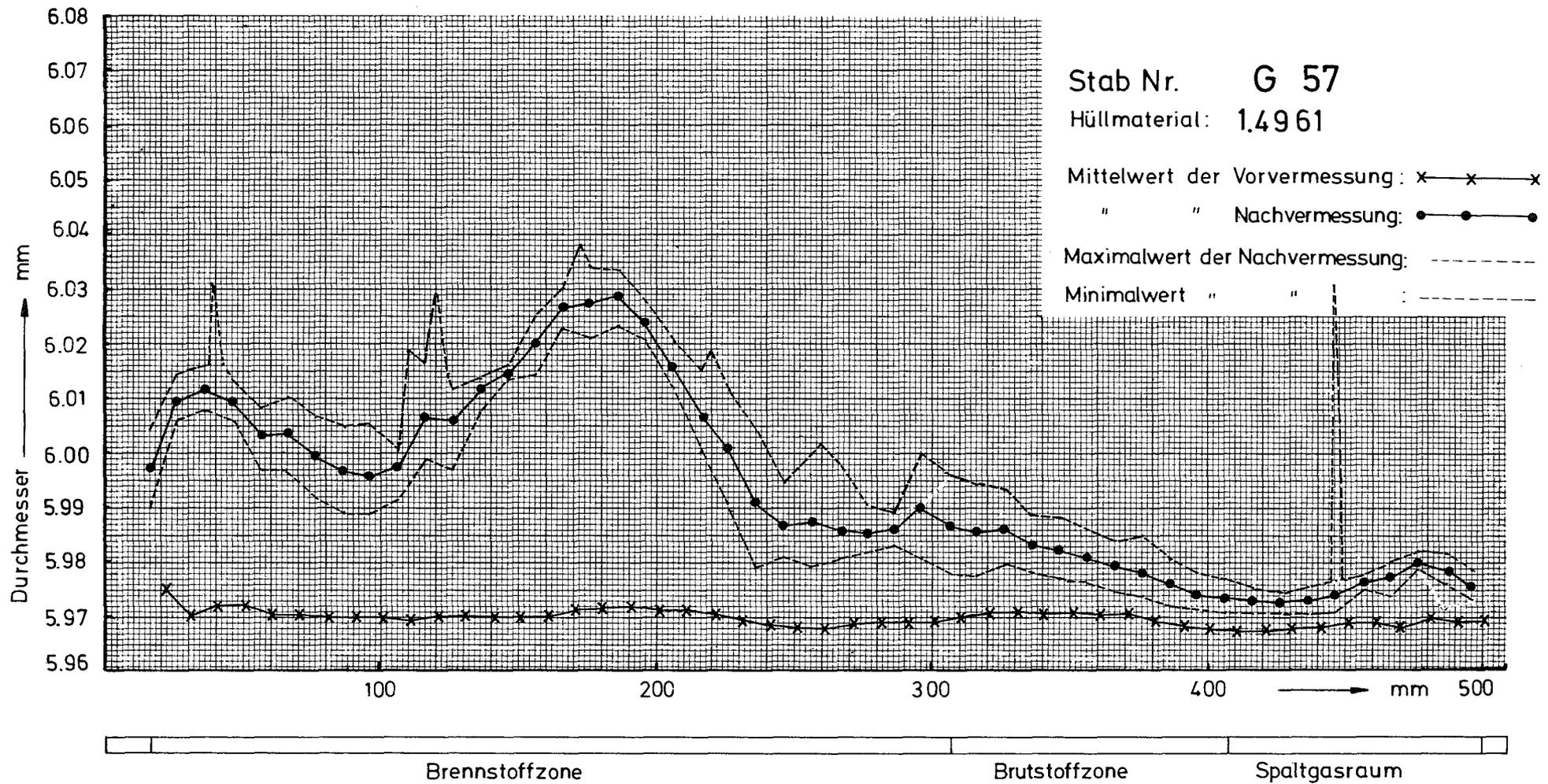
Abb.: 15



GfK Karlsruhe
IMF/ III

Dounreay-Bündel DFR - 350
2. Vermessung des Stabdurchmessers

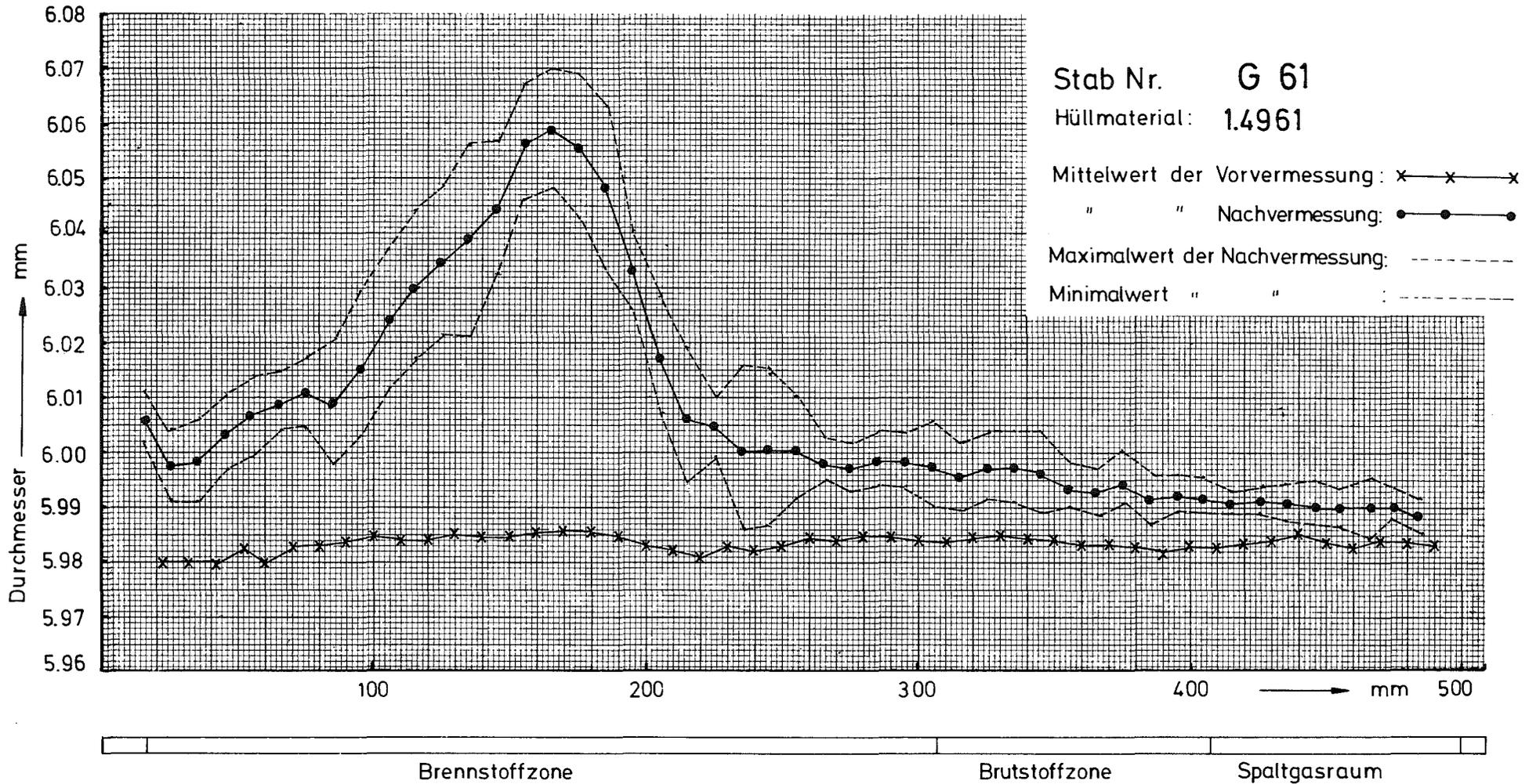
Abb.: 16



GfK Karlsruhe
IMF/ III

Dounreay-Bündel DFR - 350
2. Vermessung des Stabdurchmessers

Abb.: 17



GfK Karlsruhe
IMF/ III

Dounreay-Bündel DFR - 350
2. Vermessung des Stabdurchmessers

Abb.: 18

3.3 γ -Spektrometrie

Die ersten γ -spektrometrischen Messungen wurden ca. 9 Monate nach Bestrahlungsende in den Heißen Zellen des DERE durchgeführt. Hierbei wurde ein NaJ-Kristall als Detektor verwendet, der bei der technisch bedingten ungünstigen Meßgeometrie nur eine schlechte Energie-Auflösung hatte. Damit war eine gezielte Analyse der Spaltproduktwanderung und der Brennstoffverlagerung unmöglich. Durch Aufnahmen von drei verschiedenen γ -Profilen mit breiten Energiebereichen konnten lediglich grobe Aussagen über die Integrität der Brennstoffsäule sowie Hinweise auf Spaltprodukt-Ansammlungen gewonnen werden.

In Karlsruhe wurden die Stäbe später, d.h. nach einer Abklingzeit von nunmehr ca. 14 Monaten mit einem hochauflösenden GeLi-Halbleiter-Detektor untersucht. Zu diesem Zeitpunkt waren die kurzlebigen Radionuklide bereits zerfallen. Das γ -Spektrum zeigte nur noch auswertbare Linien der Spalt-Nuklide Zr/Nb-95, Ru/Rh-106, Cs-134, Cs/Ba-137, Ce/Pr-144 sowie einige Aktivierungsprodukte des Hüllmaterials (Mn-54, Co-58, Co-60).

Die Analyse jedes Einzelstabes vollzog sich in folgender Weise: Zuerst wurde ein integrales Profil (Energiebereich 400 - 1700 keV) über die gesamte Stablänge aufgenommen. Alle prominenten Bereiche in diesem Profil, also Spitzen, Einbrüche und hohe Plateaus wurden durch Aufnahmen eines γ -Spektrums auf ihren Gehalt an γ -Strahlern untersucht. Im Mittel wurden etwa 5 Spektren von jedem Stab aufgenommen. Weiter wurden die Profile für drei der stärksten γ -strahlenden Spaltnuklide gemessen. Es waren dies Zr/Nb-95 (700 - 780 keV), Ru/Rh-106 (480 - 520 keV) und Cs/Ba-137 (630 - 680 keV).

Die jeweils vier Profile pro Stab sind in den Blättern 1 bis 15 des Anhangs I wiedergegeben. Ihr Verlauf kann wie folgt charakterisiert werden:

Die integralen Profile zeigen die Brennstoffsäule als ungleichmäßiges, mit Spitzen durchsetztes Plateau. Eine isolierte Spitze, durch γ -Spektren als Cs-Ansammlung identifiziert, findet sich häufig am unteren Ende der Brennstoffsäule. Weiter sind die Brutstoffsäule sowie die metallisch massiven Endstopfen erkennbar. Besonders erwähnt werden muß die Doppelspitze im Bereich des Spaltgasraumes. Sie rührt von einer kleinen Ra-226-Kapsel her, die als Leck-Anzeiger (Radon-Monitor) in

jeden Stab eingebaut war. Da dieser Radon-Monitor nicht fest im Stab fixiert war, findet sich die zugehörige Doppelspitze an unterschiedlichen Positionen im Spaltgasraum.

Der Verlauf des Zr/Nb-95-Profiles gibt im Bereich der Brennstoffsäule die relative Stableistung bzw. den relativen Abbrand wieder, insbesondere deshalb weil der axiale Leistungsverlauf während der Bestrahlung praktisch konstant blieb. Die vom Nuklidpaar Zr/Nb-95 dargestellte Leistungsverteilung, die wegen der relativ kurzen Halbwertszeiten (65,5 und 35 Tage) normalerweise nur für die letzten Wochen einer Bestrahlung gilt, darf hier für die gesamte Bestrahlungszeit stehen. Der gemessene Stableistungsverlauf stimmt mit dem berechneten überein.

Im Ru/Rh-106-Profil zeigen sich bei einem gleichmäßigen Verlauf der Spaltnuklid-Verteilung nur selten Ru-Ansammlungen als Aktivitätsspitzen. Mitunter wird das Profil durch hohe Aktivitäten des Nuklidpaares Cs/Ba-137 gestört. Durch Vergleich mit dem Cs/Ba-137-Profil lassen sich diese Störungen jedoch von den Ru-Ansammlungen unterscheiden.

Die stärksten Schwankungen der axialen Aktivität zeigen sich im Profil des Nuklidpaares Cs/Ba-137. Sie sind gekennzeichnet durch eine Verarmung im mittleren Bereich der Brennstoffsäule und eine Anreicherung an ihren Enden. Innerhalb der untersuchten Stäbe sind zwei unterschiedliche Verteilungsschemata erkennbar, eines mit einem Anreicherungsmaximum am oberen Ende, das andere mit dem Maximum am unteren Ende der Brennstoffsäule. Über die vermutlichen Ursachen dieser selektiven Cs-Anreicherung ist bereits berichtet worden /4/.

3.4 Durchleuchtung

Um eine möglichst gezielte zerstörende Nachuntersuchung durchführen zu können, wurden alle Stäbe mit einer Röntgen-Anlage durchleuchtet. Das genaue Ziel dieses Untersuchungsschrittes war dabei die Sichtbarmachung der inneren Geometrie der Brenn- und Brutstoffsäule. Bei dem hier vorliegenden Stabdurchmesser von 6 mm war es sinnvoll, mit einer maximalen Energie von 300 kV zu durchstrahlen, um die Brennstoffsäule vollkommen zu durchleuchten und insbesondere den Zentral-

kanal deutlich erkennbar zu machen. In den Faltblätter des Anhan-
ges II sind die Röntgenfotos der jeweiligen Stäbe abgebildet.

Insgesamt läßt sich erkennen, daß die Innenstruktur der Stäbe sehr
unterschiedlich ist. Trotz gleicher Stabspezifikation und gleichen
Bestrahlungsbedingungen variiert z.B. die Größe des Zentralkanals
sehr stark. Ähnliches gilt für die Querrisse an den ursprünglichen
Tablettenstoßstellen. Während in einigen Stäben die ursprüngliche
Tabletteneinteilung noch gut erkennbar ist, sind an anderen Stäben
die Tabletten fest zu einer Säule zusammengewachsen. Diese Befunde
wurden neben anderen zum Ansatzpunkt für die anschließenden kera-
mografischen Untersuchungen.

4. Zerstörende Nachuntersuchung

Alle 15 Stäbe wurden der für diesen Brennstabtyp üblichen zerstörenden
Nachuntersuchung unterworfen. Sie umfaßte die Bestimmung des freien
Spaltgases und eine ausgedehnte keramografische Brennstoff-Analyse. An
zwei Stäben wurde auch das im Brennstoff zurückgehaltene Spaltgas be-
stimmt.

Über diese Routine-Untersuchungen hinaus wurden an zahlreichen Brennstab-
Proben zusätzliche Analysen durchgeführt. Ihre Ergebnisse sind bereits
veröffentlicht /3,4/.

4.1 Spaltgasbestimmung

Zur Bestimmung des aus dem Brennstoff freigesetzten Spaltgases wurden
die Stäbe am Spaltgasraum angebohrt und das in einen Rezipienten
expandierende Gas auf seinen Gehalt an Krypton und Xenon analysiert.
Die Analyse erfolgte auf gaschromatischem Wege. Da Helium als Spül-
gas verwendet wurde, konnte der von der Herstellung herrührende Helium-
gehalt des im Brennstab vorhandenen Gasgemisches nicht ermittelt wer-
den. Zur Überprüfung der Gasanalyse wurde nachträglich die spezifische
Aktivität des Spaltgases gemessen und für das allein aktive Krypton
(Kr-85, Halbwertszeit 10,76 a) berechnet. Sie ist mit einer Ausnahme
(Stab G43) konstant; die Schwankungen liegen im Bereich der Meßge-

naugigkeit. Das Volumenverhältnis der Spaltgase zeigt ebenfalls nur bei Stab G43 eine leichte Anomalie. Damit können die nicht reproduzierbaren Analysenwerte der Spaltgasbestimmung als zuverlässig betrachtet werden.

Die einzelnen Analysendaten sind in Tabelle I zusammengestellt. Ihre Auswertung ist bereits erfolgt /3/.

Aus zwei Stäben wurde eine Anzahl von Brennstoff-Säulenabschnitten von jeweils ca. 10 mm Länge entnommen und auf ihren Gehalt an Restspaltgas analysiert. Dieses Restspaltgas wurde in zwei Fraktionen eingeteilt, in sogenanntes Porenspaltgas und in Gitterspaltgas. Beim Porenspaltgas handelt es sich um den Gasanteil, der beim Vermahlen des Brennstoffes in einer Vibrations-Kugelmühle freigesetzt wurde. Aus früheren Modellversuchen ist bekannt, daß die mittlere Korngröße des Mahlgutes unter $1\text{ }\mu\text{m}$ liegt. Als Gitterspaltgas wird schließlich der noch im Brennstoff-Mehl vorhandene Gasanteil durch Auflösen in Säure ermittelt. Abb. 19 und Abb. 20 zeigen die Verteilung der Gasfraktionen für die einzelnen Proben. Aus ihr ist zu entnehmen, daß der größere Teil des im Brennstoff verbliebenen Spaltgases beim Mahlen entweicht. Nur etwa ein Drittel bleibt zurück. Bei niedrigen Hüllwandtemperaturen (oberes Brennstabende, rechts) sinkt der Anteil des Gitterspaltgases sogar auf ein Viertel. Eine befriedigende Erklärung für diese Verteilung steht noch aus.

4.2 Keramografie

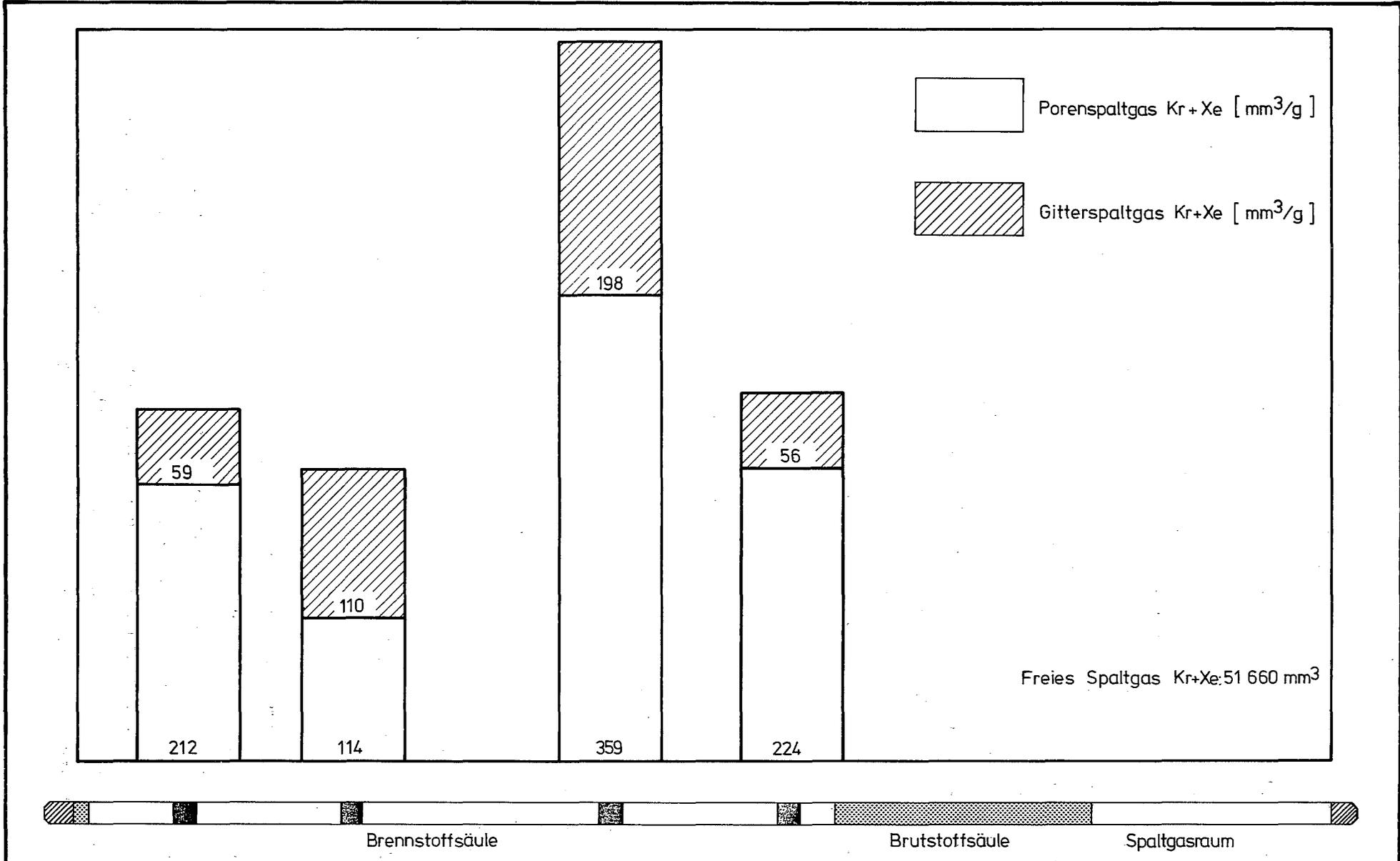
Um ein statistisch relevantes Bild vom Verhalten des eingesetzten Mischoxid-Brennstoffes zu erzielen, wurden die keramografischen Untersuchungen umfangreich angelegt. Von jedem Stab wurden im Mittel vier, bei einigen Stäben bis zu sieben Schlifflagen angefertigt.

Die Untersuchung wurde mit der Festlegung der Schlifflagen eingeleitet, wobei folgende Gesichtspunkte berücksichtigt wurden:

- Brennstabdaten (Stabaufbau, Herstellungsparameter),
- Bestrahlungsdaten (Verlauf von Stabileistung, Hülltemperatur und Abbrand),
- Nachuntersuchungsdaten (Brennstoffgeometrie, Spaltproduktansammlungen).

Tabelle I Analysenwerte für freies Spaltgas

Stab-Nr.	Spez. Krypton Aktivität ($\mu\text{ci}/\text{mm}^3$)	Krypton (mm^3)	Xenon (mm^3)	Kr/Xe	Kr + Xe (mm^3)
G - 2	157	7560	51 500	1:6,8	59 060
G - 4	152	7960	52 850	1:6,6	60 810
G - 6	157	7500	52 900	1:7,1	60 400
G - 14	147	9820	63 500	1:6,5	73 320
G - 21	154	8020	50 200	1:6,3	58 220
G - 36	166	5770	41 000	1:7,1	46 770
G - 39	160	6740	47 100	1:7,0	53 840
G - 40	162	5850	41 200	1:7,0	47 050
G - 41	152	7580	48 100	1:6,3	55 680
G - 43	222	7490	45 000	1:6,0	52 490
G - 49	F e h l m e s s u n g				
G - 50	-	6760	44 900	1:6,6	51 660
G - 56	163	6400	43 600	1:6,8	50 000
G - 57	154	6500	43 500	1:6,7	50 000
G - 61	163	7150	48 600	1:6,8	55 750



GtK Karlsruhe
IMF/III

Experiment DFR - 350 Stab G 50
Im Brennstoff zurückgehaltenes Splattgas

Abb. 20

Das Ziel der Keramografie war einerseits die typische Verhaltensweise der im Experiment enthaltenen Parameterkombinationen aufzuzeigen, andererseits Besonderheiten im Stabverhalten darzulegen. Für das erstere Ziel wurde im Bereich des Stableistungsmaximums bei jedem Stab ein Standard-Schnitt gelegt. Eine vergleichende Auswertung verschiedener Schliffe hinsichtlich Zentralkanal-Größe, Brennstoff/Hülle-Spalt und Brennstoffstrukturzonen ist mit sinnvollen Ergebnissen nur an Transversal-Schliffen möglich, weshalb die als typisch angesehenen Brennstoffabschnitte vornehmlich als Transversal-Schliffe ausgeführt wurden. Spezielle Phänomene wurden mit entsprechenden Schnitten bedacht. Für die Beobachtung des Übergangs Brennstoff/Brutstoff sowie für die Untersuchung der Innenkorrosion am heißen Stabende erwiesen sich Längsschliffe als besonders brauchbar, da sie es gestatten, den Verlauf der Brennstoffsäule bis zu einer Achslänge von 18 mm zu verfolgen.

Für die Dokumentation einer Schliffebene wurde folgendes Schema angewandt:

<u>Aufnahmetyp</u>	<u>Vergrößerung</u>
Totalaufnahme (bei Längsschliffen aus mehreren Teilen zusammengesetzt)	15 x
α - und β, γ -Autoradiografie	15 x
Panorama-Aufnahmen über den Säulen- radius	100 x
Detailaufnahmen	100 - 500 x

Gewöhnlich wurden die Schliffebenen im wasserfrei polierten Zustand untersucht. Nur in wenigen Fällen war ein Anätzen des Brennstoffes erforderlich.

Um die keramografischen Bilder einer quantitativen Auswertung zugänglich zu machen, wurden unter dem Mikroskop die unterscheidbaren Strukturzonen im Brennstoff vermessen. Bestimmt wurde der jeweilige Außendurchmesser der konzentrischen Zonen bzw. für den radialen Spalt die Spaltweite. Für den hier untersuchten Brennstoff wurden folgende Zonen unterschieden: Zentralkanal, große Stengelkörner, kleine Stengelkörner, Kornwachstum sowie der radiale Spalt zwischen Brennstoff

und Hülle. In den Tabellen II bis V sind die Meßwerte für alle ausgewerteten Schliffebenen angegeben. Zur besseren Übersicht findet sich zusätzlich darin eine schematische Darstellung des in Zonen aufgeteilten Brennstoffradius.

4.3 Radiochemische Abbrandbestimmung

Auf Grund der zentralen Position des Bündels im DFR während der Bestrahlung ergab sich kein zu berücksichtigender Neutronenflußgradient innerhalb des Bündels. Deshalb wurde für alle Stäbe der gleiche Abbrand angesetzt. Aus Brennstoff- und Bestrahlungsdaten wurde er im axialen Leistungsmaximum zu 5,65 % Fima errechnet.

Dieser Wert wurde durch radiochemische Analyse an drei Stäben kontrolliert. Als Abbrandindikator wurde das stabile Spaltnuklid Nd-148 herangezogen. Die Abklingzeit der Stäbe nach Bestrahlungsende erlaubte es außerdem noch das aktive Ce-144 (Halbwertszeit 284 Tage) zu bestimmen, so daß zwei voneinander unabhängige Analysenwerte erhalten wurden.

Die Abbrandanalyse erfolgte jeweils an 10 mm langen Abschnitten der Stäbe. Der darin enthaltene Brennstoff wurde mit Säure aufgelöst und in einem aliquoten Teil das Neodym massenspektrometrisch bestimmt. Ein weiterer Teil diente zur γ -spektrometrischen Bestimmung des Ce-144. Als Bezugsgröße wurde der Gehalt der Analysenlösung an Uran und Plutonium ermittelt.

Wie aus Tabelle VI ersichtlich, stimmen beide Abbrandwertreihen sehr gut miteinander überein. Dies ist insbesondere deshalb überraschend weil mehrere Kerndaten der Spaltnuklide, z.B. Spaltausbeute, Neutroneneinfangsquerschnitt, γ -Emissionswahrscheinlichkeit u.a., nur mit unzureichender Genauigkeit bekannt sind. Die Übereinstimmung läßt außerdem darauf schließen, daß eine selektive Wanderung der analysierten Spaltnuklide nicht stattgefunden hat.

Generell liegen die radiochemischen Abbrandwerte höher als die berechneten. Im axialen Flußmaximum beträgt die Differenz etwa 0,2 %. Im steilen Abbrandgradienten am unteren Ende der Brennstoffsäule hingegen sinkt der Abbrand nach den radiochemischen Werten noch steiler ab. In Abb. 21 sind die Abweichungen der Einzelwerte von der berechneten Abbrandkurve dargestellt. Unter Berücksichtigung der bei Abbrandberechnung und radiochemischer Abbrandbestimmung vorhandenen Fehlerquellen kann die Übereinstimmung beider Werte aber als befriedigend bezeichnet werden.

Tab. II: Zonenauswertung der Keramografie

Stab	Probe Quer-o. Längs	Zentralkanal [mm]	Stengelkörner groß [mm]	Stengelkörner klein [mm]	Kornwachstum [mm]	rad. Spalt [µm]	← Brennstoffradius →
G 2	7 Q	0,80	1,85	2,30	2,60	-	
	3 Q	0,95	2,00	2,30	2,60	30	
	1 L	nicht	auswertbar				
G 4	1 Q	0,78	1,90	2,30	2,60	-	
G 6	6 Q	0,94	1,85	2,20	2,60	-	
	5 Q	0,76	2,00	2,35	2,60	15	
	4 Q	0,80	1,70	2,05	2,60	-	
	3 Q	0,73	1,60	2,00	2,60	-	
	2 Q	0,50	1,40	1,80	2,60	-	
	1 Q	nicht	auswertbar			50	
G 14	7 Q	0,72	1,90	2,35	2,55	50	
	5 L	0,69	1,80	2,20	2,63	40	
	2 Q	0,62	1,80	2,30	2,55	25	
	14 Q	0,54	1,70	2,10	2,60	30	
	13 Q	0,50	1,60	2,00	2,60	25	
	12 Q	0,65	1,60	1,95	2,60	30	
	11 Q	nicht	auswertbar			100	
G 21	15 L	0,76	-	2,20	2,55	50	

Zentralkanal
 Stengelkörner groß
 Stengelkörner klein
 Kornwachstum
 unverändert

Tab. III: Zonenauswertung der Keramografie

Stab	Probe Quer-o. Längs	Zentralkanal [mm]	Stengelkörner groß [mm]	Stengelkörner klein [mm]	Kornwachstum [mm]	rad. Spalt [μm]	← Brennstoffradius →
G 21	12 Q	0,84	2,20	2,50	2,60	-	
	9 Q	1,26	2,30	2,50	-	50	
	3 Q	0,67	2,00	2,45	2,60	-	
G 36	11 L	nicht	auswertbar			75	
	8 Q	1,00	2,10	2,50	2,63	-	
	3 Q	0,74	2,25	2,45	2,60	-	
	1 L	0,63	-	2,30	2,55	-	
G 39	6 L	0,60	1,65	2,20	2,60	-	
	5 Q	nicht	auswertbar			70	
	4 Q	0,87	1,85	2,20	2,60	15	
	3 Q	0,95	2,00	2,30	2,60	-	
	2 Q	0,81	1,80	2,20	2,60	-	
	1 L	0,76	1,80	2,15	2,60	-	
G 40	9 L	0,92	2,20	2,50	-	60	
	7 Q	0,95	2,30	2,60	-	-	
	5 L	1,10	-	2,55	-	50	
	2 Q	0,18	2,30	2,50	-	-	
G 41	12 L	0,85	-	2,10	2,60	65	

Zentralkanal
 Stengelkörner groß
 Stengelkörner klein
 Kornwachstum
 unverändert

Tab. IV : Zonenauswertung der Keramografie

Stab	Probe Quer-o. Längs	Zentralkanal [mm]	Stengelkörner groß [mm]	Stengelkörner klein [mm]	Kornwachstum [mm]	rad. Spalt [μ m]	← Brennstoffradius →
G 41	9 Q	1,05	1,90	2,30	2,60	-	
	5 L	0,93	1,80	2,20	2,60	20	
	3 Q	0,65	1,85	2,20	2,55	-	
	1 L	0,70	1,80	2,10	2,60	20	
G 43	8 Q	0,80	1,85	2,10	2,60	-	
	7a Q	0,95	1,80	2,10	2,60	-	
	5 Q	0,80	1,75	2,00	2,60	-	
	3 Q	0,65	1,70	2,00	2,60	-	
	2 Q	0,62	1,70	2,00	2,60	-	
	1 Q	nicht	auswertbar				-
G 49	9 L	0,85	-	2,35	2,60	60	
	7 Q	1,00	2,10	2,35	2,60	-	
	4 Q	0,90	2,10	2,35	2,60	-	
	3 Q	0,87	2,00	2,30	2,60	-	
	2 Q	0,80	2,00	2,30	2,60	-	
	1 L	0,67	2,10	2,35	2,60	-	
G 50	10 L	0,75	-	2,25	2,60	-	
	7 Q	0,83	2,00	2,30	2,60	20	

Zentralkanal
 Stengelkörner groß
 Stengelkörner klein
 Kornwachstum
 unverändert.

Tab. V: Zonenauswertung der Keramografie

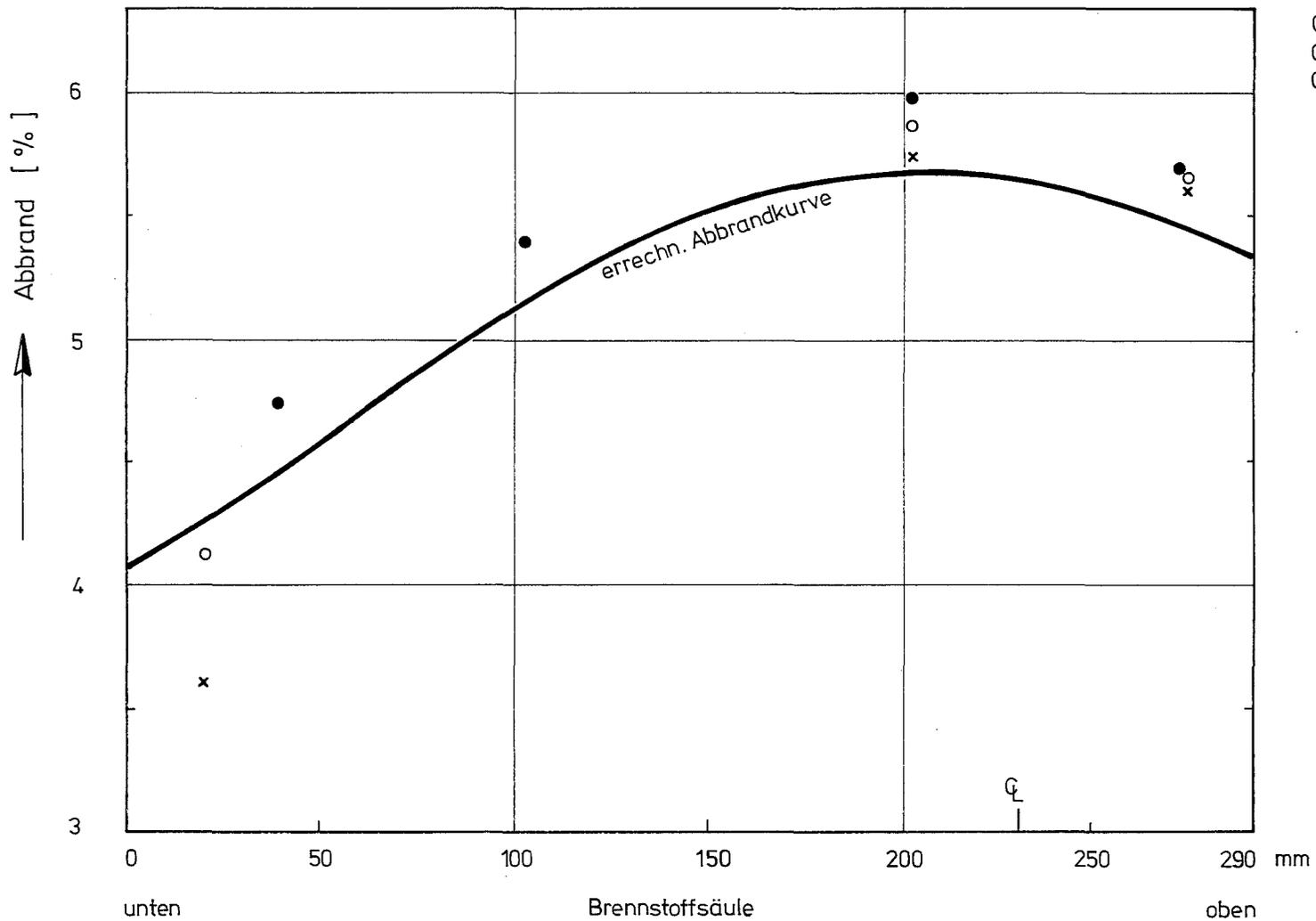
Stab	Probe Quer-o. Längs	Zentralkanal [mm]	Stengelkörner groß [mm]	Stengelkörner klein [mm]	Kornwachstum [mm]	rad. Spalt [µm]	← Brennstoffradius →
G 56	8 Q	0,90	1,20	2,40	2,60	10	
	6 Q	0,87	2,10	2,35	2,60	5	
	4 Q	0,75	2,00	2,30	2,60	-	
	3 Q	0,75	1,80	2,20	2,60	-	
	2 Q	0,60	1,80	2,20	2,60	-	
	1 Q	nicht	auswertbar				30
G 57	14 L	0,88	1,90	2,30	2,55	60	
	11 Q	0,86	2,05	2,40	2,55	-	
	7 Q	1,23	2,40	2,55	-	-	
	3 Q	0,64	2,15	2,40	2,55	-	
G 61	1 L	0,73	1,80	2,20	2,60	5	

Zentralkanal
 Stengelkörner groß
 Stengelkörner klein
 Kornwachstum
 unverändert

Tabelle VI Radiochemische Abbrandbestimmung

Stab	P r o b e		Abbrand in % Fima		Differenz %
	Nr.	Position ^{+))}	Nd-148	Ce-144	
G36	10	293	5,629	5,586	0,76
	7	220	5,789	5,717	1,24
	2	38	3,569	3,602	0,92
G41	11	293	5,645	5,699	0,95
	8	221	5,849	5,902	0,90
	2	37	4,157	4,106	1,23
G61	5	290	5,690	5,646	0,77
	4	220	5,951	6,022	1,18
	3	119	5,373	5,494	2,20
	2	56	4,707	4,783	1,59

^{+))} Entfernung vom unteren Stabende (mm)



5. Erklärung zur Dokumentation der Keramografie

Die Bilder der keramografischen Untersuchungen sind zusammen mit den Röntgenaufnahmen der Stäbe in Anhang II dokumentiert. Jeder Stab ist für sich dargestellt und seine Dokumentation gliedert sich in ein Deckblatt, mehrere Seiten mit Detailfotos sowie ein großes Faltblatt.

Auf dem Deckblatt sind die wichtigsten Herstellungs- und Bestrahlungsdaten nochmals aufgeführt.

Es folgen dann die Einzelblätter mit den wichtigsten Detailaufnahmen aus der keramografischen Untersuchung. Zur genauen Zuordnung dieser Bilder ist die Information aus dem nachstehenden Faltblatt erforderlich, das deshalb ans Ende gestellt wurde, damit bei aufgeklapptem Faltblatt die zugehörigen Detailbilder gleichzeitig betrachtet werden können.

Im Faltblatt schließlich findet sich eine Übersicht über die gesamte keramografische Untersuchung. Anhand einer Stab-Zeichnung wird die Position der Proben aufgezeigt. Die Untersuchungsebenen sind in Form von Makro-Aufnahmen (ursprüngliche Vergrößerung 15- bzw. 20-fach) dargestellt. Unter diesen Aufnahmen befinden sich die zugehörigen α - und $\beta\gamma$ -Autoradiografien. Jede gezeigte Schliffebene ist durch eine Probennummer gekennzeichnet mit deren Hilfe man die Detailaufnahmen auf den voranstehenden Seiten jeder Probe zuordnen kann. Es muß erwähnt werden, daß die Probennummern zwar immer von links nach rechts ansteigen, jedoch keine lückenlose Folge bilden. Der Grund dafür ist in der Tatsache zu suchen, daß bei jedem Stab gewöhnlich weit mehr Proben als hier aufgeführt abgeschnitten wurden und eine Bezeichnung erhielten. Nur ein Teil davon wurde keramografisch untersucht.

Neben den Bildern der Keramografie enthält das Faltblatt noch die Durchstrahlungsaufnahmen aus der Röntgendurchleuchtung. Eine Zuordnung zu den Keramografie-Bildern soll dadurch erleichtert werden, daß Röntgenfoto und Schnittplan im gleichen Maßstab abgebildet sind.

6. Schlußfolgerungen

Als Ziel für das Experiment DFR-350 war von Anfang an lediglich die erfolgreiche Bestrahlung bis zu einem Abbrand von 50.000 MWd/t M definiert. Mit der bereits im DERE erfolgten zerstörungsfreien Nachuntersuchung wurde dieses Ziel erreicht, als nachgewiesen wurde, daß alle Stäbe intakt geblieben waren und sich unmittelbar auch kein bevorstehender Stabschaden andeutete.

Der zerstörenden Nachuntersuchung in Karlsruhe kam deshalb die Aufgabe zu, über das ursprüngliche Ziel hinaus möglichst umfangreiche Informationen über das Verhalten von Brennstoff und Hülle zu erwerben. Da über die Auswertung der hier vorgestellten Untersuchungen bereits berichtet wurde /3/, sollen an dieser Stelle nur die Sachgebiete aufgeführt werden, in denen neue Kenntnisse gesammelt wurden.

- Hüllrohrschwellen und Hüllrohrverformung im schnellen Neutronenfluß
- Mechanische Eigenschaften des bestrahlten Hüllmaterials
- Spaltprodukt-Wanderung (besonders Cäsium)
- Brennstoff-Umverteilung durch Bestrahlung
- Spaltgas-Freisetzung und -Rückhaltung
- Innenkorrosion des Brennstab-Hüllrohres
- Außenkorrosion des Brennstab-Hüllrohres
- Uran-Plutonium-Umverteilung

Es soll erwähnt werden, daß bei der hier untersuchten Stabgruppe die Herstellungs- und Bestrahlungs-Parameter nahezu konstant für alle Stäbe waren. Eine Ausnahme bildeten lediglich die zwei verwendeten Hüllmaterialien. Somit kommt den gewonnenen Kenntnissen auch eine gewisse statistische Bedeutung zu.

Literatur

- /1/ D. Geithoff, K. Kummerer:
Auslegung, Bestrahlung und zerstörungsfreie Nachuntersuchung
des UO_2 - PuO_2 -Brennstab-Bündels DFR-350
KFK-Bericht Nr. 1377 (Mai 1972)
- /2/ G. Roussel, B. van Outryve d' Ydewalle:
DFR-350-Experiment, Post Irradiation Report
Bericht BN 7401.01 (1974)
- /3/ K. Ehrlich et al:
 UO_2 - PuO_2 -Brennstabbündel-Bestrahlung DFR-350, Auswertung der
Untersuchungsergebnisse an den bestrahlten Stäben
KFK-Bericht Nr. 1960 (Juni 1974)
- /4/ E. Smailos, D. Geithoff:
Die axiale Verteilung einiger Spaltnuklide in Brennstäben des
Bestrahlungsexperimentes DFR-350
KFK-Bericht Nr. 1648 (Oktober 1972)

Liste der Tabellen:

	Seite
Tabelle I Analysenwerte für freies Spaltgas	29
Tabelle II Zonenauswertung der Keramografie	34
Tabelle III " " "	35
Tabelle IV " " "	36
Tabelle V " " "	37
Tabelle VI Radiochemische Abbrandbestimmung	38

Liste der Abbildungen:

Abb. 1 Aufbau eines Brennstabes	5
Abb. 2 Visuelle Inspektion von Stab G4	7
Abb. 3 " " " " G6	8
Abb. 4 2. Vermessung des Stabdurchmessers, Stab G2	10
Abb. 5 " " " " " G4	11
Abb. 6 " " " " " G6	12
Abb. 7 " " " " " G14	13
Abb. 8 " " " " " G21	14
Abb. 9 " " " " " G36	15
Abb. 10 " " " " " G39	16
Abb. 11 " " " " " G40	17
Abb. 12 " " " " " G41	18
Abb. 13 " " " " " G43	19
Abb. 14 " " " " " G49	20
Abb. 15 " " " " " G50	21
Abb. 16 " " " " " G56	22
Abb. 17 " " " " " G57	23
Abb. 18 " " " " " G61	24
Abb. 19 Im Brennstoff zurückgehaltenes Spaltgas, Stab G39	30
Abb. 20 " " " " " , Stab G50	31
Abb. 21 Radiochemische Abbrandbestimmungen	39

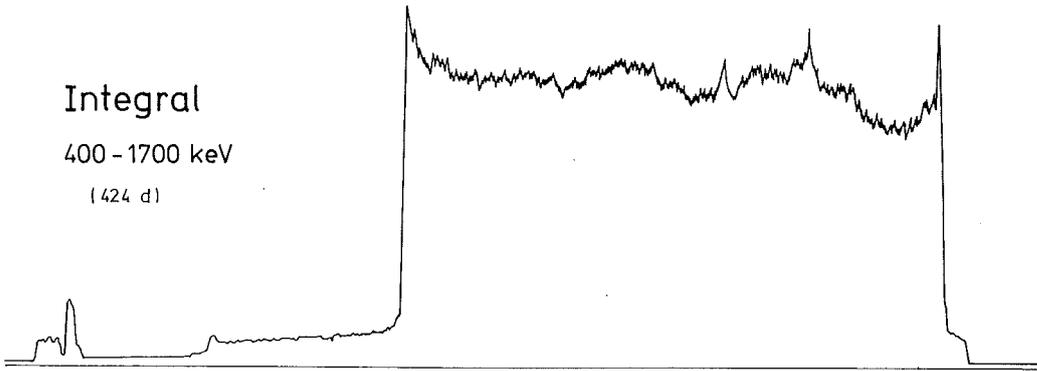
Anhang I

γ -Profile

Integral

400 - 1700 keV

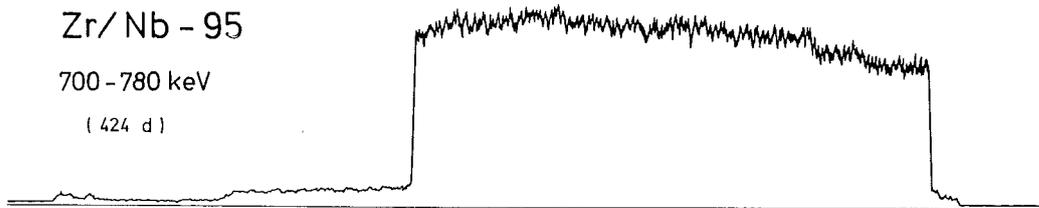
(424 d)



Zr/Nb - 95

700 - 780 keV

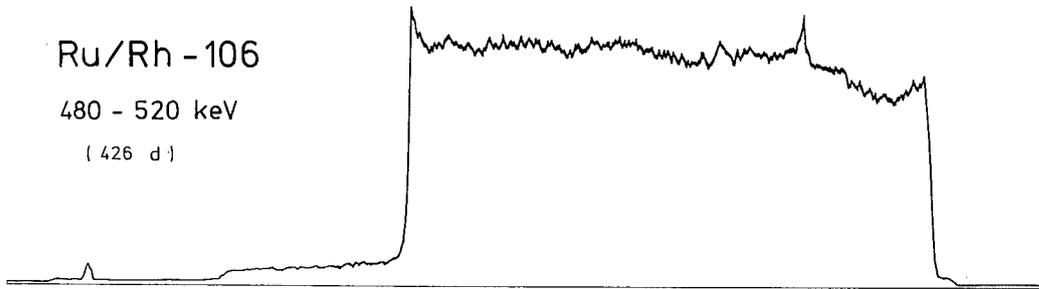
(424 d)



Ru/Rh - 106

480 - 520 keV

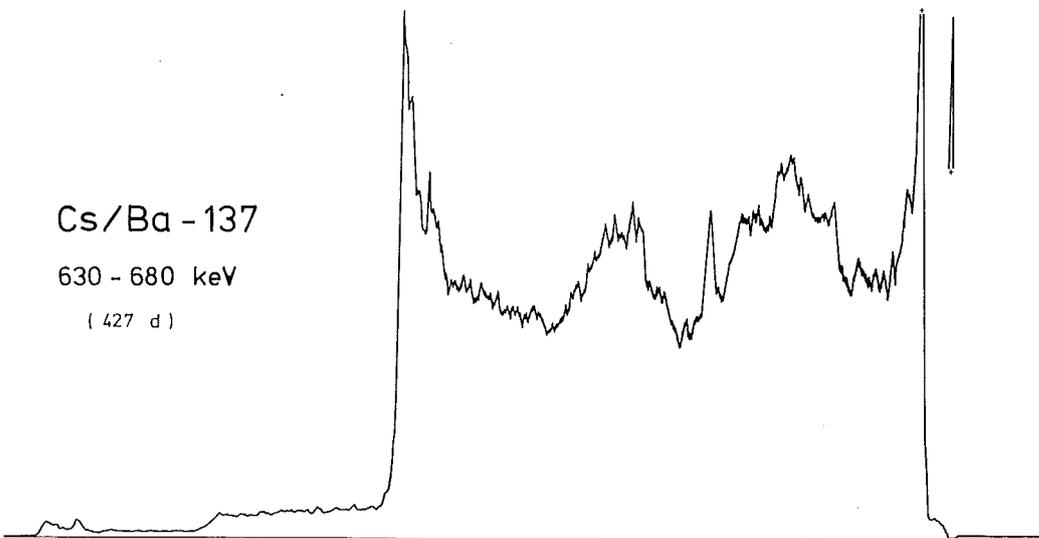
(426 d)



Cs/Ba - 137

630 - 680 keV

(427 d)

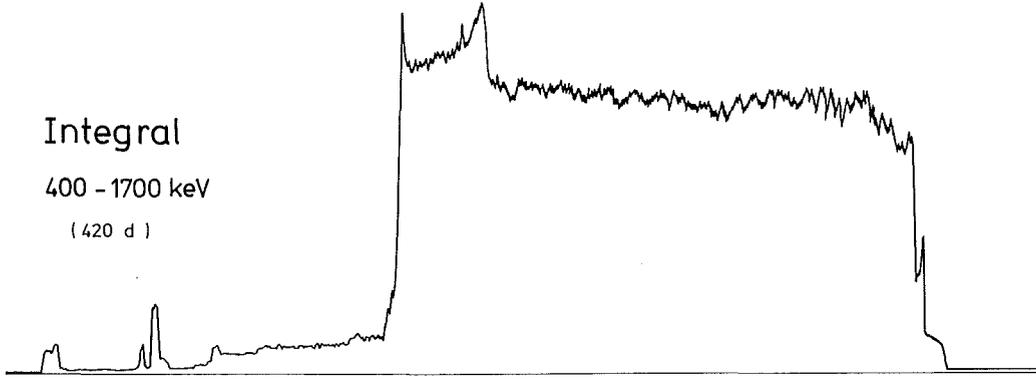


Y - Profile
Stab G 2

Integral

400 - 1700 keV

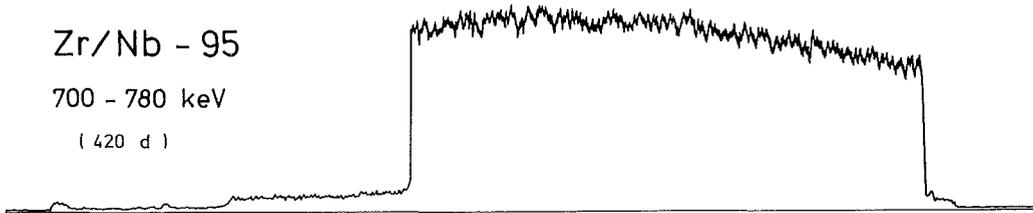
(420 d)



Zr/Nb - 95

700 - 780 keV

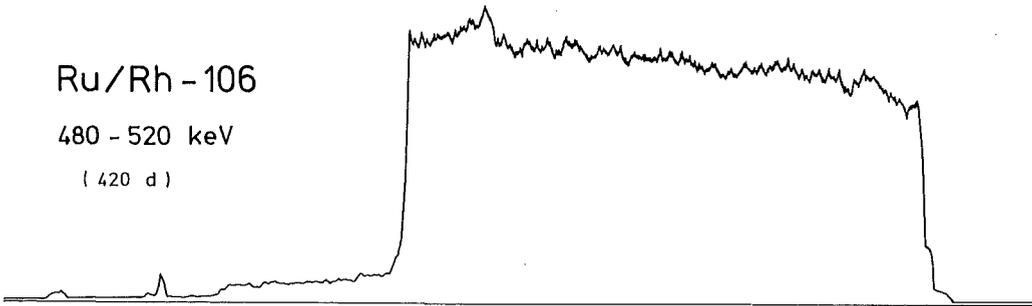
(420 d)



Ru/Rh - 106

480 - 520 keV

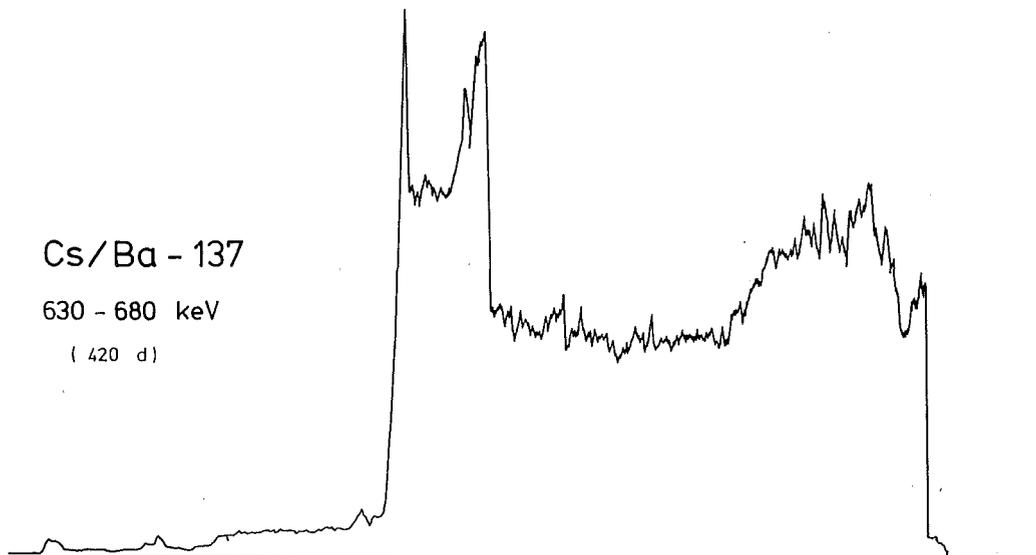
(420 d)



Cs/Ba - 137

630 - 680 keV

(420 d)

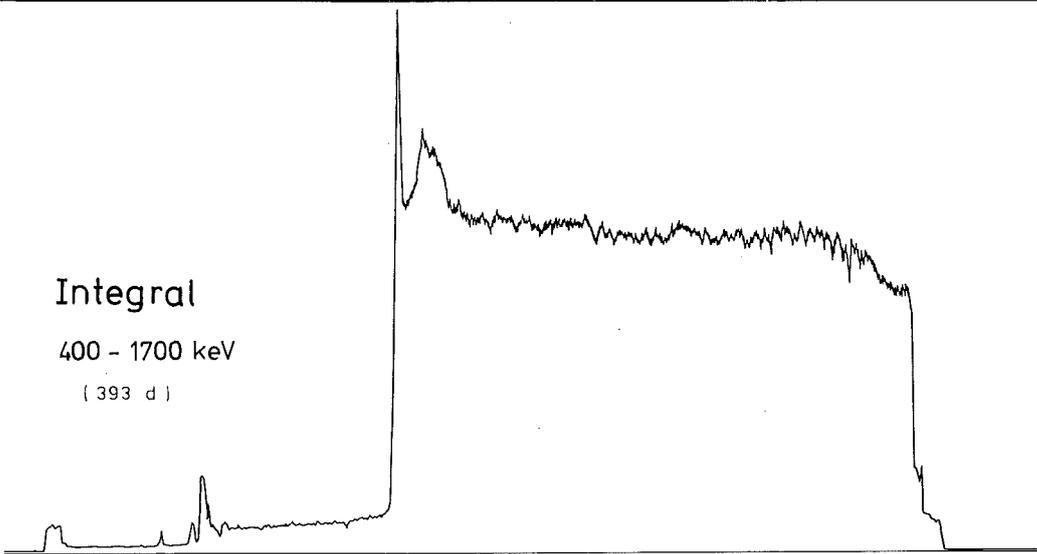


Y - Profil
Stab G 4

Integral

400 - 1700 keV

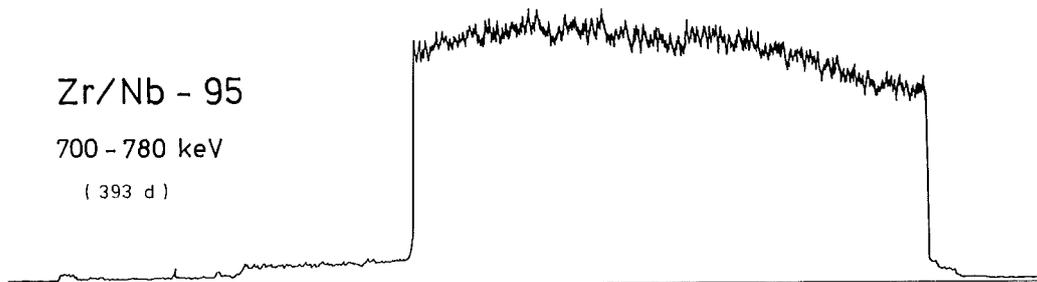
(393 d)



Zr/Nb - 95

700 - 780 keV

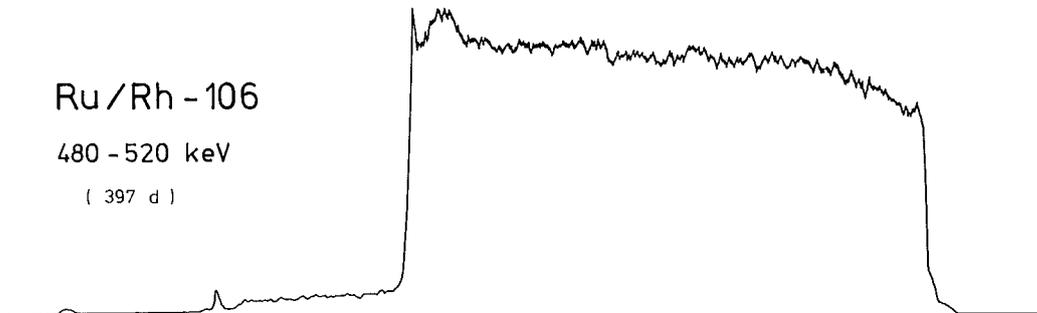
(393 d)



Ru/Rh - 106

480 - 520 keV

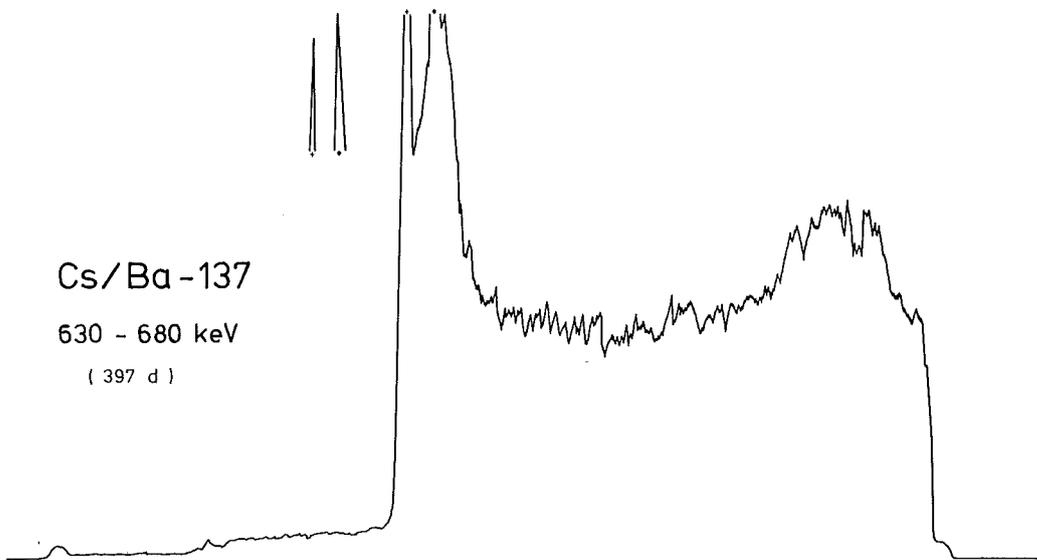
(397 d)



Cs/Ba - 137

630 - 680 keV

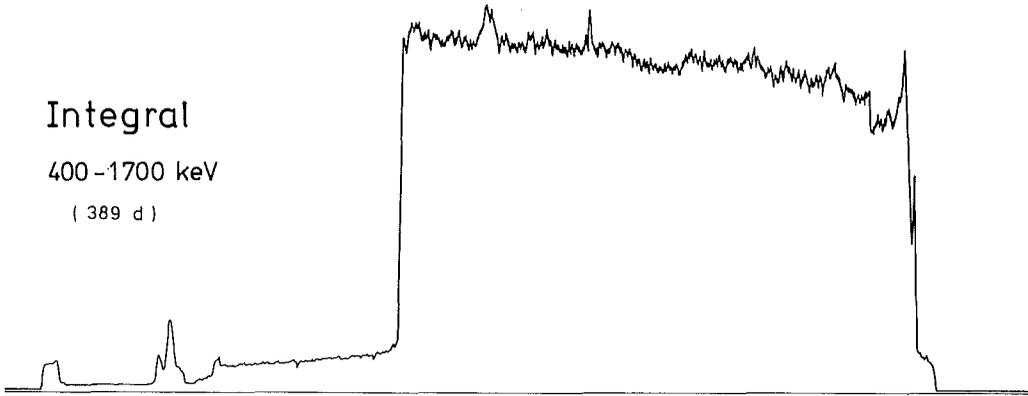
(397 d)



Y - Profile
Stab G 6

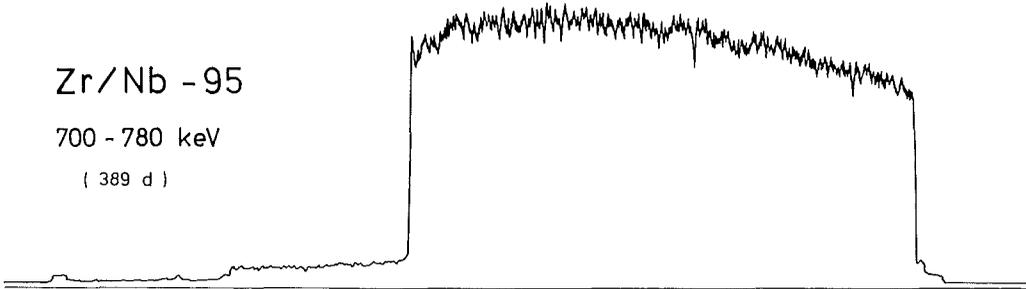
Integral

400 - 1700 keV
(389 d)



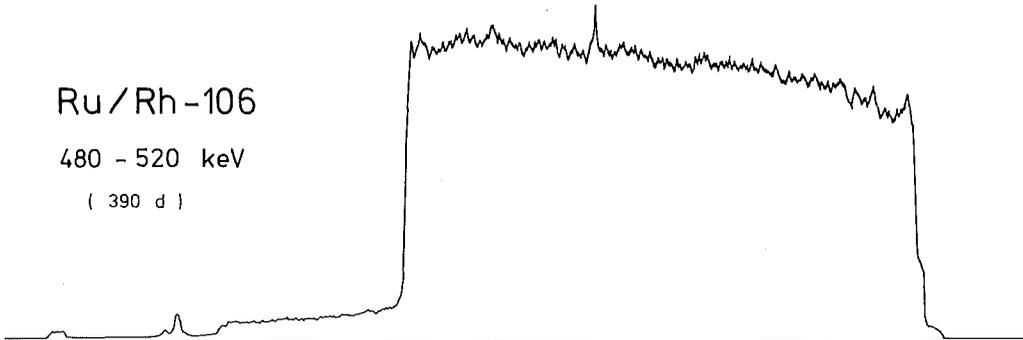
Zr/Nb - 95

700 - 780 keV
(389 d)



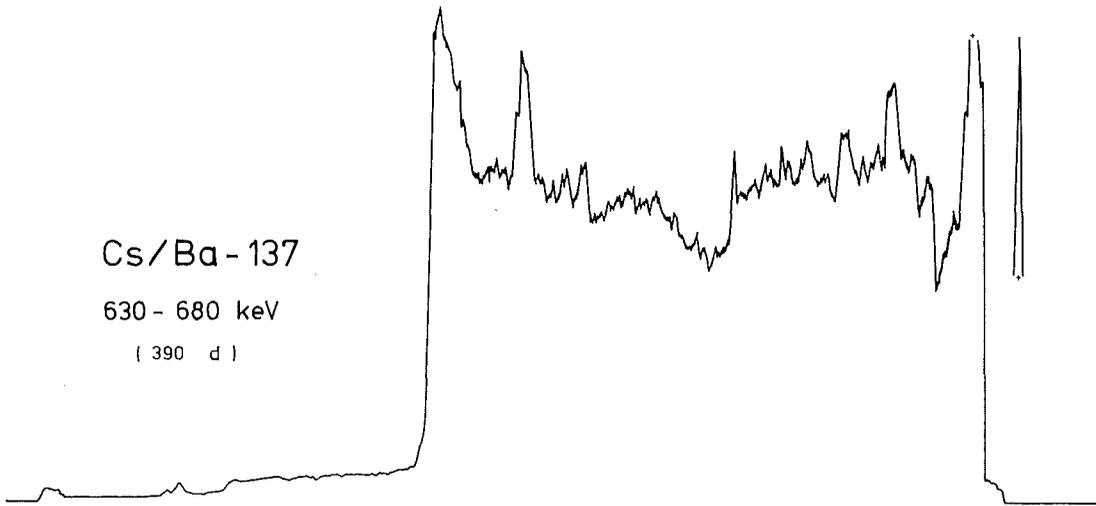
Ru/Rh - 106

480 - 520 keV
(390 d)



Cs/Ba - 137

630 - 680 keV
(390 d)

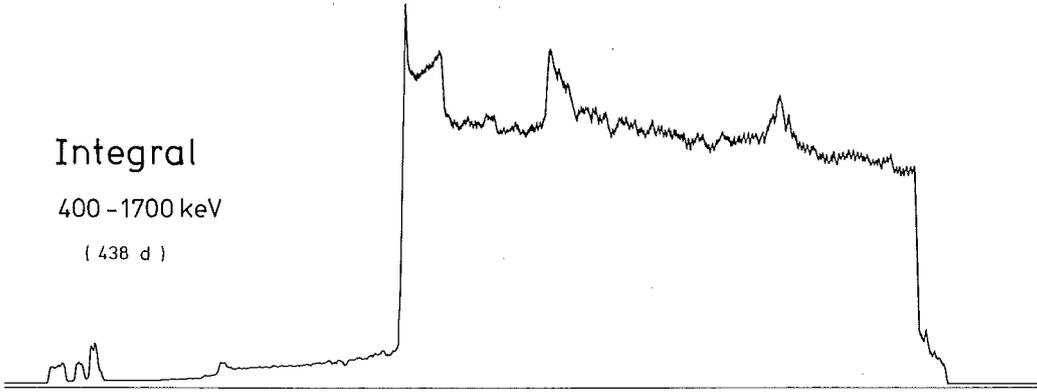


Y - Profile
Stab G 14

Integral

400 - 1700 keV

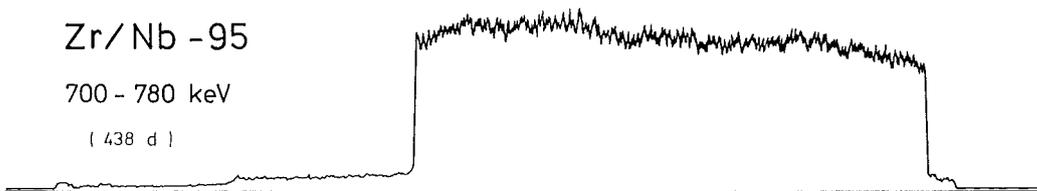
(438 d)



Zr/Nb - 95

700 - 780 keV

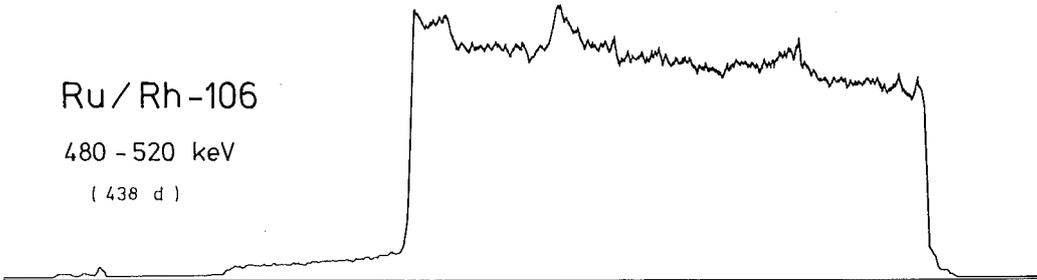
(438 d)



Ru/Rh-106

480 - 520 keV

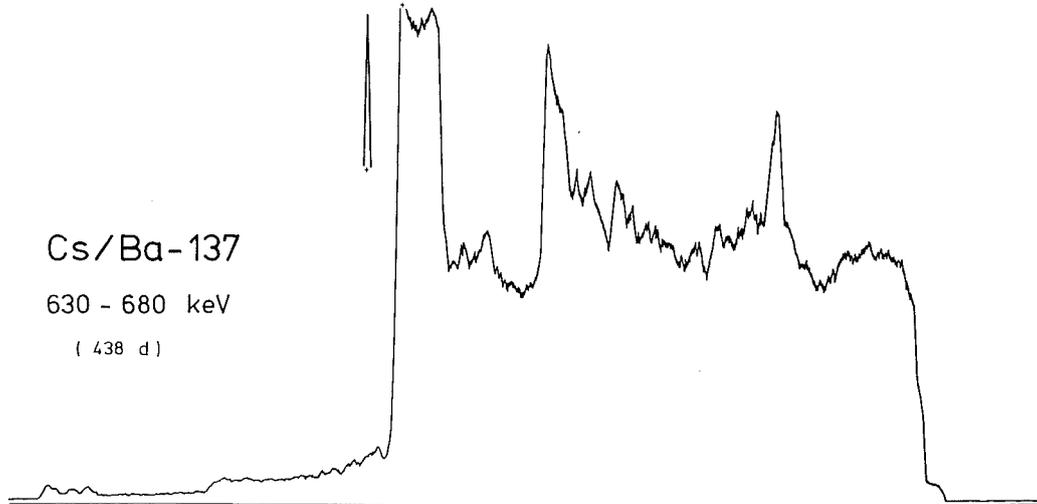
(438 d)



Cs/Ba-137

630 - 680 keV

(438 d)



Y - Profile
Stab G 21

Integral

400 - 1700 keV

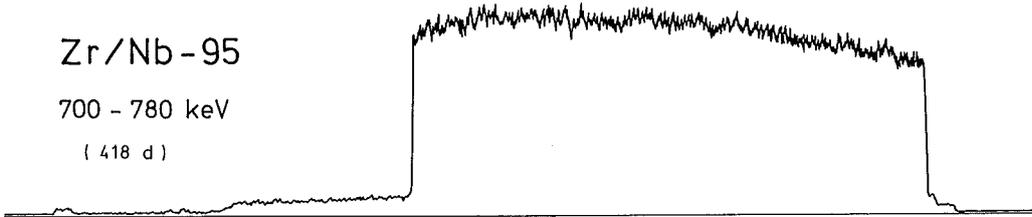
(418 d)



Zr/Nb - 95

700 - 780 keV

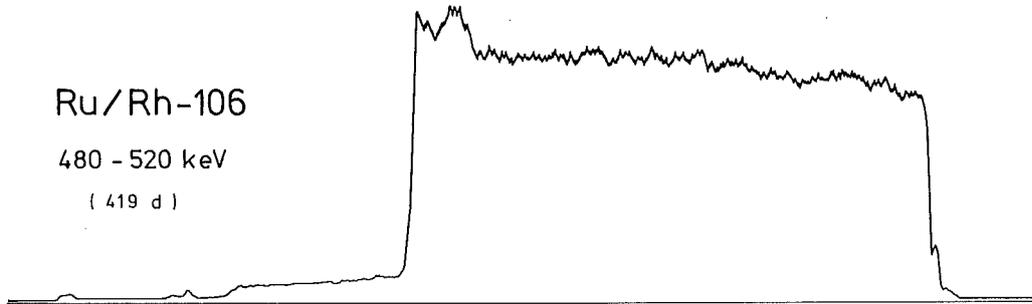
(418 d)



Ru/Rh-106

480 - 520 keV

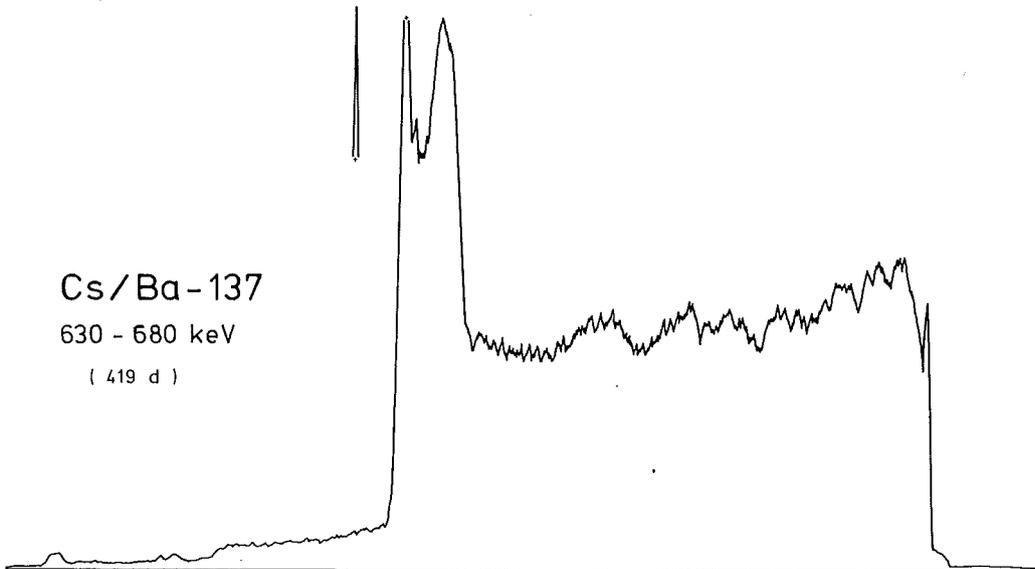
(419 d)



Cs/Ba - 137

630 - 680 keV

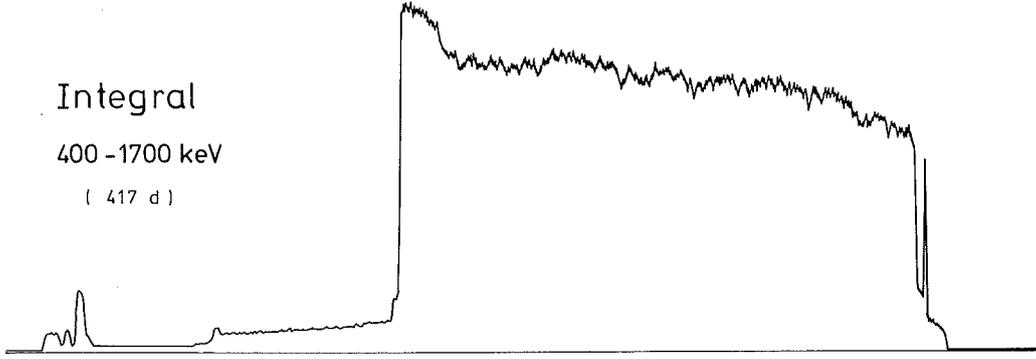
(419 d)



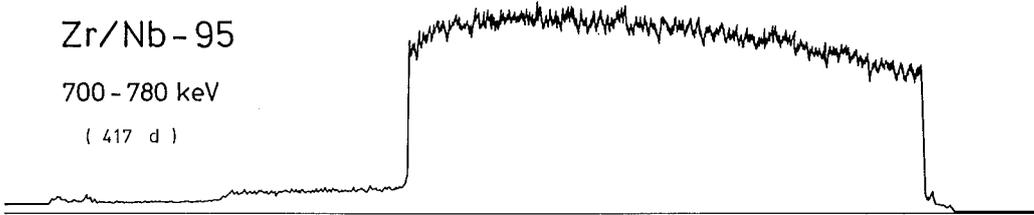
Y - Profile

Stab - G 36

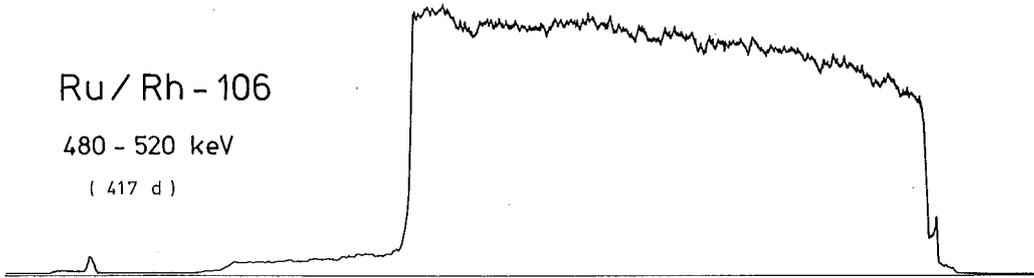
Integral
400 - 1700 keV
(417 d)



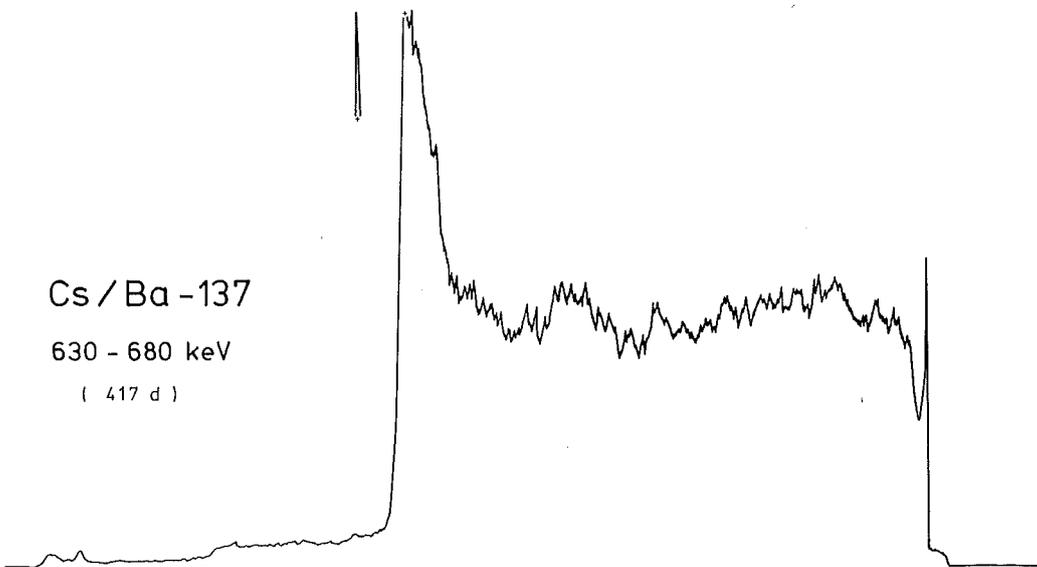
Zr/Nb - 95
700 - 780 keV
(417 d)



Ru/Rh - 106
480 - 520 keV
(417 d)

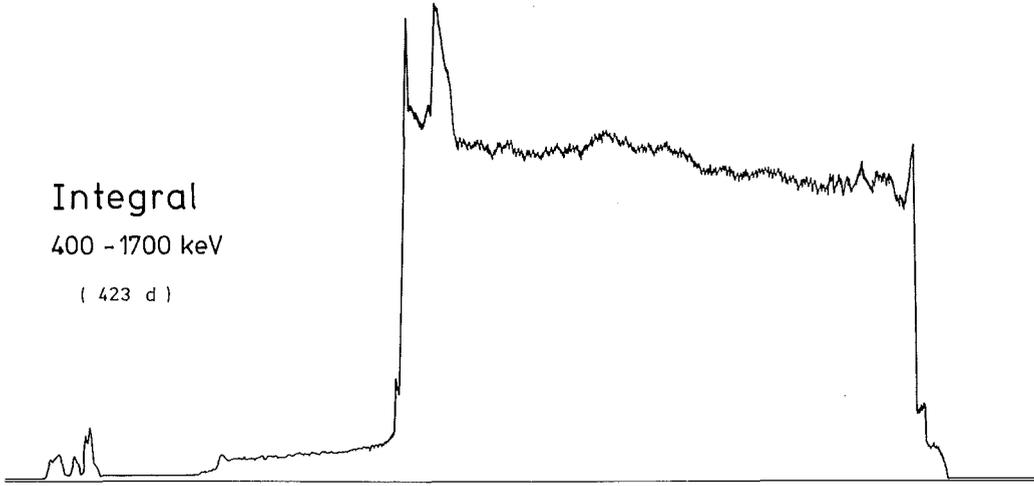


Cs / Ba - 137
630 - 680 keV
(417 d)

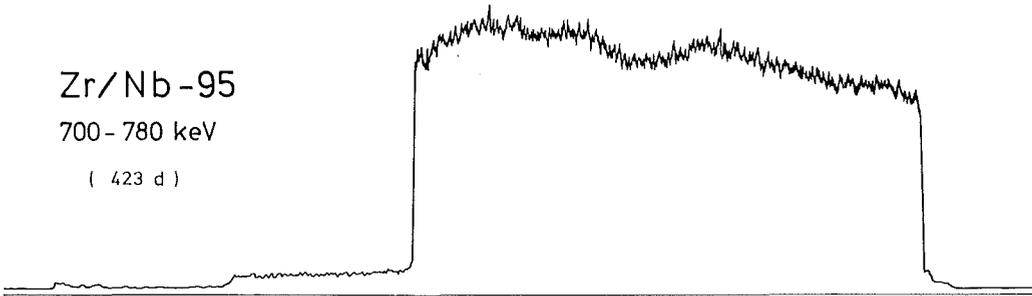


Y - Profile
Stab G-39

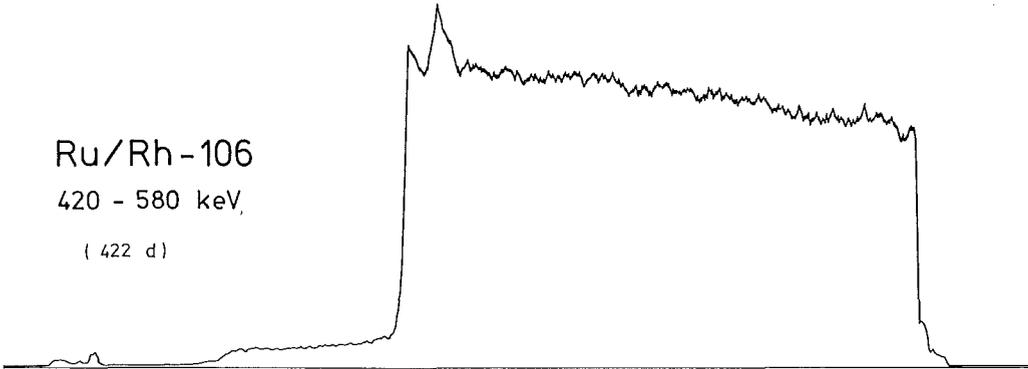
Integral
400 - 1700 keV
(423 d)



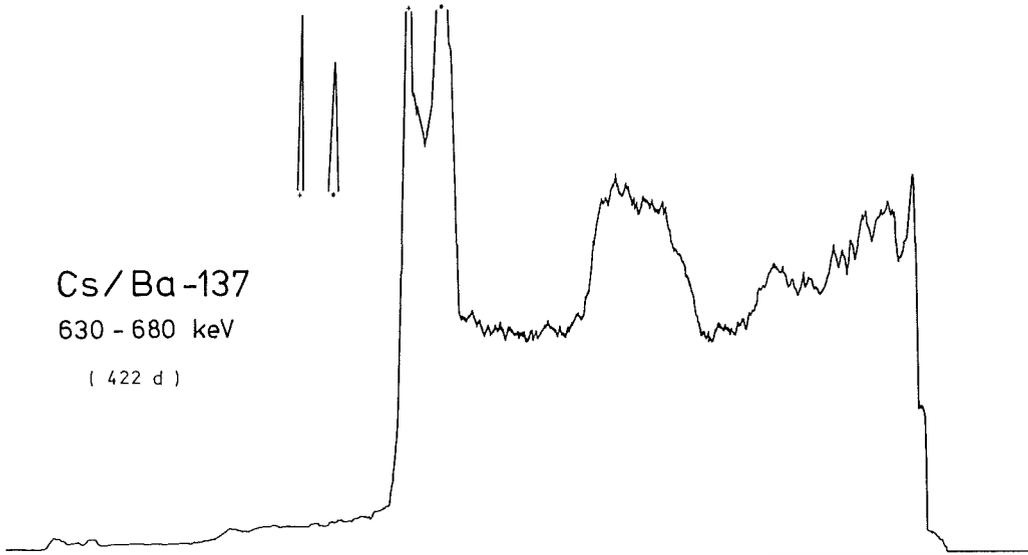
Zr/Nb-95
700 - 780 keV
(423 d)



Ru/Rh-106
420 - 580 keV,
(422 d)



Cs/Ba-137
630 - 680 keV
(422 d)

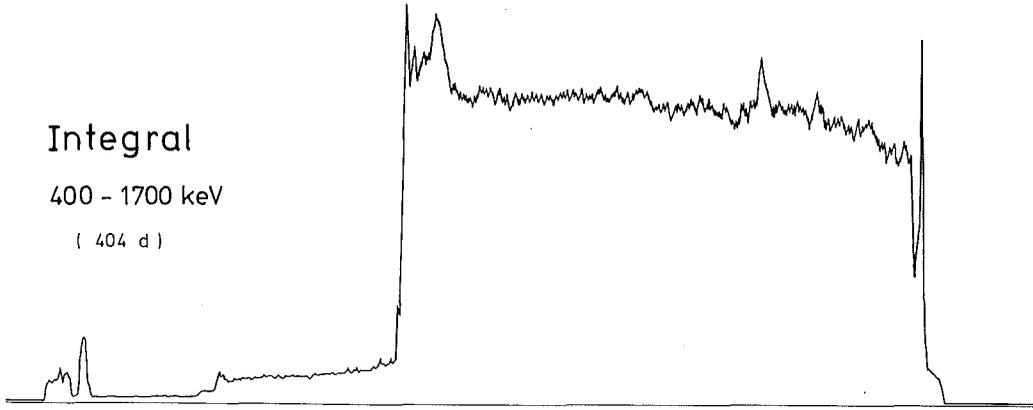


Y - Profile
Stab G 40

Integral

400 - 1700 keV

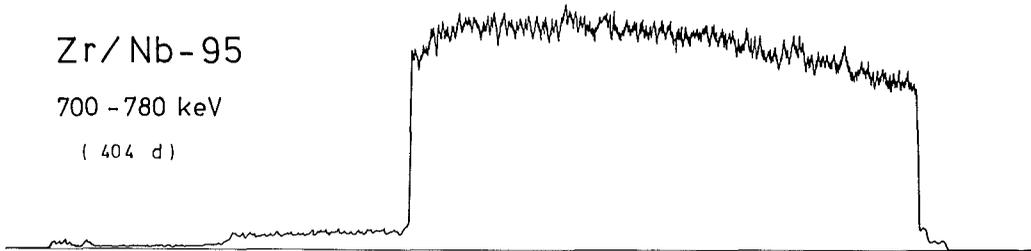
(404 d)



Zr/Nb-95

700 - 780 keV

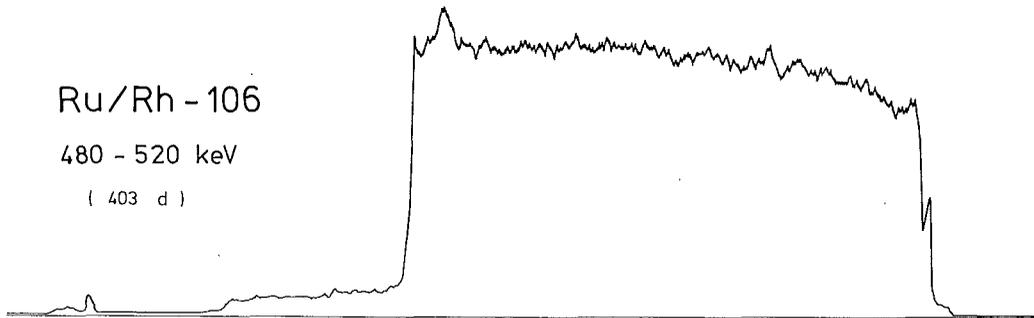
(404 d)



Ru/Rh-106

480 - 520 keV

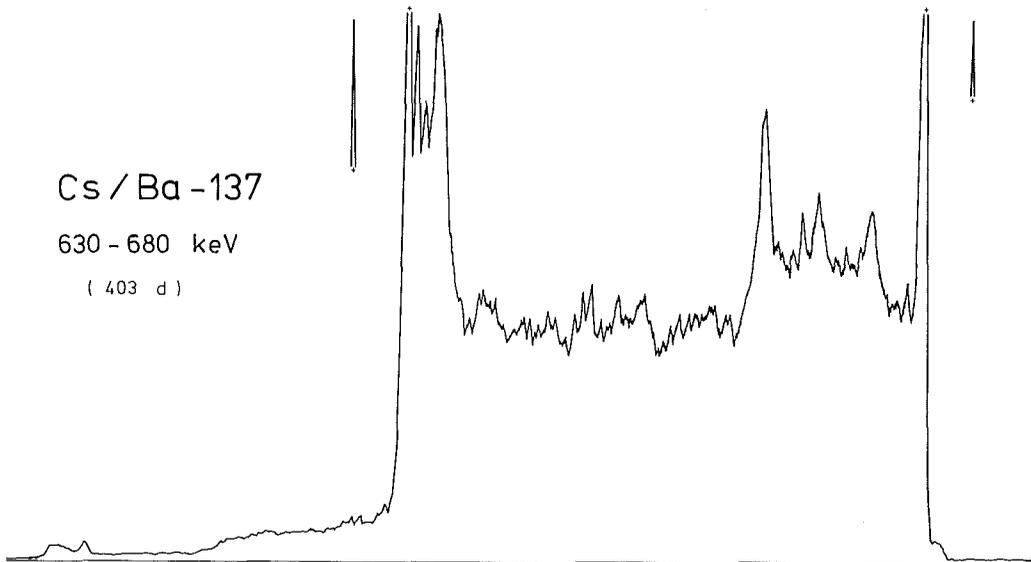
(403 d)



Cs/Ba-137

630 - 680 keV

(403 d)

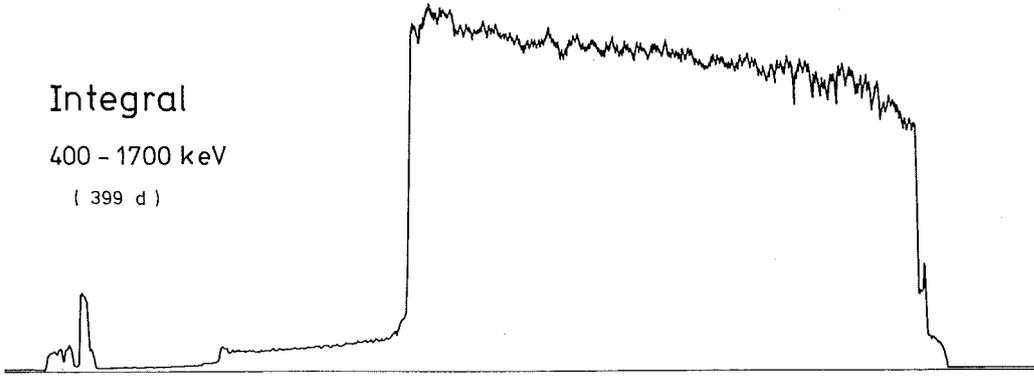


Y - Profile
Stab G 41

Integral

400 - 1700 keV

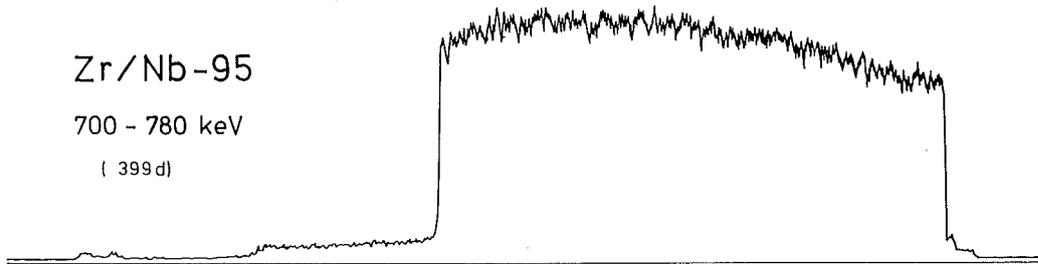
(399 d)



Zr/Nb-95

700 - 780 keV

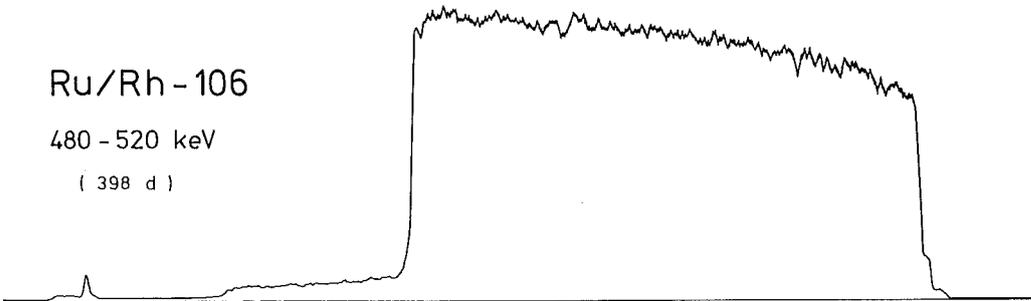
(399 d)



Ru/Rh-106

480 - 520 keV

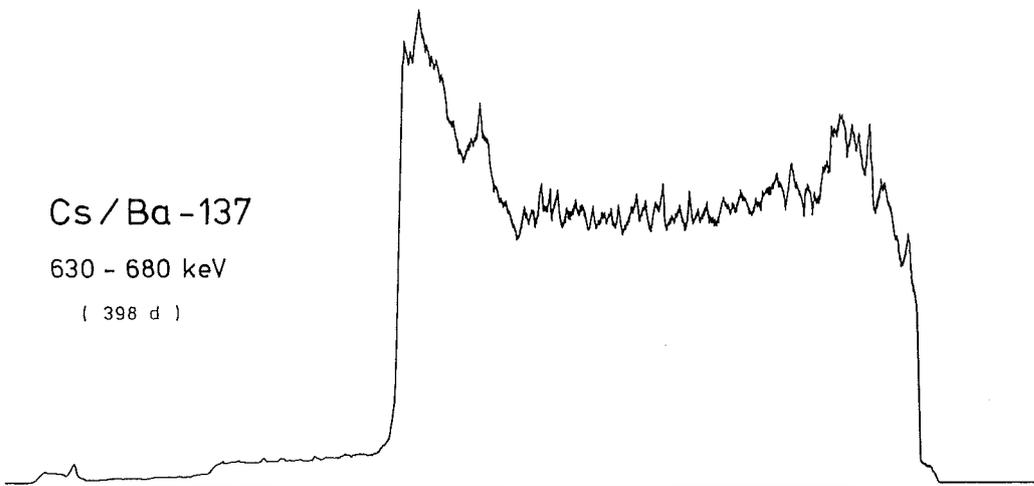
(398 d)



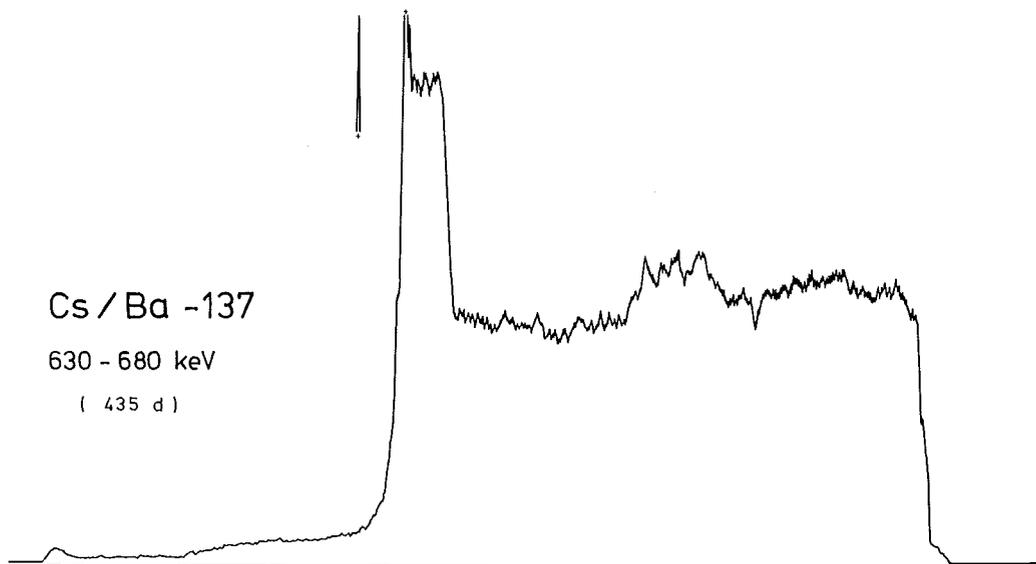
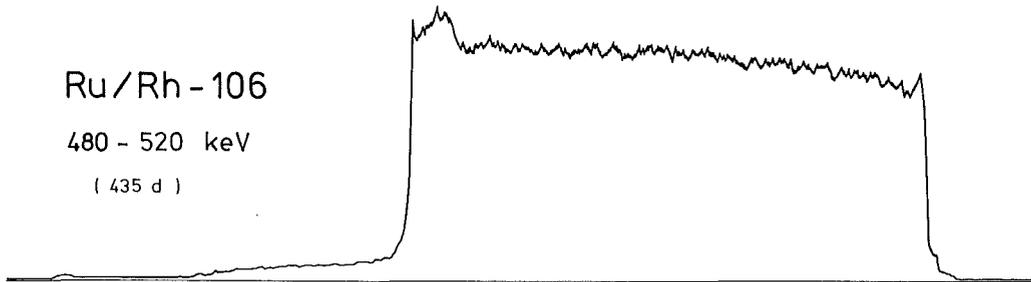
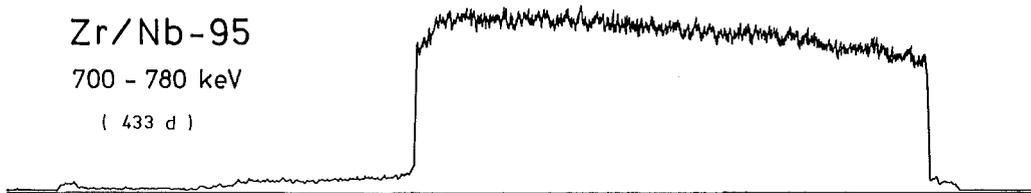
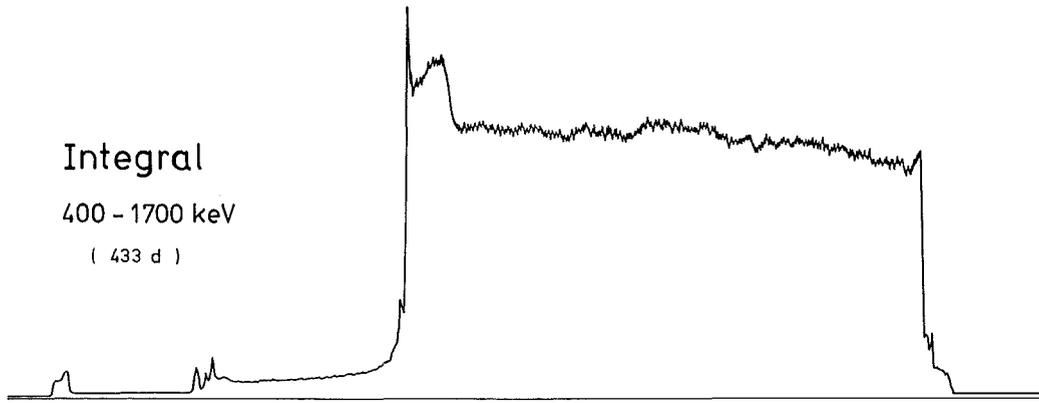
Cs/Ba-137

630 - 680 keV

(398 d)



Y - Profile
Stab G 43

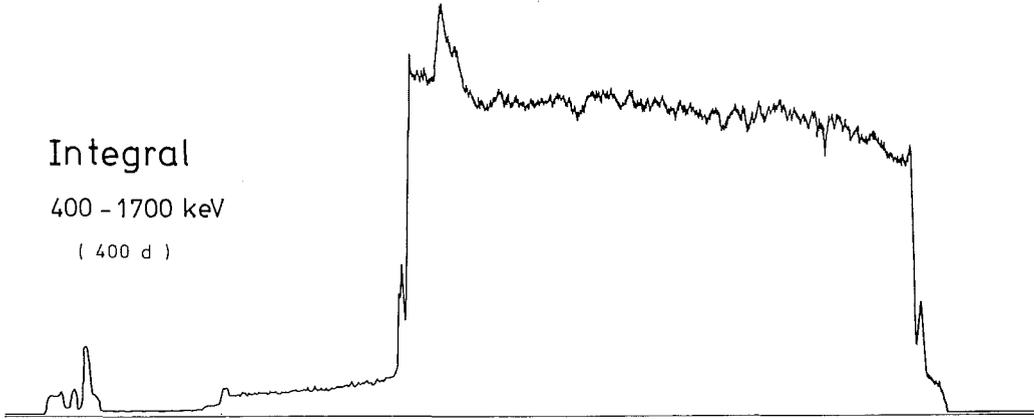


Y - Profile
Stab G 49

Integral

400 - 1700 keV

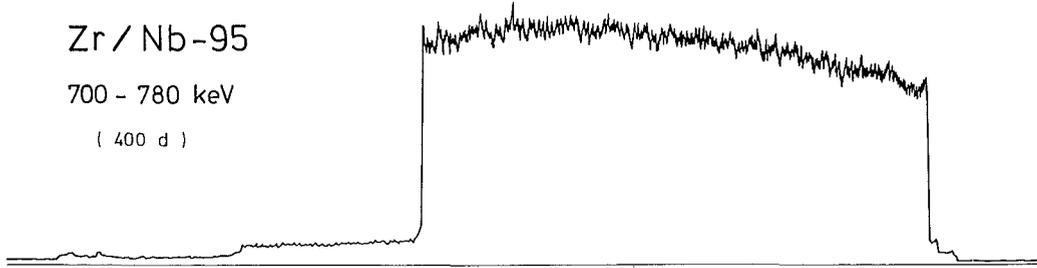
(400 d)



Zr / Nb-95

700 - 780 keV

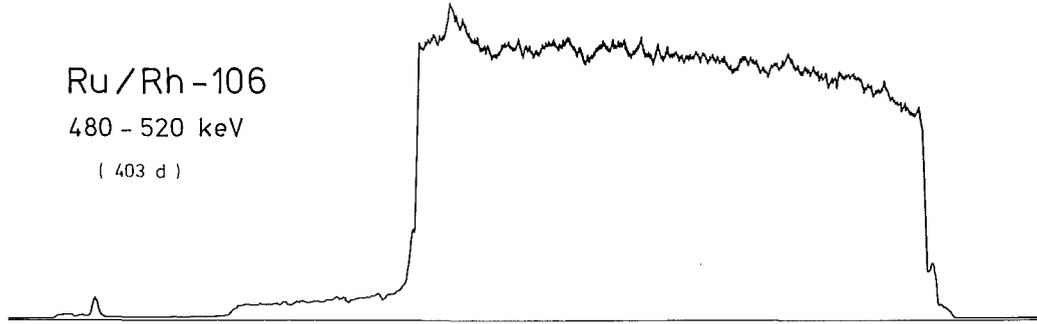
(400 d)



Ru / Rh-106

480 - 520 keV

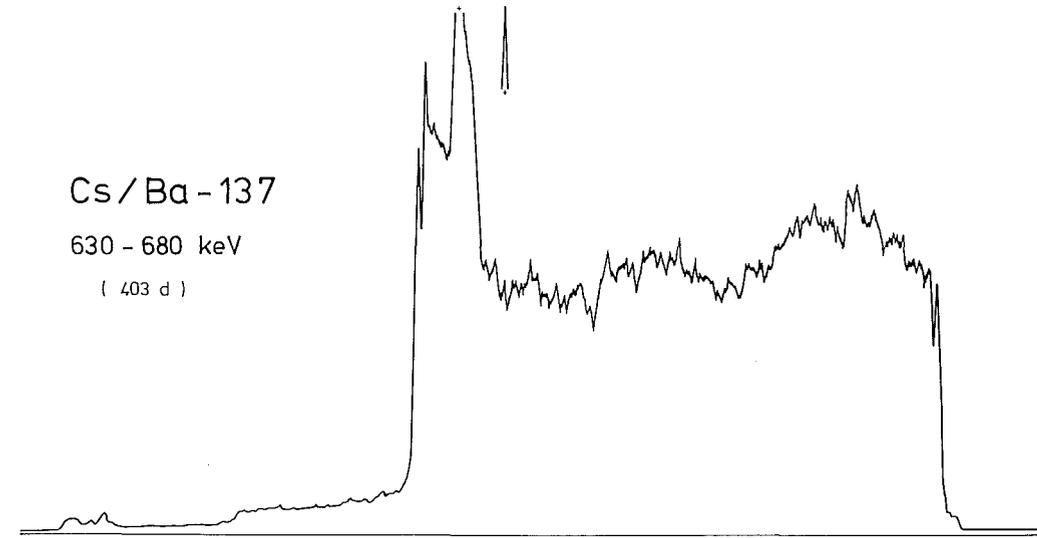
(403 d)



Cs / Ba-137

630 - 680 keV

(403 d)

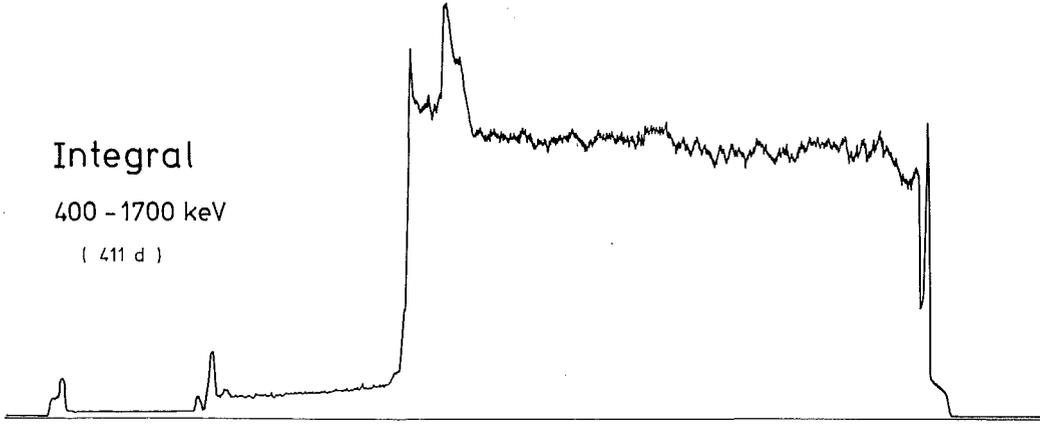


Y - Profile
Stab G 50

Integral

400 - 1700 keV

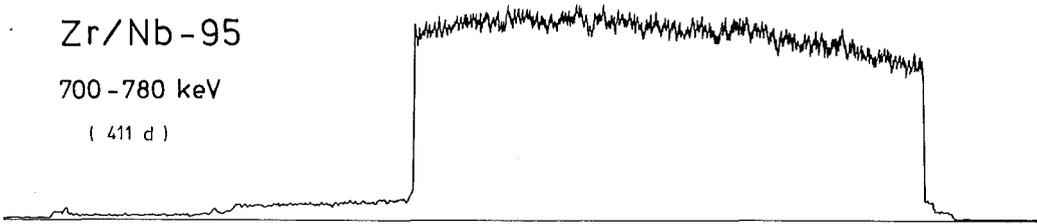
(411 d)



Zr/Nb-95

700 - 780 keV

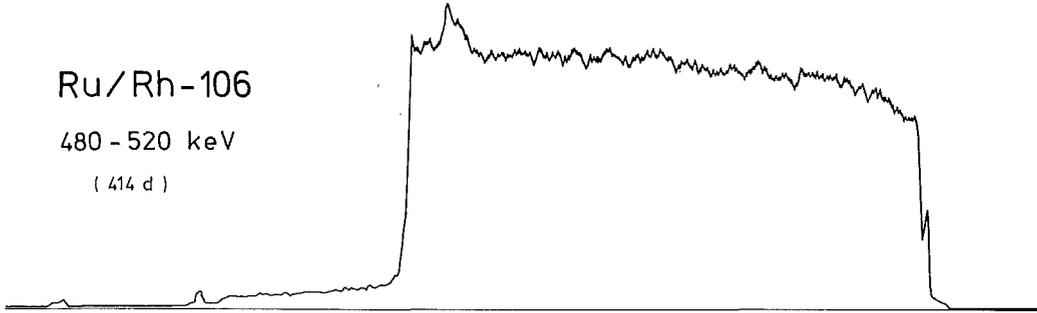
(411 d)



Ru/Rh-106

480 - 520 keV

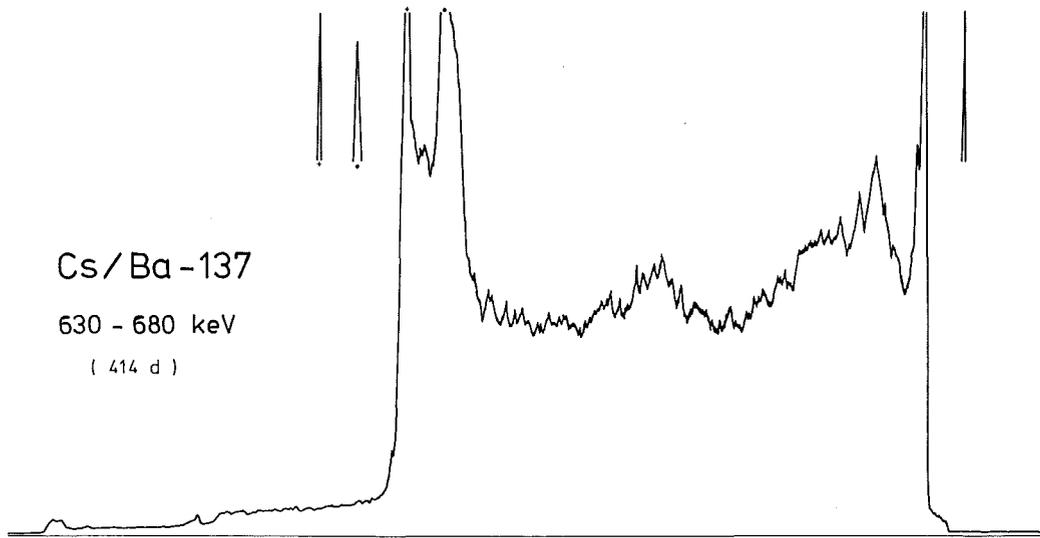
(414 d)



Cs/Ba-137

630 - 680 keV

(414 d)

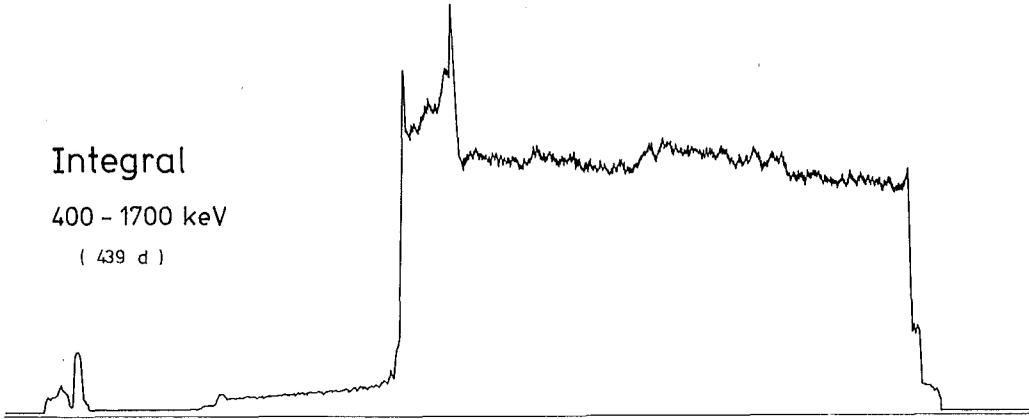


Y - Profile
Stab G 56

Integral

400 - 1700 keV

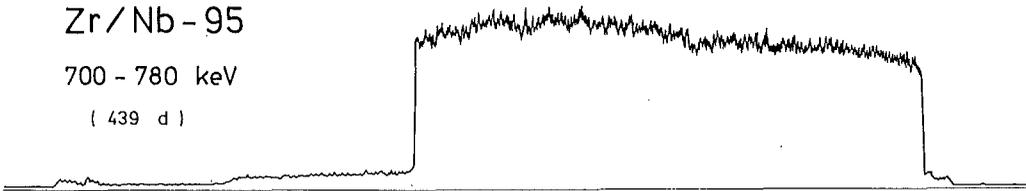
(439 d)



Zr/Nb - 95

700 - 780 keV

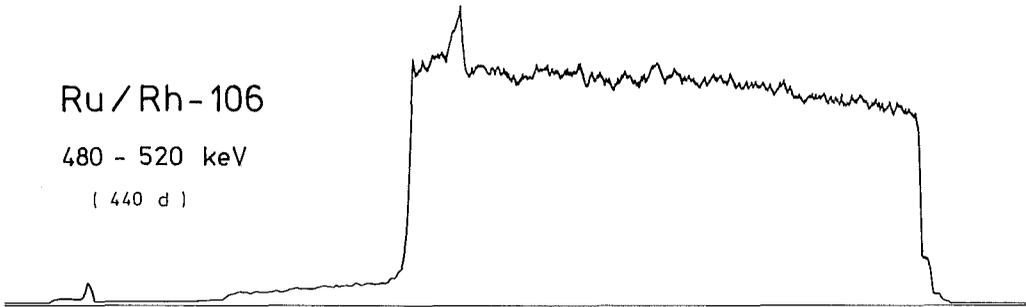
(439 d)



Ru/Rh - 106

480 - 520 keV

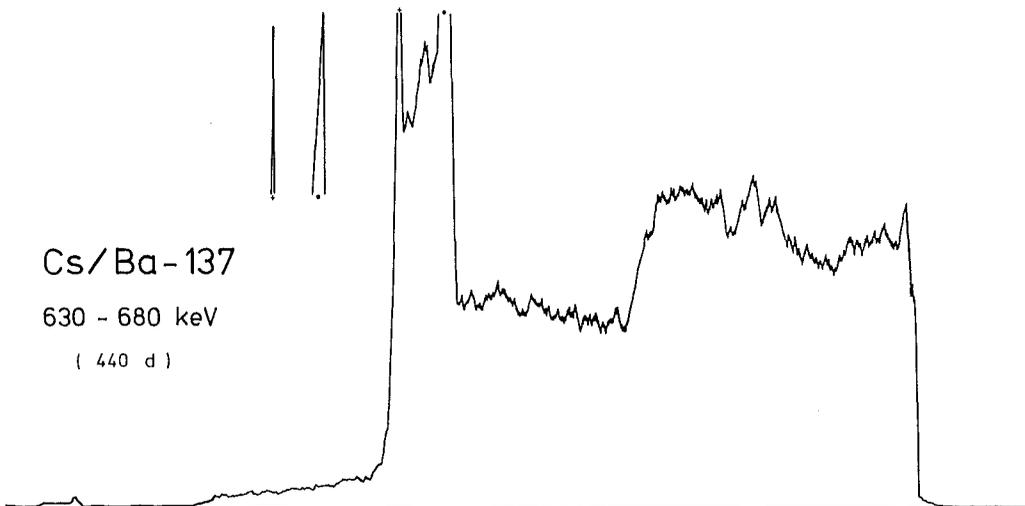
(440 d)



Cs/Ba - 137

630 - 680 keV

(440 d)

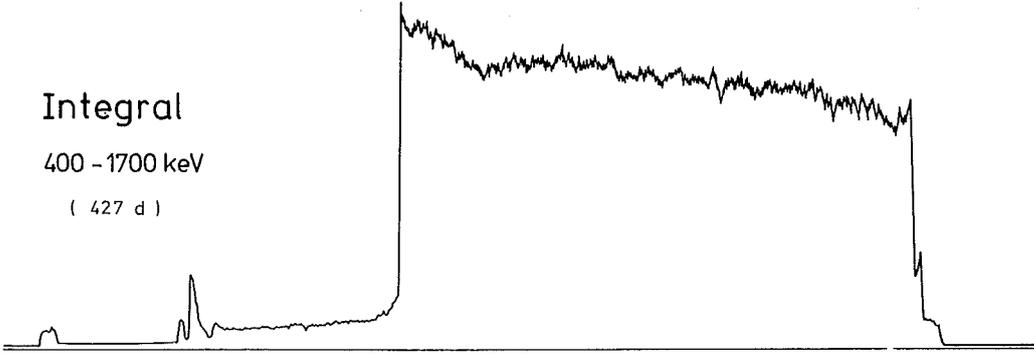


Y - Profile
Stab G 57

Integral

400 - 1700 keV

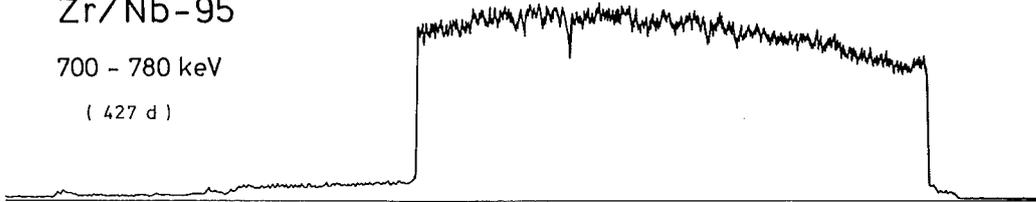
(427 d)



Zr/Nb-95

700 - 780 keV

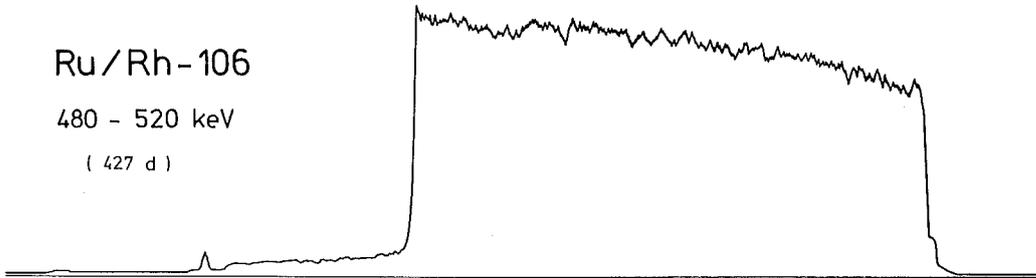
(427 d)



Ru/Rh-106

480 - 520 keV

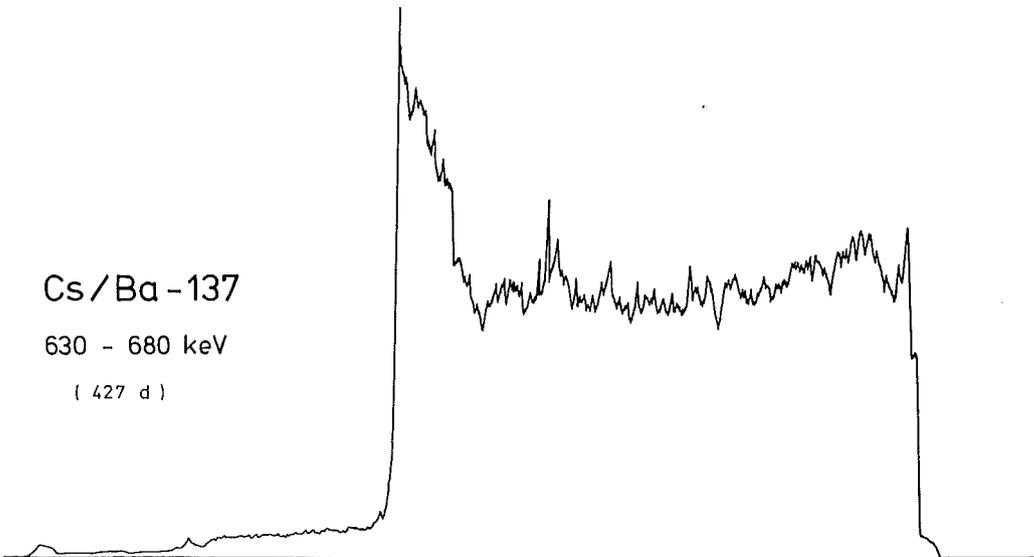
(427 d)



Cs/Ba-137

630 - 680 keV

(427 d)



Y - Profile
Stab G 61

Anhang II

Übersichten und Detail-Keramografie

Brennstab G-2

Brennstoff

Form : Tabletten
Zusammensetzung : UO_2 - PuO_2 (80/20)
Tablettendichte : 89,5 % th.D.

Hülle

Material : 1.4988
Außendurchmesser : 6,00 mm
Wandstärke : 0,38 mm

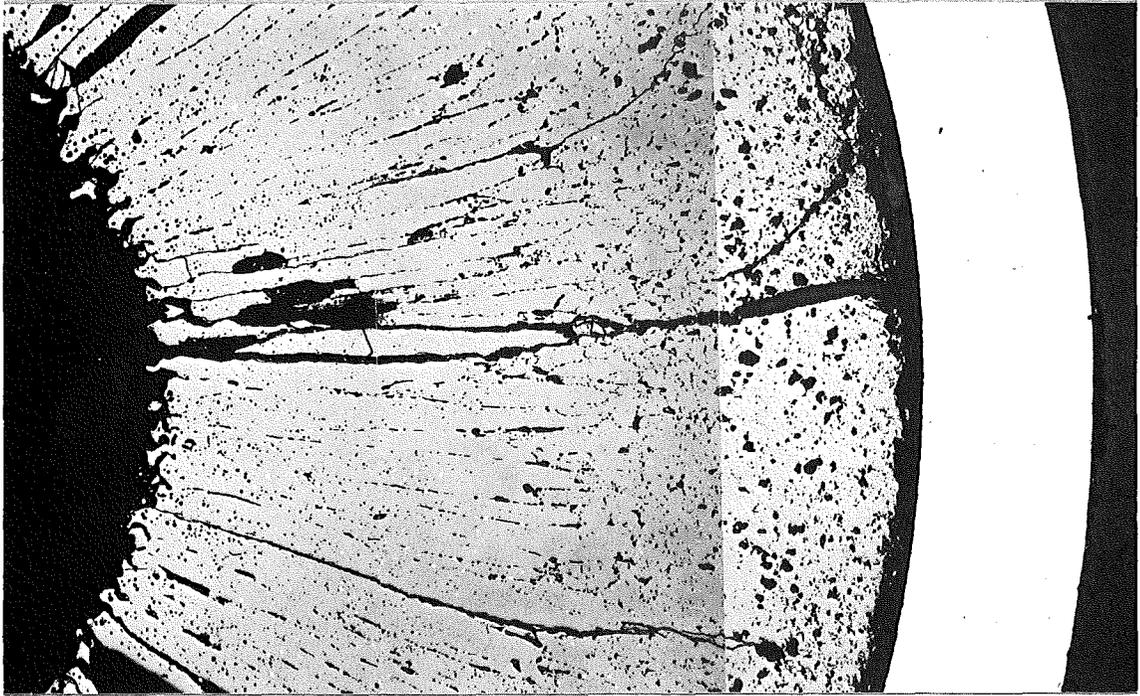
Geometrie

Länge des Brennstabes : 508,9 mm
Länge der Brennstoffsäule : 287,07 mm
Radiale Spaltweite : 100 μ m

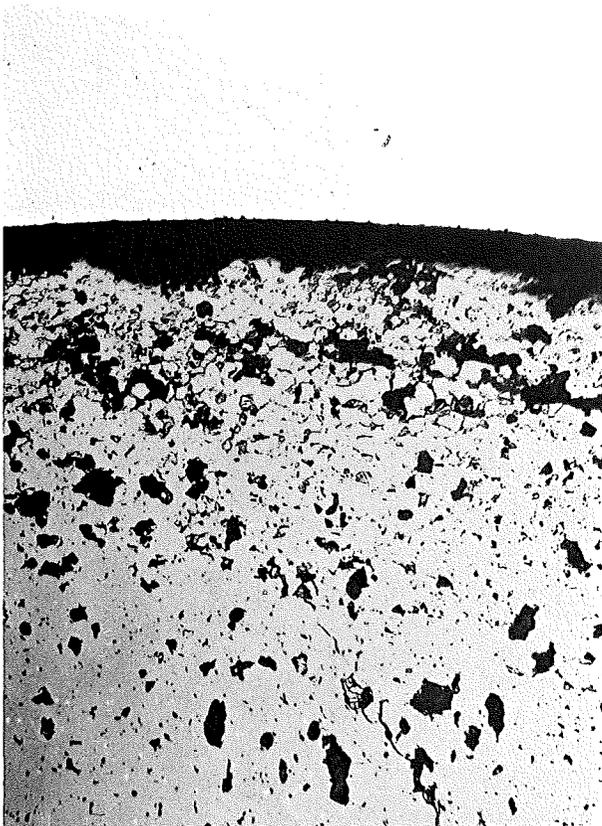
Bestrahlung

Dauer : 202,7 Vollasttage
Ende : 20.4.1970
Rechn. Abbrand (max.) : 5,65 %
Stableistung (max.) : 450W/cm
Kühlmitteleintrittstemp. : 230°
" -austrittstemp. (max.) : 572°

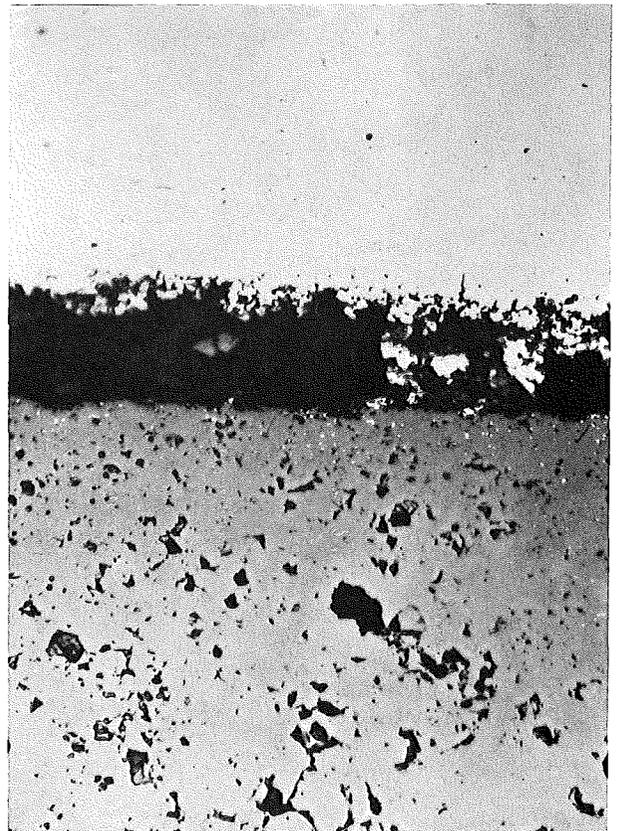
zu Stab G 2 A/3



0.2 mm

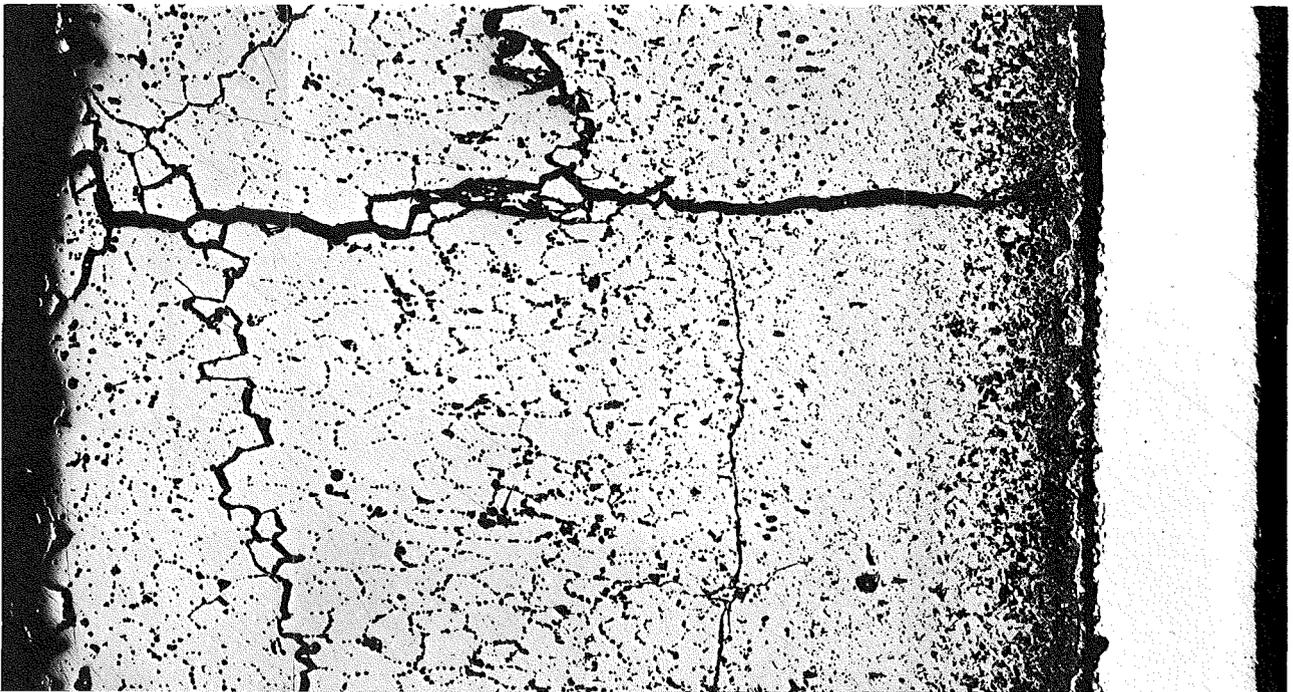


100 μ m

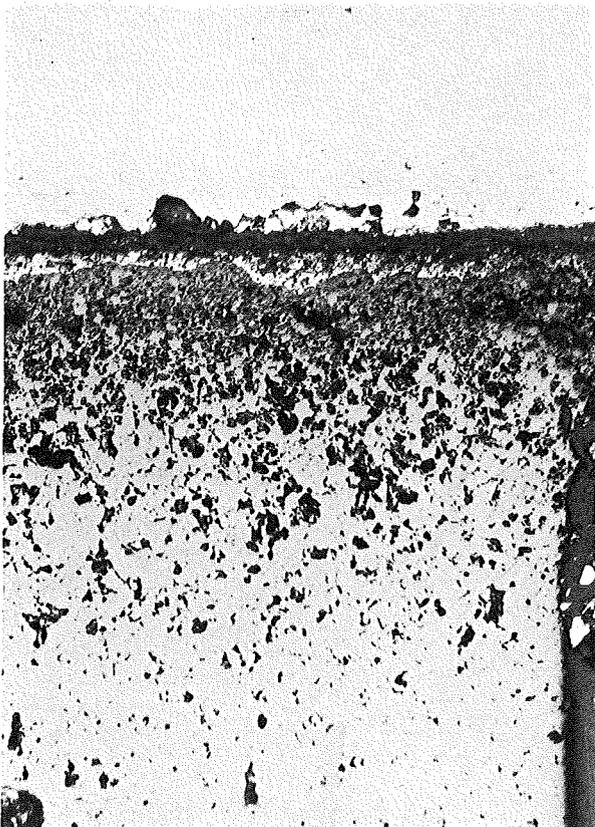


40 μ m

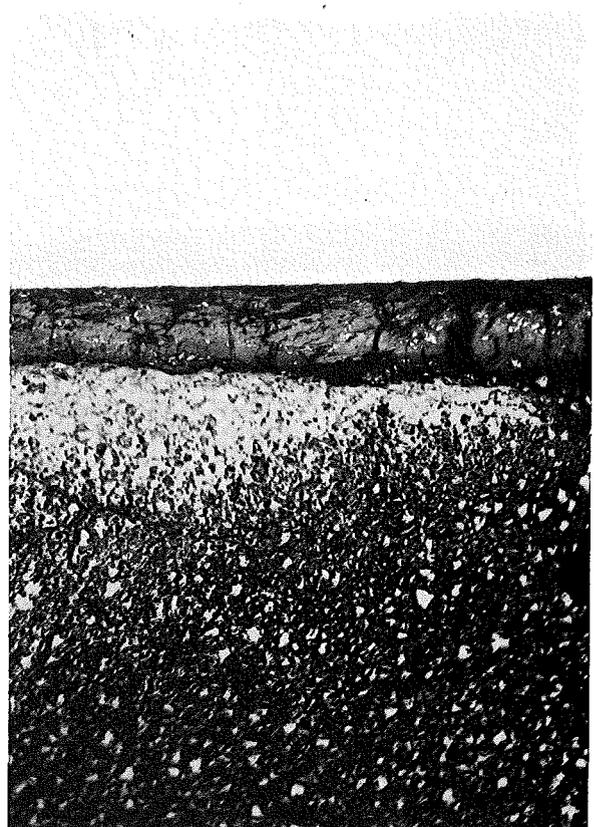
zu Stab G 2 A/1



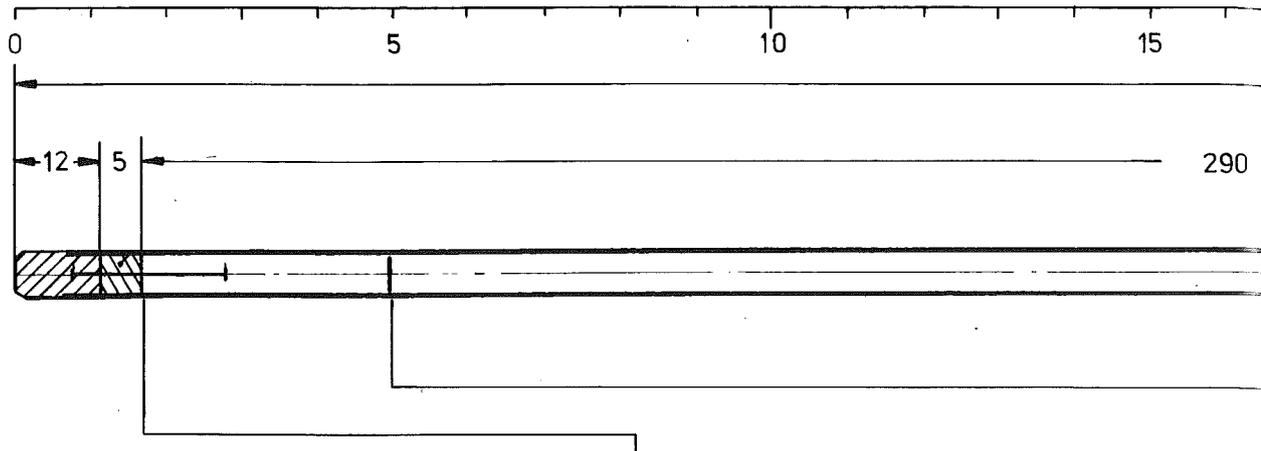
0.2 mm



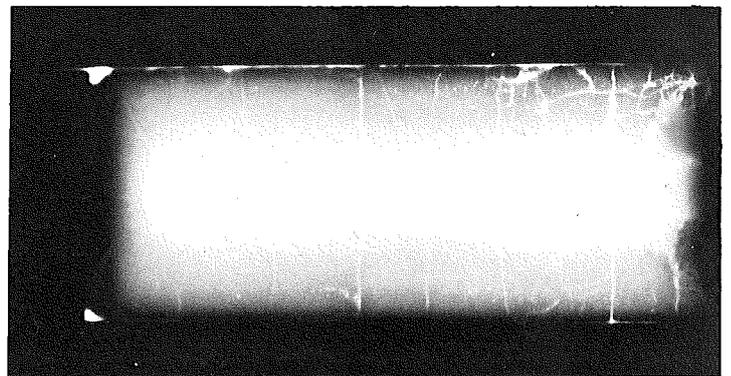
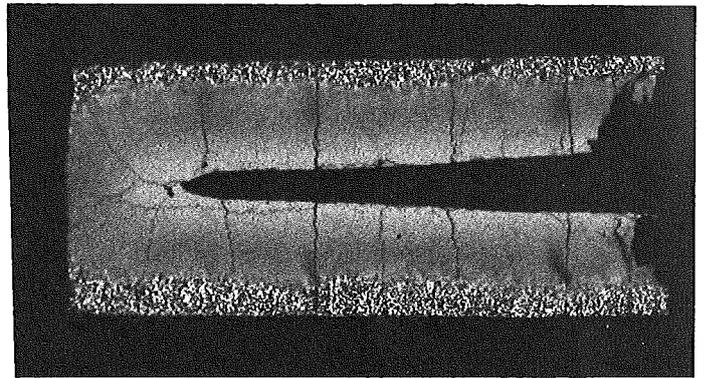
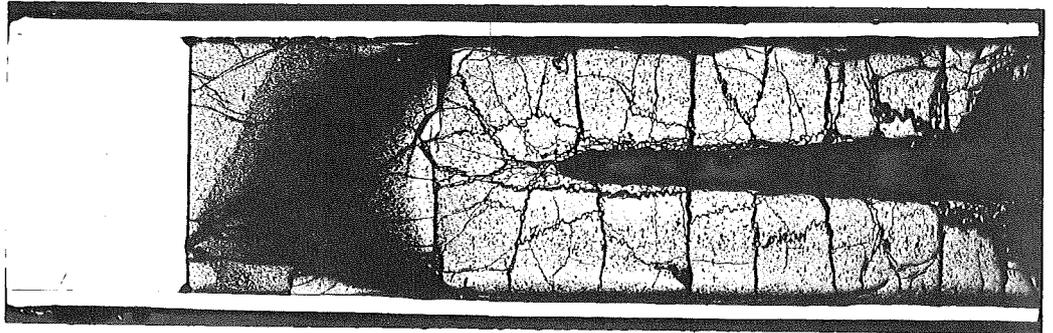
100 μ m

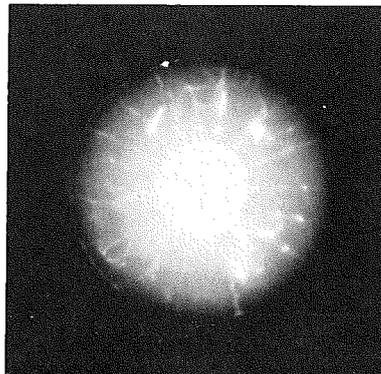
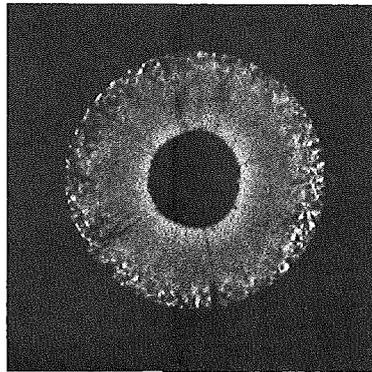
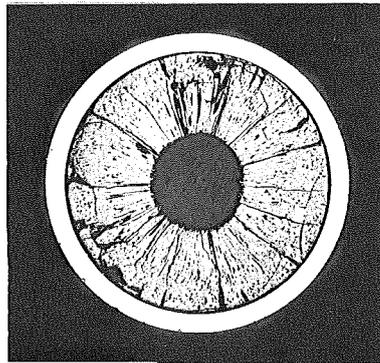
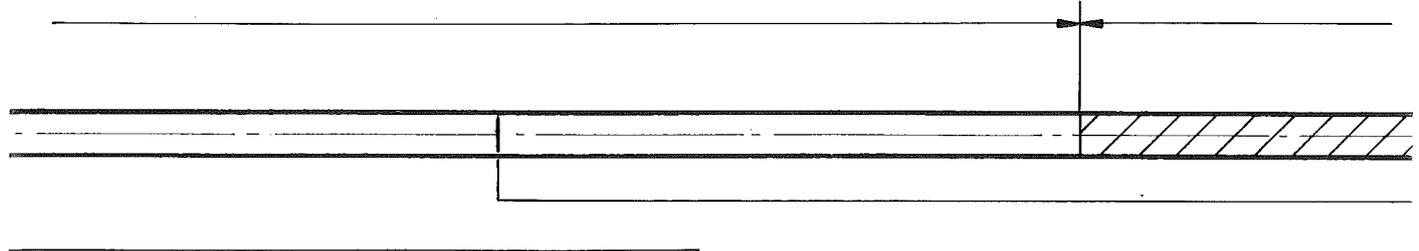
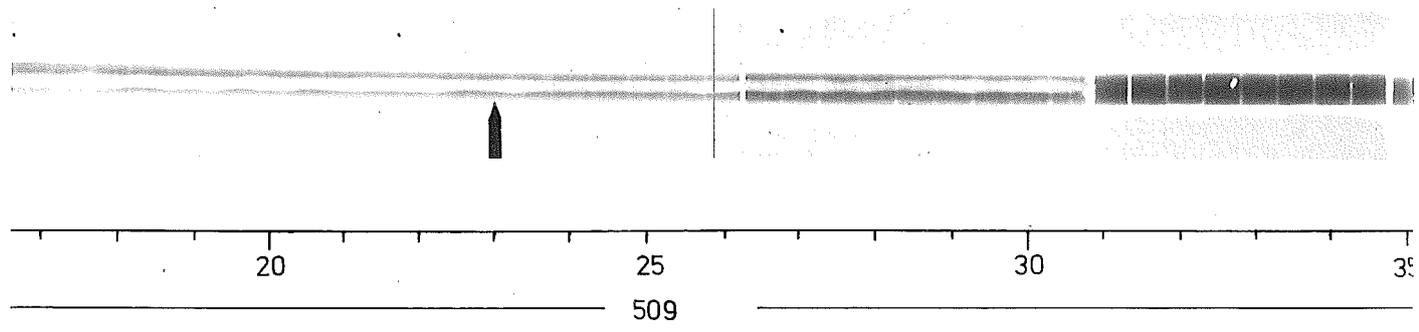


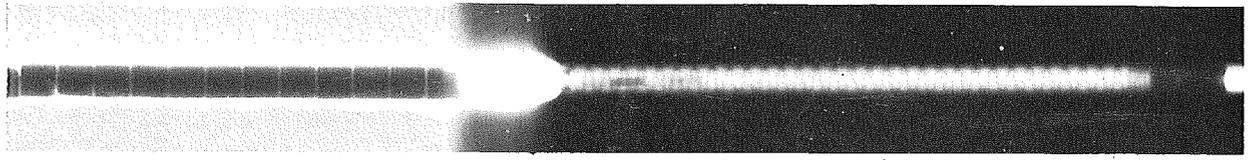
100 μ m



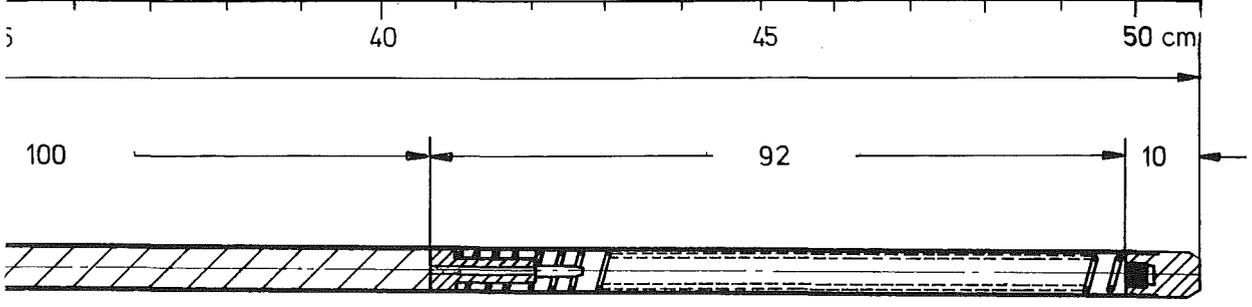
A



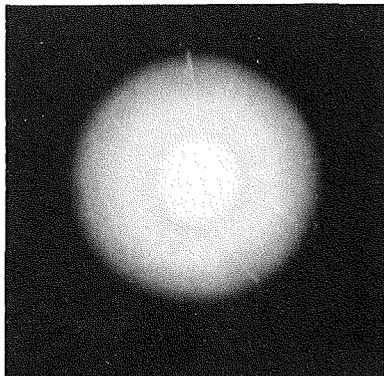
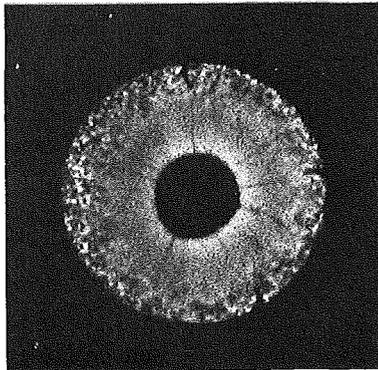
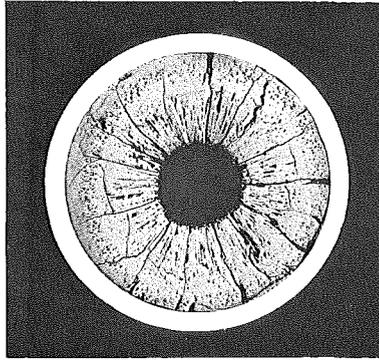




G 2



M 1:1



7

1mm

Brennstab G-4

Brennstoff

Form	: Tabletten
Zusammensetzung	: UO_2/PuO_2 (80/20)
Tablettendichte	: 89,5 % th.D.

Hülle

Material	: 1.4988
Außendurchmesser	: 6,00 mm
Wandstärke	: 0,38 mm

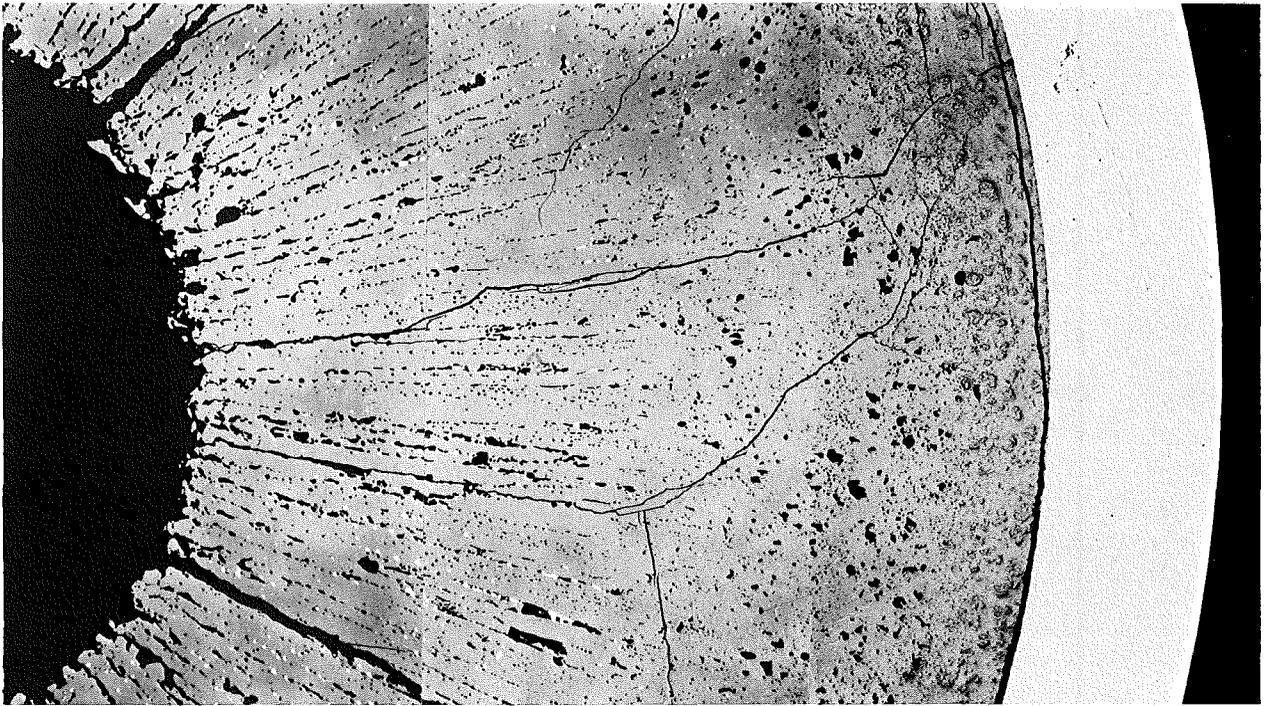
Geometrie

Länge des Brennstabes	: 508,8 mm
Länge der Brennstoffsäule	: 289,53 mm
Radiale Spaltweite	: 100 μ m

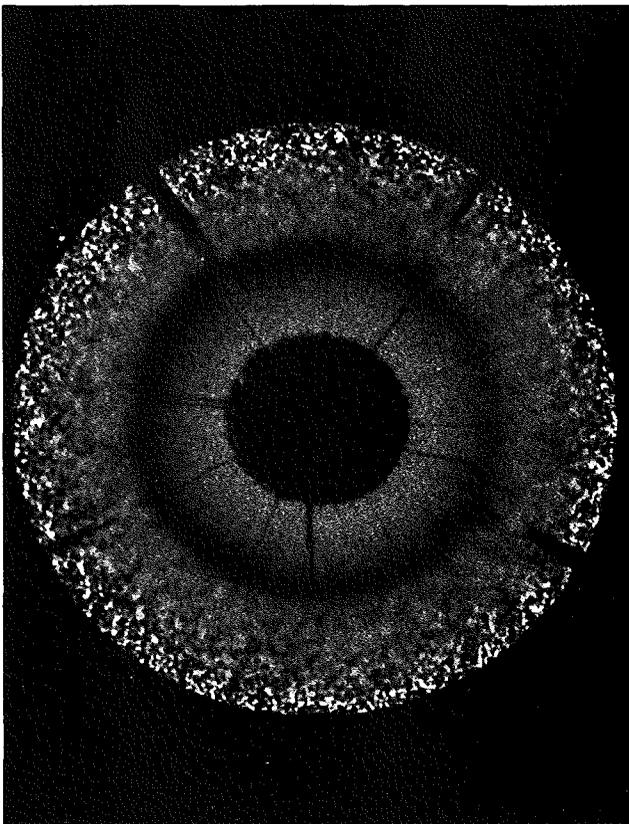
Bestrahlung

Dauer	: 202,7 Vollasttage
Ende	: 20.4.1970
Rechn. Abbrand (max.)	: 5,65 %
Stableistung (max.)	: 450 W/cm
Kühlmitteleintrittstemp.	: 230 °C
" -austrittstemp. (max.)	: 591 °C

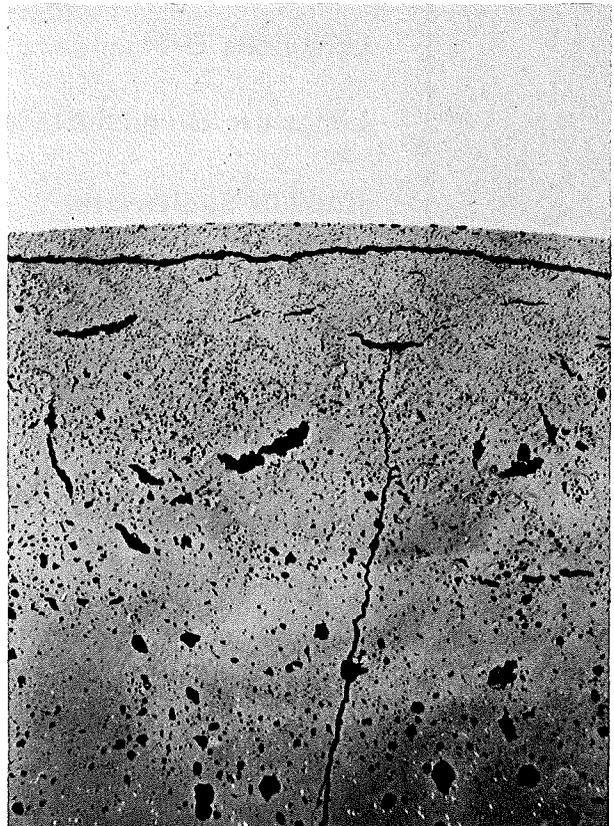
zu Stab G 4 A/1



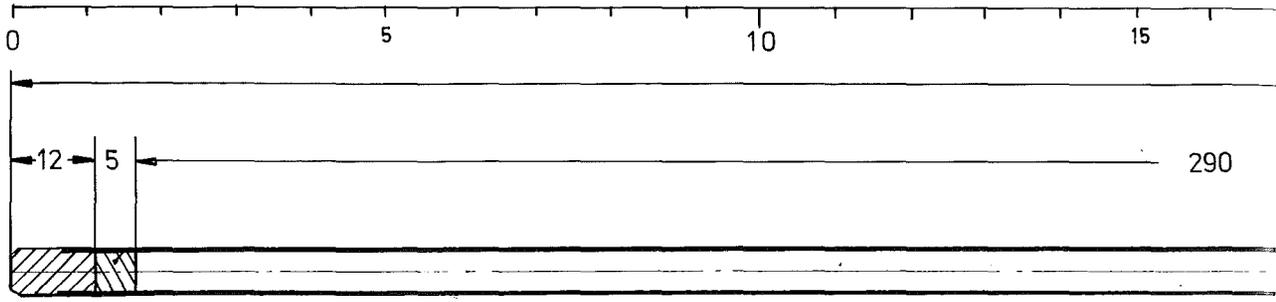
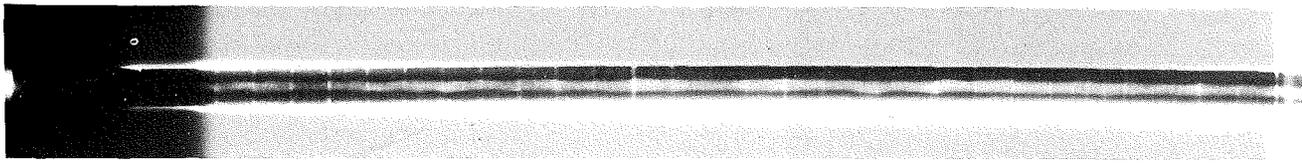
0.2 mm



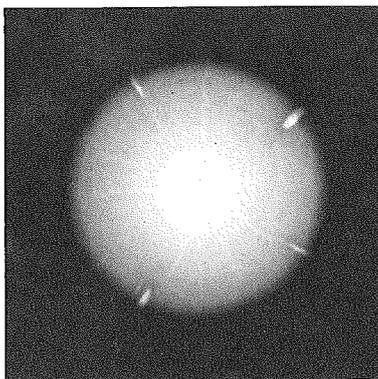
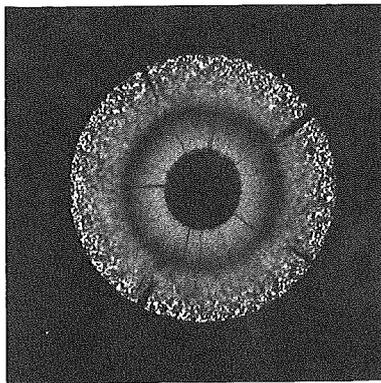
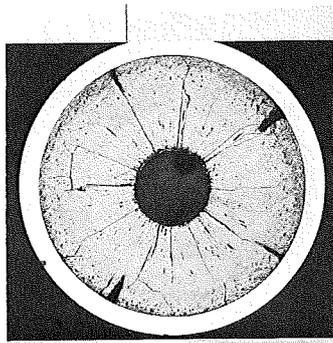
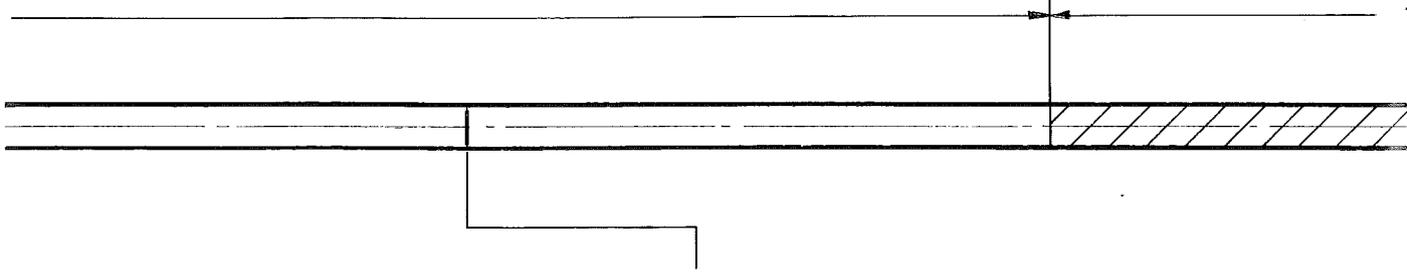
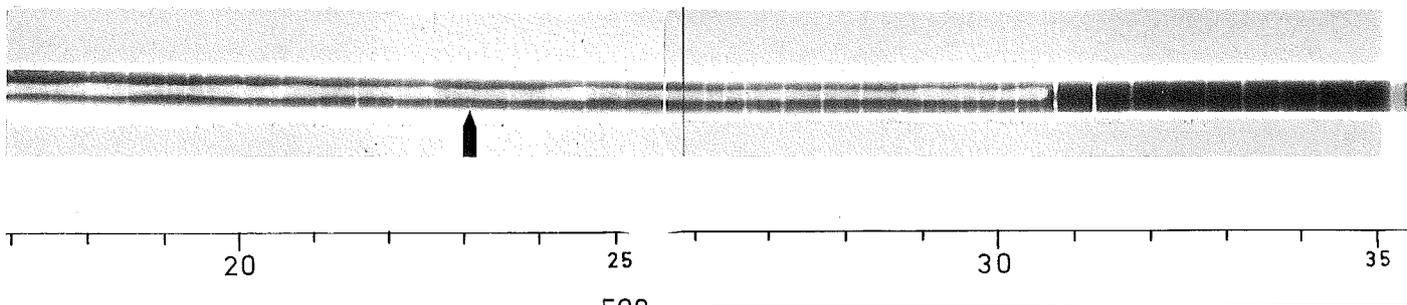
1 mm



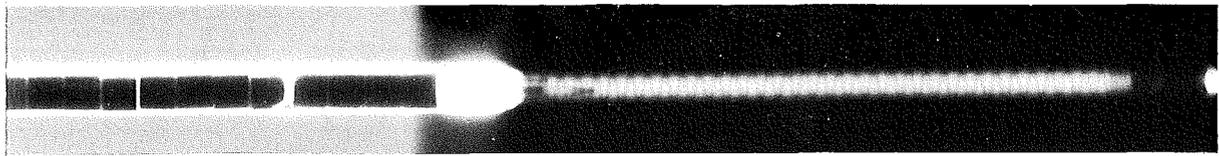
100 μm



A



1 1mm



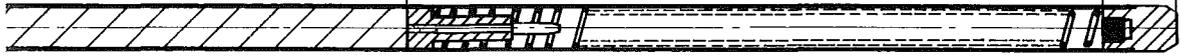
G 4



100

92

10



M 1:1

Brennstab G-6

Brennstoff

Form	: Tabletten
Zusammensetzung	: UO_2 - PuO_2 (80/20)
Tablettendichte	: 89,5 % th.D.

Hülle

Material	: 1.4988
Außendurchmesser	: 6,00 mm
Wandstärke	: 0,38 mm

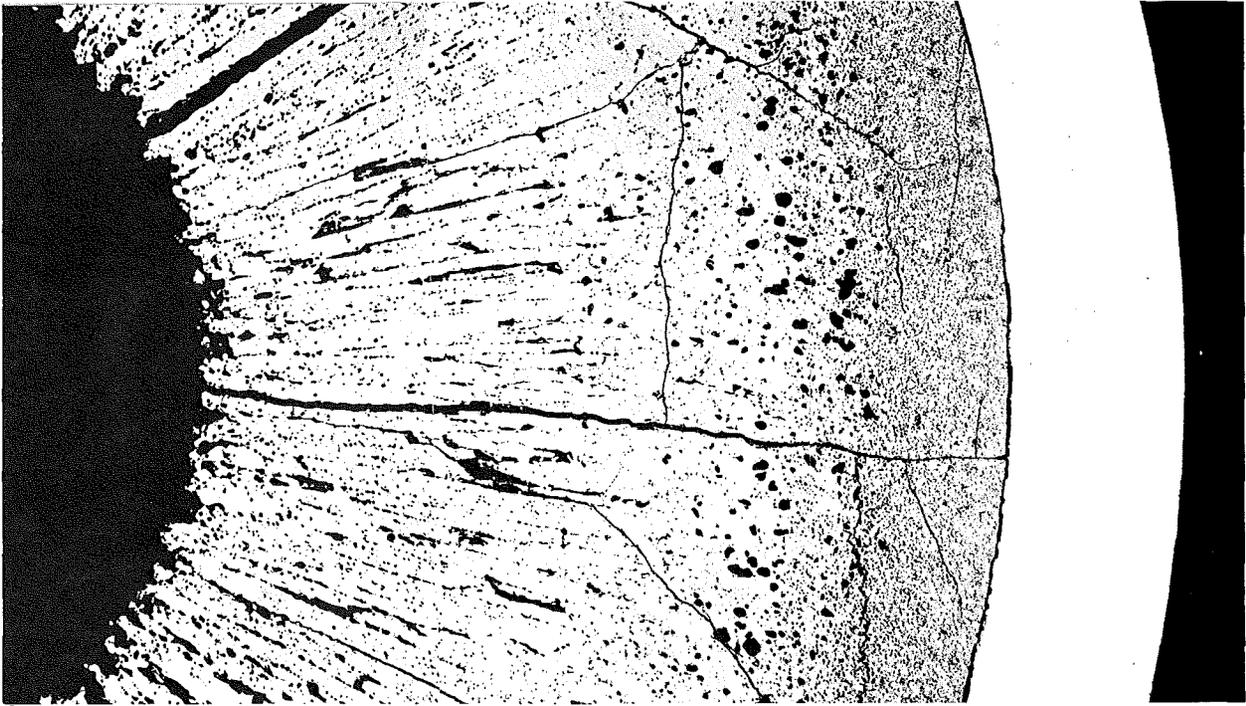
Geometrie

Länge des Brennstabes	: 508,8 mm
Länge der Brennstoffsäule	: 291,86 mm
Radiale Spaltweite	: 100 μ m

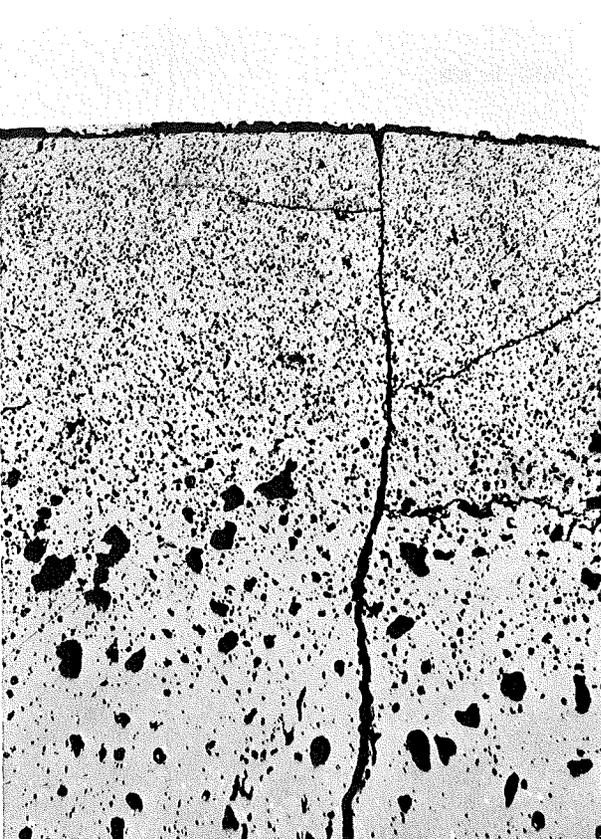
Bestrahlung

Dauer	: 202,7 Vollasttage
Ende	: 20.4.1970
Rechn. Abbrand (max.)	: 5,65 %
Stableistung (max.)	: 450 W/cm
Kühlmitteleintrittstemp.	: 230 °C
"-austrittstemp. (max.)	: 584 °C

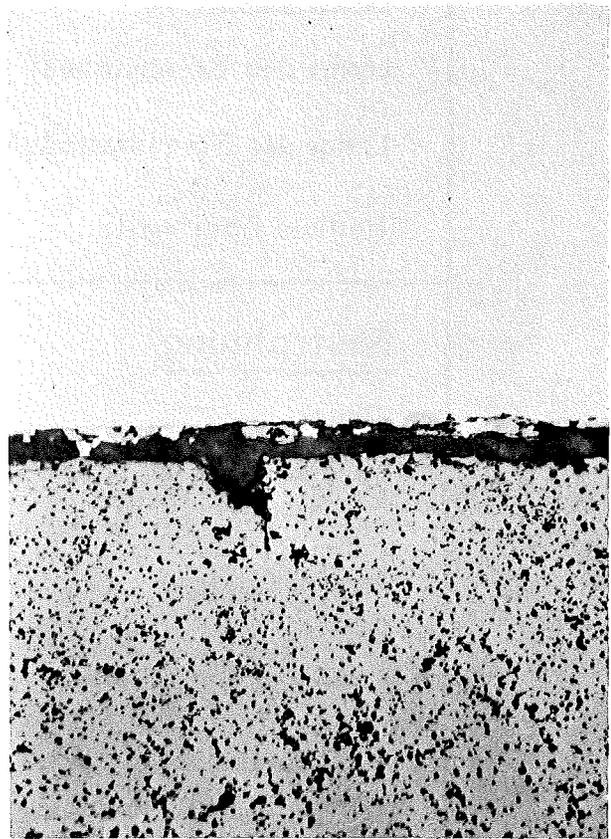
zu Stab G 6 A/6



0.2 mm

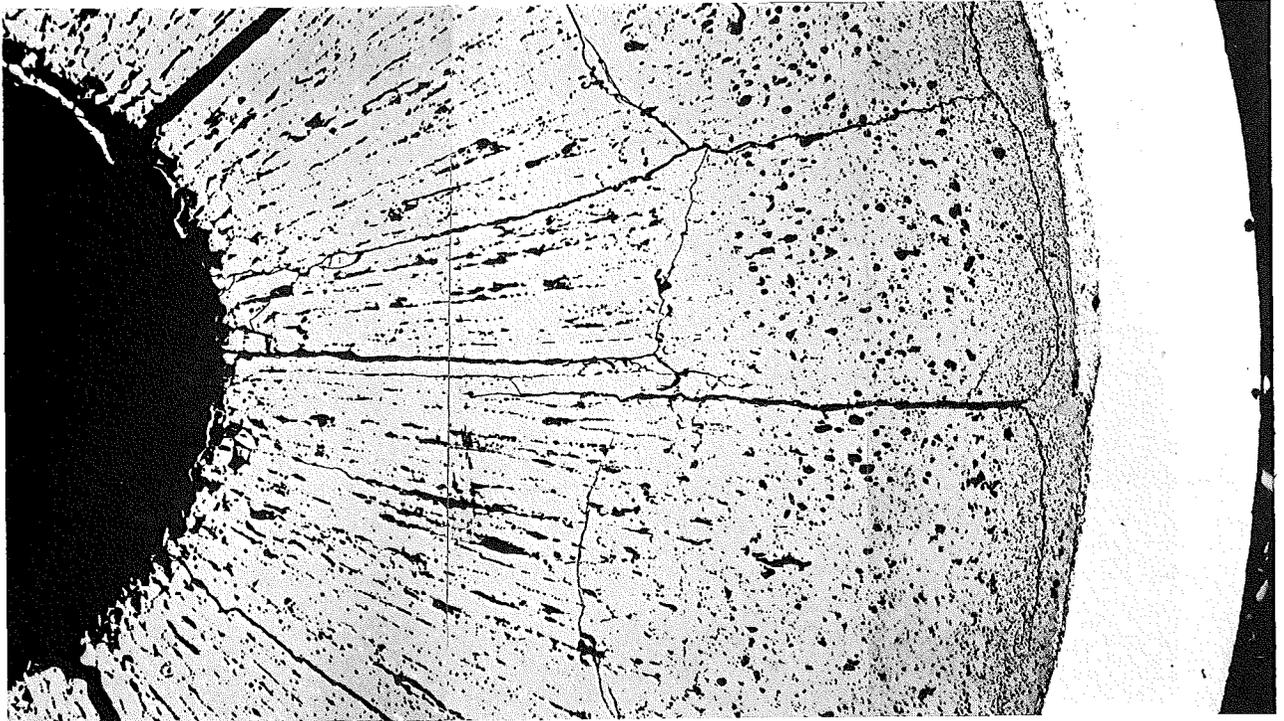


100 μm

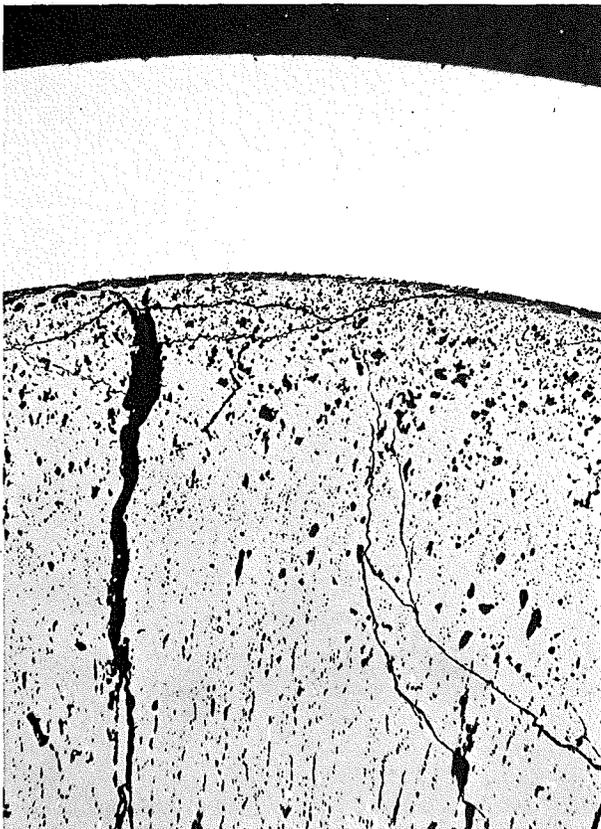


40 μm

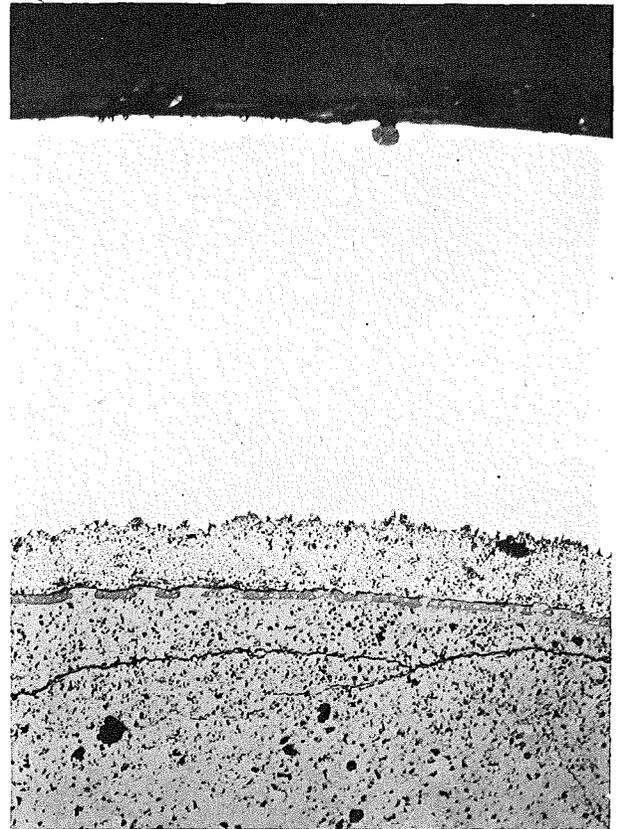
zu Stab G 6 A/5



0.2 mm

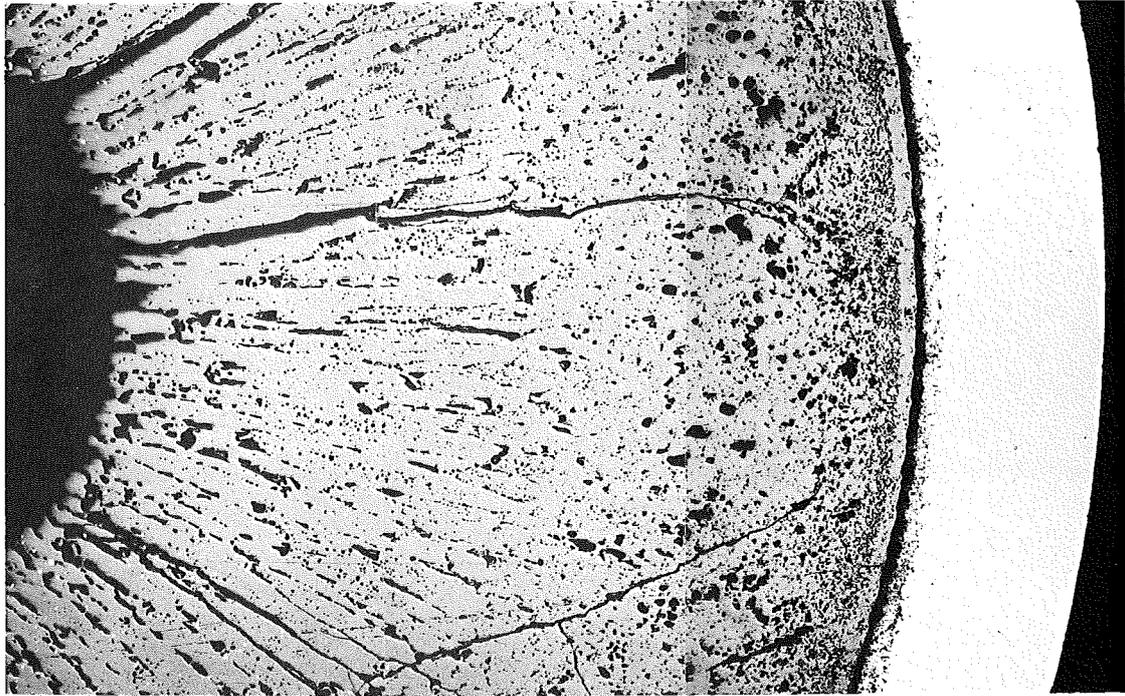


200 μm

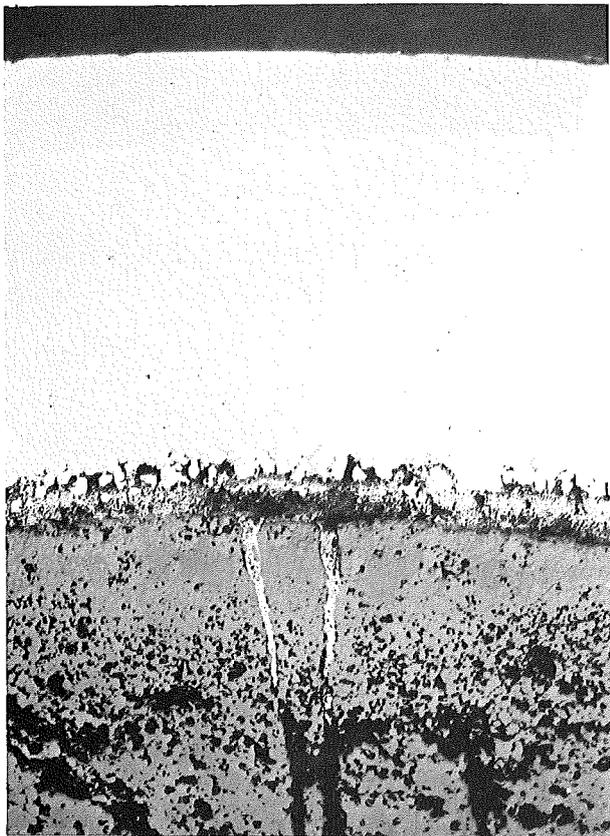


100 μm

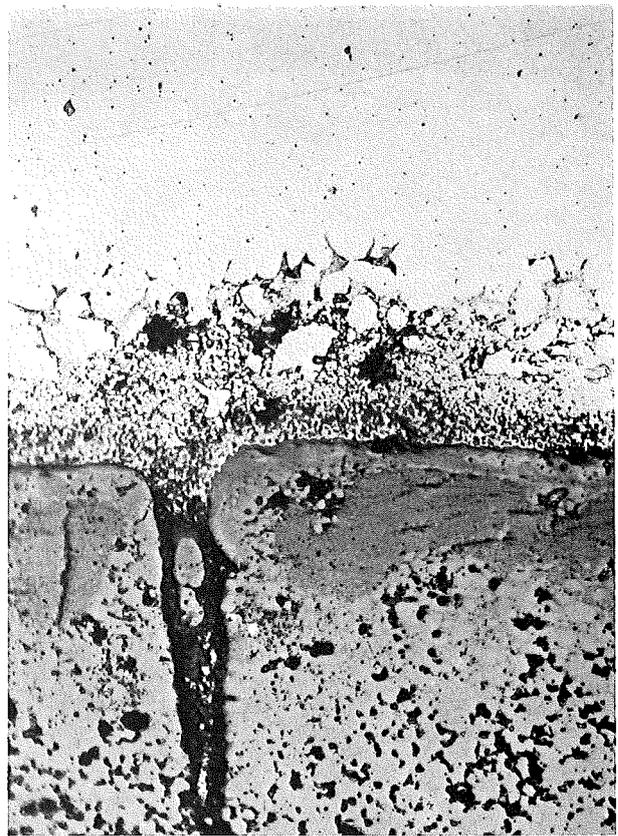
zu Stab G 6 A/4



0.2 mm

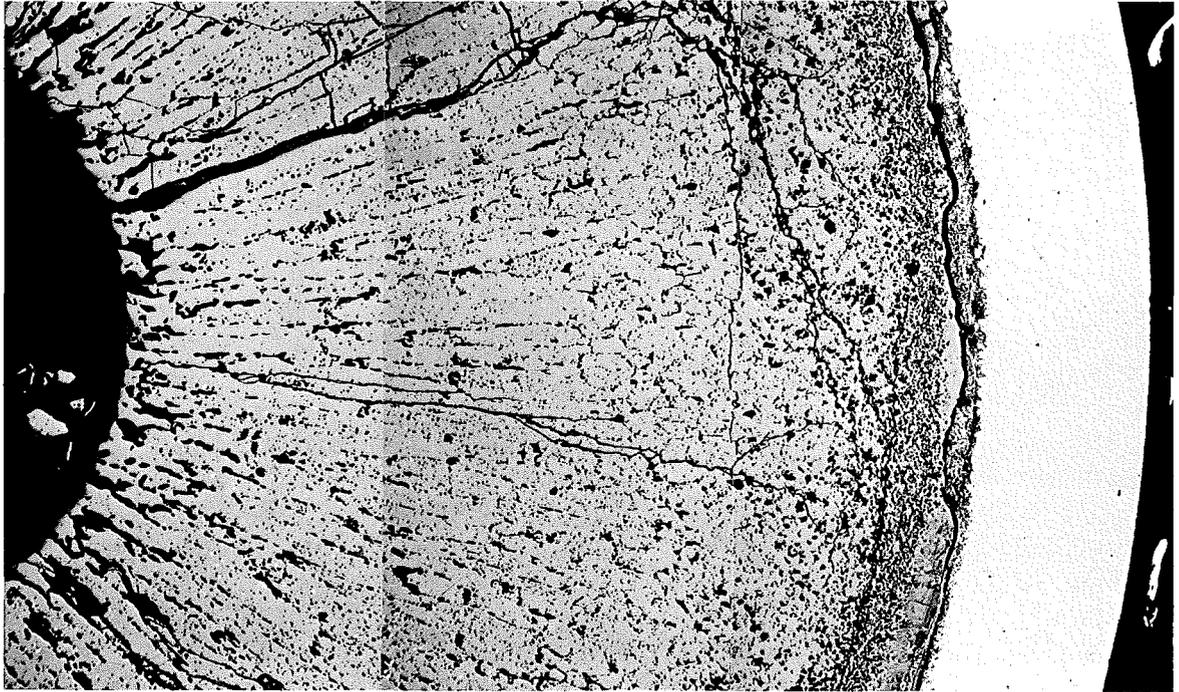


100 μm

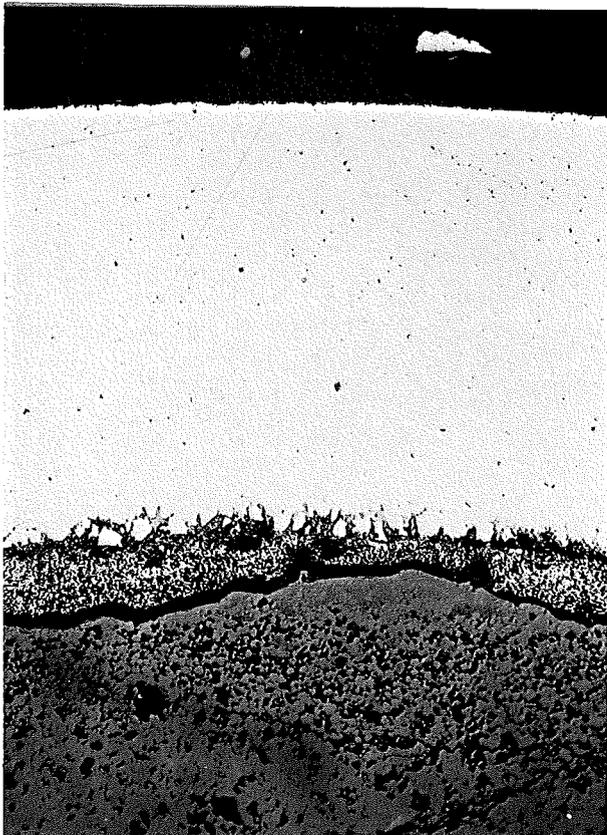


40 μm

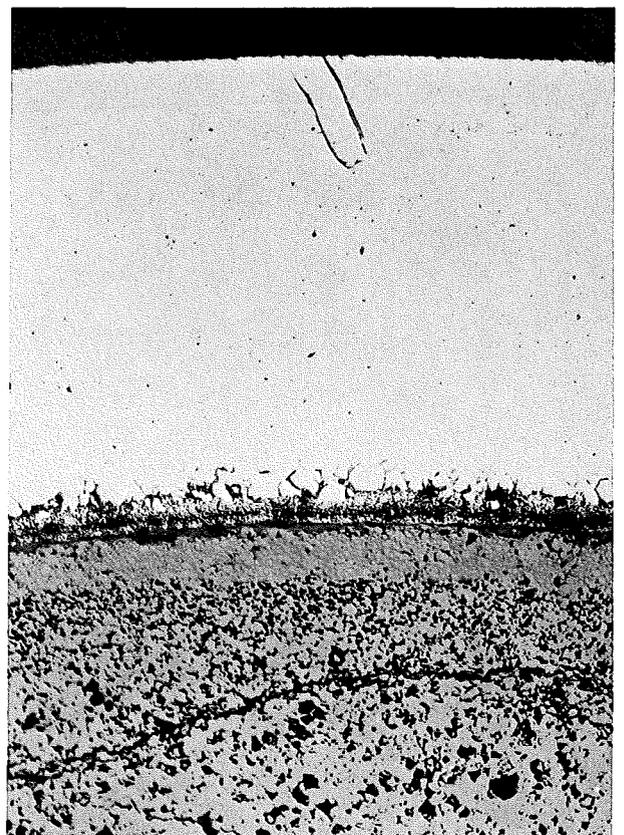
zu Stab G 6 A / 3



0.2 mm

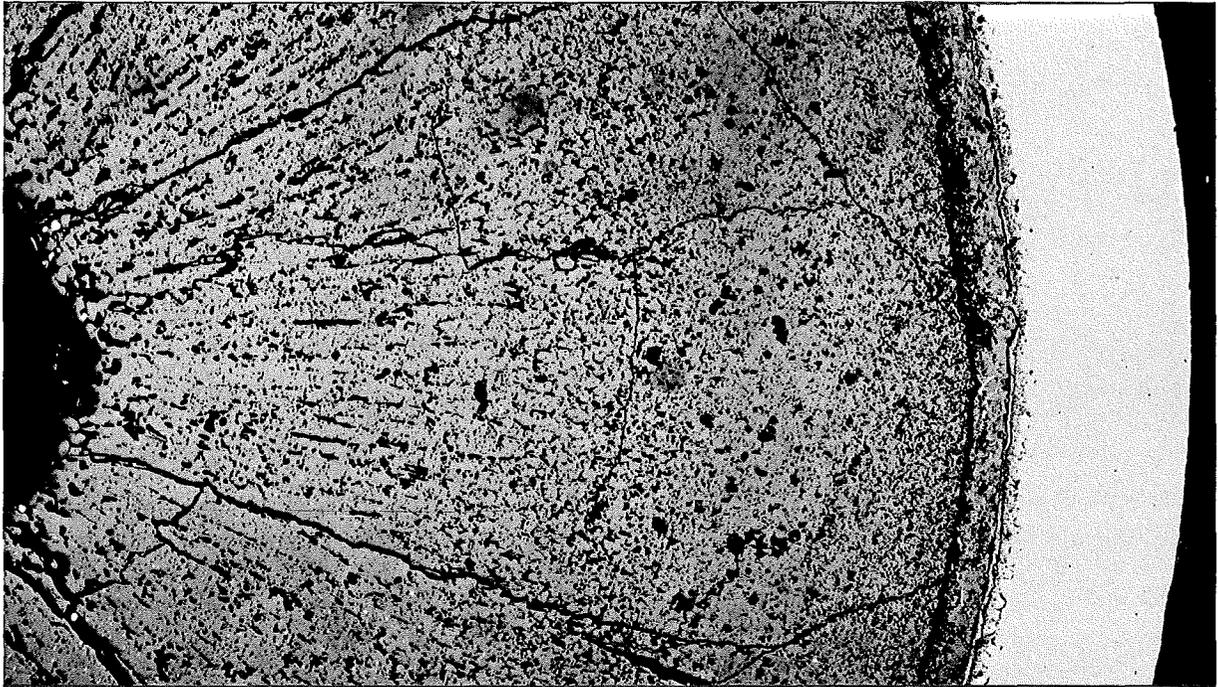


100 μm

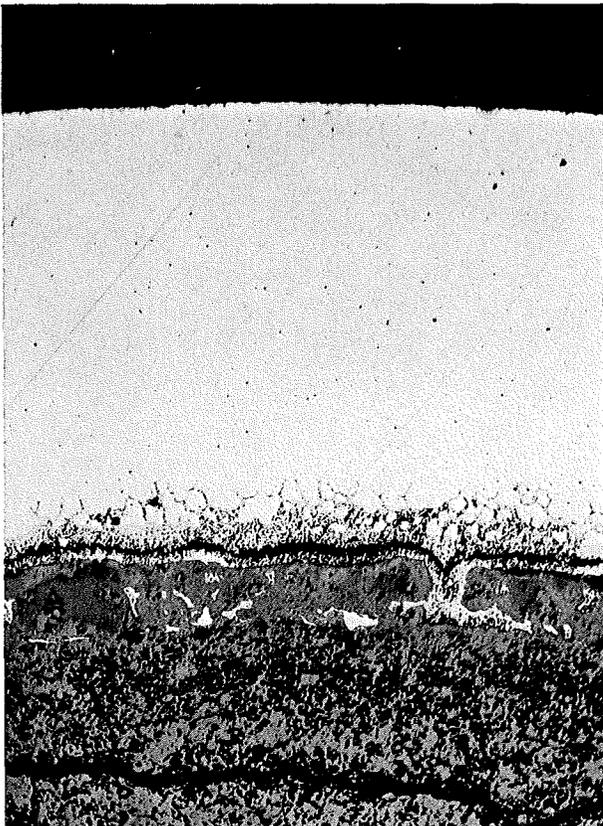


100 μm

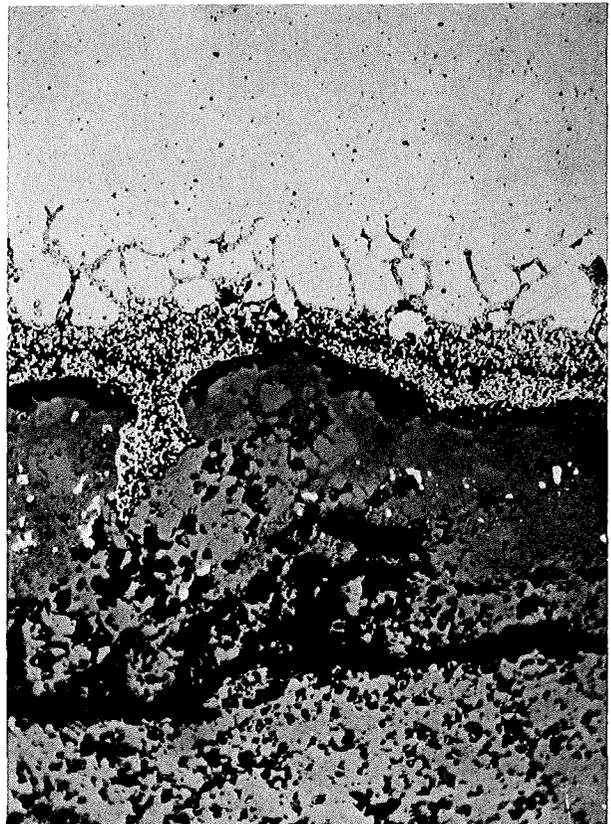
zu Stab G 6 A/2



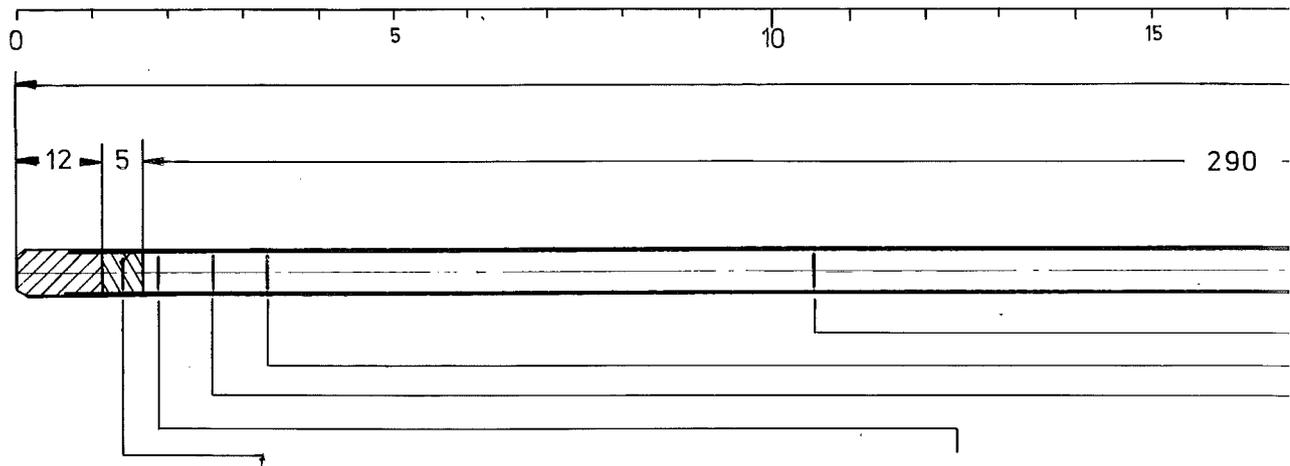
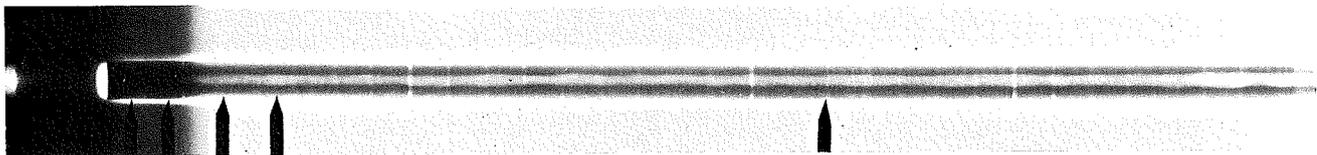
0.2 mm



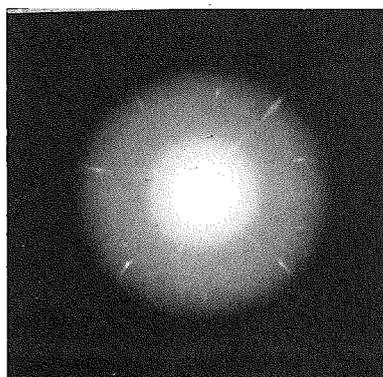
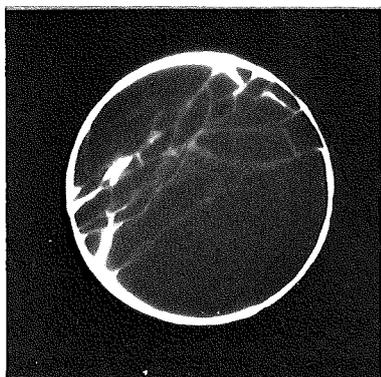
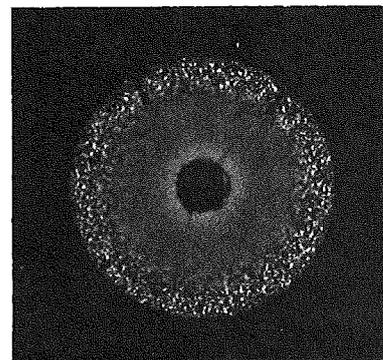
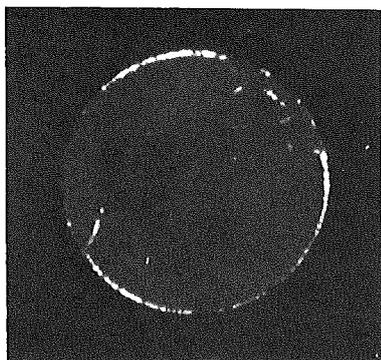
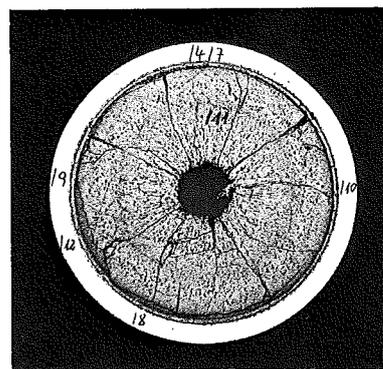
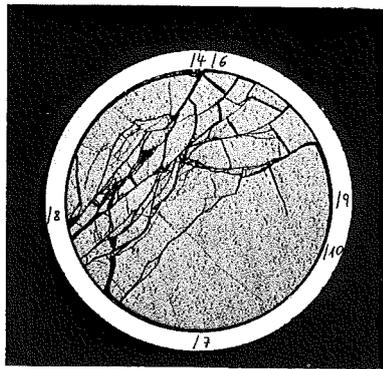
100 μm



40 μm

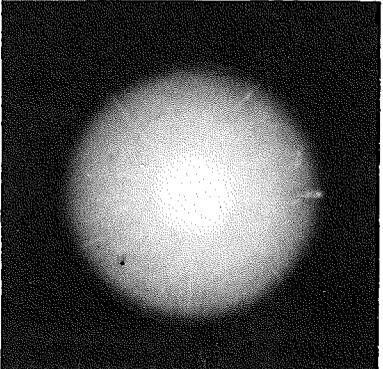
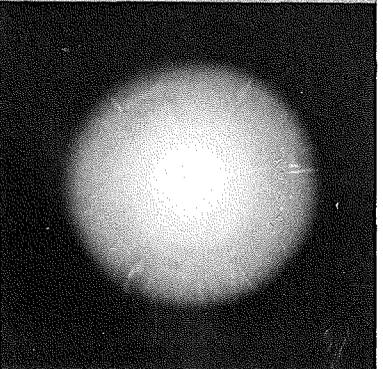
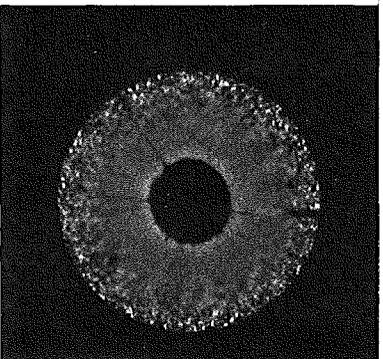
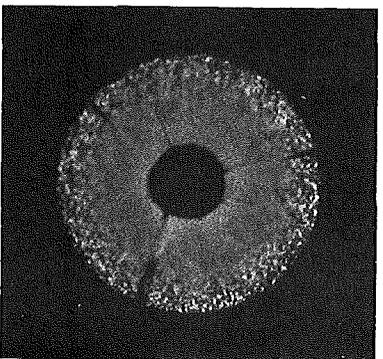
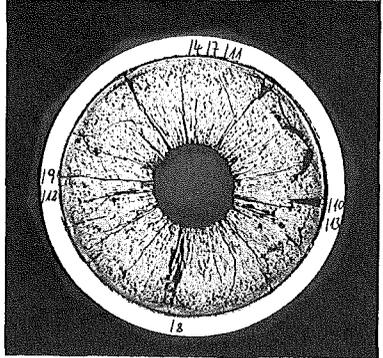
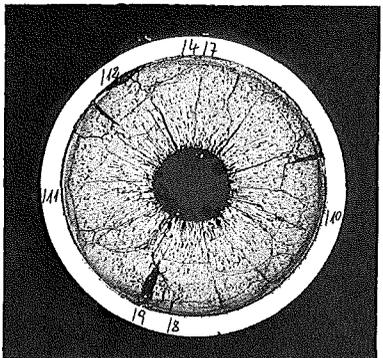
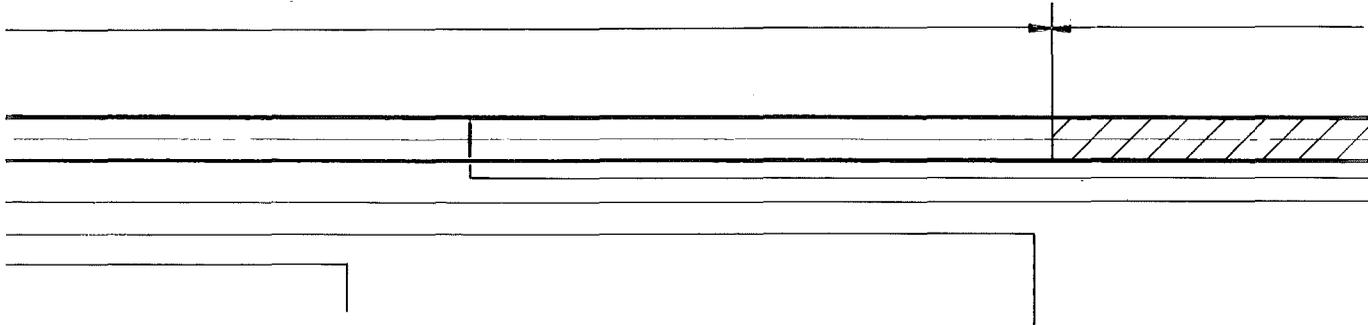
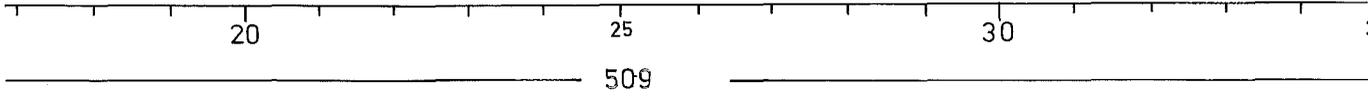
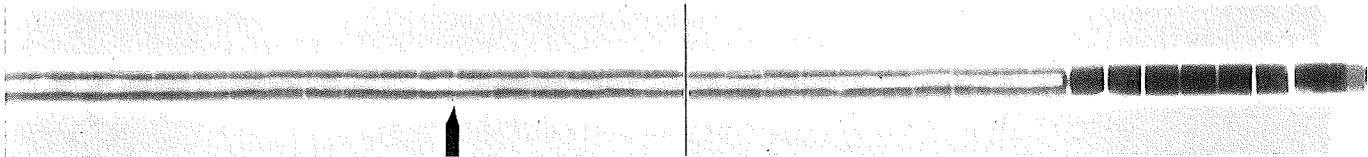


A



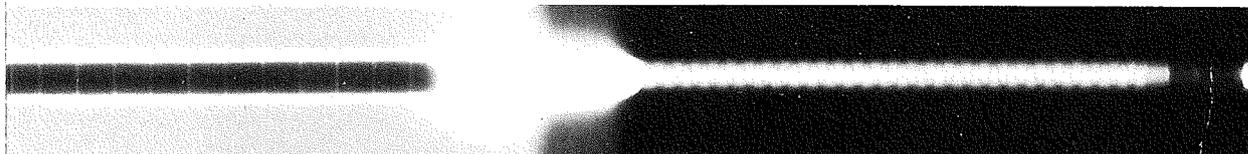
1

2

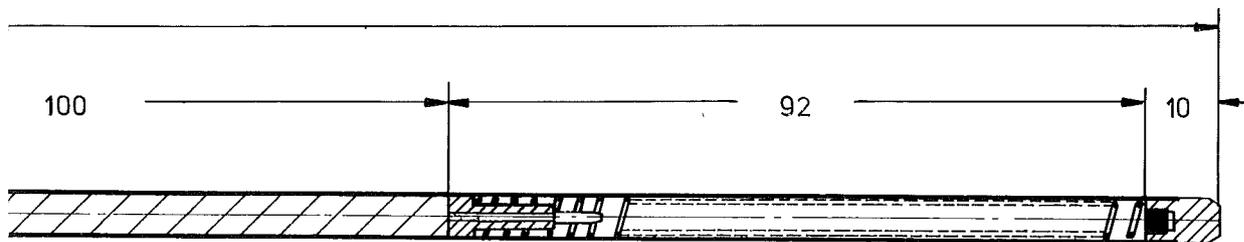
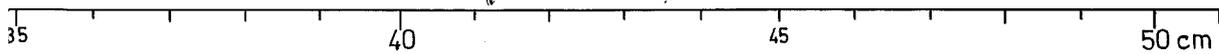


3

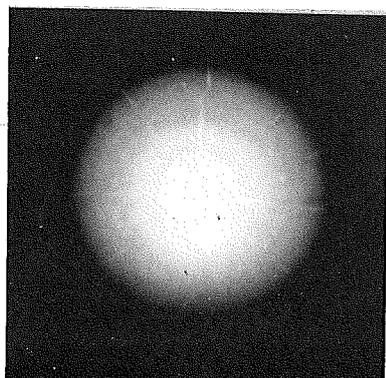
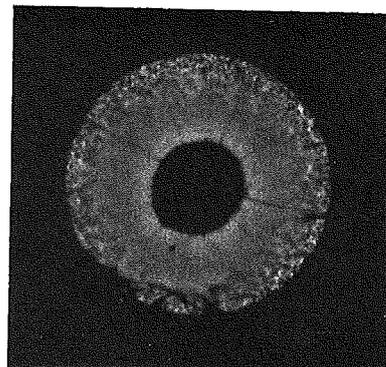
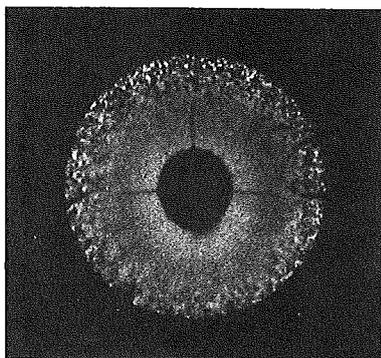
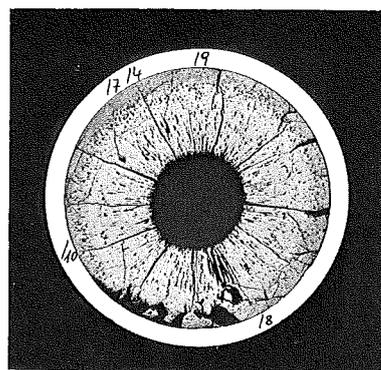
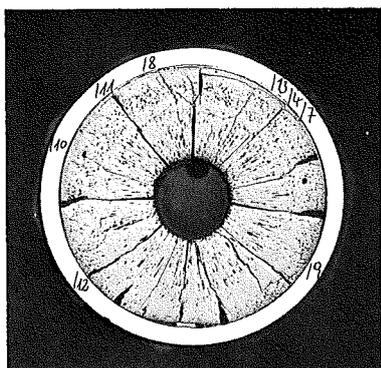
4



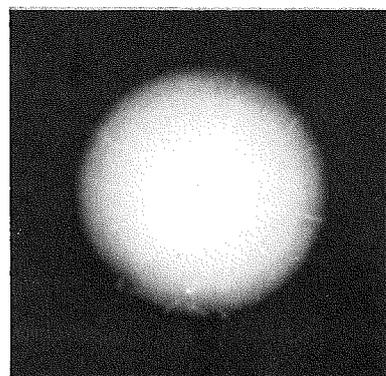
G 6



M 1:1



5

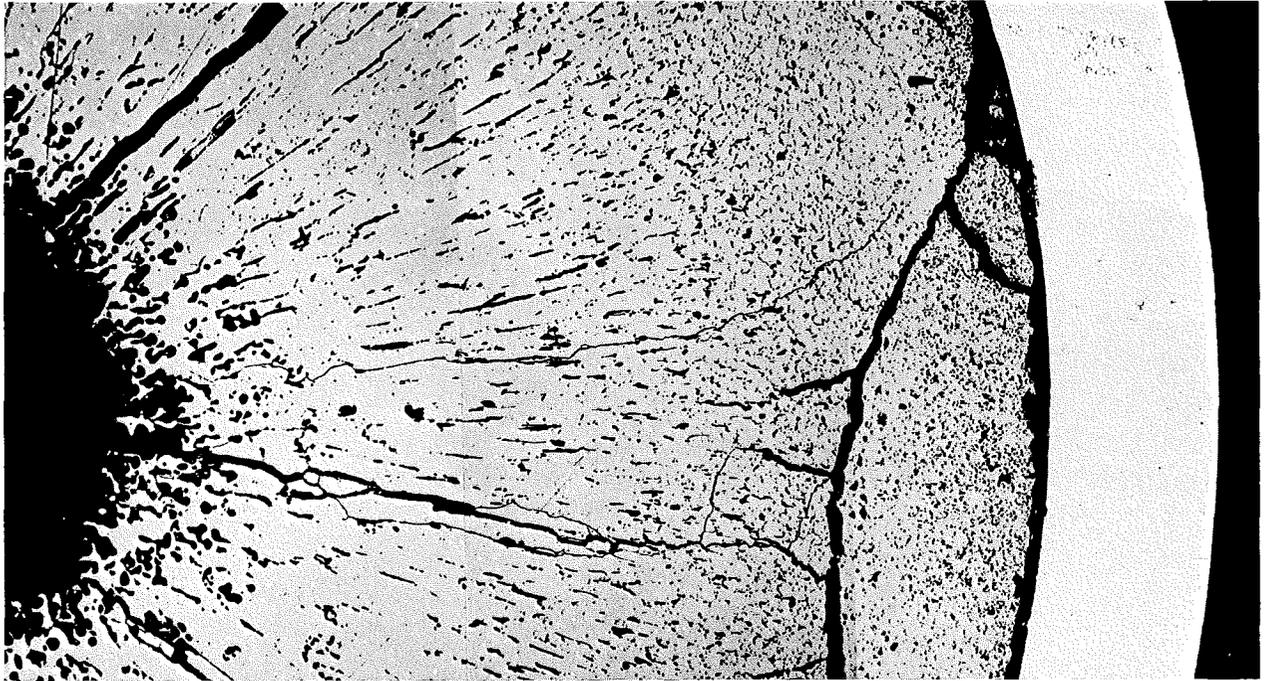


6

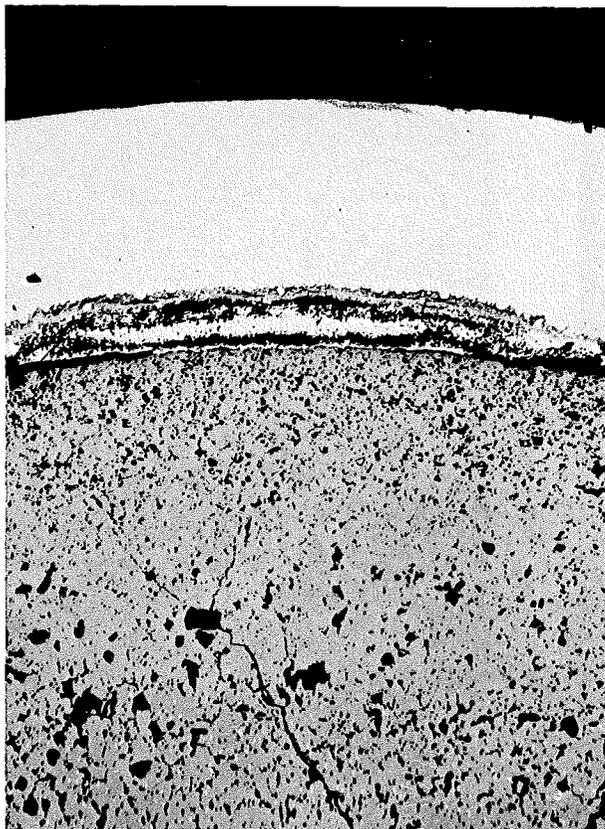
1mm

Brennstab		G-14
 <u>Brennstoff</u>		
Form	:	Tabletten
Zusammensetzung	:	UO ₂ -PuO ₂ (80/20)
Tablettendichte	:	89,5 % th.D.
 <u>Hülle</u>		
Material	:	1.4988
Außendurchmesser	:	6,00 mm
Wandstärke	:	0,38 mm
 <u>Geometrie</u>		
Länge des Brennstabes	:	508,9 mm
Länge der Brennstoffsäule	:	290,00 mm
Radiale Spaltweite	:	100 µm
 <u>Bestrahlung</u>		
Dauer	:	202,7 Vollasttage
Ende	:	20.4.1970
Rechn. Abbrand (max.)	:	5,65 %
Stableistung (max.)	:	450 W/cm
Kühlmitteleintrittstemp.	:	230 °C
„ -austrittstemp. (max.)	:	587 °C

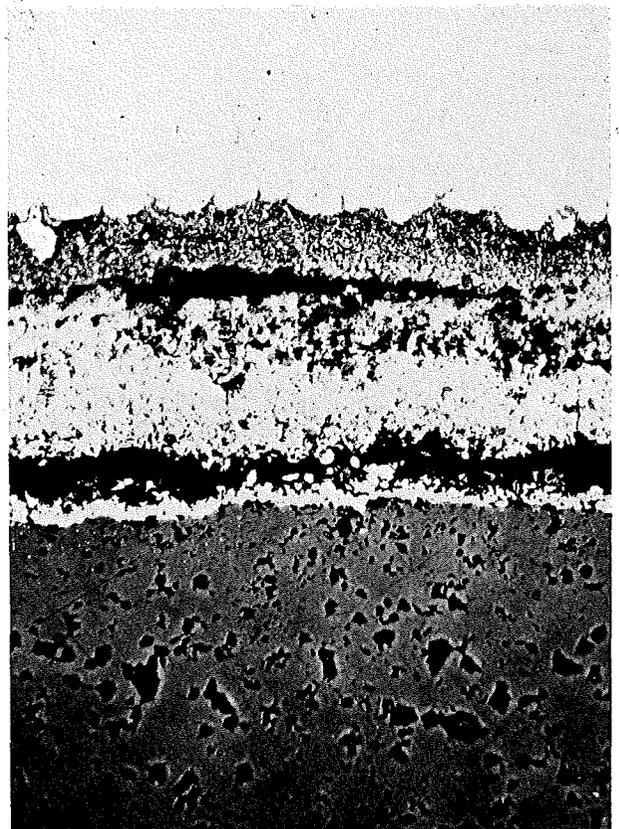
zu Stab G 14 A / 14



0.2 mm



200 μ m

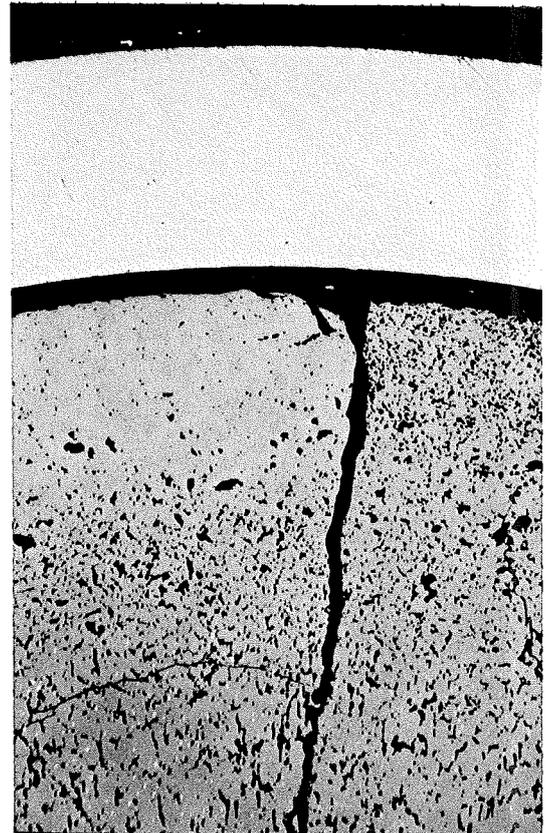


40 μ m

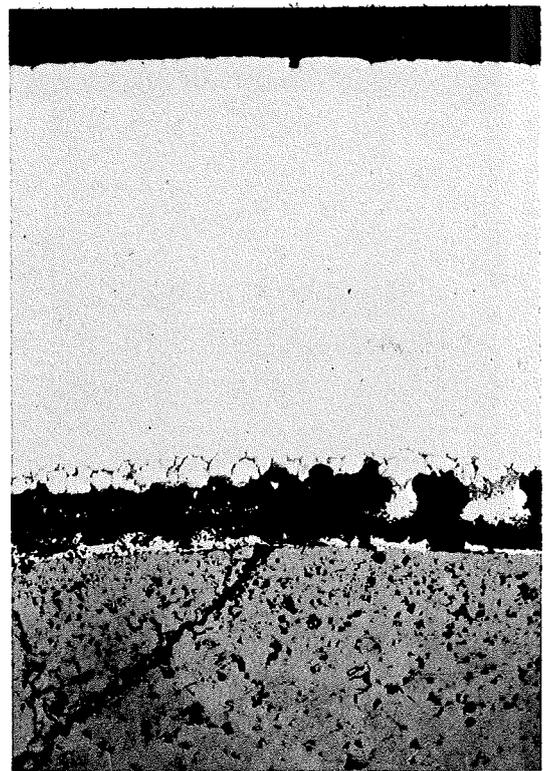
zu Stab G 14 A/13



0.2 mm

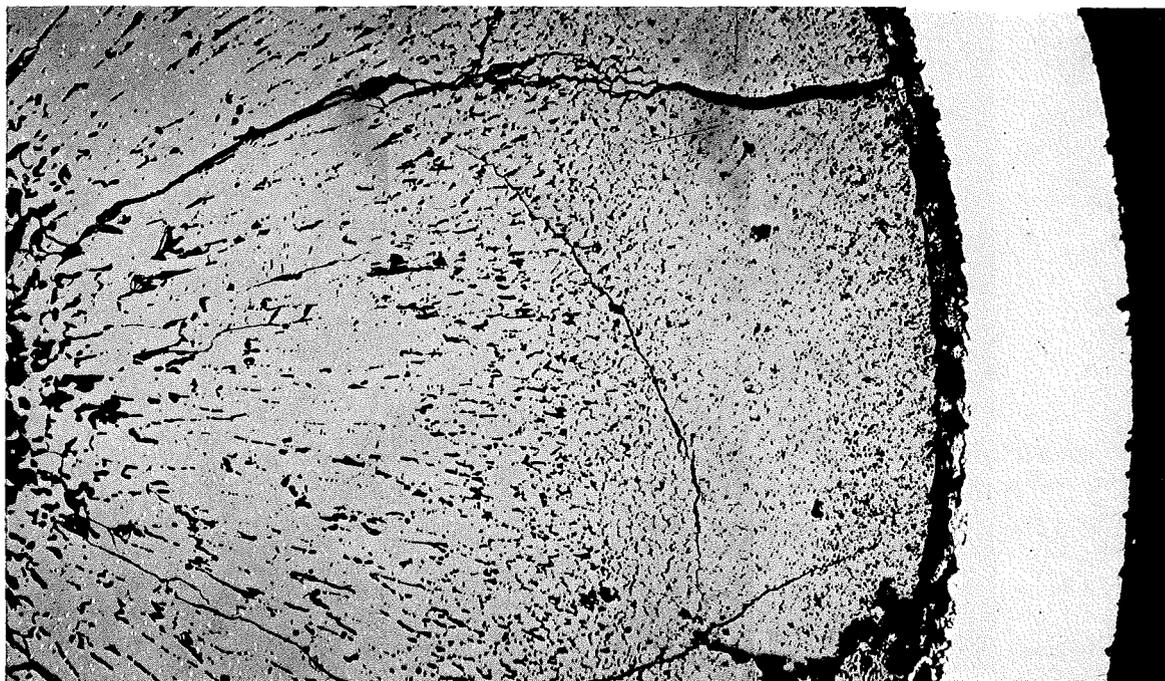


200 μ m

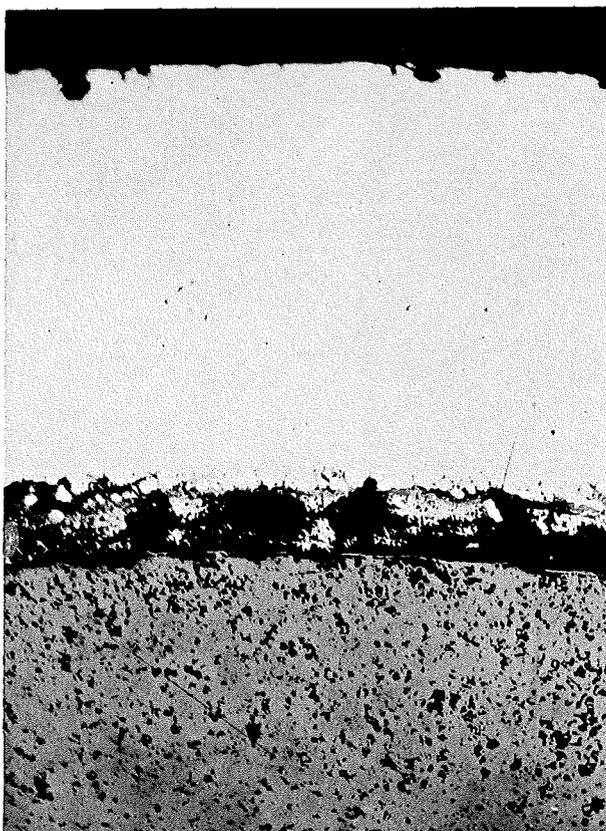


100 μ m

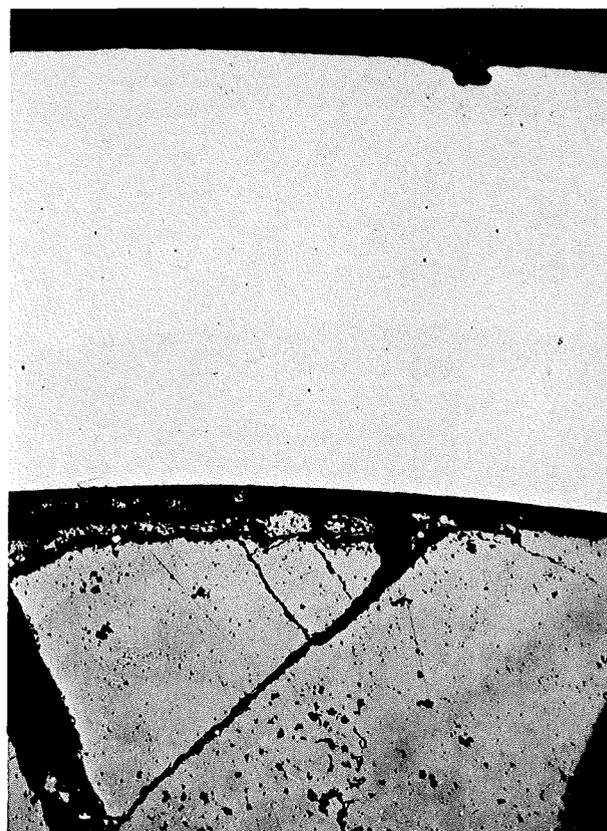
zu Stab G 14 A/12



0.2 mm

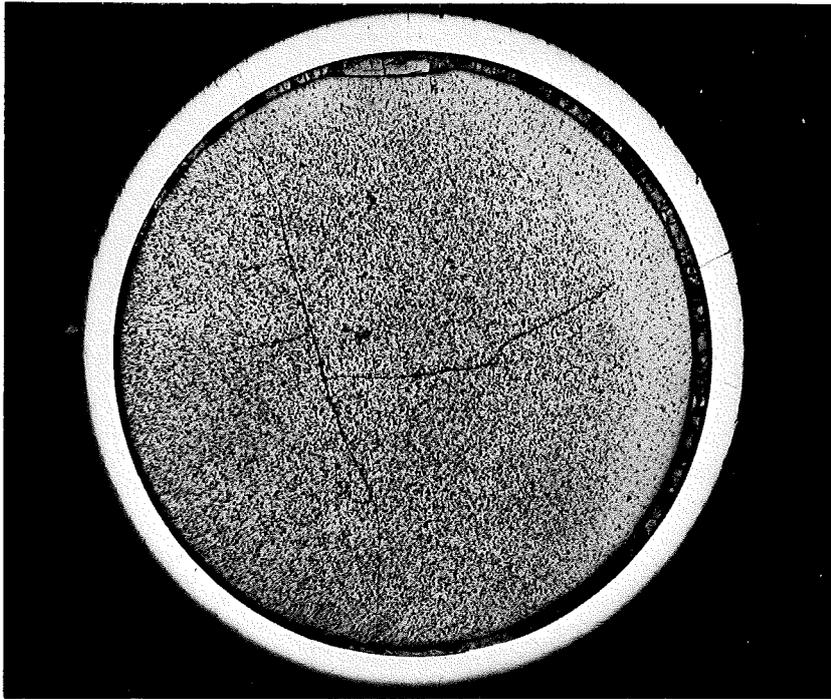


100 μm



100 μm

zu Stab G 14 A / 11



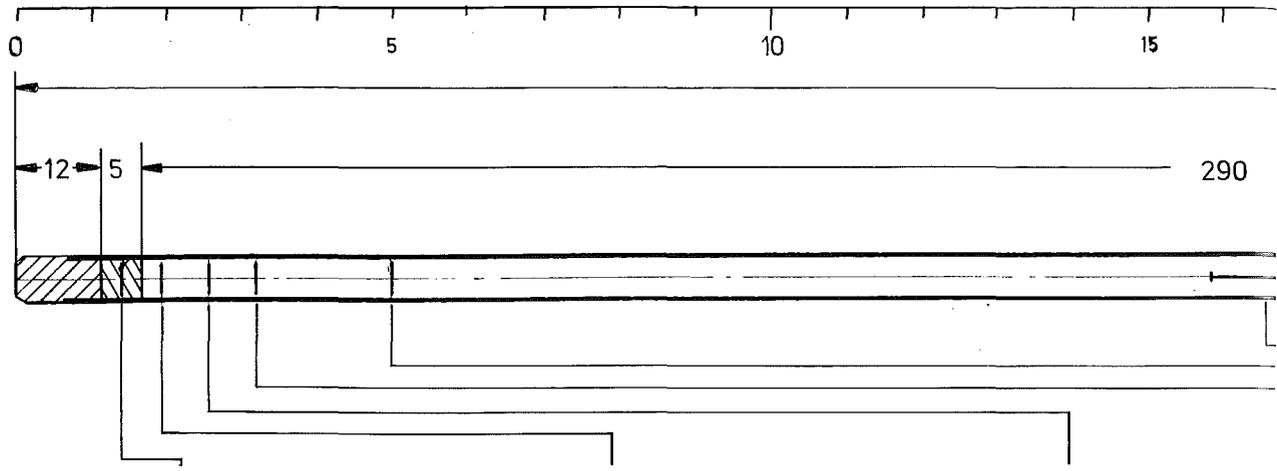
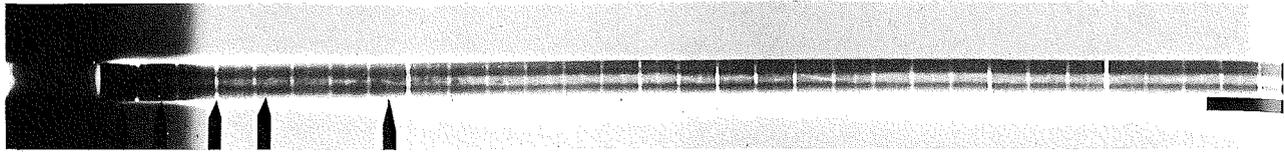
1 mm



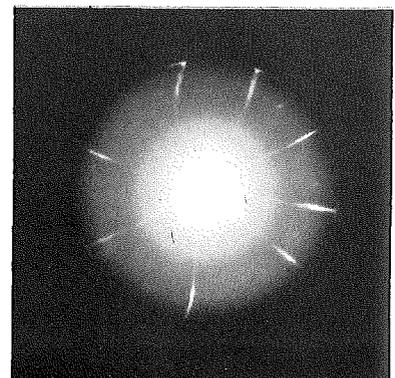
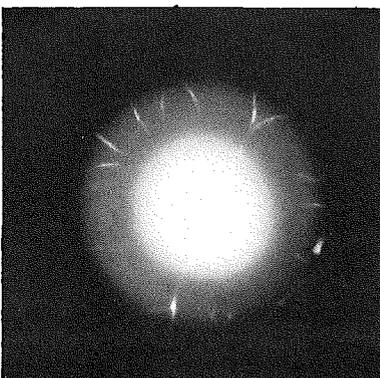
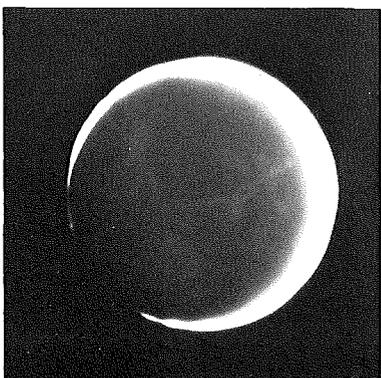
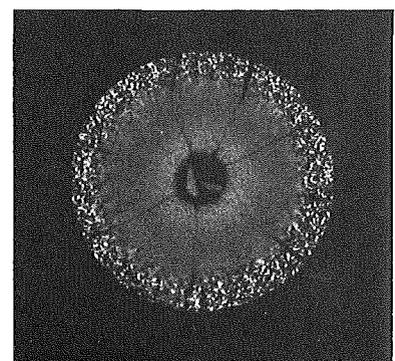
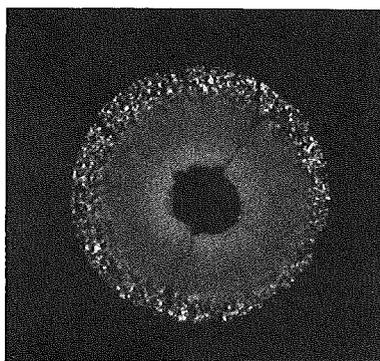
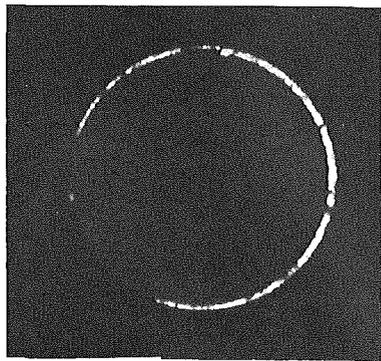
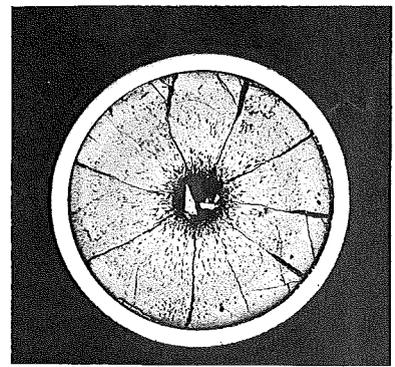
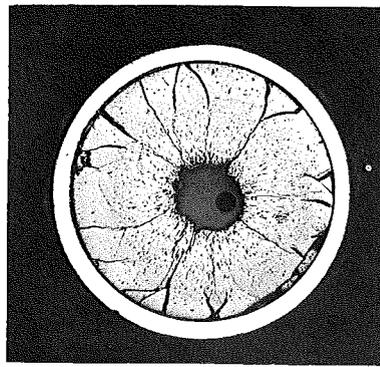
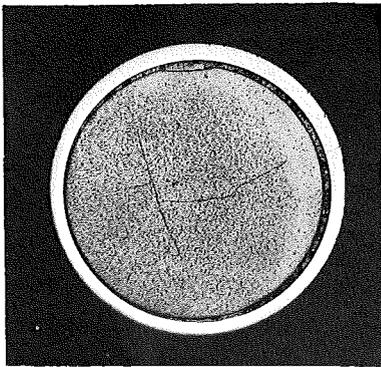
200 μ m



100 μ m



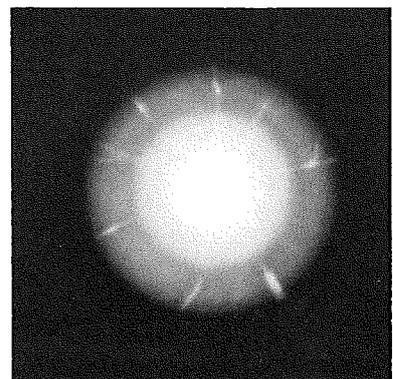
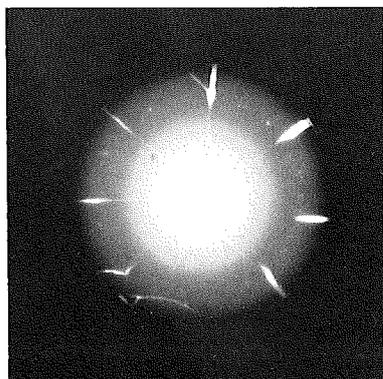
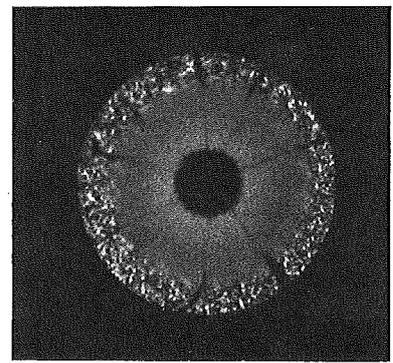
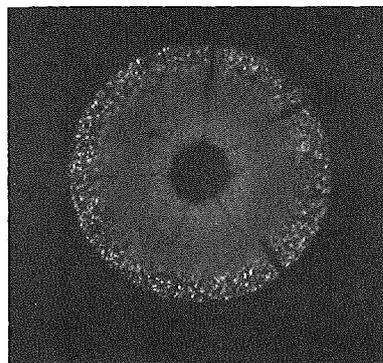
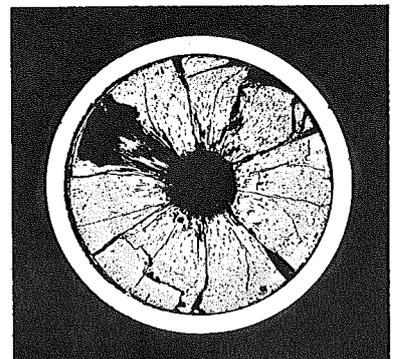
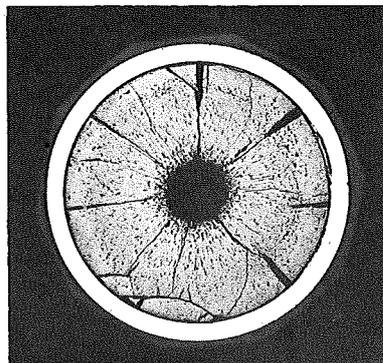
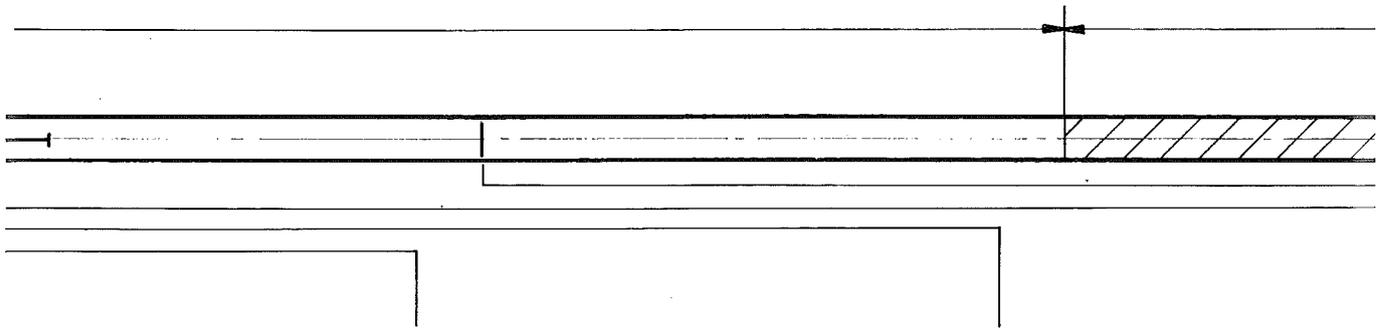
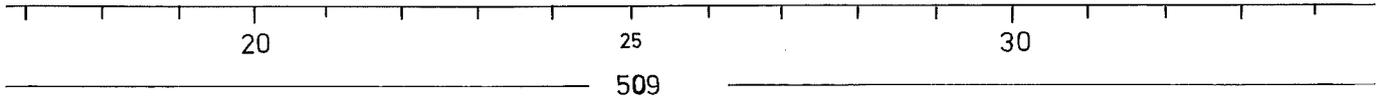
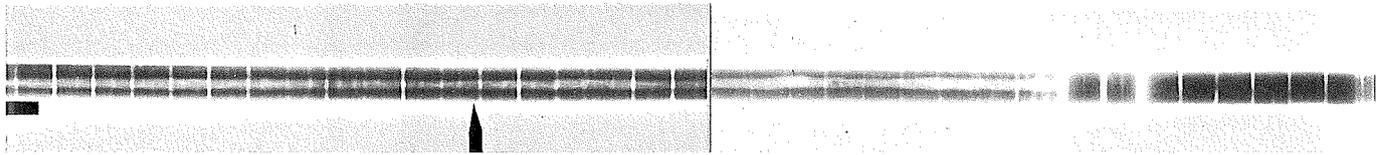
A



11

12

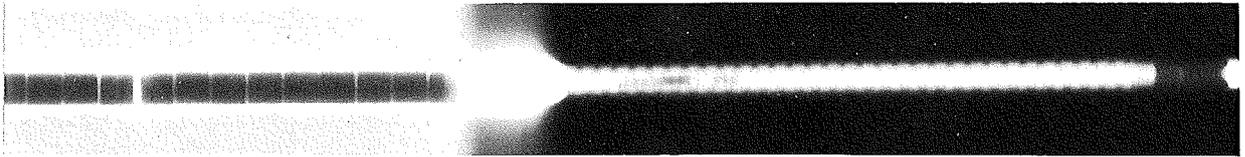
13



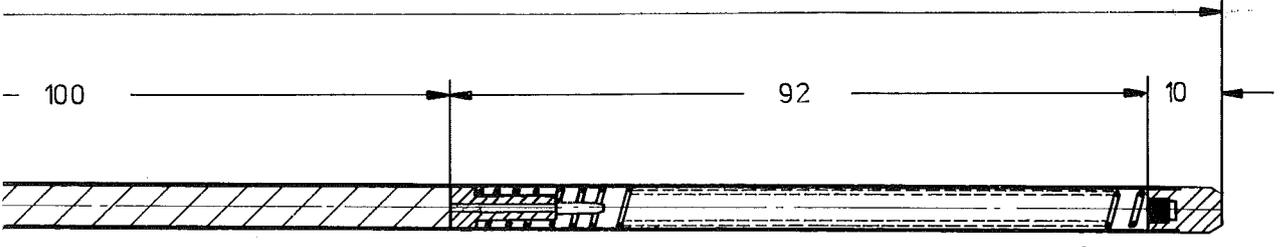
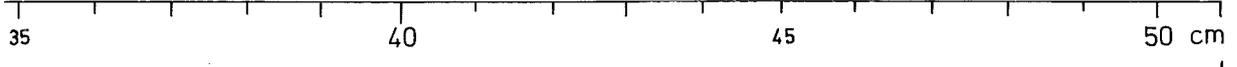
14

2

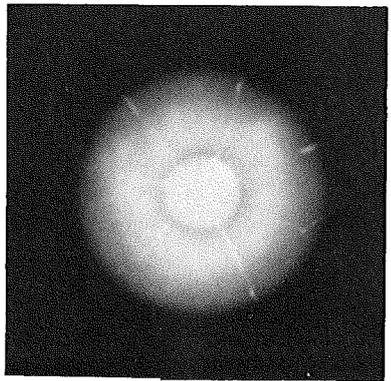
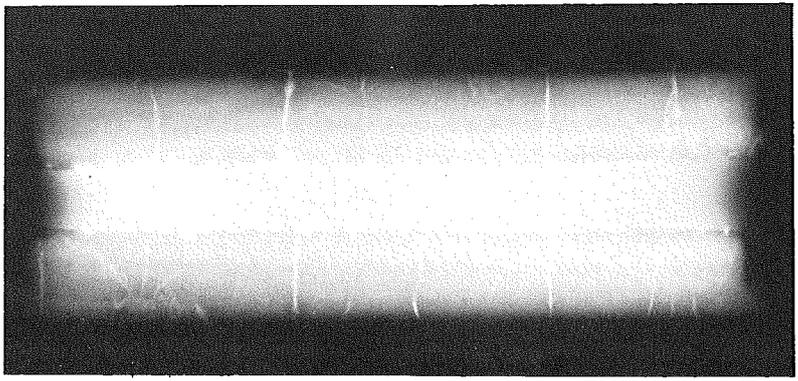
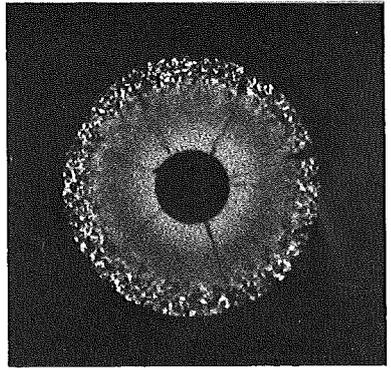
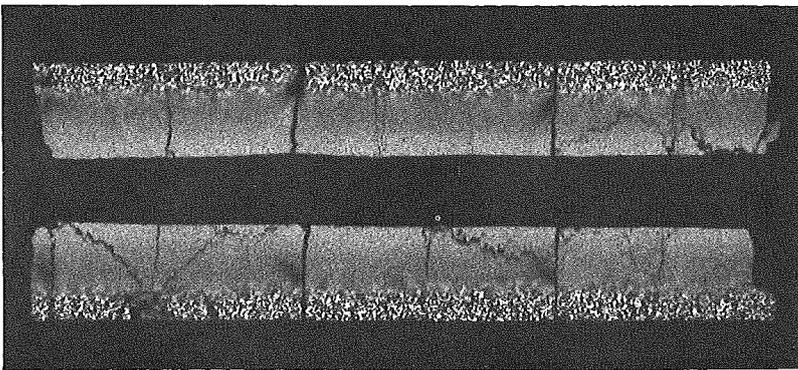
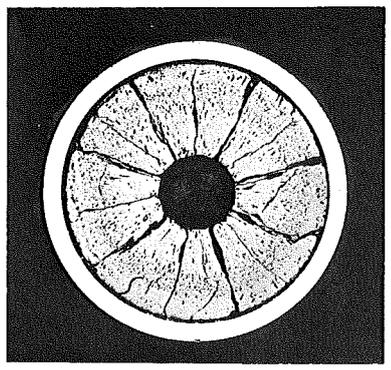
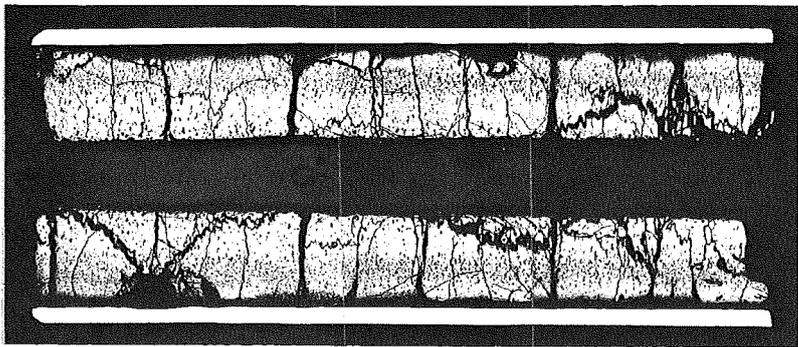
II / 25 -



G 14



M 1:1



5

7

1mm

Brennstab

G-21

Brennstoff

Form	: Tabletten
Zusammensetzung	: UO_2 - PuO_2 (80/20)
Tablettendichte	: 89,5 % th.D.

Hülle

Material	: 1.4988
Außendurchmesser	: 6,00mm
Wandstärke	: 0,38 mm

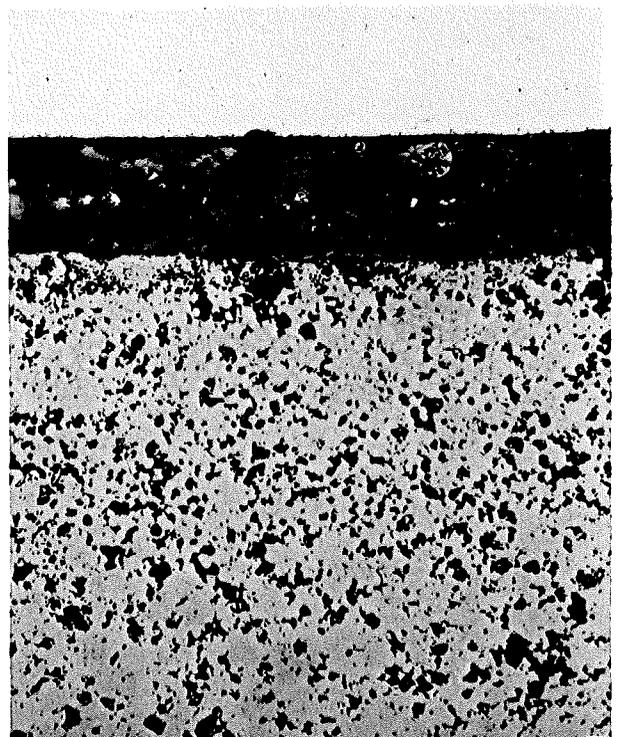
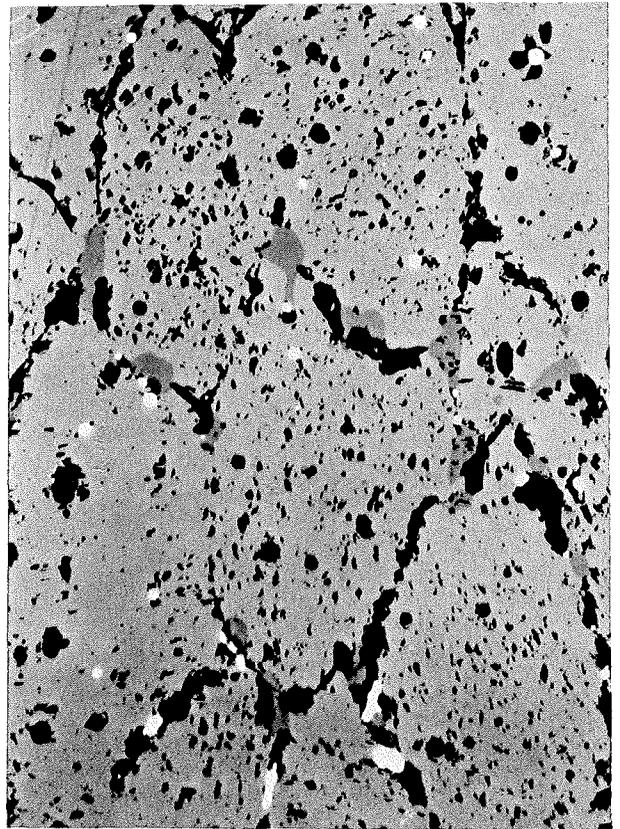
Geometrie

Länge des Brennstabes	: 508,9 mm
Länge der Brennstoffsäule	: 289,66 mm
Radiale Spaltweite	: 100 μ m

Bestrahlung

Dauer	: 202,7 Vollasttage
Ende	: 20.4.1970
Rechn. Abbrand (max.)	: 5,65 %
Stableistung (max.)	: 450 W/cm
Kühlmitteleintrittstemp.	: 230 °C
„ -austrittstemp. (max.)	: 579 °C

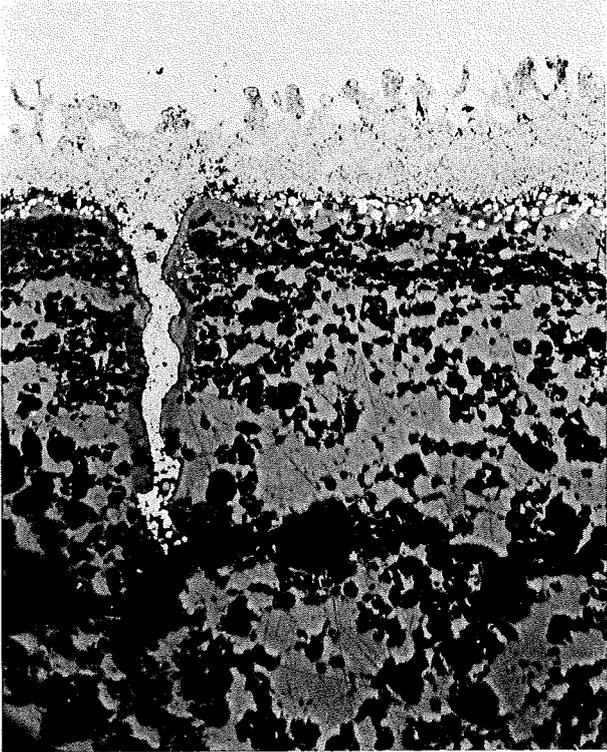
zu Stab G 21 A / 15



2 mm

40 μm

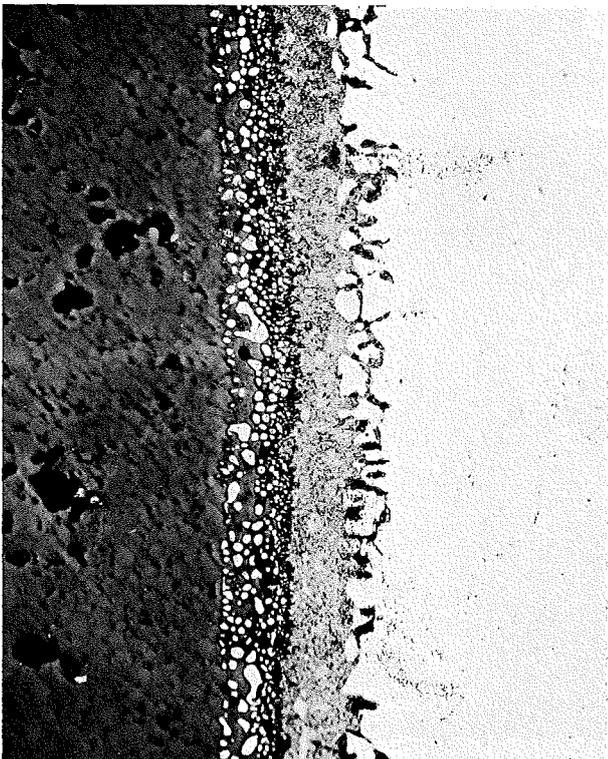
zu Stab G 21 A/3



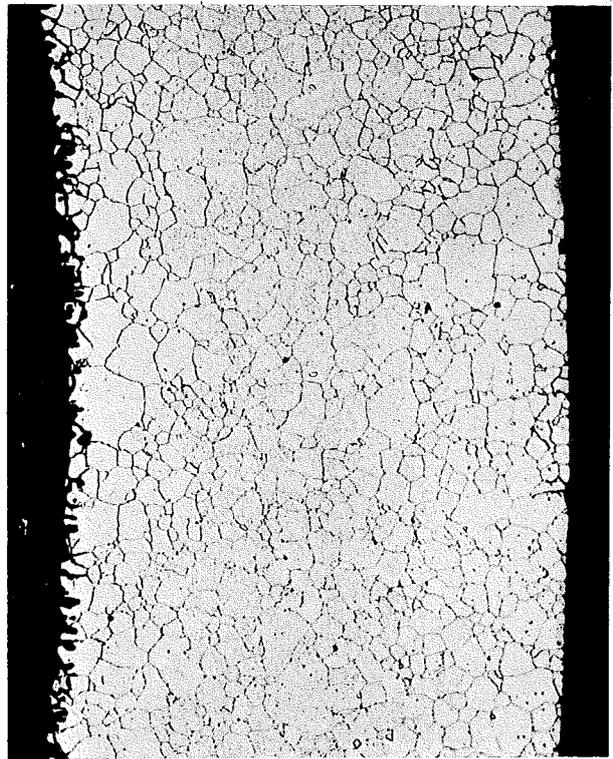
40 μm



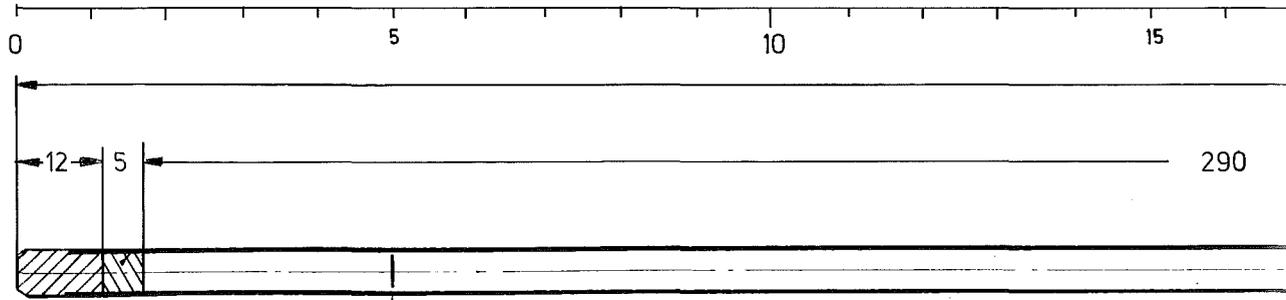
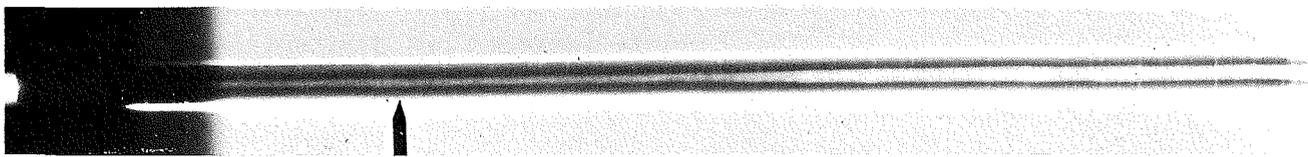
100 μm



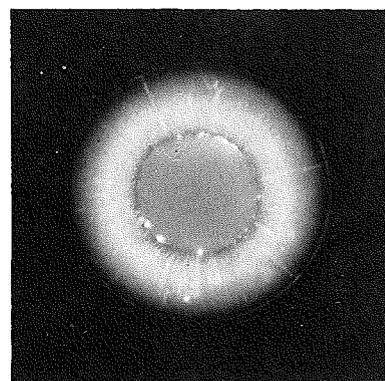
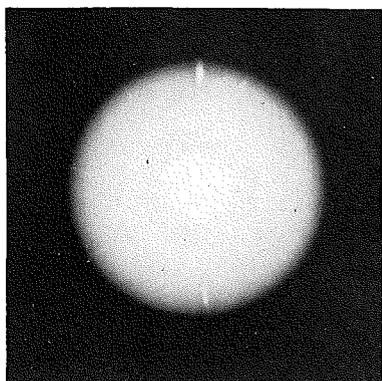
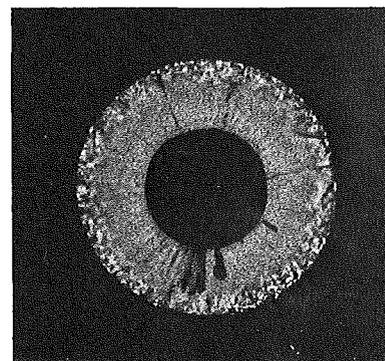
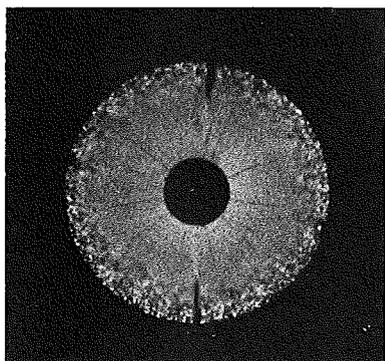
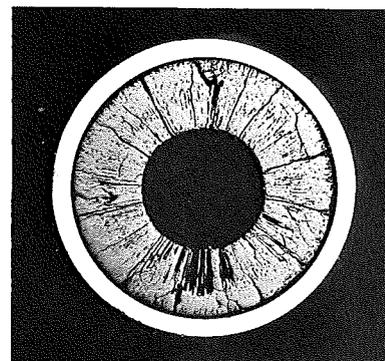
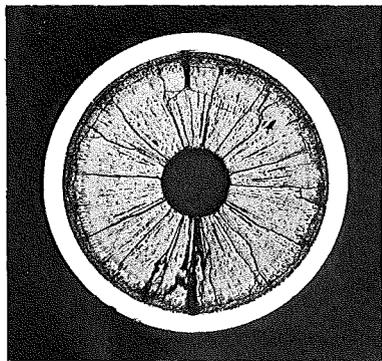
40 μm



80 μm

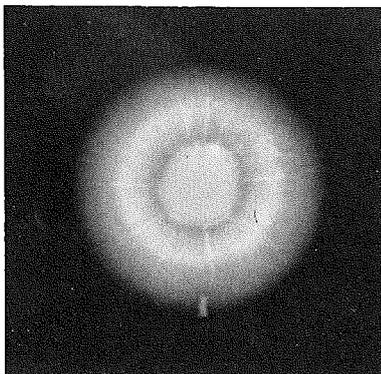
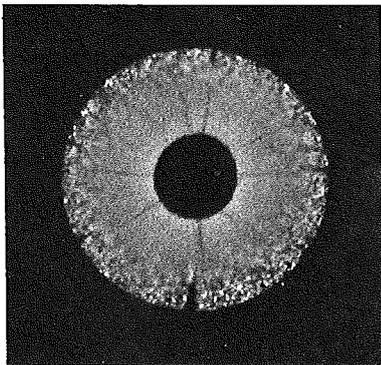
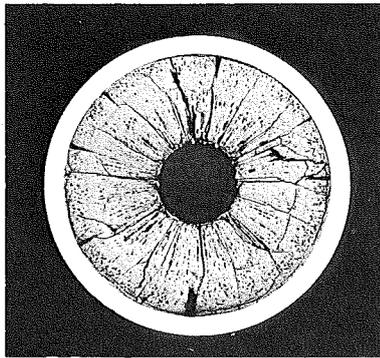
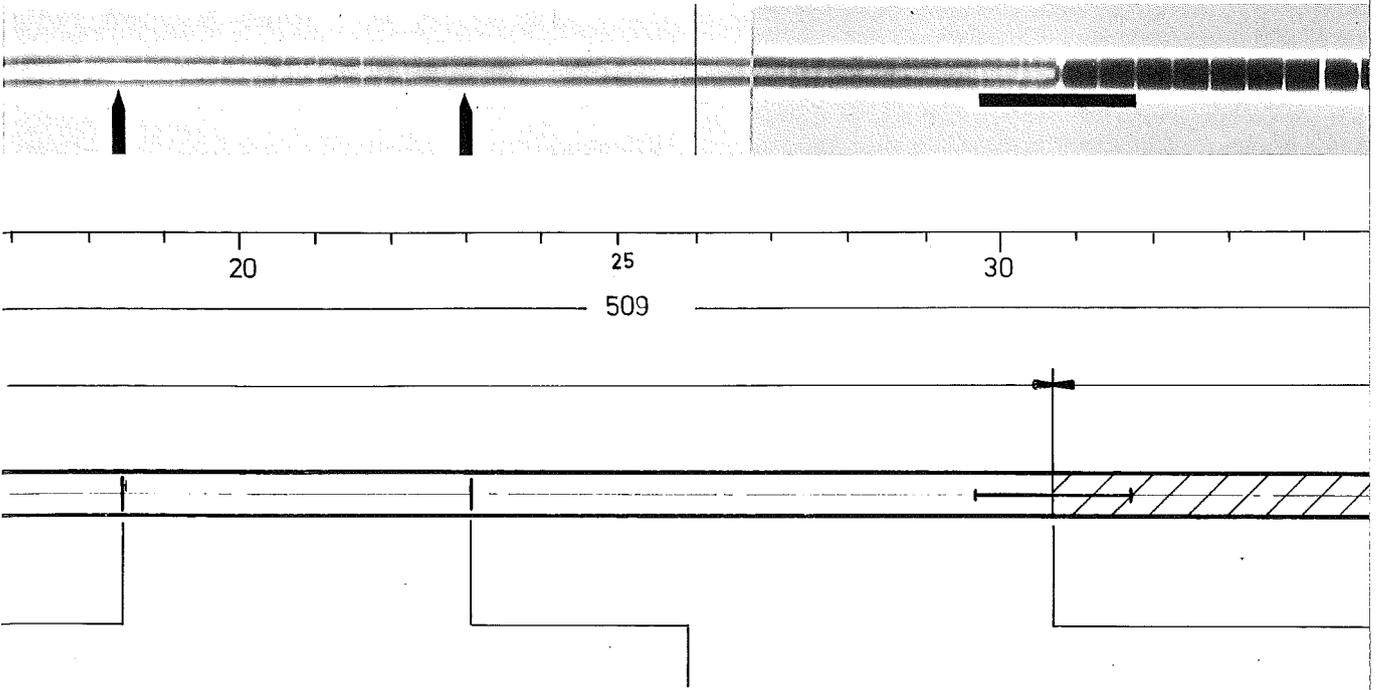


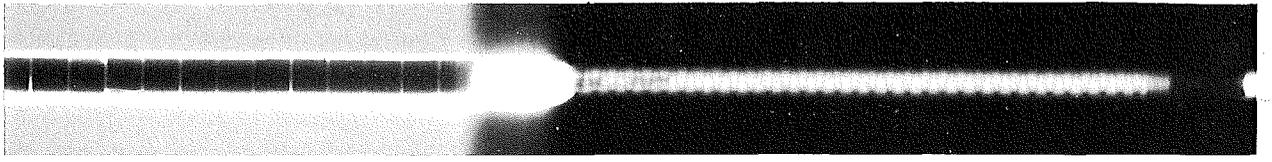
A



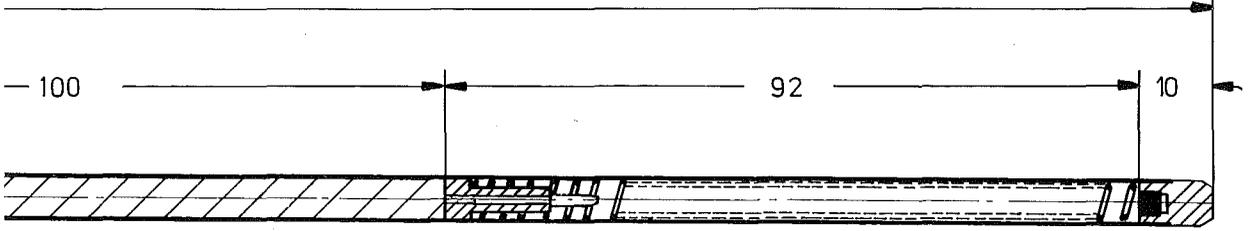
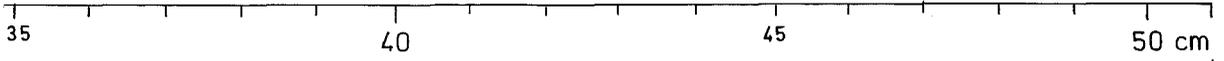
3

9

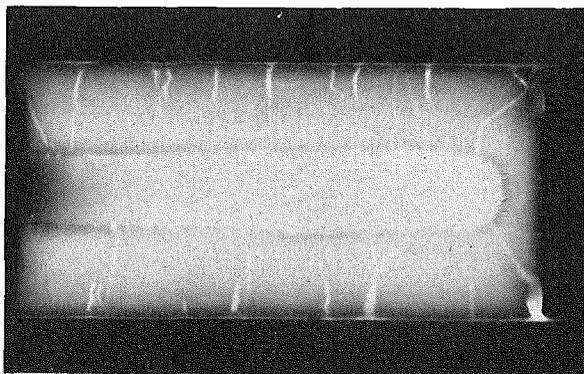
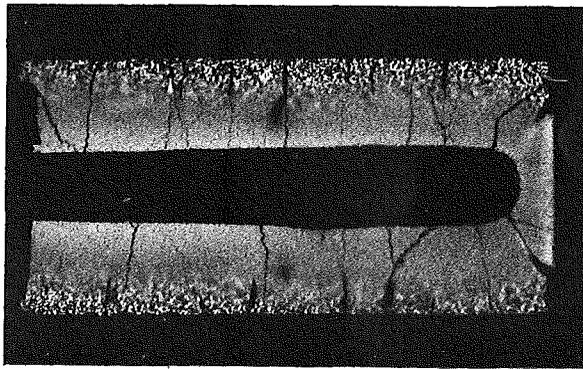
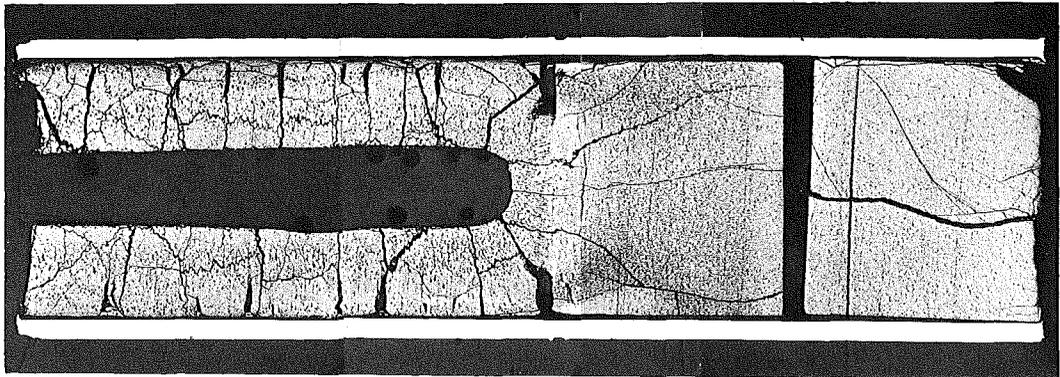




G 21



M 1:1



Brennstab G-36

Brennstoff

Form	: Tabletten
Zusammensetzung	: UO_2/PuO_2 (80/20)
Tablettendichte	: 89,5 %

Hülle

Material	: 1.4961
Außendurchmesser	: 6,00 mm
Wandstärke	: 0,38 mm

Geometrie

Länge des Brennstabes	: 508,70 mm
Länge der Brennstoffsäule	: 290,97 mm
Radiale Spaltweite	: 100 μm

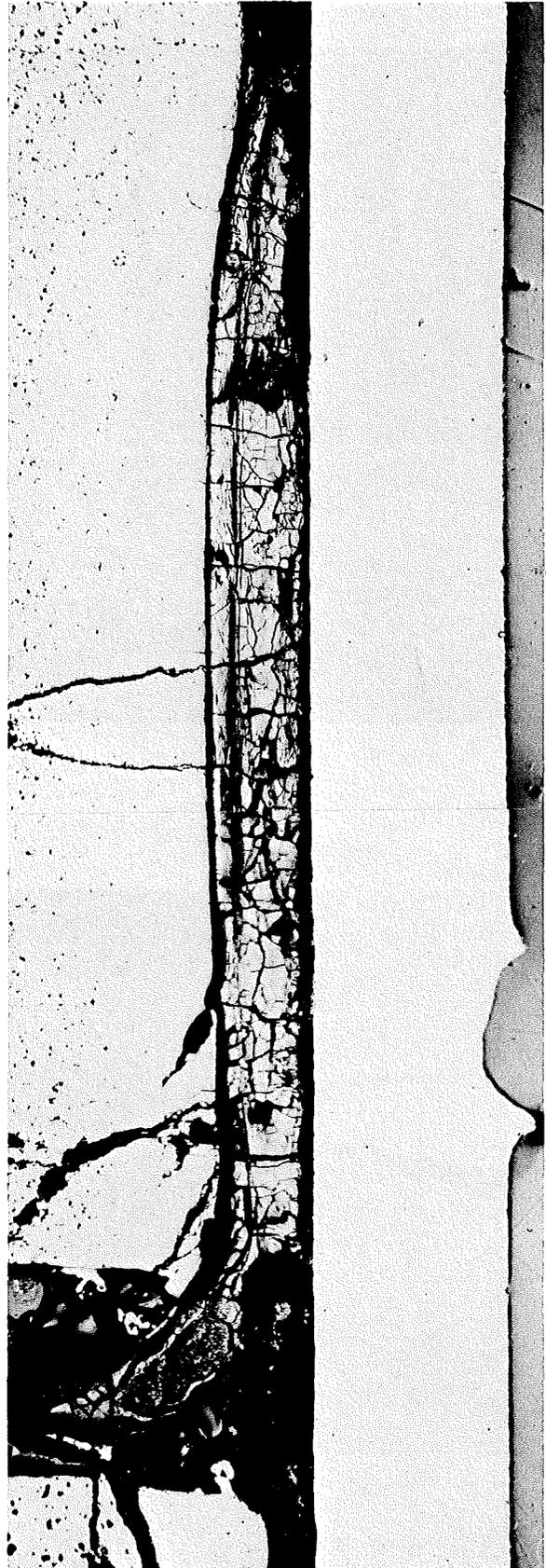
Bestrahlung

Dauer	: 202,7 Vollasttage
Ende	: 20.4.1970
Rechn. Abbrand (max.)	: 5,65 %
Stableistung (max.)	: 450 W/cm
Kühlmitteleintrittstemp.	: 230 °C
" -austrittstemp. (max.)	: 582 °C

zu Stab G 36 A/11

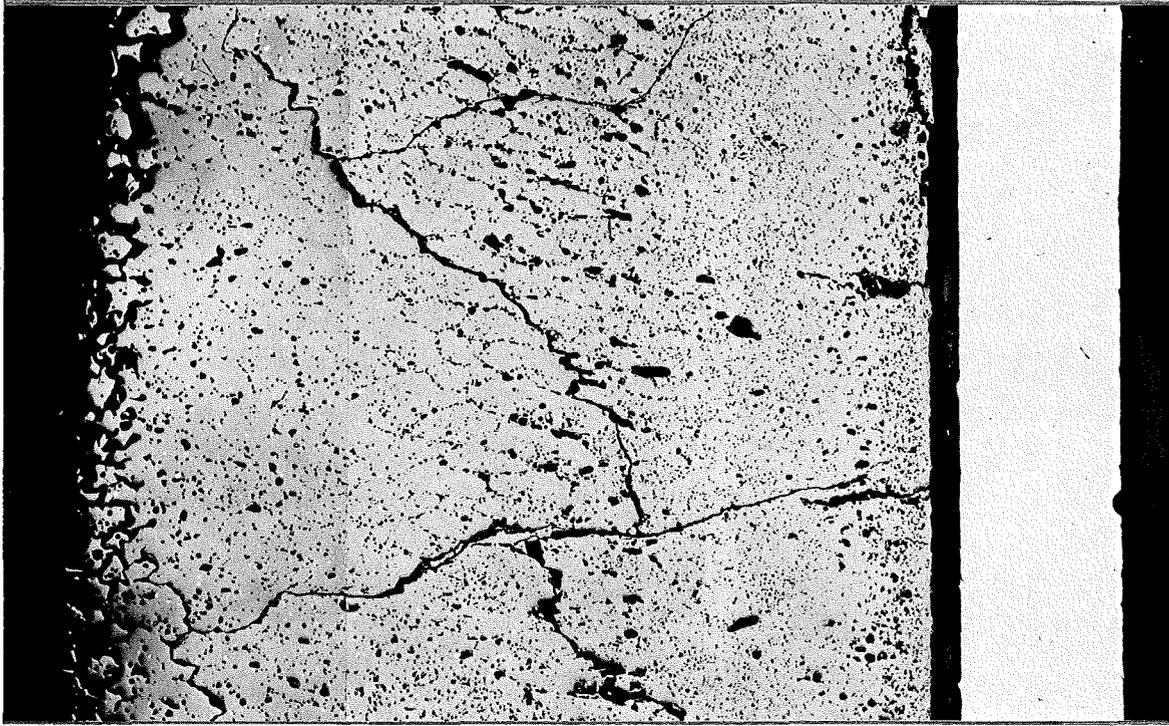


2 mm

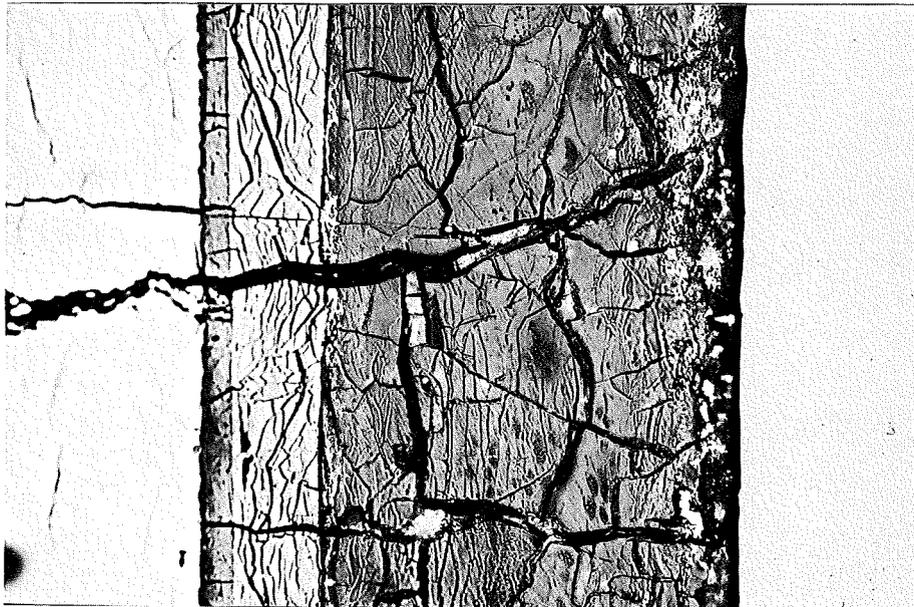


0.2 mm

zu Stab G 36 A/11



0.2 mm

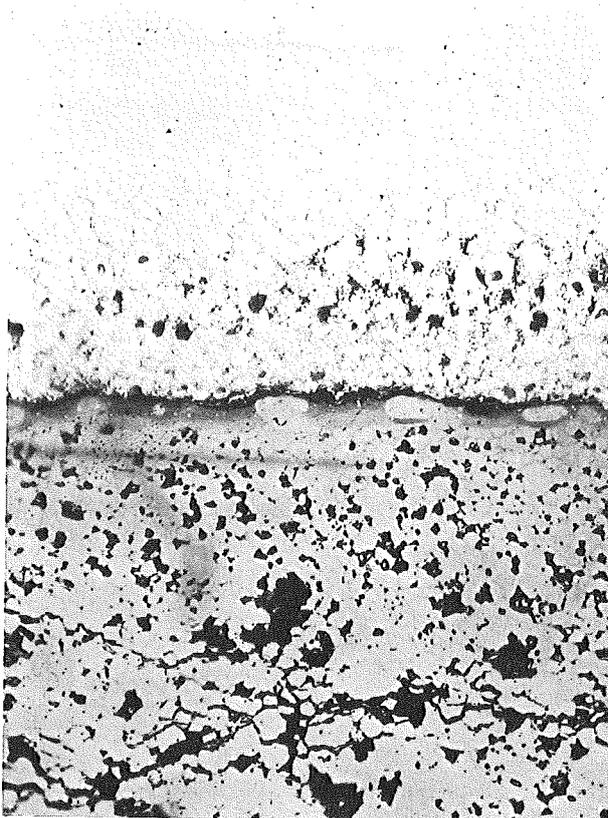


40 μ m

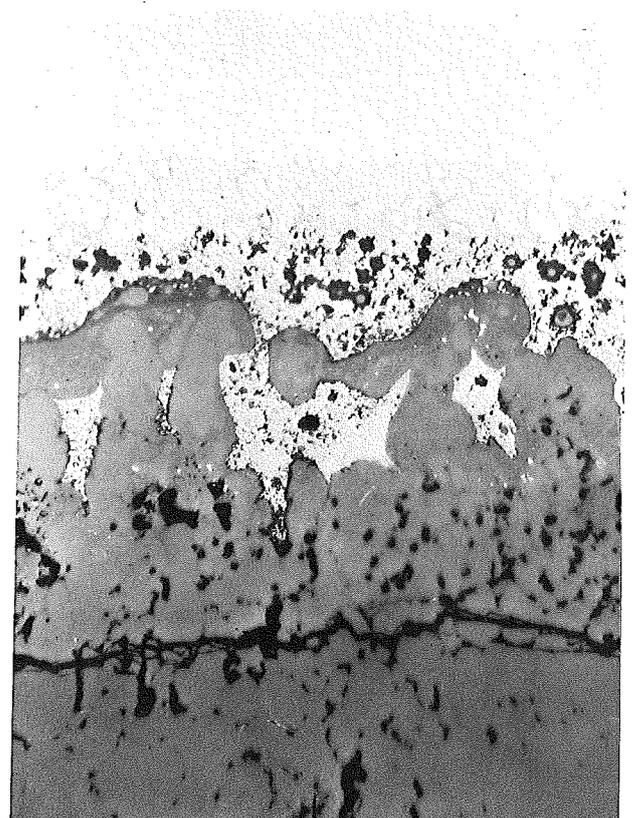
zu Stab G 36 A/3



0.2 mm

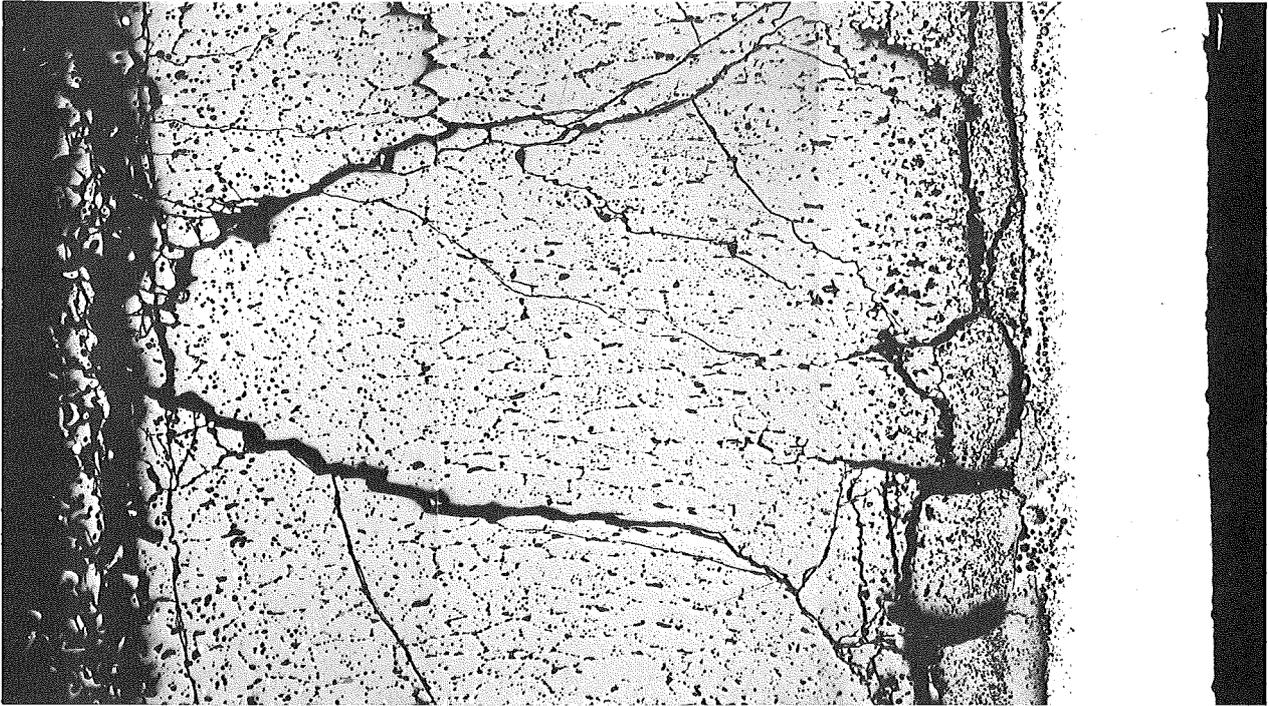


40 μm

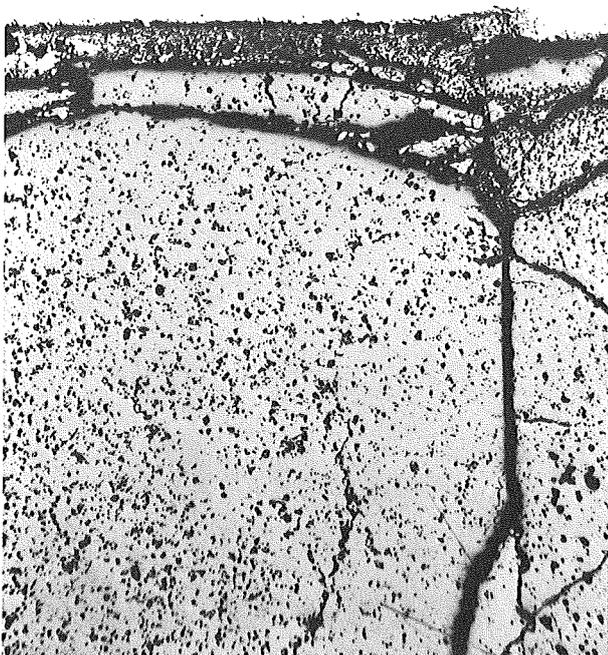


40 μm

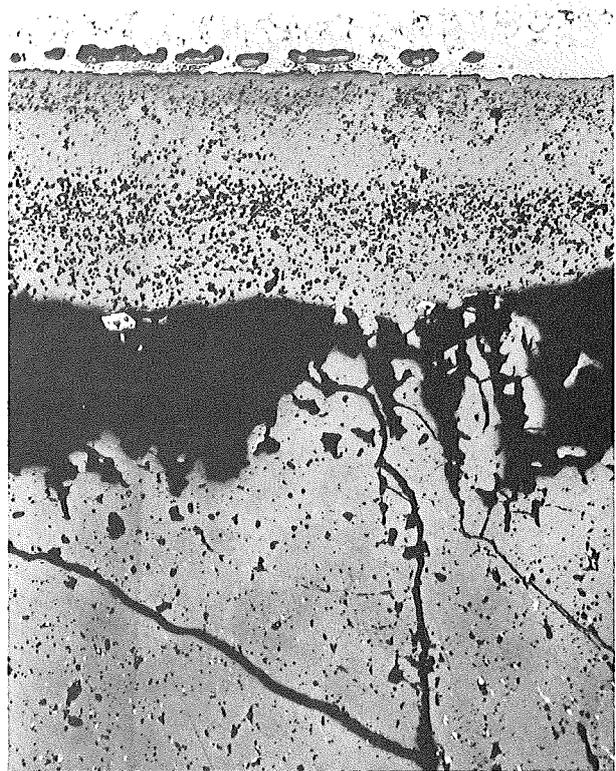
zu Stab G 36 A/1



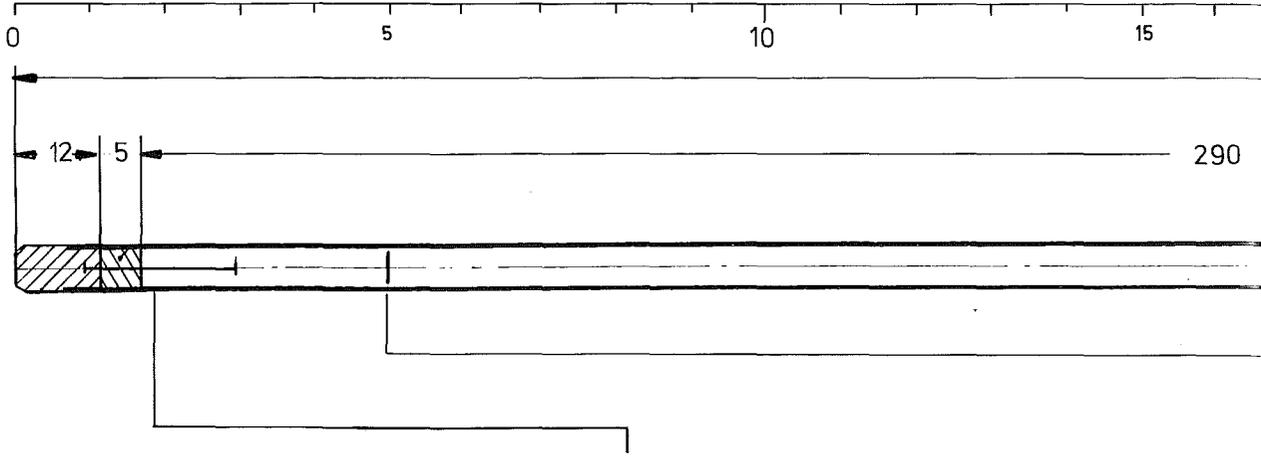
0.2 mm



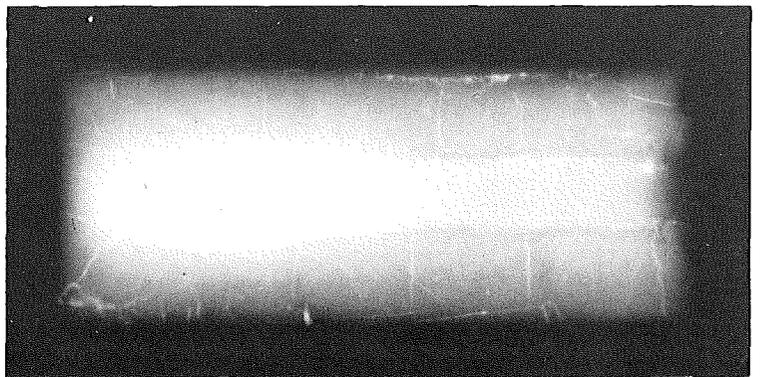
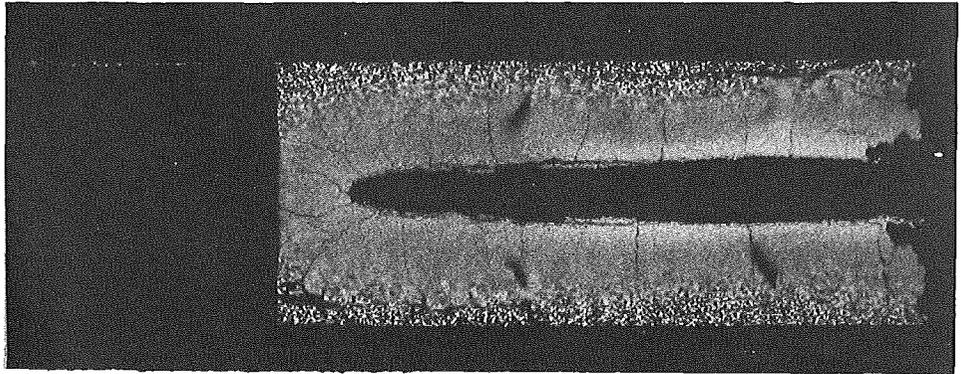
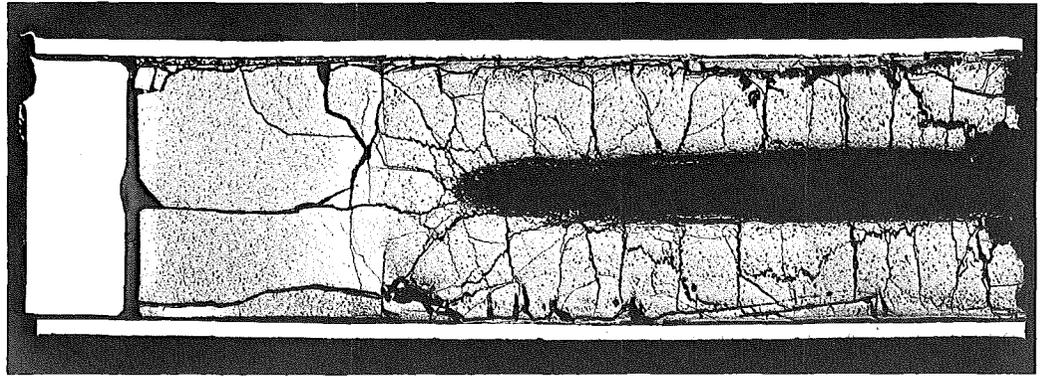
200 μm

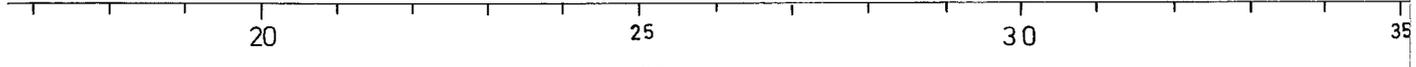
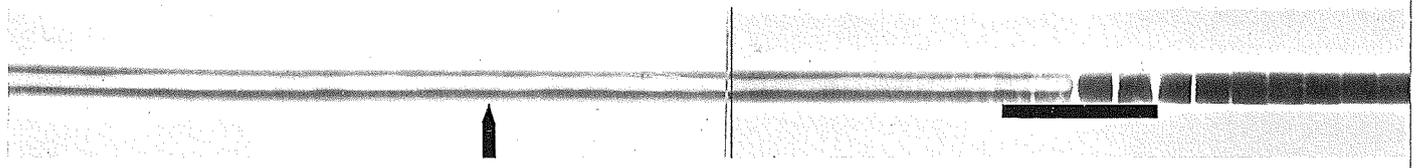


40 μm

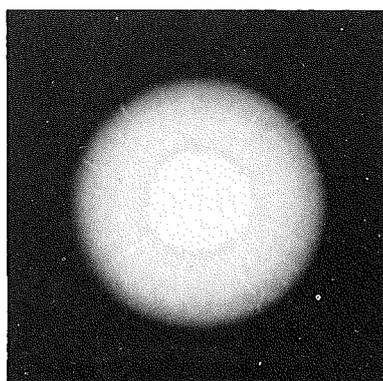
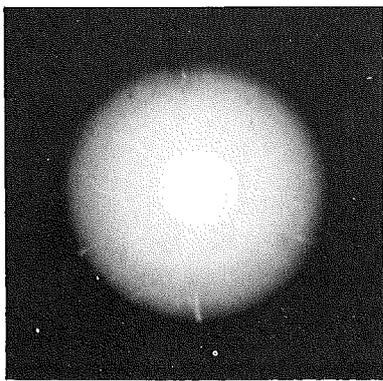
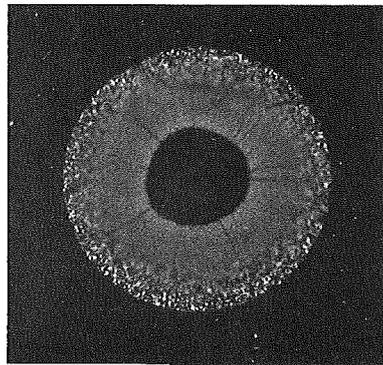
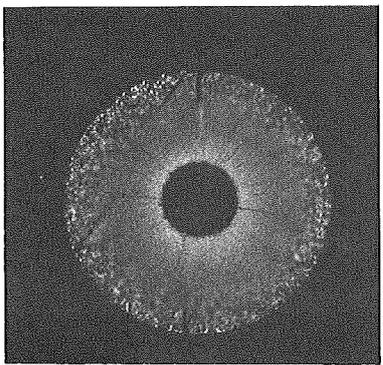
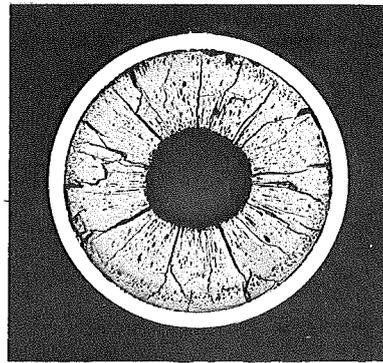
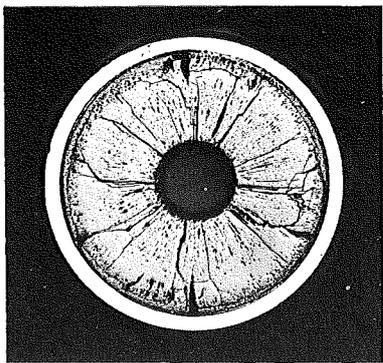
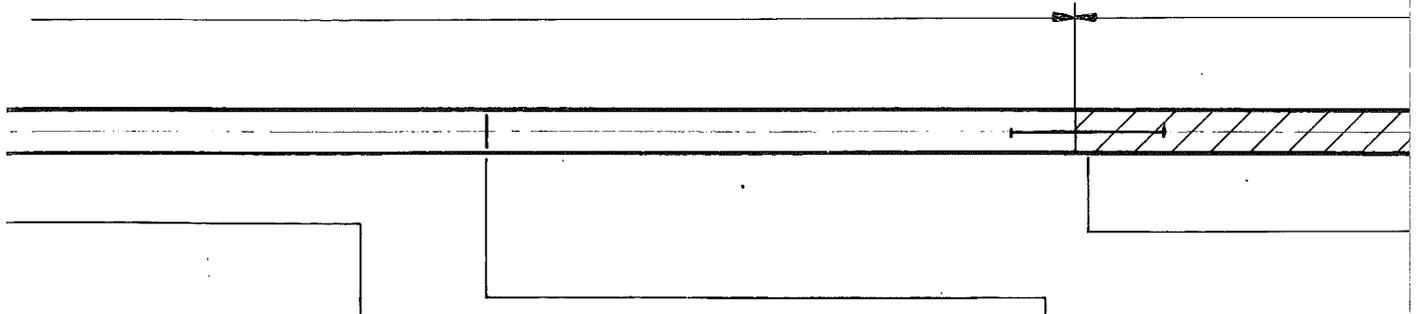


A



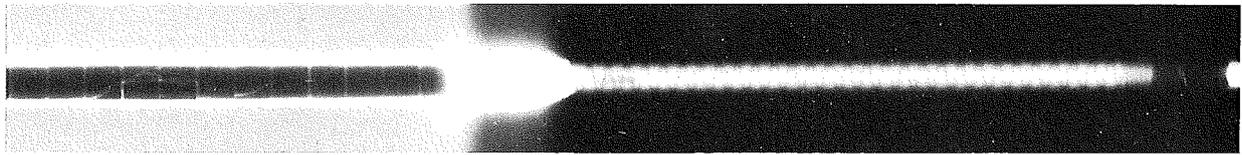


509

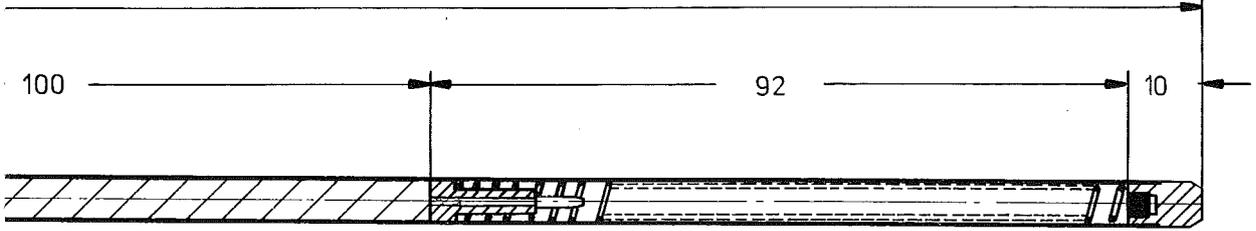


3

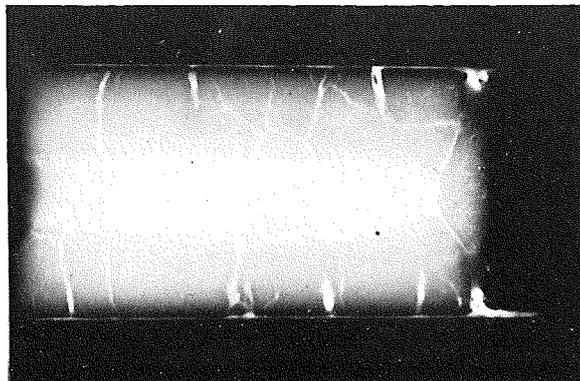
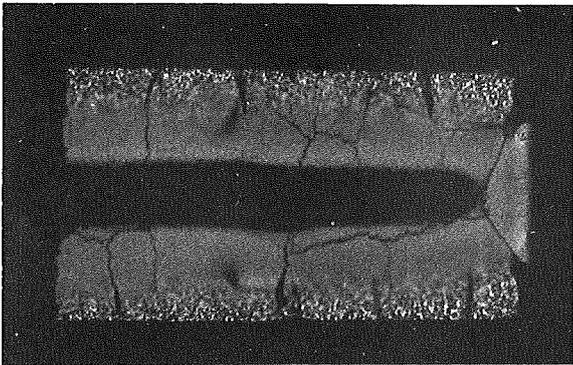
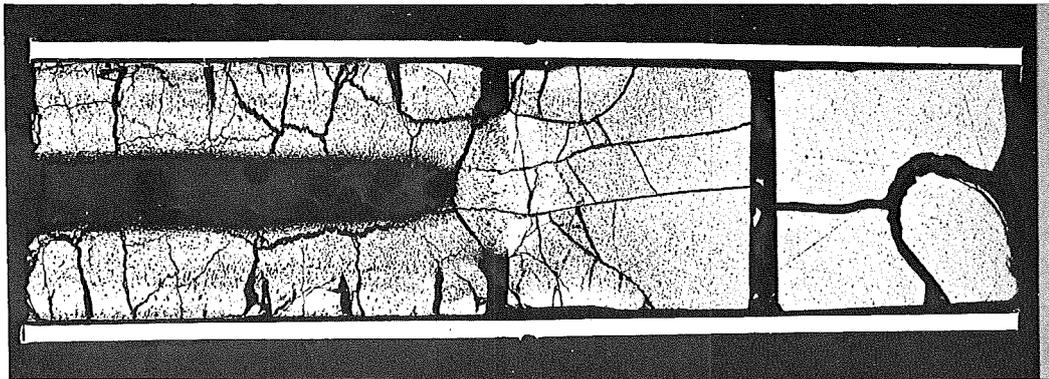
8



G 36



M 1:1



Brennstab G-39

Brennstoff

Form	: Tabletten
Zusammensetzung	: UO_2/PuO_2 (80/20)
Tablettendichte	: 89,5 % th.D.

Hülle

Material	: 1.4961
Außendurchmesser	: 6,00 mm
Wandstärke	: 0,38 mm

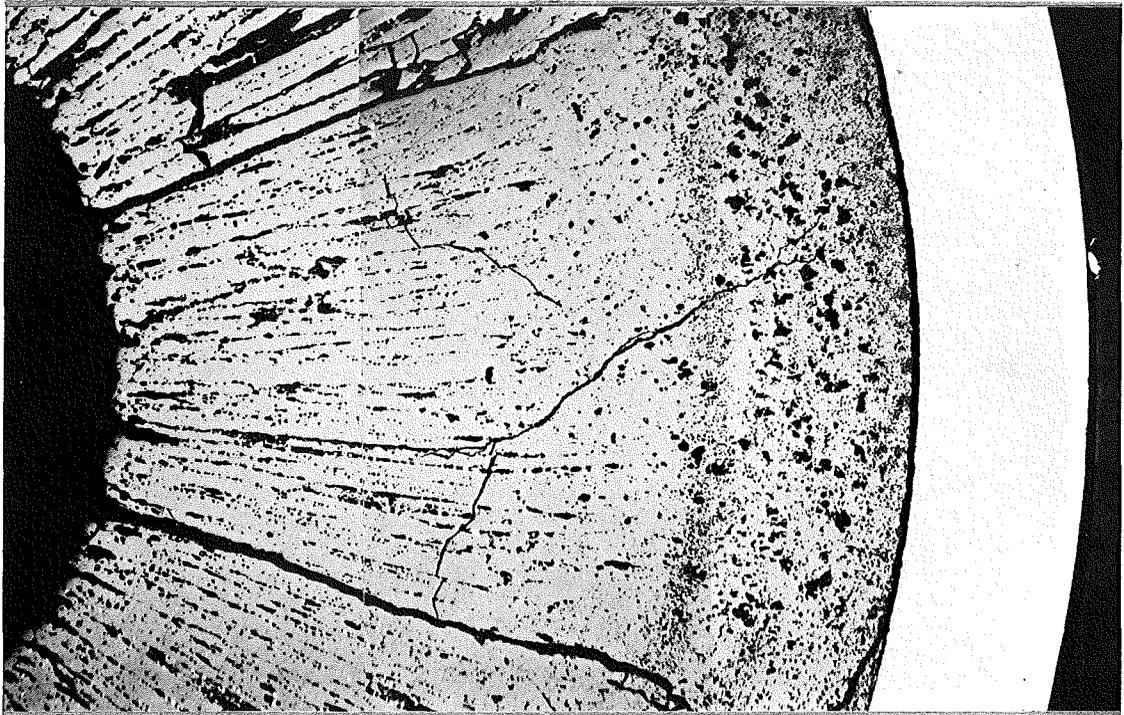
Geometrie

Länge des Brennstabes	: 508,90 mm
Länge der Brennstoffsäule	: 288,62 mm
Radiale Spaltweite	: 100 μm

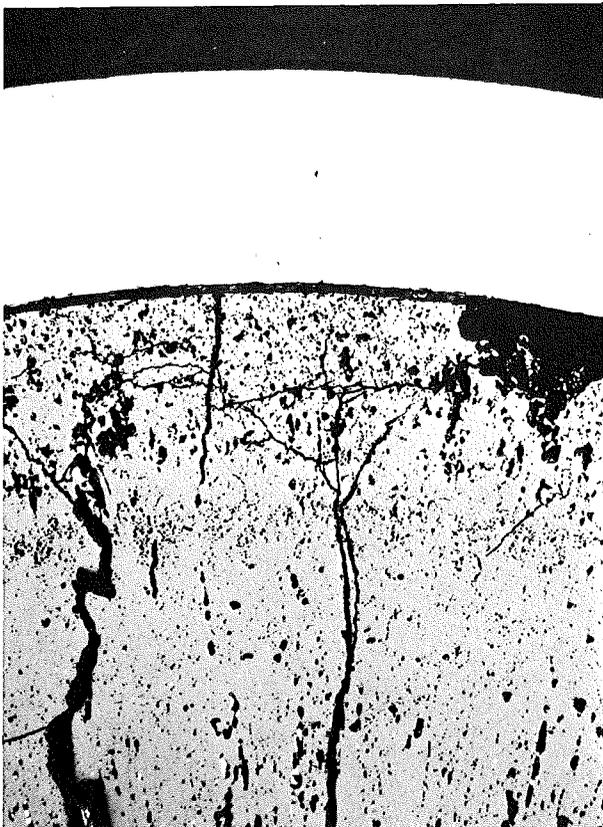
Bestrahlung

Dauer	: 202,7 Vollasttage
Ende	: 20.4.1970
Rechn. Abbrand (max.)	: 5,65 %
Stableistung (max.)	: 450 W/cm
Kühlmitteleintrittstemp.	: 230 °C
„ -austrittstemp. (max.)	: 591 °C

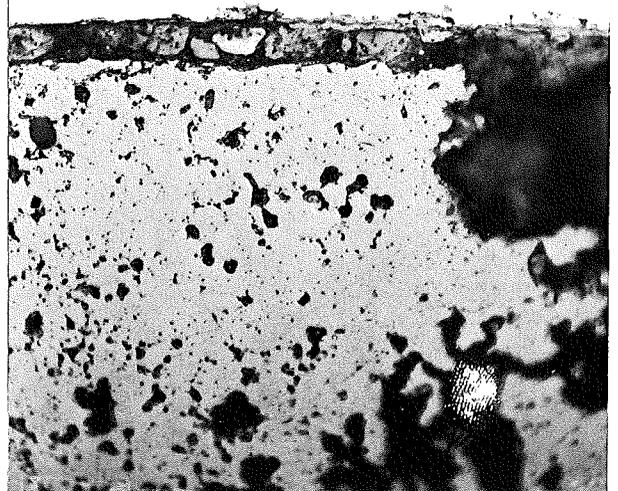
zu Stab G 39 A/4



0.2 mm

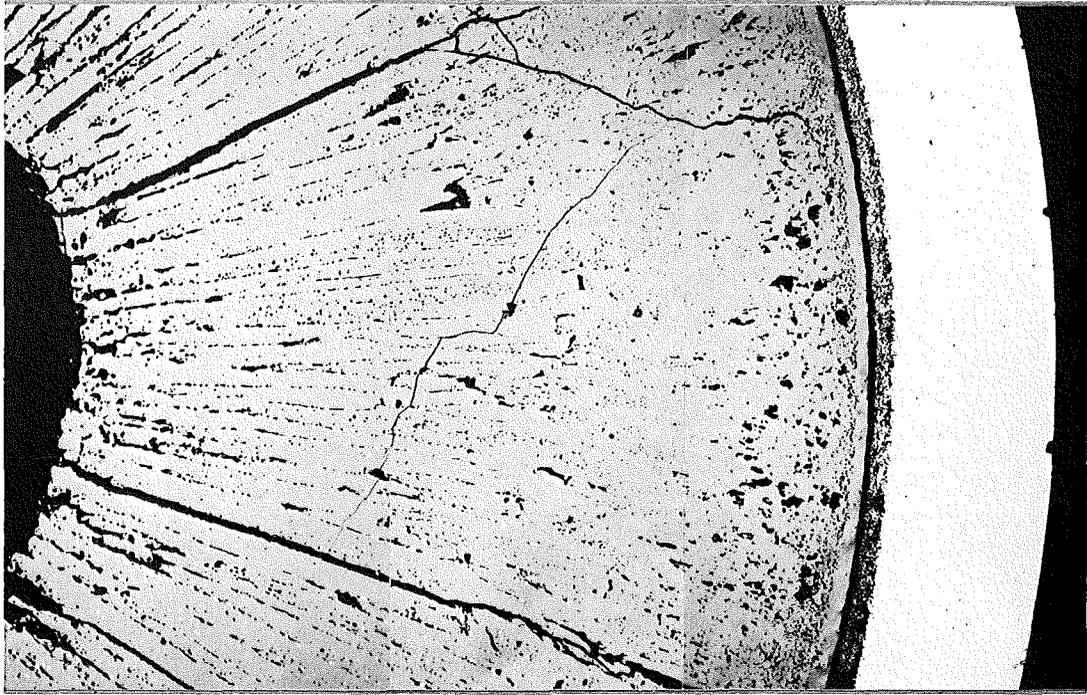


200 μ m

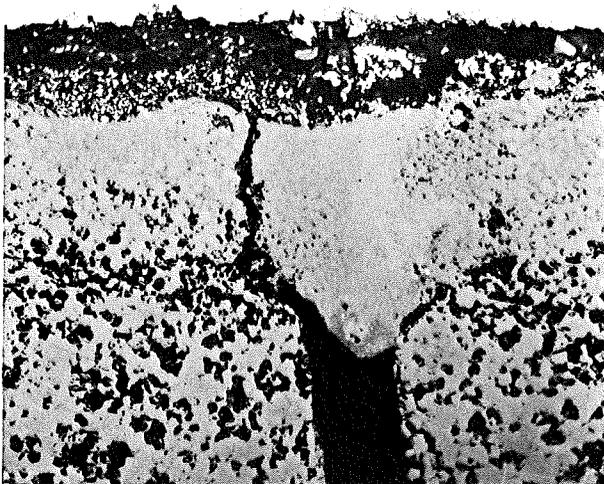


40 μ m

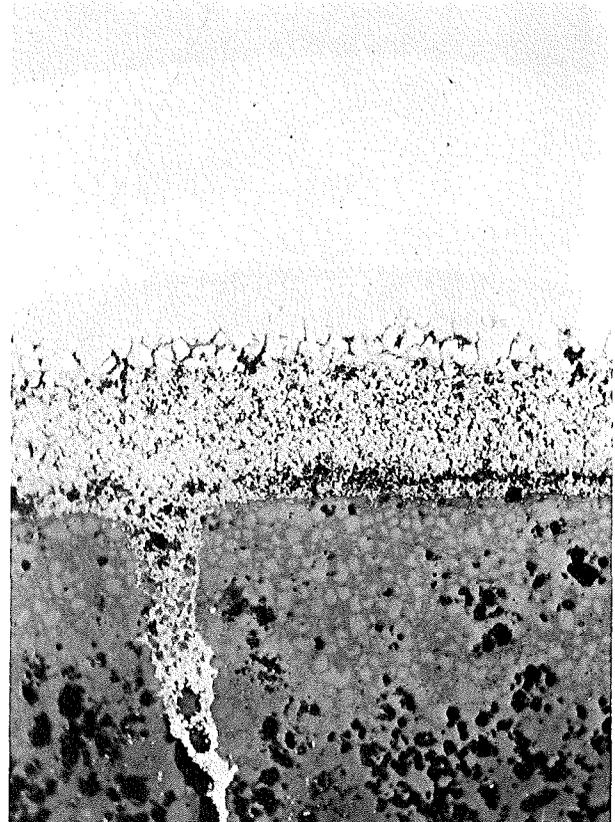
zu Stab G 39 A/2



0.2 mm

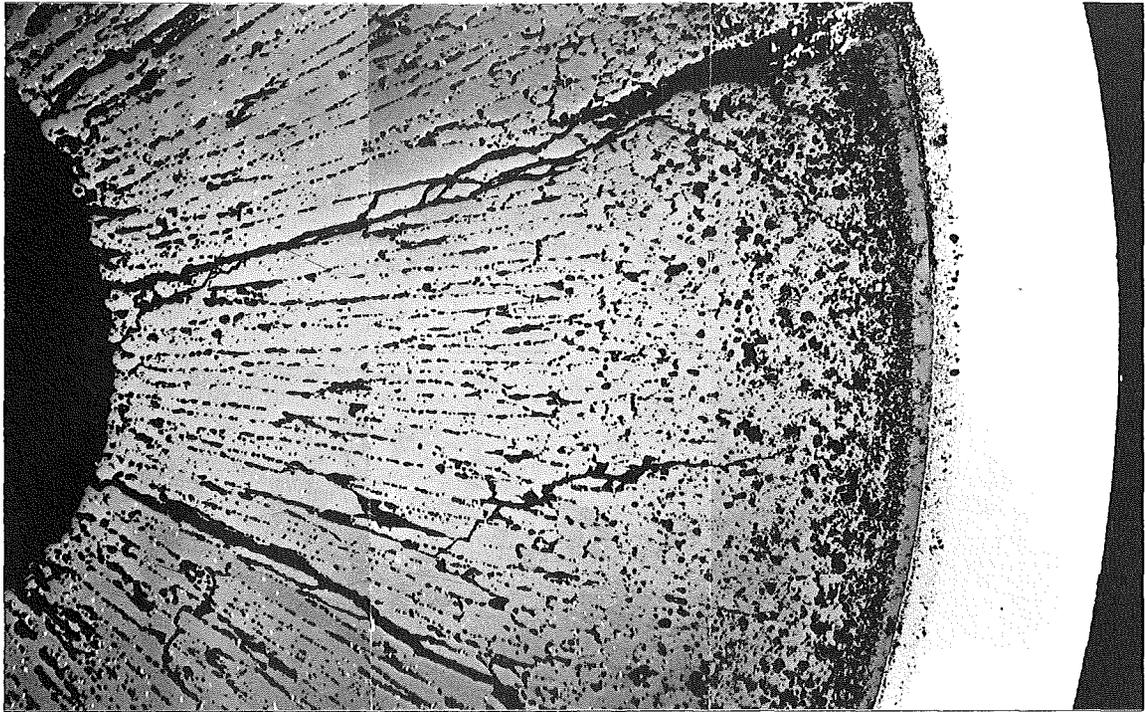


40 μ m

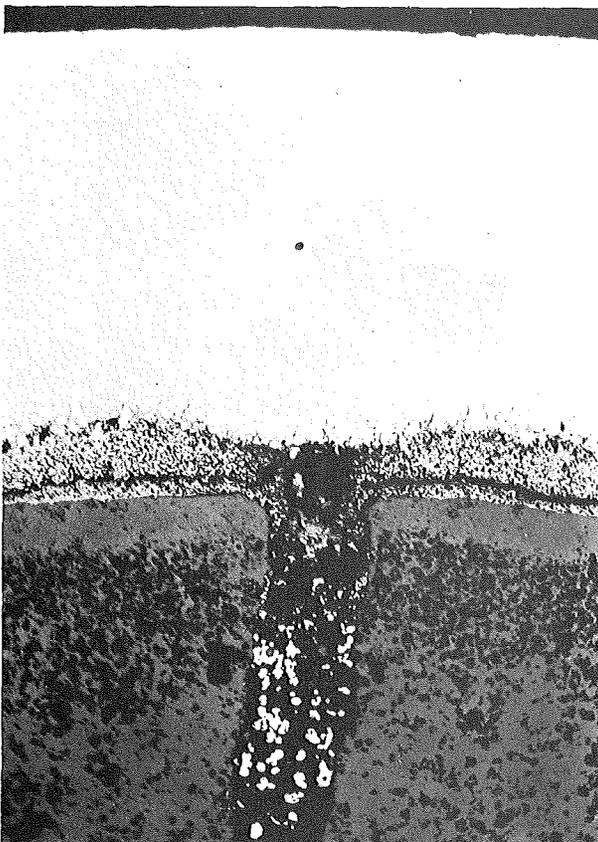


40 μ m

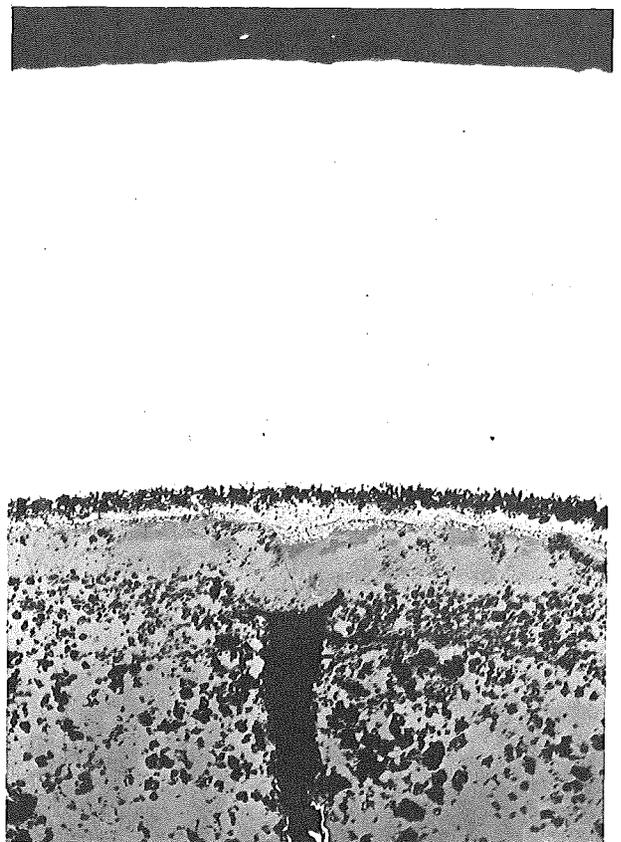
zu Stab G 39 A / 1



0.2 mm

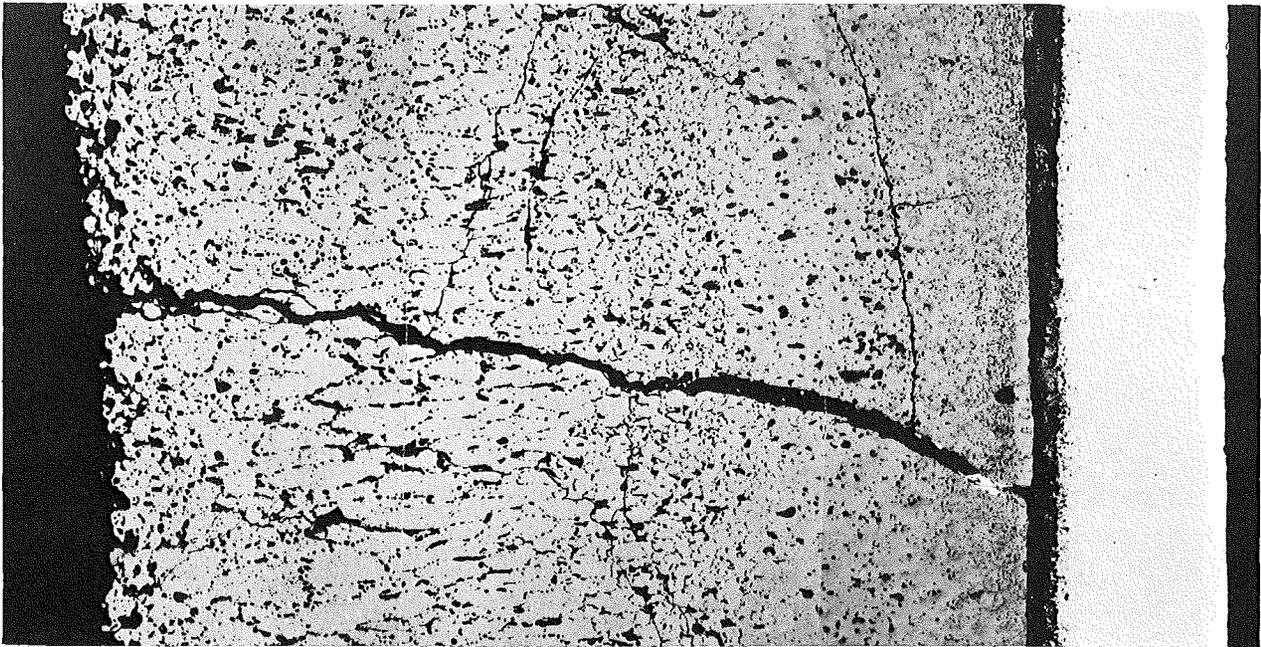


100 μ m

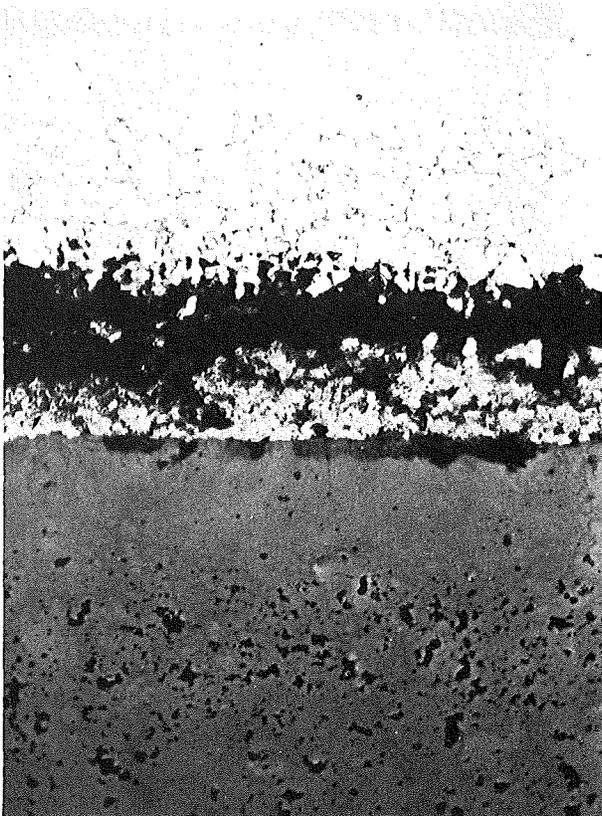


100 μ m

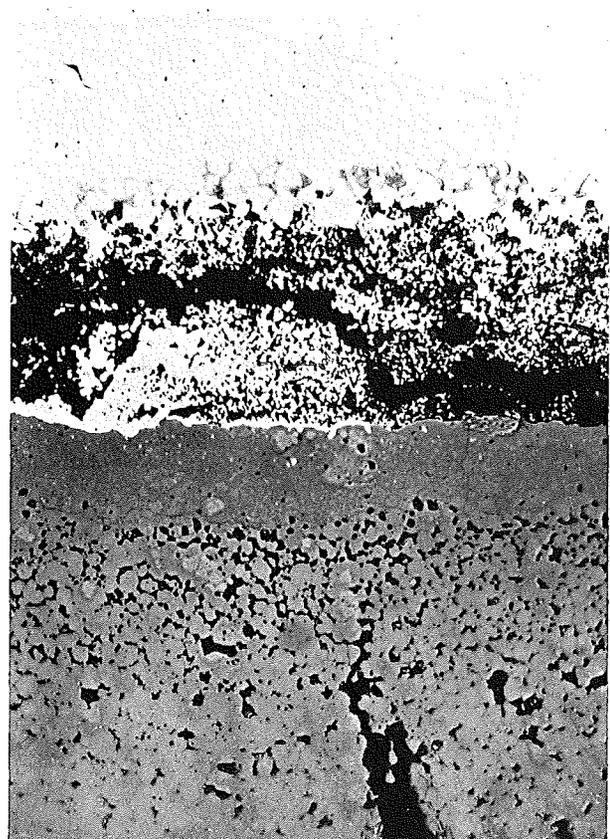
zu Stab G 39 A/6



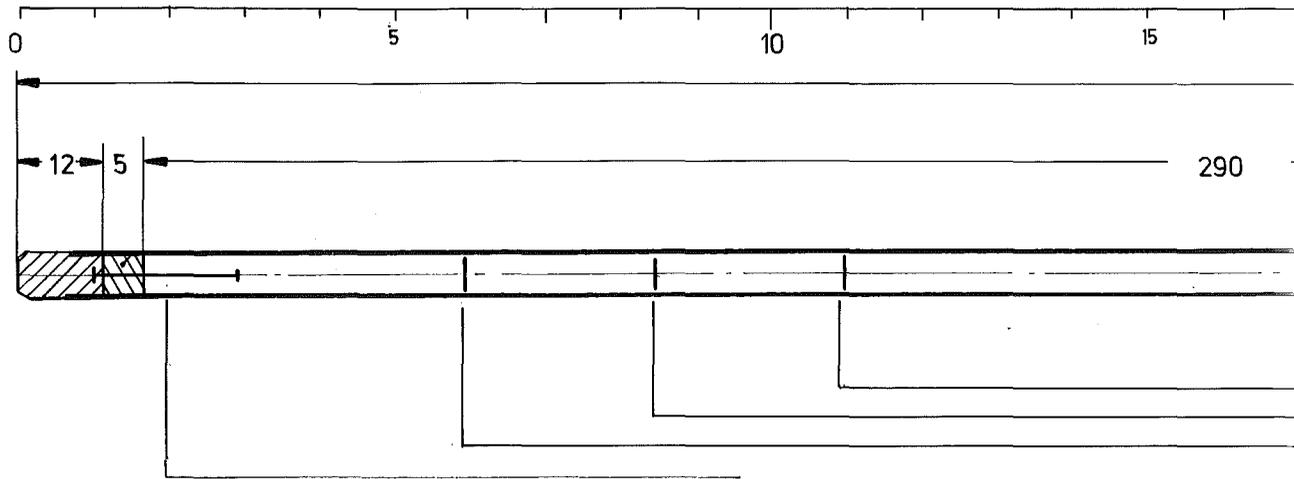
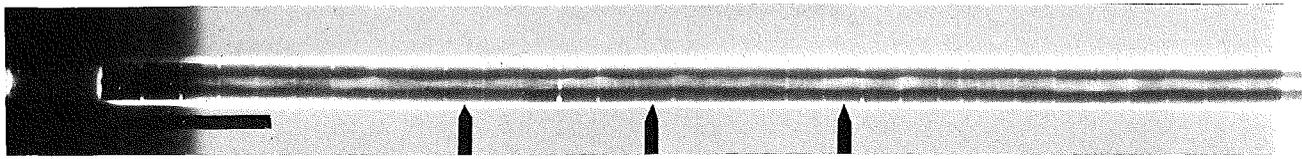
0.2 mm



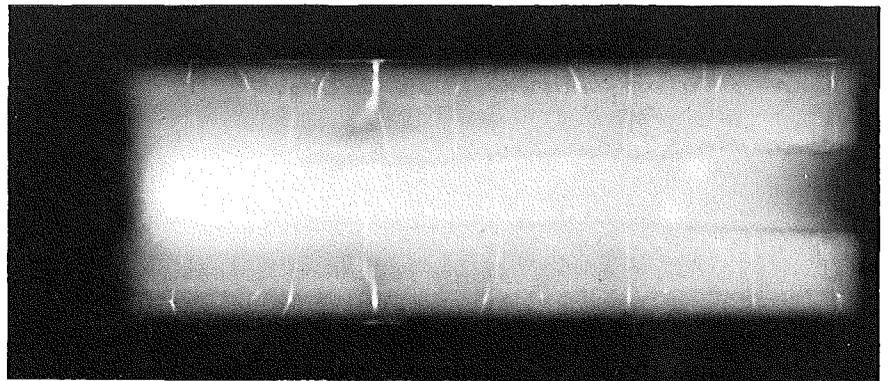
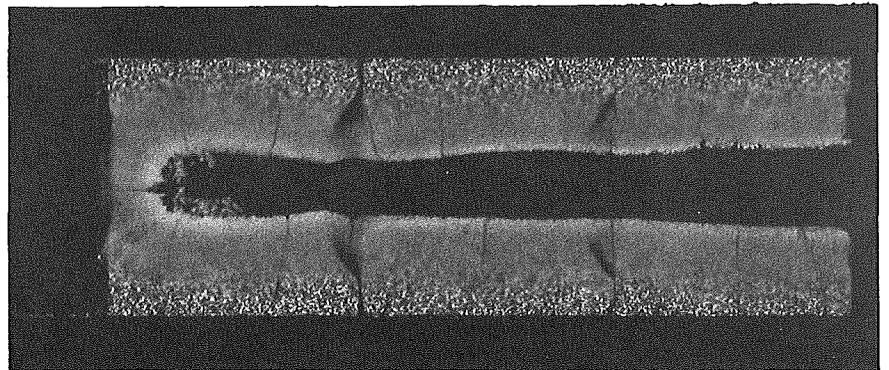
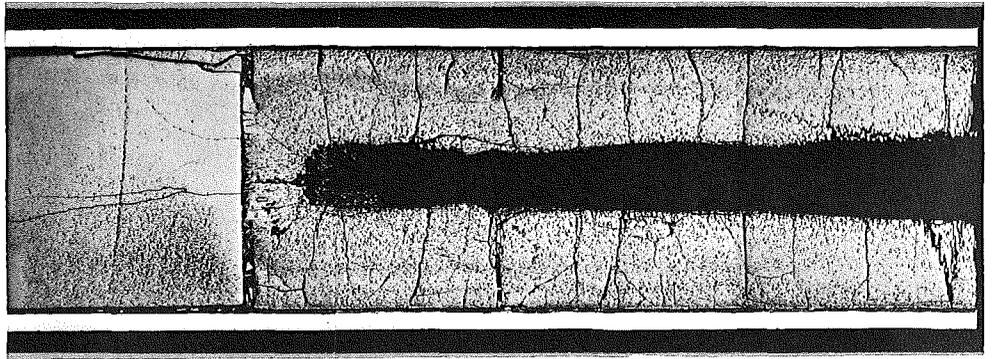
40 μ m

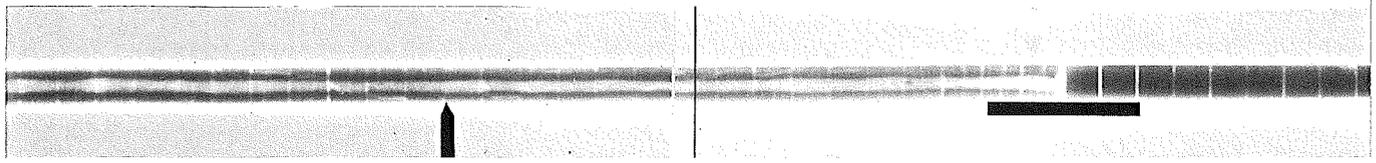


40 μ m



A





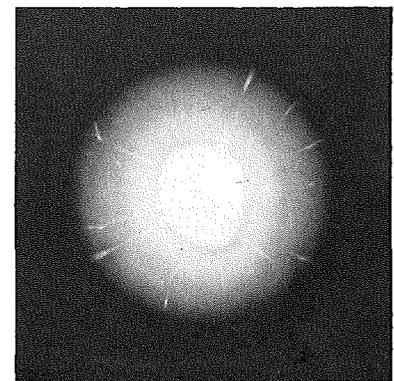
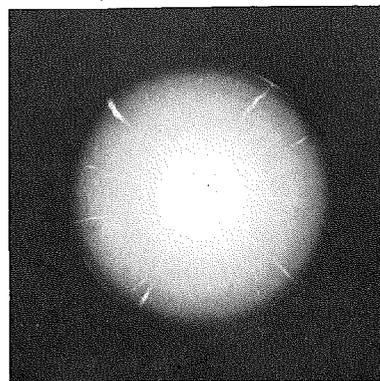
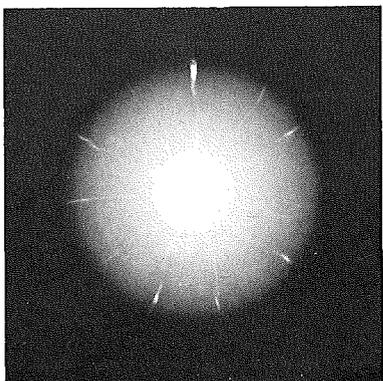
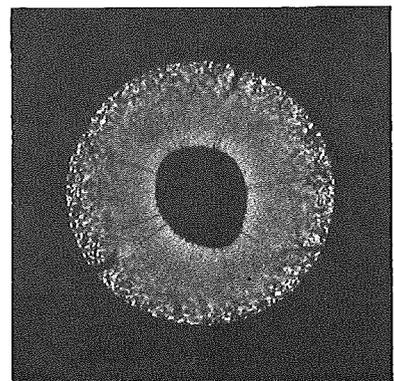
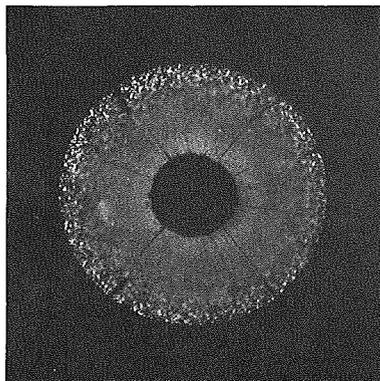
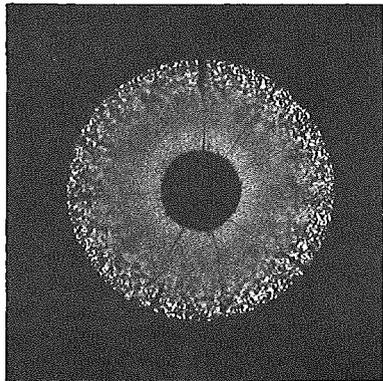
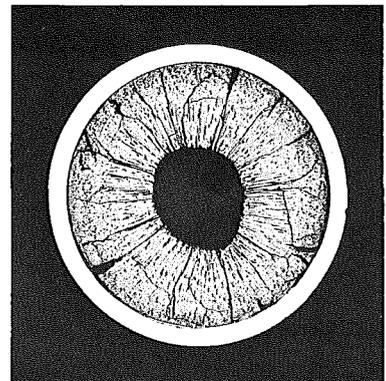
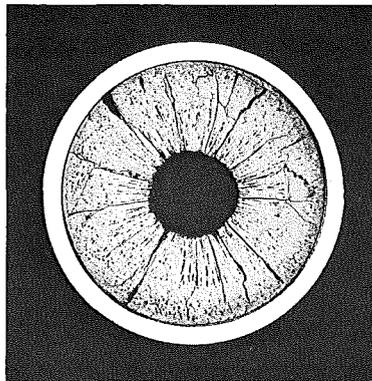
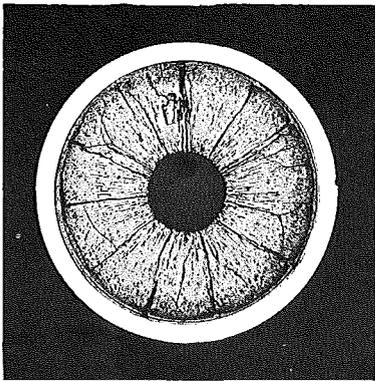
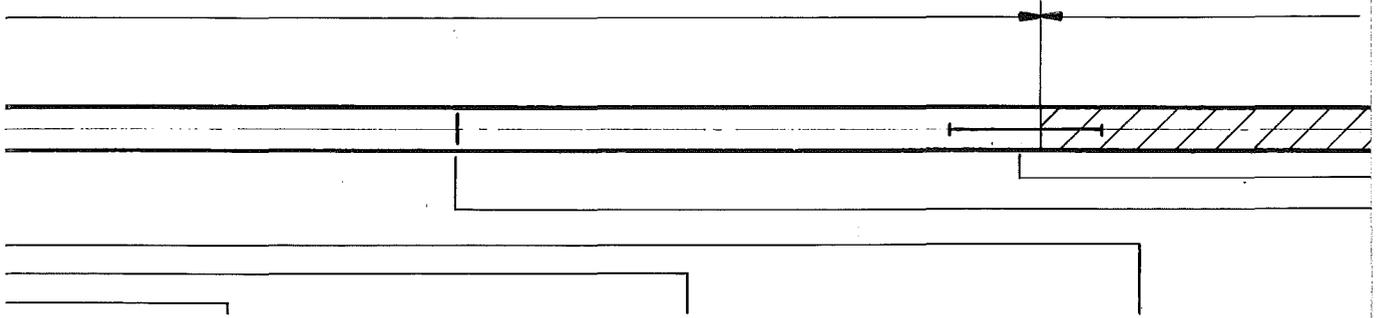
20

25

30

35

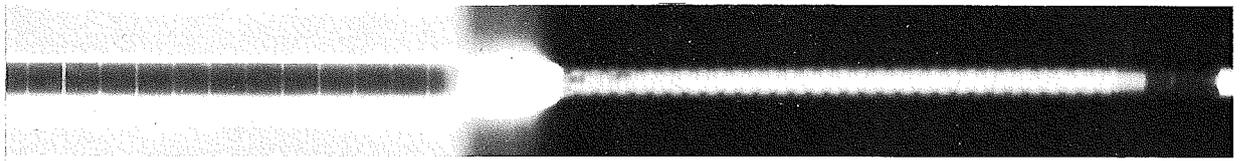
509



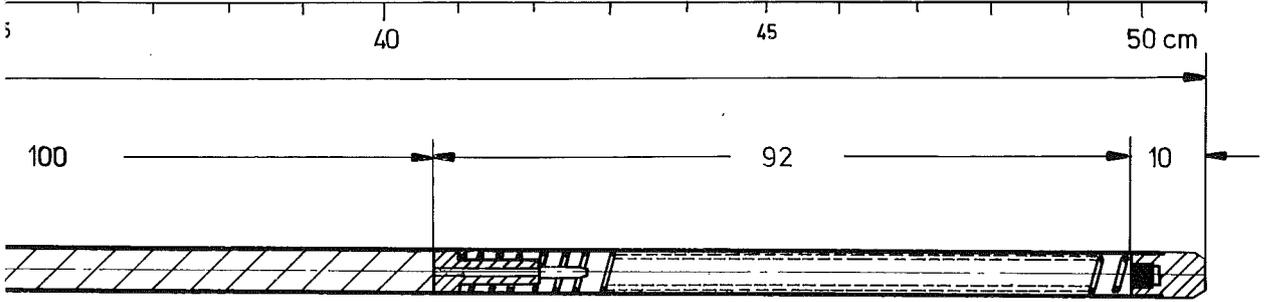
1

2

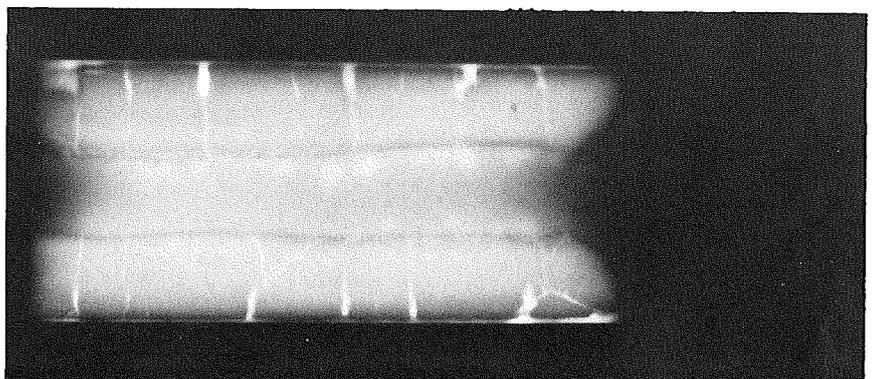
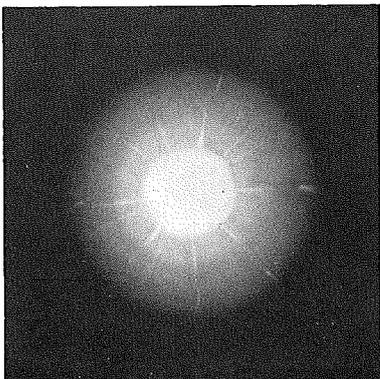
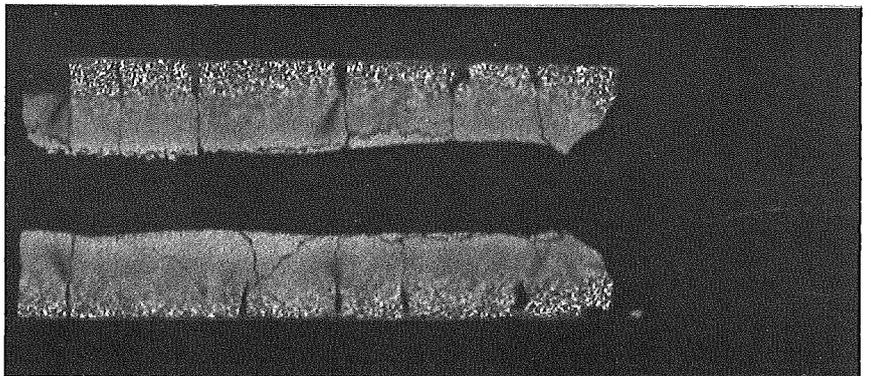
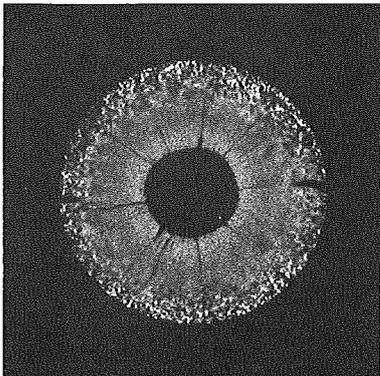
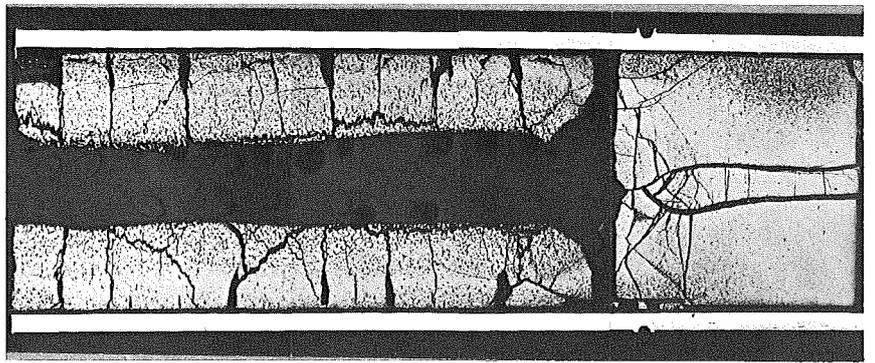
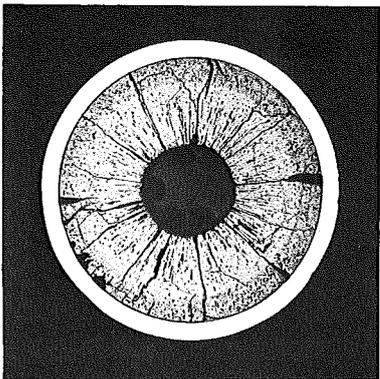
3



G 39



M 1:1



4

5

1mm

Brennstab G-40

Brennstoff

Form	: Tabletten
Zusammensetzung	: UO_2/PuO_2 (80/20)
Tablettendichte	: 89,5 % th.D.

Hülle

Material	: 1.4961
Außendurchmesser	: 6,00 mm
Wandstärke	: 0,38 mm

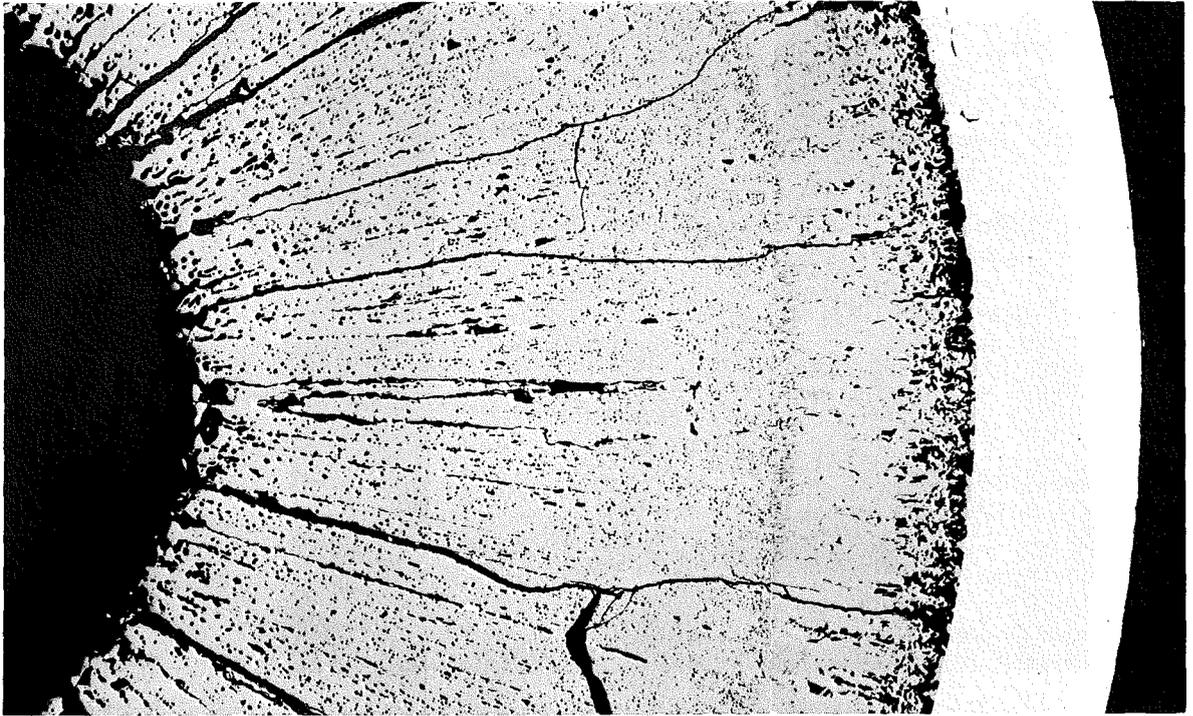
Geometrie

Länge des Brennstabes	: 508,90 mm
Länge der Brennstoffsäule	: 289,20 mm
Radiale Spaltweite	: 100 μ m

Bestrahlung

Dauer	: 202,7 Volllasttage
Ende	: 20.4.1970
Rechn. Abbrand (max.)	: 5,65 %
Stableistung (max.)	: 450 W/cm
Kühlmitteleintrittstemp.	: 230 °C
„ -austrittstemp. (max.)	: 585 °C

zu Stab G 40 A/7

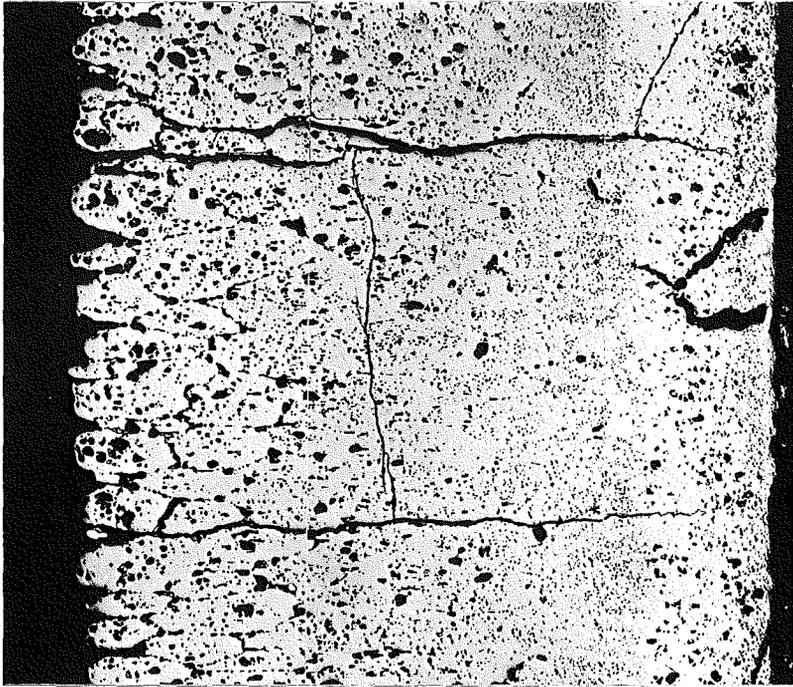


0.2 mm



200 μ m

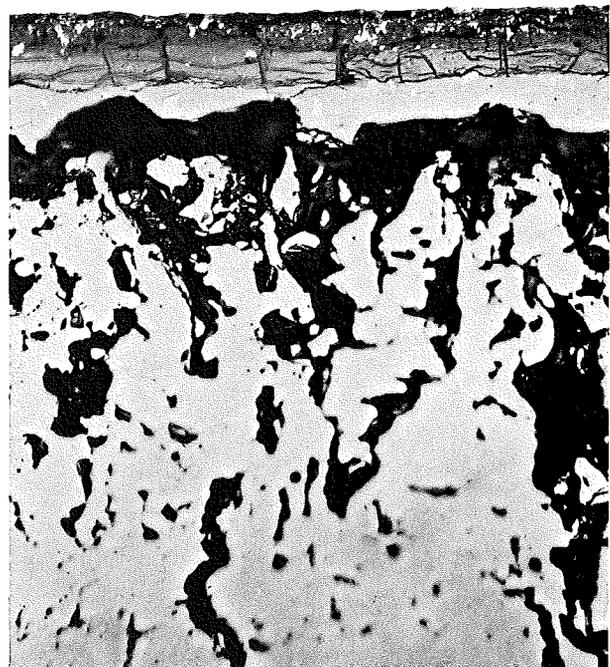
zu Stab G 40 A/5



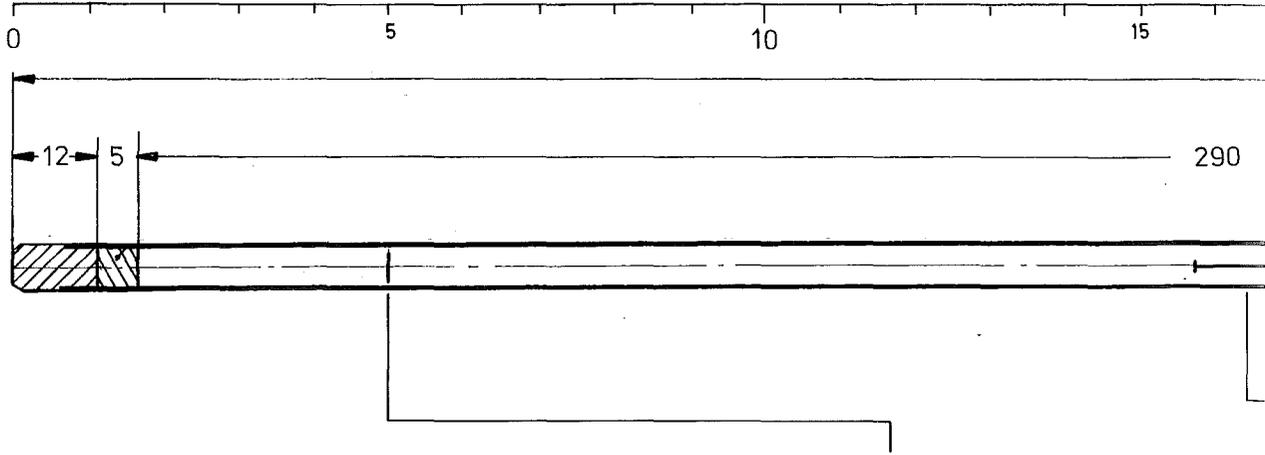
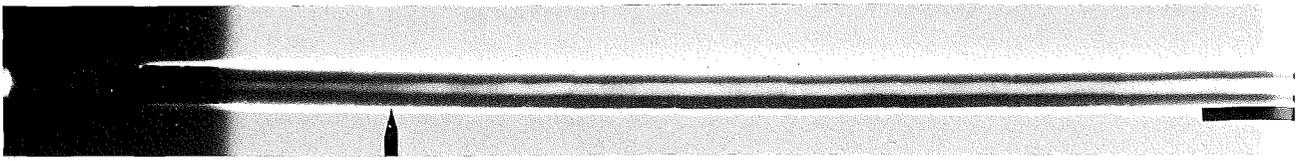
0.2 mm



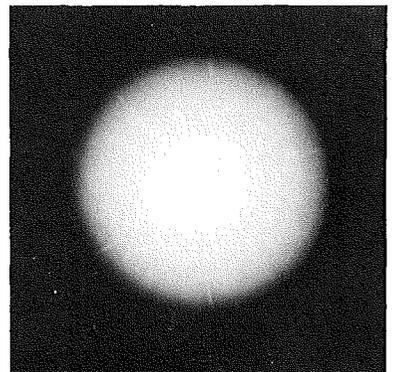
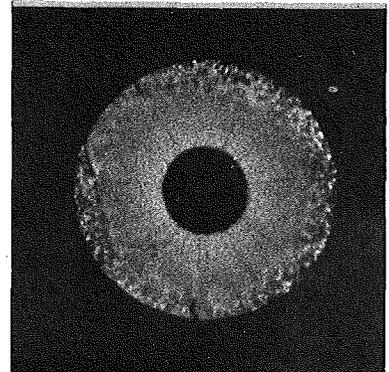
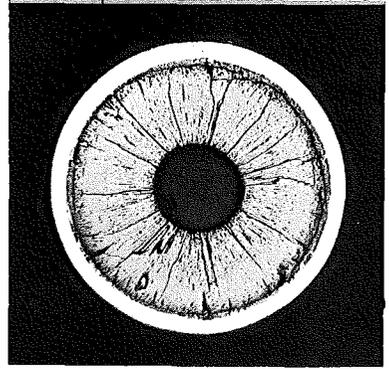
100 μm

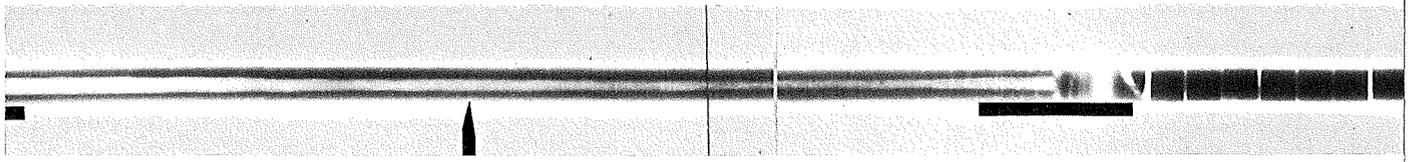


40 μm



A





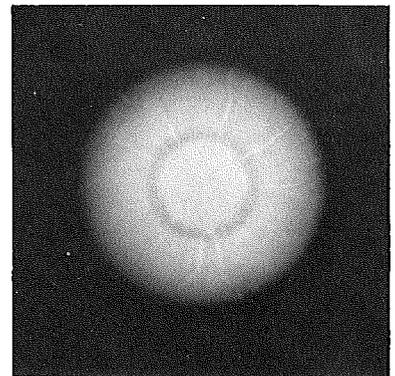
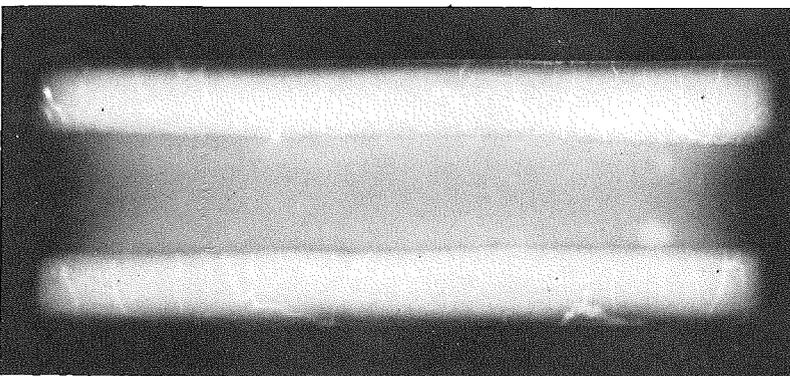
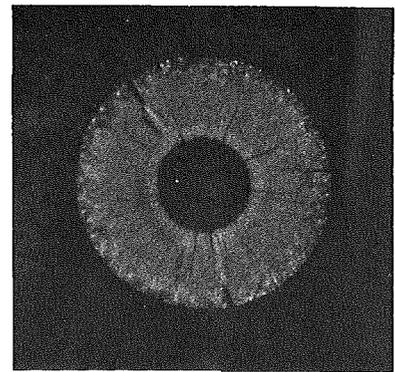
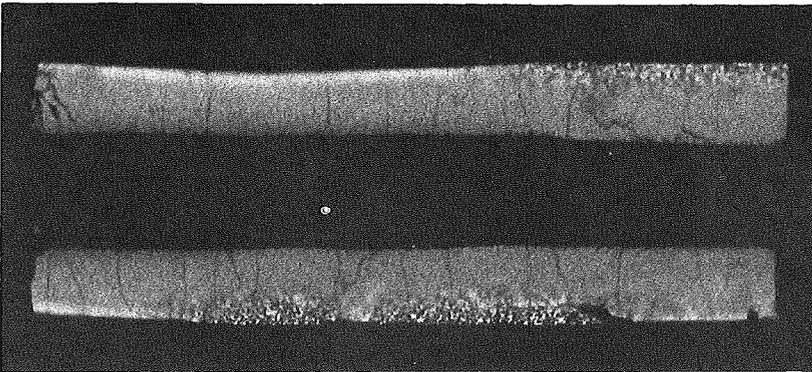
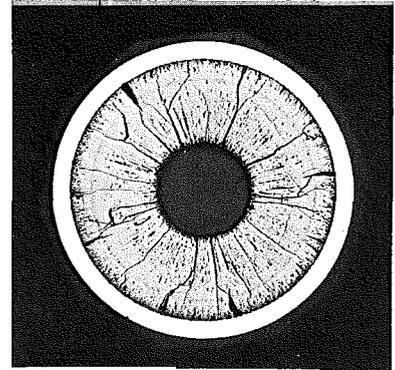
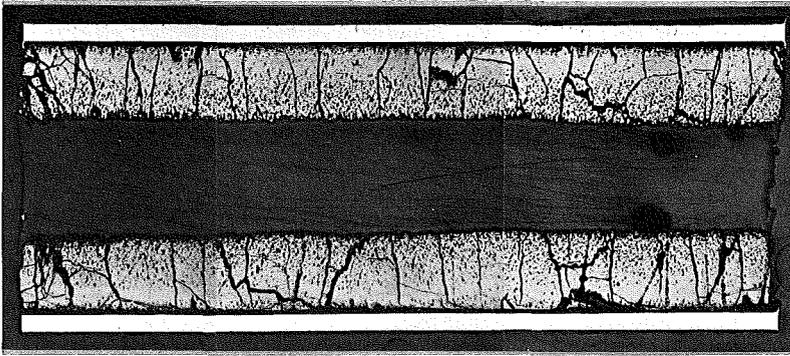
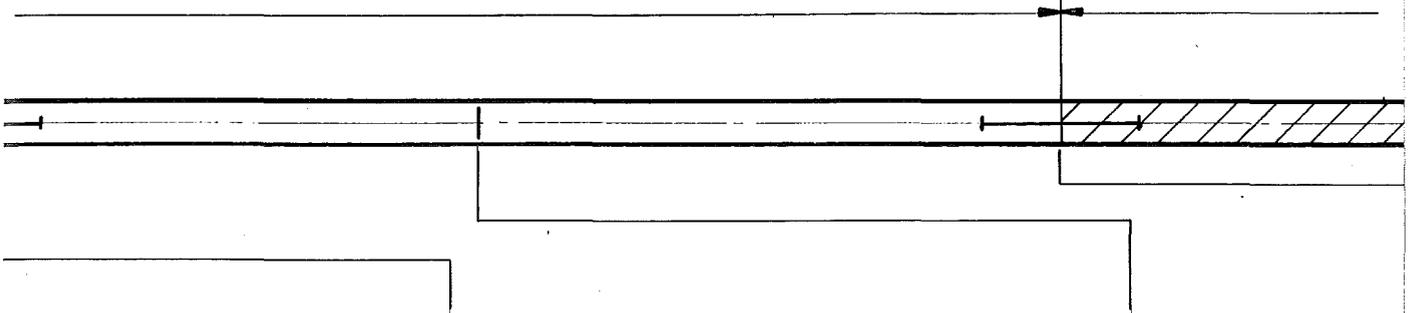
20

25

30

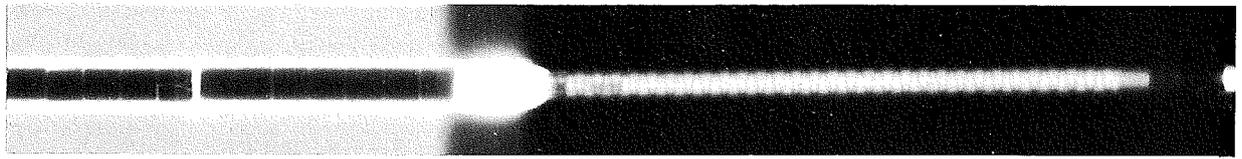
35

509

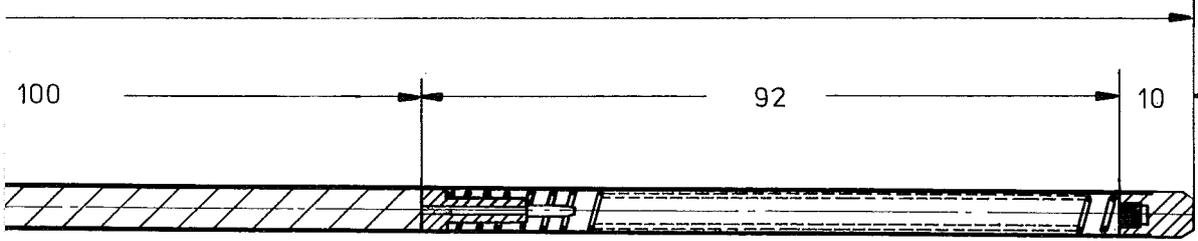


5

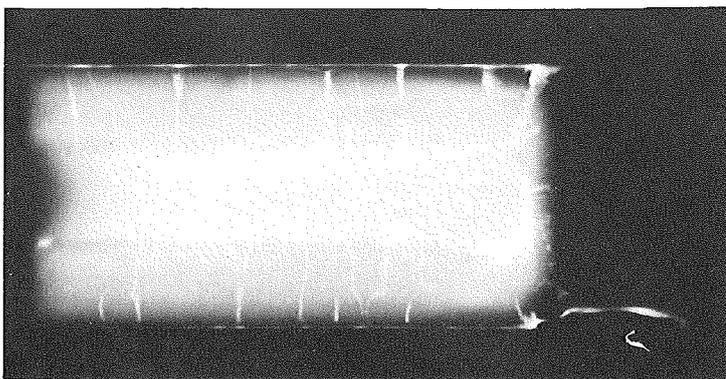
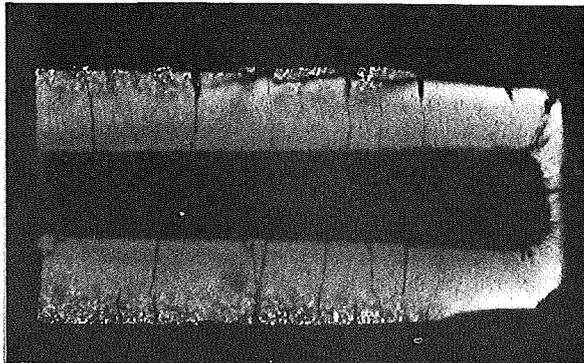
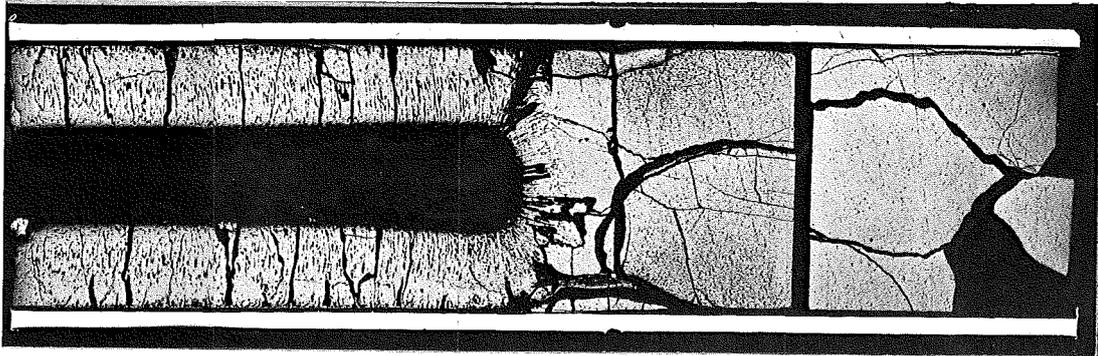
7



G 40



M 1:1



Brennstab G-41

Brennstoff

Form	: Tabletten
Zusammensetzung	: UO_2/PuO_2 (80/20)
Tablettendichte	: 89,5 % th.D.

Hülle

Material	: 1.4961
Außendurchmesser	: 6,00 mm
Wandstärke	: 0,38 mm

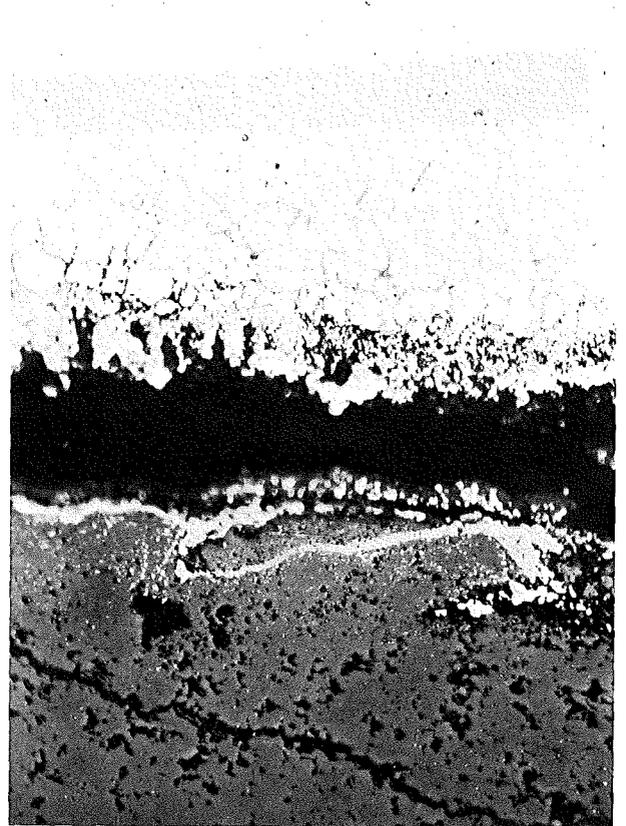
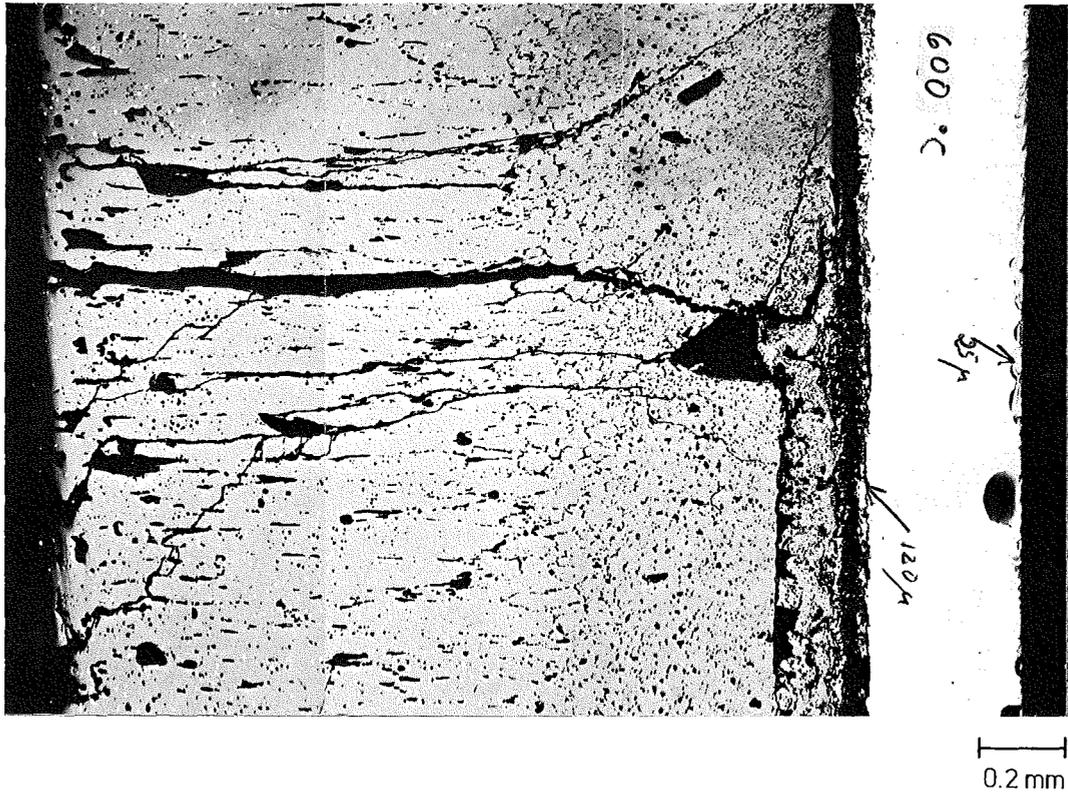
Geometrie

Länge des Brennstabes	: 508,80 mm
Länge der Brennstoffsäule	: 290,74 mm
Radiale Spaltweite	: 100 μm

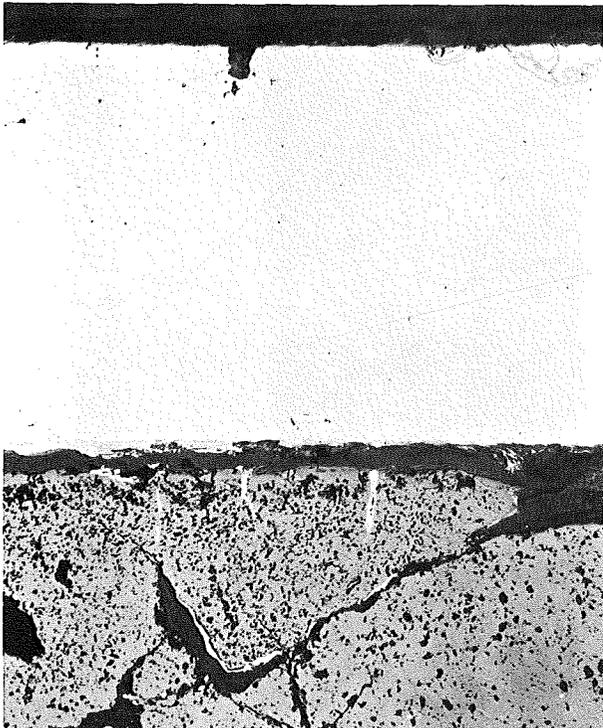
Bestrahlung

Dauer	: 202,7 Volllasttage
Ende	: 20.4.1970
Rechn. Abbrand (max.)	: 5,65 %
Stableistung (max.)	: 450 W/cm
Kühlmitteleintrittstemp.	: 230 °C
„ -austrittstemp. (max.)	: 588 °C

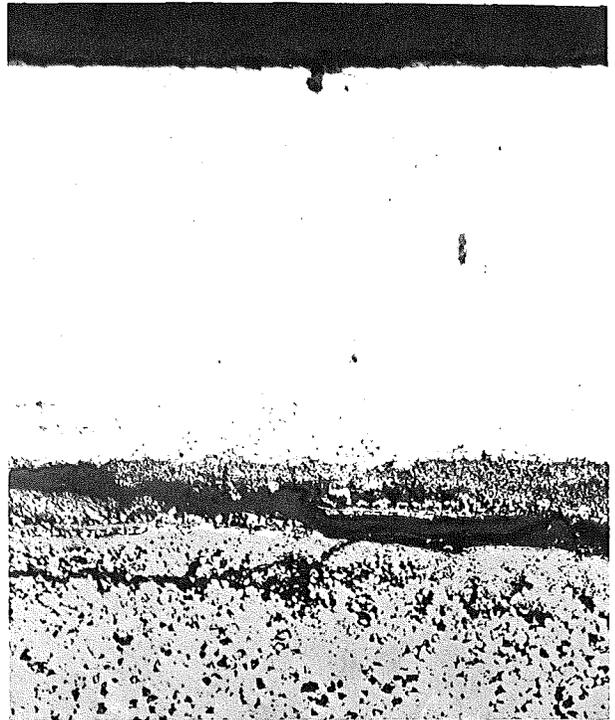
zu Stab G 41 A / 5



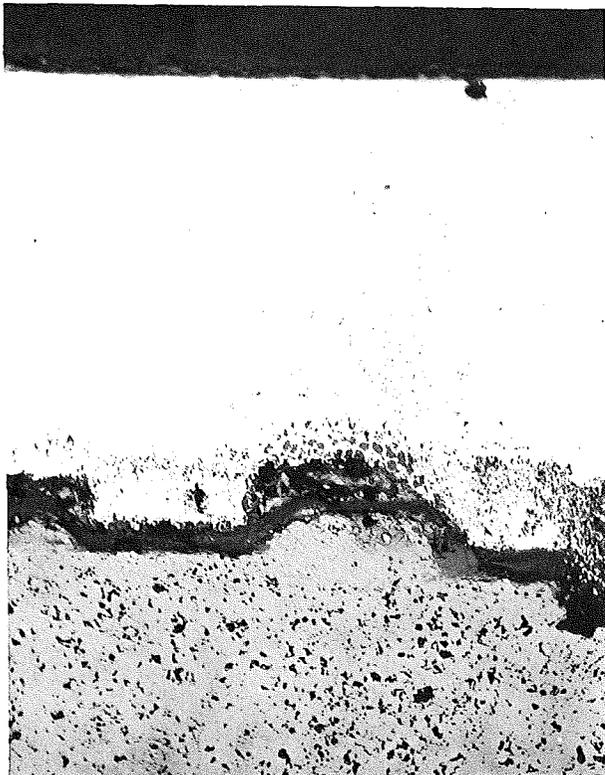
zu Stab G 41 A/5



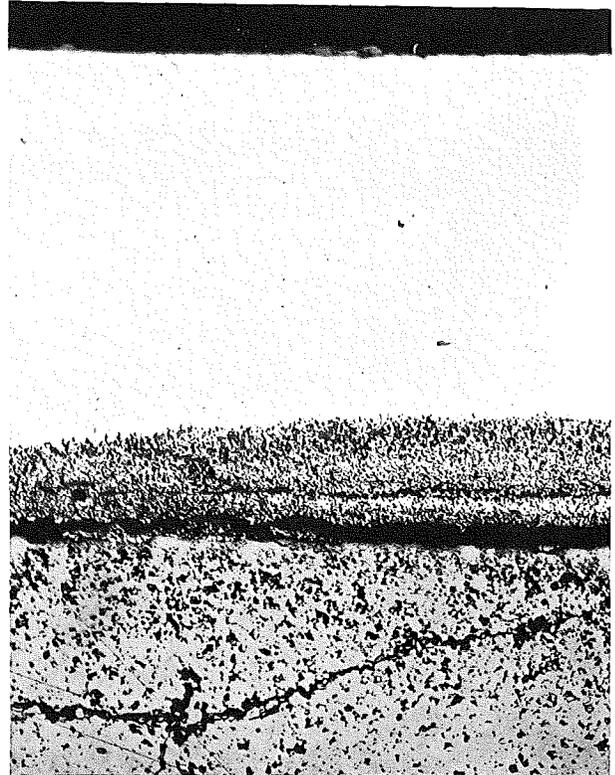
100 μm



100 μm

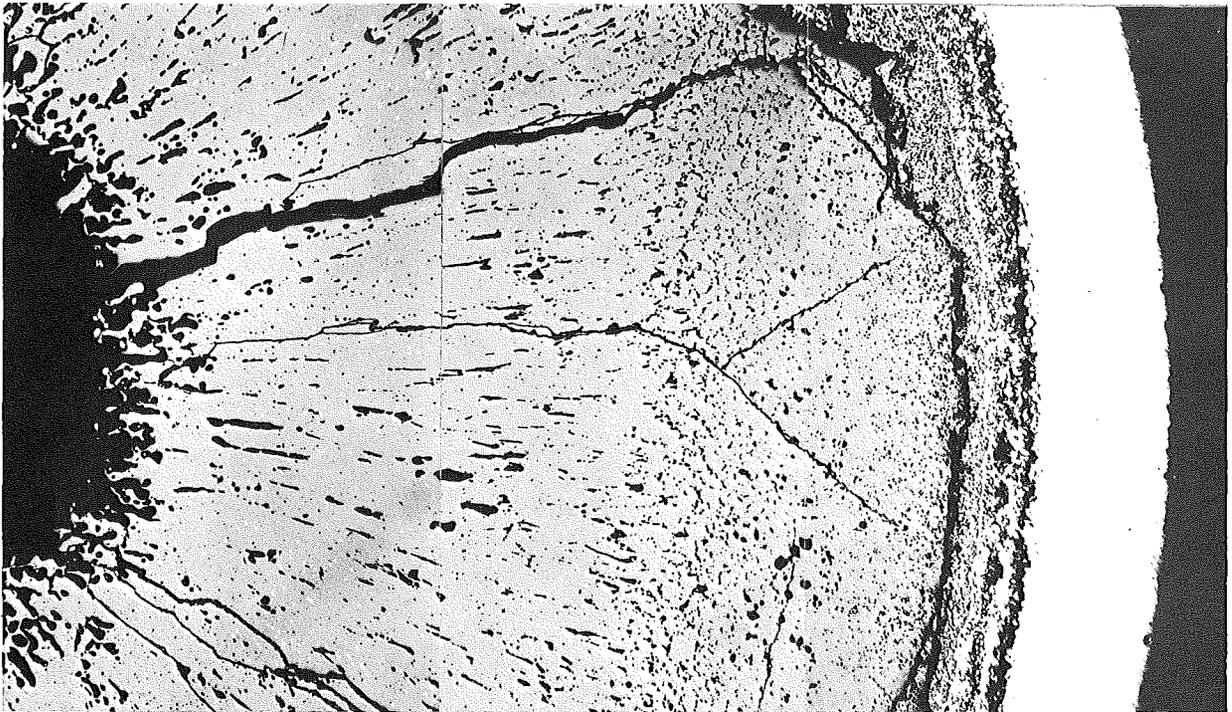


100 μm

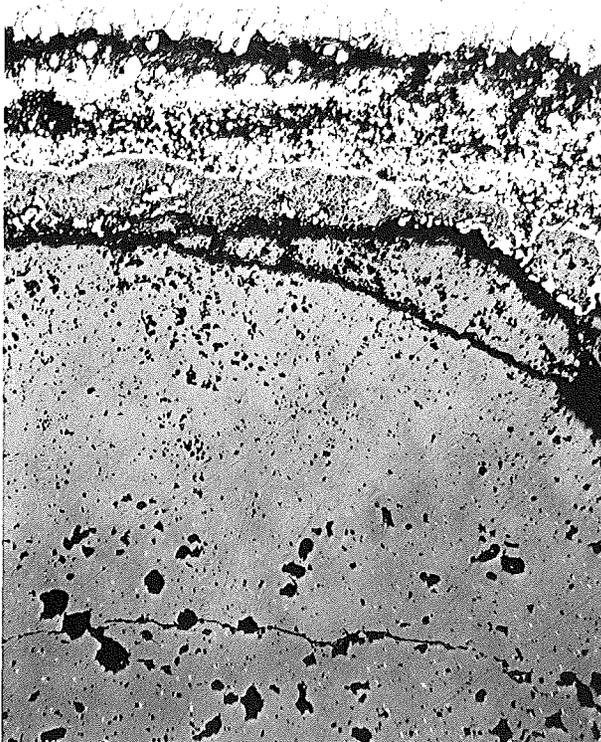


100 μm

zu Stab G 41 A/3



0.2 mm

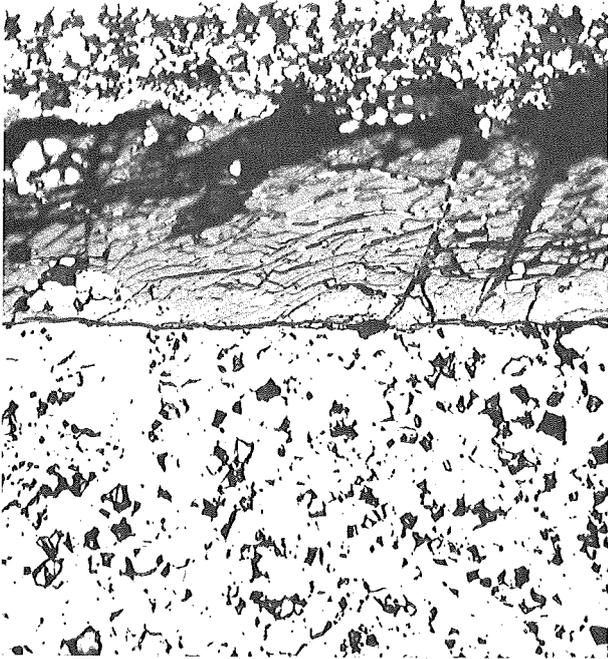


100 μm

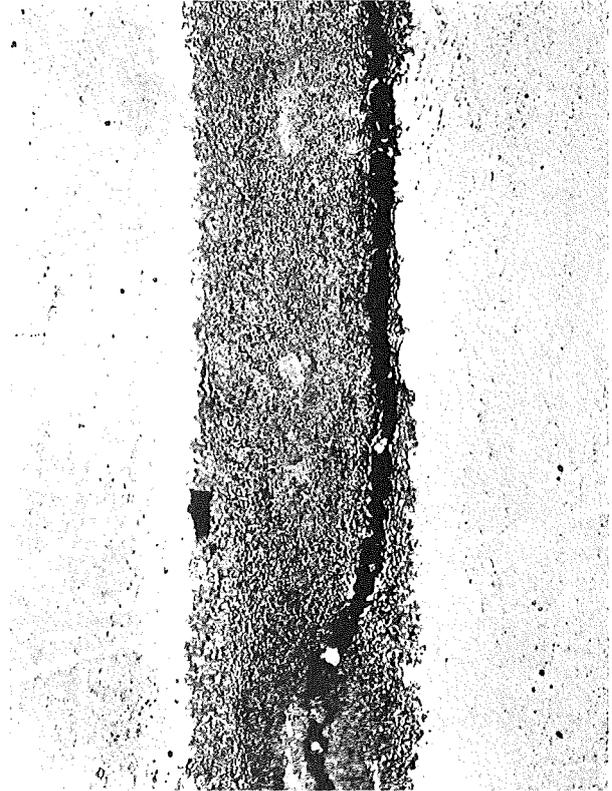


100 μm

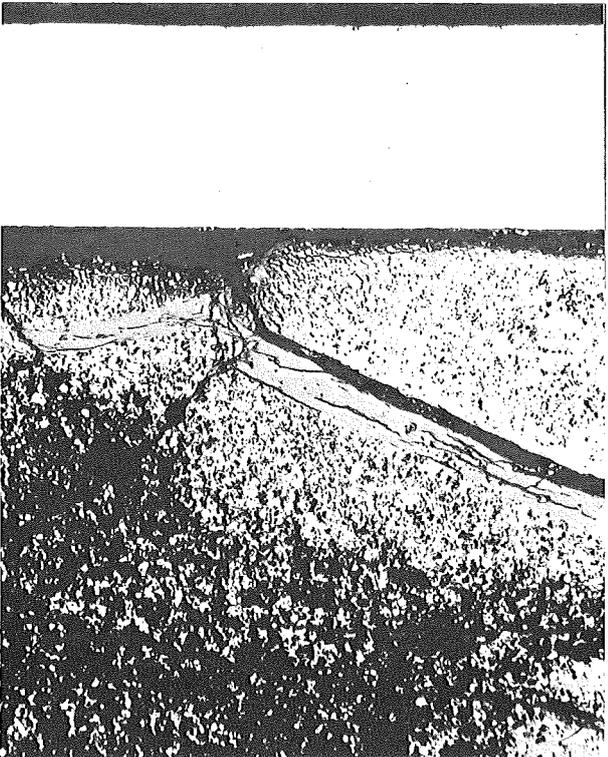
zu Stab G 41 A/1



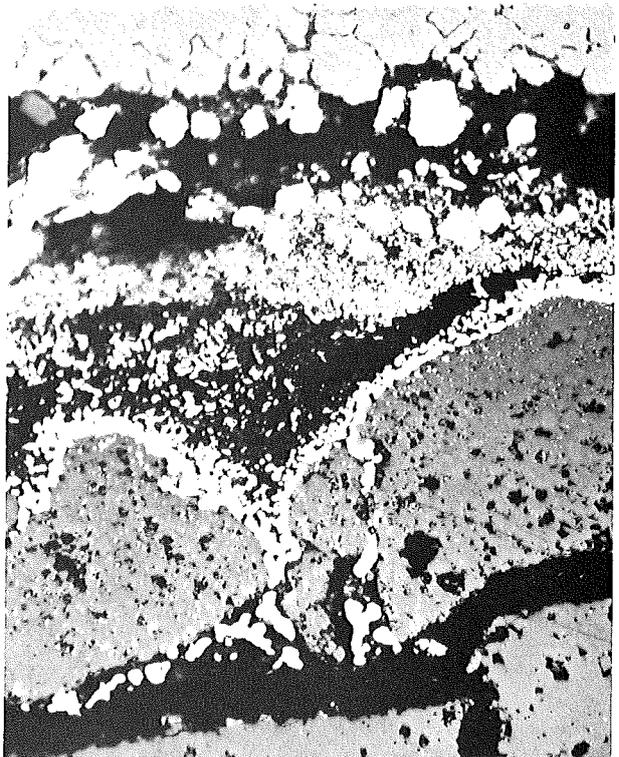
40 μm



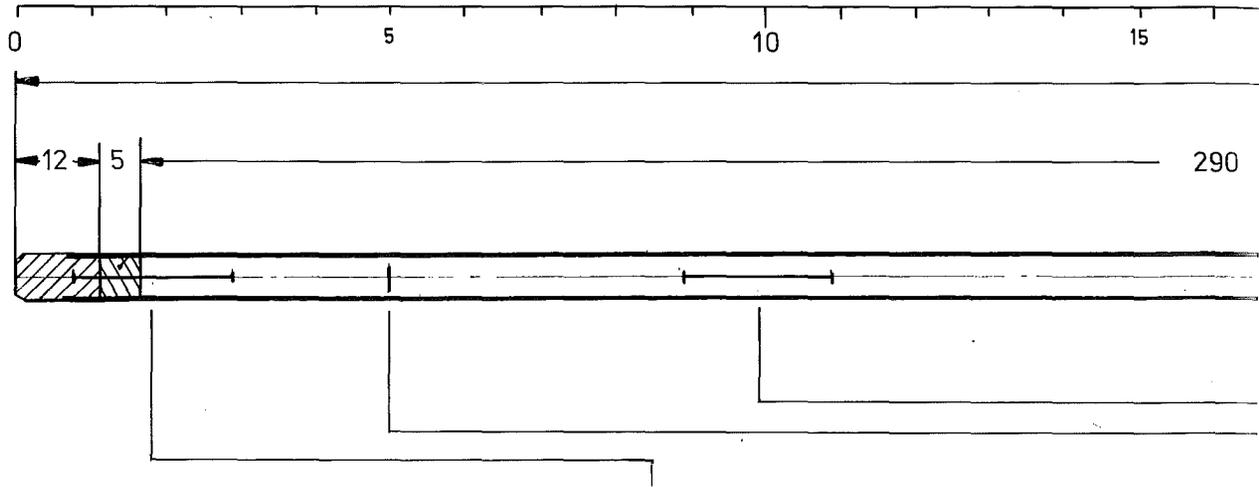
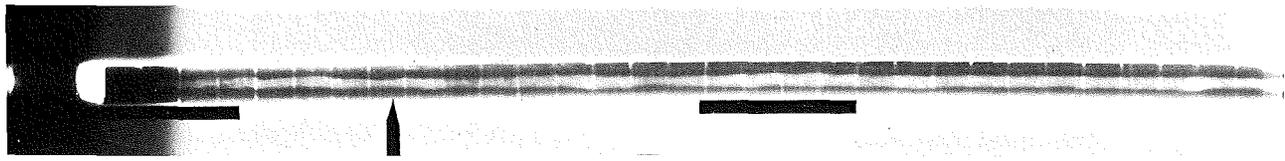
40 μm



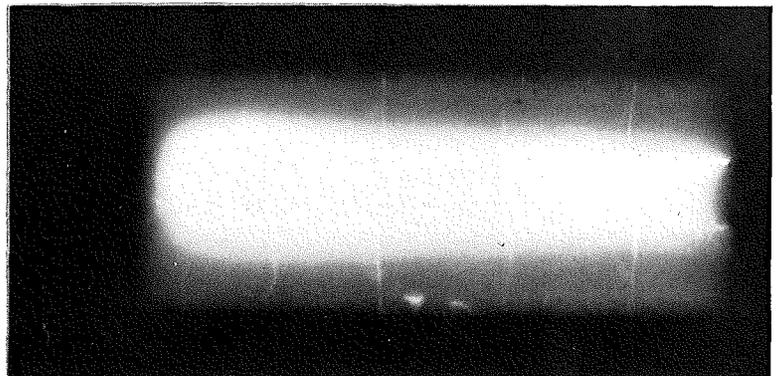
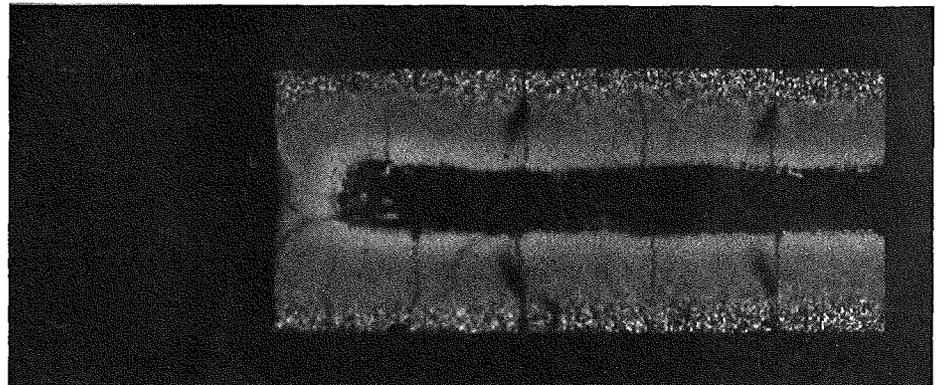
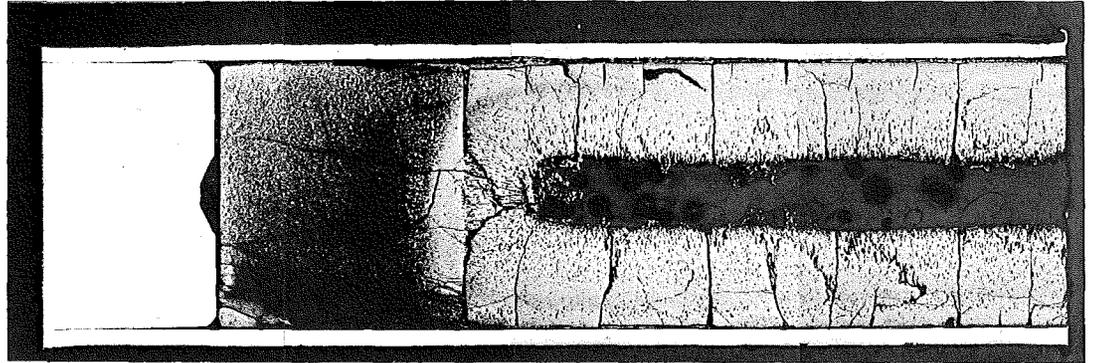
200 μm

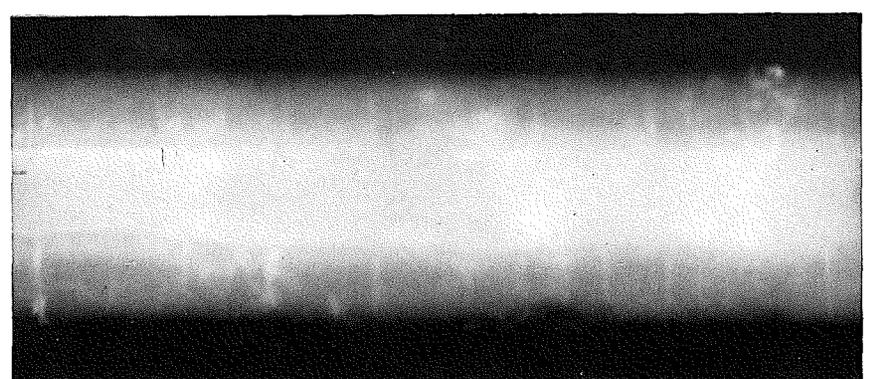
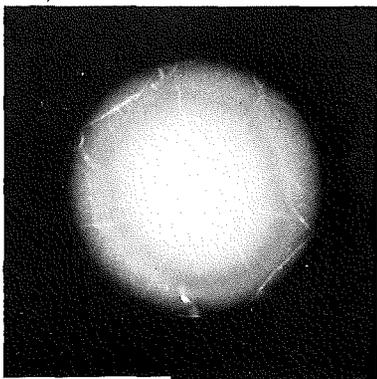
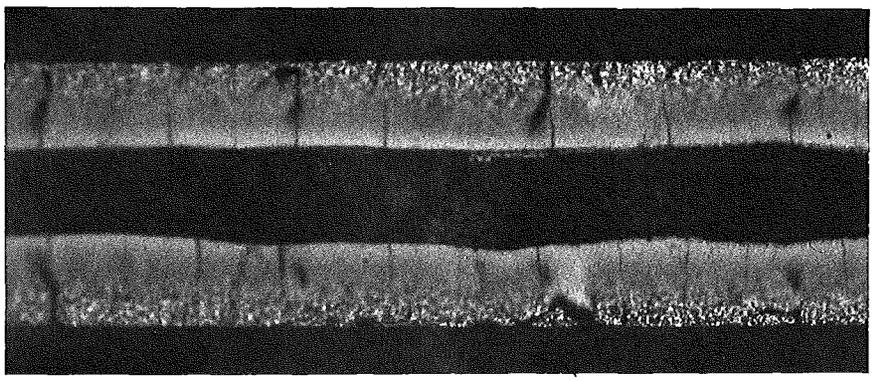
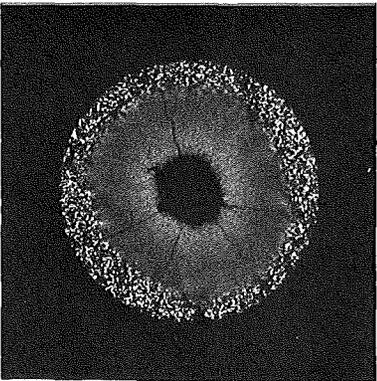
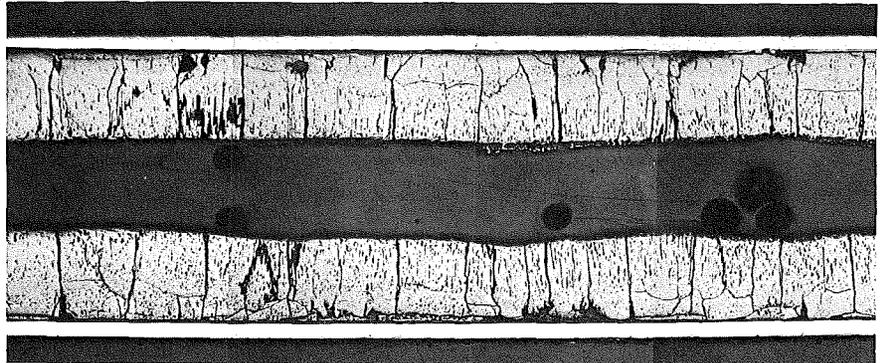
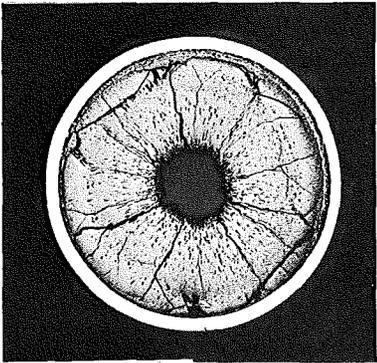
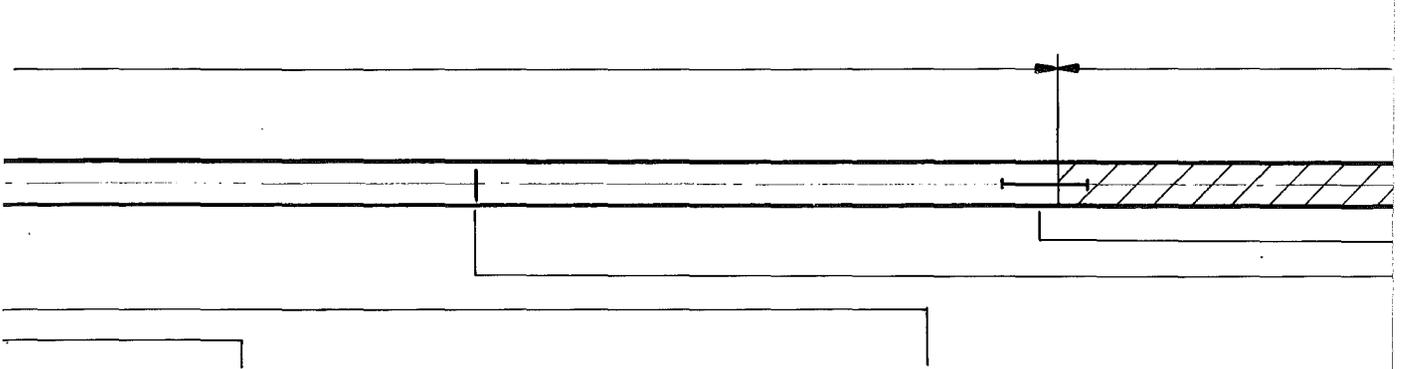
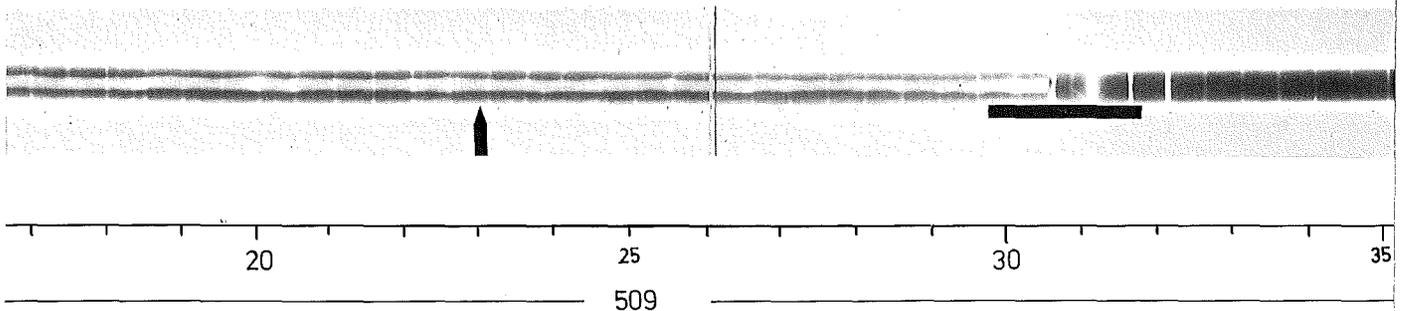


40 μm



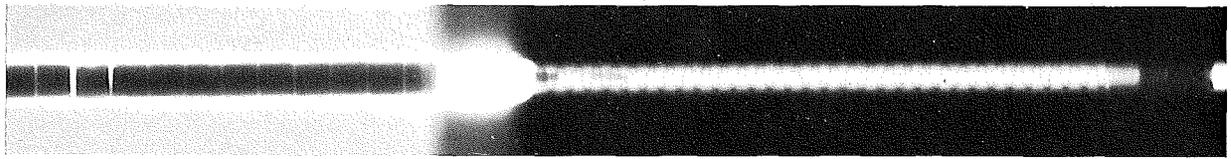
A



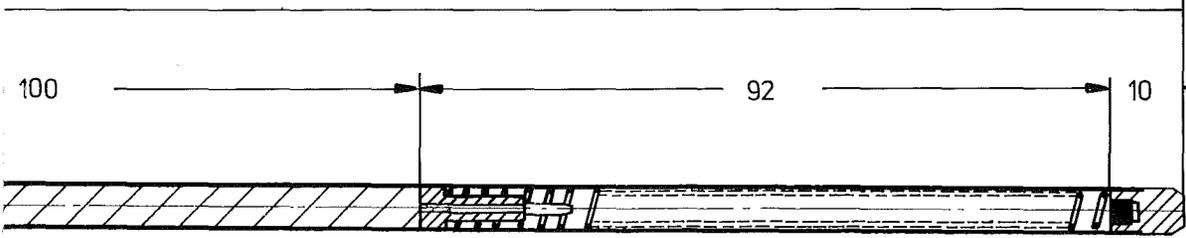


3

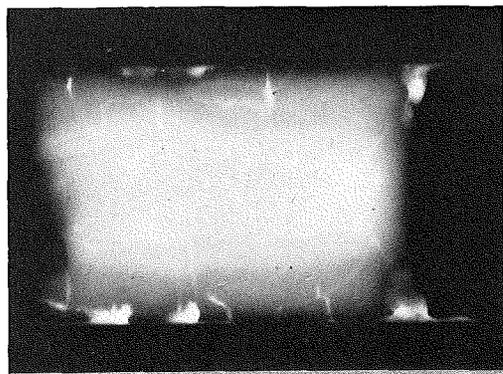
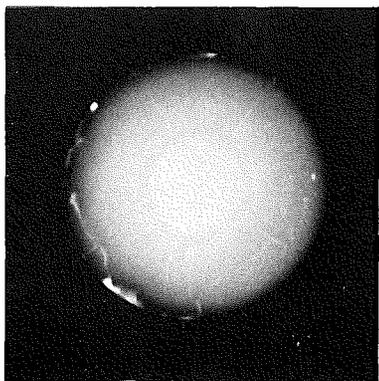
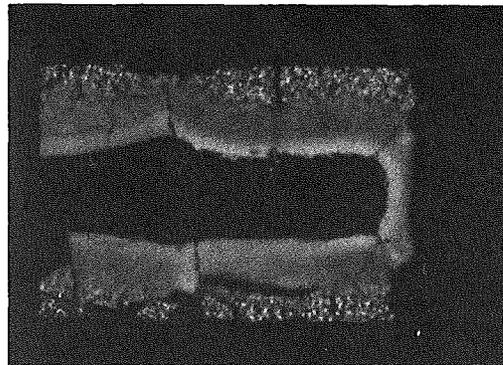
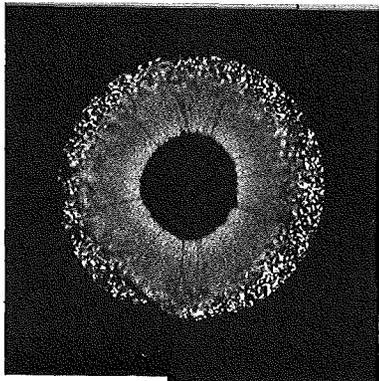
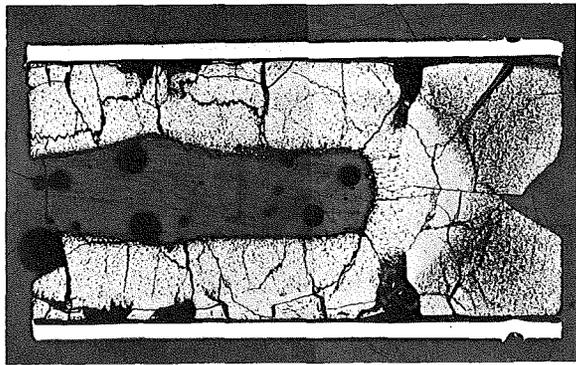
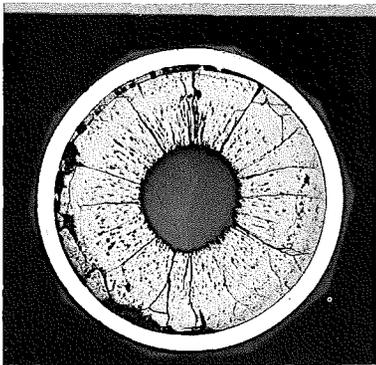
5



G 41



M 1:1



9

12

1mm

Brennstab G-43

Brennstoff

Form	: Tabletten
Zusammensetzung	: UO_2/PuO_2 (80/20)
Tablettendichte	: 89,5 % th.D.

Hülle

Material	: 1.4961
Außendurchmesser	: 6,00 mm
Wandstärke	: 0,38 mm

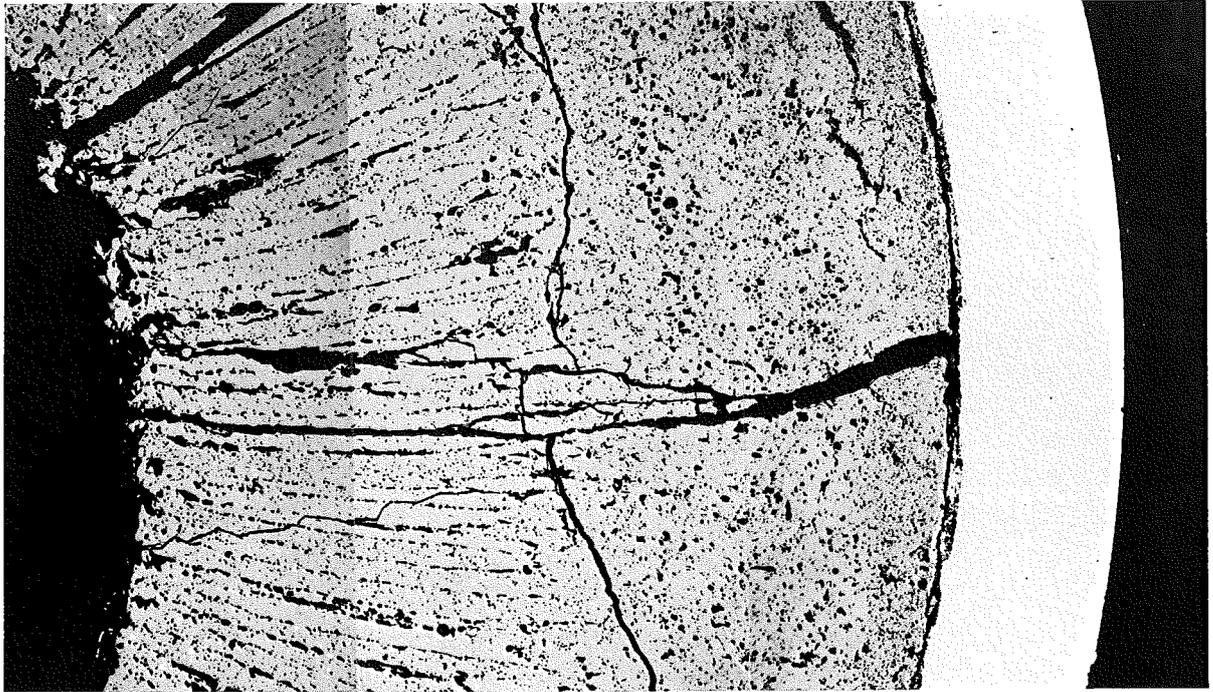
Geometrie

Länge des Brennstabes	: 508,90 mm
Länge der Brennstoffsäule	: 289,31 mm
Radiale Spaltweite	: 100 μ m

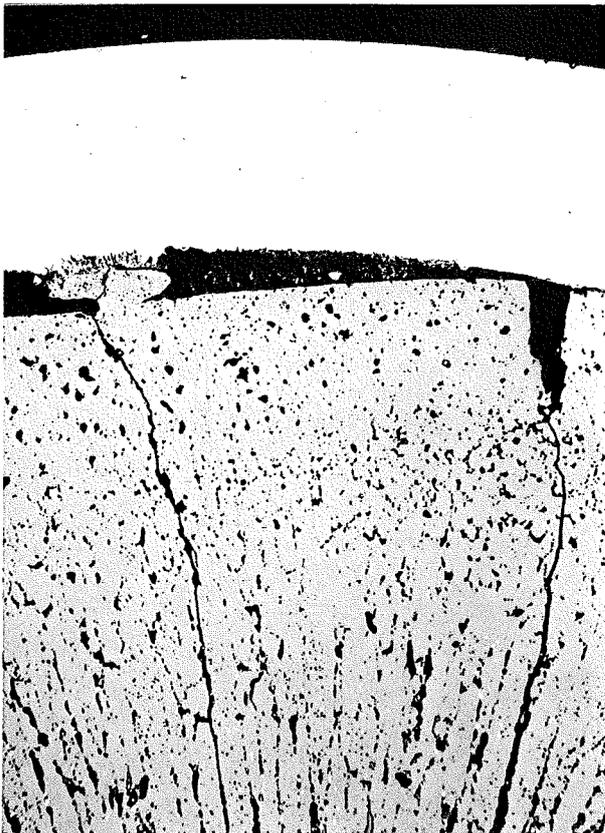
Bestrahlung

Dauer	: 202,7 Vollasttage
Ende	: 20.4.1970
Rechn. Abbrand (max.)	: 5,65 %
Stableistung (max.)	: 450 W/cm
Kühlmitteleintrittstemp.	: 230 °C
„ -austrittstemp. (max.)	: 589 °C

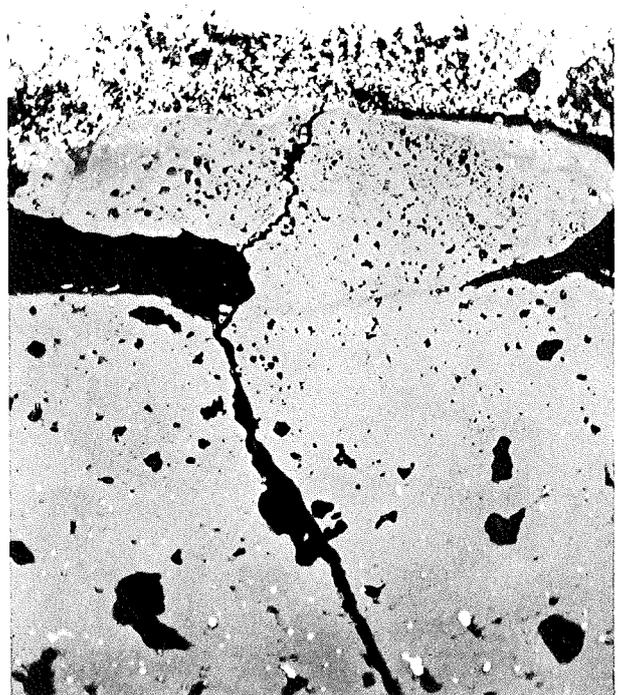
zu Stab G 43 A / 7a



0.2 mm

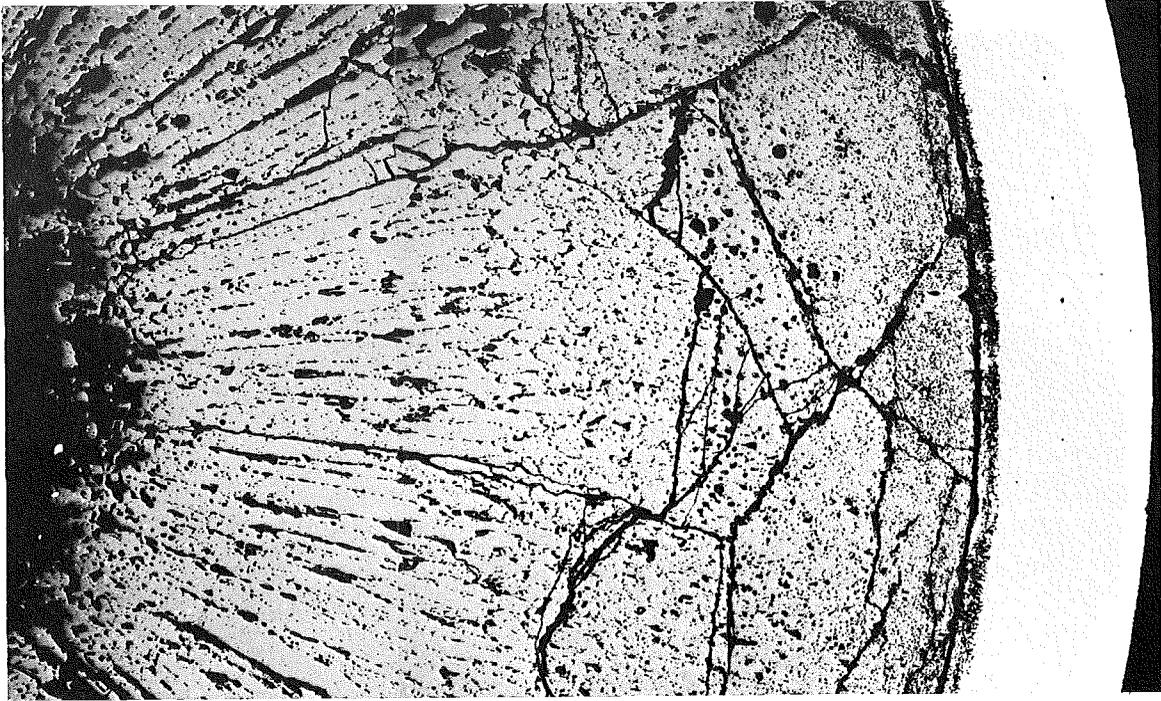


200 μm



40 μm

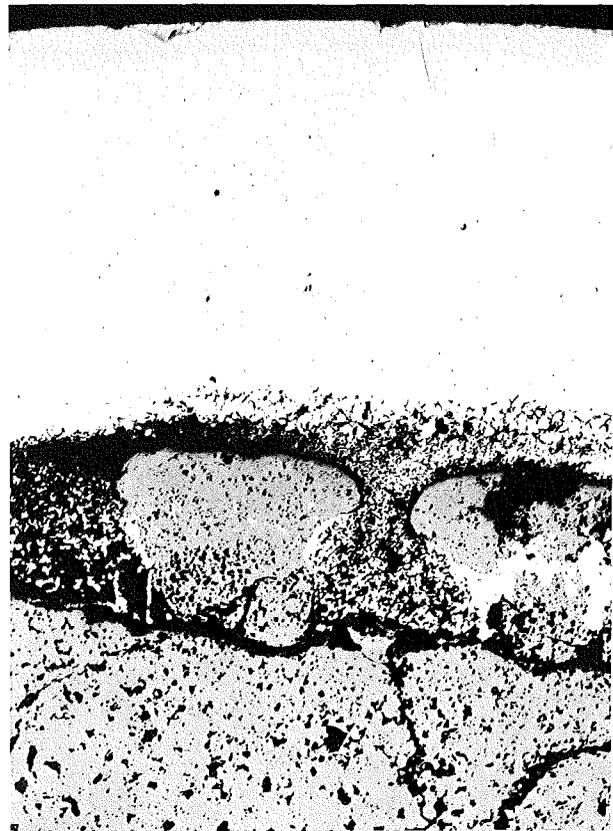
zu Stab G 43 A/5



0.2 mm

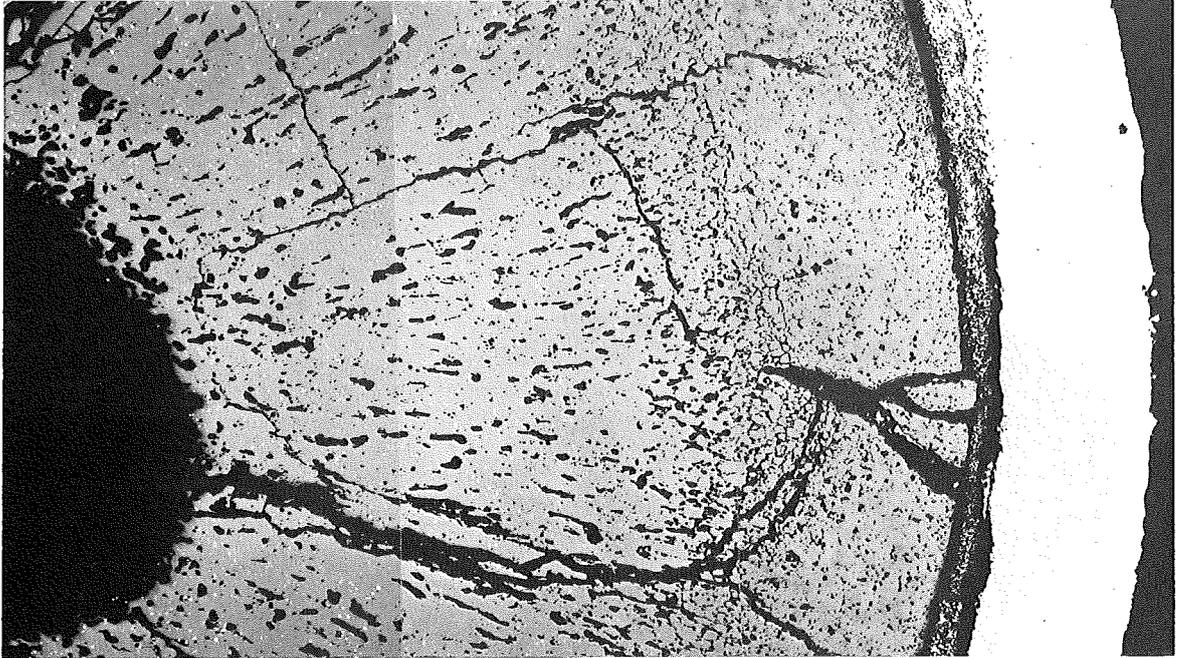


100 μm

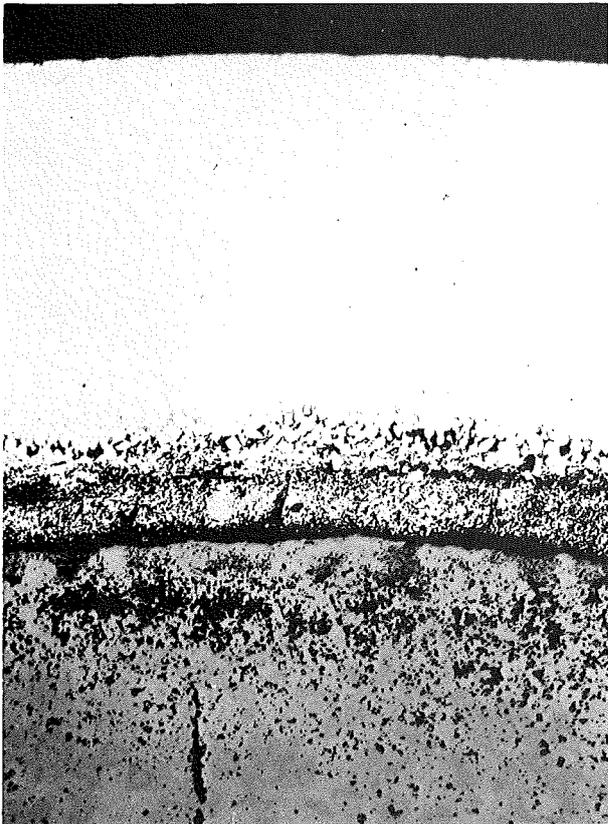


100 μm

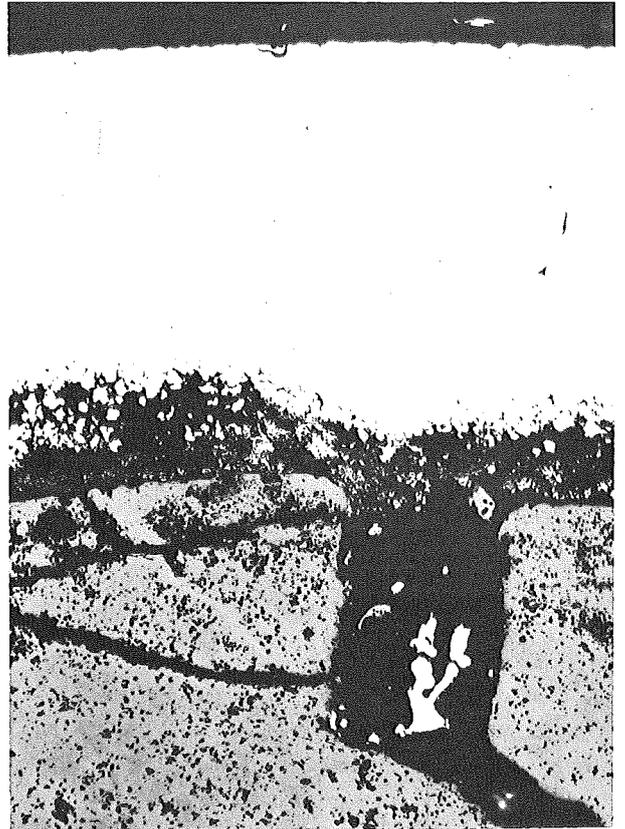
zu Stab G 43 A / 3



0.2 mm



100 μm

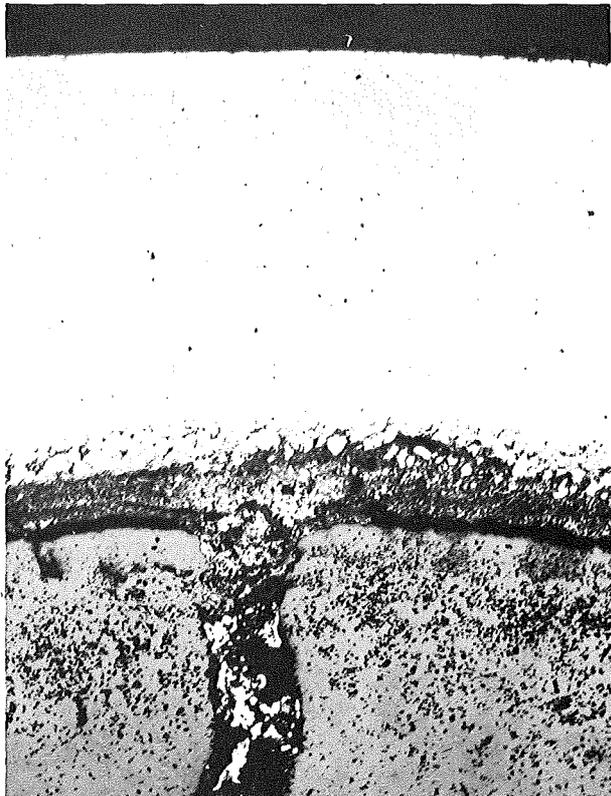


100 μm

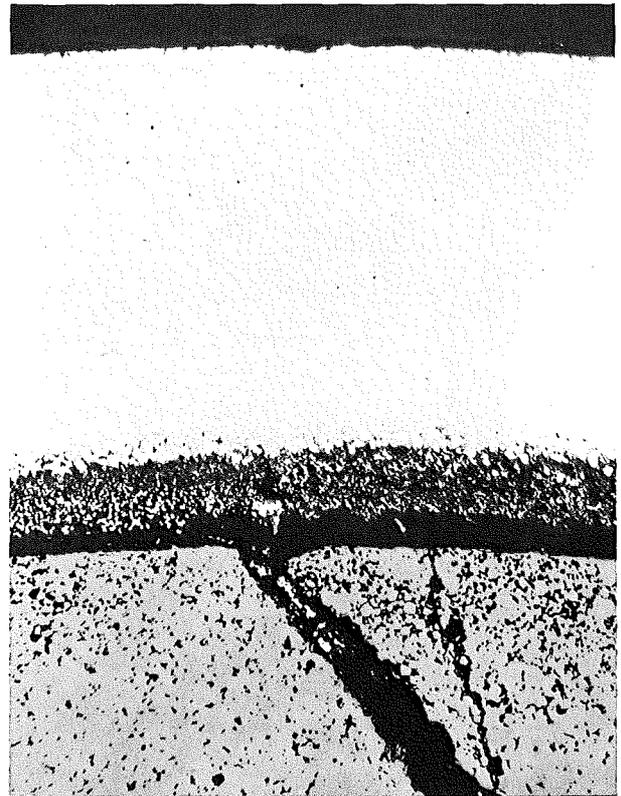
zu Stab G 43 A/2



0.2 mm

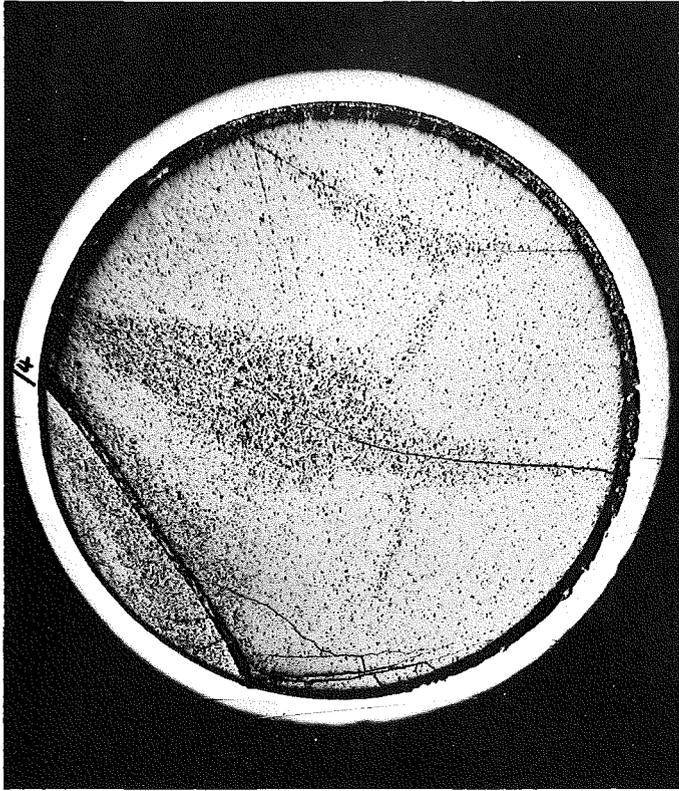


100 μ m

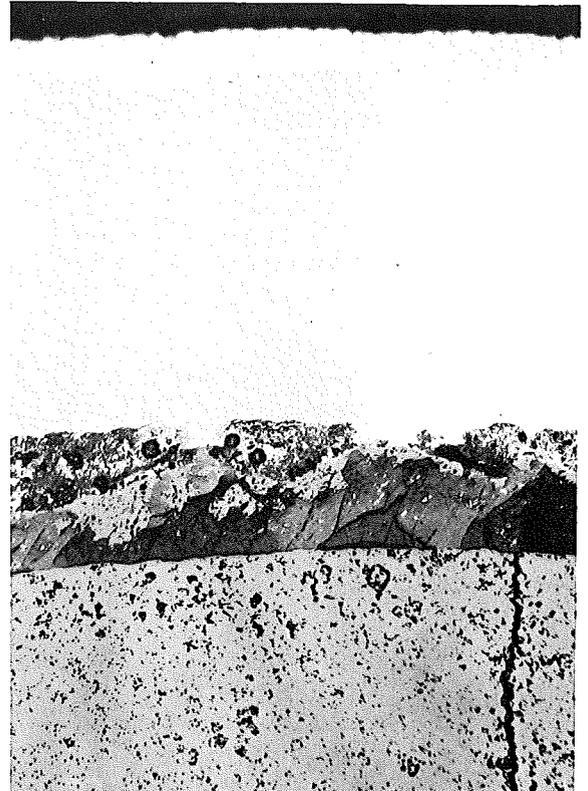


100 μ m

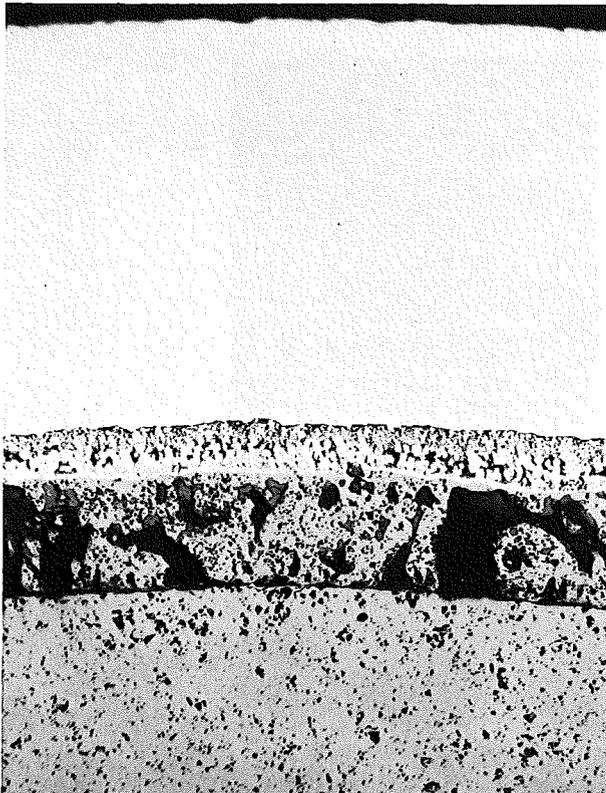
zu Stab G 43 A/1



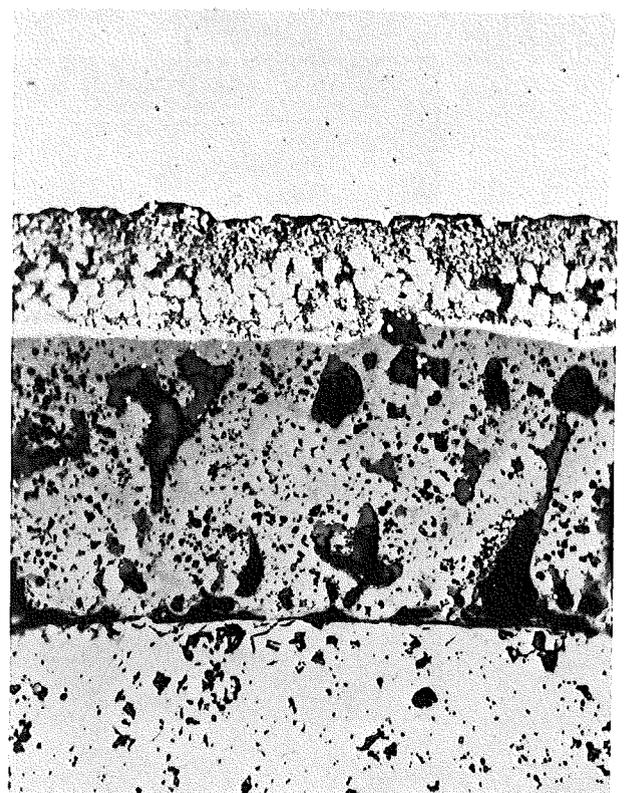
1 mm



100 μ m

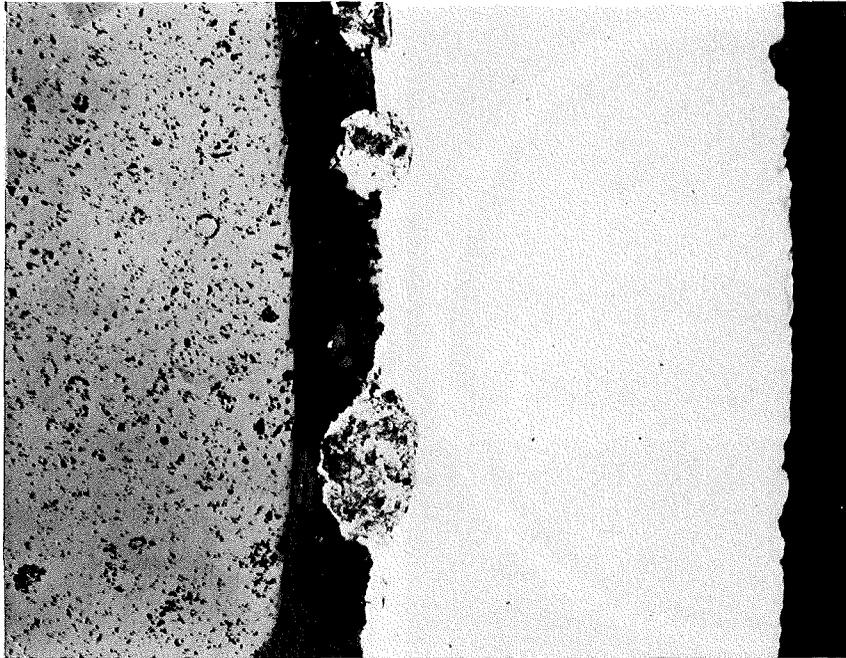


100 μ m

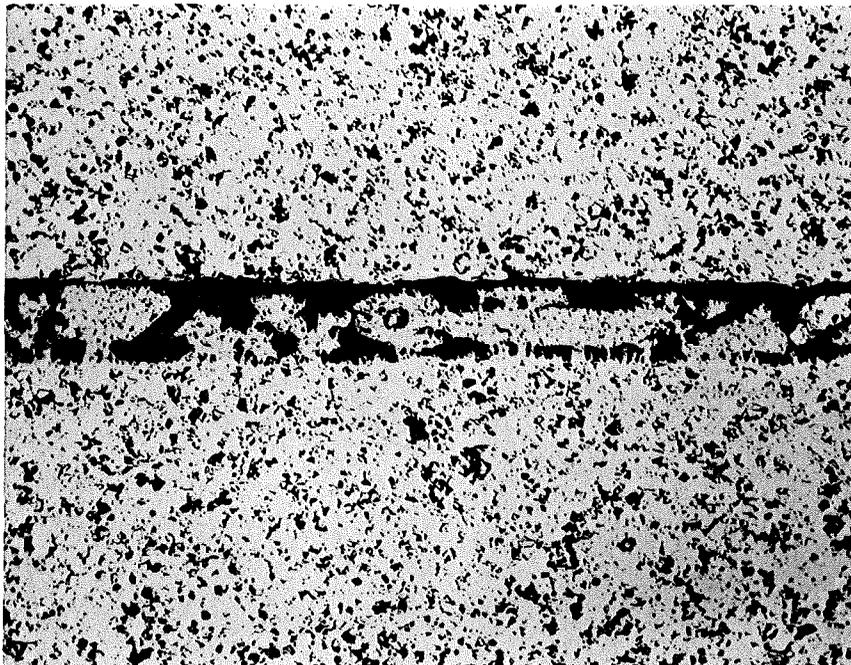


40 μ m

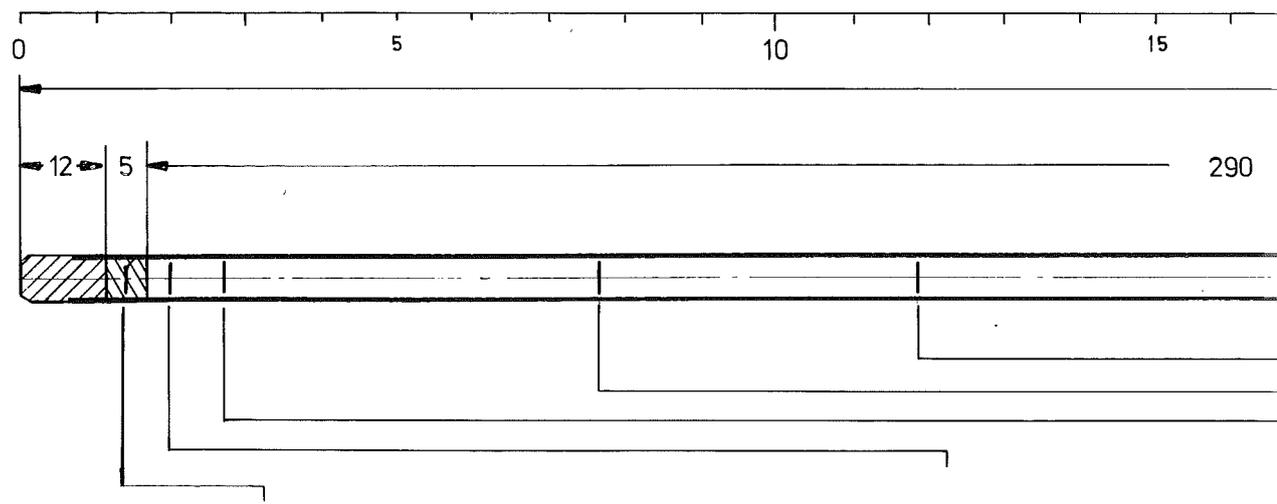
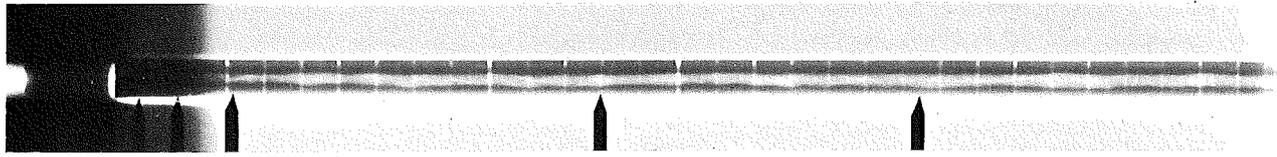
zu Stab G 43 A / 1



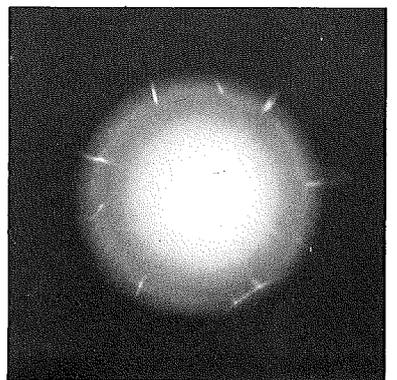
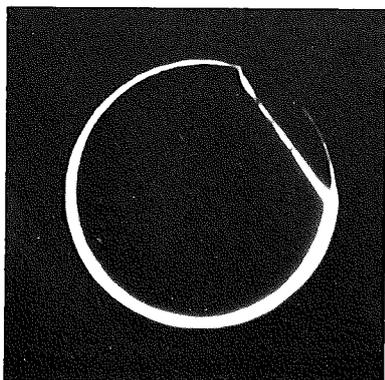
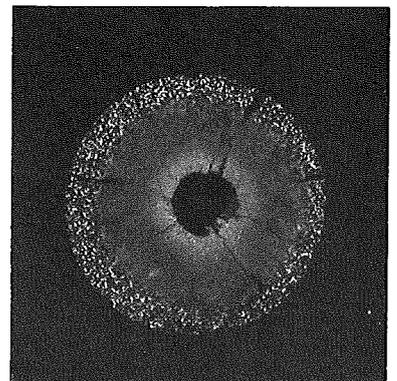
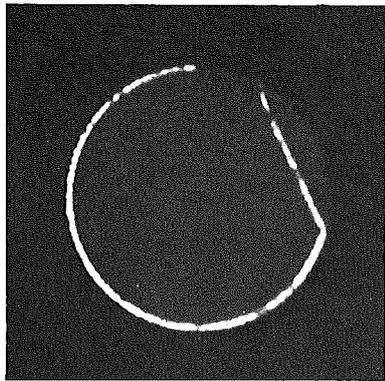
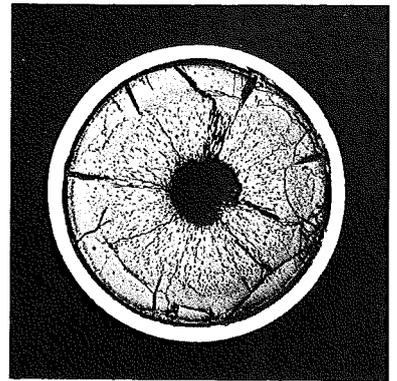
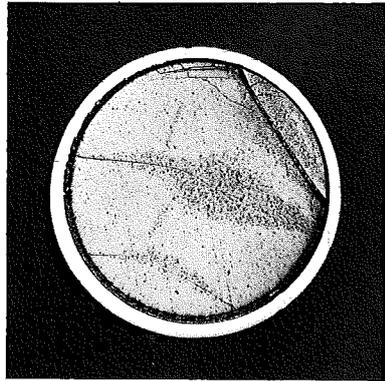
100 μm



100 μm

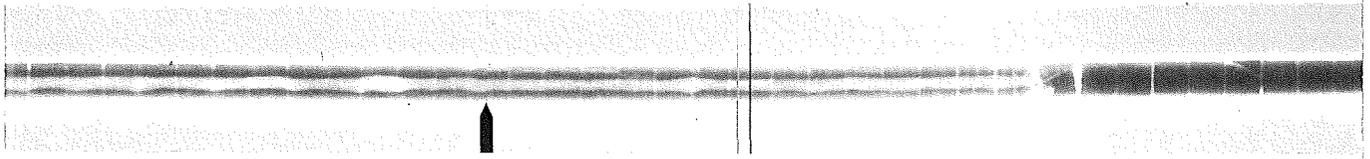


A



1

2

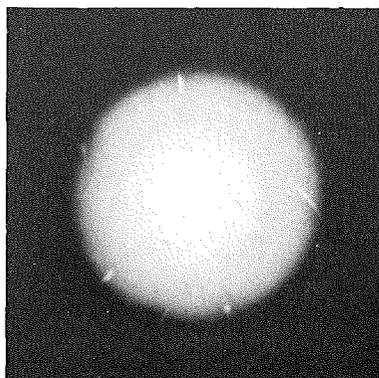
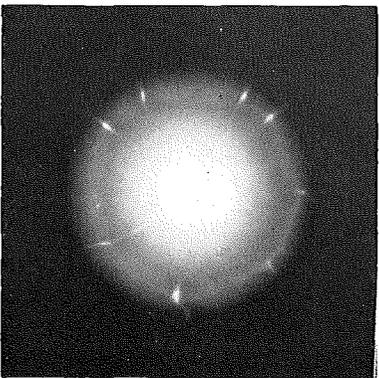
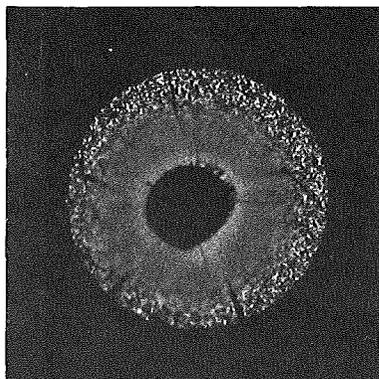
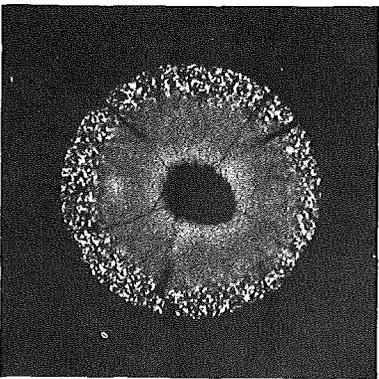
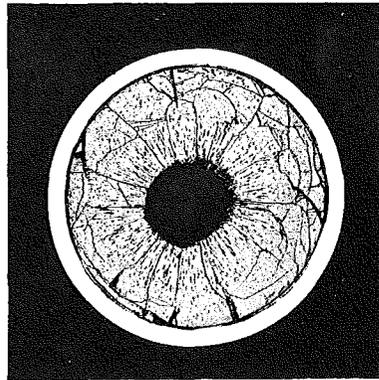
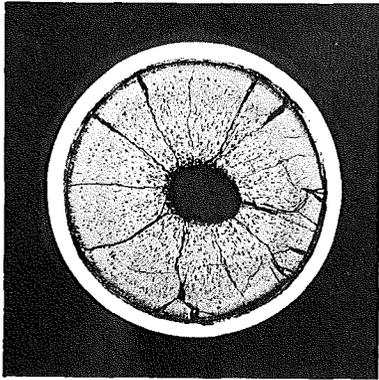
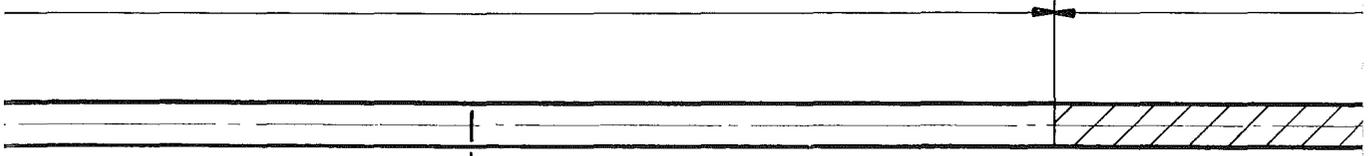


20

25

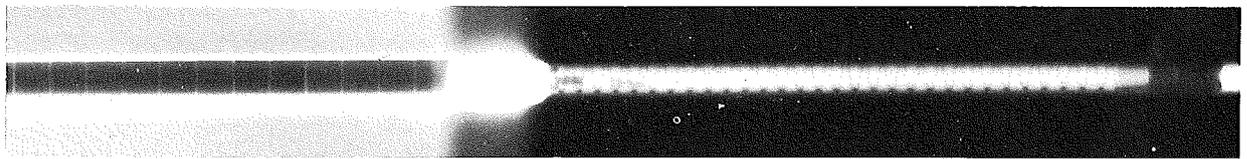
30

509

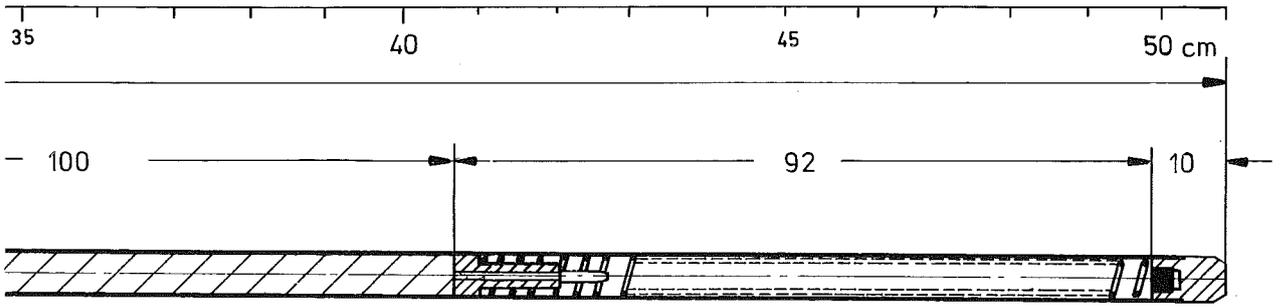


3

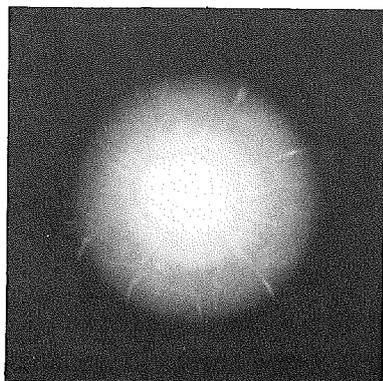
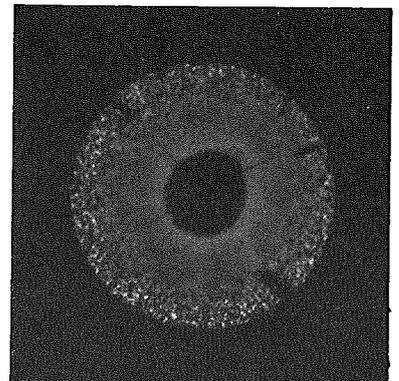
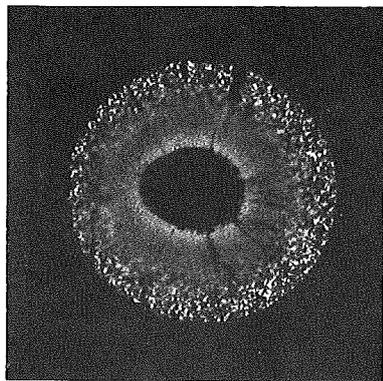
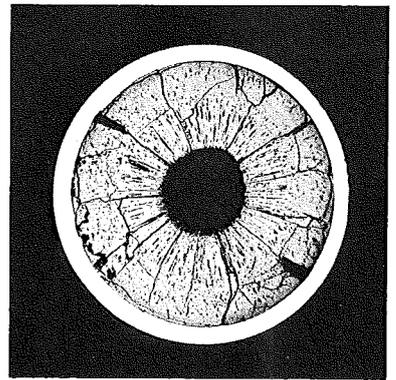
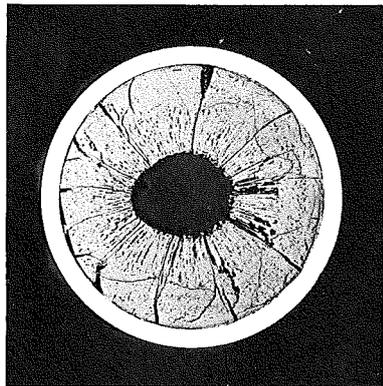
5



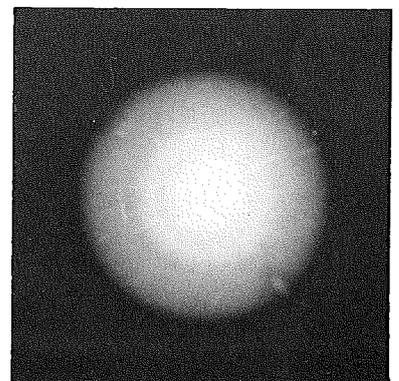
G 43



M 1:1



7a



8

1mm

Brennstab G-49

Brennstoff

Form	: Tabletten
Zusammensetzung	: UO_2/PuO_2 (80/20)
Tablettendichte	: 89,5 % th.D.

Hülle

Material	: 1.4961
Außendurchmesser	: 6,00 mm
Wandstärke	: 0,38 mm

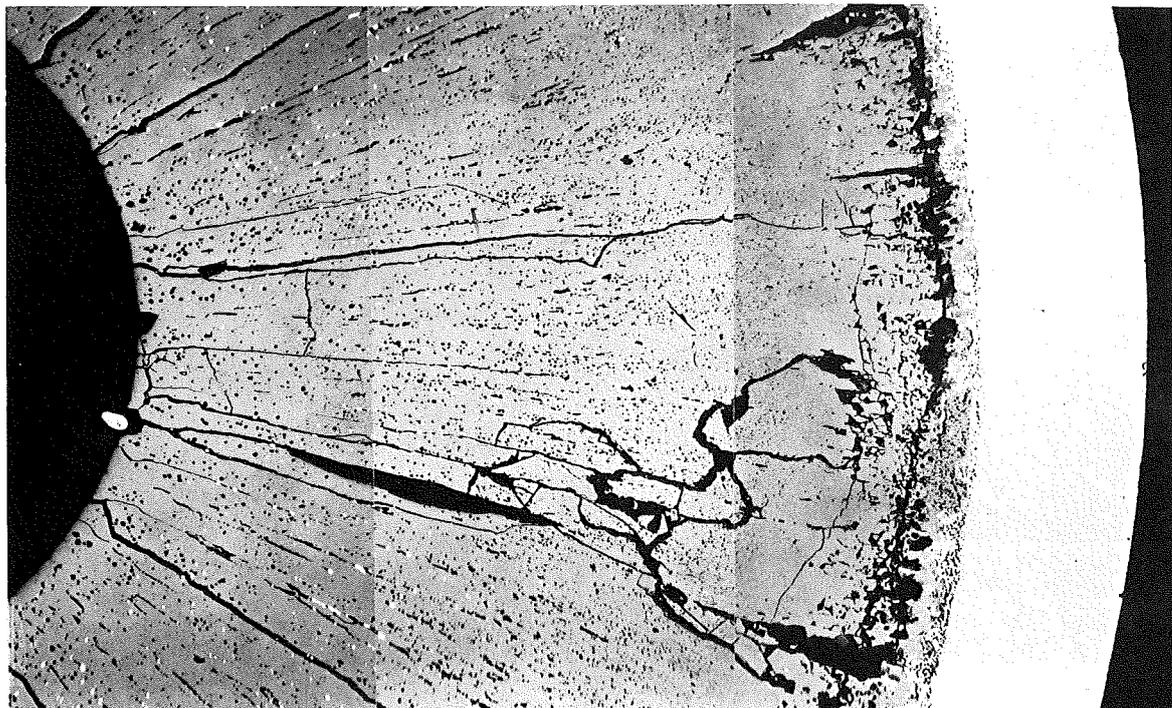
Geometrie

Länge des Brennstabes	: 508,90 mm
Länge der Brennstoffsäule	: 290,96 mm
Radiale Spaltweite	: 100 μ m

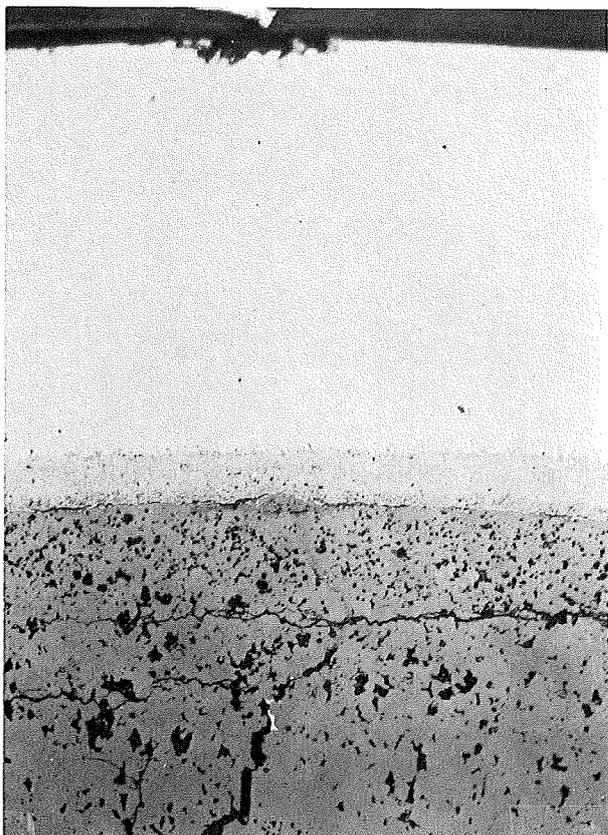
Bestrahlung

Dauer	: 202,7 Vollasttage
Ende	: 20.4.1970
Rechn. Abbrand (max.)	: 5,65 %
Stableistung (max.)	: 450 W/cm
Kühlmitteleintrittstemp.	: 230 °C
„ -austrittstemp. (max.)	: 584 °C

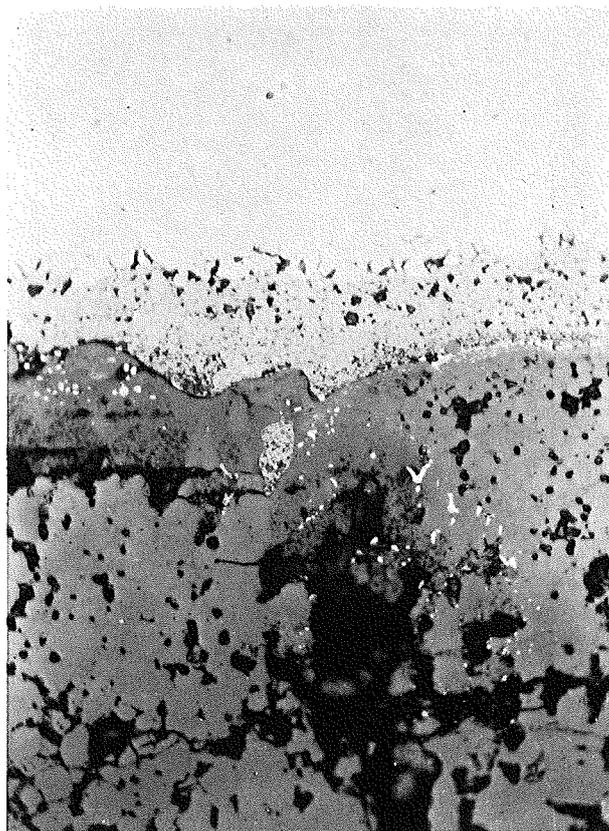
zu Stab G 49 A / 3



0.2 mm

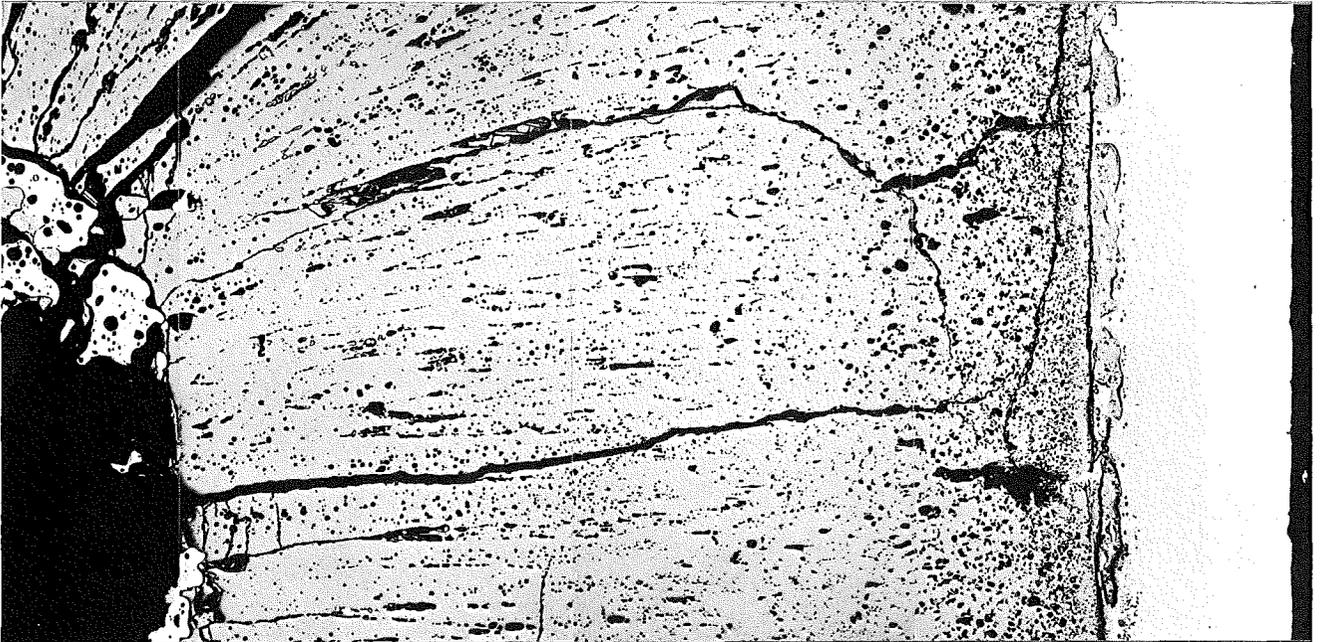


100 μ m

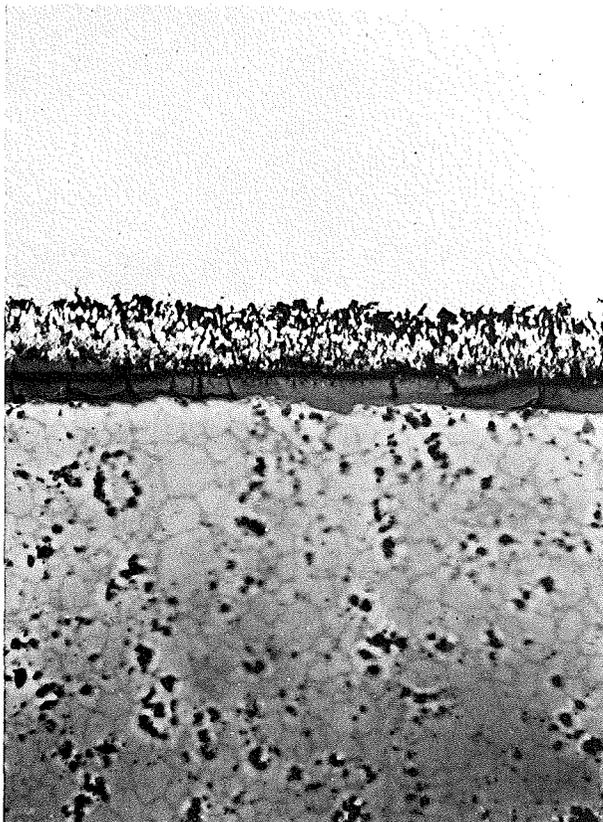


40 μ m

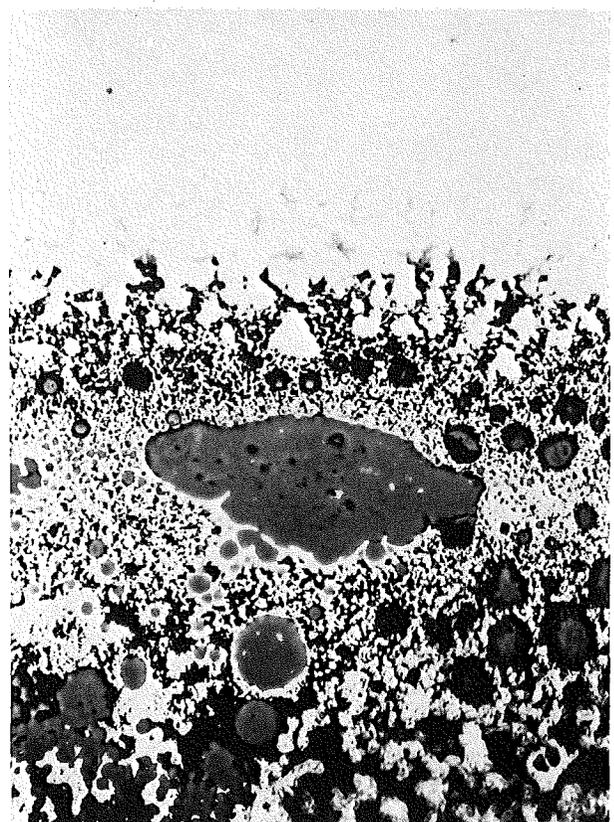
zu Stab G 49 A / 1



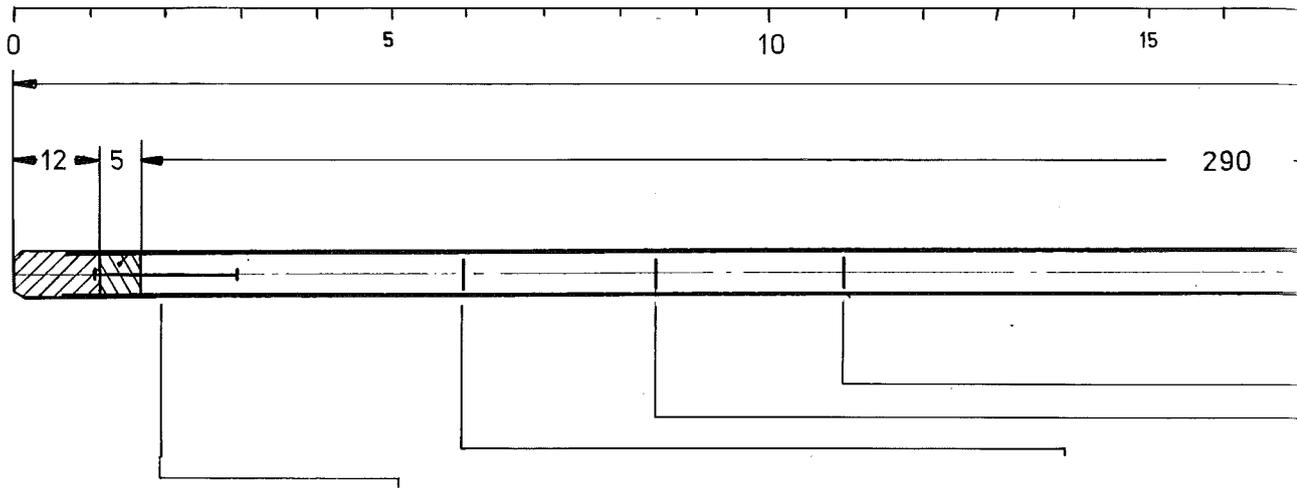
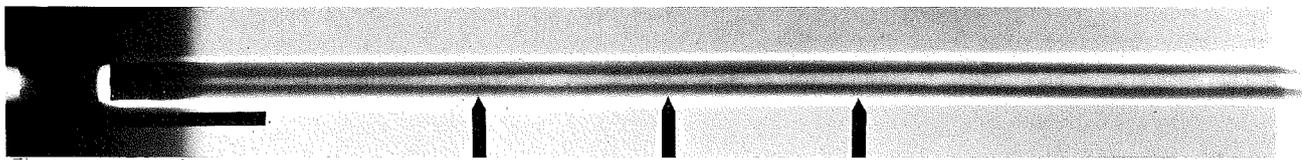
0.2 mm



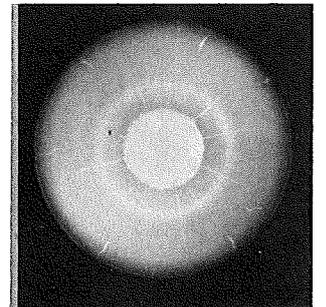
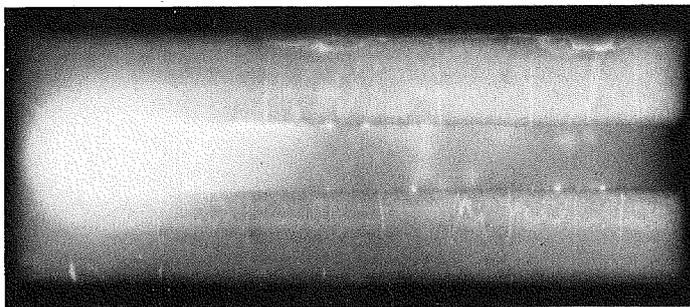
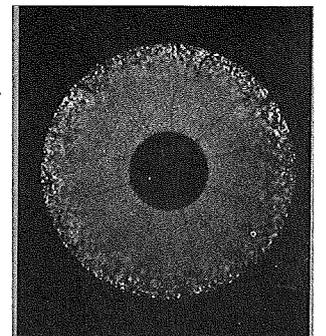
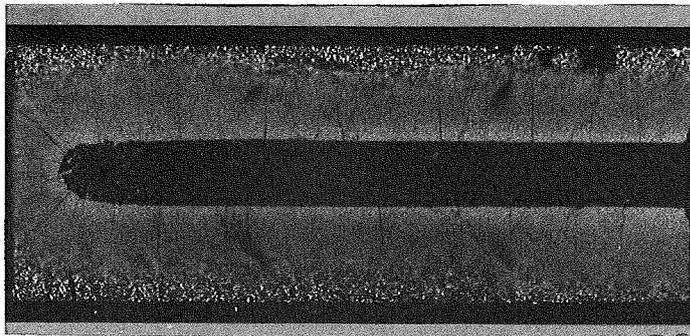
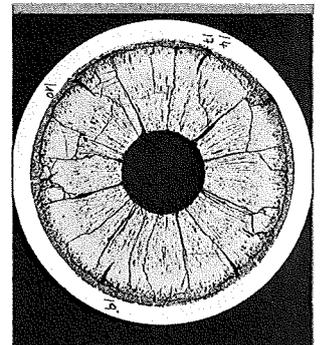
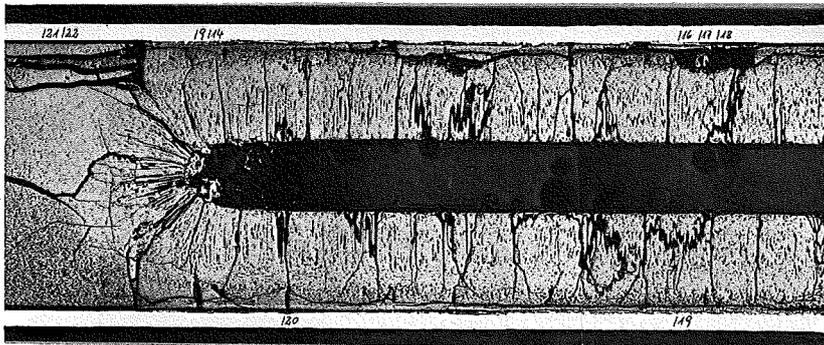
40 μm



40 μm

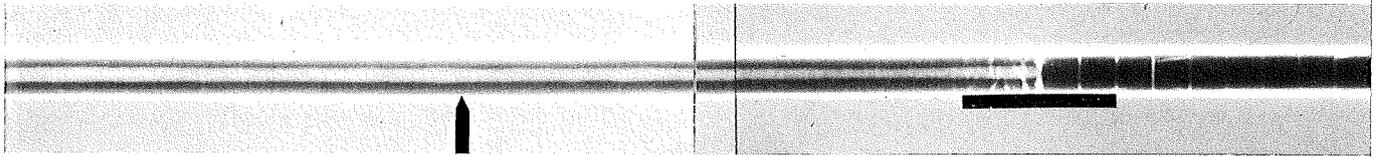


A



1

2



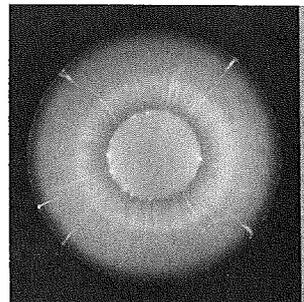
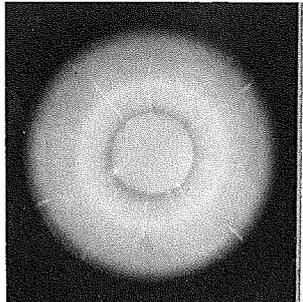
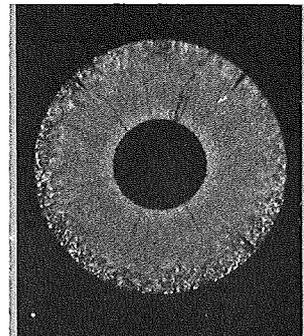
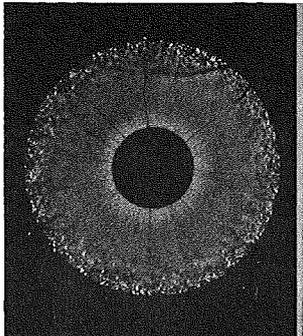
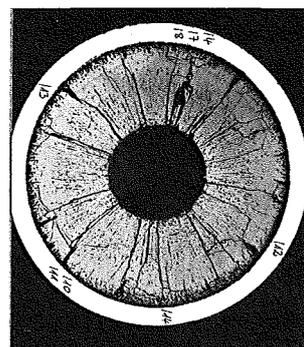
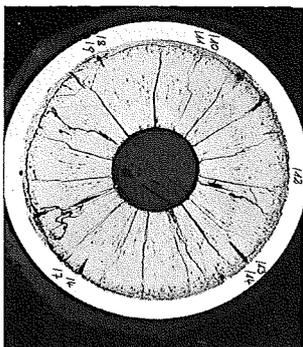
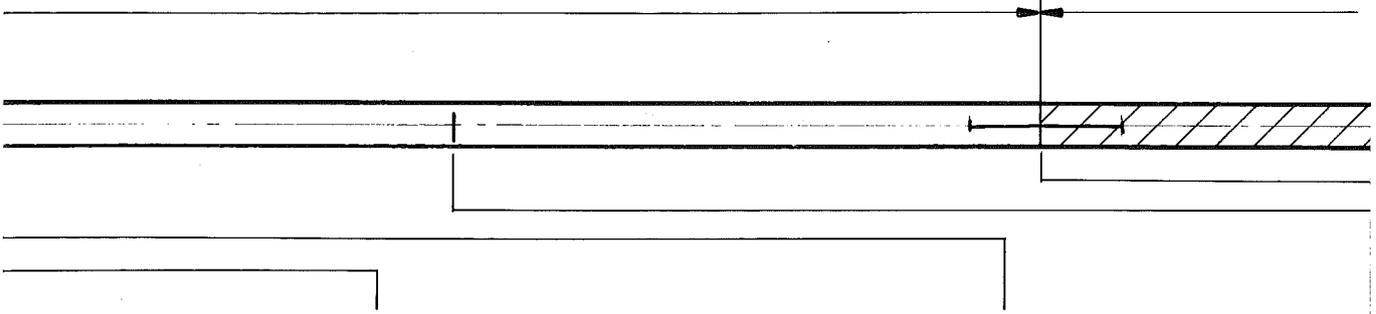
20

25

30

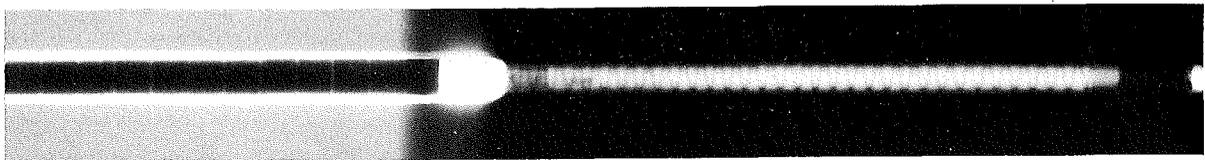
31

509

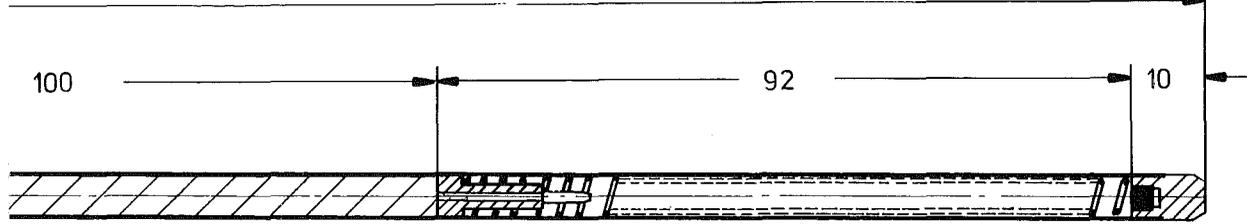
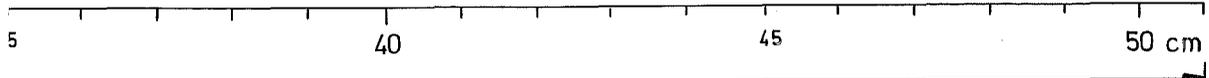


3

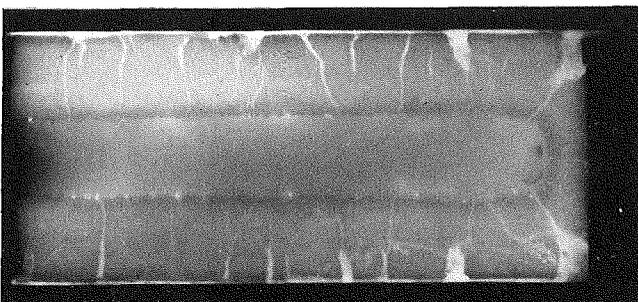
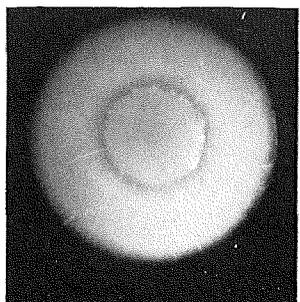
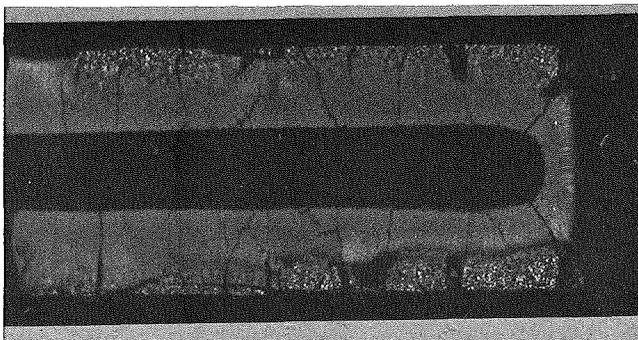
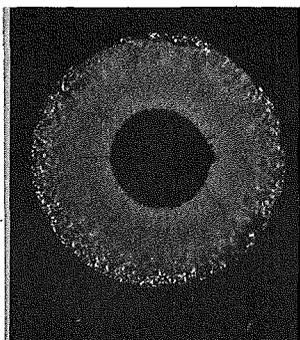
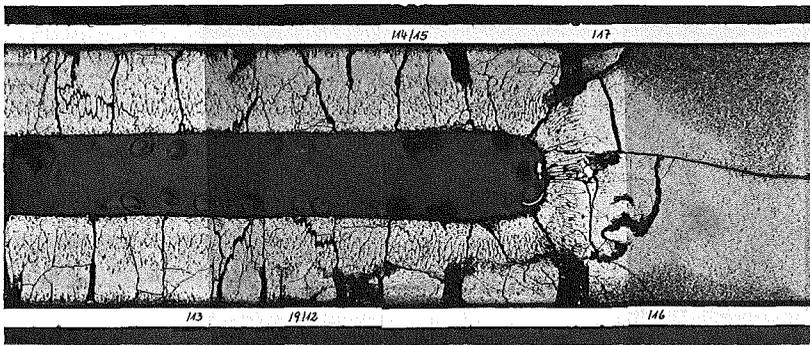
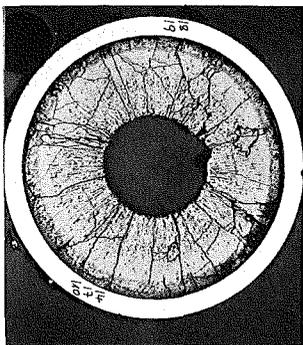
4



G 49



M 1:1



7

9

1mm

Brennstab G-50

Brennstoff

Form	: Tabletten
Zusammensetzung	: $\text{UO}_2\text{-PuO}_2$ (80/20)
Tablettendichte	: 89,5 % th.D.

Hülle

Material	: 1.4961
Außendurchmesser	: 6,00 mm
Wandstärke	: 0,38 mm

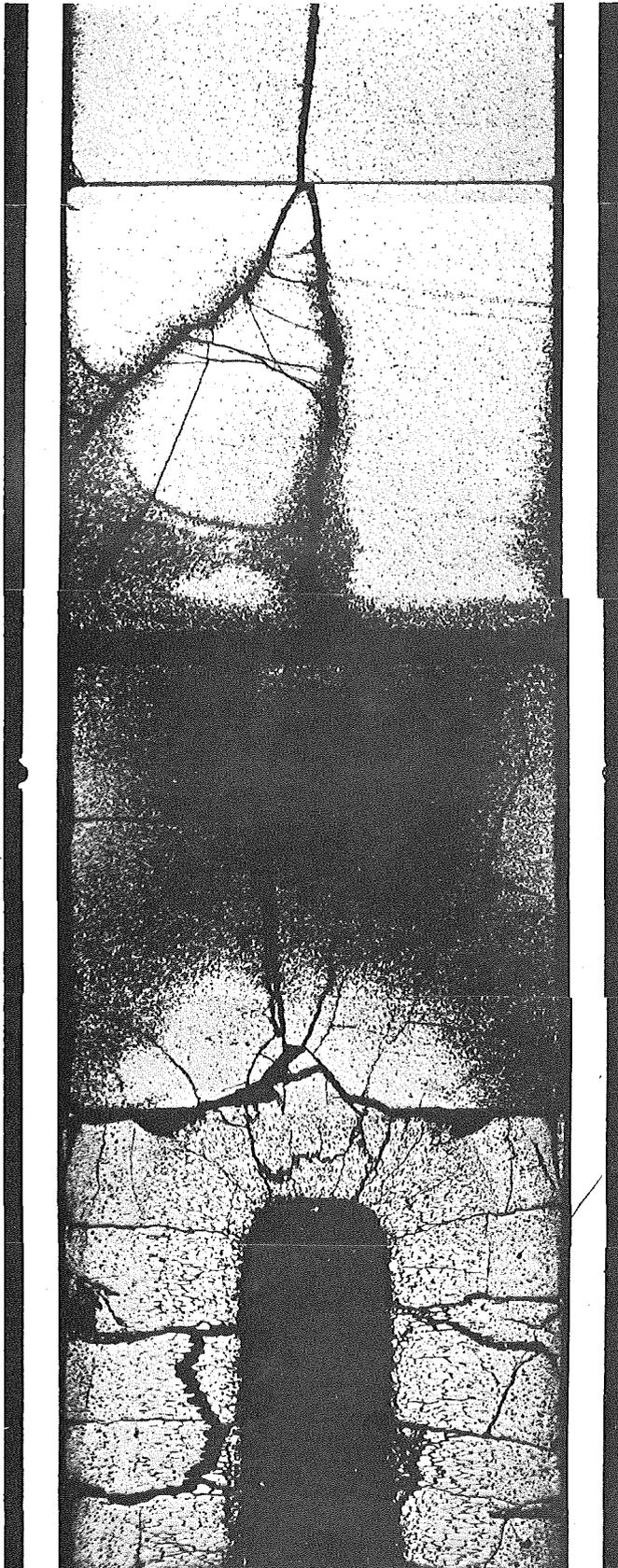
Geometrie

Länge des Brennstabes	: 509,0 mm
Länge der Brennstoffsäule	: 287,40 mm
Radiale Spaltweite	: 100 μm

Bestrahlung

Dauer	: 202,7 Vollasttage
Ende	: 20.4.1970
Rechn. Abbrand (max.)	: 5,65 %
Stableistung (max.)	: 450 W/cm
Kühlmitteleintrittstemp.	: 230 °C
"-austrittstemp. (max.)	: 589 °C

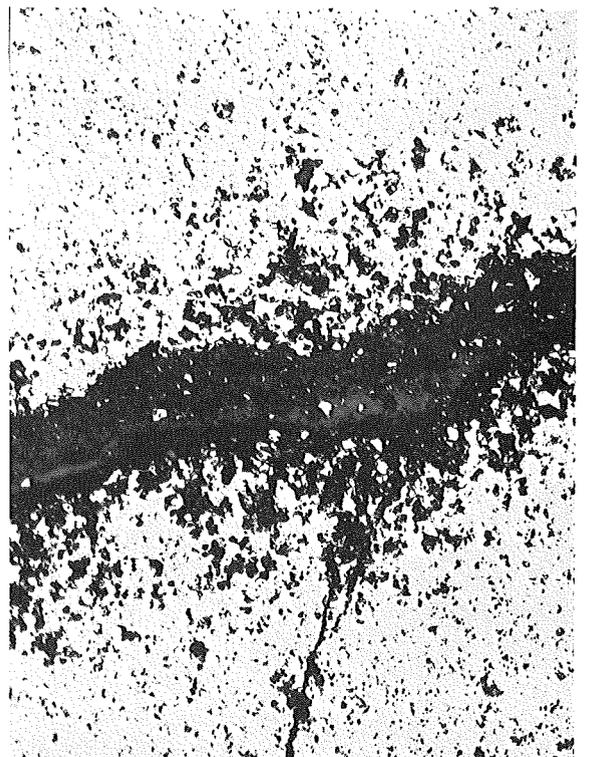
zu Stab G 50 A / 10



2 mm



100 μ m

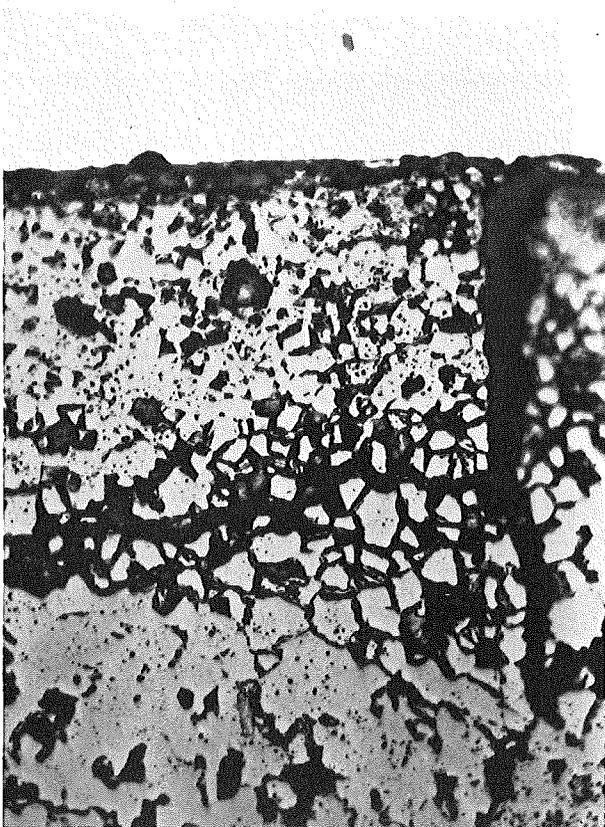


100 μ m

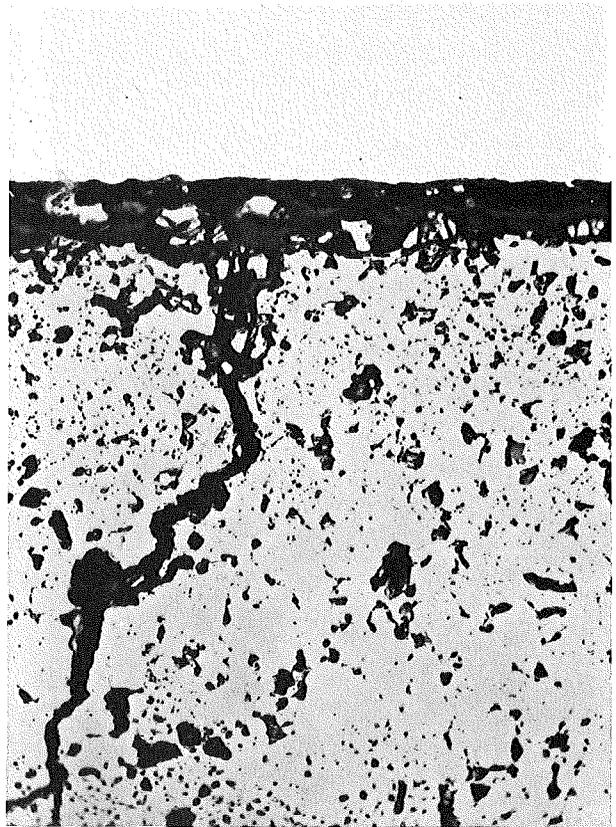
zu Stab G 50 A / 7



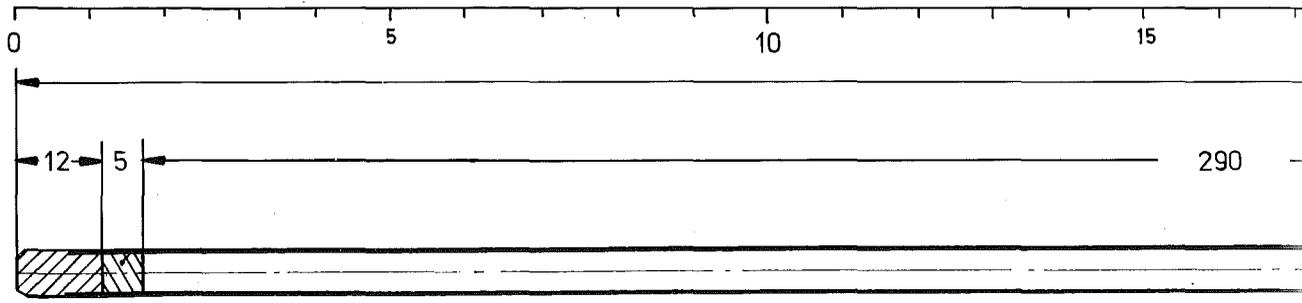
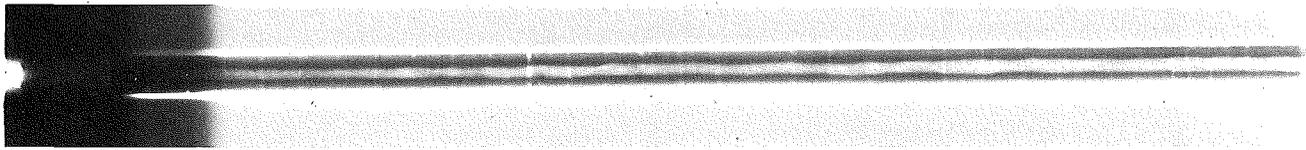
0.2 mm



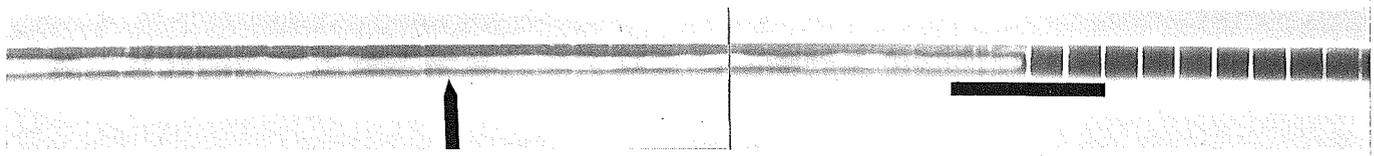
40 μ m



40 μ m



A



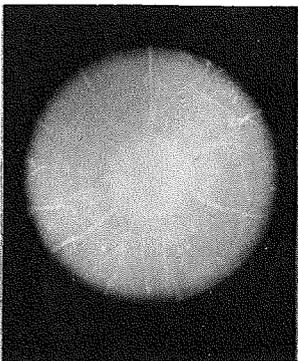
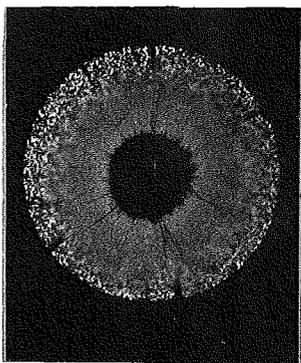
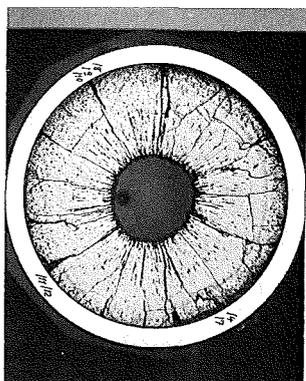
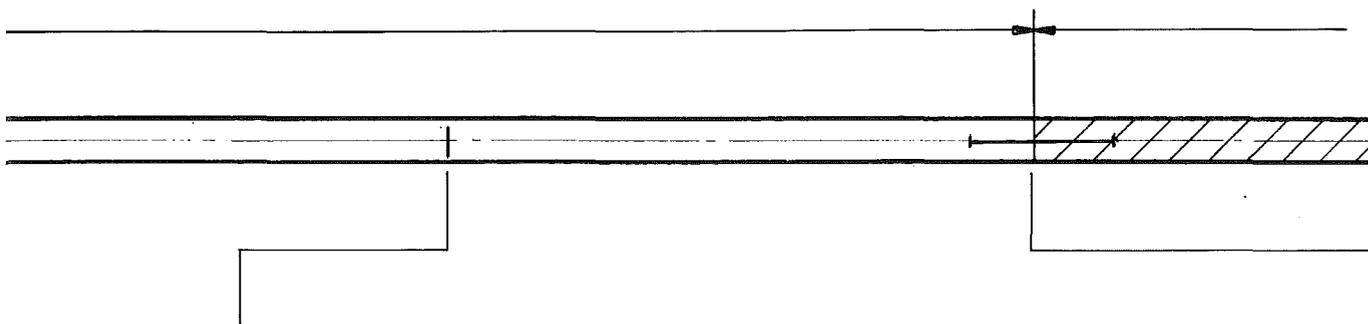
20

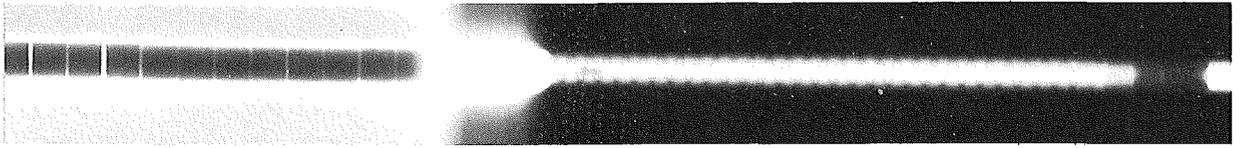
25

30

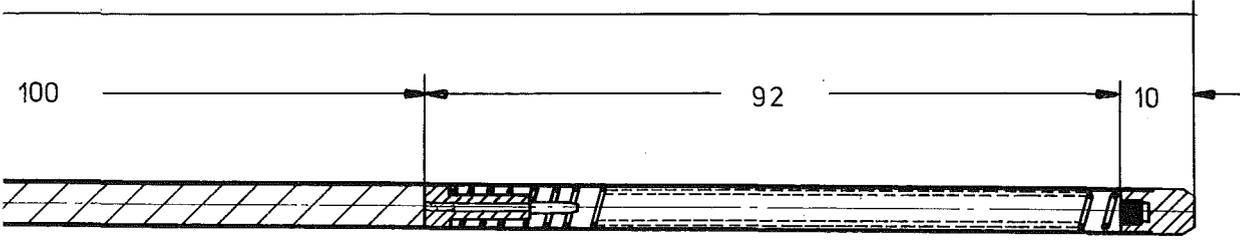
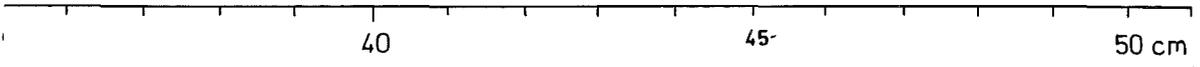
35

509

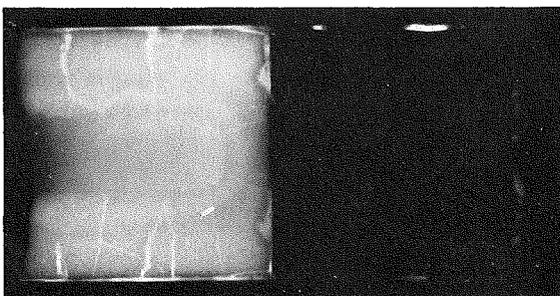
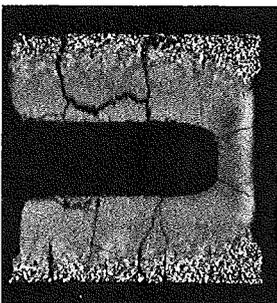
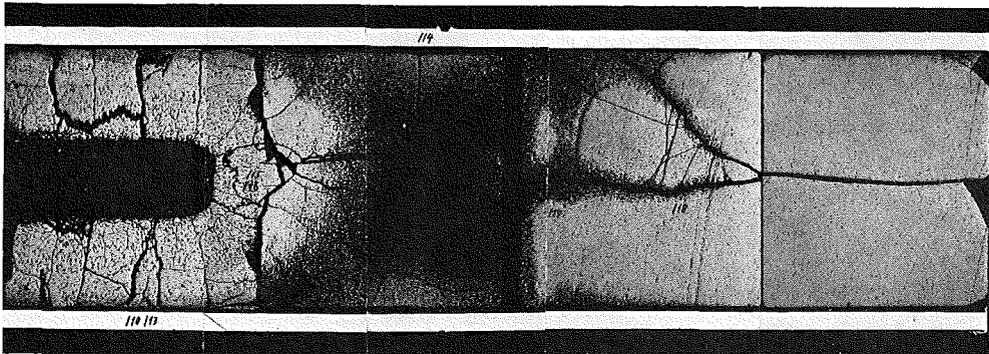




G 50



M 1:1



10

1mm

Brennstab G-56

Brennstoff

Form	: Tabletten
Zusammensetzung	: UO_2/PuO_2 (80/20)
Tablettendichte	: 89,5 % th.D.

Hülle

Material	: 1.4961
Außendurchmesser	: 6,00 mm
Wandstärke	: 0,38 mm

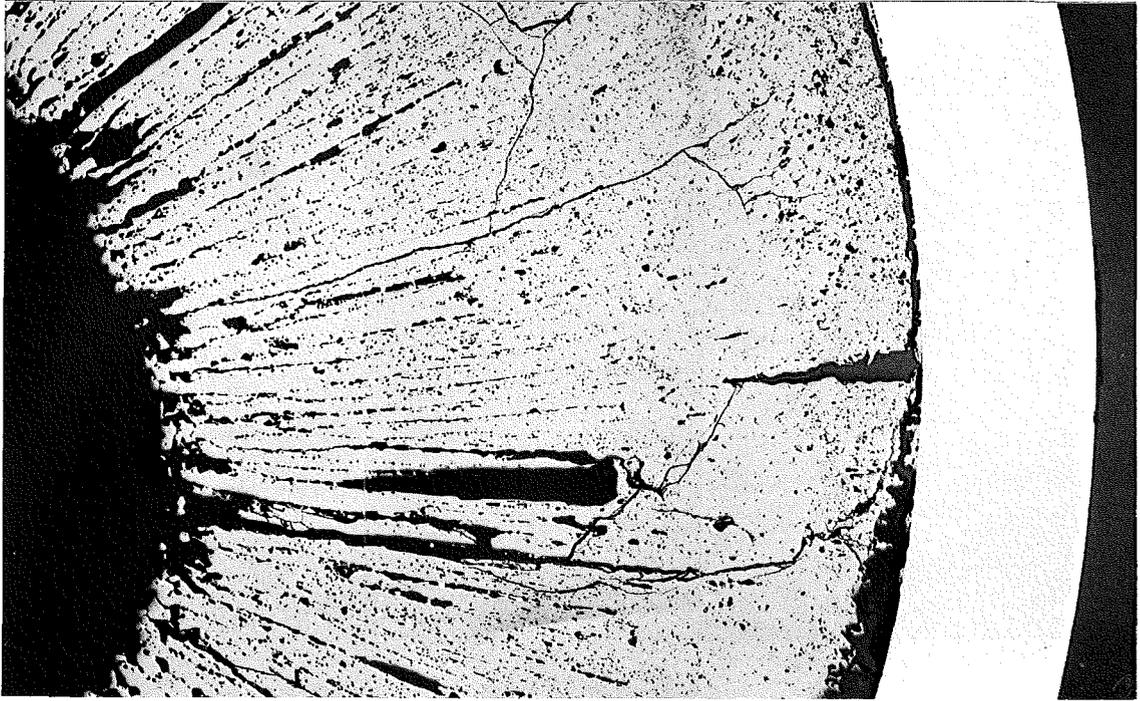
Geometrie

Länge des Brennstabes	: 909,00 mm
Länge der Brennstoffsäule	: 287,56 mm
Radiale Spaltweite	: 100 μm

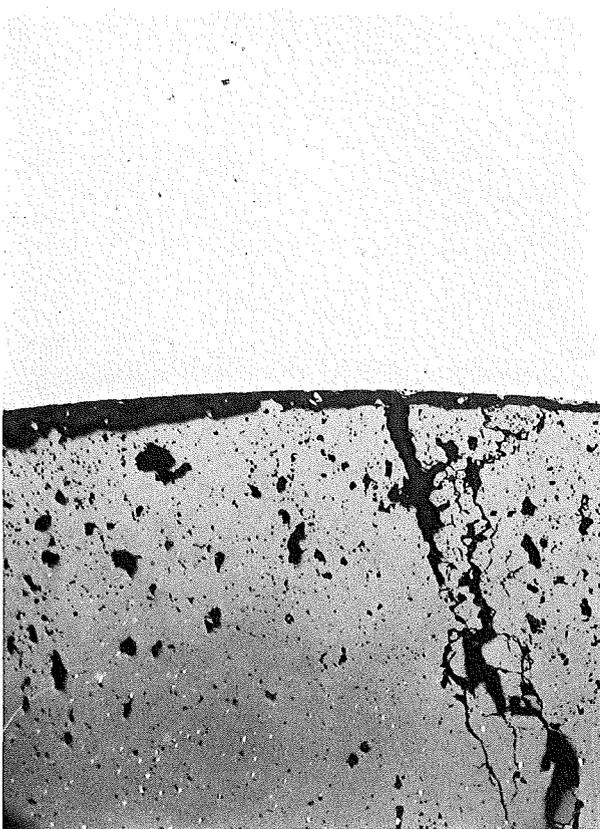
Bestrahlung

Dauer	: 202,7 Vollasttage
Ende	: 20.4.1970
Rechn. Abbrand (max.)	: 5,65 %
Stableistung (max.)	: 450 W/cm
Kühlmitteleintrittstemp.	: 230 °C
„ -austrittstemp. (max.)	: 581 °C

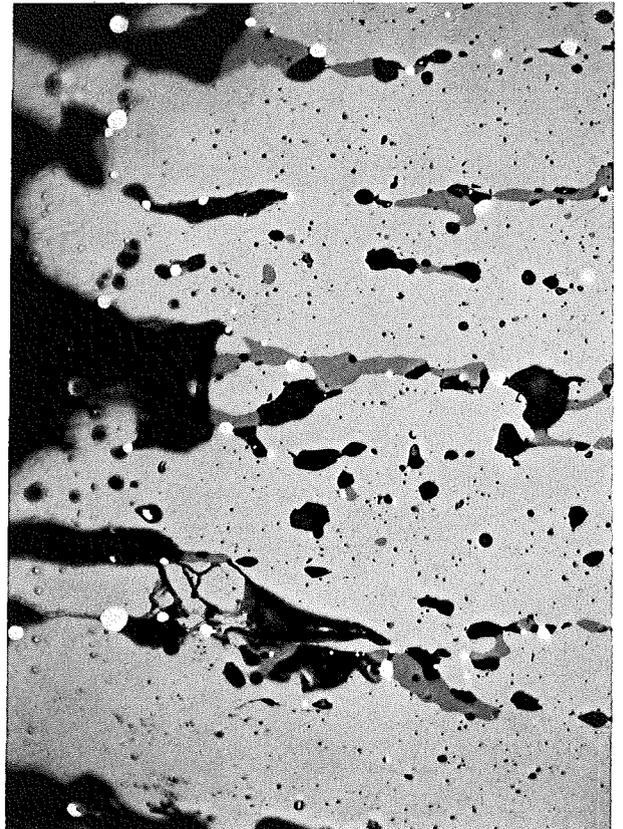
zu Stab G 56 A/8



0.2 mm

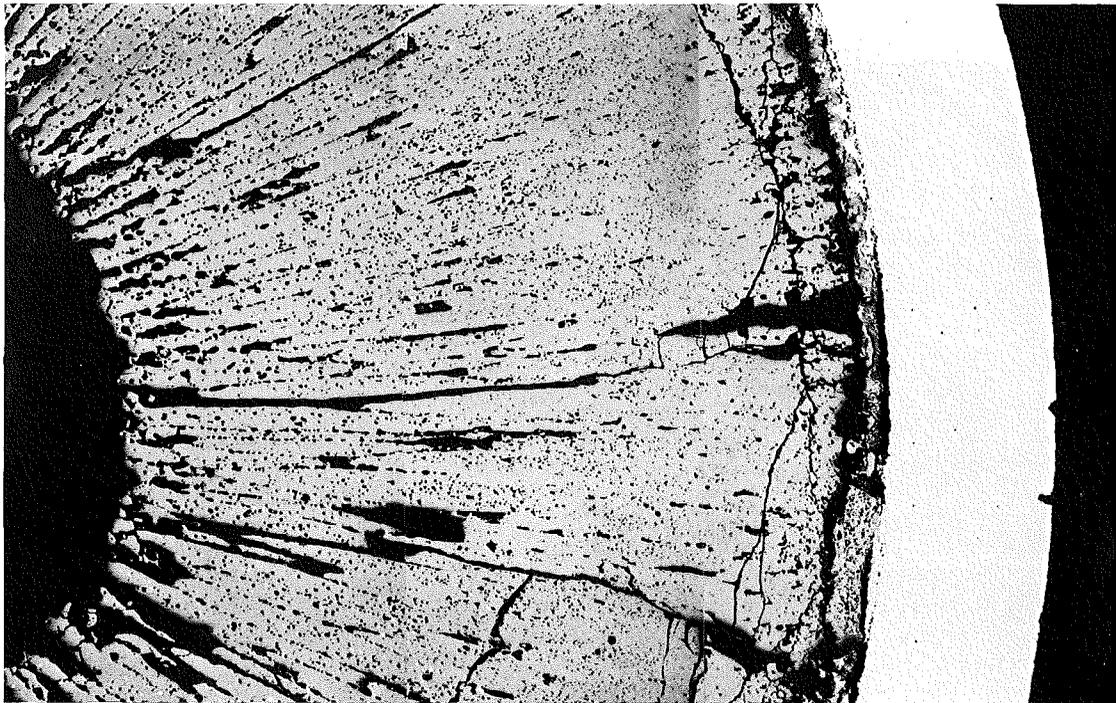


100 μ m

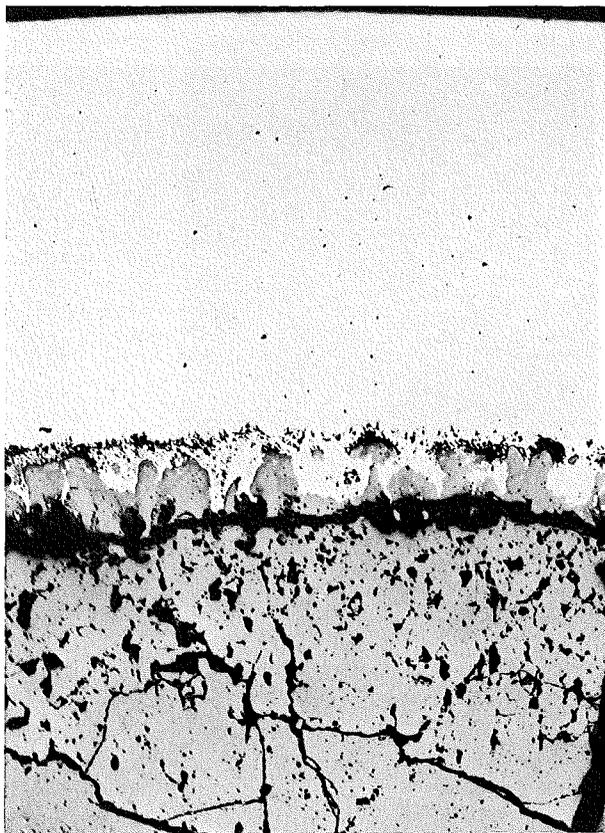


40 μ m

zu Stab G 56 A / 6



0.2 mm

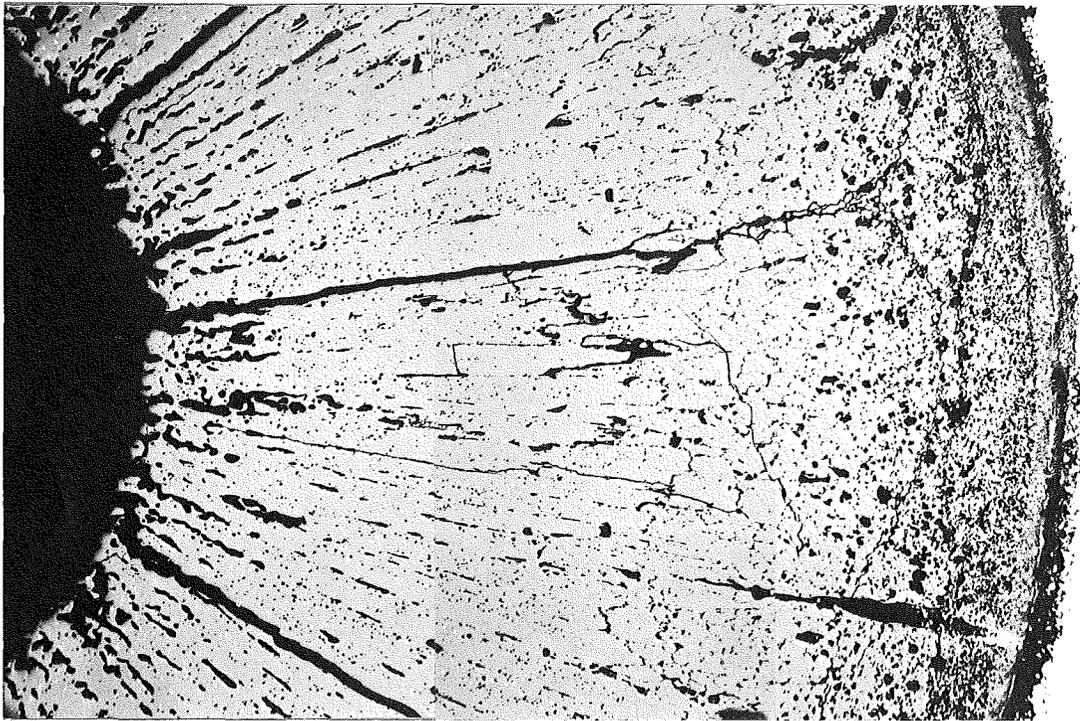


100 μ m



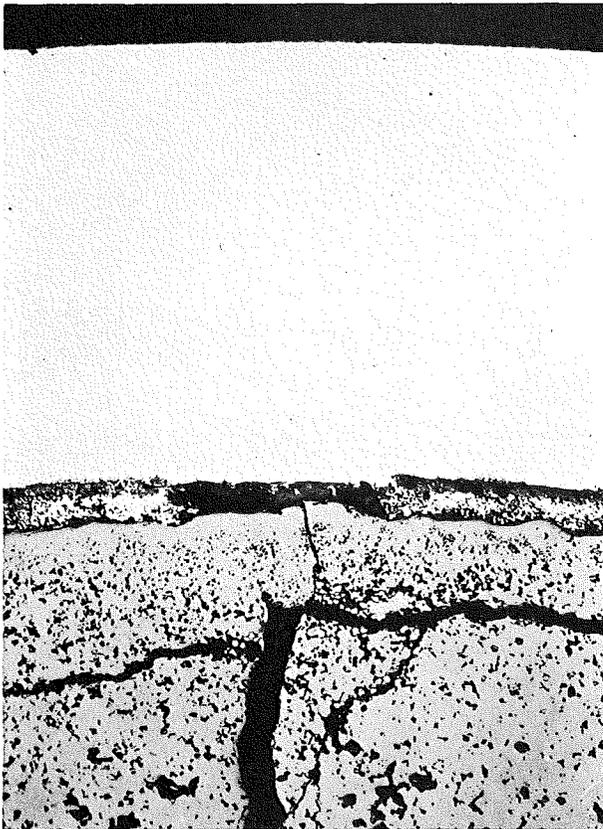
100 μ m

zu Stab G 56 A/4



0.2 mm

HZ-19b-DPR350-G56-4/4 100 x

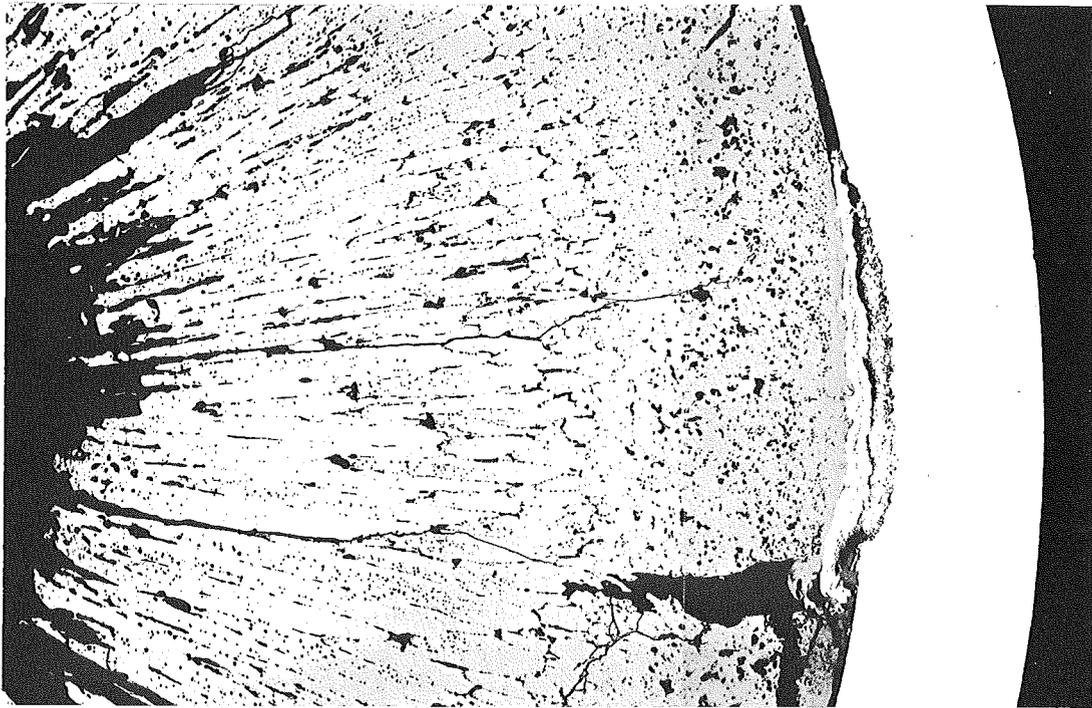


100 μm



40 μm

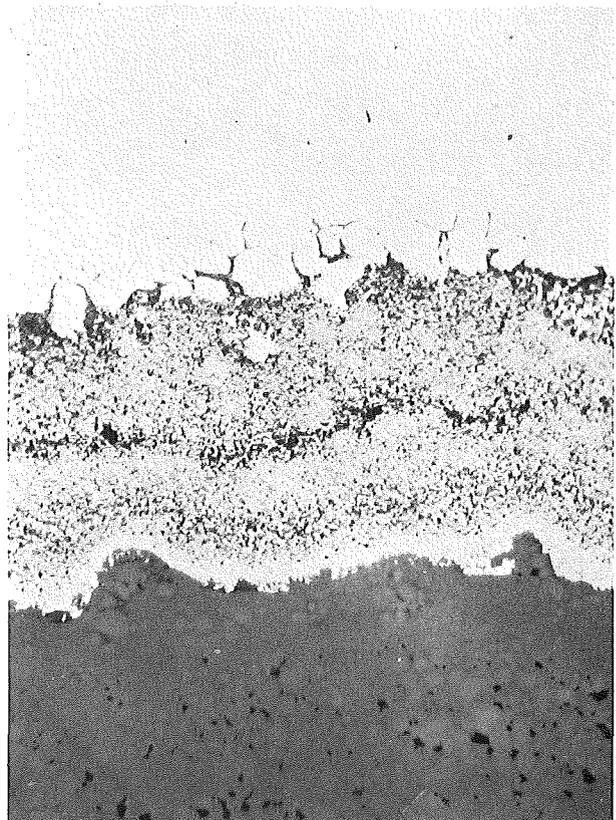
zu Stab G 56 A / 3



0.2 mm

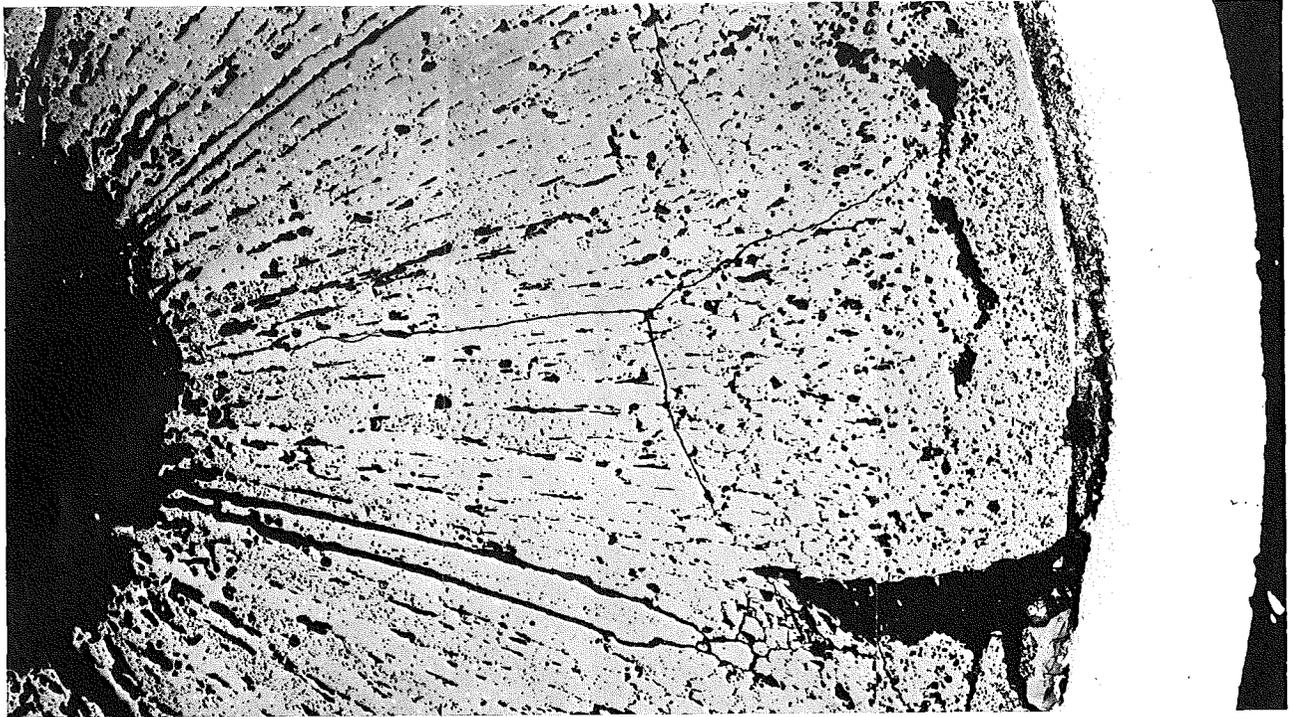


100 μm

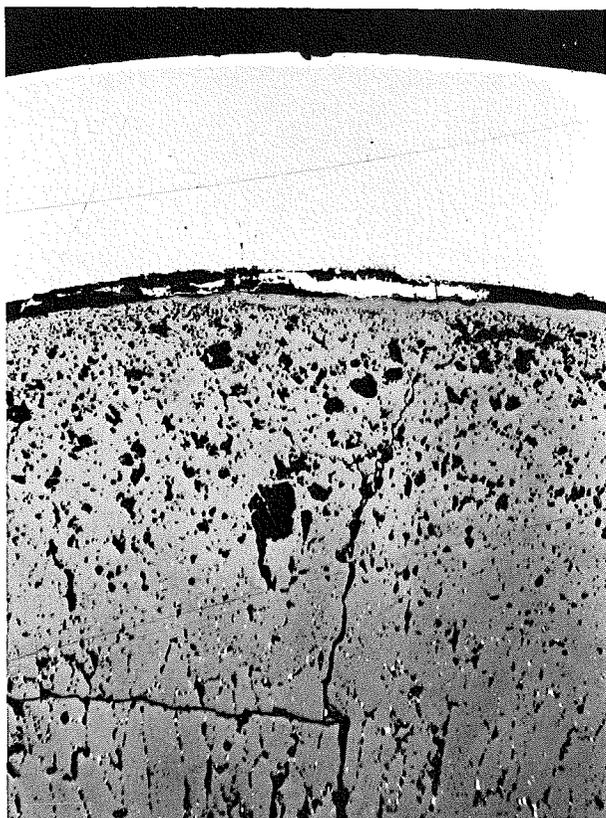


40 μm

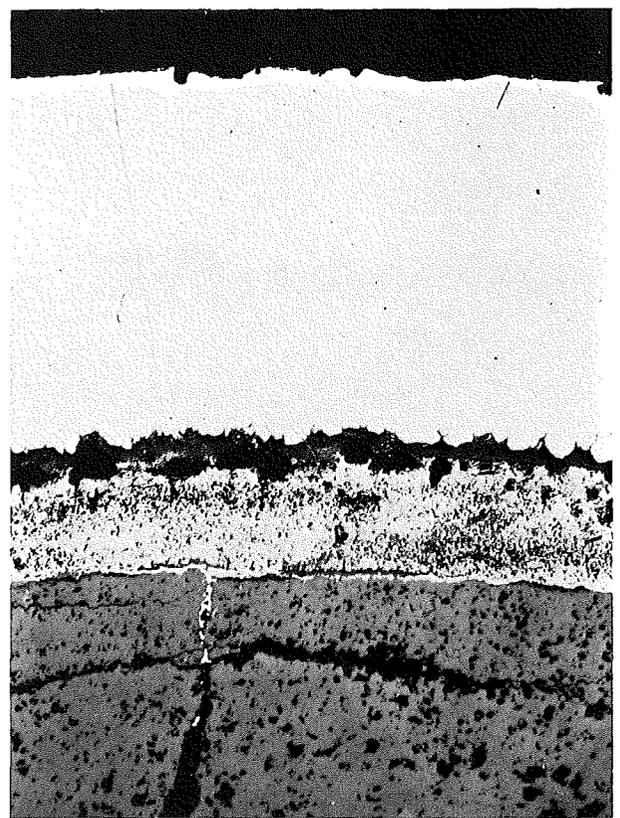
zu Stab G 56 A/2



0.2 mm

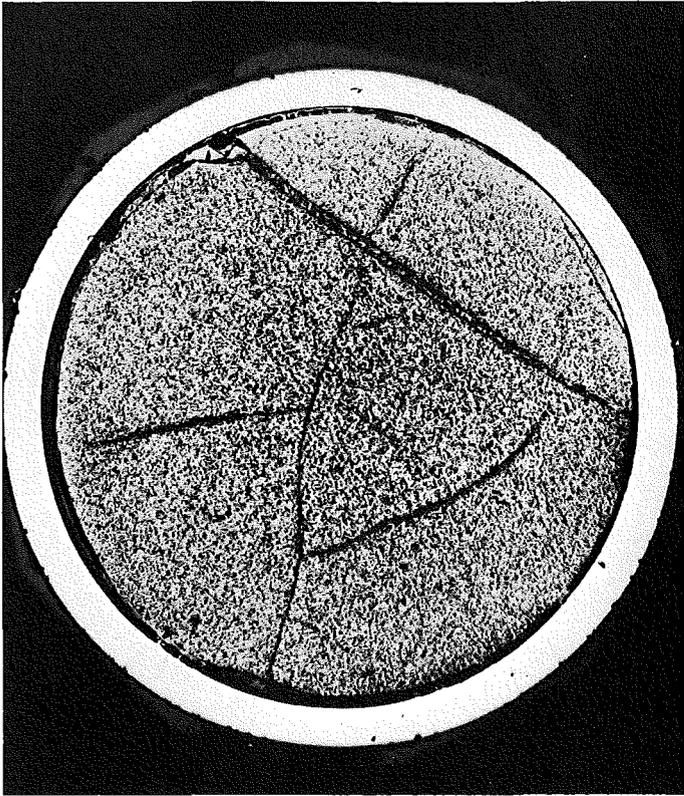


200 μ m

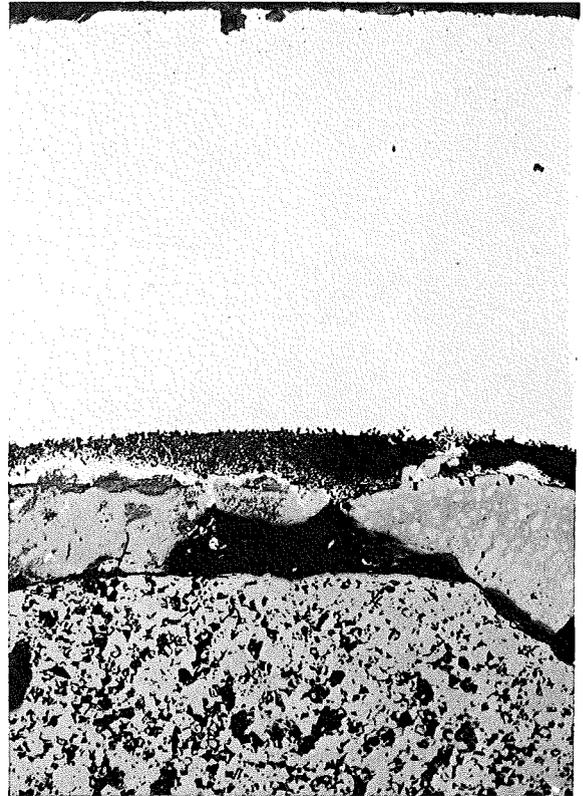


40 μ m

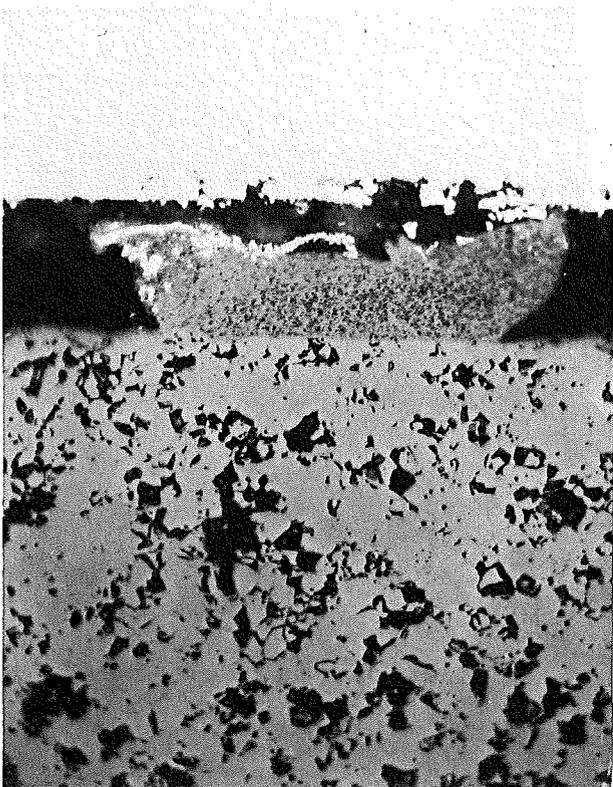
zu Stab G 56 A / 1



1 mm



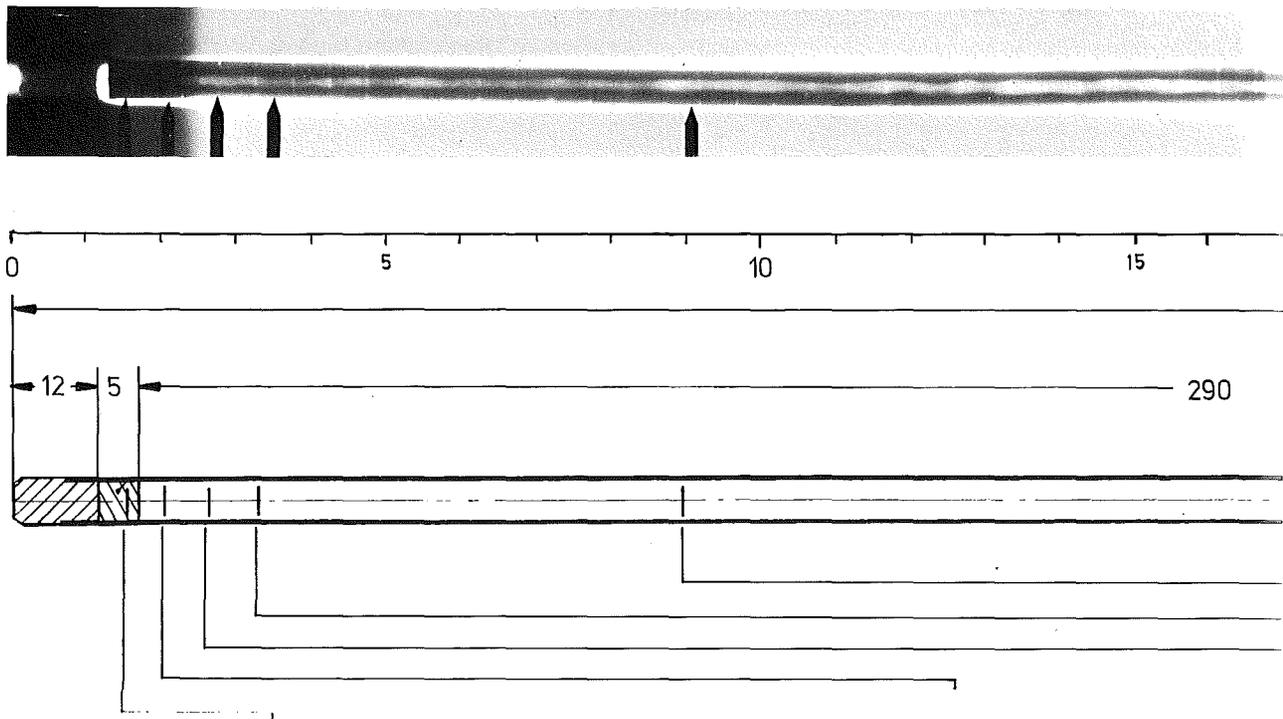
100 μm



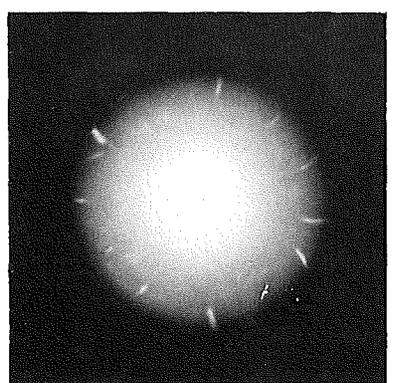
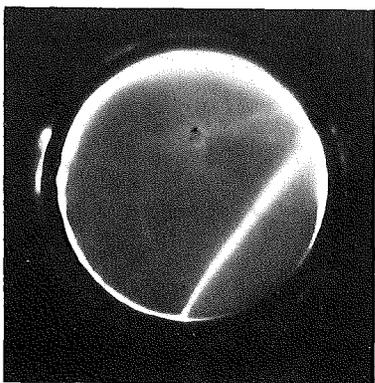
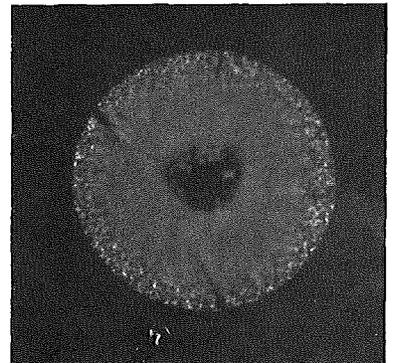
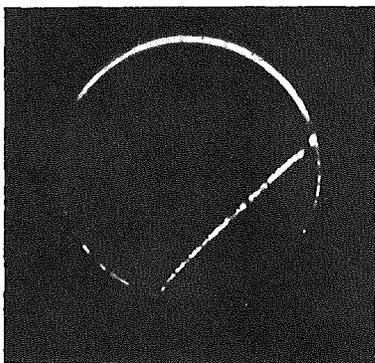
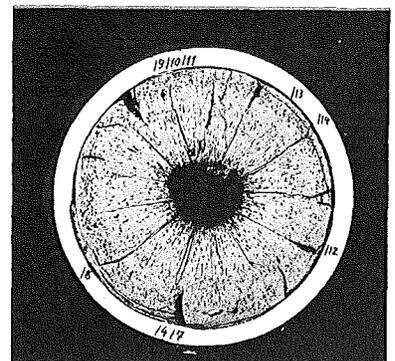
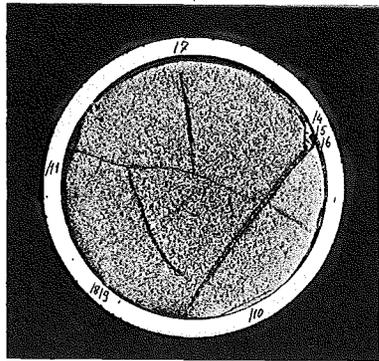
40 μm



100 μm

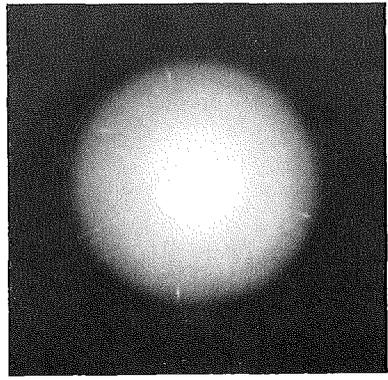
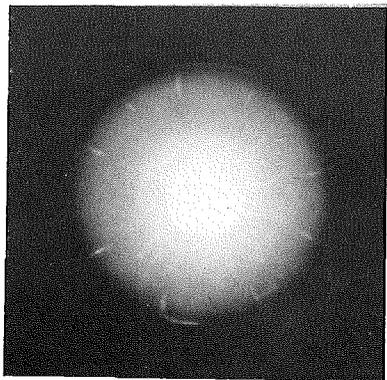
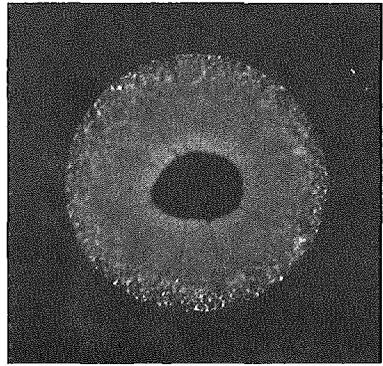
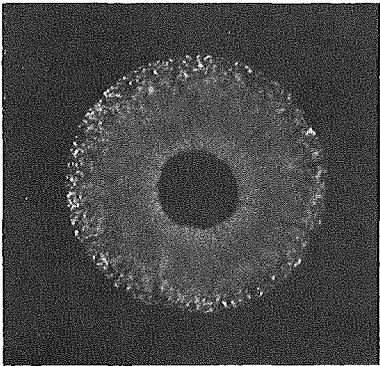
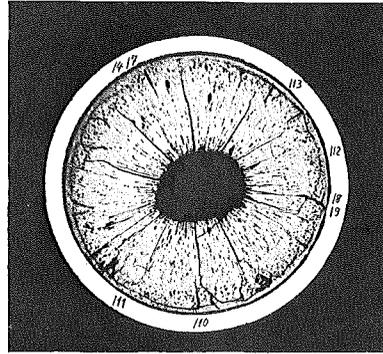
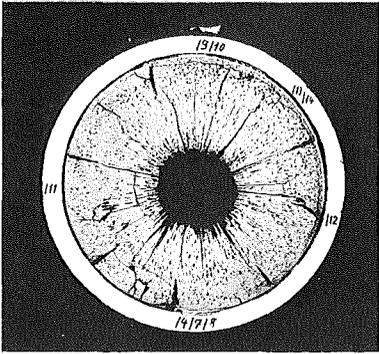
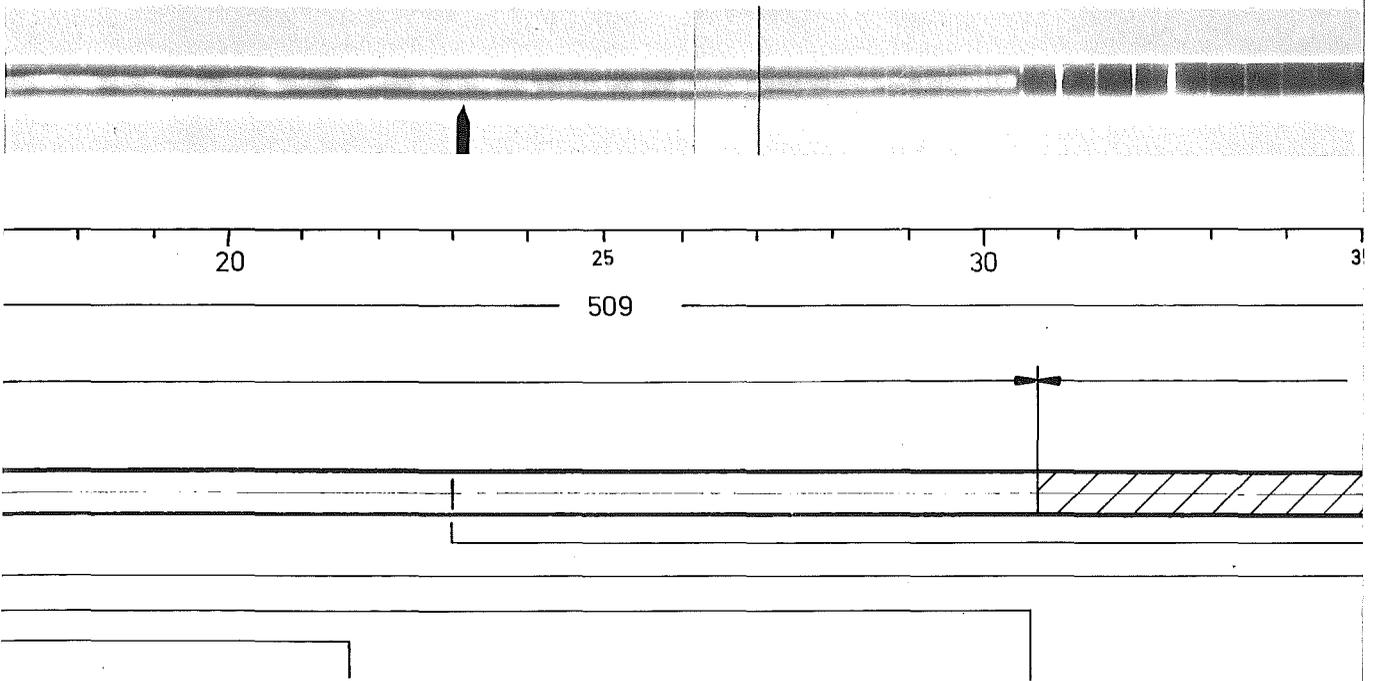


A



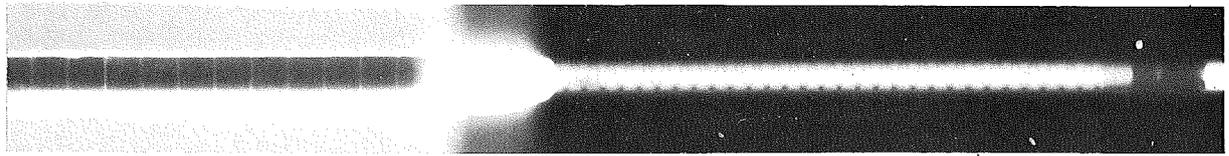
1

2

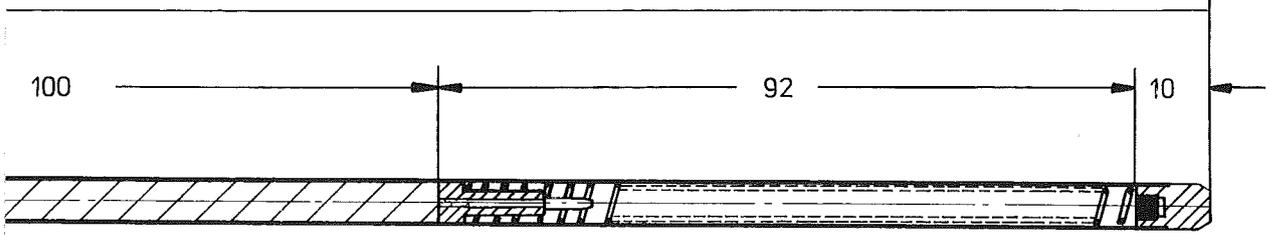


3

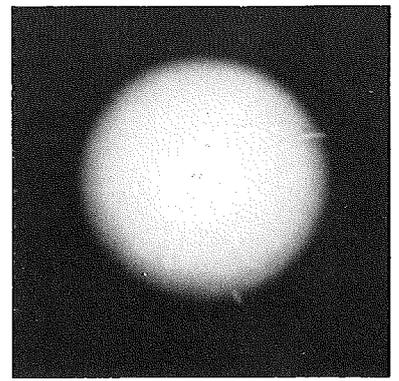
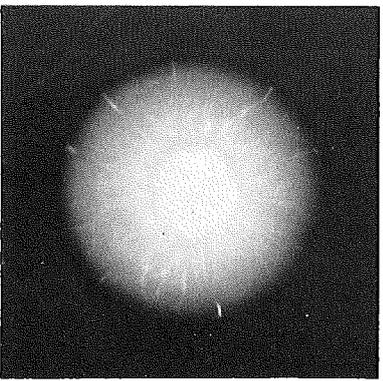
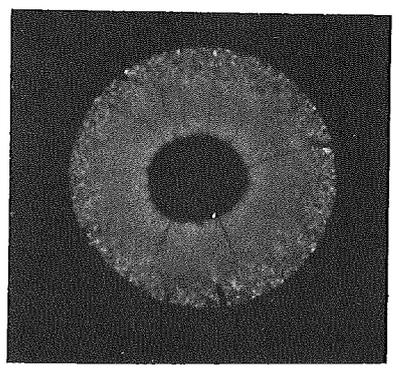
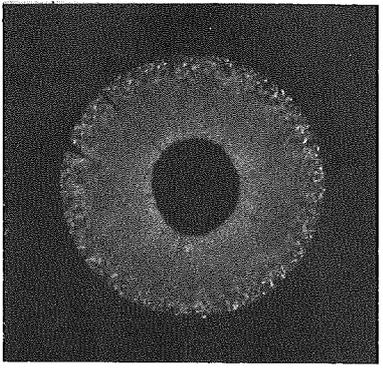
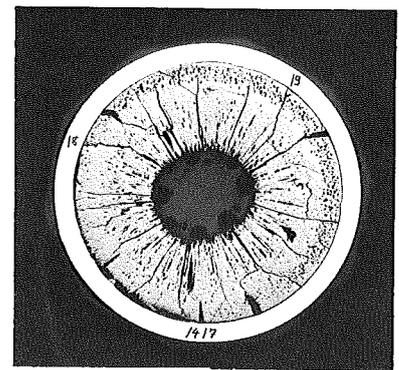
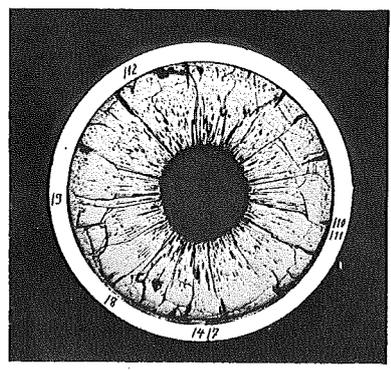
4



G 56



M 1:1



6

8



Brennstab G-57

Brennstoff

Form	: Tabletten
Zusammensetzung	: UO_2 - PuO_2 (80/20)
Tablettendichte	: 89,5 % th.D.

Hülle

Material	: 1.4961
Außendurchmesser	: 6,00 mm
Wandstärke	: 0,38 mm

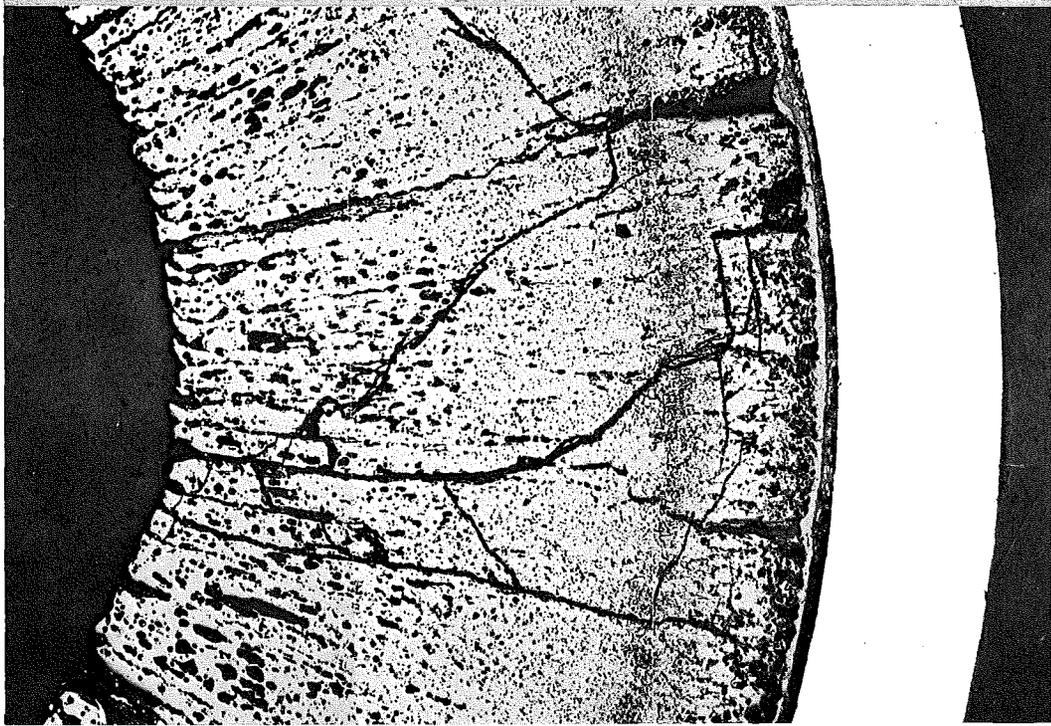
Geometrie

Länge des Brennstabes	: 509,00 mm
Länge der Brennstoffsäule	: 289,04 mm
Radiale Spaltweite	: 100 μ m

Bestrahlung

Dauer	: 202,7 Vollasttage
Ende	: 20.4.1970
Rechn. Abbrand (max.)	: 5,65 %
Stableistung (max.)	: 450 W/cm
Kühlmitteleintrittstemp.	: 230°C
„ -austrittstemp. (max.)	: 589°C

zu Stab G 57 A / 7



0.2mm

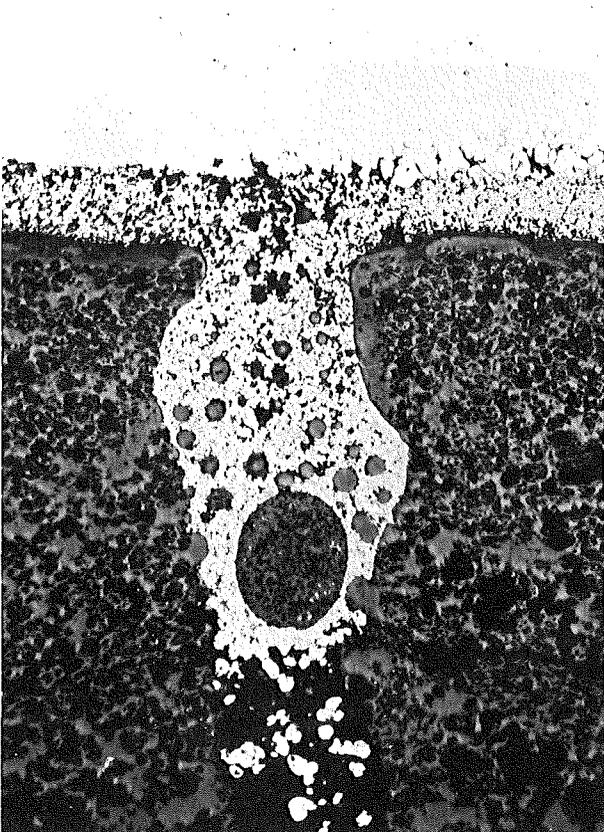


0.2 mm

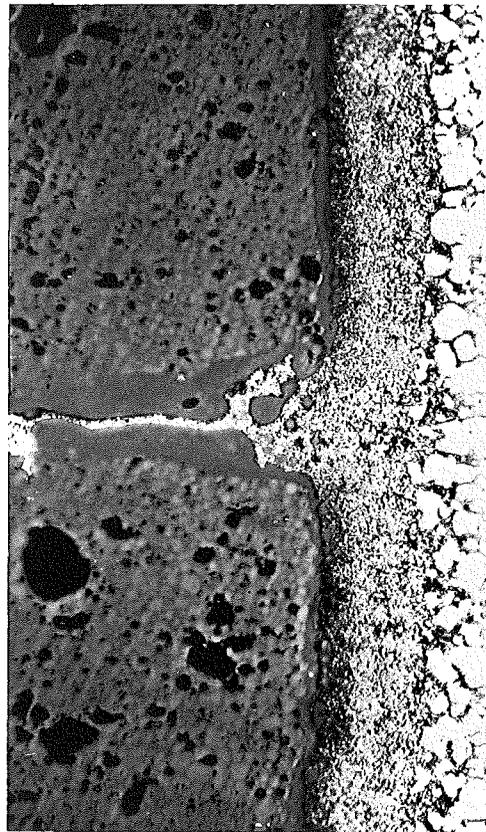
zu Stab G 57 A/3



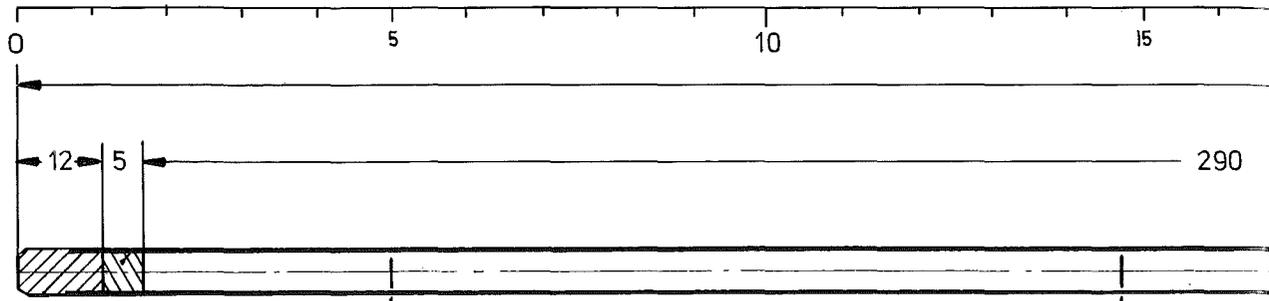
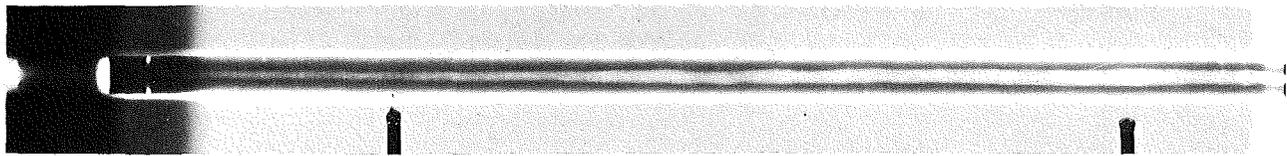
0.2 mm



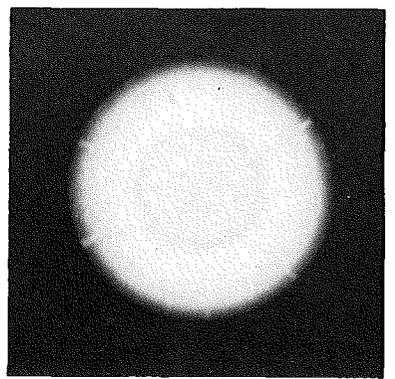
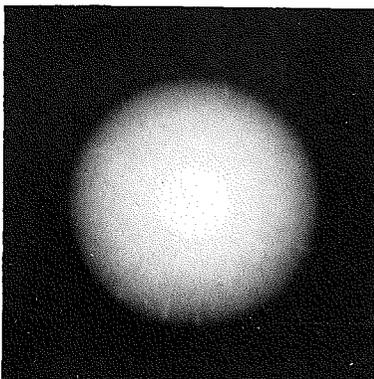
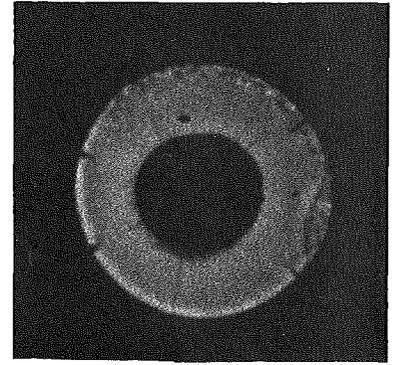
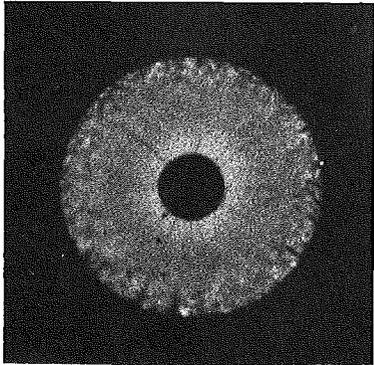
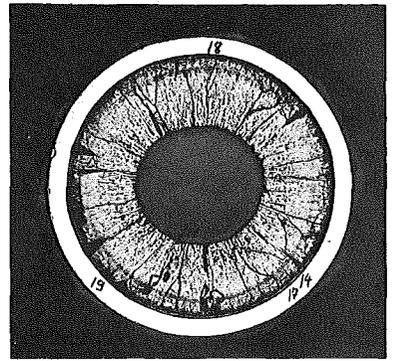
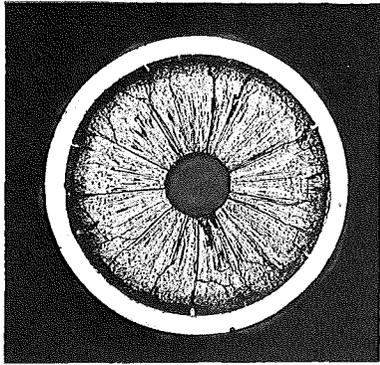
40 μ m



40 μ m

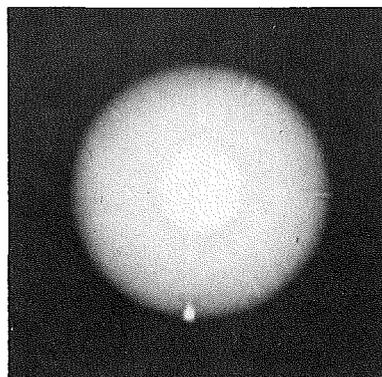
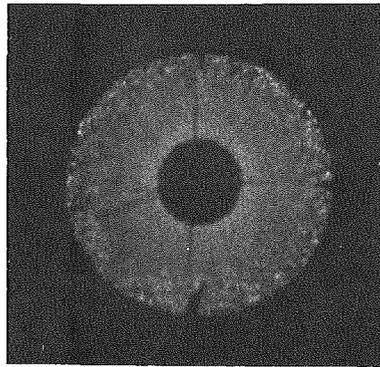
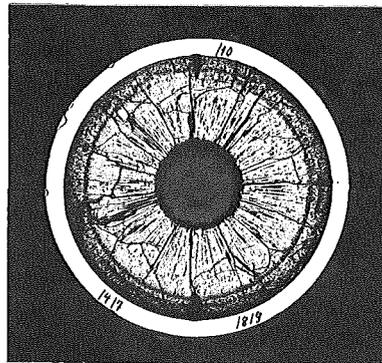
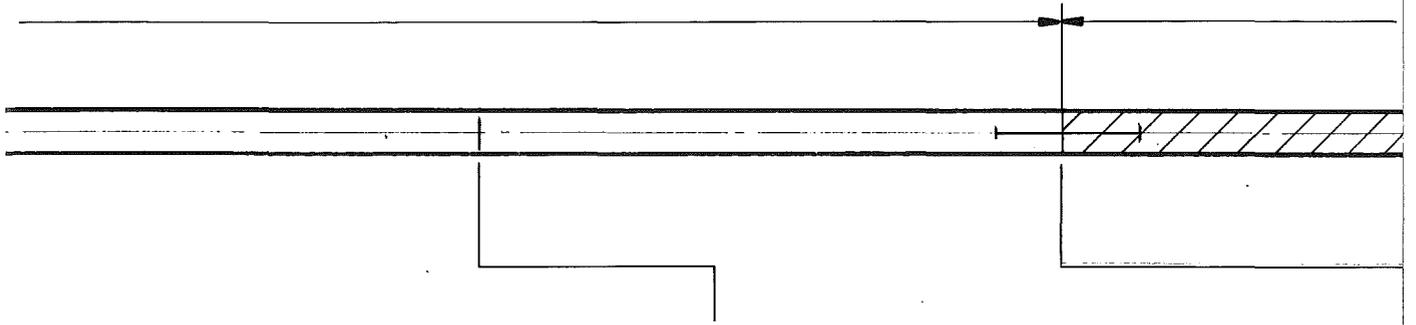
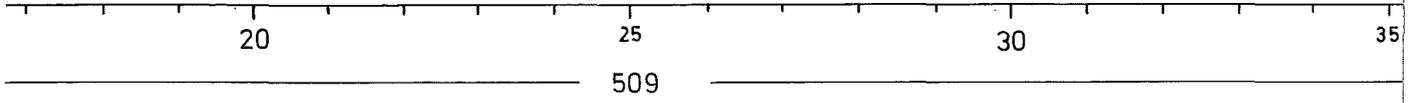
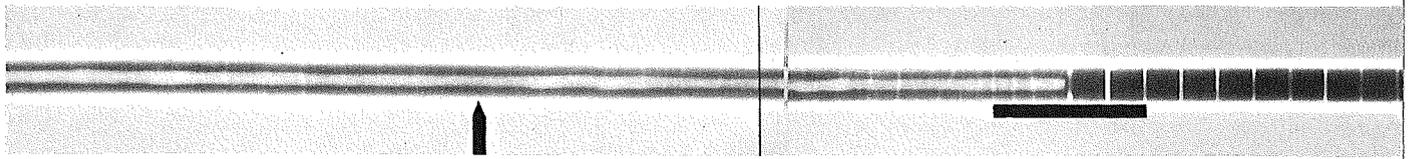


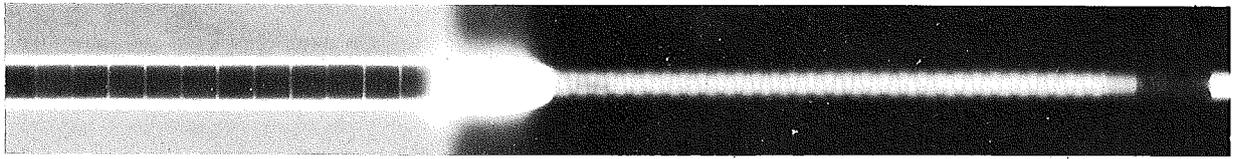
A



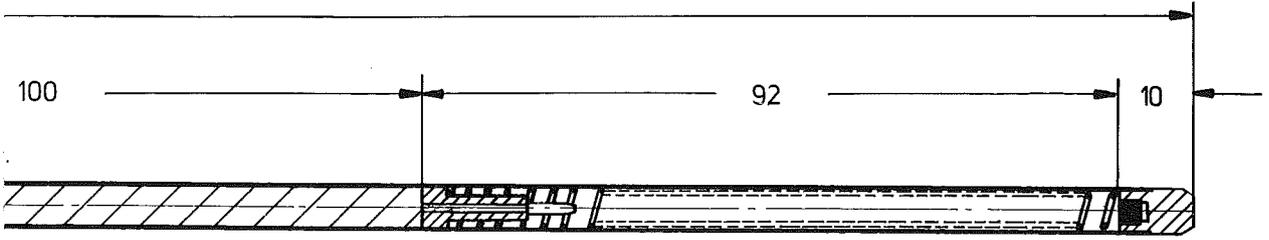
3

7

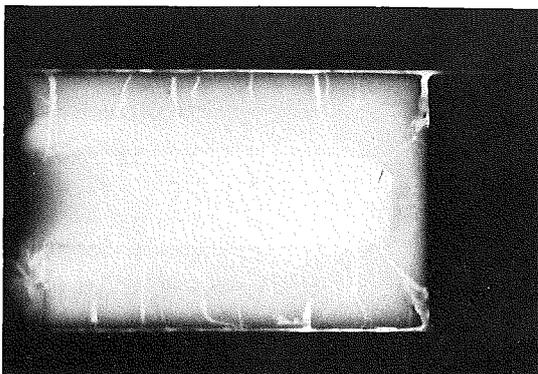
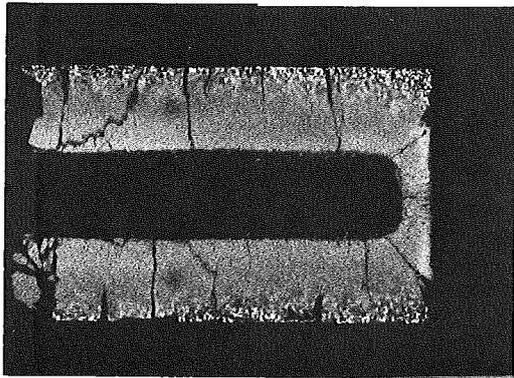
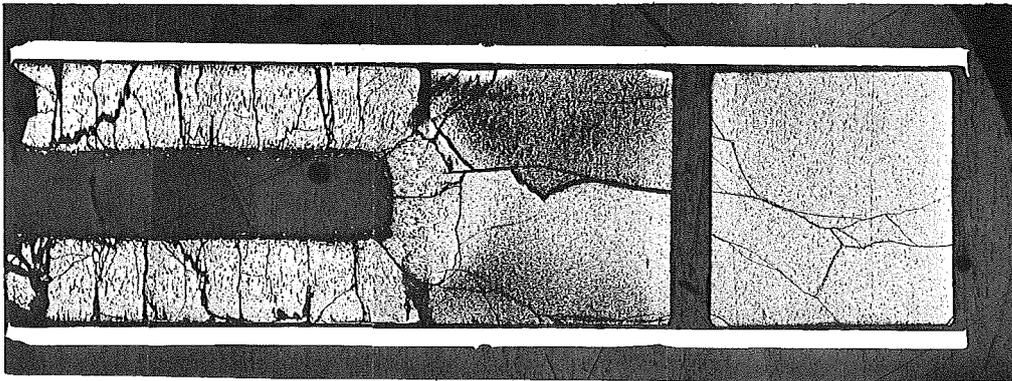




G 57



M 1:1



Brennstab G-61

Brennstoff

Form	: Tabletten
Zusammensetzung	: UO_2/PuO_2 (80/20)
Tablettendichte	: 89,5 % th.D.

Hülle

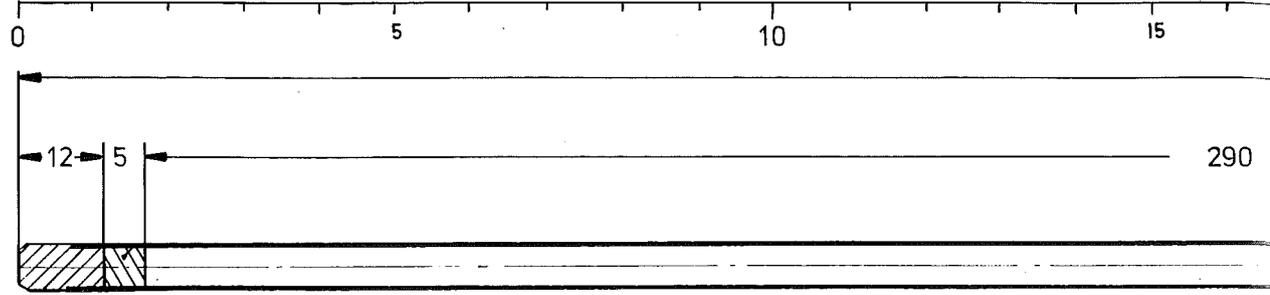
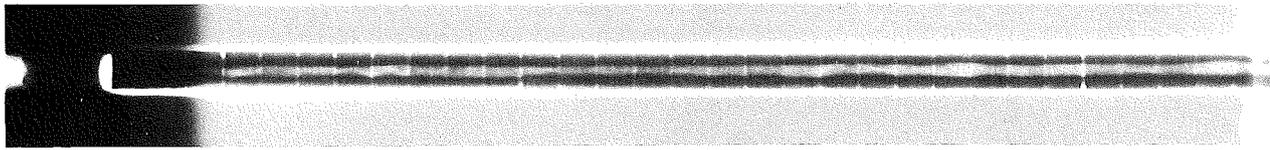
Material	: 1.4961
Außendurchmesser	: 6,00 mm
Wandstärke	: 0,38 mm

Geometrie

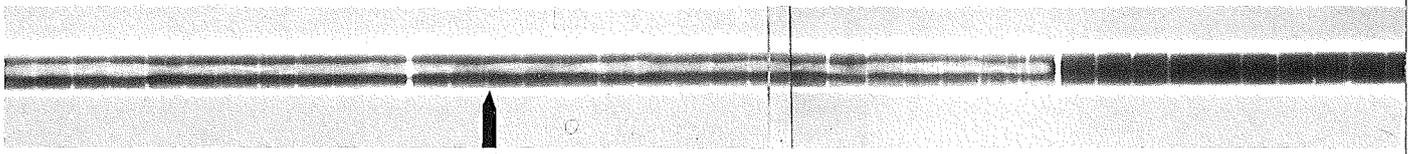
Länge des Brennstabes	: 508,8 mm
Länge der Brennstoffsäule	: 287,30 mm
Radiale Spaltweite	: 100 μm

Bestrahlung

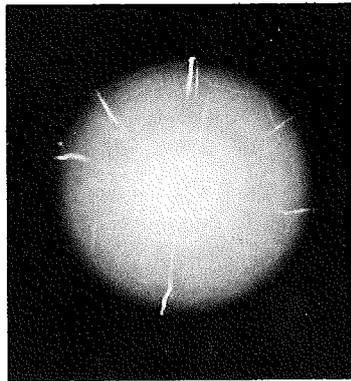
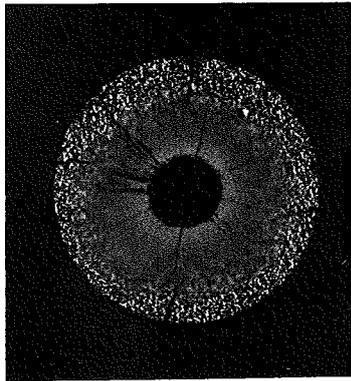
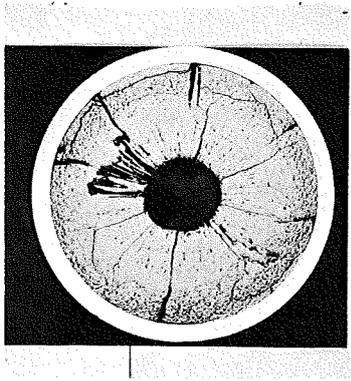
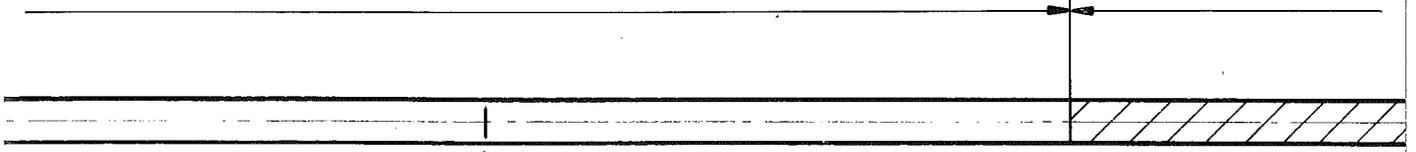
Dauer	: 202,7 Vollasttage
Ende	: 20.4.1970
Rechn. Abbrand (max.)	: 5,65 %
Stableistung (max.)	: 450 W/cm
Kühlmitteleintrittstemp.	: 230 °C
„ -austrittstemp. (max.)	: 574 °C



A

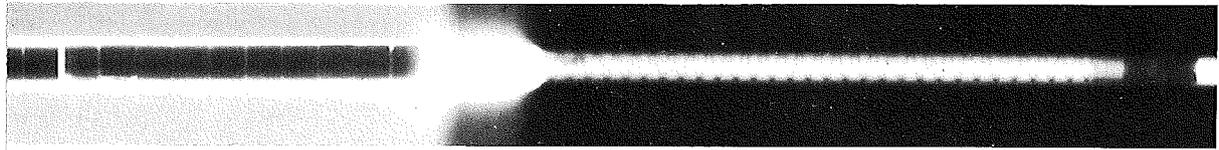


509.

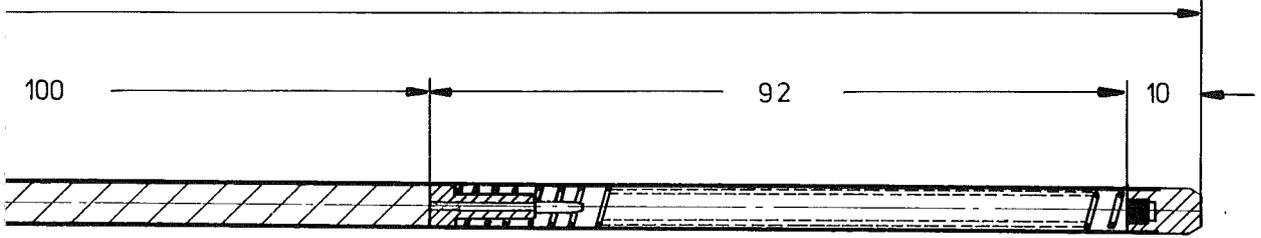


1

1 mm



G 61



M 1:1