



KfK 2772
Februar 1979

BR2- Kapselversuchsgruppe Mol-8c

Zerstörende Nachuntersuchung

P. Weimar, K. Keller, F. Bauer
Institut für Material- und Festkörperforschung
Projekt Schneller Brüter

Kernforschungszentrum Karlsruhe

KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE

Institut für Material- und Festkörperforschung

Projekt Schneller Brüter

KfK 2772

BR2-Kapselversuchsgruppe Mol-8C

- Zerstörende Nachuntersuchung -

P. Weimar
K. Keller
F. Bauer

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH., Karlsruhe

Büroexemplar Gesellschaft für Kernforschung m. b. H. Karlsruhe	Nr. /
--	----------

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

KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE GMBH
ISSN 0303-4003

Z u s a m m e n f a s s u n g

Im vorliegenden Bericht wurde die zerstörende Nachuntersuchung von 7 Stäben des Experimentes Mol-8C wiedergegeben. Mol-8C wurde konzipiert, um den Spaltgasdruckaufbau im Oxidstab in pile zu erfassen. Weiterhin sollte der Einfluß der Herstellungsporosität (bei konstanter Schmierdichte) bei zwei verschiedenen Stableistungen auf das Stabverhalten getestet werden.

Die erste Zielvorgabe wurde voll erfaßt. Der zweite Punkt der Zielvorstellung konnte wegen auftretender mechanischer Wechselwirkung nicht interpretiert werden.

Stab 9 - mit Zonen wechselnder Porosität (88 - 91 - 95 % TD) wurde hinsichtlich der Porositäts-Umverteilung näher untersucht. Die radialen Porositätsverteilungen wurden benutzt, um das verbesserte Oxid-Stab-Programm SATURN-3 zu testen. Weiterhin wurden die gemessenen Hüllaufweitungen mittels SATURN-3 nachgerechnet und verglichen.

A b s t r a c t

BR2-Capsule Irradiation Experiment Mol-8C
- Destructive Post Irradiation Examination -

In this report the destructive post irradiation examination of 7 pins of the experiment Mol-8C is presented.

The irradiation experiment Mol-8C has been conceived to measure in pile the fission gas pressure built up. Furtheron, the influence of fabrication porosity (constant smear density) on pin behaviour for two different rod powers should be tested. The first objective was full comprehended. The second point could not be interpreted because of mechanical interaction.

Pin No. 9 with zones of changing porosity (88 - 91 - 95 % TD) was examined for radial porosity redistribution. The radial porosity redistributions were recalculated by the improved oxide-pin-program SATURN-3. Furtheron, the diameter increase of the claddings were recalculated and compured by SATURN-3.

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

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

Januar 1979

P. Weimar, K. Keller, F. Bauer

I n h a l t :

1. Einleitung
2. Auslegungen des Experimentes
3. Zerstörende Nachuntersuchung
 - 3.1 Spaltgas-Abbrandproben
 - 3.2 Keramografie
 - 3.3 Porosimetrische Messungen
4. Interpretation der Porositätsverteilung mittels SATURN-3
 - 4.1 Vergleich der gerechneten und gemessenen Hüllaufweitungen
5. Schlußbetrachtung

Literatur

Anhang I

1. Einleitung

Die Versuchsgruppe Mol-8C setzte die mit Mol-8B begonnene Serie der Oxidbestrahlungen mit kontinuierlicher Messung des Spaltgasdruckaufbaues fort. Das Experiment umfaßte 10 Brennstäbe mit 520 mm aktiver Länge, die in sog. FAFNIR-Kapseln unter Cadmiumabschirmung im BR-2 bestrahlt werden. Als Brennstoff kam Mischoxid verschiedener Tablettendichte zum Einsatz.

Die zerstörungsfreie Nachuntersuchung sowie die Herstellungs- und Bestrahlungsgeschichte mit den in-pile Messungen wurde bereits im KFK-Bericht 2306/1/ beschrieben. Im vorliegenden Bericht sollen die zerstörende Nachuntersuchung von 7 Stäben sowie die porosimetrischen Messungen am Stab 9 näher betrachtet werden. Am Bestrahlungsexperiment Mol-8C waren naturgemäß eine größere Anzahl von Personen bzw. Institutionen beteiligt. In der nachfolgenden Tabelle werden der Zeitablauf des Experimentes und die für die Teilschritte verantwortlichen Personen angegeben.

Zeitraum	Teilarbeit	Hauptbeteiligte/ Institutionen
1967	Vorüberlegungen	Gerken, Karsten, IAR
1968	Bestrahlungskapsel FAFNIR	V.d.Hardt, Technologie CEN/Mol
1968	Auslegung und Spezifikation	Gerken, Kummerer, IAR/IMF
1971	Herstellung der Prüflinge	Dippel, Kummerer, IMF
1970-73	Organisation und Betreuung der Bestrahlung im BR2	V.d.Hardt, Kirchner, Freund, CEN/Mol, IMF
1974/75	Untersuchung in den Heißen Zellen KfK	Scheeder, Enderlein, Pejsa, Hellriegel, HZ-RBT
1974/75 und 1977	Organisation und Betreuung der NU	Weimar, IMF

2. Auslegungsdaten des Experimentes

Es sollen hier nur wesentliche Auslegungsdaten rekapituliert werden, da dieselben bereits detailliert in /1/ wiedergegeben wurden. Dasselbe gilt für die Herstellung der Stäbe und den Bestrahlungsablauf. Tabelle 1 enthält die Auslegungsdaten. Wie hieraus zu ersehen ist, handelt es sich um 4 Stäbe hoher Schmierdichte (92 % TD), um 4 weitere mit niedriger (83 % TD) und um 2 mit alternierender Dichte (87,6; 90,8; 95 % TD). Je 2 Stäbe der ersten beiden Gruppen sollten mit 350 (300) W/cm bzw. mit 550 (480) W/cm und die Stäbe 9 und 10 mit 550 (450) W/cm betrieben werden. Die Werte in den Klammern geben die tatsächlich erzielten Stabileistungen im Flußmaximum an. Für Stab 9 kann man weiterhin der Tabelle 1 entnehmen, daß die Schmierdichte mit 86 % TD konstant gehalten wurde. Dies geschah bei variabler Pellet-Dichte (88-91-95 % TD) durch unterschiedliche Spaltweiten (25-70-127 μm). Durch die Variation des Spaltes sollte die Frage geklärt werden, inwieweit das Brennstoffschwellen durch eine gezielte Anordnung der "inneren Porosität" beeinflußt werden kann /2,4/.

Tabelle 2 enthält einige wesentliche Daten der Spezifikation und Auslegung. Abbildung 1 gibt schematisch den Brennstabaufbau wieder, Tabelle 3 enthält die Ist-Werte der Herstellung des Stabes 9.

3. Zerstörende Nachuntersuchung

Die Stäbe 4,6 und 8 wurden noch nicht zerstörend untersucht.

3.1 Spaltgas-Abbrandproben

Von den Stäben 1,2,3,5,7,9 und 10 wurde jeweils eine kombinierte Abbrand- und Spaltgasprobe auf der Position des Flußmaximums entnommen. Tabelle 4 gibt die gemessenen Gasanteile (freies, Poren- und Gittergas) im Vergleich mit der theoretisch berechneten Menge wieder. Mitaufgeführt wird der radiochemisch bestimmte (Massenspektrometer) Abbrand, der auch der Berechnung der erzeugten Gasmenge zugrunde gelegt wird. Die Messung der freien Gase erwies sich in diesem Experiment trotz großem experimentellem Aufwand als problematisch. Wie schon eingangs erwähnt, war jeder Prüfling über eine Kapillare mit einem Druckaufnehmer während der Bestrahlung verbunden. Nach Beendigung der Bestrahlung wurden die Prüflinge abgekoppelt und die freien Spaltgase über eine spezielle Gasentnahmevorrichtung /1/ mittels Helium in Transportflaschen gespült.

Tabelle 1: Auslegungsdaten der Versuchsgruppe Mol 8 C /2/

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

1) Max. Stableistung zu Beginn eines Zyklus

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

Tabelle 2: Auslegung und Spezifikation /3/

Außenmaße	Gesamtlänge des Brennstabes (mm)	1024,4 (ohne Kapillare)
	Außendurchmesser (mm)	$6,0 \pm 0,03$
	Länge der Kapillare (mm)	3000
Einteilung der Stablänge	Oberer Endstopfen (mm)	23 (mit Stopfenkern)
	Spaltgasraum (mm)	250
	Führungsstück ohne Stützrohr (mm)	4
	Führungsstück mit Stützrohr (mm)	246
	Brennstoffsäule (mm)	500 ± 3
	Brutstoffsäule (mm)	195 ± 2
	Isoliertabletten (mm)	$13 \pm 0,5$
	Unterer Endstopfen (mm)	20 (mit Stopfenkern)
Hülle	Material	Nr. 1.4988
	Innendurchmesser (mm)	$5,24 \pm 0,03$
	Wandstärke (mm)	$0,38 \pm 0,03$
Kapillare	Material	Nr. 4401
	Außendurchmesser (mm)	$1,1 \pm 0,02$
	Wandstärke (mm)	$0,2 \pm 0,01$
Brennstoff	Material	UO_2 - PuO_2
	PuO_2 -Anteil (Gew.-%)	20 ± 1
	U-235-Anteil im UO_2 (Gew.-%)	93
	O:Me-Verhältnis	$2,0 \pm 0,03$
	Geom.Tablettendichte (% th.D)	
	Typ P u. Q	$95,0 \pm 2$
	Typ R u. S	$37,6 \pm 2$
	Typ T	87,6 / 90,8 / 95,0
	Tablettendurchmesser (mm)	
	Typ P, Q, R, S	$5,10 \pm 0,03$
Typ T	5,190 / 5,100 / 4,986	
Tablettenhöhe (mm)	$6,5 \pm 1$	
Schmierdichte (% th.D)		
Typen P u.Q / R u.S / T	90,0 / 83,0 / 86,0	
Brutstoff und Isoliertabl.	Material	UO_2
	Tablettendichte (% th.D)	$95 \pm 2,0$
	Tablettendurchmesser (mm)	5,10 u. 5,00
	Tablettenhöhe (mm)	6,5
Brennstoff-säule	Brennstoffabschnitt (mm)	$520 \pm 3,0$
	Brutstoffabschnitt (mm)	$195 \pm 2,0$
	Isoliertabletten (mm)	$13 \pm 0,5$
	Gesamtlänge (mm)	728 ± 5
Gasfüllung	1 atm Helium	
Oberflächenkontamination	Wischtest oberflächlich fixiert	unter Nachweisgrenze $22 \alpha\text{-Zerf./cm}^2 \cdot \text{min}$

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

Tabelle 3 :

Brennstoffsäule
für
Brennstab 8C-9

Tabelle 4: Spaltgasbilanz

Stab-Nr.	Freies Gas ¹⁾		Porengas		Gittergas		gemessen (cm ³)	theoret. (cm ³)
	cm ³	(%)	(cm ³)	(%)	(cm ³)	(%)		
1	77,06	81,8	9,99	10,6	7,11	7,6	94,16	282,6
2	- ²⁾		- ²⁾		2,29		-	332,7
3	16,87	57,6	5,75	19,6	6,68	22,8	29,30	293,7
4	98,71		-	-	-	-	-	348,8 ³⁾
5	172,61	92,9	10,17	5,5	2,97	1,6	185,80	295,7
6	110,52	-	-	-	-	-	-	324,7 ³⁾
7	119,59	94,4	5,04	4,0	2,08	1,6	126,60	298,0
8	148,41		-	-	-	-	-	318,7 ³⁾
9	- ²⁾		5,33	-	1,87	-	-	251,0
10	- ²⁾		3,70	-	1,23	-	-	304,9

1) korrigiert nach /1/

2) Messung entfiel infolge Bruch der Anschluß-Kapillare

3) mit rechnerischem Abbrand berechnet (s.Tab.4)

Die Gasbehälter wurden in den Heißen Zellen auf Spaltgas-Menge und -Zusammensetzung untersucht.

Als verantwortlich für die Diskrepanzen (in Tab.4) können 2 Hypothesen herangezogen werden:

- größere Leckage-Verluste beim Abfüllen des freien Spaltgases in die Transportbehälter
- größere Spaltgasfreisetzung aus den Poren und dem Oxidgitter infolge des "erweiterten" Plenumvolumens (Druckmeßsystem), so daß hier u.U. ein "Venting-Effekt" anzunehmen ist.

Tabelle 5 gibt die Berechnung der theoretisch erzeugten Spaltgasmenge wieder. Basis dieser Rechnung ist die Annahme, daß 0,3 Gasatome/Spaltung entstehen.

Tabelle 6 zeigt einen Vergleich der berechneten und gemessenen Abbrände im Flußmaximum. Generell liegen die gerechneten Werte etwas über den gemessenen Abbränden.

3.2 Keramografie

Folgende Gesichtspunkte werden bei der Auswahl der keramografischen Schlitze berücksichtigt:

1. Brennstabdaten (Stabaufbau, Brennstoffspezifikation)
2. Bestrahlungsdaten (Stableistungs- und Hülltemperaturverlauf entlang der Stabachse)
3. Ergebnisse der zerstörungsfreien Nachuntersuchung (Durchleuchtung, Gamma-Spektrometrie)

Es wurden sowohl Längs- als auch Querschlitze ausgeführt: Längsschlitze wurden am Übergang Brennstoff/Brutstoff und an Schadensstellen, Querschlitze im Bereich von Hüllthermoelementen angefertigt.

Tabelle 5: Berechnung der theoret. Spaltgasmenge und Enddrucke bei RT

Stab-Nr.	Freies Gas (cm ³)	Freies Gas (korr./1/ (cm ³)	mittl. Abbrand ⁶⁾ (MWd/kgM)	Brennstab- volumen V (cm ³)	V _{gas theor.} ⁴⁾ (cm ³)	P _{RT} ⁵⁾ (at)	Bemerkung
1	69,42	77,06	81,18	10,06	282,6	7,8	Prüfling defekt
2	- ²⁾	-	95,50	10,07	332,7	-	Prüfling defekt
3	15,20	16,87	84,20	10,08	293,7	1,71	Leckage bei Spalt- gas abfüllen
4 ¹⁾	88,93	98,71	100,75 ³⁾	10,08	348,8	10,00	
5	155,50	172,61	92,55	9,19	295,7	17,50	
6 ¹⁾	99,57	110,52	102,12 ³⁾	9,20	324,7	11,20	
7	107,67	119,51	93,46	9,21	298,0	12,10	Leckage bei Spalt- gas abfüllen
8 ¹⁾	133,70	148,41	100,9 ³⁾	9,21	318,7	15,00	
9	- ²⁾	-	75,24	9,64	251,0	-	Prüfling defekt
10	- ²⁾	-	91,42	9,64	304,9	-	Prüfling defekt

1) noch nicht zerstörend untersucht

2) Messung entfiel wegen Leckage

3) gerechnet nach /1/

4) gerechnet nach Annahme 0,30 Gasatome/Spaltung

5) $v_{pl} = 8,9 \text{ cm}^3$

6) siehe Tab. 6

+¹⁾ Innendruck bei Raumtemperatur

Tabelle 6: Vergleich der gerechneten max. Abbrände A3 (1) gemäß Fluß-Profil mit den massenspektrometrisch bestimmten Werten (2)

Prüfling Nr.	(1) A3 /1/	(2) Abbrand gemessen (MWd/kgM)	(3) mittlerer Abbrand ⁺⁺⁾ aus (2) (MWd/kgM)
1	104,4	94,84	81,18
2	116,8	111,57	95,50
3	112,3	98,37	84,20
4 ⁺⁾	117,7	-	100,75 ⁺⁺⁺⁾
5	114,8	108,12	92,55
6 ⁺⁾	119,3	-	102,12
7	116,6	109,18	93,46
8 ⁺⁾	117,9	-	100,90
9	88,7	87,9	75,24
10	114,9	106,8	91,42

+) noch nicht zerstörend untersucht

++) K = 0,856 (Korrekturfaktor der Flußmessung)

+++) aus A3 gemittelt mit K = 0,856

Abbildung 2 gibt die Dichteeinteilung des Stabes 9 wieder, mit eingezeichnet sind die Schnittlängen (7-17). Etwa im Flußmaximum befindet sich ein Hüllrohrdefekt, der offensichtlich von einer Gasblase im NaK der FAFNIR - Kapsel herrührt. Es wurden nun jeweils Schliffe der verschiedenen Dichtegruppen ausgewählt und der radiale Porositätsverlauf gemessen.

Abbildung 2 gibt die relative Lage dieser Proben zum Flußverlauf an. Es korrespondieren folgende Proben:

16 und	7	$\hat{=}$	χ min.	88 % TD Ausgangsdichte
13 und	10	$\hat{=}$	χ max.	88 % TD Ausgangsdichte
17 und	8	$\hat{=}$	χ mittel	91 % TD Ausgangsdichte
11 und	14	$\hat{=}$	χ max.	91 % TD Ausgangsdichte
9 und	15	$\hat{=}$	χ mittel	95 % TD Ausgangsdichte
12			χ max.	95 % TD Ausgangsdichte.

Die Querschliffe sind in den Abbildungen 3 bis 5 dargestellt. Als Parameter für jede Abbildung wurden die Tabletten der Ausgangsdichte gewählt. Weiterhin wird für jeden Querschliff die normalisierte, lokale Stableistung /1, s.S.60/ die Hüllaufweitung und der aus der radialen Messung (s.u.) gemittelte Endporositätswert angegeben. Die Auswertung der Querschliffe erfolgte on-line in der Keramografie der Karlsruher Heißen Zellen mittels eines Gefügeanalysators mit nachgeschaltetem Rechner / 5 / (Typ Wang 700 C). Es wurden jeweils 2 Profile (annähernd senkrecht zueinander) über den Durchmesser des Querschliffes vermessen. Es wurde eine Meßfenstergröße von ca. 150 μm x 150 μm gewählt. Es werden so ca. 11 Meßschritte für den Probenhalbmesser benötigt. Innerhalb der Meßfläche wird der Flächenanteil an Poren elektronisch gemessen (Fernsehbild 624 Zeilen) und registriert. Risse werden bei dieser Messung durch den Operateur nicht mit gemessen. Die vier Meßprofile über dem Halbmesser wurden nun arithmetisch gemittelt und in Abb. 6 bis 11 dargestellt. Wie man diesen Bildern entnehmen kann, sind diese Porositätsprofile trotz gleicher Ausgangsdichte und annähernd gleicher mittlerer lokaler Stableistung (K) recht unterschiedlich. Es sollte allerdings berücksichtigt werden, daß trotz on-line Messung dieser Verteilung die Abweichung vom Absolutwert kaum besser als + 10 % (optisch + elektronische Genauigkeit) sein dürfte.

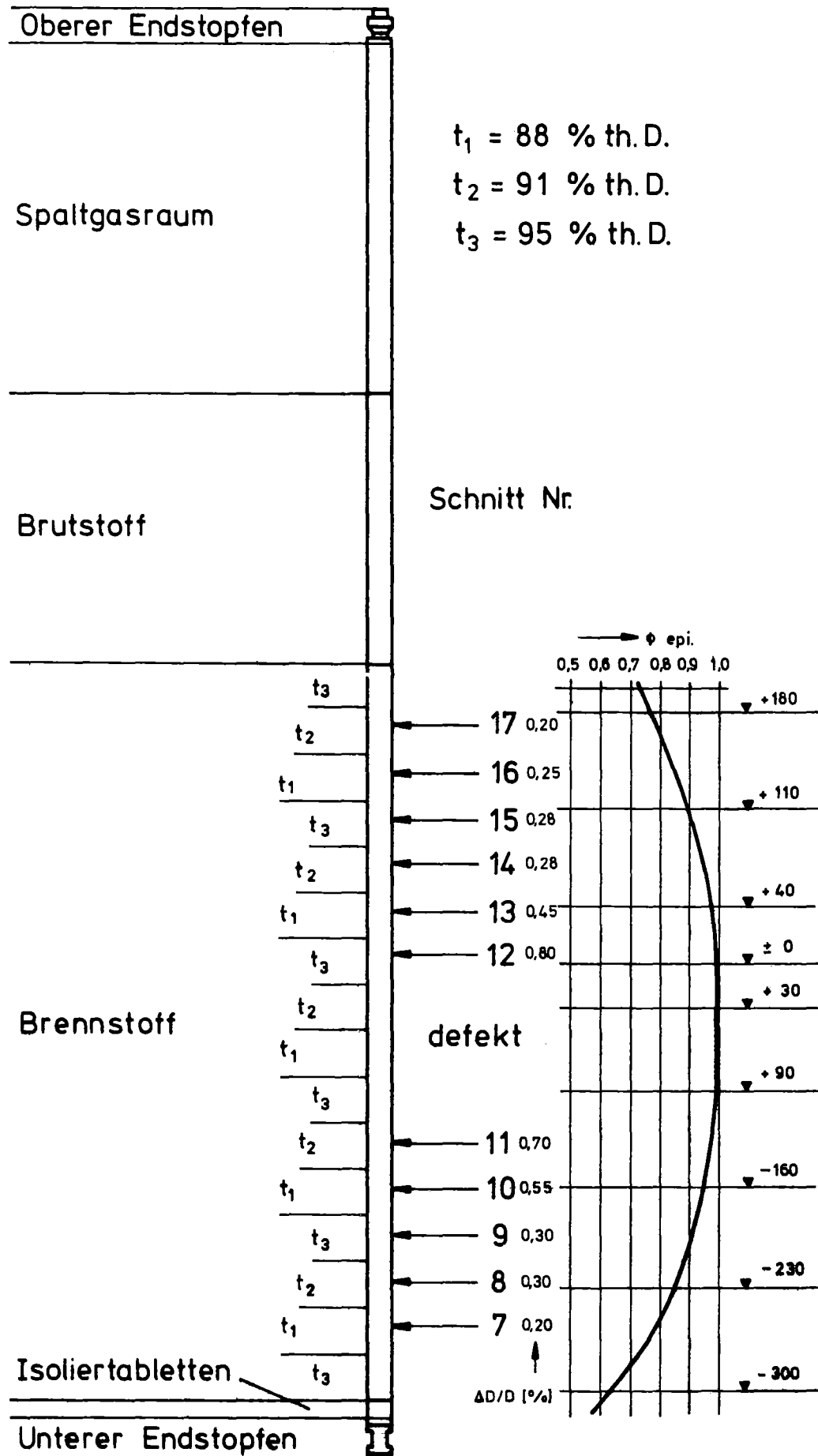
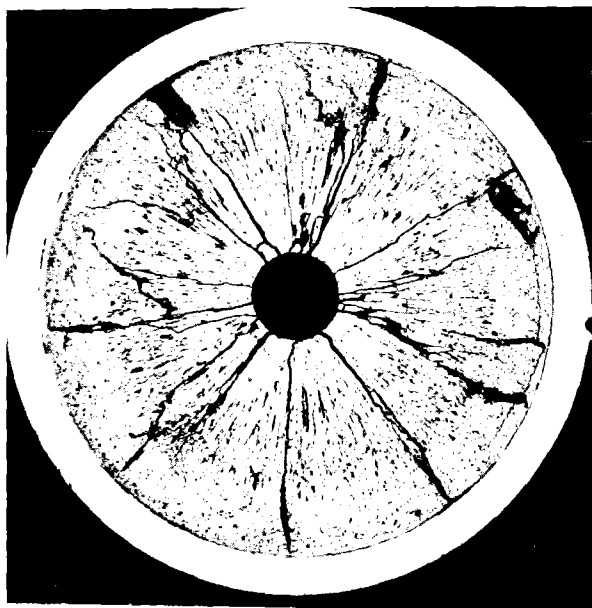
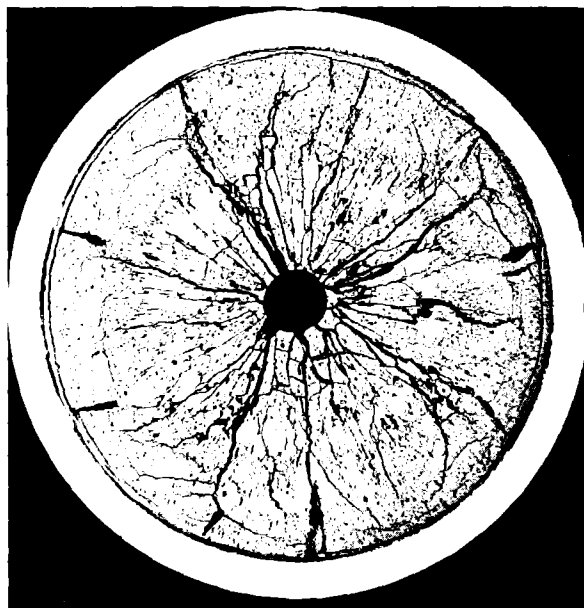


Abb. 2 Dichte-einteilung im Stab 9 und Schnittlage der Porositätsproben



HZ-17D-Mo18C-9-7/3 20x 1 mm

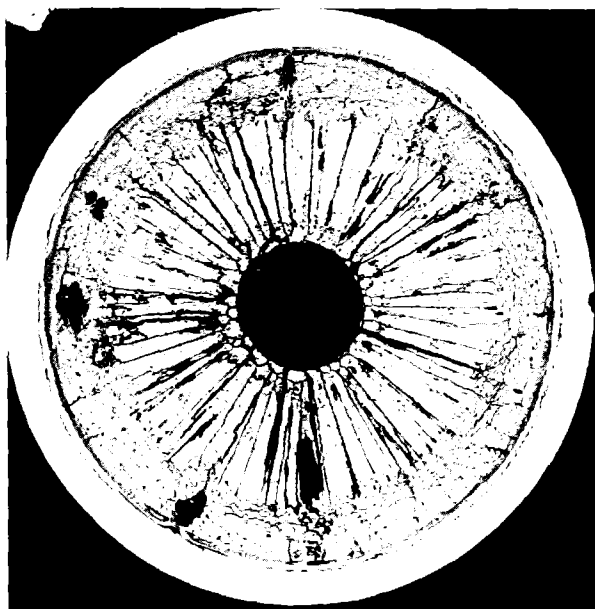
$k = 0,705$ $\Delta D = 0,20\%$ $\rho_M = 10,5\%$



HZ-17D-Mo18C-9-16/3 20x 1 mm

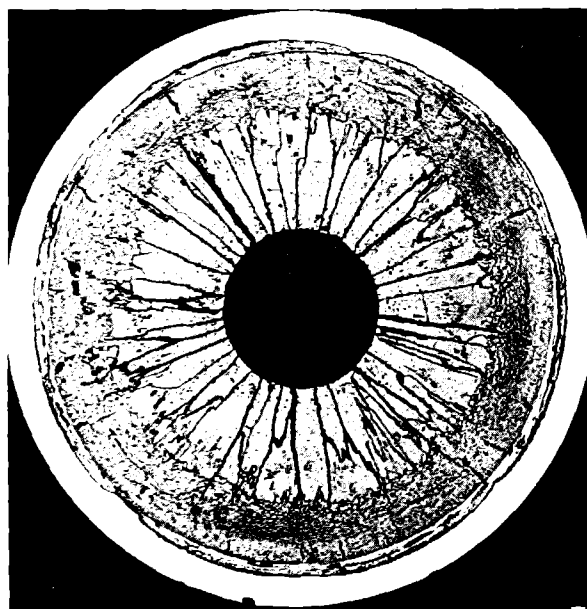
$k = 0,830$ $\Delta D = 0,25\%$ $\rho_M = 6,1\%$

Tablettendichte 88 % th.D.



HZ-17D-Mo18C-9-10/3 20x 1 mm

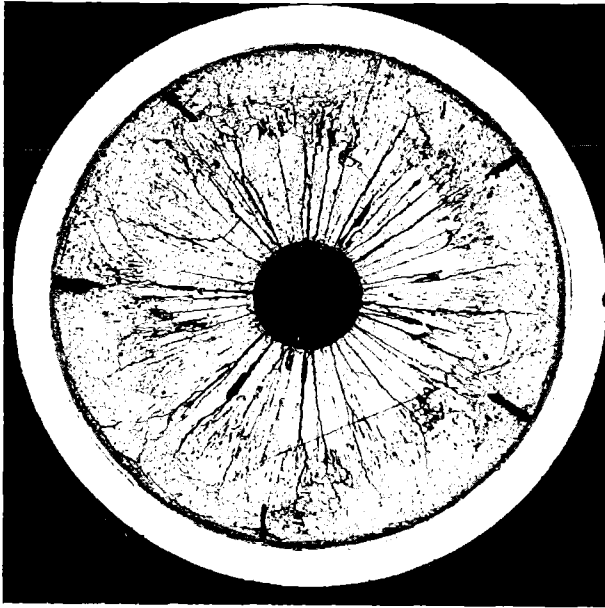
$k = 0,940$ $\Delta D = 0,55\%$ $\rho_M = 9,7\%$



HZ-17D-Mo18C-9-13/3 20x 1 mm

$k = 0,972$ $\Delta D = 0,45\%$ $\rho_M = 4,6\%$

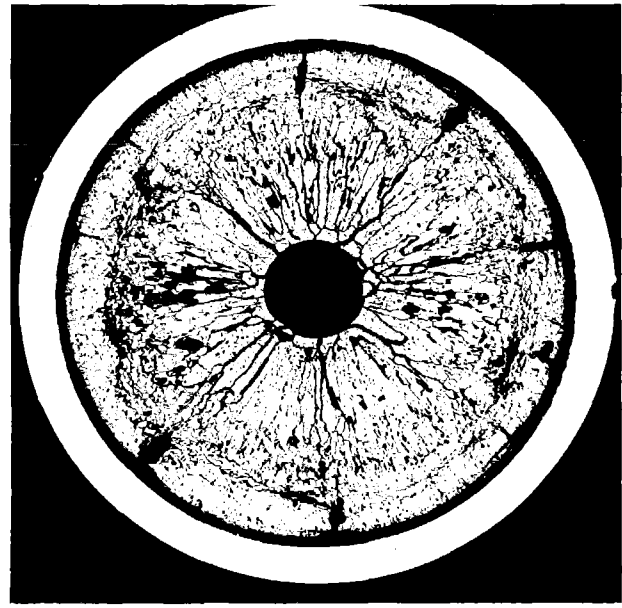
Abb. 3 Querschliffe für Porositätsmessung nach Betrieb bei unterschiedlicher, lokaler Stabileistung



HZ-17D-Mo18C-9-8/3 20x

1 mm

$k=0,795$ $\Delta D=0,30\%$ $\rho_M=5,3\%$

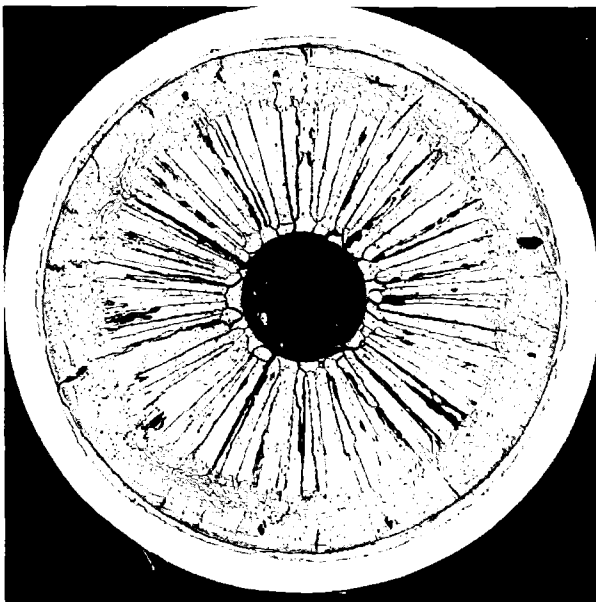


HZ-17D-Mo18C-9-17/3 20x

1 mm

$k=0,770$ $\Delta D=0,20\%$ $\rho_M=9,2\%$

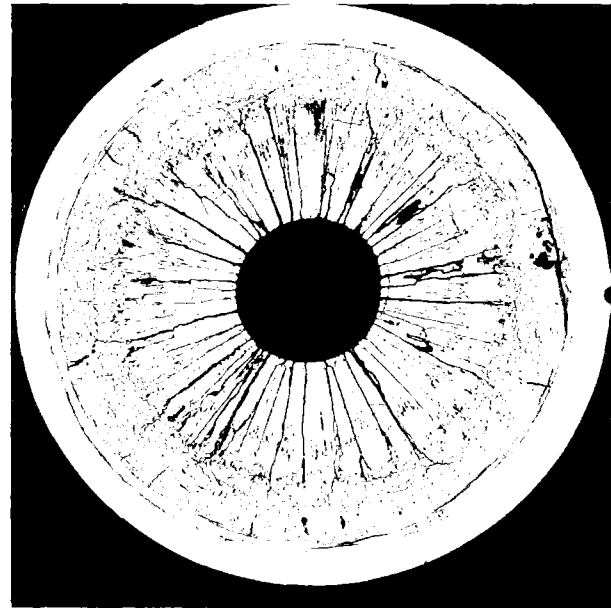
Tablettendichte 91 % th.D.



HZ-17D-Mo18C-9-11/3 20x

1 mm

$k=0,965$ $\Delta D=0,70\%$ $\rho_M=4,3\%$

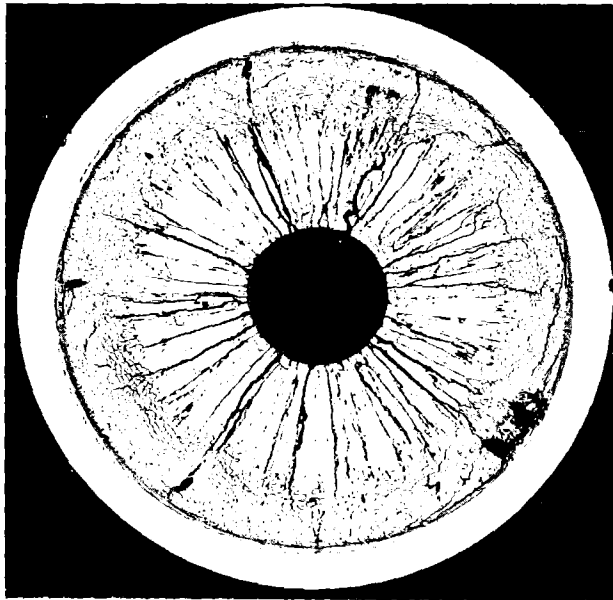


HZ-17D-Mo18C-9-14/3 20x

1 mm

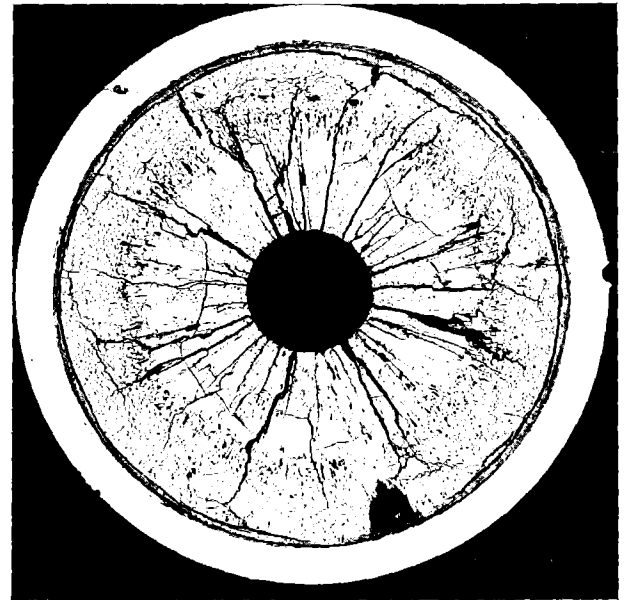
$k=0,934$ $\Delta D=0,28\%$ $\rho_M=5,2\%$

Abb. 4 Querschliffe für Porositätsmessung nach Betrieb bei unterschiedlicher, lokaler Stableistung



HZ-17D-Mo180-9-9/3 20x 1 mm

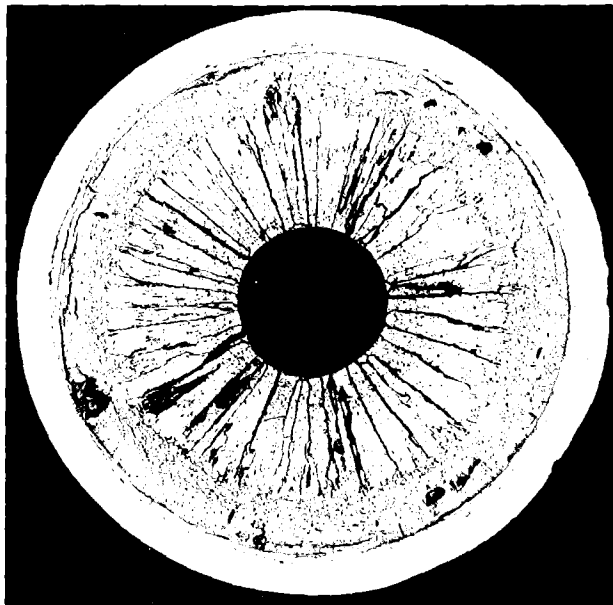
$k=0,856$ $\Delta D=0,30\%$ $\rho_M = 9,9 \%$



HZ-17D-Mo180-9-15/3 20x 1 mm

$k=0,895$ $\Delta D=0,28\%$ $\rho_M = 7,3 \%$

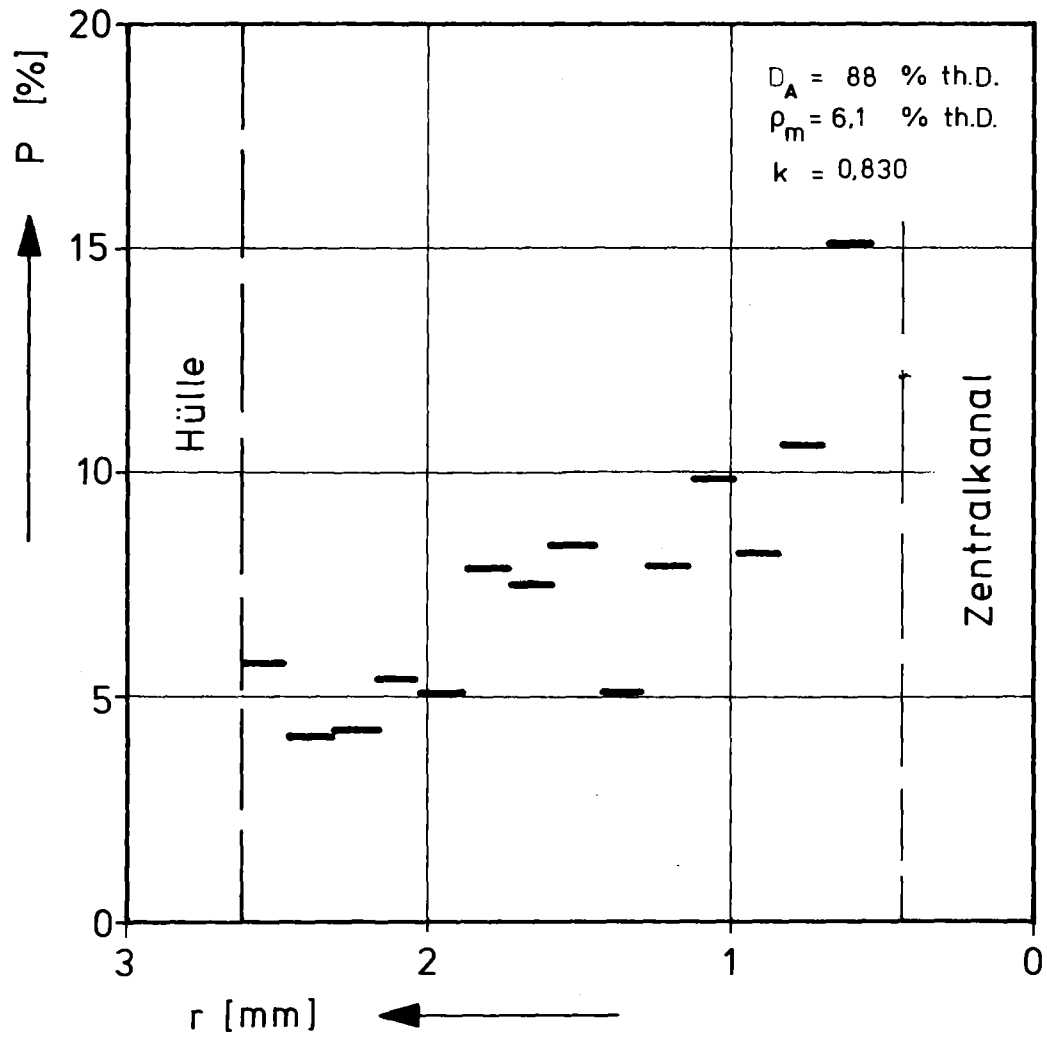
Tablettendichte 95 % th.D.



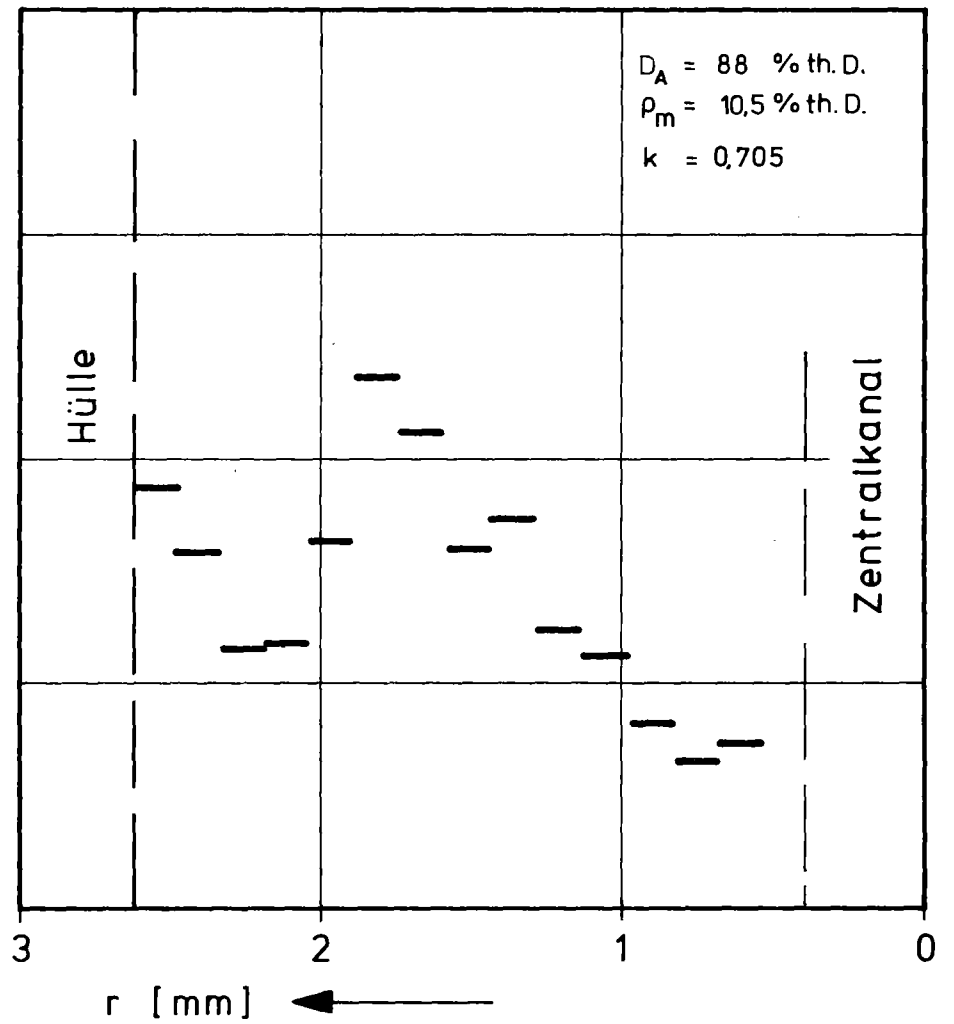
HZ-17D-Mo180-9-12/3 20x 1 mm

$k=0,984$ $\Delta D = 0,80\%$ $\rho_M = 5,0 \%$

Abb. 5 Querschliffe für Porositätsmessung nach Betrieb bei unterschiedlicher, lokaler Stabileistung

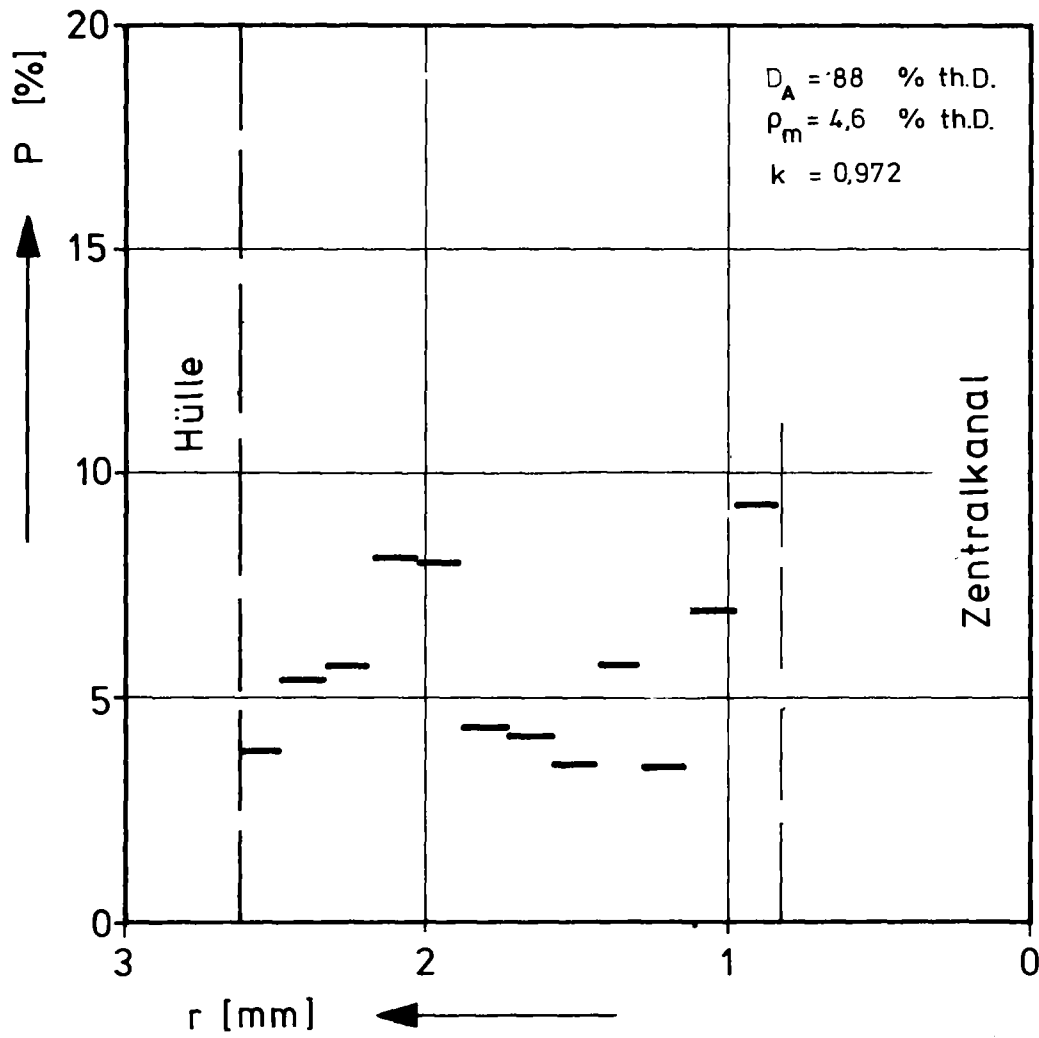


Schnitt Nr. 16

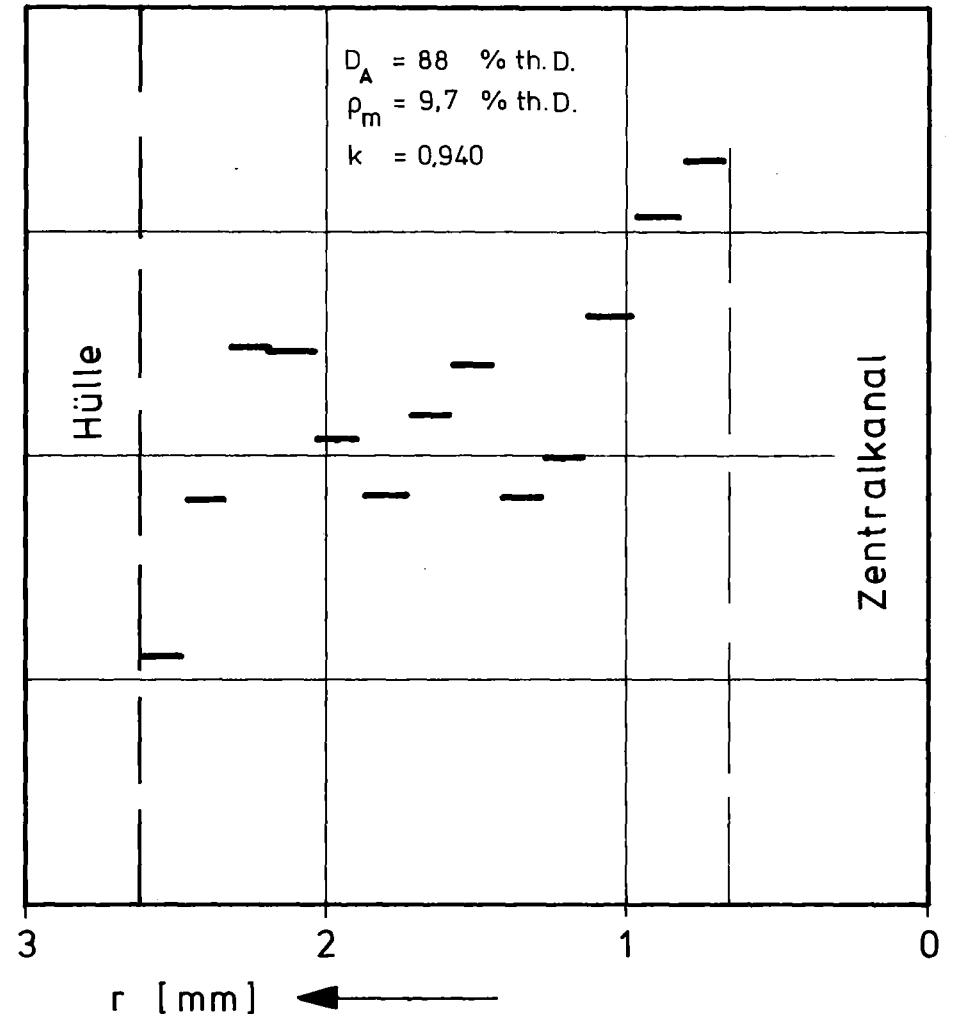


Schnitt Nr. 7

Abb. 6 Mittlere, gemessene Porenverteilung für Querschnitte annähernd gleicher lokaler Stableistung im Stab 9

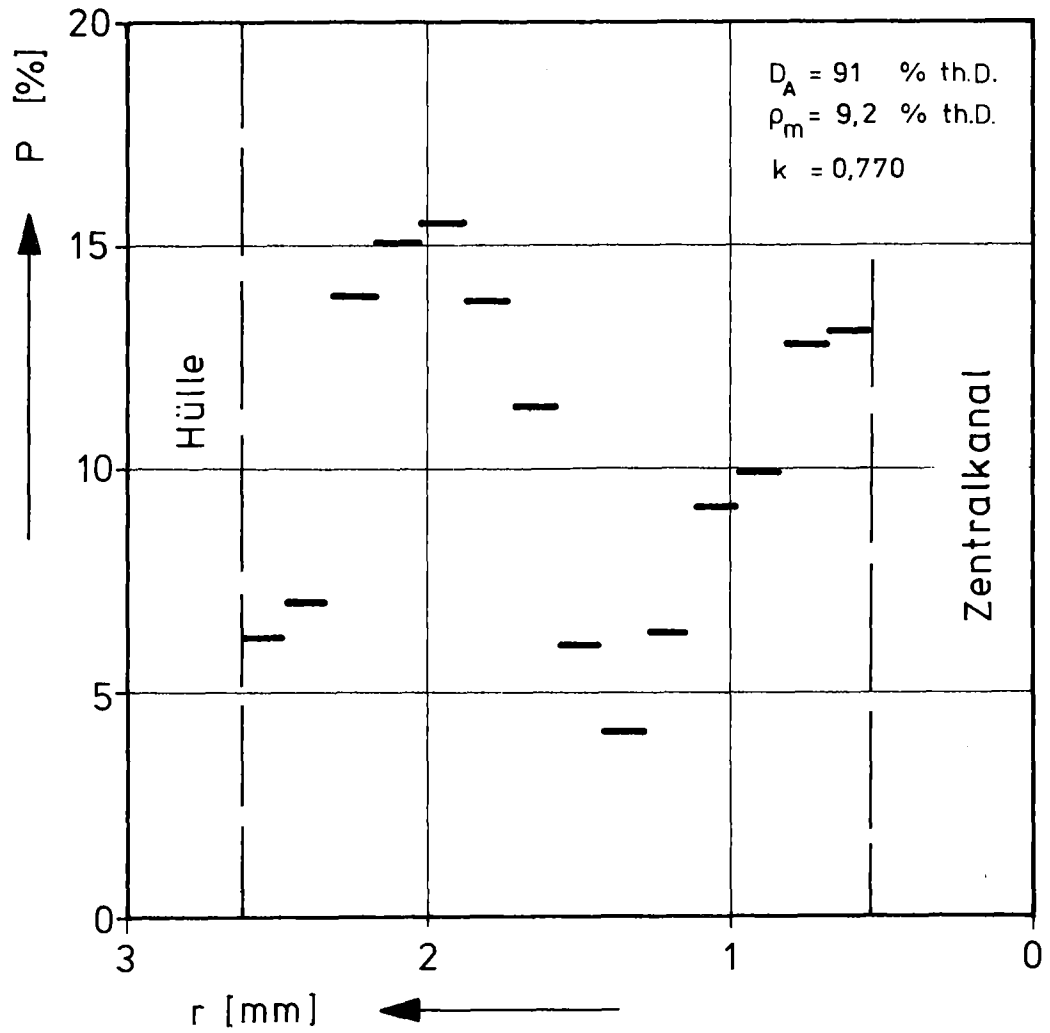


Schnitt Nr. 13

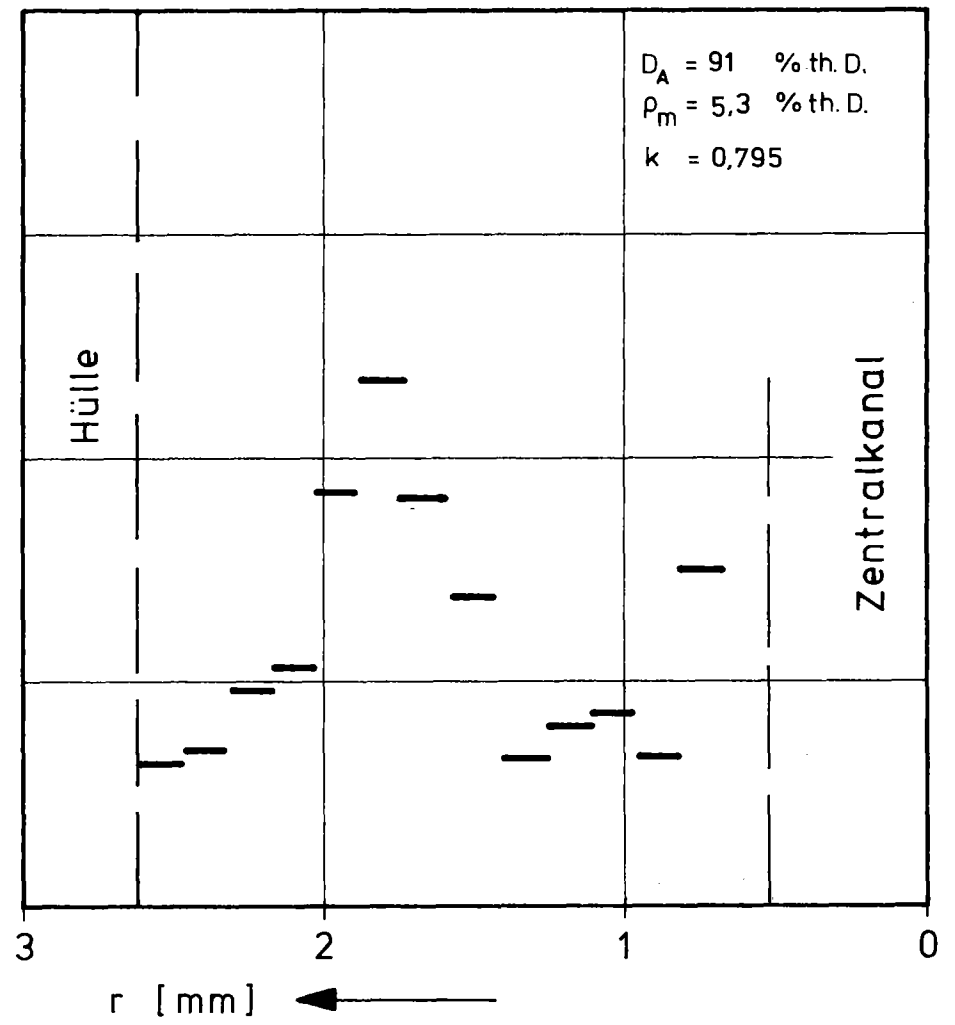


Schnitt Nr. 10

Abb. 7 Mittlere, gemessene Porenverteilung für Querschnitte annähernd gleicher lokaler Stableistung im Stab 9

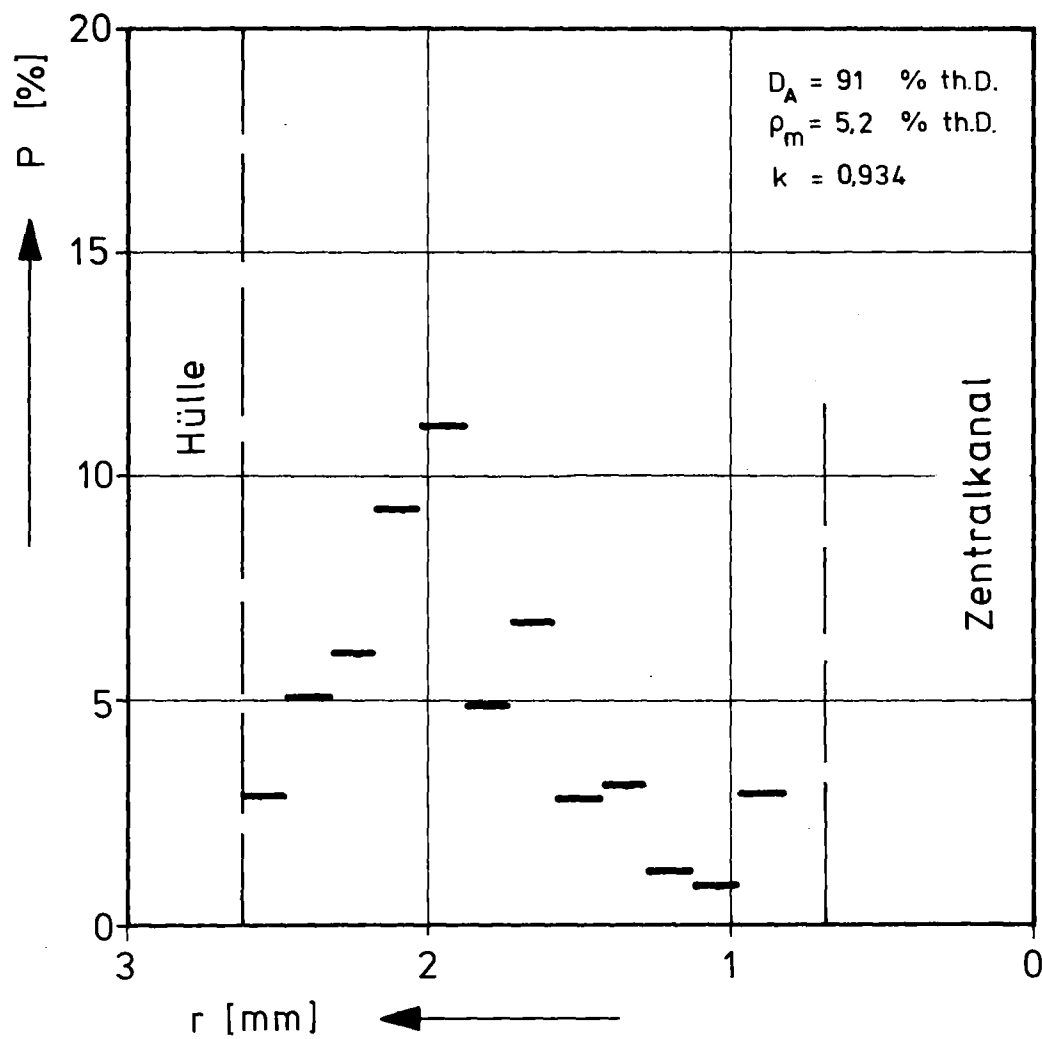


Schnitt Nr. 17

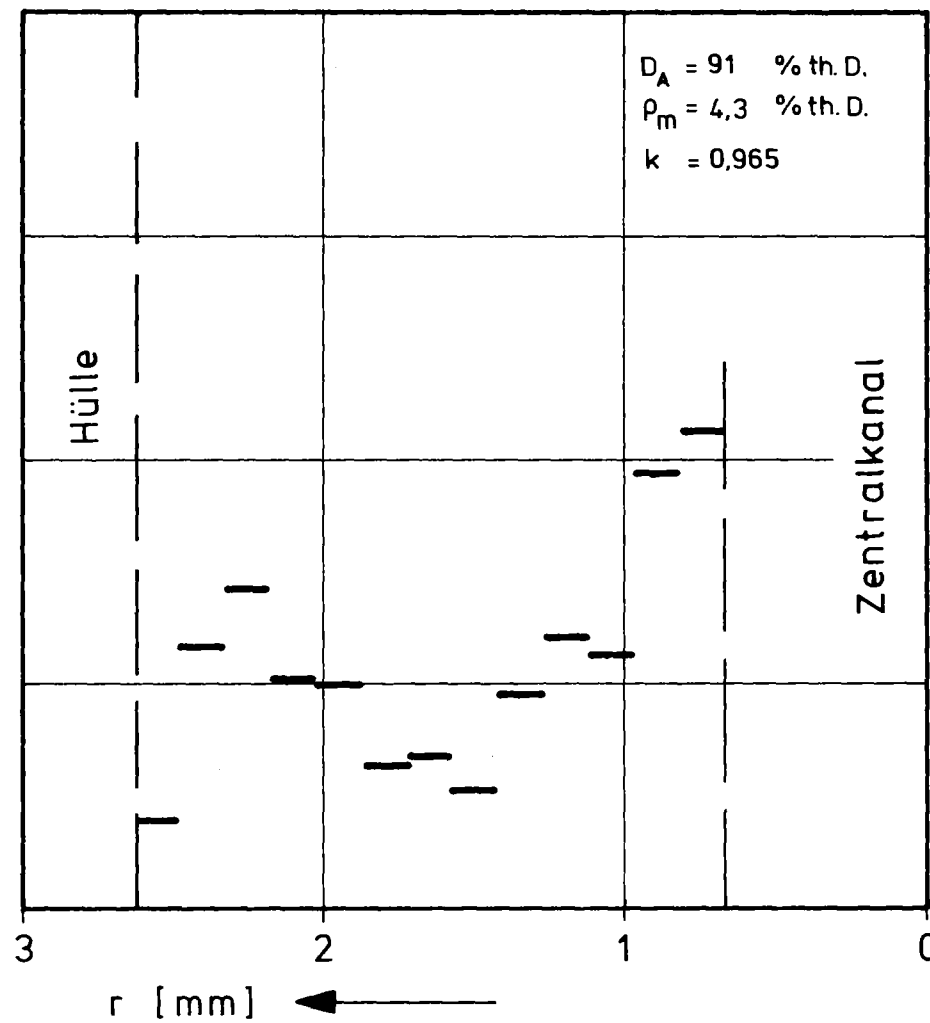


Schnitt Nr. 8

Abb. 8 Mittlere, gemessene Porenverteilung für Querschnitte annähernd gleicher lokaler Stableistung im Stab 9

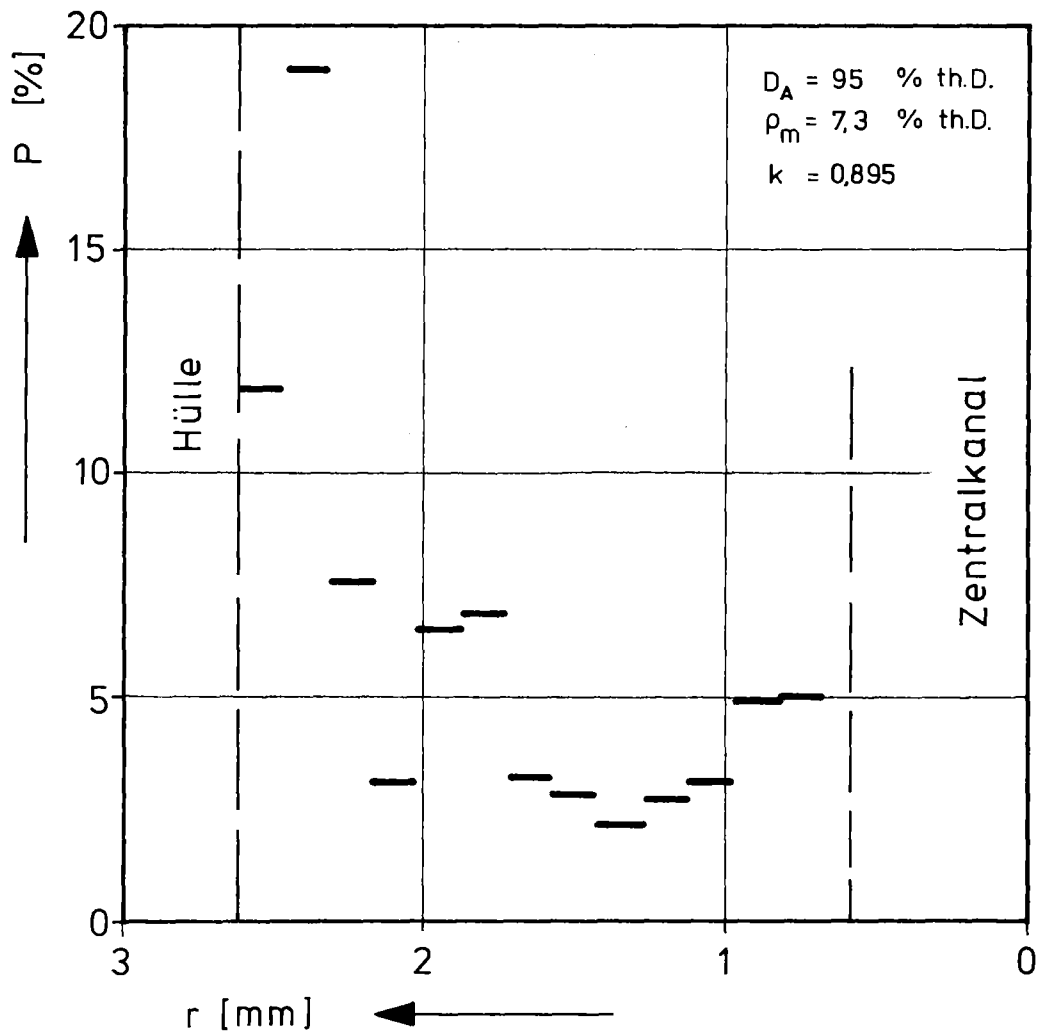


Schnitt Nr. 14

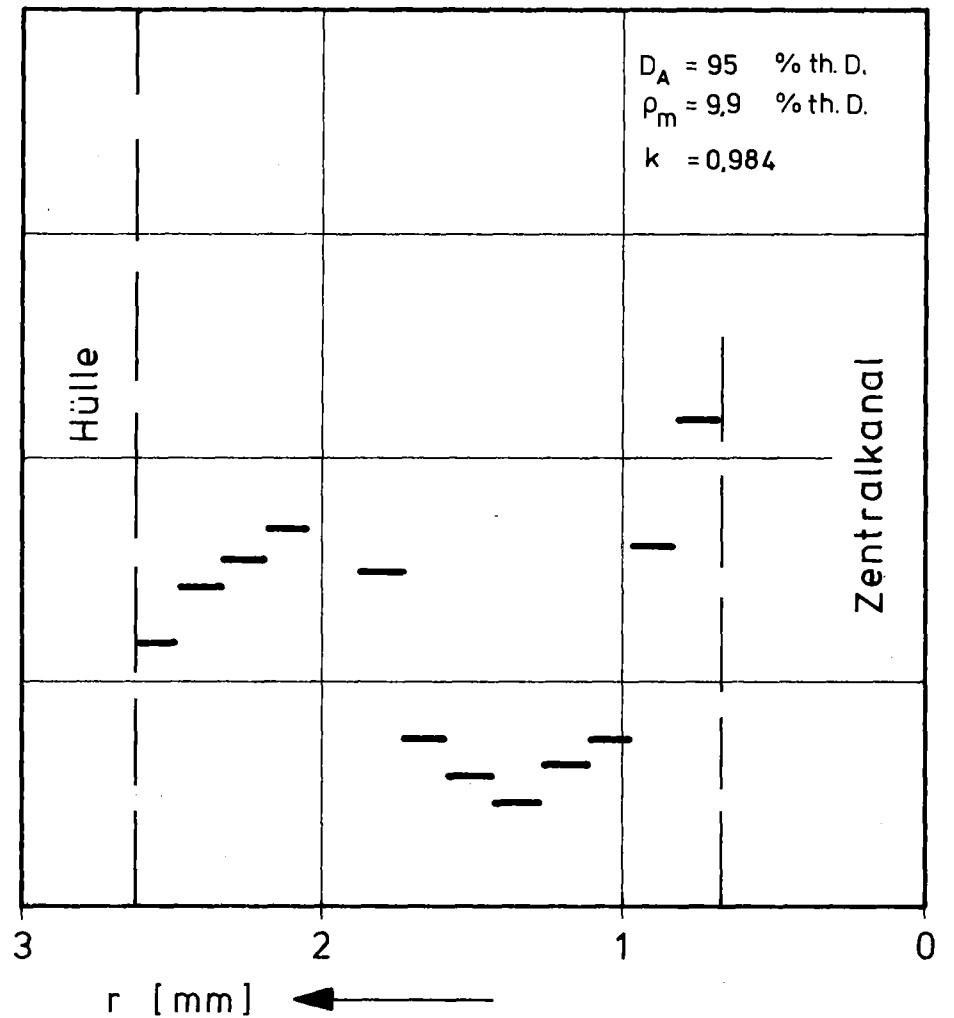


Schnitt Nr. 11

Abb. 9 Mittlere, gemessene Porenverteilung für Querschnitte annähernd gleicher lokaler Stableistung im Stab 9

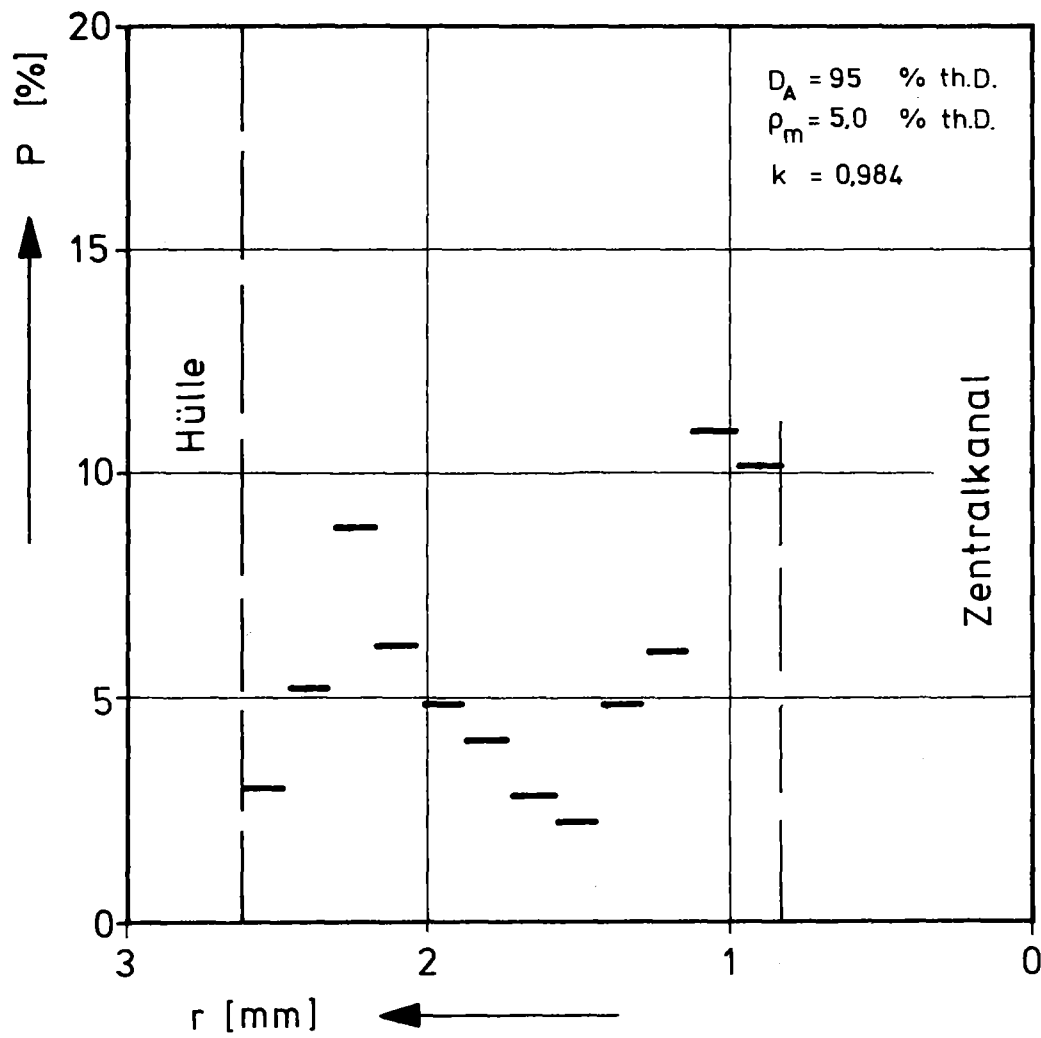


Schnitt Nr. 15

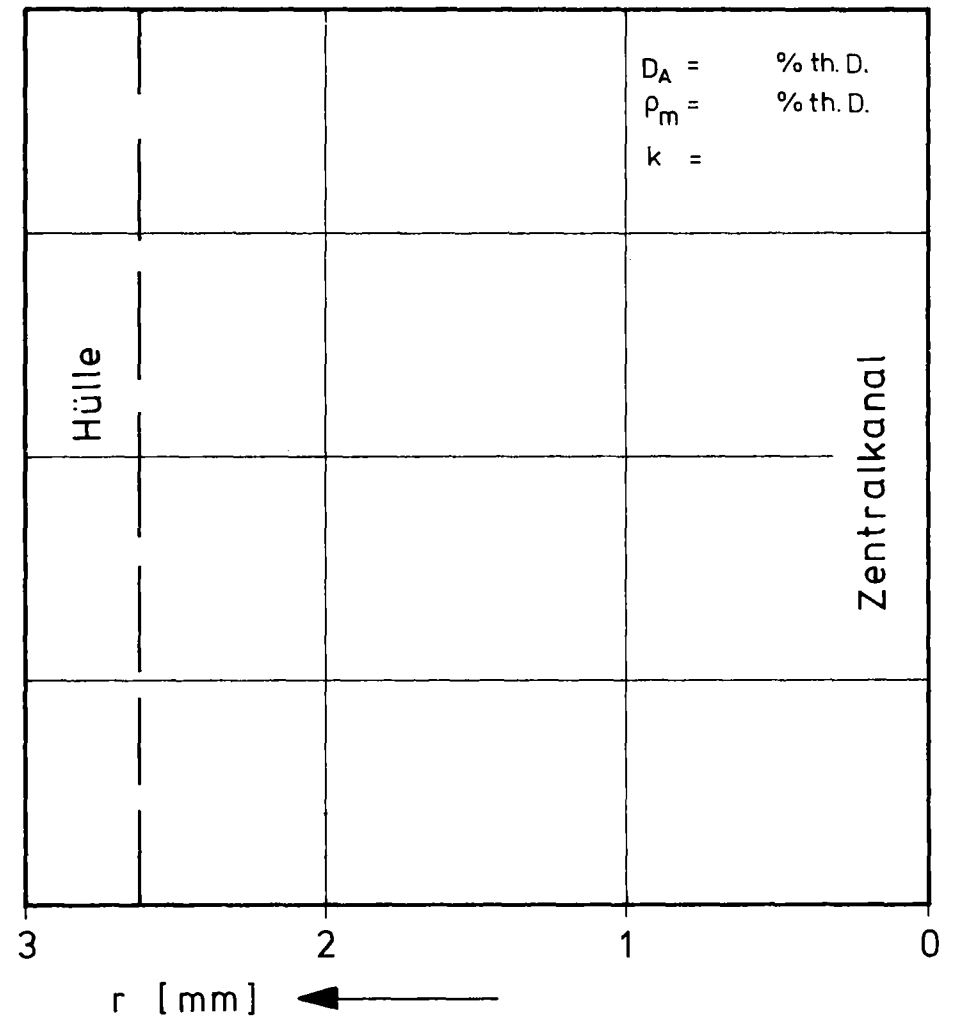


Schnitt Nr. 9

Abb. 10 Mittlere, gemessene Porenverteilung für Querschnitte annähernd gleicher lokaler Stableistung im Stab 9



Schnitt Nr. 12



Schnitt Nr.

Abb. 11 Mittlere, gemessene Porenverteilung für Querschnitte annähernd gleicher lokaler Stableistung im Stab 9

Für die Dokumentation (s. Anhang I) einer Schliffebene wurde folgendes Schema angewandt:

Aufnahmetyp	Vergrößerung	Bearbeitung der Fläche
1. Totalaufnahme	20 x	poliert
2. α -, β -, γ - Autoradiografie	20 x	"
3. Panoramaaufnahme	100 x	"
4. Detailaufnahme	100, 200, 500 x	"

Von jedem Prüfling wird eine kurze Zusammenfassung der Material- und Brennstoffdaten und eine schematische Stabgeometrie mit den Schnittlagen auf dem jeweiligen Blatt gegeben. Auf weiteren Einzelblättern werden gezeigt:

- a) α -Autoradiografien zur Darstellung der Pu-Verteilung am Bestrahlungsende,
- b) α - Autoradiografien zur Charakterisierung der Spaltproduktverteilung,
- c) β - γ -Autoradiografien zur Charakterisierung der Spaltproduktverteilung,
- d) eine nicht detailspezifische Auswahl aus einer großen Anzahl von keramografischen Aufnahmen.

Die Zahlen auf der Hülle der Übersichtsaufnahmen geben die Bildnummern der Detailaufnahmen und deren Lage in den Schnittebenen an. In den Detailaufnahmen werden axiale und radiale Materialversetzungen oder -Verlagerungen des Brennstoffes und Nachweise für Hüllinnenkorrosion in verschiedenen Vergrößerungen gezeigt.

3.3 Porosimetrische Messungen

Wie aus Tabelle 1 hervorgeht, handelt es sich bei den Stäben 9 und 10 um Brennstäbe mit Tabletten unterschiedlicher Sinterdichte bei konstanter Schmierdichte von 86 % TD. Tabelle 3 enthält die individuellen Daten der Brennstoffsäule des Stabes 9. Wie aus den Tabelle ersichtlich ist, sind je 5 Tabletten zu einer Dichtegruppe (t_1, t_2, t_3) zusammengefaßt worden.

In Tabelle 7 wird die mit Hilfe der Porositätsprofile flächenmäßig gewichtete Pellet- und Schmierdichte nach der Bestrahlung mit den Ausgangswerten verglichen. Da es sich ja um Pellets ungleicher Außendurchmesser handelte (wegen der konst. Schmierdichte von 86 % TD), ist die Analyse der Porenumverteilung hier erschwert. Vergleicht man die gemessenen Zentralkanaldurchmesser mit den über den Ausgangsringspalt berechneten (Tab.7), so kommt man zu folgendem Ergebnis:

- Pellets mit Ausgangsdichte 88 % TD: Zentralkanal entstanden durch Porenwanderung und teilweisen Einbau des Spalts
- Pellets mit Ausgangsdichte 91 % TD: Zentralkanal entstanden fast ausschließlich durch Einbau des Spalts
- Pellets mit Ausgangsdichte 95 % TD: Wegen des großen Fertigungsspalt (127 μ m rad.) fand hier eine Erhöhung der Restporosität des Pellets statt. Der Spalt wurde nicht restlos in den Zentralkanal eingebaut.

In den Abbildungen 12 bis 16 wird für sämtliche 10 Stäbe die axiale Verteilung der Hüllaußentemperatur und der lokalen Hüllaufweitung wiedergegeben.

In /5/ wurden mittels SATURN-3 diese Werte für die Stäbe 3,7 und 9 nachgerechnet.


4. Interpretation der Porositätsverteilung mittels SATURN-3

Es wurde der Brennstab 8C-9, für den bereits die Porositätsprofile in verschiedenen Höhenkotes vorlagen, mittels des Rechenprogrammes SATURN-3 /5/ nachgerechnet.

Abbildung 17 gibt das berechnete radiale Temperaturprofil in Höhe des Thermo-elementes (TE) 8 für den letzten Zyklus im BR-2 wieder. In Abbildung 18 wird die gemessene Porositätsverteilung mit der nach SATURN-3 berechneten verglichen. Wie aus der Abbildung hervorgeht, hat das gerechnete Porositätsprofil ein Minimum näher am Zentralkanal als das gemessene.

Weiterhin unterschiedlich sind die Restporositäten im Minimum um ca. 4 %. Der Verlauf der gerechneten Porositätsverteilung deutet auf eine höhere Porenwanderungsgeschwindigkeit hin. Nichols /6,7/ geht von der Annahme aus, daß der Druck in der Sinterpore während der Wanderung konstant 1 at beträgt. Eine Erhöhung dieses Porendruckes durch Spaltgasaufnahme wird in diesem Modell nicht betrachtet.

Tabelle 7: Schmierdichte, Tablettendichte vor und nach der Bestrahlung

Schnitt Nr.	Schmierdichte Fabrikation (%)	Schmierdichte nach Bestrahlung (%)	Porosität der Tabletten		Tabletten Ist- ϕ (mm)	Zentralkanal- ϕ	
			vor Bestr. (%)	nach Bestr. (%)		aus Spalt best. (mm)	gemessen (mm)
17	 86	87,5	9	9,5	5,104	1,07	1,05
16		83,2	12	6,3	5,192	0,80	0,65
15		86,7	5	7,8	4,870	1,95	1,30
14		86,8	9	5,7	5,105	1,43	1,53
13		86,4	12	5,5	5,193	0,71	1,60
12		86,8	5	5,1	4,860	1,95	1,55
11		89,5	9	4,6	5,105	1,43	1,33
10		85,0	12	10,3	5,192	0,80	1,30
9		86,6	5	6,5	4,984	1,63	1,45
8		90,2	9	5,6	5,103	1,07	1,10
7	89,5	12	7,9	5,195	0,71	0,90	

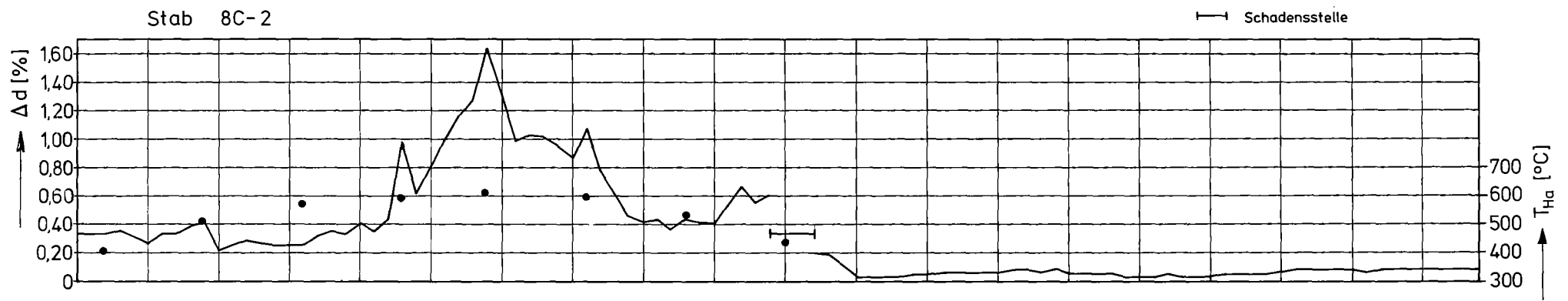
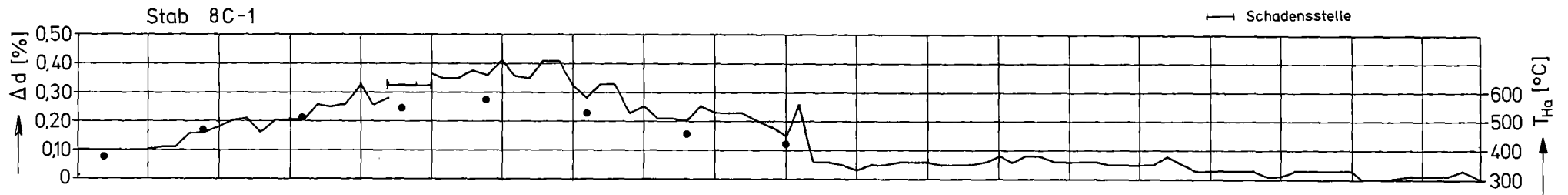
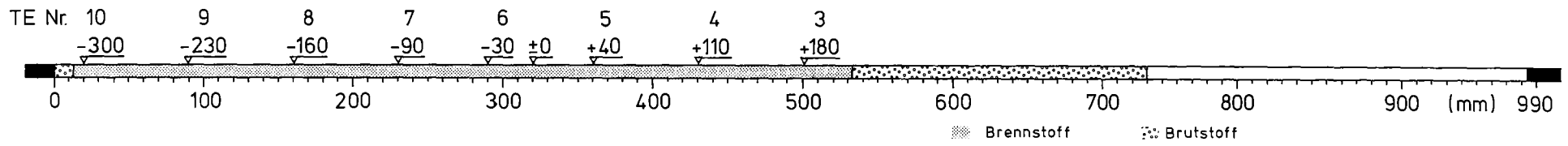


Abb. 12 Hüllaufweitung Δd in % und zeitlich gemittelte Hüllaußentemperatur T_{Ha}

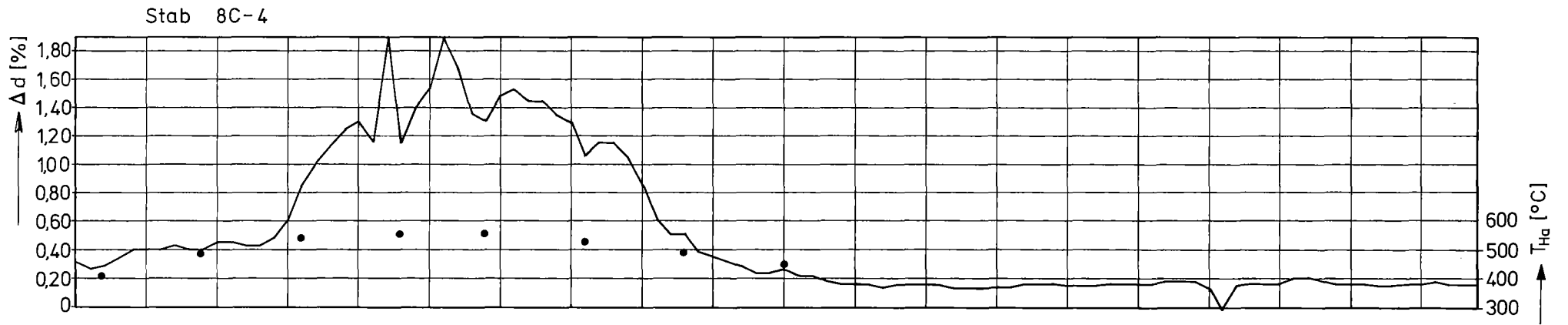
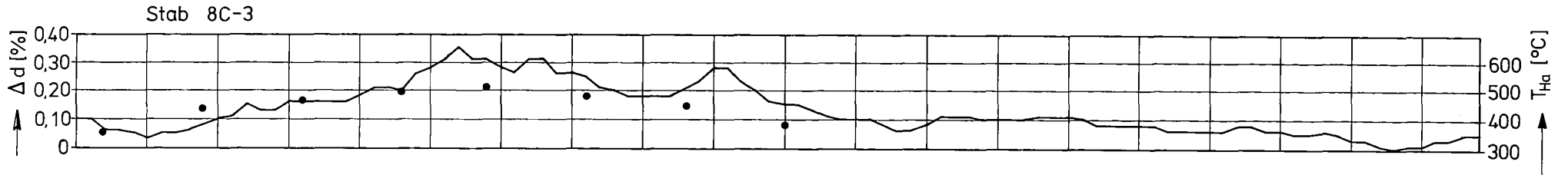
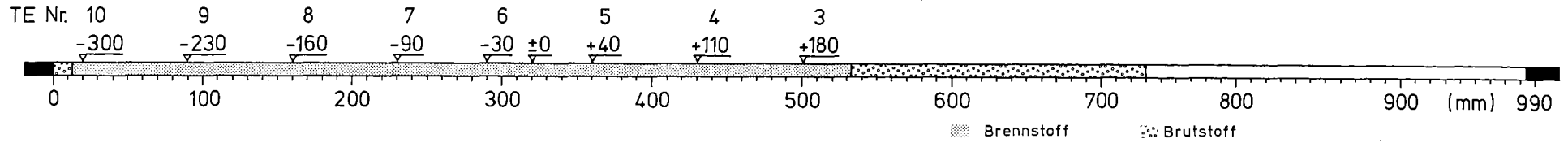


Abb. 13 Hüllaufweitung ΔD in % und zeitlich gemittelte Hüllaußentemperatur T_{Ha}

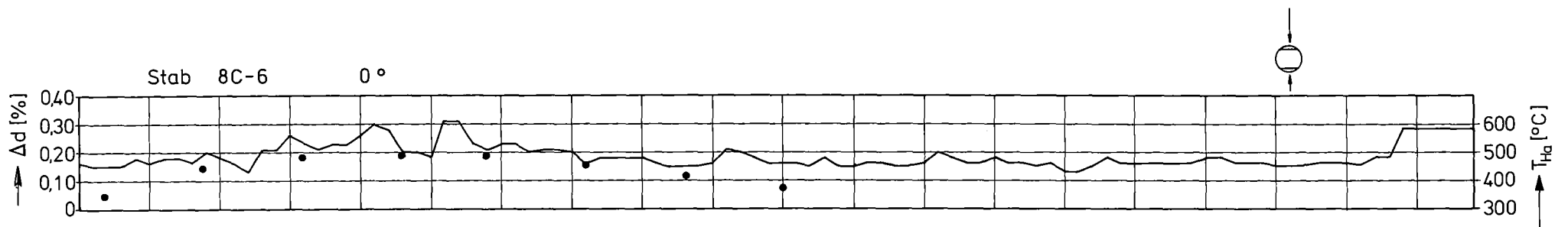
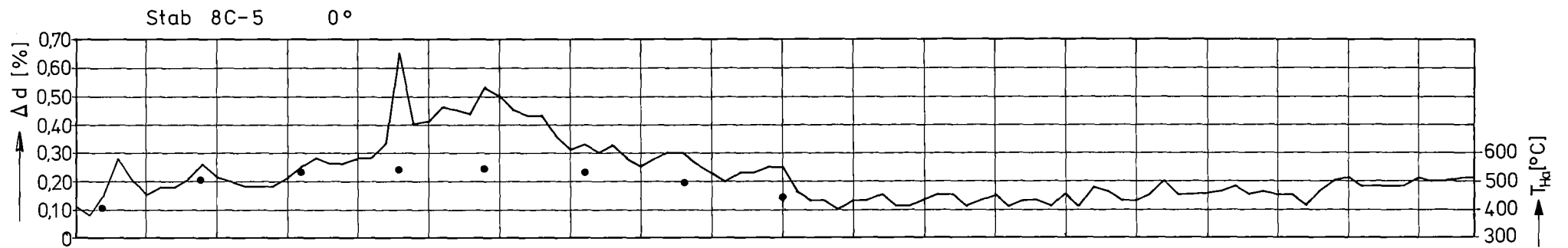
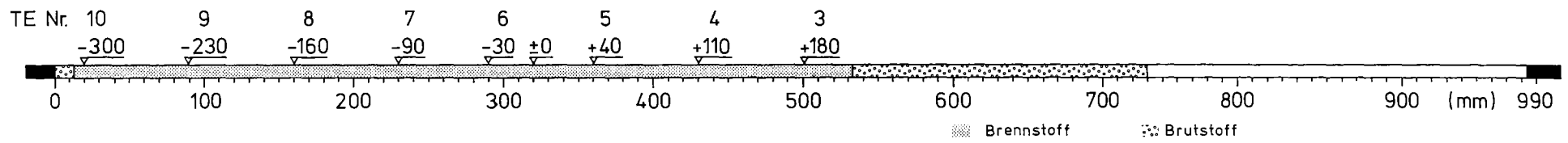


Abb. 14 Hüllaufweitung Δd in % und zeitlich gemittelte Hüllaußentemperatur T_{Ha}

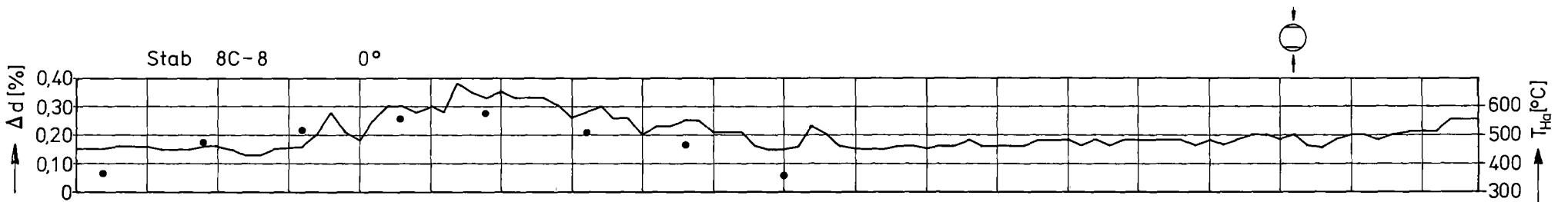
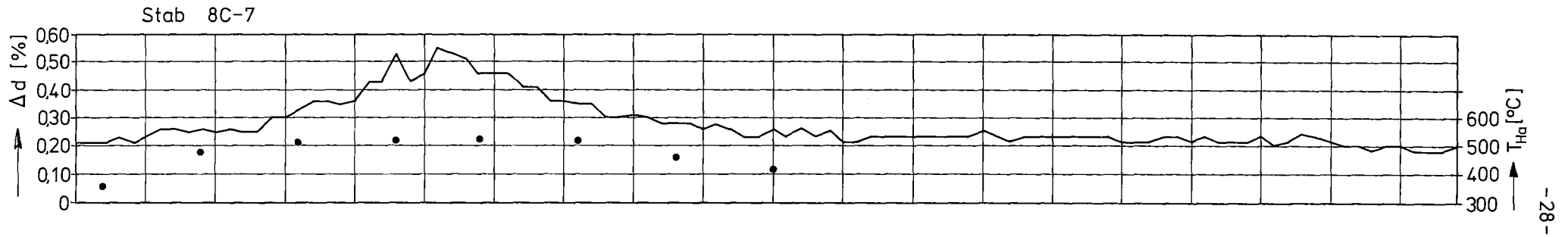
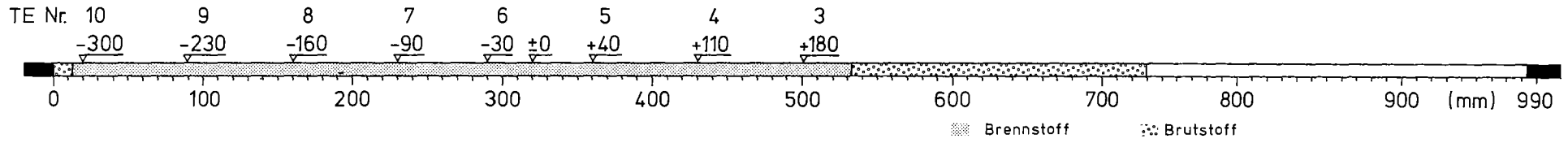


Abb. 15 Hüllaufweitung Δd in % und zeitlich gemittelte Hüllaußentemperatur T_{Ha}

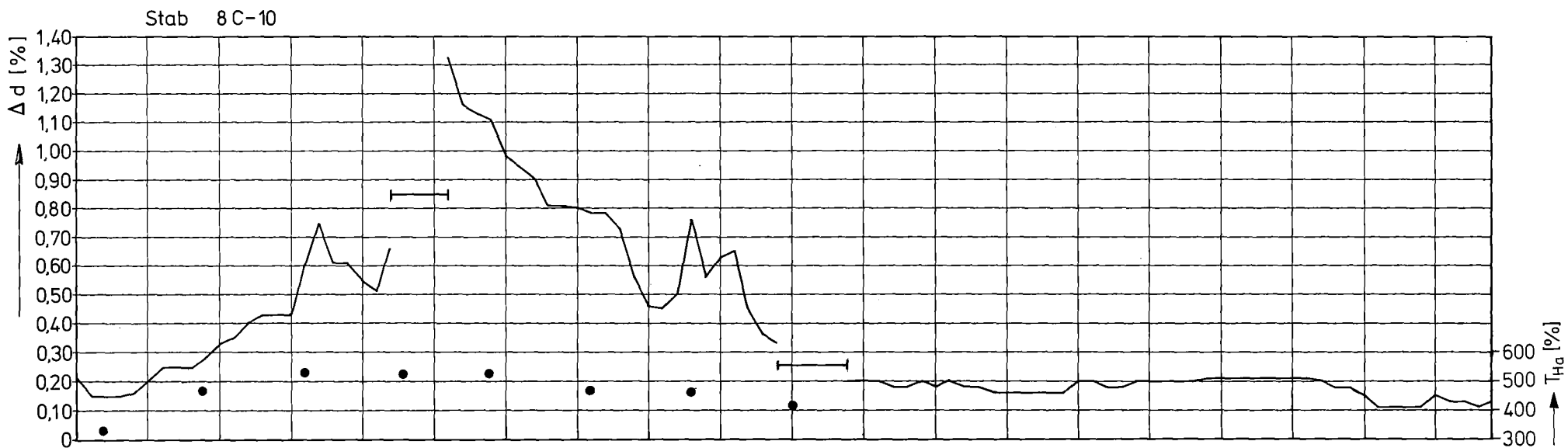
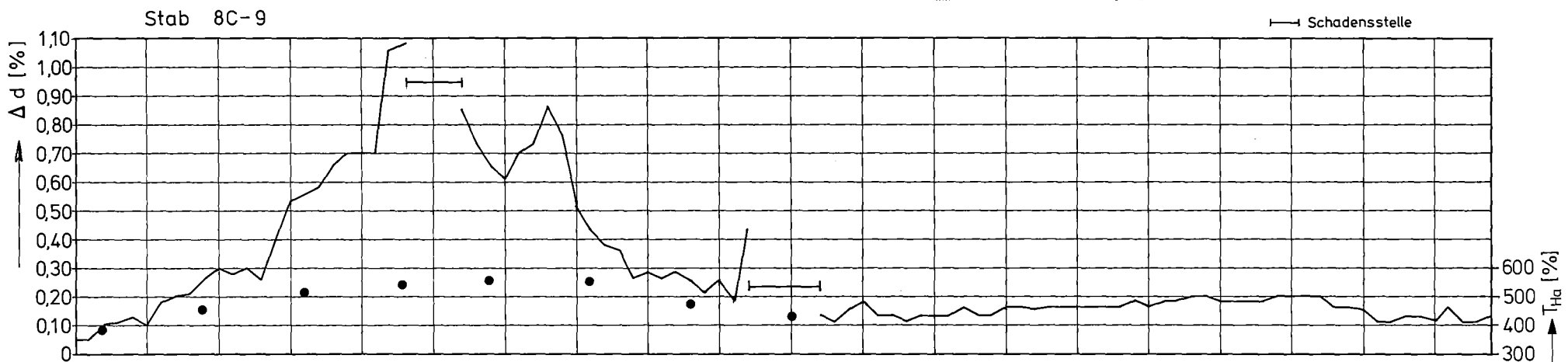
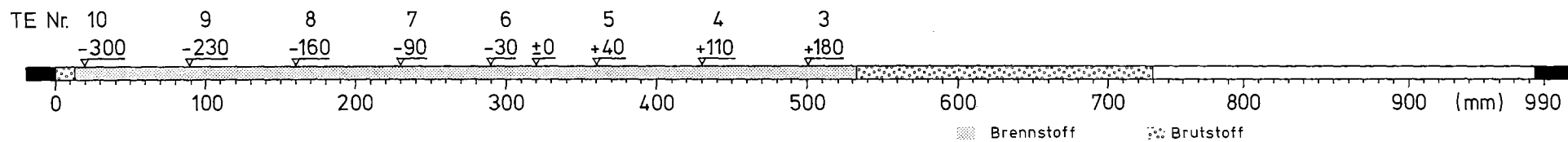


Abb. 16 Hüllaufweitung ΔD in % und zeitlich gemittelte Hüllaußentemperatur T_{Ha}

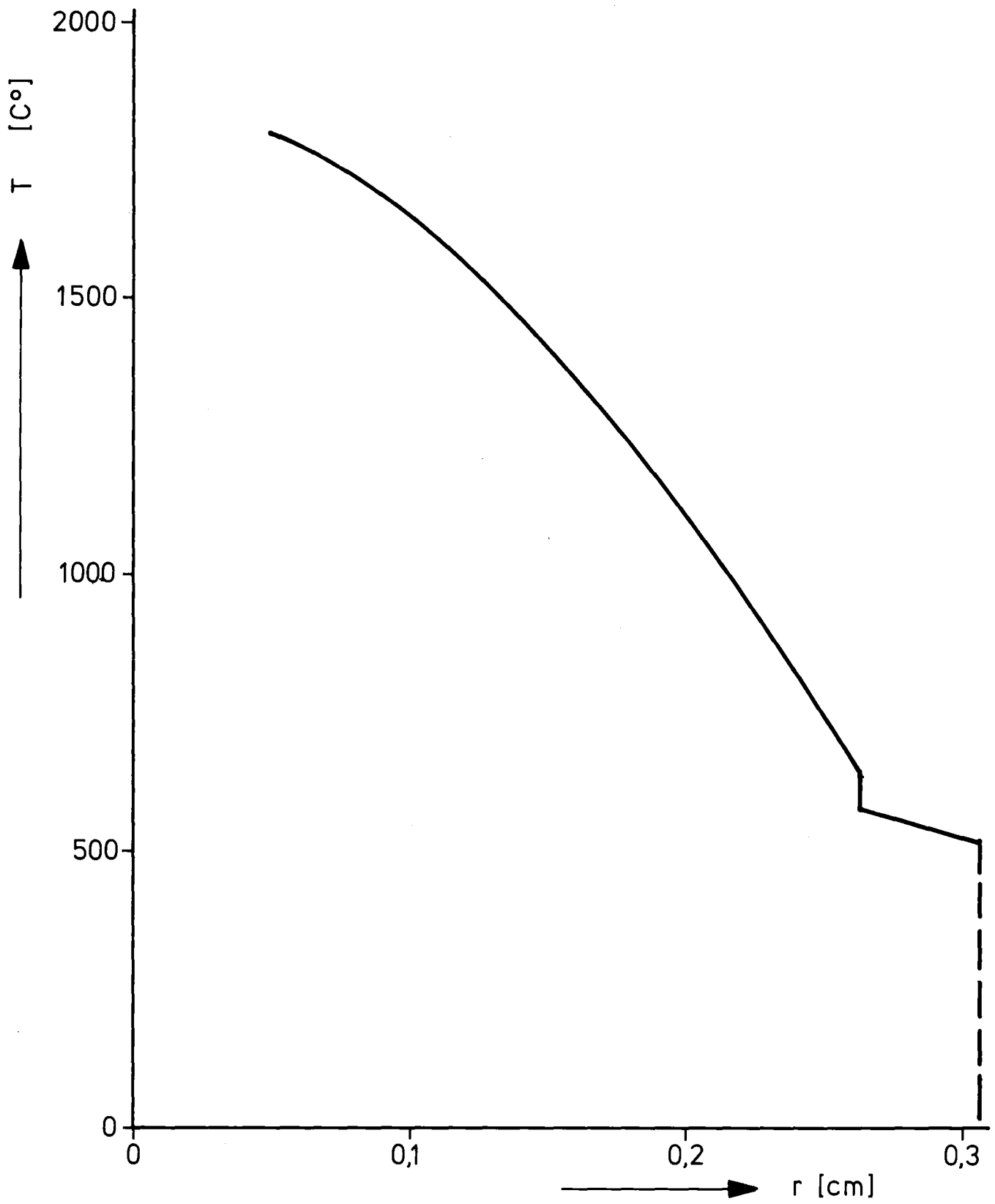


Abb.17 Temperaturverteilung im Brennstab Mol 8C-9 im letzten Zyklus bei TE 8

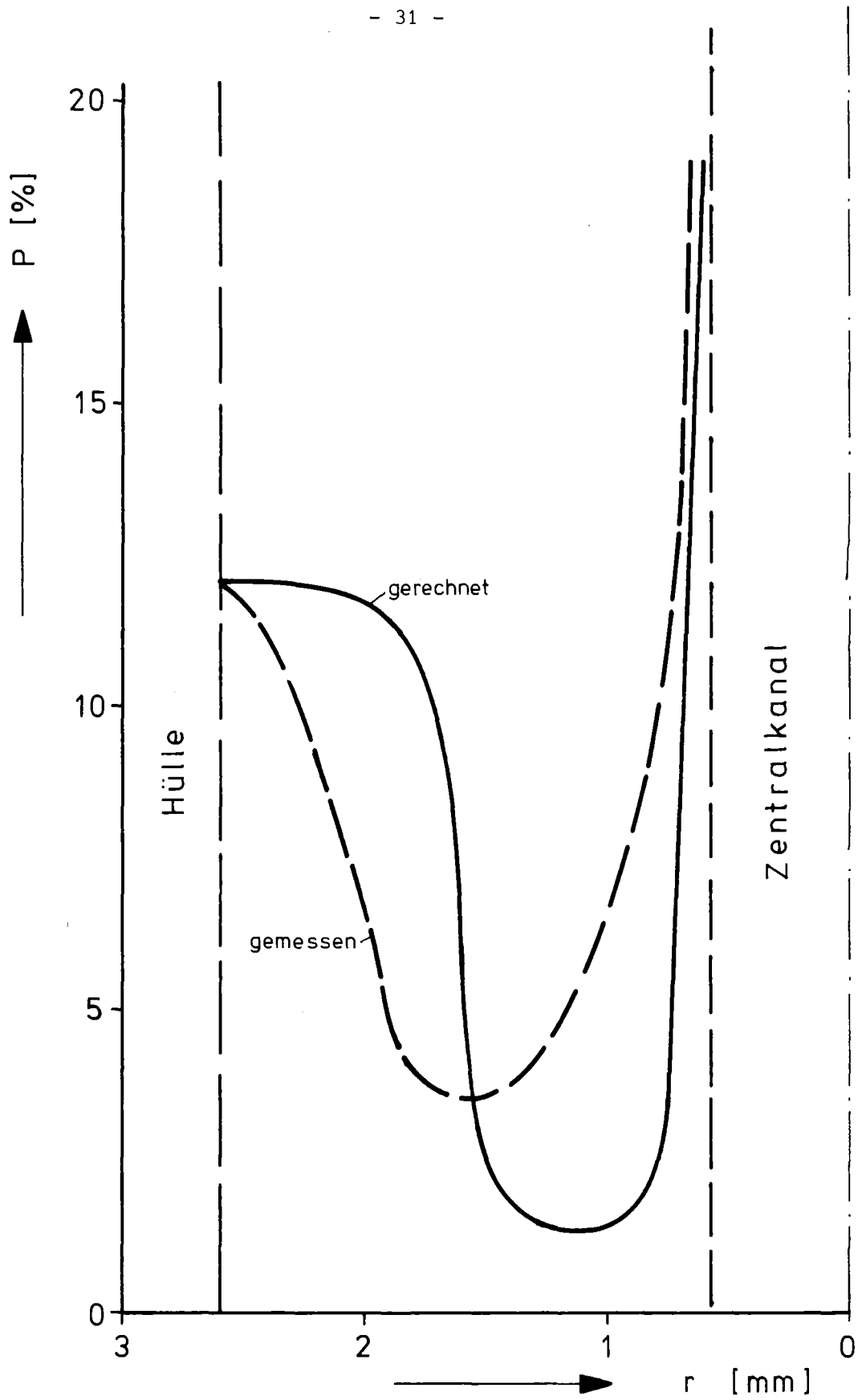


Abb.18 Porositätsverteilung Mol 8C-9 bei TE 8

Die Veränderung des Partialdruckes in der Pore hat naturgemäß einen Einfluß auf die Verdampfungsgeschwindigkeit und damit auf die Wanderungsgeschwindigkeit der Pore (s.a. /8/). Ein verbessertes Porenwanderungsmodell müßte eine Abnahme der radialen Porenwanderungsgeschwindigkeit berücksichtigen.

4.1 Vergleich von gerechneten und gemessenen Hüllaufweitungen

In den Abbildungen 19, 20 und 21 sind die mit SATURN-3 gerechneten und die gemessenen Hüllaufweitungen der Stäbe 9, 7 und 3 aufgezeichnet.

In Abbildung 19 ist die Aufweitung des Stabes 9 dargestellt. Man erkennt, daß an den Stellen TE 8 und TE 6 die gerechneten mit den gemessenen Ergebnissen gut übereinstimmen. Im Experiment erfolgte bei TE 7 eine große Aufweitung, die schließlich zum Bruch der Hülle an dieser Stelle führte. Dieser Vorgang konnte in der Rechnung nicht nachvollzogen werden. In den Abbildungen 20 und 21 sind die Hüllaufweitungen der Stäbe 7 bzw. 3 dargestellt. Aus den Diagrammen erkennt man, daß in beiden Fällen die Hülldehnungen zu hoch berechnet wurden. Die Rechenergebnisse wurden mit in Fachkreisen empfohlenen Kriechformeln erzielt /10/.

5. Schlußbetrachtung

Die Versuchsgruppe Mol-8C hat das ursprüngliche Versuchsziel, den in-pile Spaltgasdruckaufbau zu messen, voll erfüllt.

Das zweite Ziel, die Beantwortung der Frage, inwieweit das Brennstoffschwellen durch eine gezielte Anordnung der inneren Porosität beeinflusst werden kann, kann nicht eindeutig beantwortet werden. Der Grund hierfür liegt darin, daß auch bei Stäben größerer aktiver Länge (hier 500 mm), der Einfluß des axialen Flußverlaufs nicht eliminiert werden kann. Die Hüllrohraufweitung folgt stetig dem axialen Flußprofil.

Weiterhin kann nicht zwischen reinem Brennstoffschwellen und Brennstoffschwellen mit mechanischer Wechselwirkung unterschieden werden, sodaß Punkt 2 der Zielvorstellung hier unbeantwortet bleiben muß.

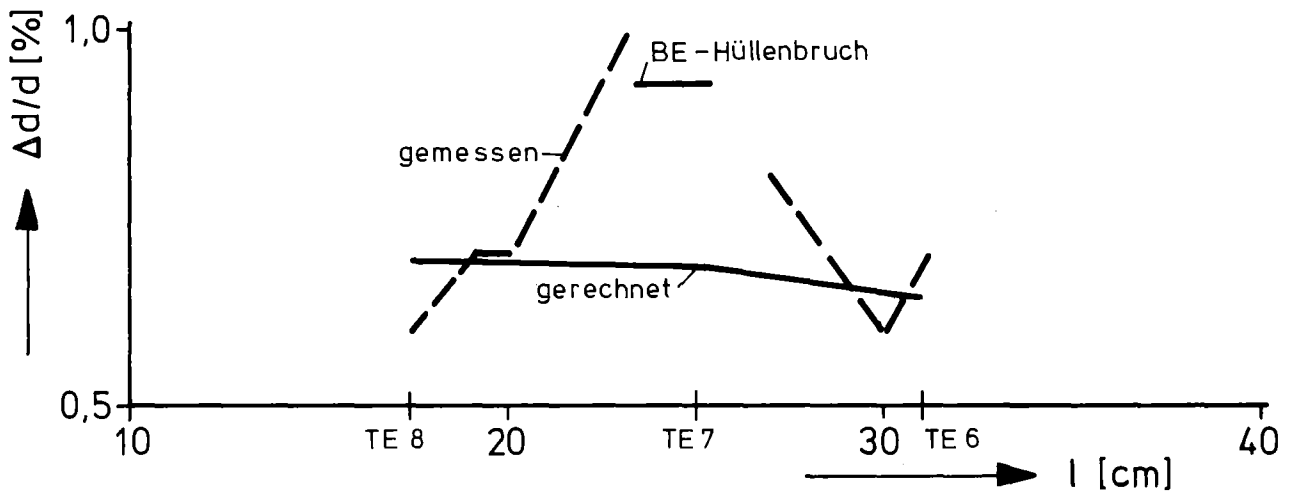


Abb. 19 Hüllaufweitung Mol 8C-9

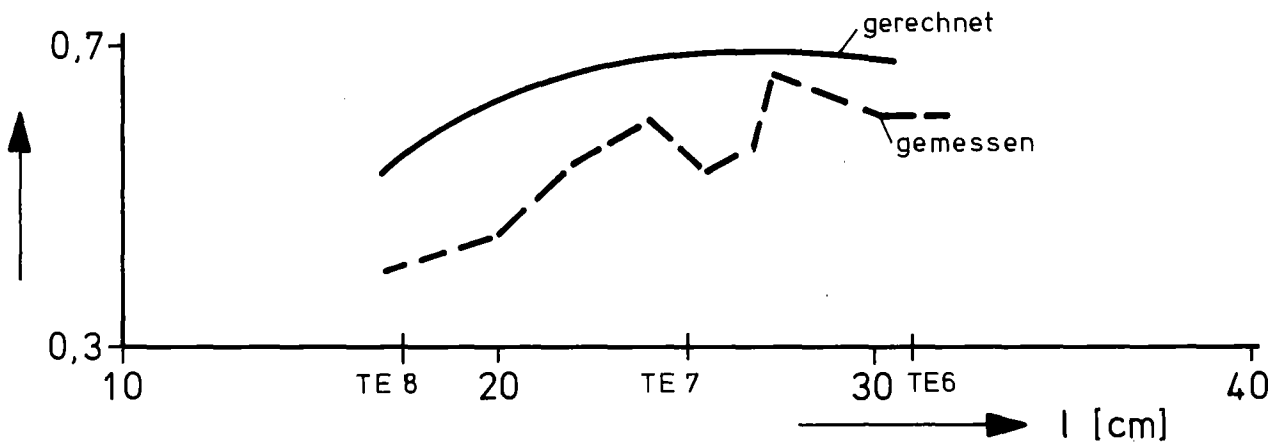


Abb. 20 Hüllaufweitung Mol 8C-7

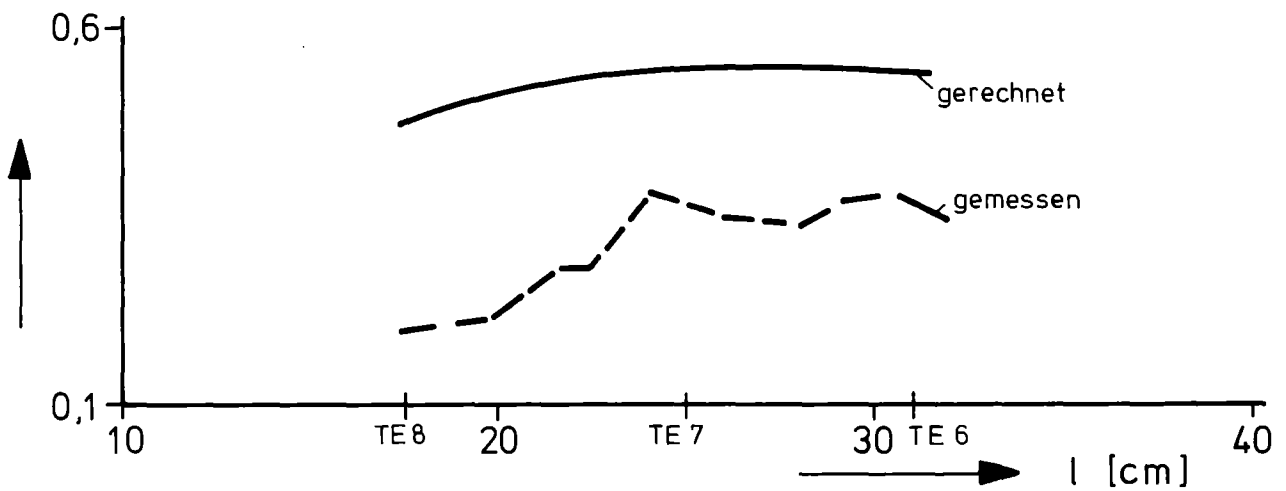


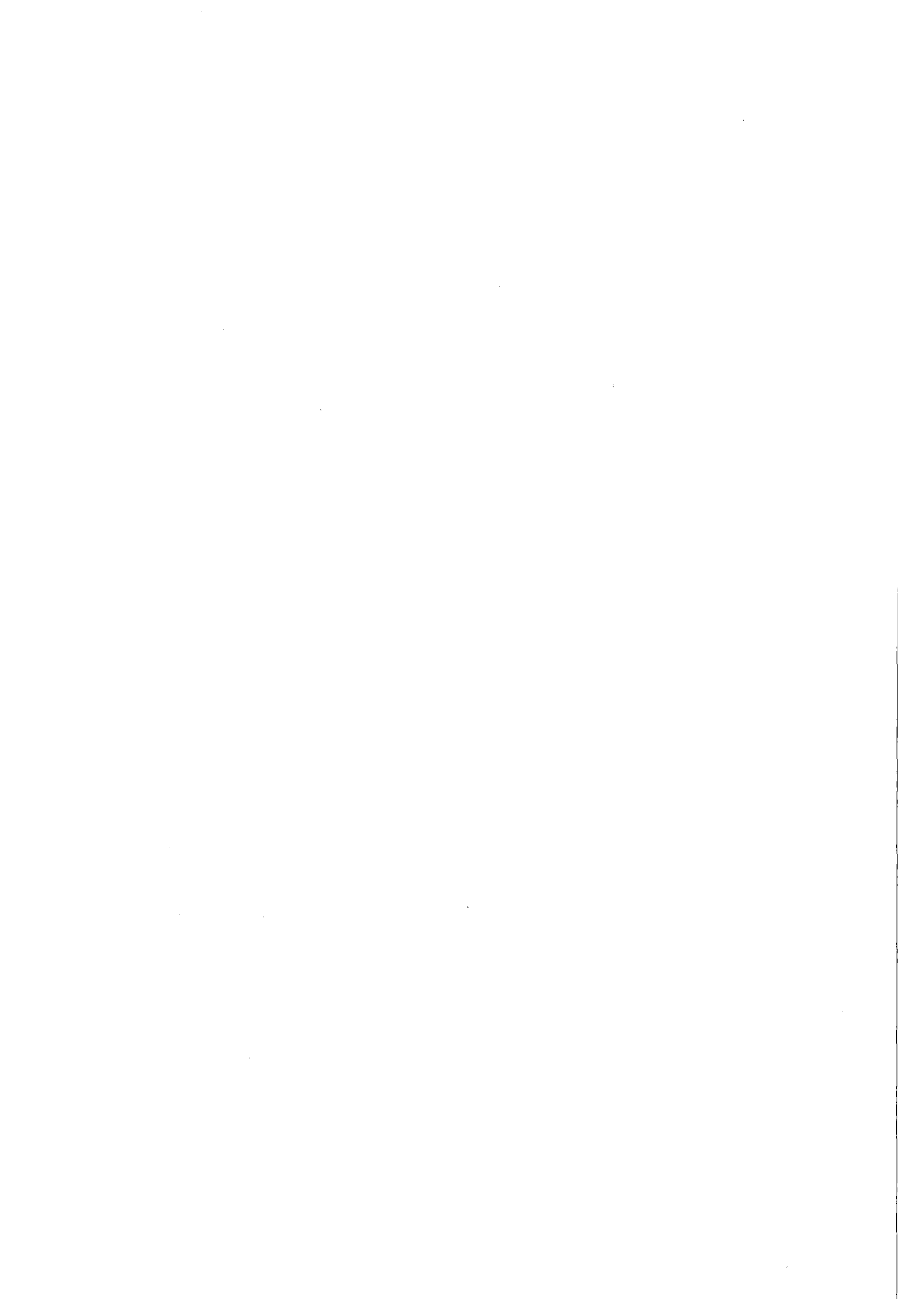
Abb. 21 Hüllaufweitung Mol 8C-3

Literatur:

- /1/ P. Weimar, H. Steiner, H. van den Boorn:
BR2-Kapselversuchsgruppe Mol-8C, Zerstörungsfreie Nachuntersuchung,
KFK 2306, Juni 1976
- /2/ A. Gerken, K. Kummerer:
Auslegung und Spezifikation des UO_2 - PuO_2 -Brennstab-Bestrahlungsversuches
Mol 8C im BR2 (unveröffentlicht)
- /3/ Th. Dippel, K. Kummerer:
Herstellung Pu-haltiger Prüflinge für die Versuchsgruppe 8C im
Reaktor BR2 in Mol (unveröffentlicht)
- /4/ K. Kummerer, P. Weimar:
Brennstab-Bestrahlungsversuch mit integrierter Variation der Brennstoff-
dichte - FR2-Kapselversuchsgruppe 5a - KfK 1886, Mai 1975
- /5/ H. Hoffmann, W. Hellriegel:
Quantitative Keramografie an DFR-304
KFK 1864 (1974)
- /6/ K. Keller:
(unveröffentlicht)
- /7/ F.A. Nichols:
Kinetics of Diffusional Motion of Pores in Solids, J. Nucl. Mat. (1969)143-165
- /8/ F.A. Nichols:
Pore Migration in Ceramic Fuel Elements, J. Nucl. Mat. 27 (1969) 137-146
- /9/ H. Hoffmann:
Analyse der Leervolumenverteilung in Oxid-Brennstäben hoher Stableistung,
KFK 1863, September 1973
- /10/ H. Többe:
Das Brennstabrechenprogramm IAMBUS zur Auslegung von Schnellbrüter-
Brennstäben, (1975) unveröffentlicht

ANHANG I

Zerstörende Nachuntersuchung



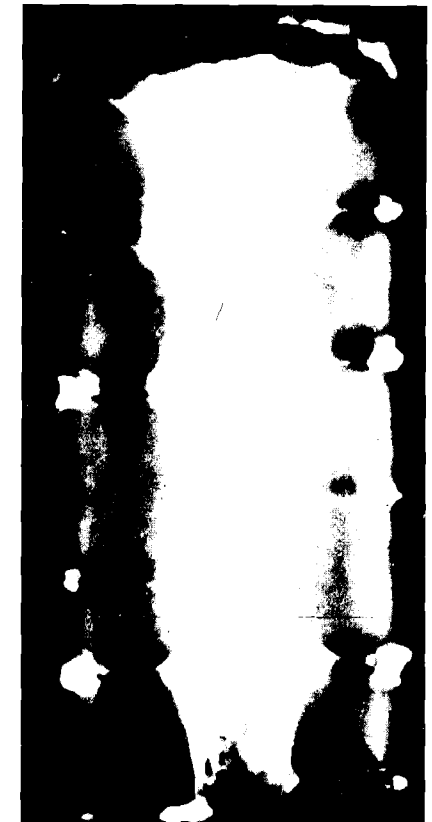


Schnitt 12

1mm



α (6 sec)



β - γ (20 sec)

Autoradiografie

Mol 8C Prüfling 1 UO₂-PuO₂

-I/4-

Schnitt 12



HZ-17d-Mo18C-1-12/10

100x

200 μm



HZ-17d-Mo18C-1-12/12 100x

200 μm



HZ-17d-Mo18C-1-12/11 200 x

100 μm

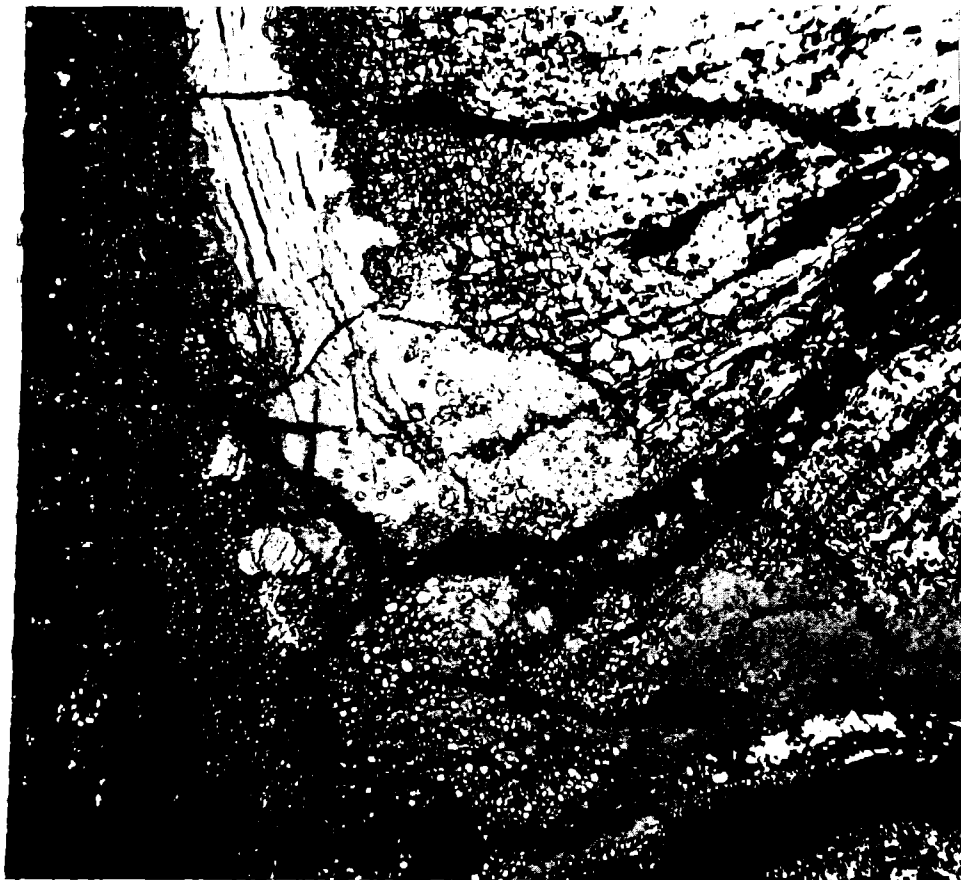
Schnitt 12

- I/5 -



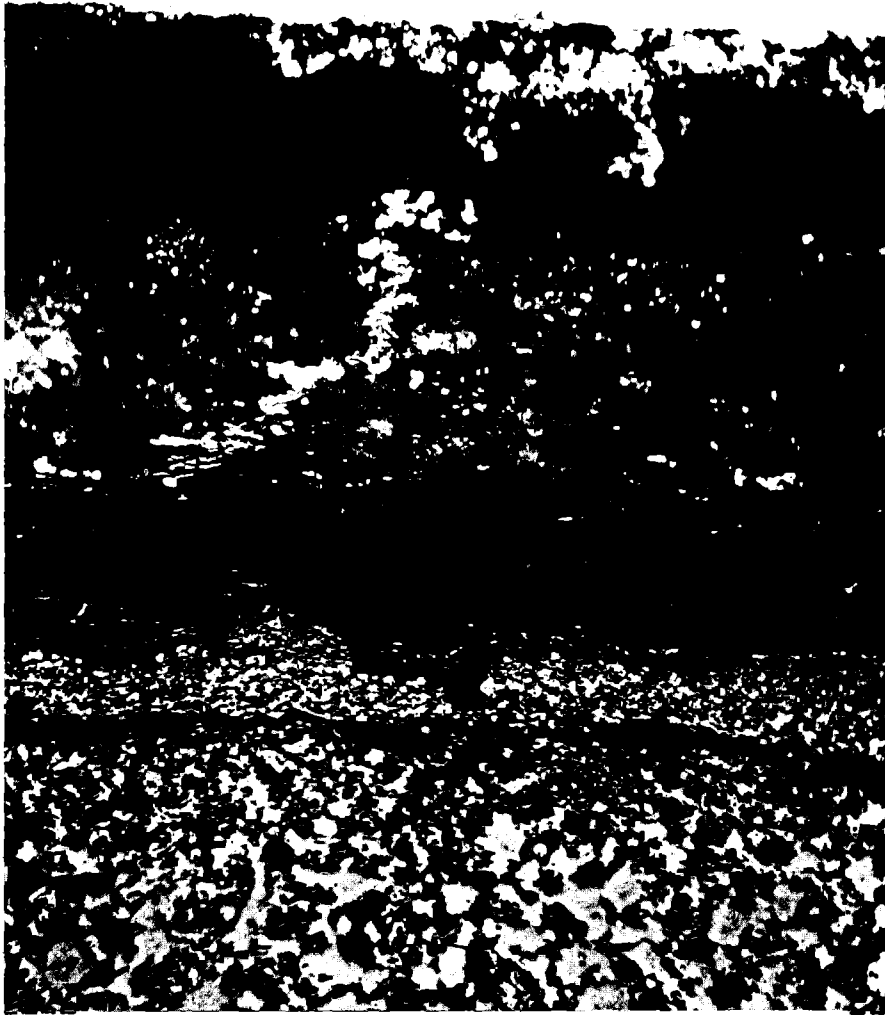
100 μm

HZ-17d-Mo18C-1-12/13 200 x



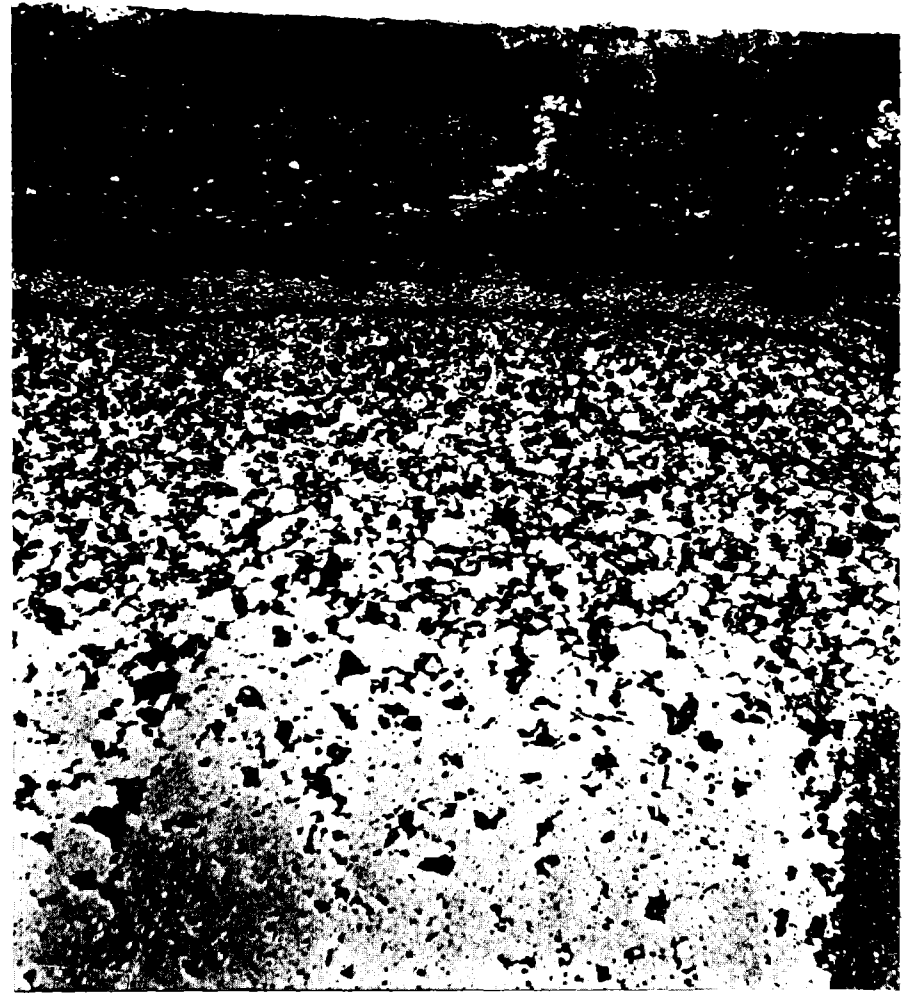
200 μm

HZ-17d-Mo18C-1-12/14 100x



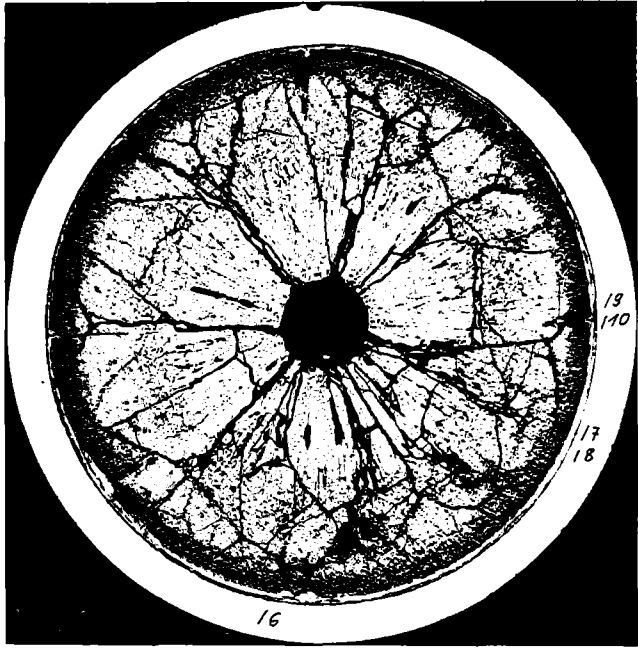
HZ-17d-Mo18C-1-12/17 500 x

40 μm

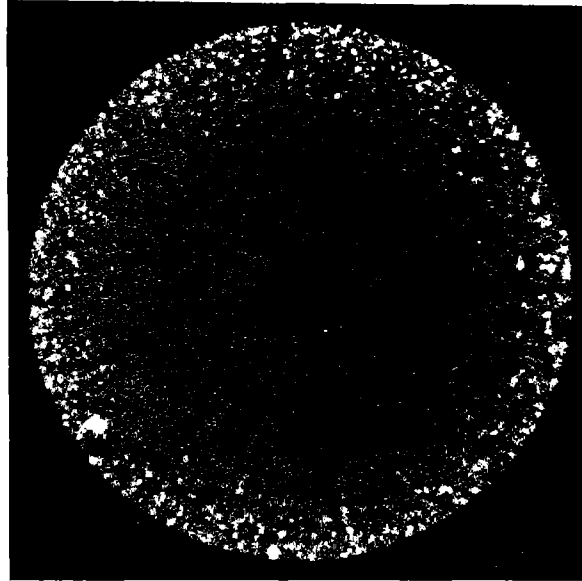


HZ-17d-Mo18C-1-12/16 200 x

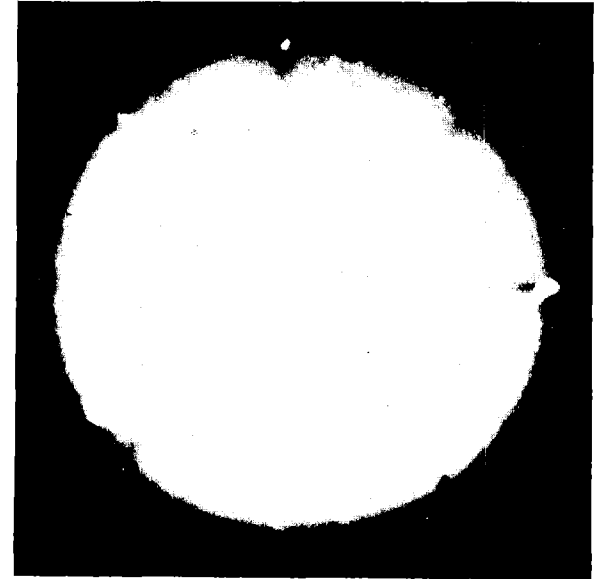
100 μm



Schnitt 15



α (10 sec)



β-γ (20 sec)

Autoradiografie

—|—
1 mm

Mol 8C Prüfling 1 UO₂-PuO₂

-1/9-

Schnitt 15



HZ-17d-Mo18C-1-15/6

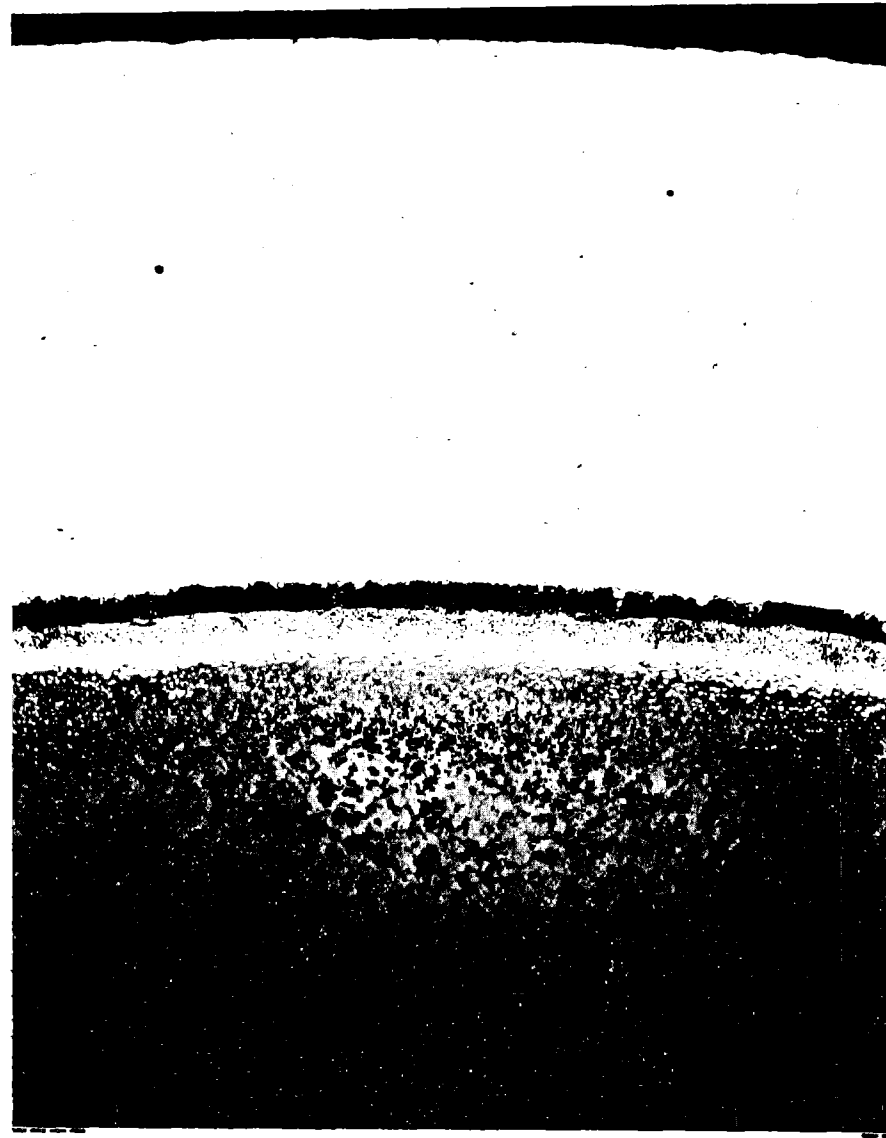
100x

200 μ m



HZ-17d-Mo18C-1-15/8 500 x

40 μm

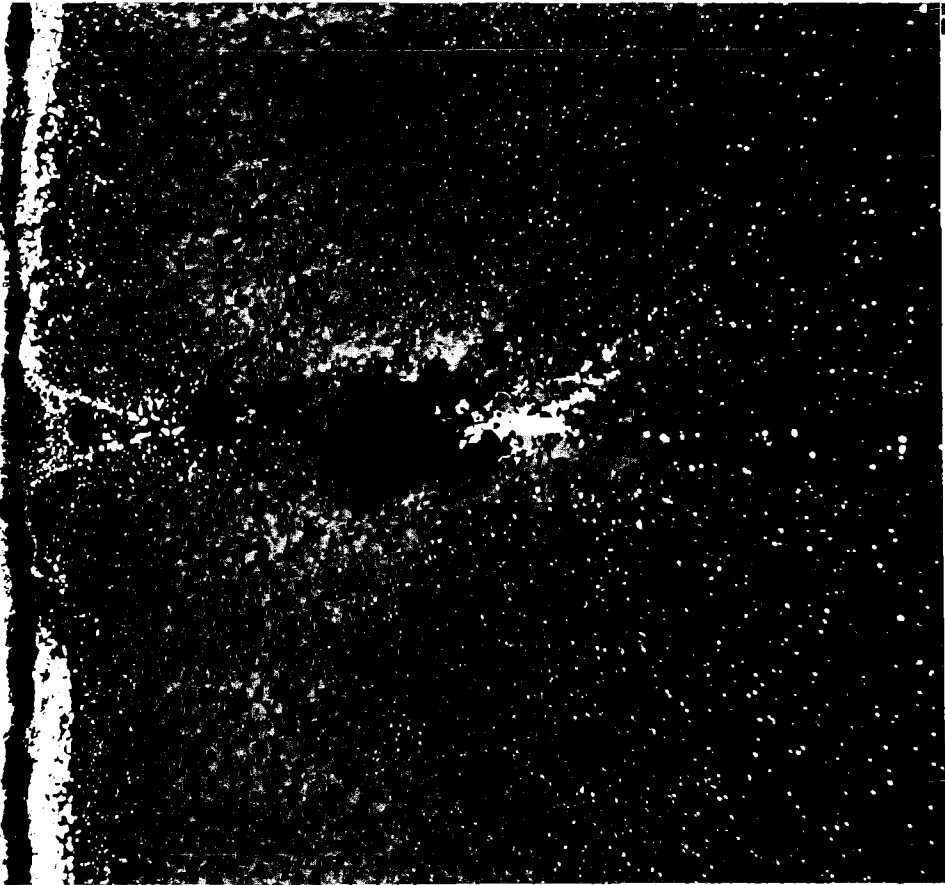


HZ-17d-Mo18C-1-15/7 200 x

100 μm

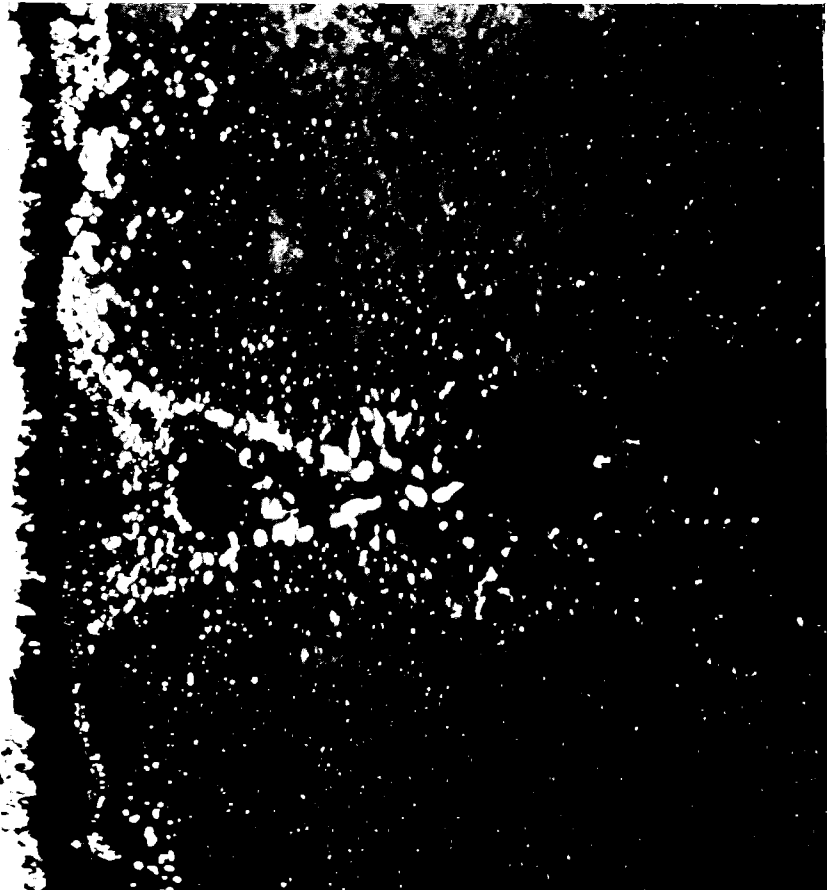
Schnitt 15

- I / 10 -



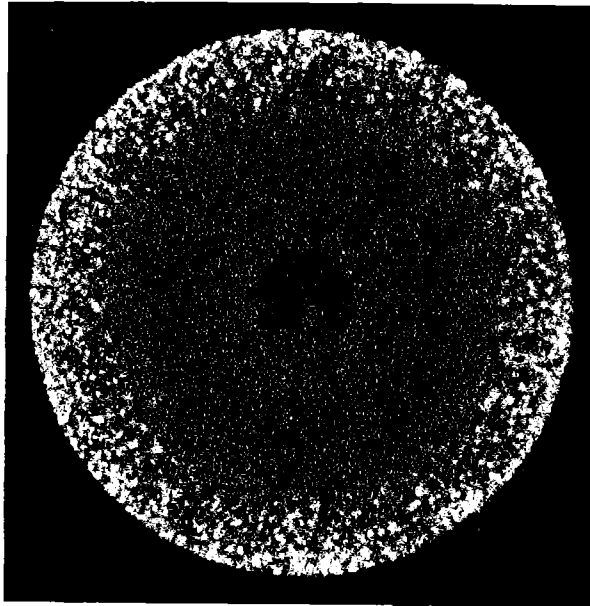
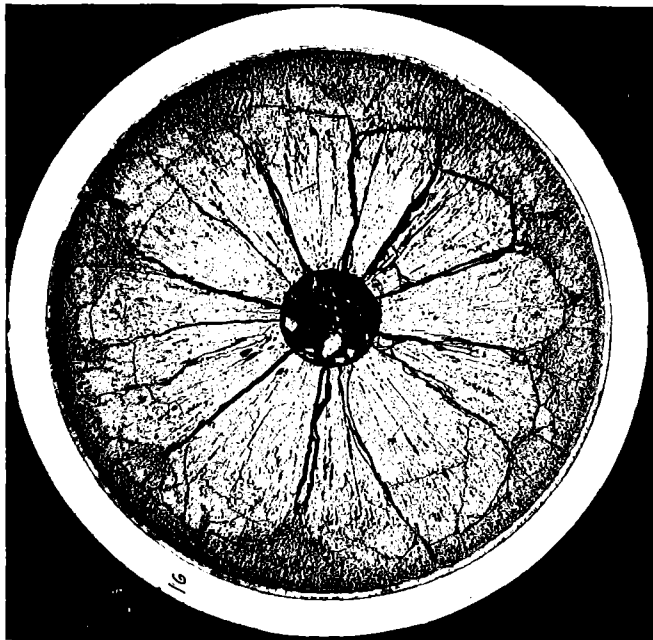
100 μm

HZ-17d-Mo18C-1-15/9 200 x



40 μm

HZ-17d-Mo18C-1-15/10 500 x



Schnitt 17

α (10 sec)

β - γ (20 sec)

Autoradiografie

1 mm

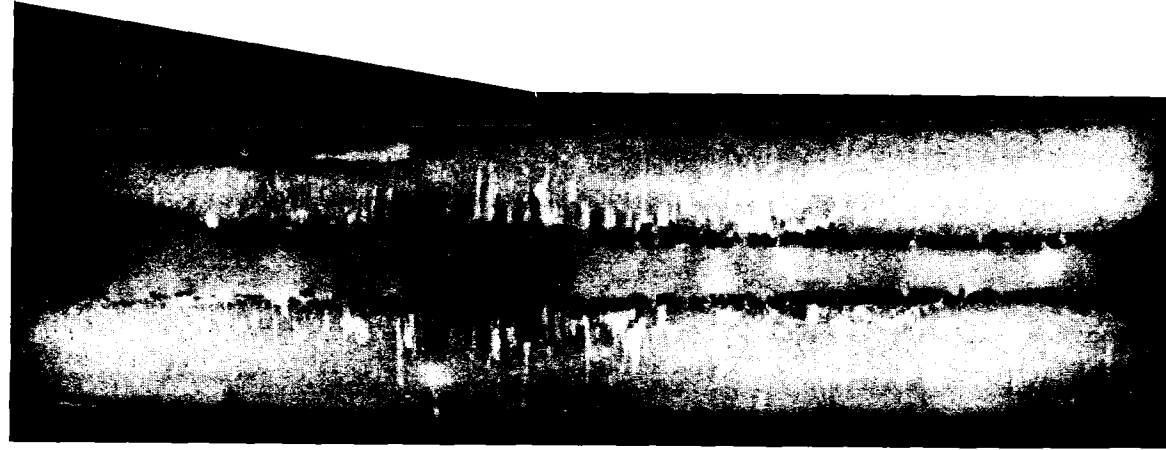
Mol 8C Prufing 1 UO₂-PuO₂



HZ-17d-Mo18C-1-17/6

100x

200 μ m



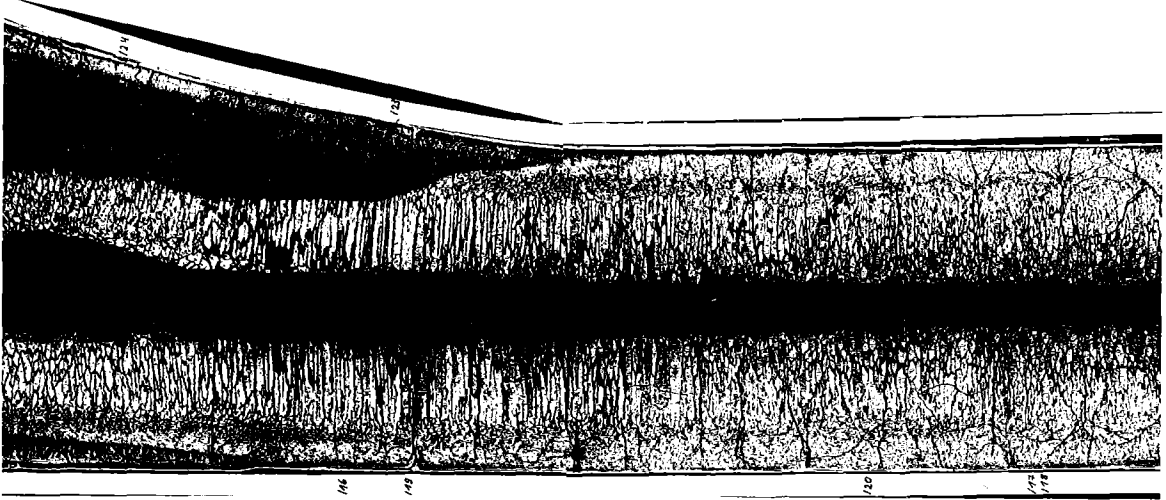
β - γ (20 sec)



α (6 sec)

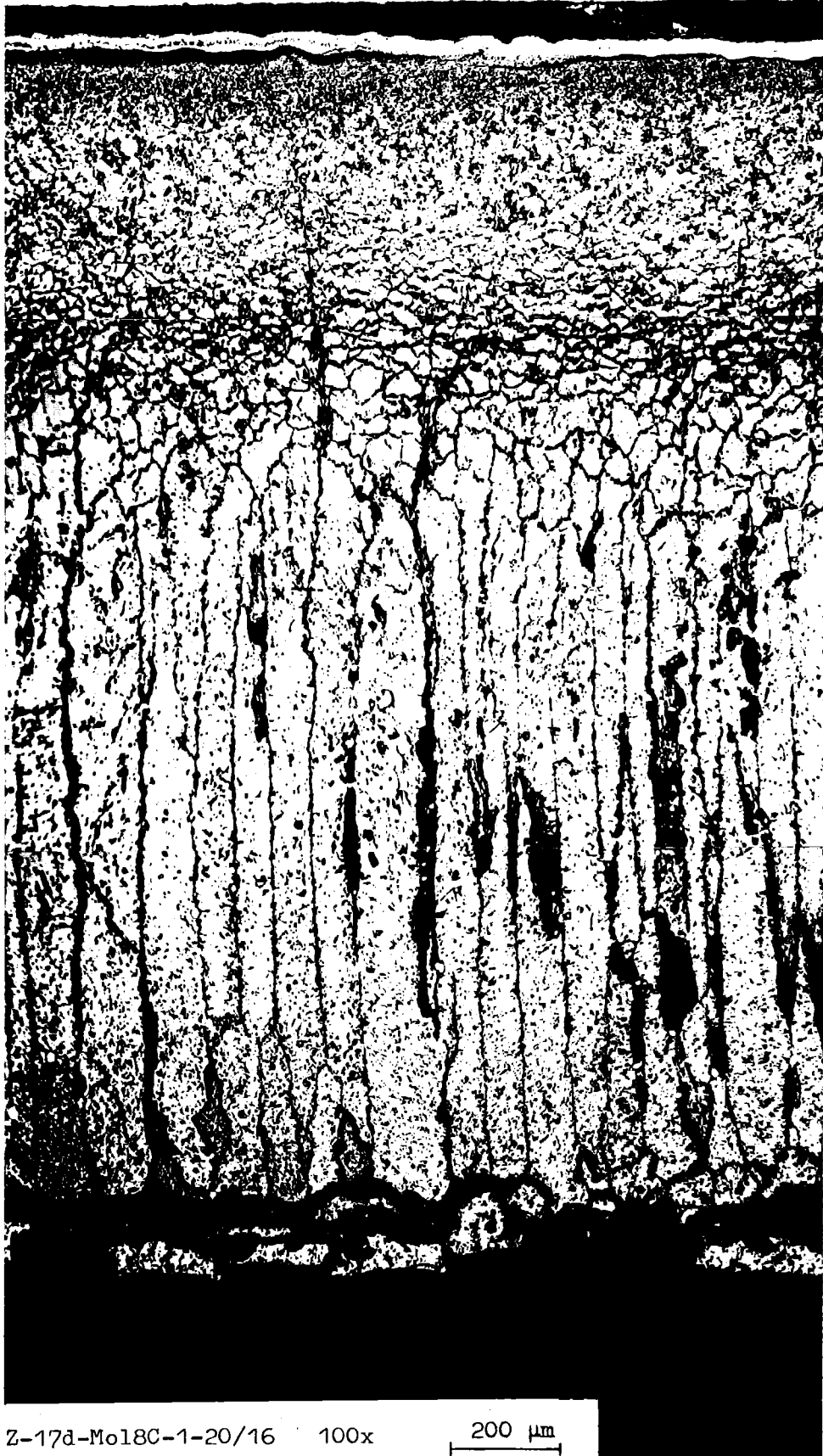
Autoradiografie

1mm



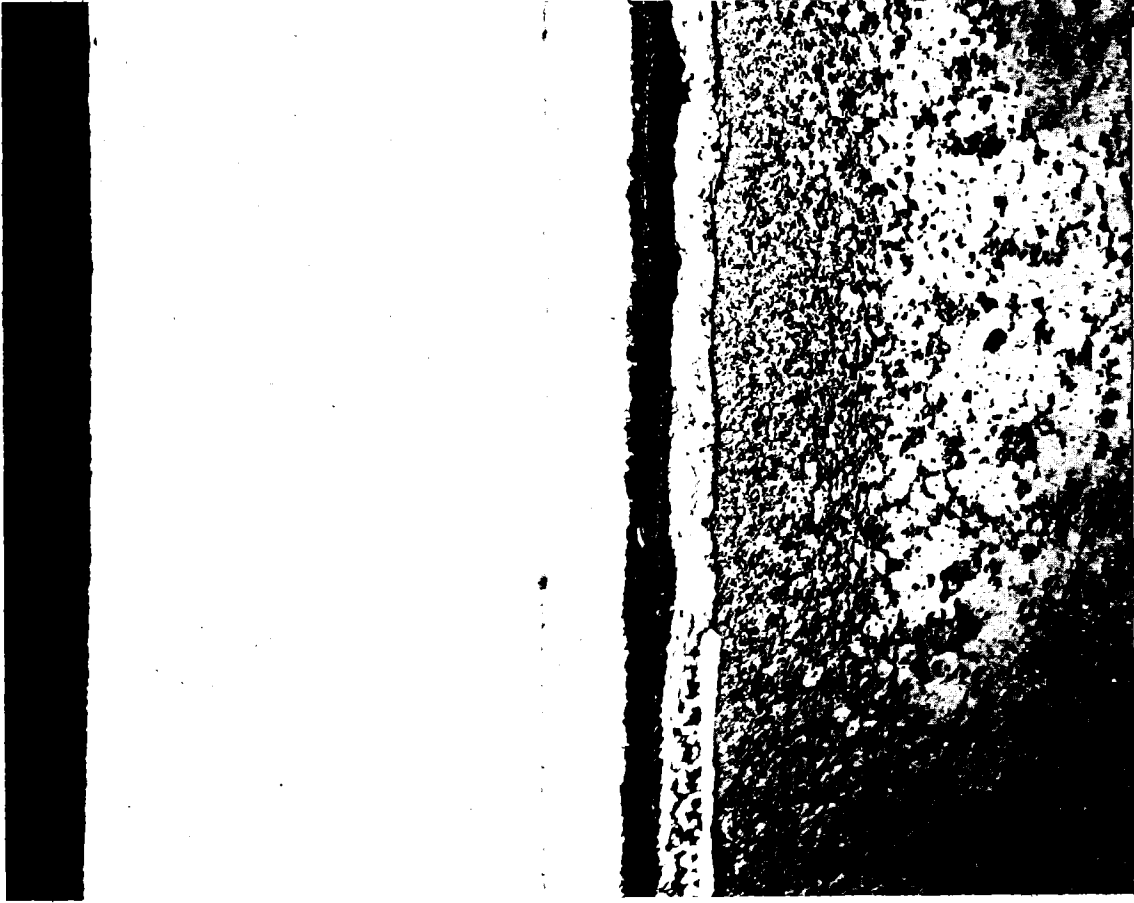
Schnitt 20

Mol 8C Prüfling 1 UO₂-PuO₂



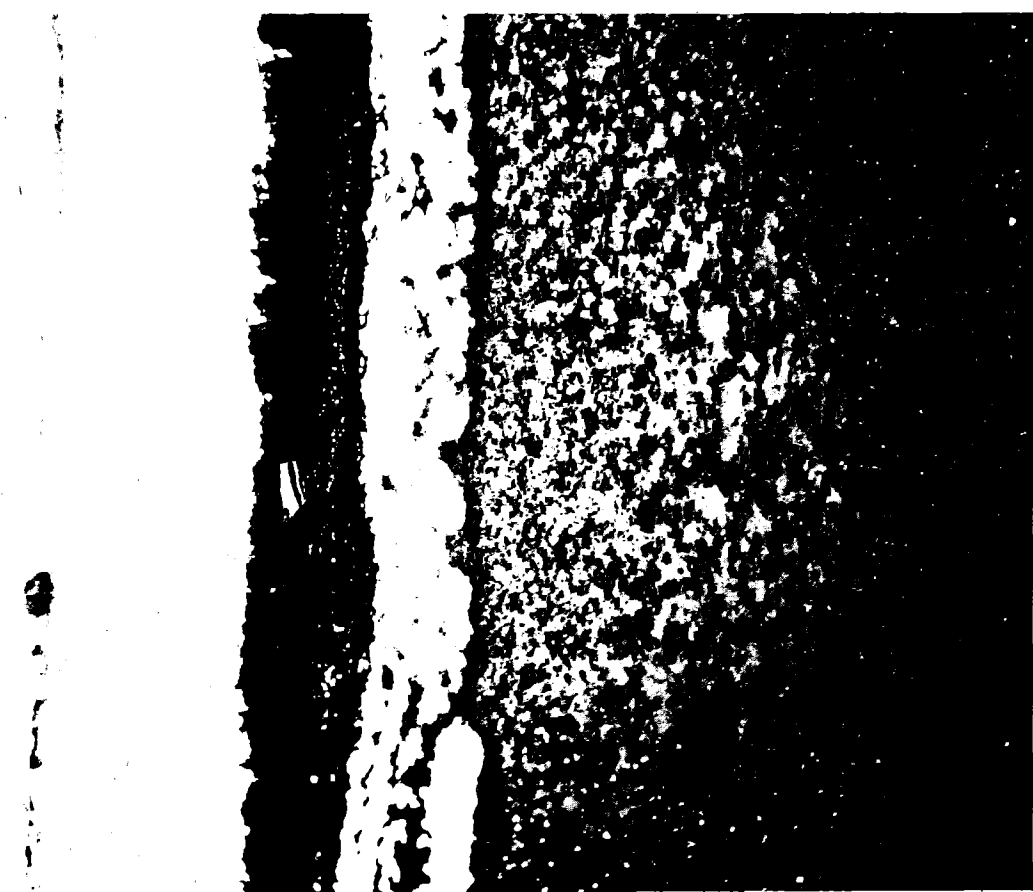
Z-17d-Mo18C-1-20/16 100x

200 μm



100 μm

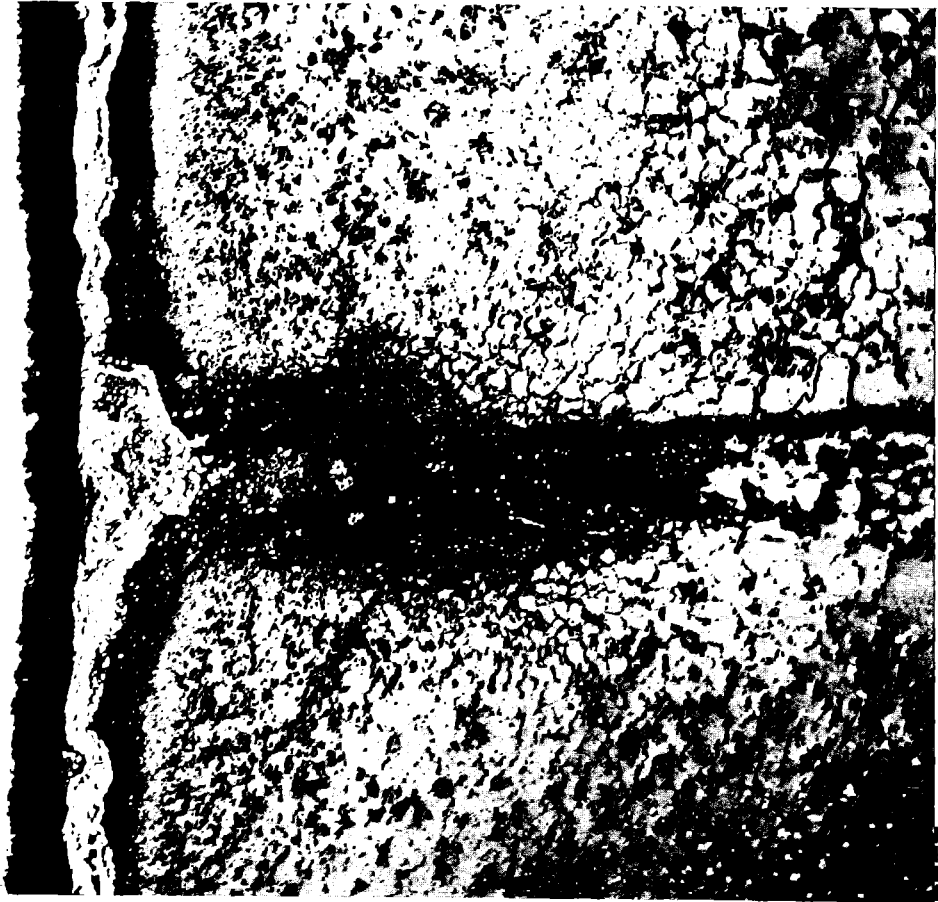
HZ-17d-Mo18C-1-20/17 200 x



40 μm

HZ-17d-Mo18C-1-20/18 500 x

-I/17-
Schnitt 20



100 μm

HZ-17d-Mo18C-1-20/19 200 x



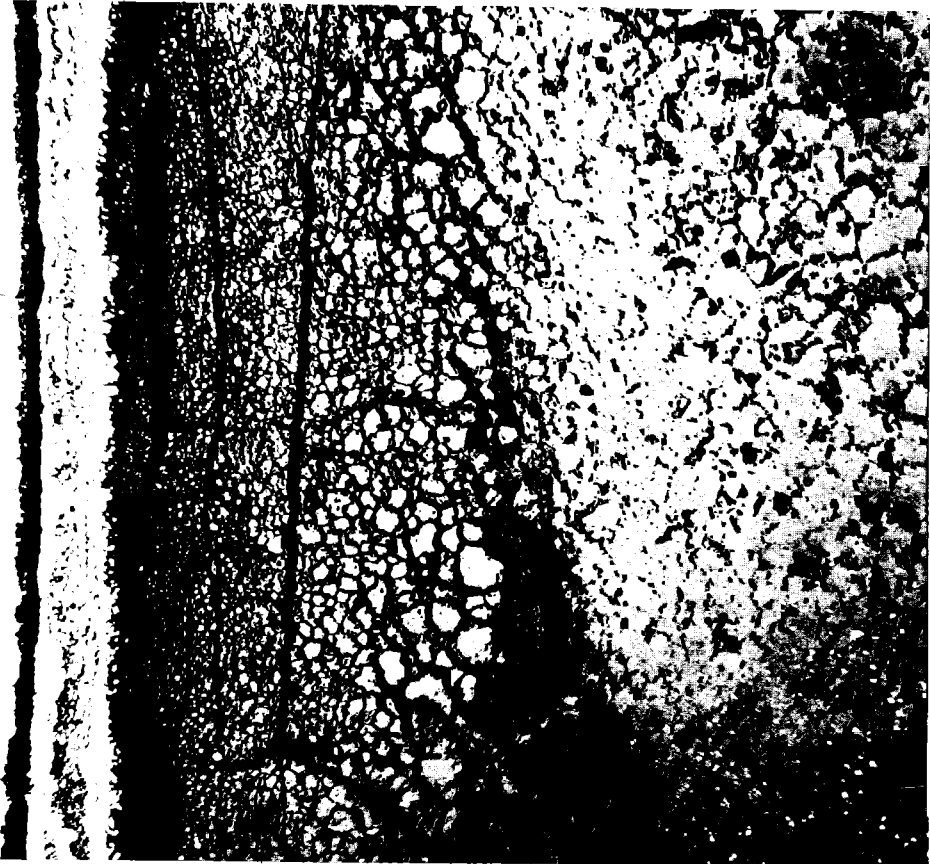
100 μm

HZ-17d-Mo18C-1-20/20 200 x



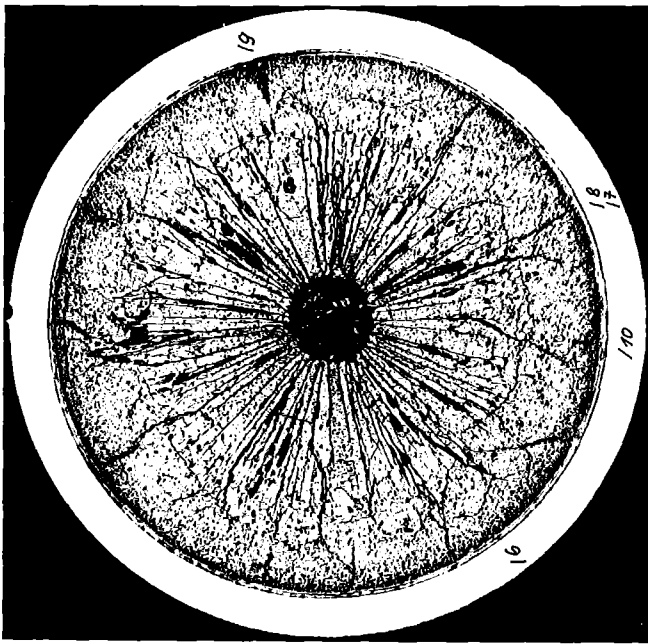
100 μm

HZ-17d-Mo18C-1-20/23 200 x

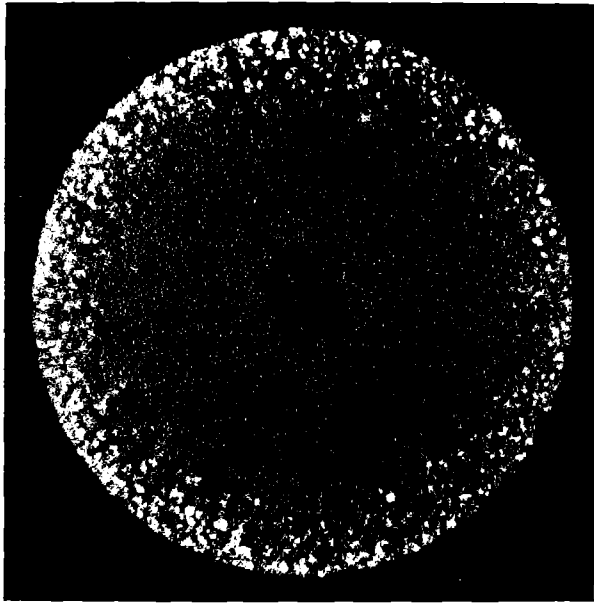


100 μm

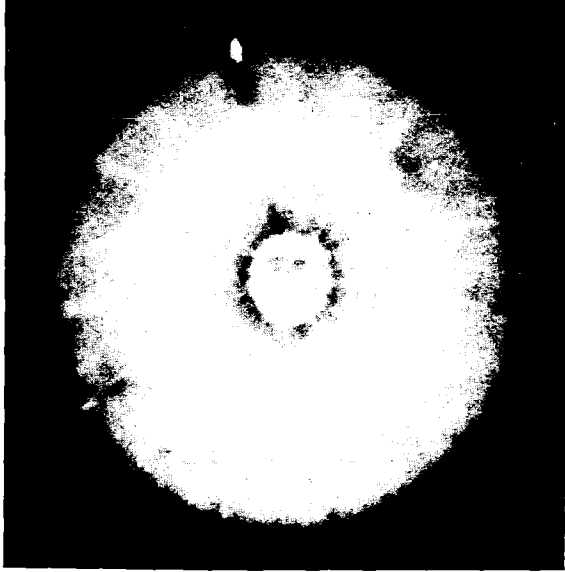
HZ-17d-Mo18C-1-20/24 200 x



Schnitt 22



α (10 sec)



β - γ (20 sec)

1 mm

Autoradiografie

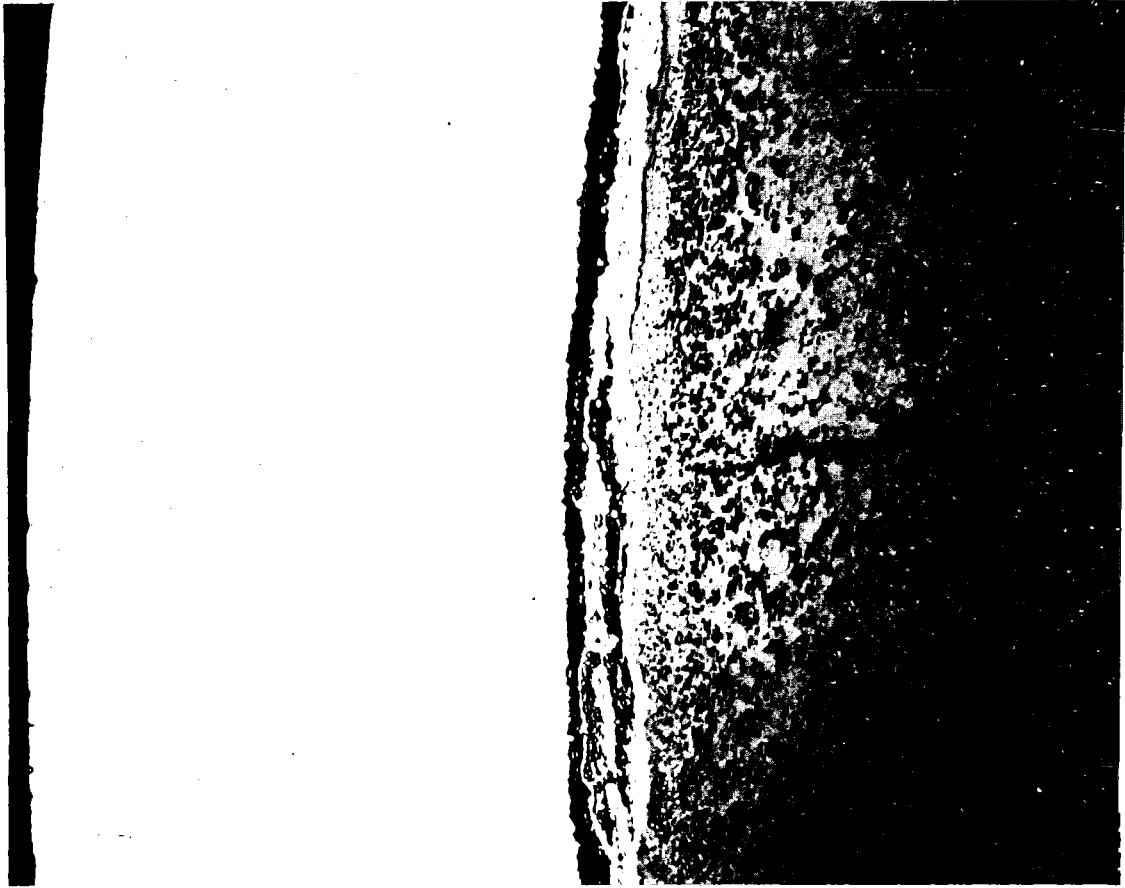
Mol 8C Prüfling 1 UO₂-PuO₂



HZ-17a-Mo18C-1-22/6

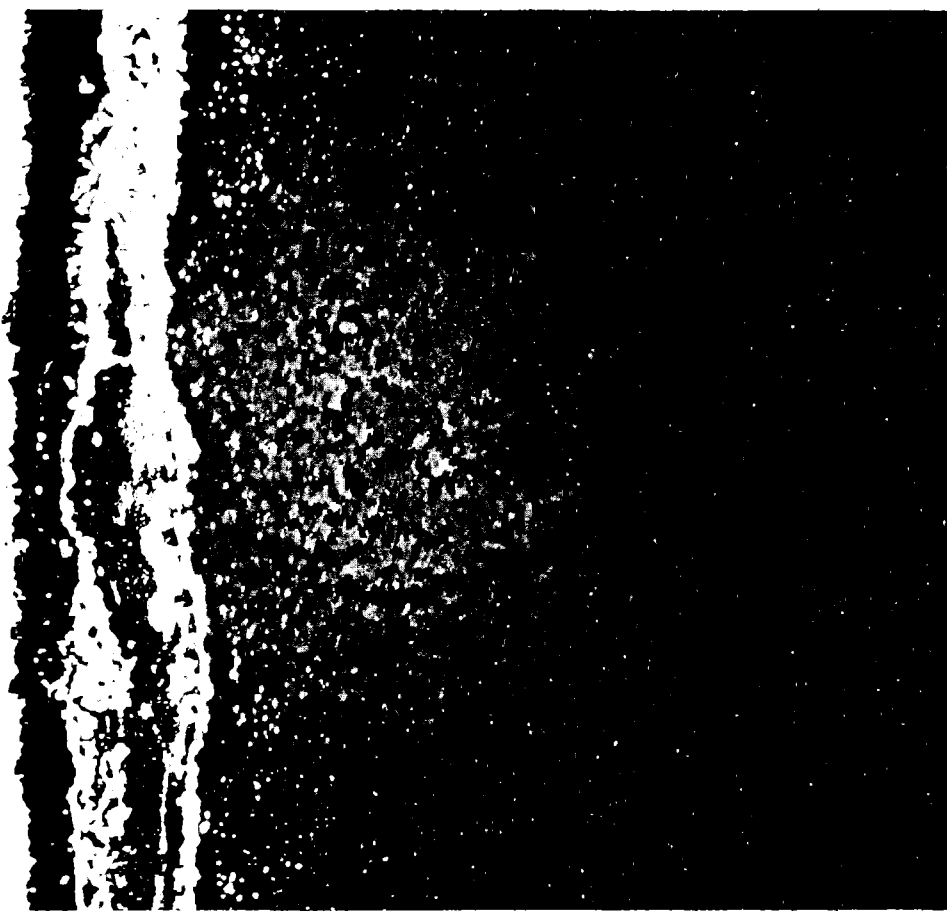
100x

200 μ m



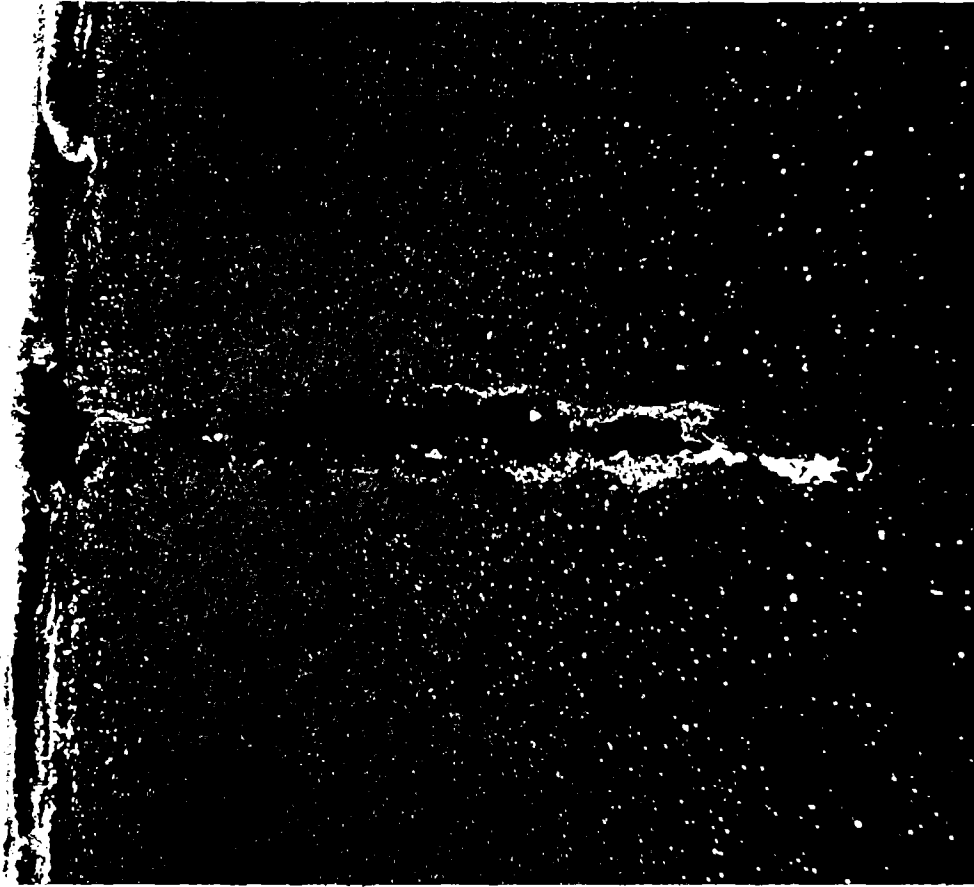
100 μm

HZ-17d-Mo18C-1-22/7 200 x



40 μm

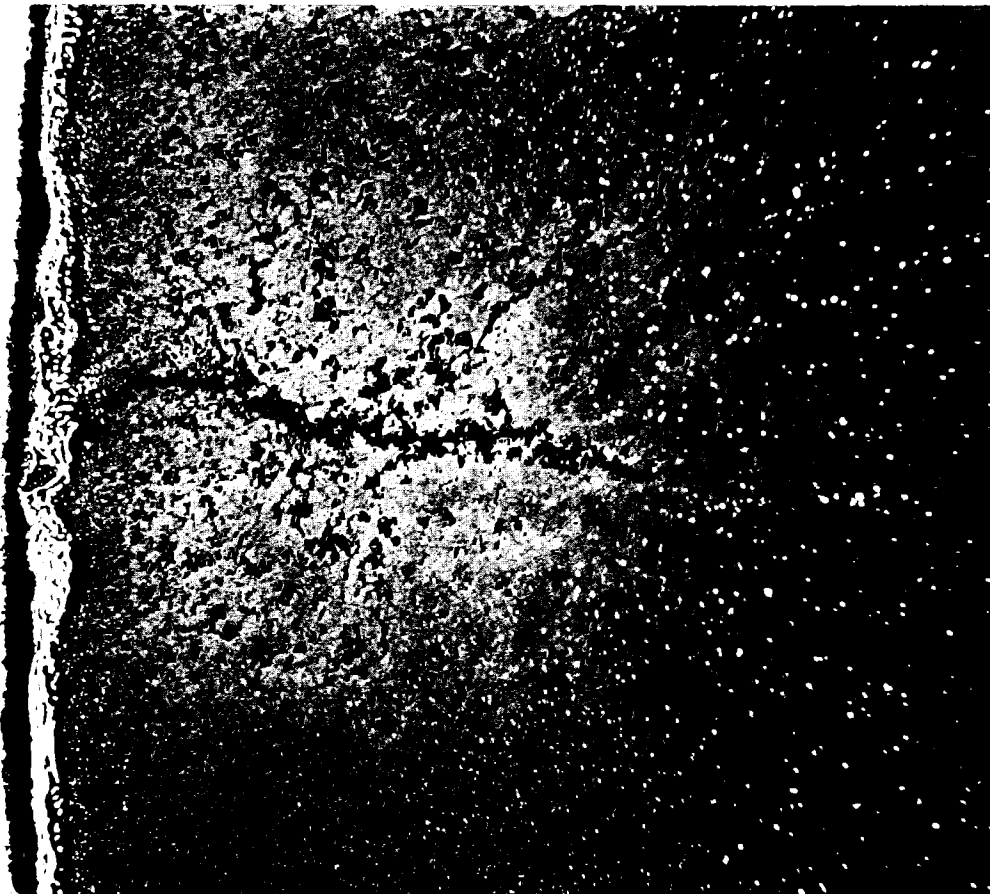
HZ-17d-Mo18C-1-22/8 500 x



100 μm

200 x

HZ-17d-Mo18C-1-22/9

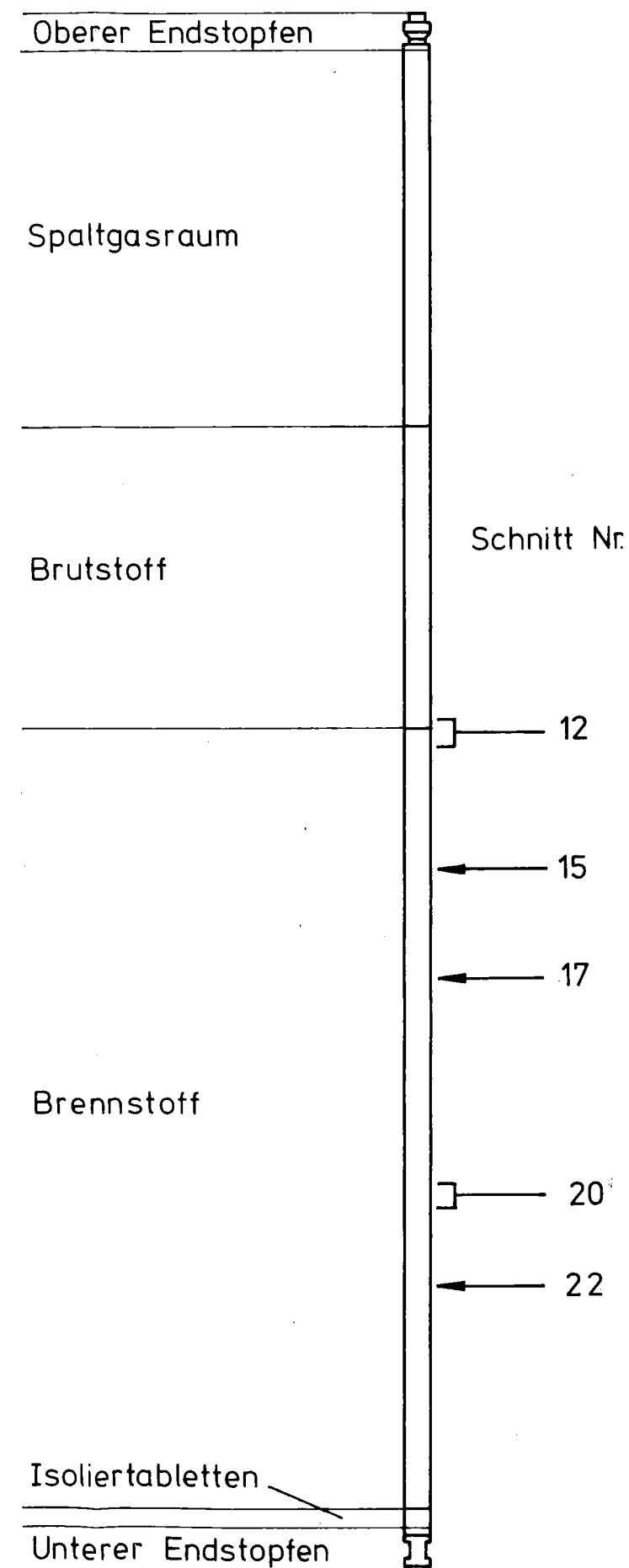


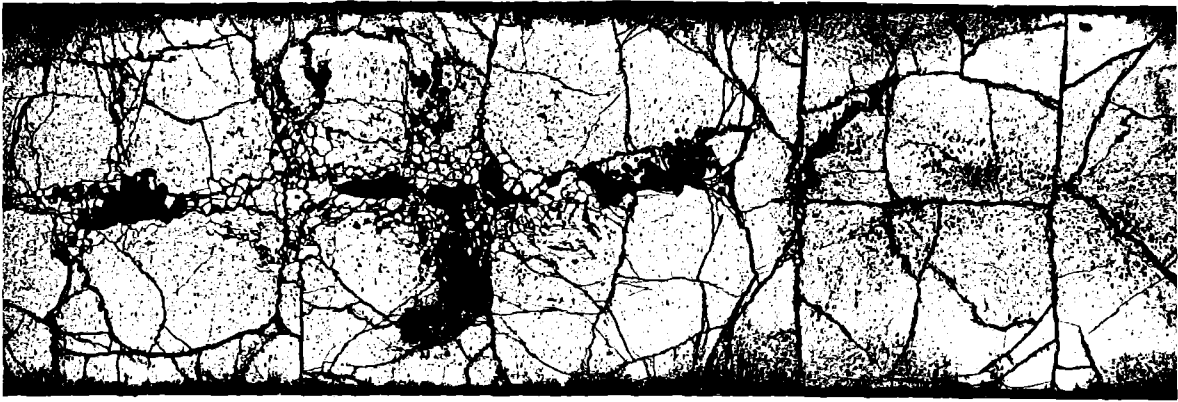
100 μm

200 x

HZ-17d-Mo18C-1-22/10

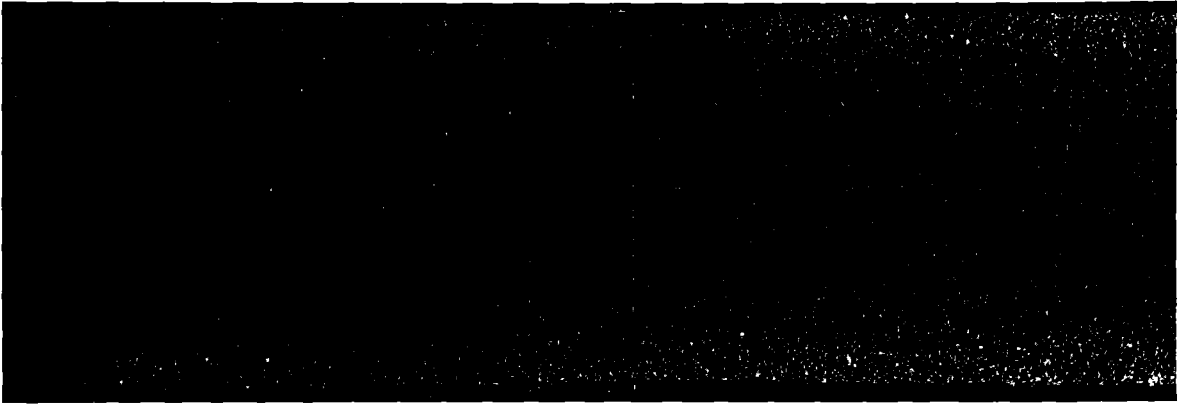
Prüfling 8C-1	
Brennstoff:	
Form	: Tabletten
Zusammensetzung	: $UO_2 - PuO_2$
Tablettendichte	: 95 % th.D.
Hülle:	
Material	: 1.4988
Aussendurchmesser	: 6,0 mm
Wandstärke	: 0,38 mm
Geometrie:	
Länge des Prüflings	: 1024,4 mm
Länge der Brennstoffsäule:	520 mm
Radiale Spaltweite	: 70 μm
Schmierdichte	: 90 % th.D.
Bestrahlung:	
Einrichtung	: Kapsel- FAFNIR
Dauer in Vollasttagen	: 438,3 d
Ende	: 23.12.72
Rechn. Abbrand max.	: 107 MWd/kgM
Stableistung max/mittl.	: 516/341 W/cm





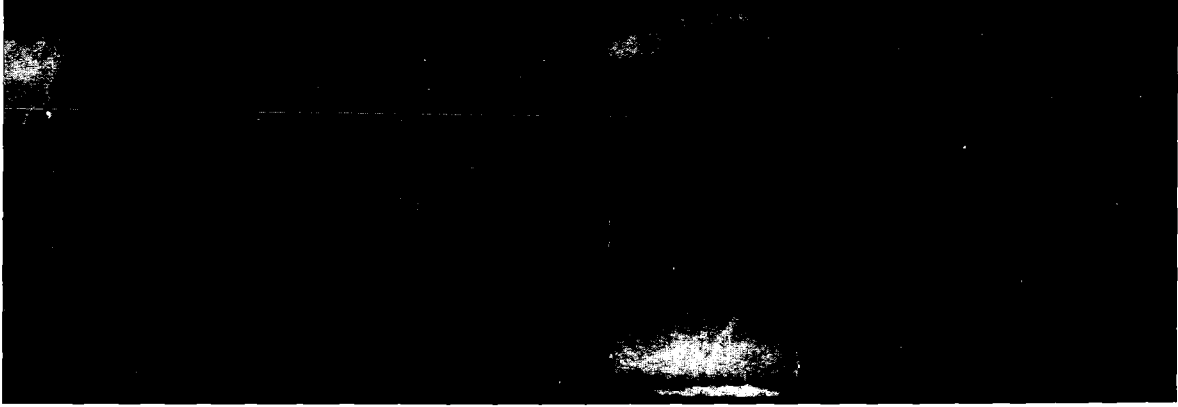
Schnitt 1

1mm



α (8 sec)

Autoradiografie

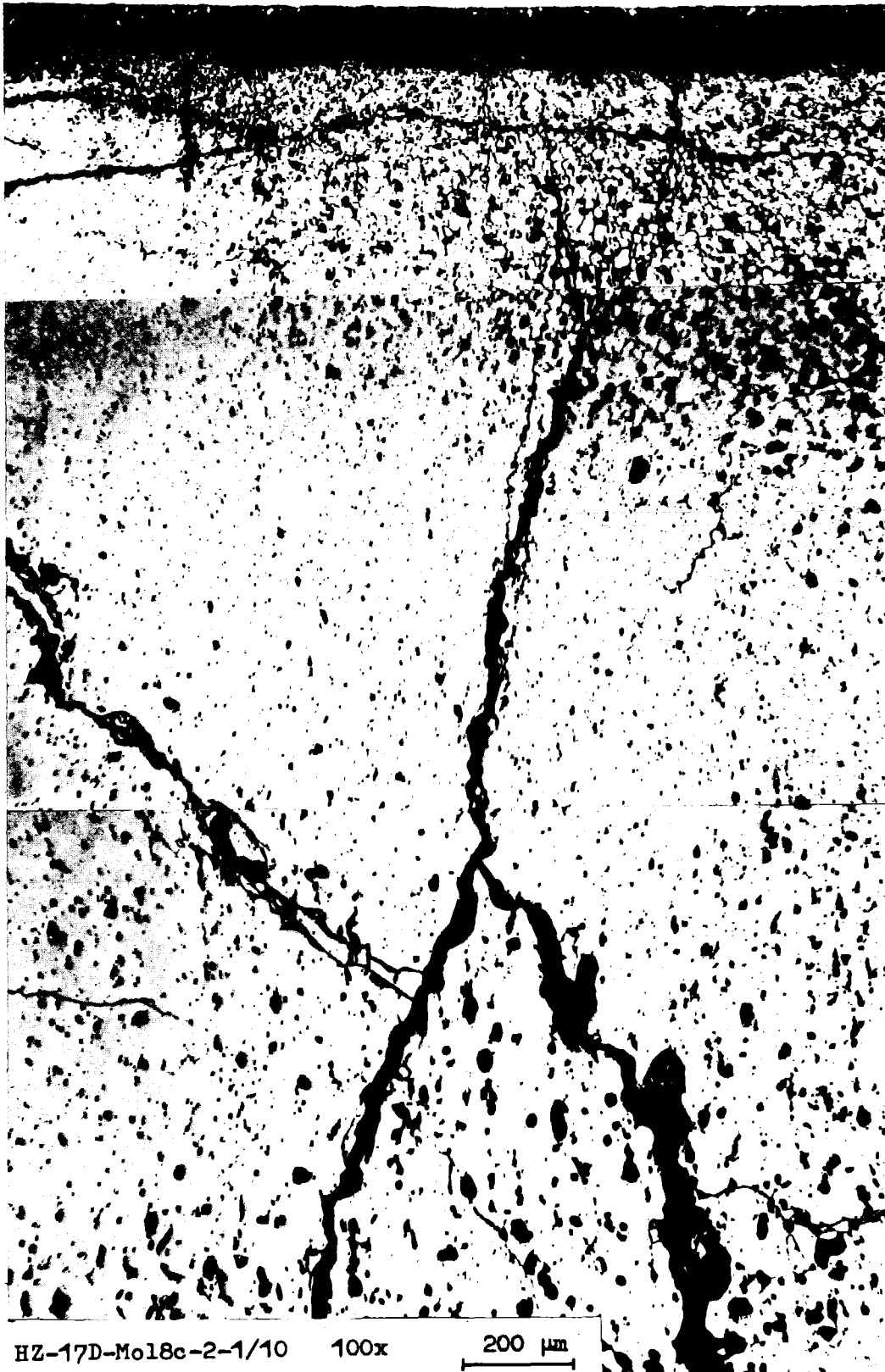


β - γ (60 sec)

Mol 8C Prüfling 2 UO₂-PuO₂

- I/26 -

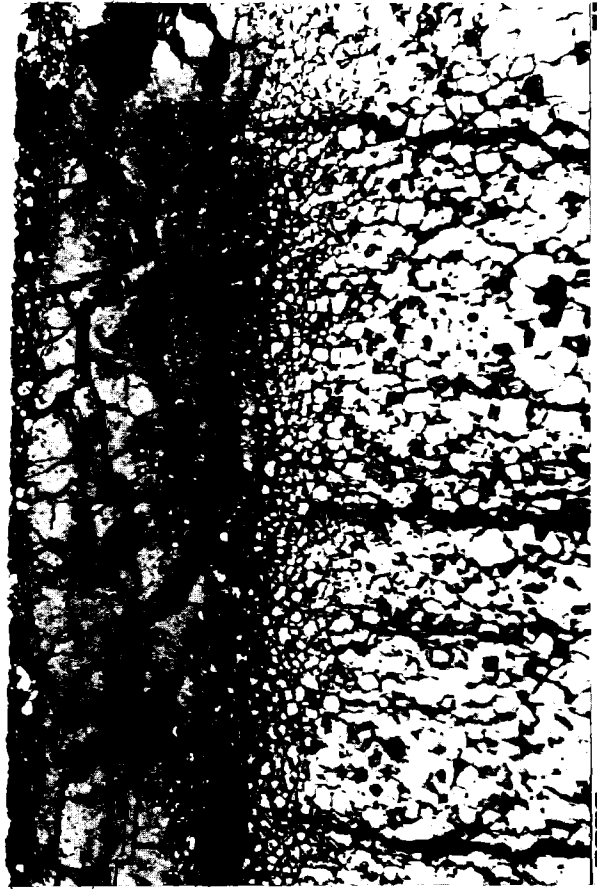
Schnitt 1



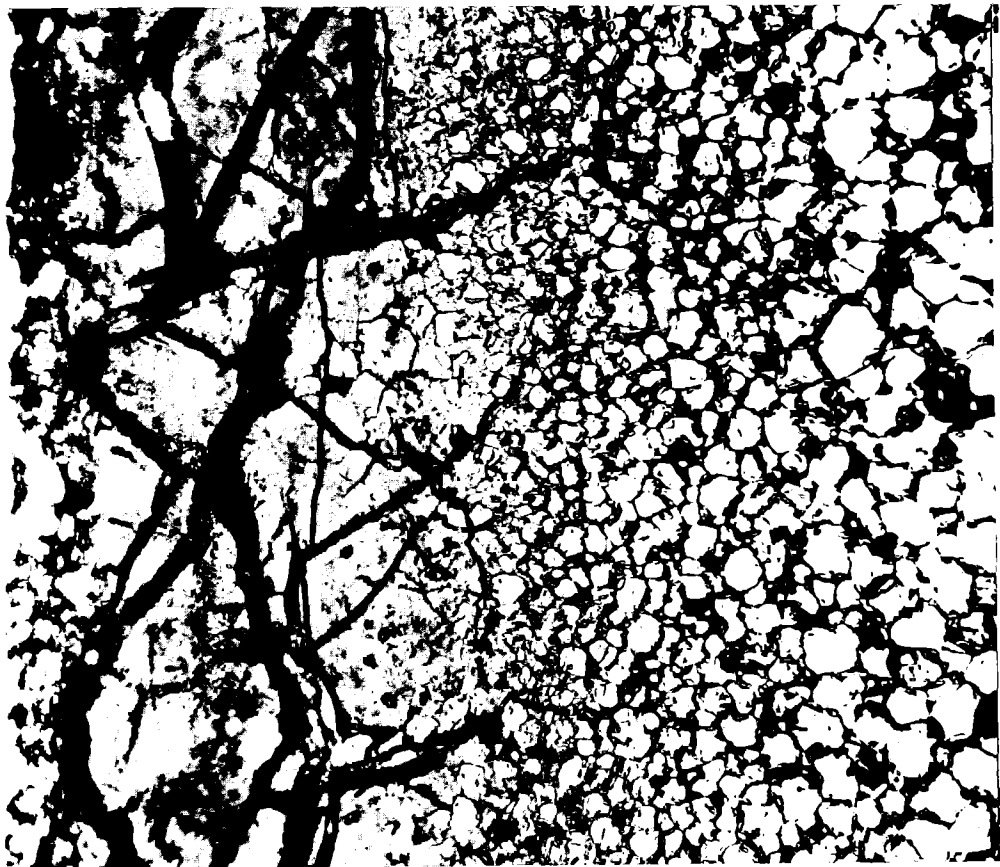
HZ-17D-Mol8c-2-1/10

100x

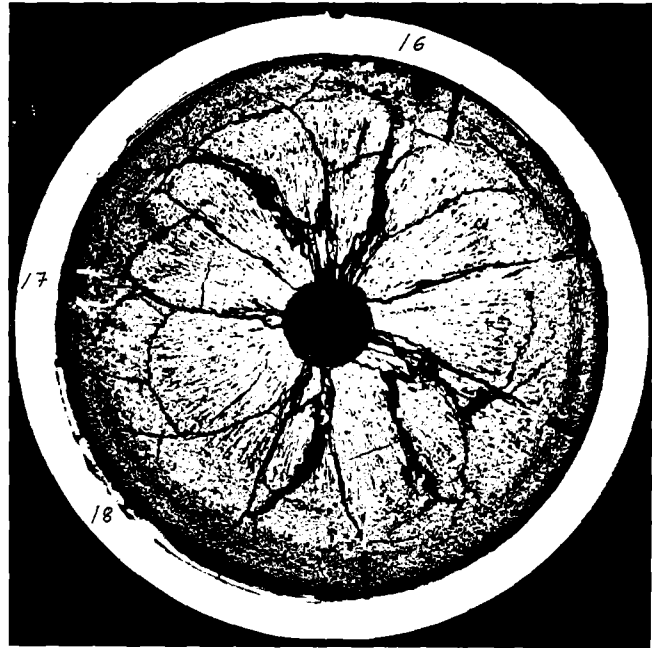
200 μm



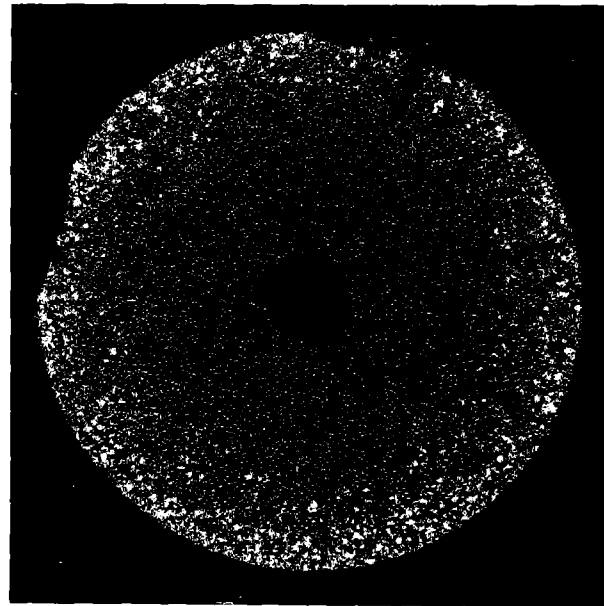
HZ-17D-Mo18c-2-1/11 200x 100 μm



HZ-17D-Mo18c-2-1/13 200x 100 μm



Schnitt 4



α (8 sec)



β - γ (50 sec)

Autoradiografie

1mm

Mol 8C Prüfling 2 UO_2 - PuO_2

-I/29-

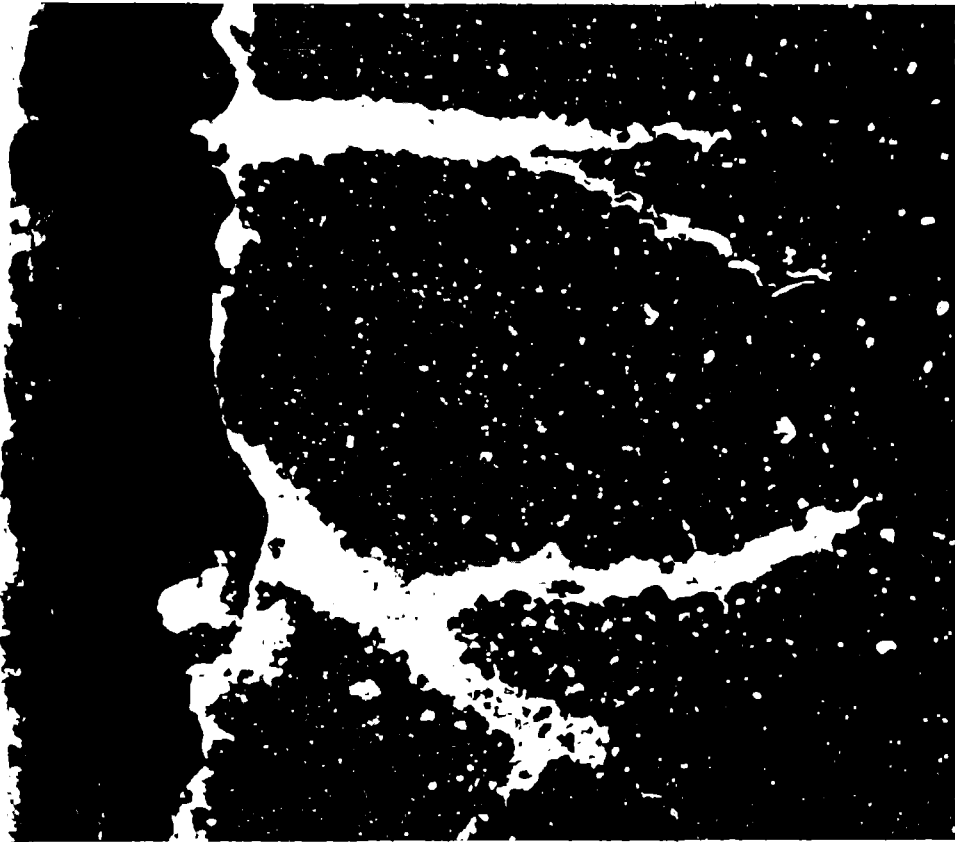
Schnitt 4



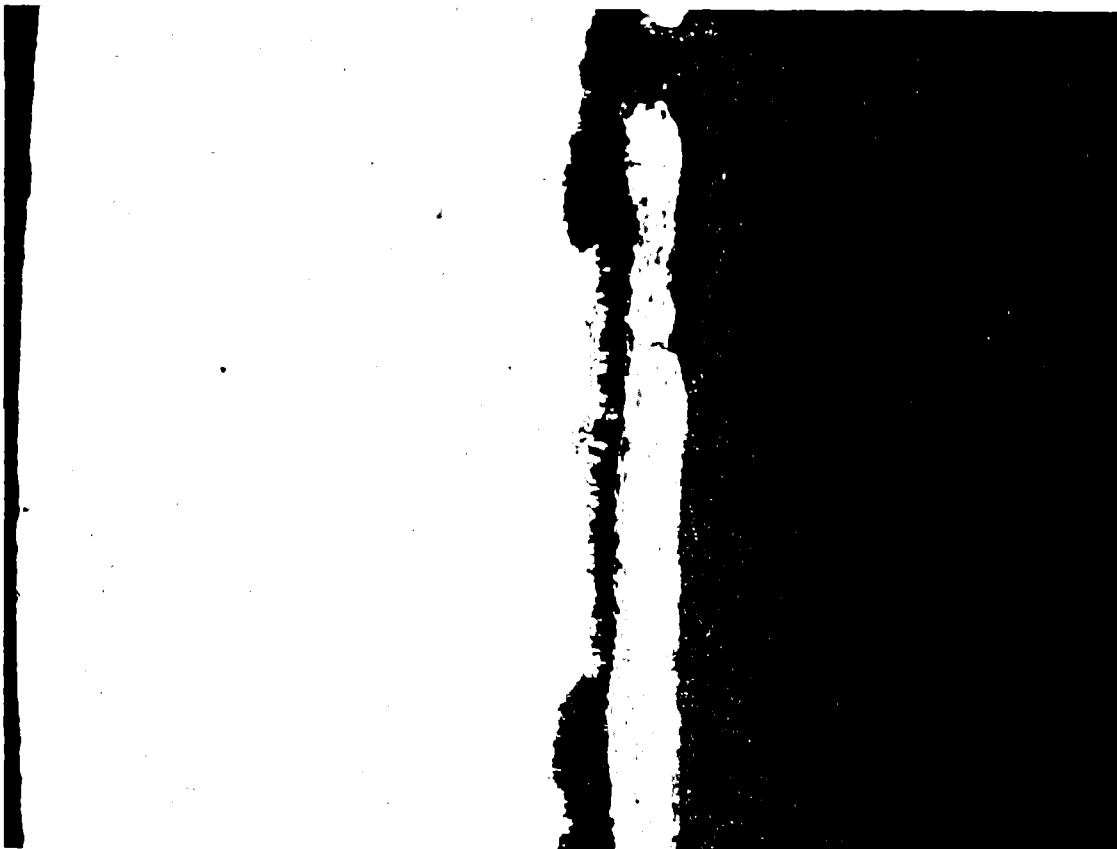
HZ-17D-Mo18C-2-4/6

100x

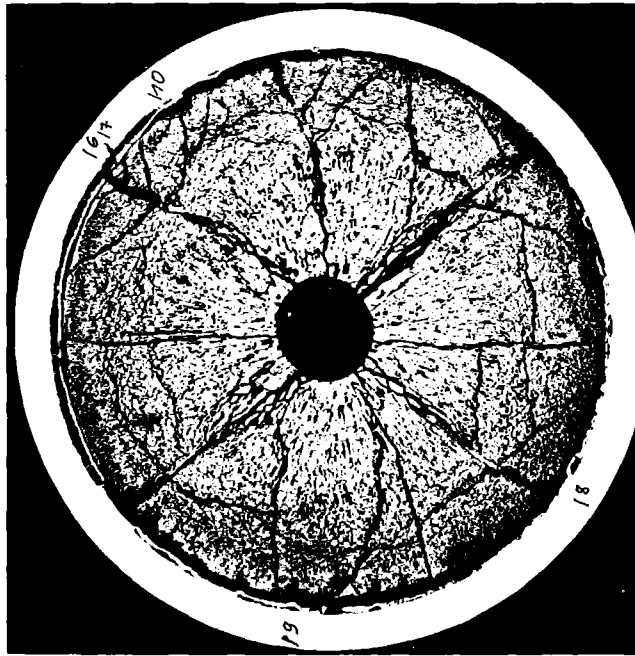
200 μm



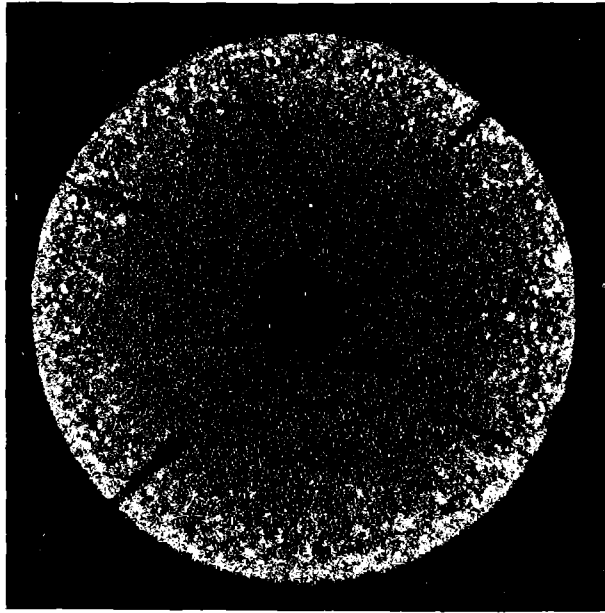
HZ-17D-Mo18C-2-4/7 200 x 100 μm



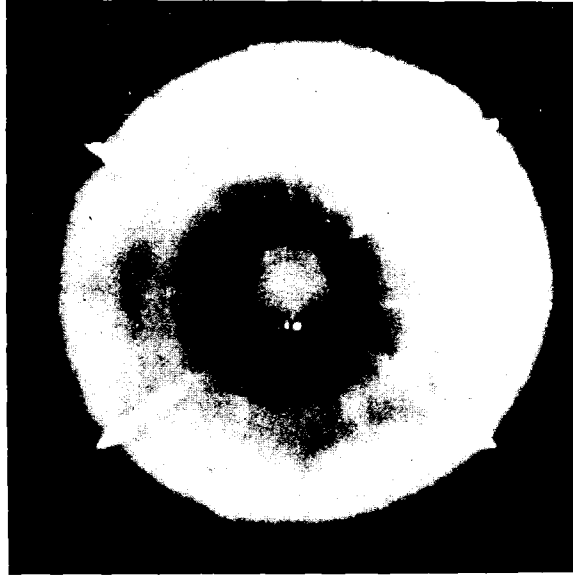
HZ-17D-Mo18C-2-4/8 200 x 100 μm



Schnitt 8



α (8 sec)



β - γ (50 sec)

Autoradiografie

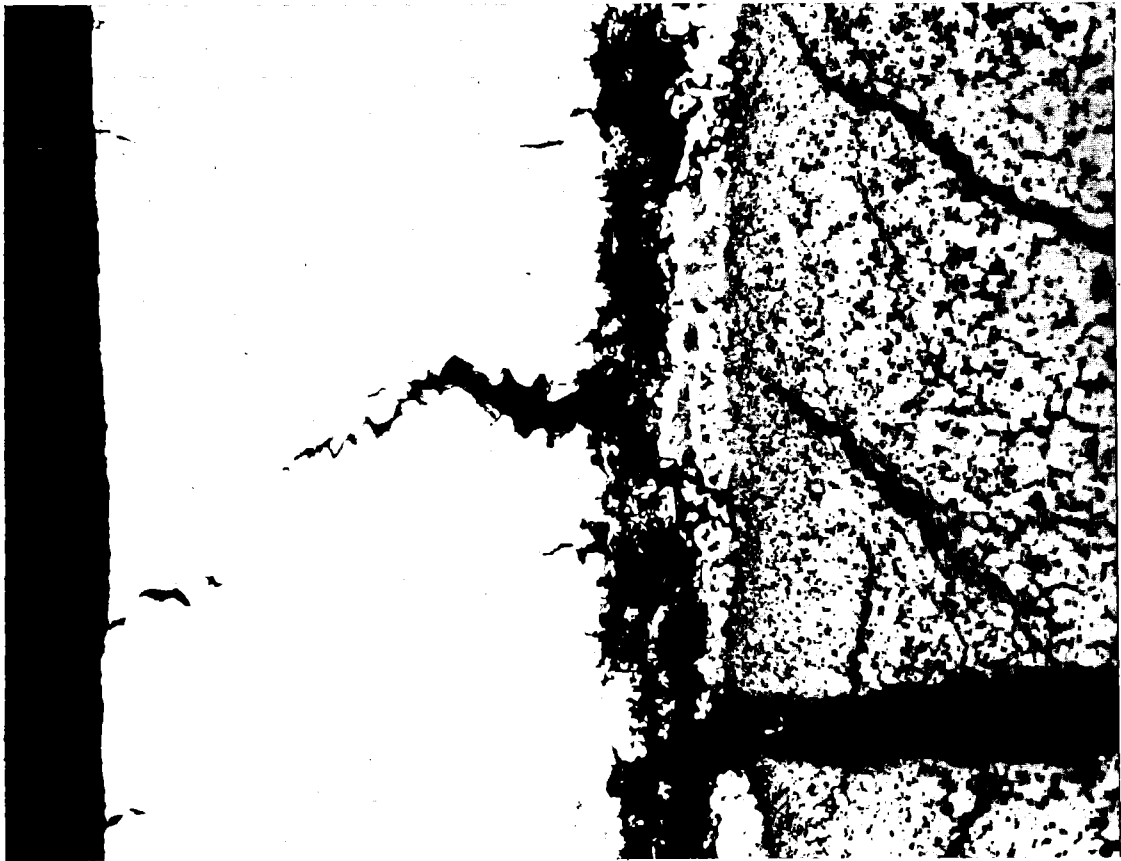
1 mm

Mol 8C Prüfling 2 UO₂-PuO₂

-I/32-
Schnitt 8



HZ-17D-Mo18C-2-8/6 100x 200 μm



100 μm

HZ-17D-Mo18C-2-8/7 200 x

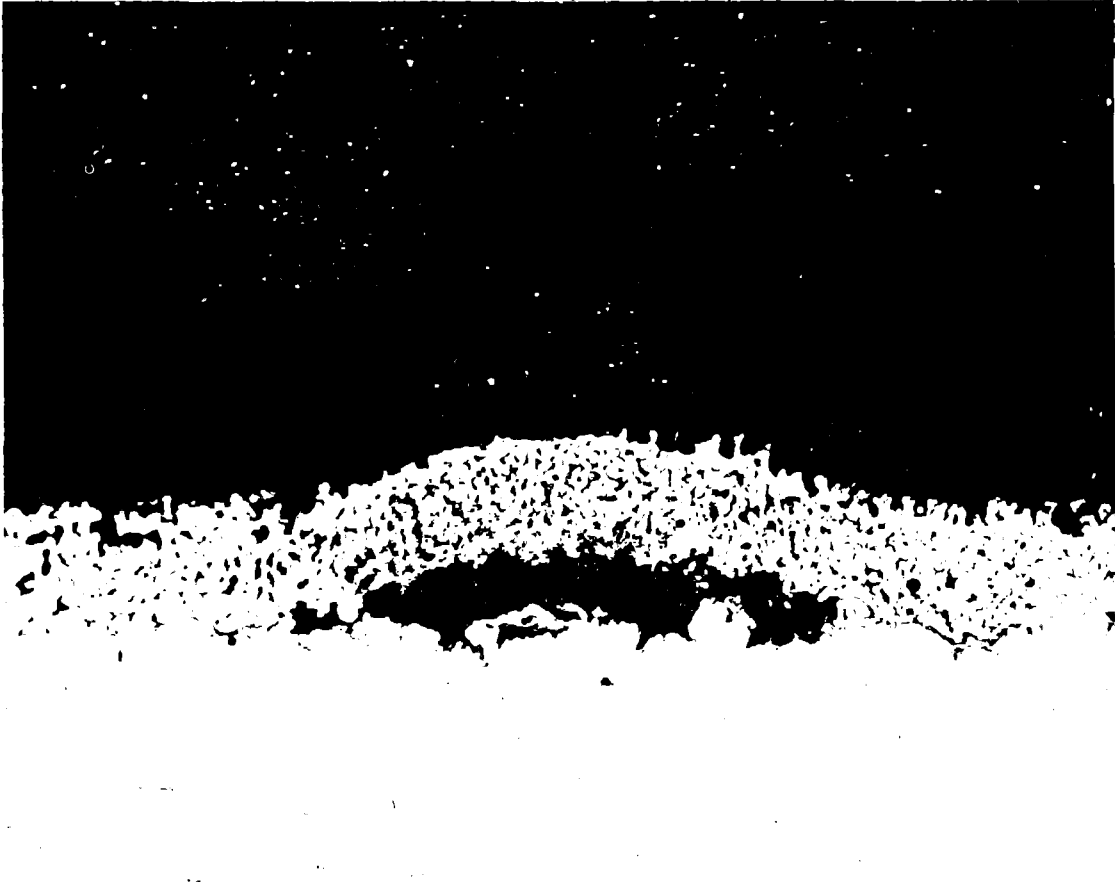


100 μm

HZ-17D-Mo18C-2-8/8 200 x

-I/34-

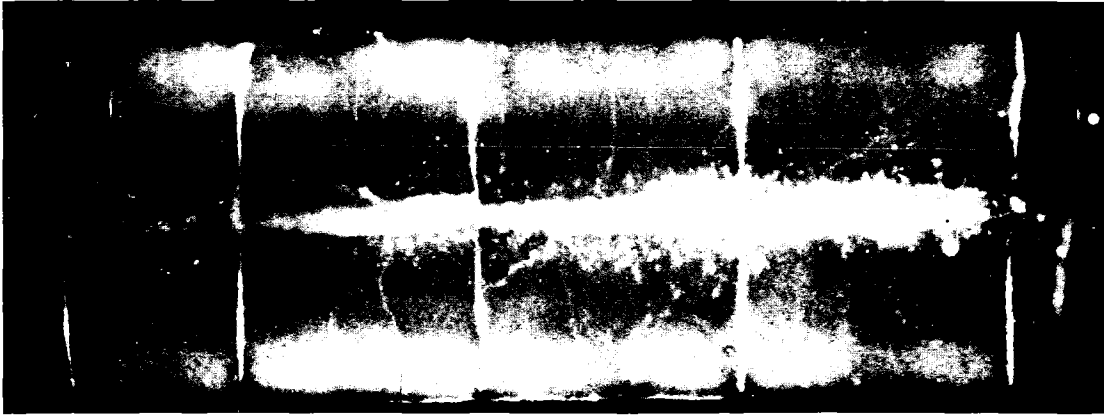
Schnitt 8



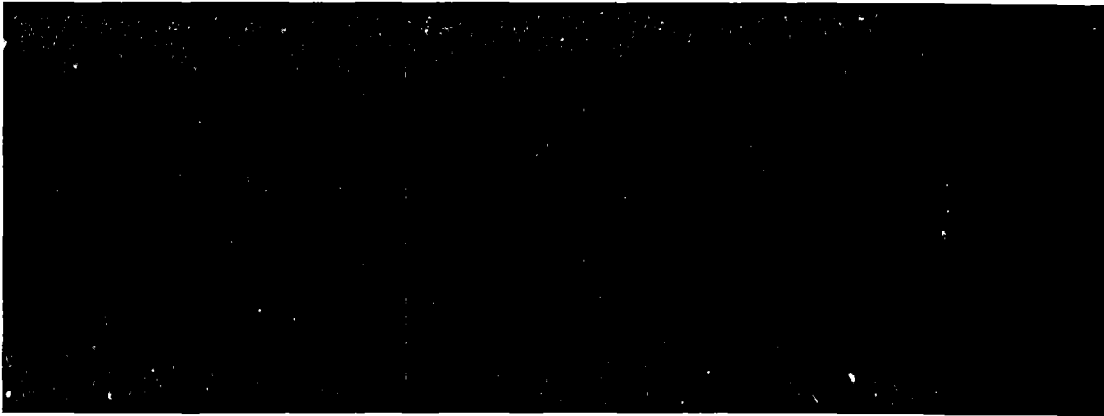
40 μm

HZ-17D-Mo18c-2-8/9 500 x



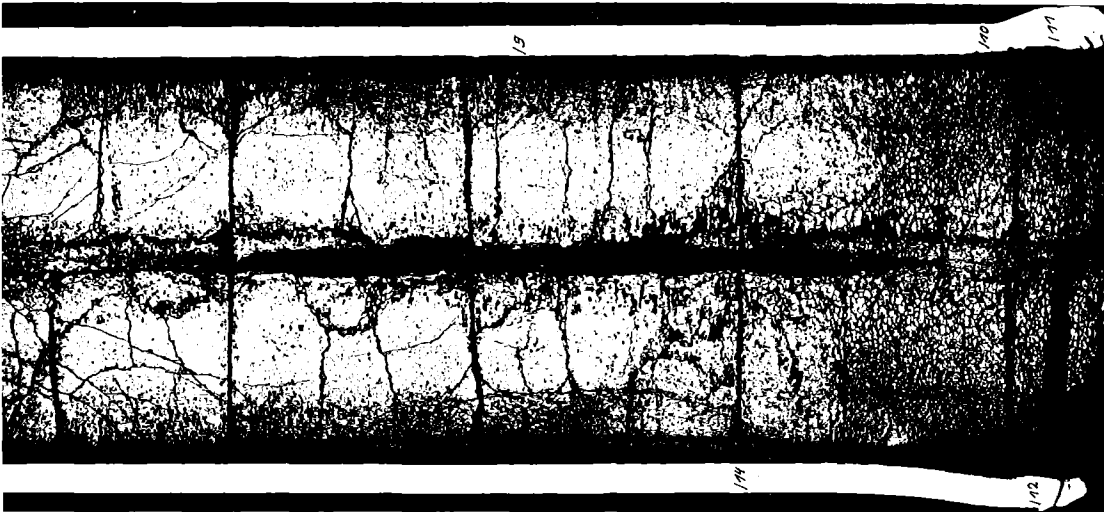


β - γ (100 sec)



α (25 sec)

Autoradiografie

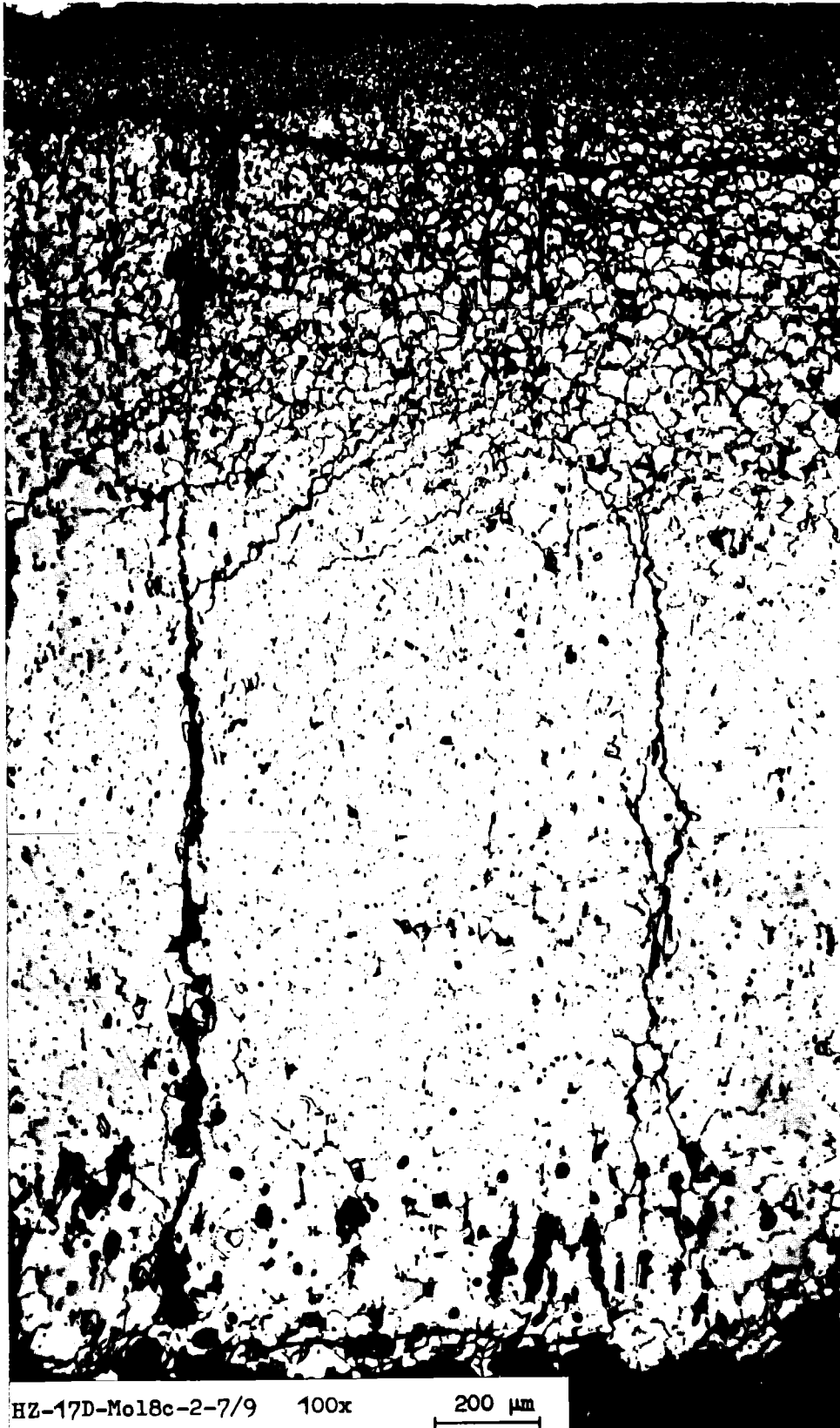


Schnitt 7

1mm

Mol 8C Prüfling 2 UO₂-PuO₂

-I/36-
Schnitt 7



HZ-17D-Mo18c-2-7/9 100x

200 μm



100 μm

200x

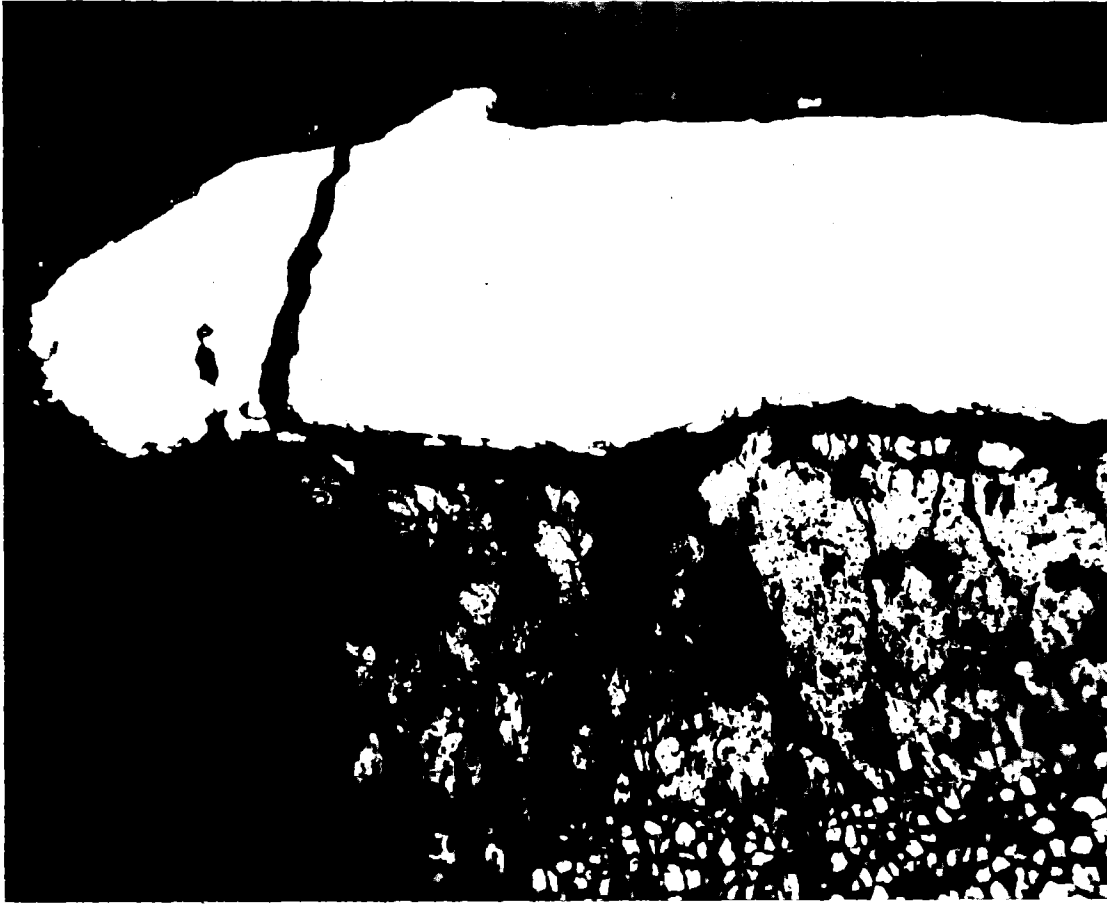
HZ-17D-Mo18c-2-7/10



200 μm

100x

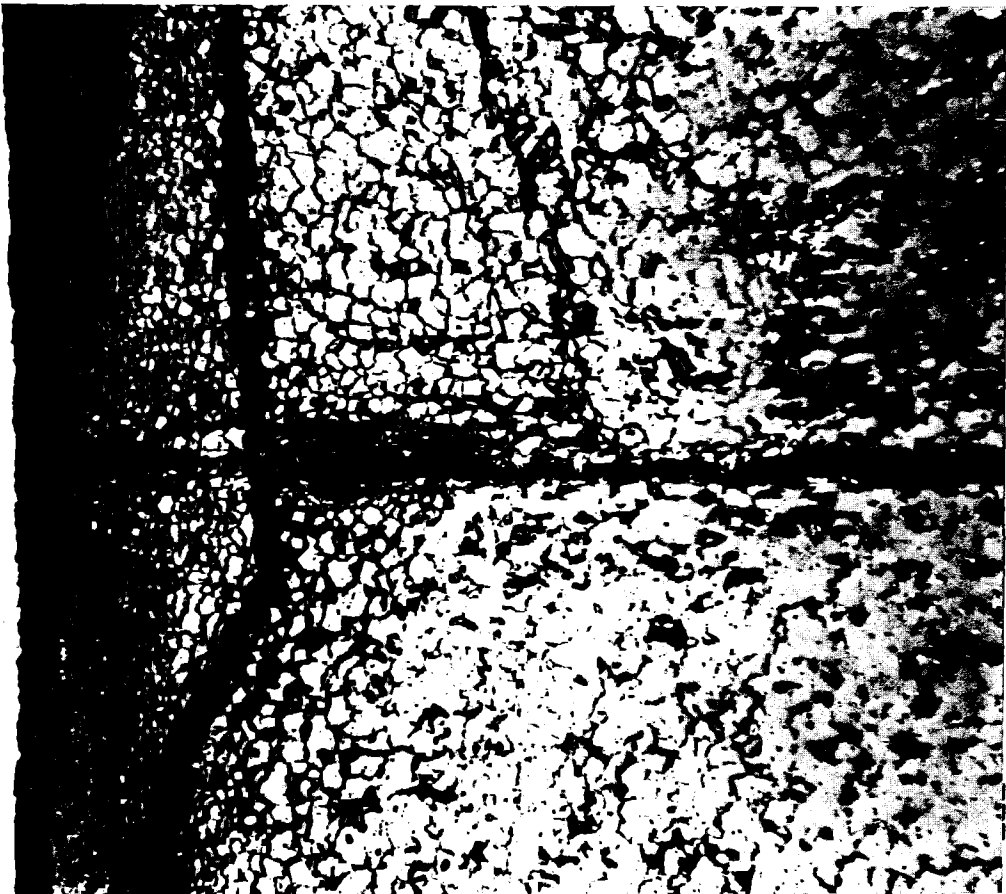
HZ-17D-Mo18c-2-7/11



200 μ m

100x

HZ-17D-Mo18c-2-7/12



200 μ m

100x

HZ-17D-Mo18c-2-7/14

Prüfling 8C-2

Brennstoff:

Form : Tabletten
 Zusammensetzung : $UO_2 - PuO_2$
 Tablettendichte : 95 % th.D.

Hülle:

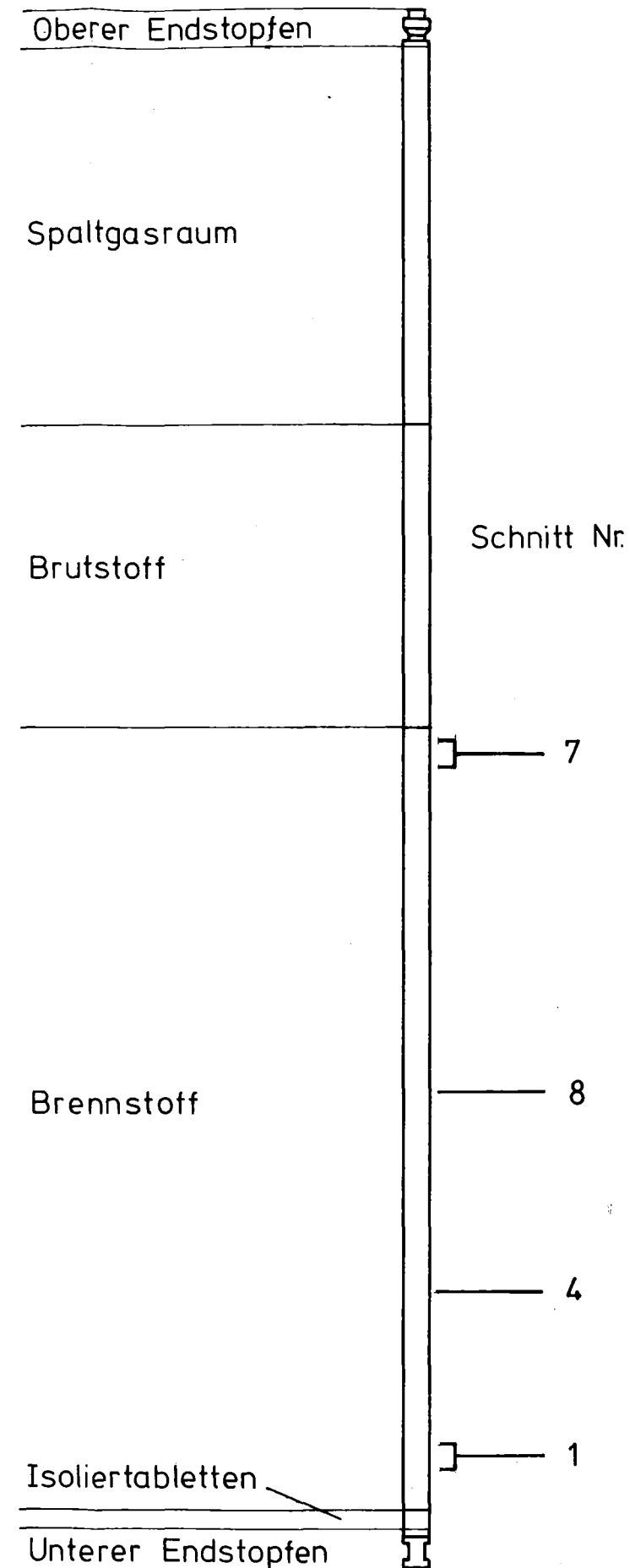
Material : 1.4988
 Aussendurchmesser : 6,0 mm
 Wandstärke : 0,38 mm

Geometrie:

Länge des Prüflings : 1024,4 mm
 Länge der Brennstoffsäule: 520 mm
 Radiale Spaltweite : 70 μ m
 Schmierdichte : 90 % th.D.

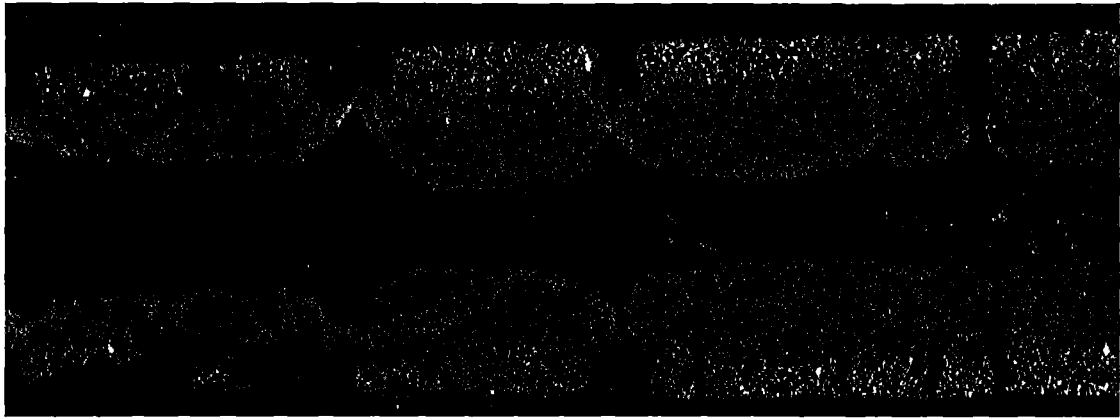
Bestrahlung:

Einrichtung : Kapsel-
 FAFNIR
 Dauer in Vollasttagen : 761,56 d
 Ende : 15. 3. 74
 Rechn. Abbrand max. : 113 MWd/kgM
 Stableistung max/mittl. : 344/216 W/cm





β - γ (60 sec)



α (10 sec)

Autoradiografie



Schnitt 3

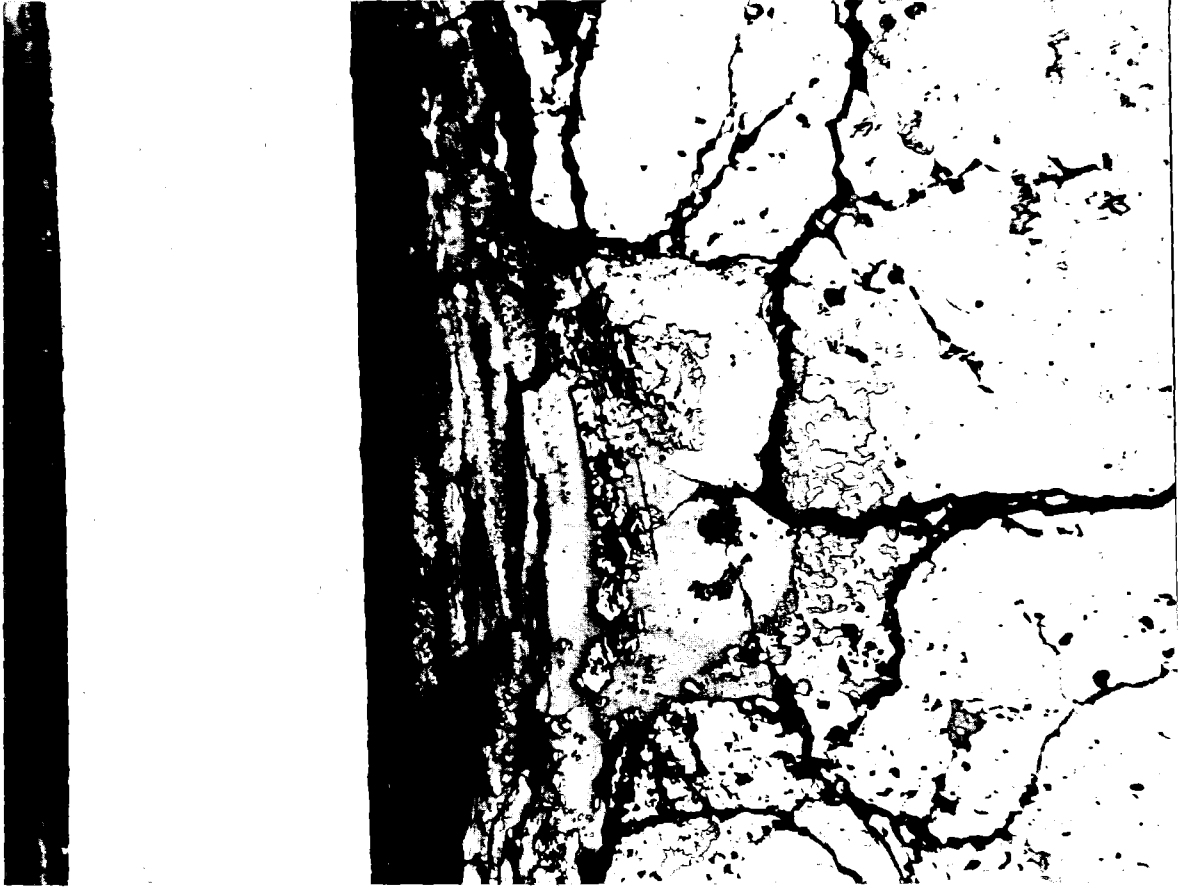
1mm

Mol 8C Prüfling 3 UO₂-PuO₂



HZ-17D-Mo18c-3-3/10 100 x

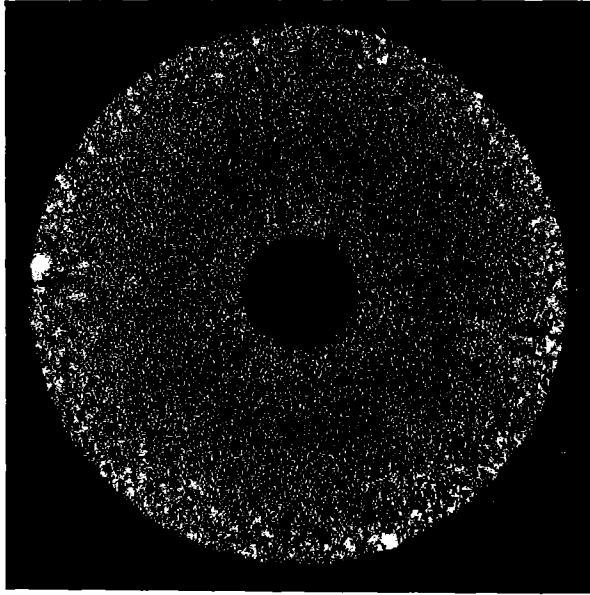
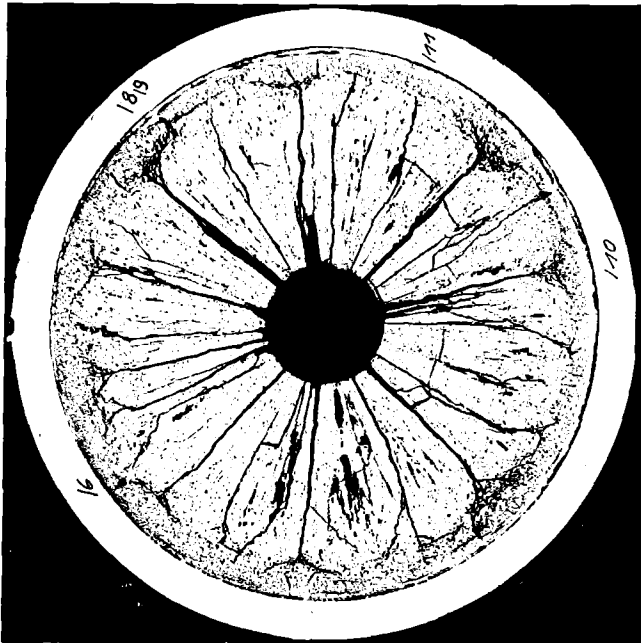
200 μ m



HZ-17D-Mo18c-3-3/11 100 x 200 μm



HZ-17D-Mo18c-3-3/12 100 x 200 μm



Schnitt 8

α (10 sec)

β - γ (40 sec)

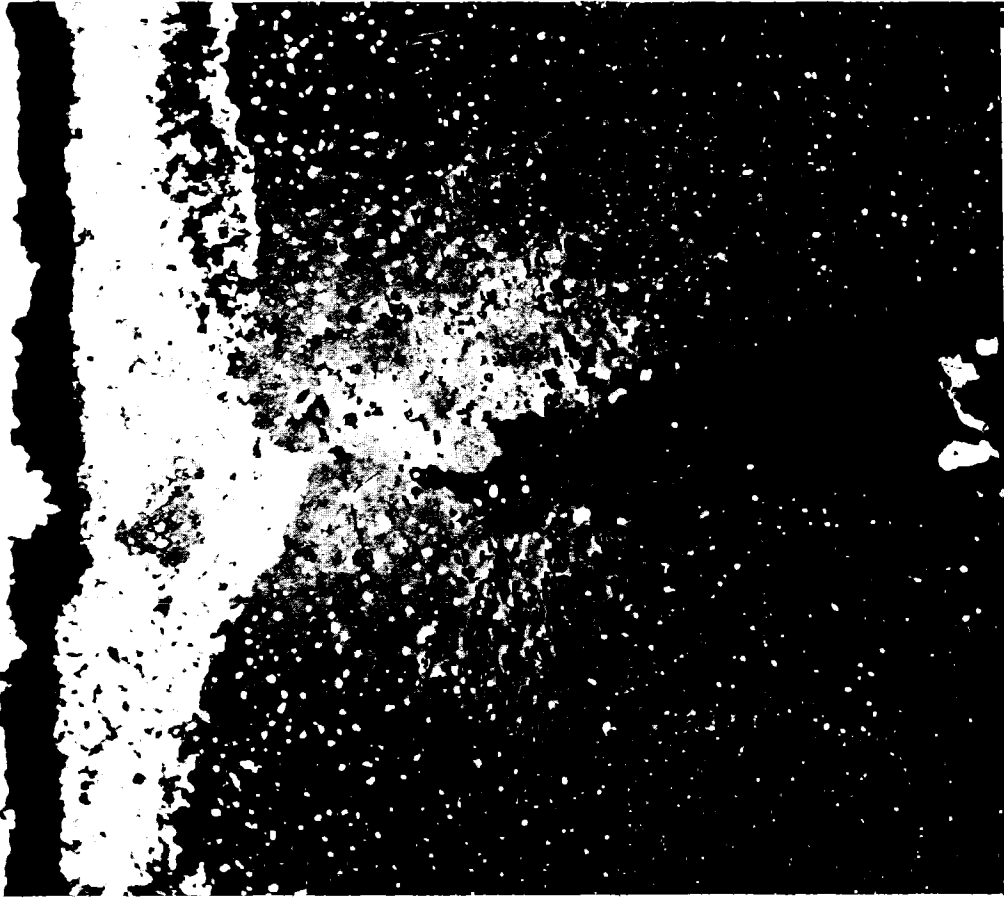
Autoradiografie

1 mm

Mol 8C Prüfling 3 UO₂-PuO₂

-I/45-
Schnitt 8

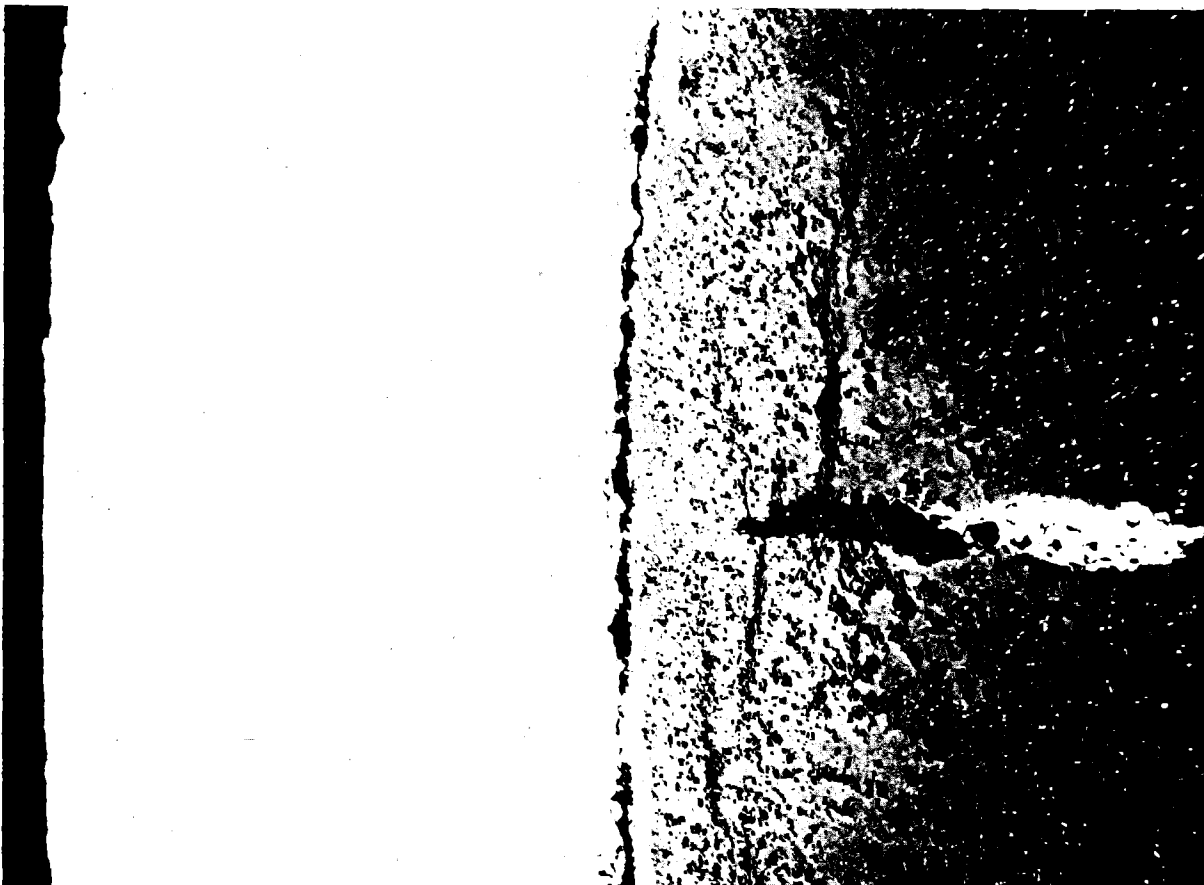




40 μm

500x

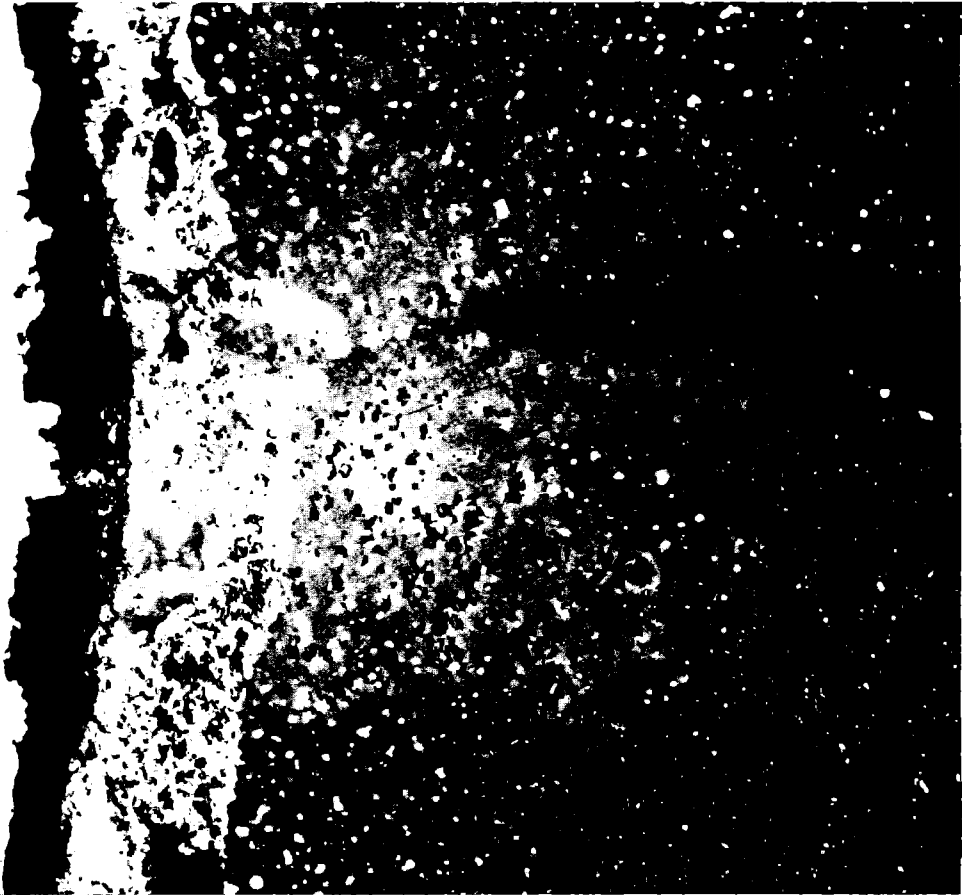
HZ-17D-Mo18C-3-8/8



100 μm

200x

HZ-17D-Mo18C-3-8/9



40 μm

500x

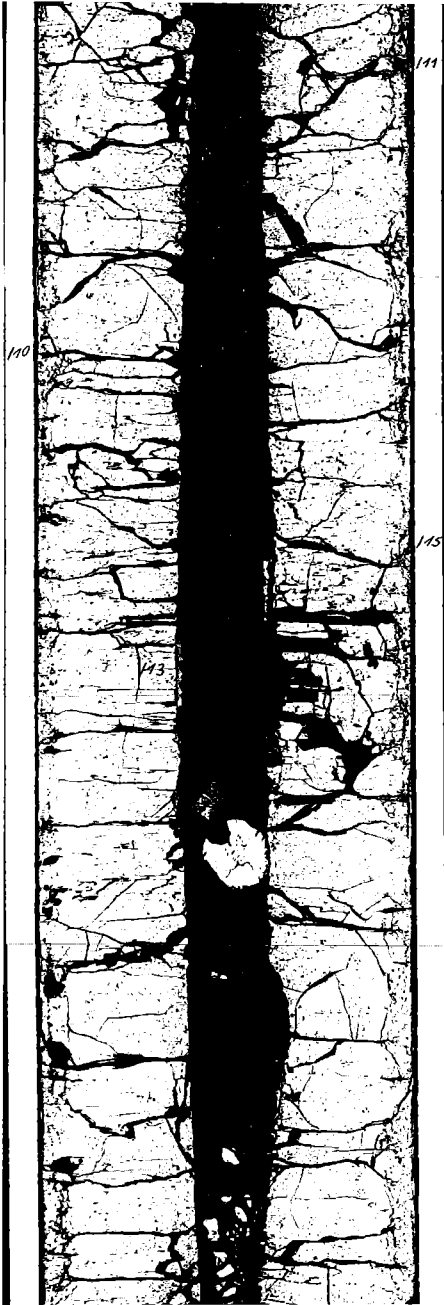
HZ-17D-Mo18C-3-8/10



100 μm

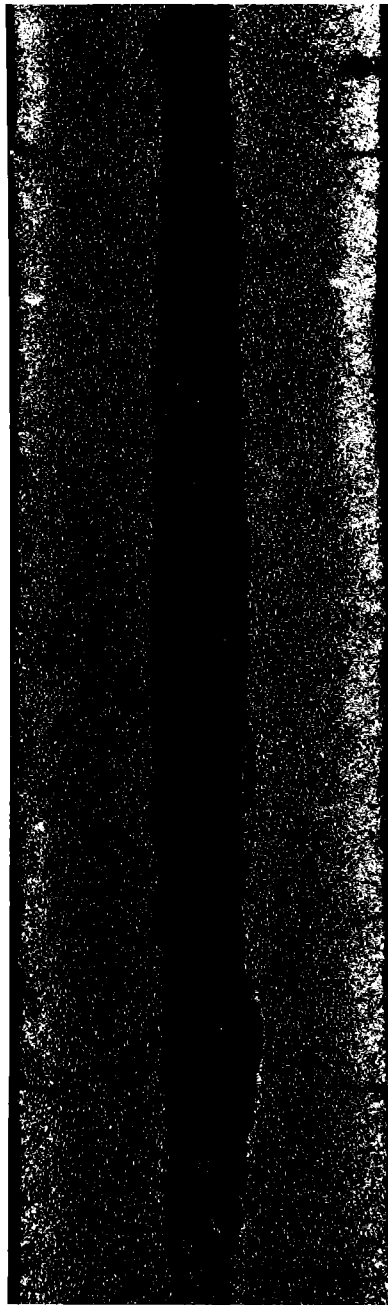
200x

HZ-17D-Mo18C-3-8/11



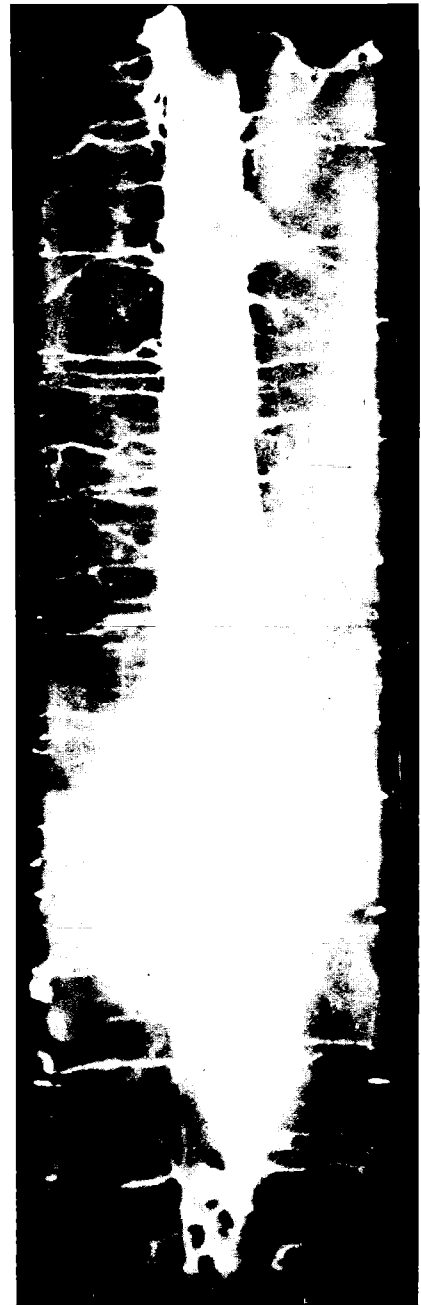
Schnitt 13

1mm



α (10 sec)

Autoradiografie



β-γ (50 sec)

Mol 8C Prüfling 3 UO₂-PuO₂



HZ-17D-Mo18c-3-13/10 100 x

200 μm



100 μm

200x

HZ-17D-Mo18C-3-13/11

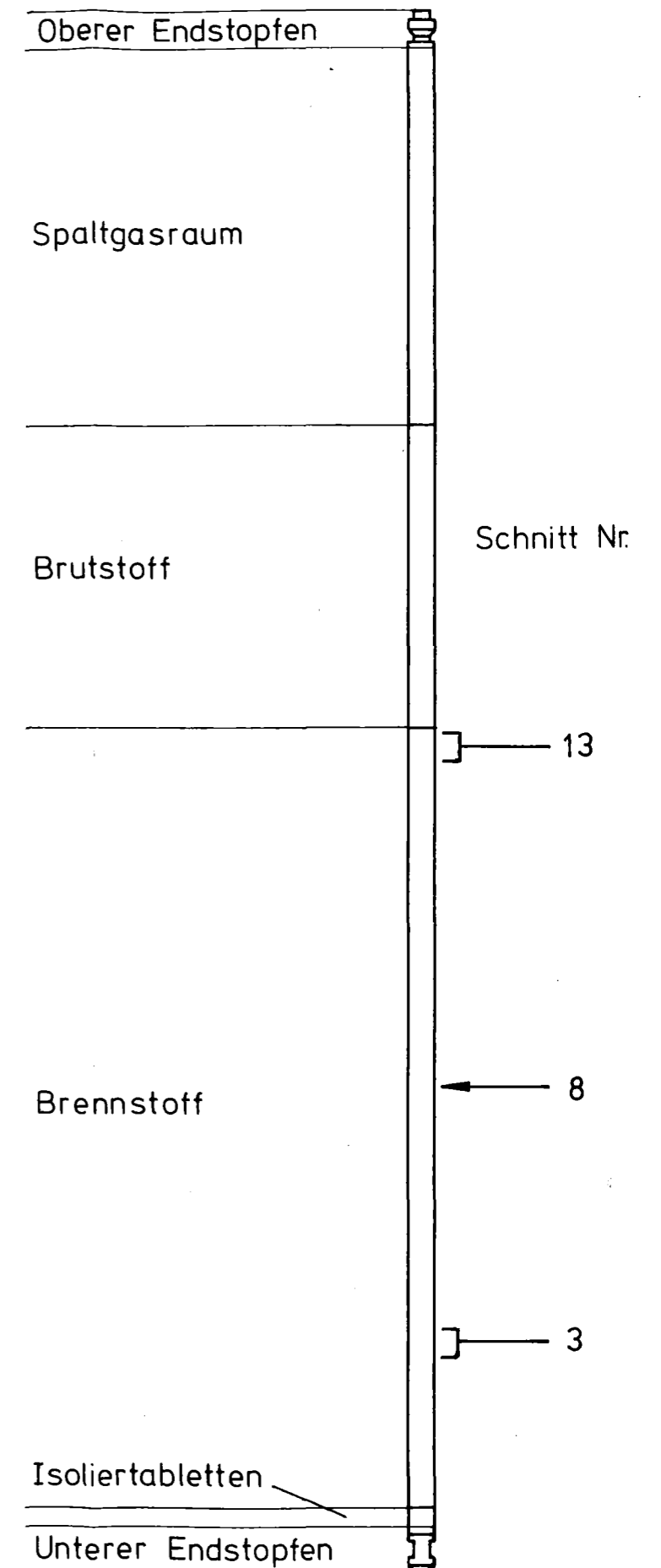


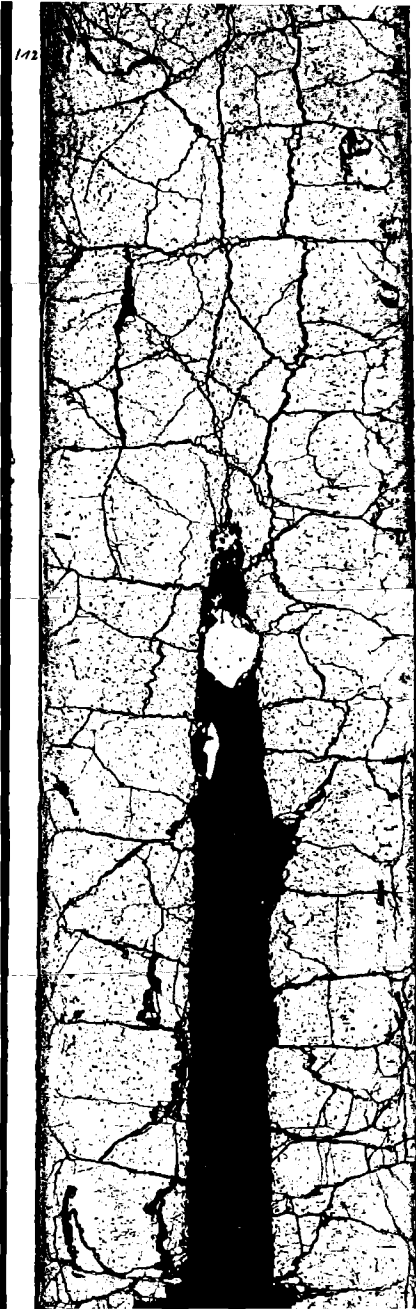
100 μm

200x

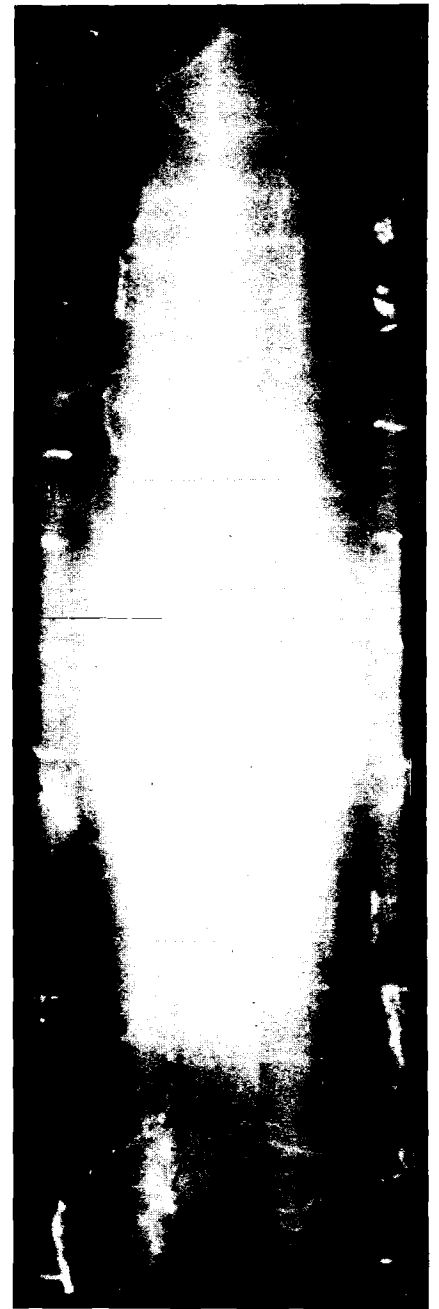
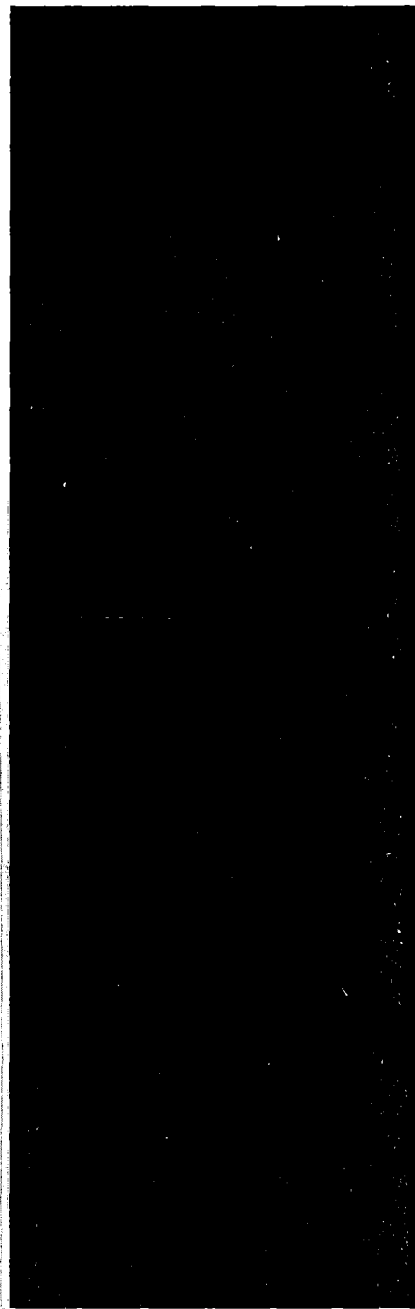
HZ-17D-Mo18C-3-13/15

Prüfling 8C-3	
Brennstoff:	
Form	: Tabletten
Zusammensetzung	: $UO_2 - PuO_2$
Tablettendichte	: 95 % th.D.
Hülle:	
Material	: 1.4988
Aussendurchmesser	: 6,0 mm
Wandstärke	: 0,38 mm
Geometrie:	
Länge des Prüflings	: 1024,4 mm
Länge der Brennstoffsäule	: 520 mm
Radiale Spaltweite	: 70 μ m
Schmierdichte	: 90 % th.D.
Bestrahlung:	
Einrichtung	: Kapsel- FAFNIR
Dauer in Vollasttagen	: 448,24 d
Ende	: 13.2.73
Rechn. Abbrand max.	: 114 MWd/kgM
Stableistung max/mittl.	: 582/378 W/cm





1mm



Autoradiografie

Mol 8C Prütling 7 UO₂-PuO₂

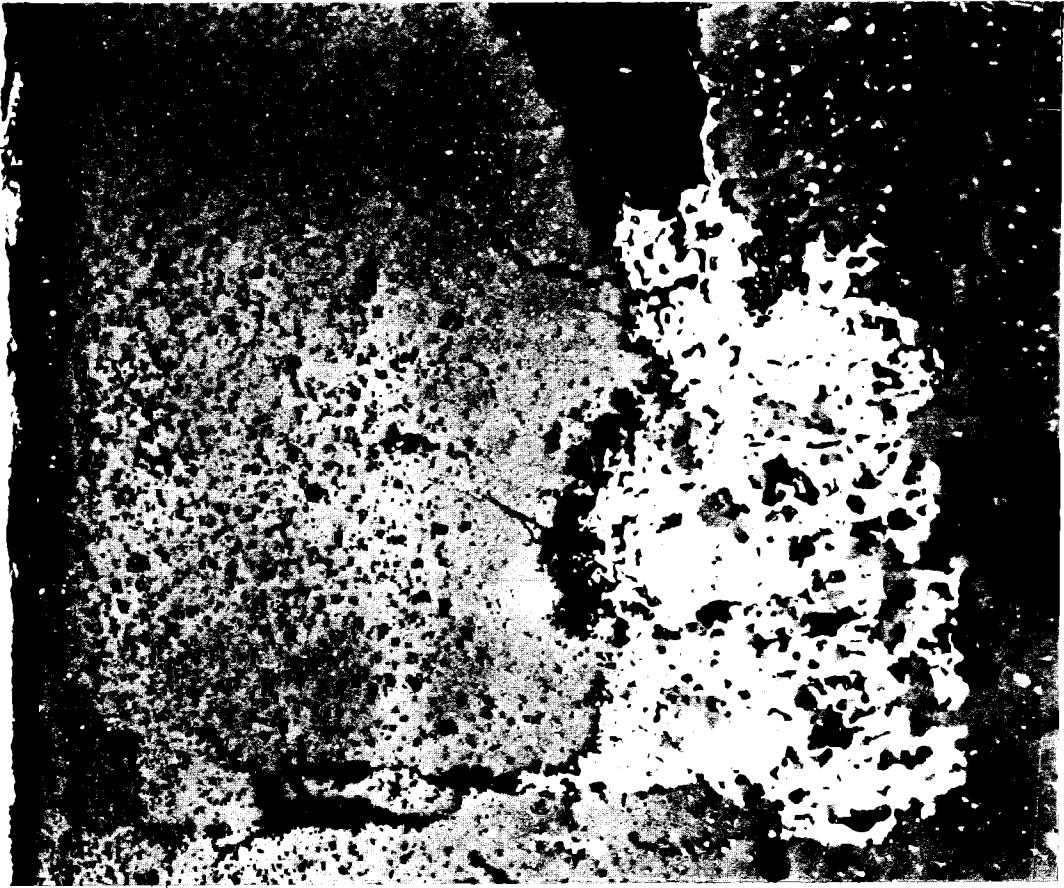
-I/54-

Schnitt 1



HZ-17D-Mo18c-7-1/11 100x

200 μm



100 μm

200x

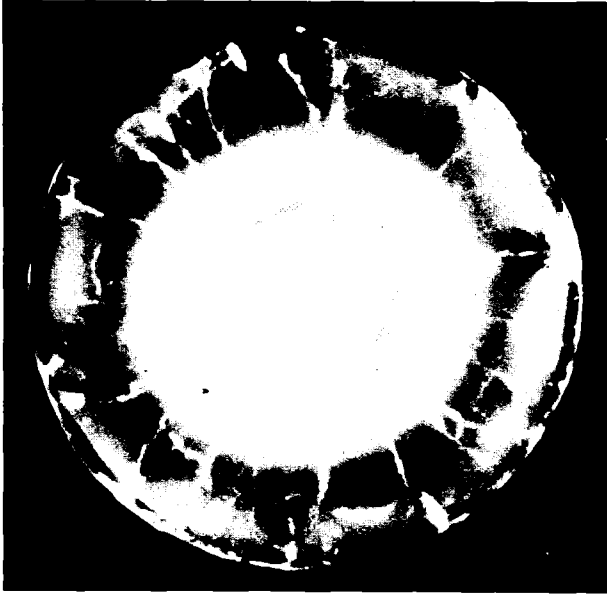
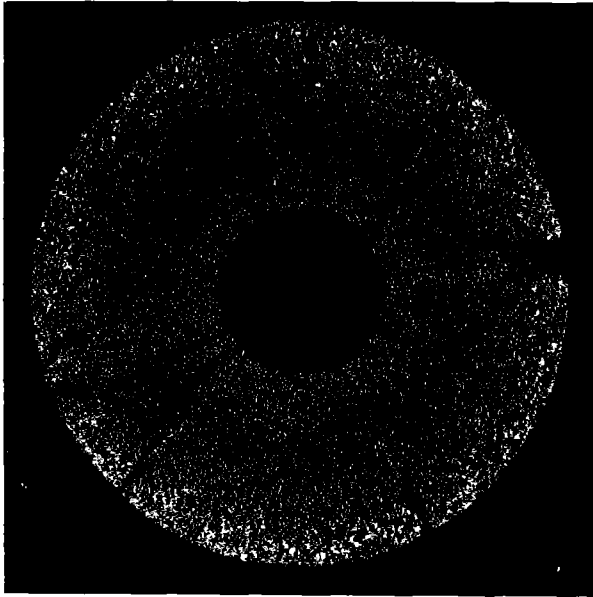
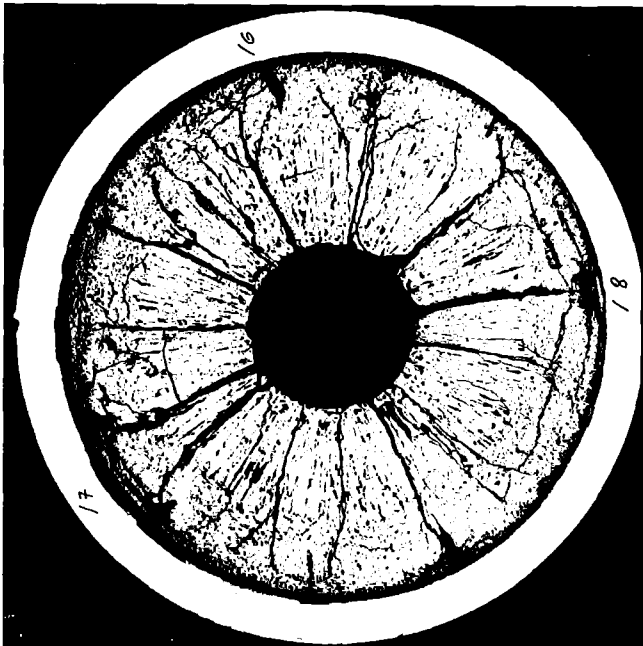
HZ-17D-Mo18c-7-1/12



100 μm

200x

HZ-17D-Mo18c-7-1/14



Schnitt 2

α (40 sec)

β - γ (120 sec)

Autoradiografie

1 mm

Mol 8C Prüfling 7 UO_2 - PuO_2

-I/57-

Schnitt 4



HZ-17D-Mo18C-7-2/6

100x

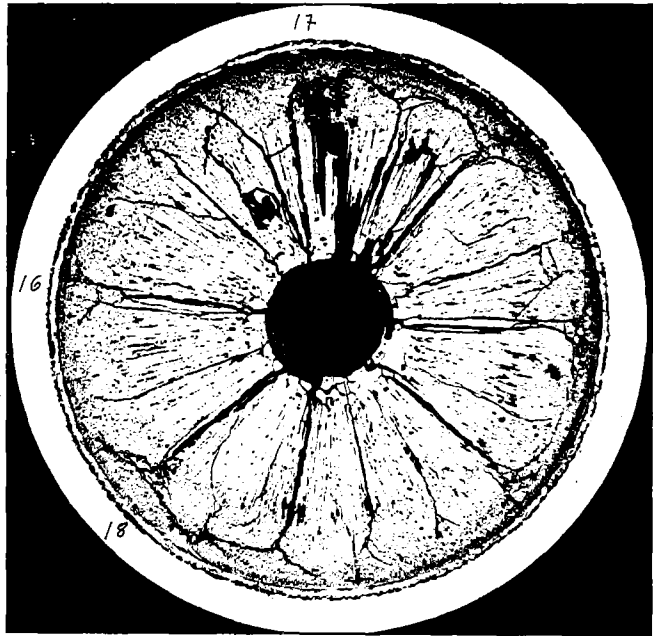
200 μm



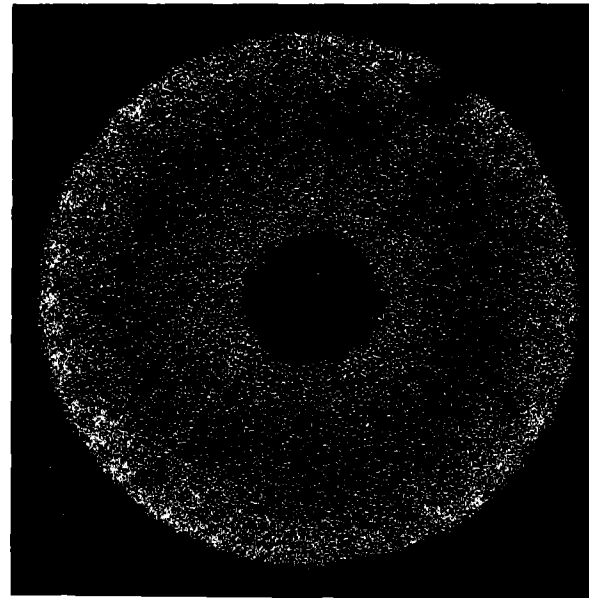
HZ-17D-Mo18C-7-2/7 200 x 100 μm



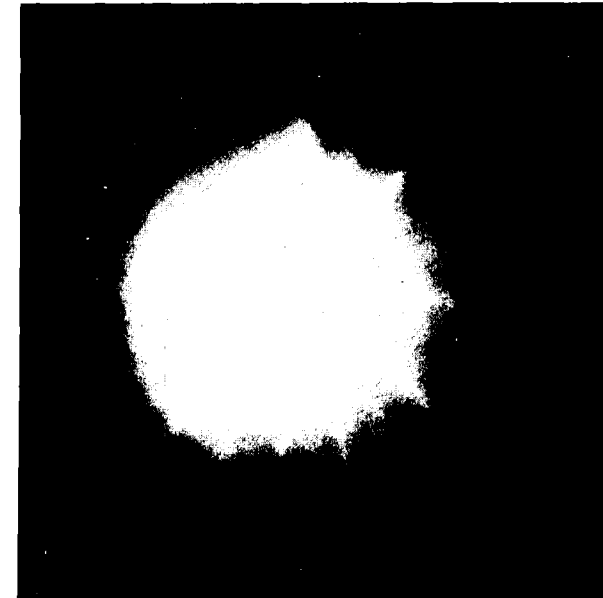
HZ-17D-Mo18c-7-2/8 500 x 40 μm



Schnitt 4



α (40 sec)



β - γ (120 sec)

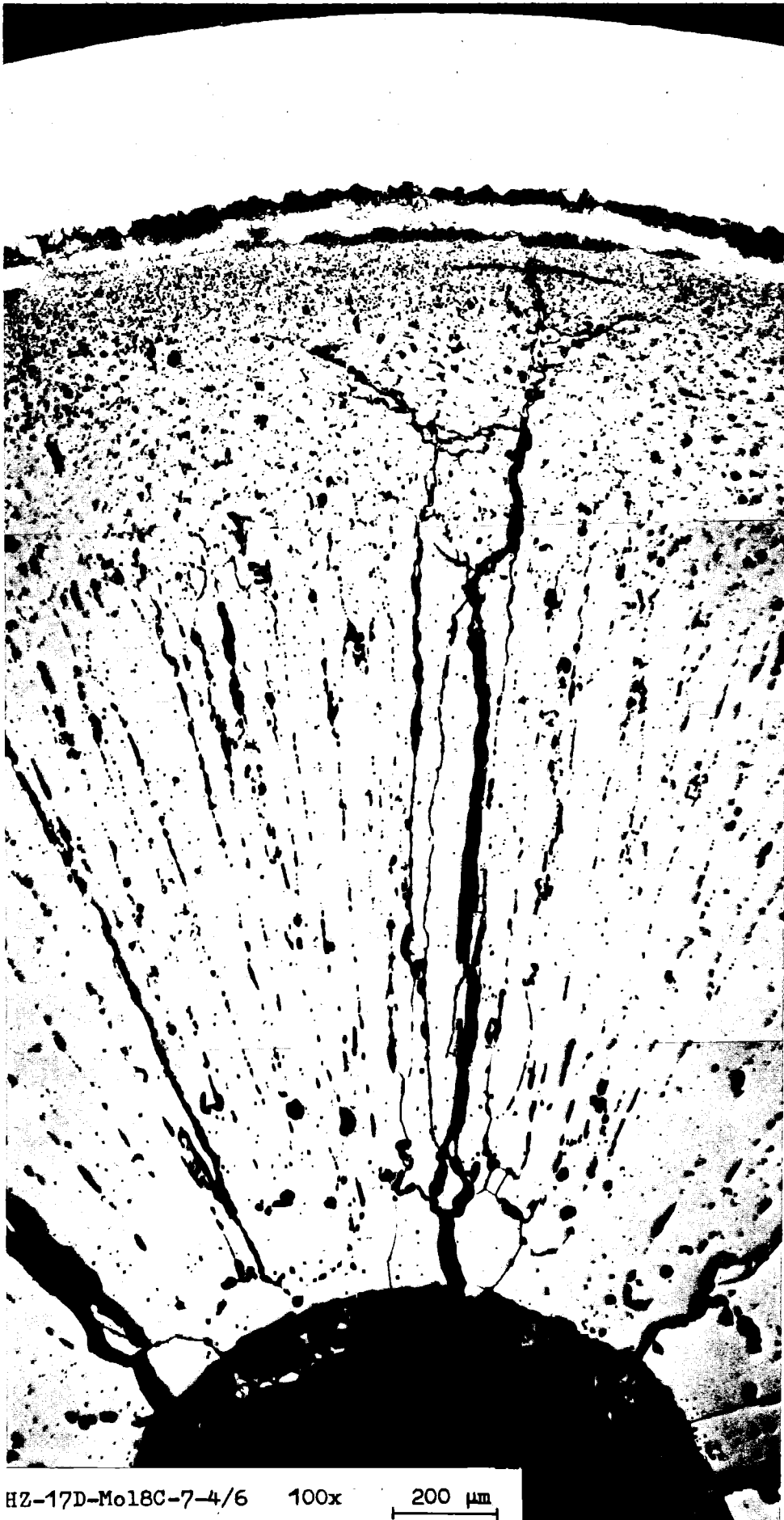
Autoradiografie

1 mm

Mol 8C Prüfling 7 UO_2 - PuO_2

- I/60 -

Schnitt 4



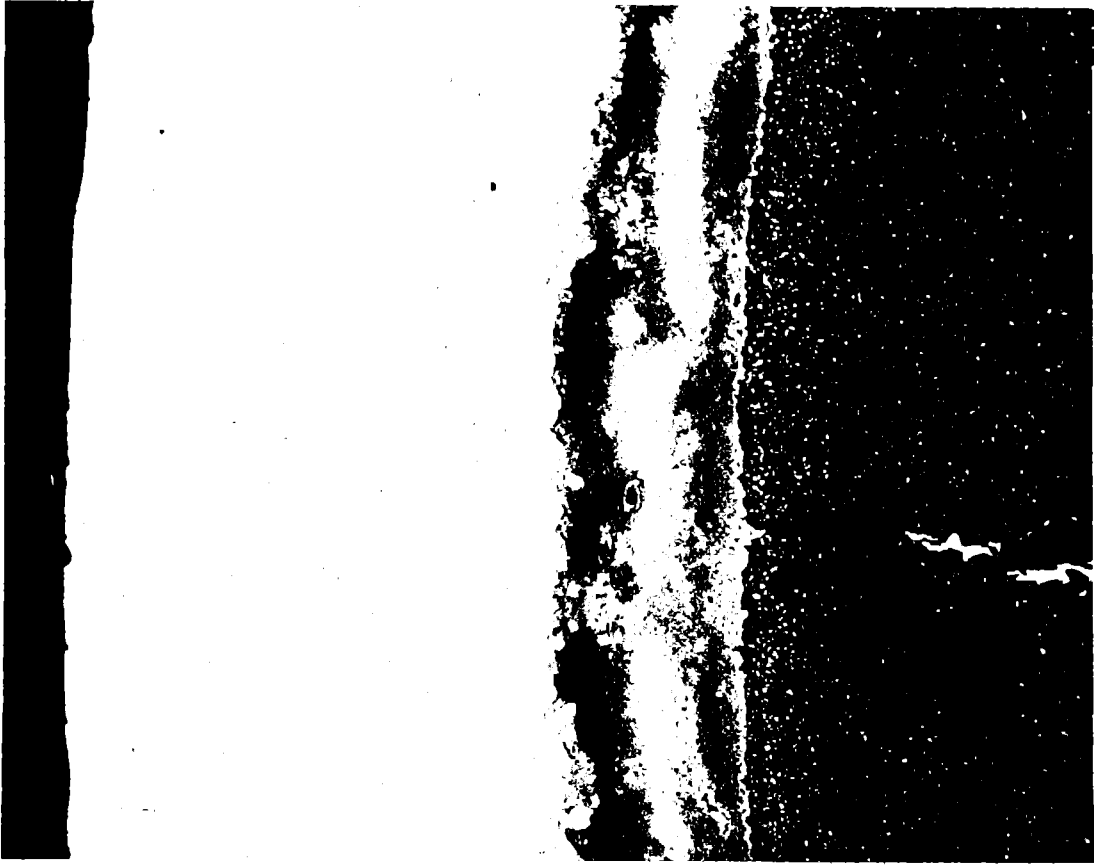
HZ-17D-Mo18C-7-4/6

100x

200 μ m

-I/61-

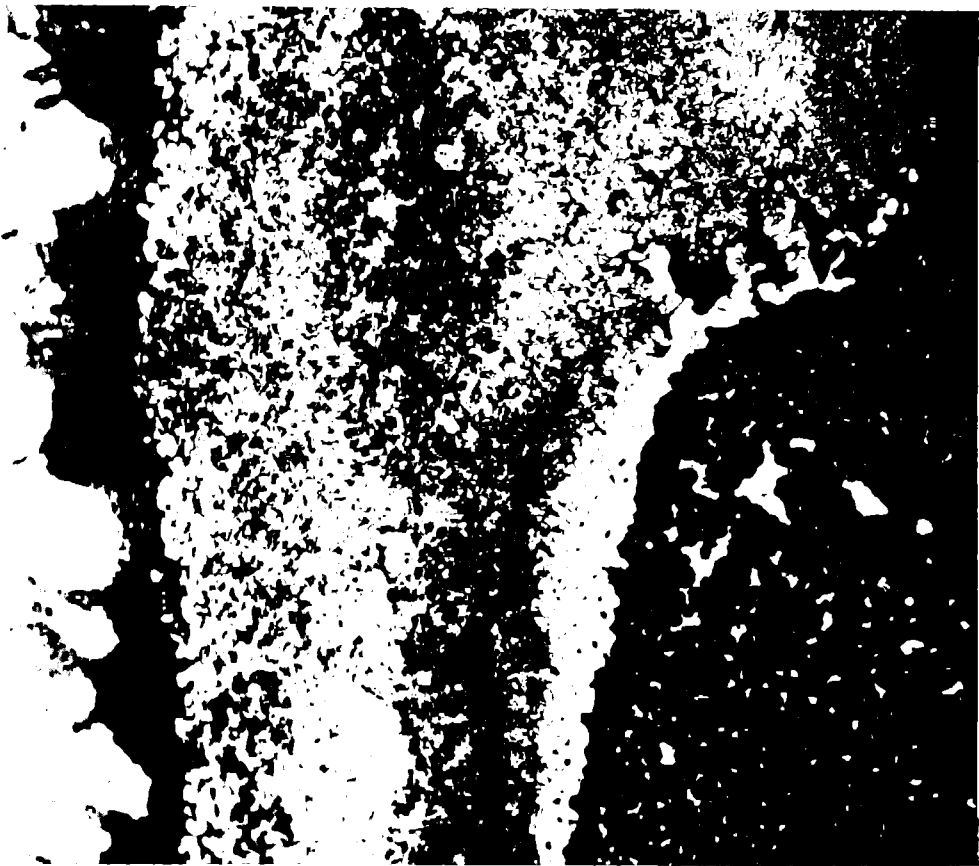
Schnitt 4



100 μm

200 x

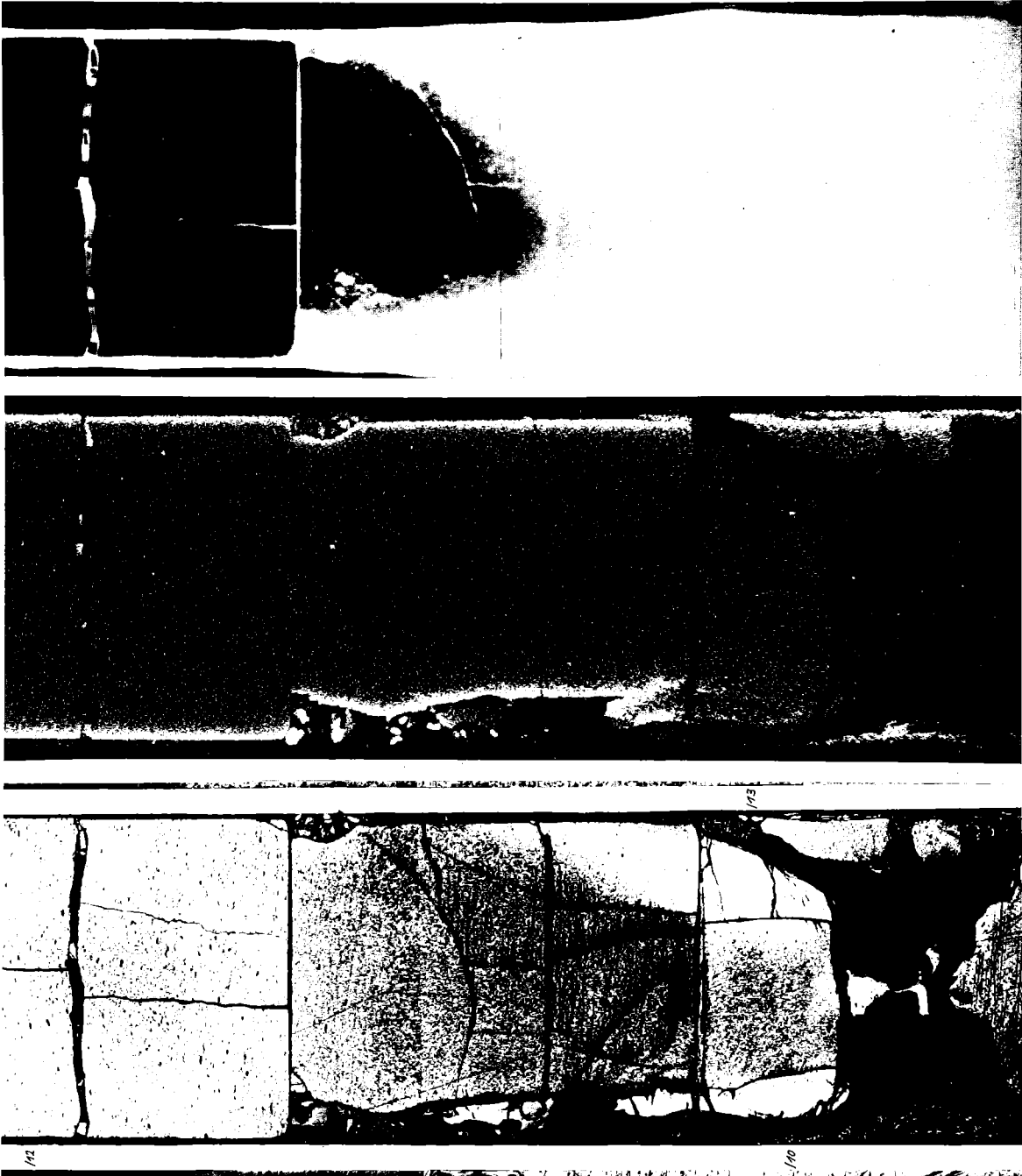
HZ-17D-Mo18C-7-4/7



40 μm

500 x

HZ-17D-Mo18c-7-4/8



β - γ (900 sec)

α (180sec)

Schnitt 5

1mm

Autoradiografie

Mol 8 C Prütling 7 UO₂-PuO₂

-I/63-

Schnitt 5



IZ-17D-Mo18c-7-5/10 100 x

200 μm

-I/64-

Schnitt 5



100 μm

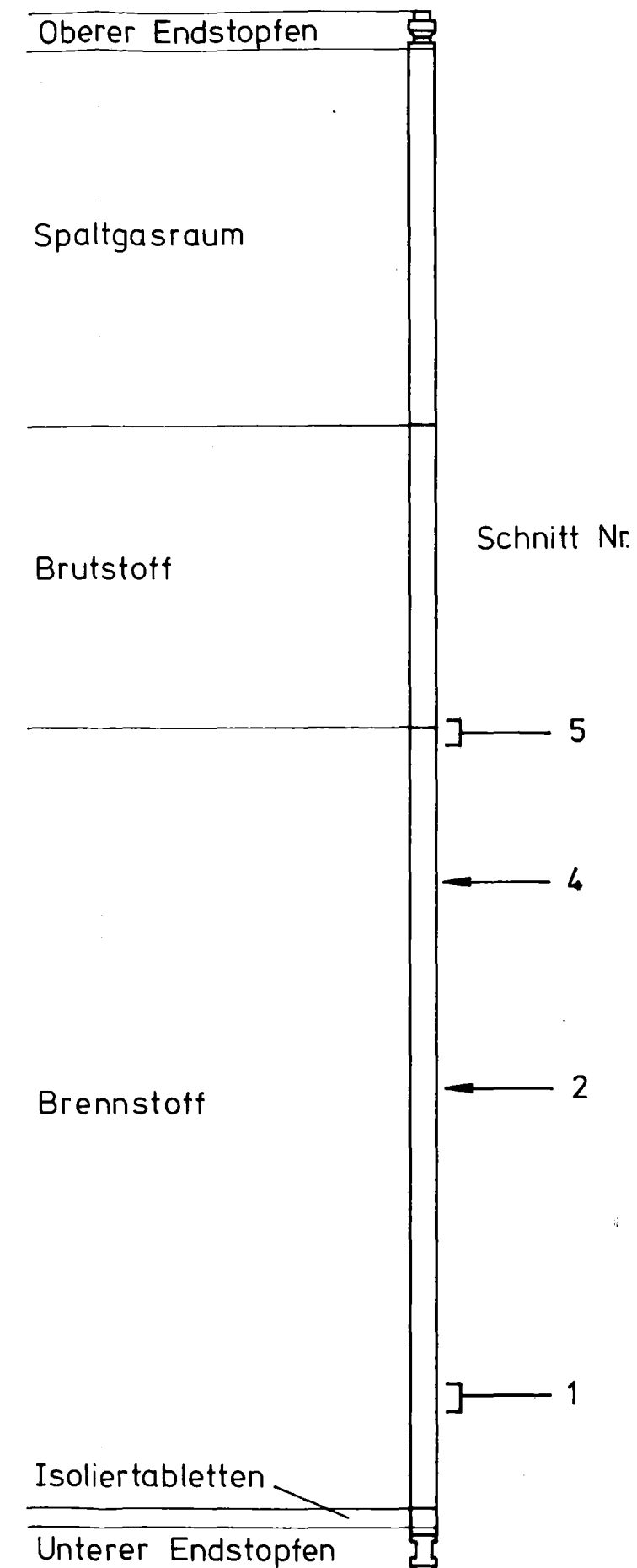
HZ-17D-Mo18c-7-5/12 200 x

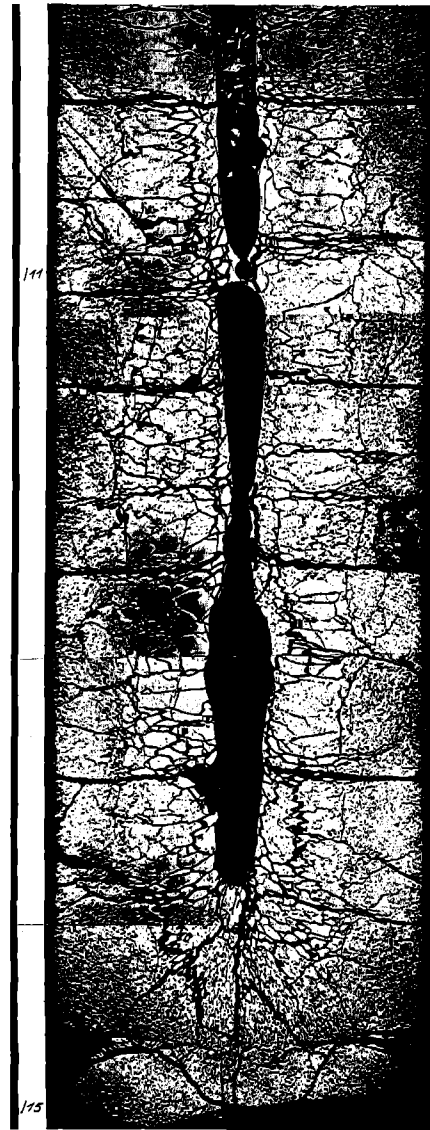


200 μm

HZ-17D-Mo18c-7-5/13 100 x

Prüfling 8C-7	
Brennstoff:	
Form	: Tabletten
Zusammensetzung	: $UO_2 - PuO_2$
Tablettendichte	: 87,6 % th.D.
Hülle:	
Material	: 1.4988
Aussendurchmesser	: 6,0 mm
Wandstärke	: 0,38 mm
Geometrie:	
Länge des Prüflings	: 1024,4 mm
Länge der Brennstoffsäule	: 520 mm
Radiale Spaltweite	: 70 μm
Schmierdichte	: 83 % th.D.
Bestrahlung:	
Einrichtung	: Kapsel- FAFNIR
Dauer in Vollasttagen	: 429,36 d
Ende	: 13.2.73
Rechn. Abbrand max.	: 117 MWd/kgM
Stableistung max/mittl.	: 614/396 W/cm



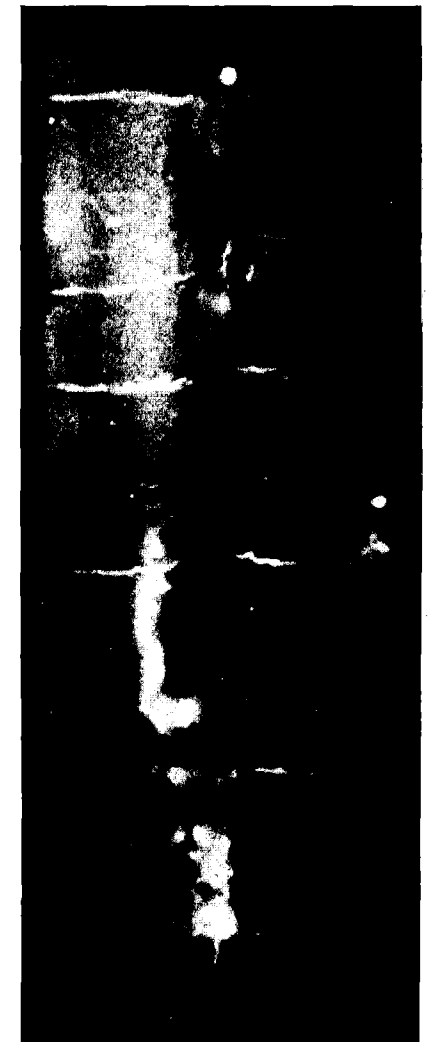


Schnitt 1

1mm



α (5 sec)



β - γ (25 sec)

Autoradiografie

Mol 8C Prüfling 9 UO_2 - PuO_2

-I/68-

Schnitt 1



-I/69-
Schnitt 1



HZ-17D-Mo18C-9-1/14 200x 100 μm



HZ-17D-Mo18C-9-1/15 200x 100 μm

-I/70-

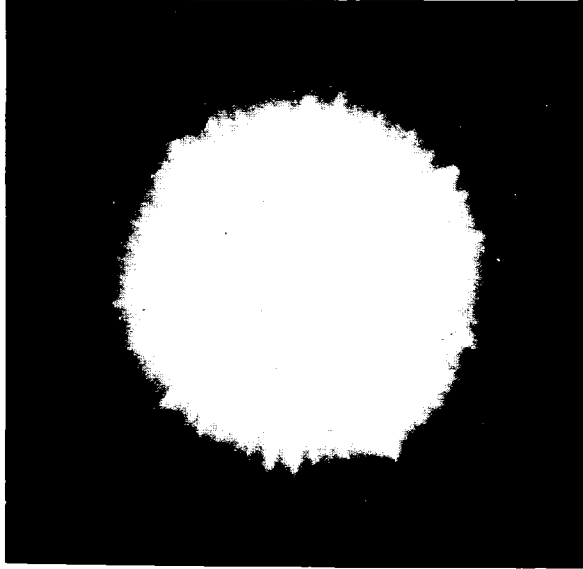
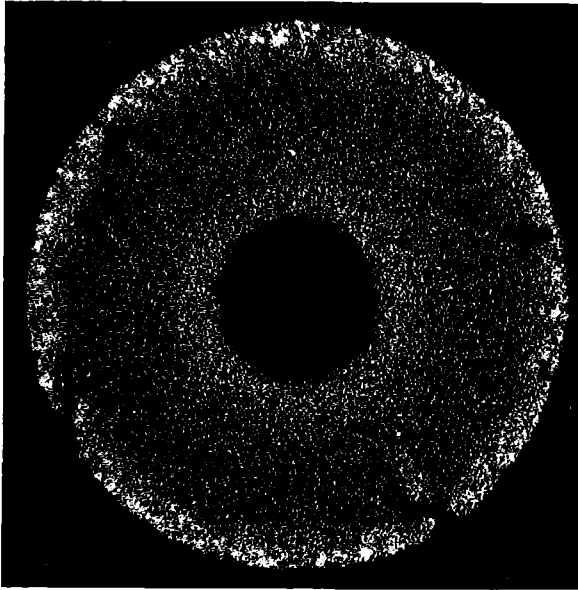
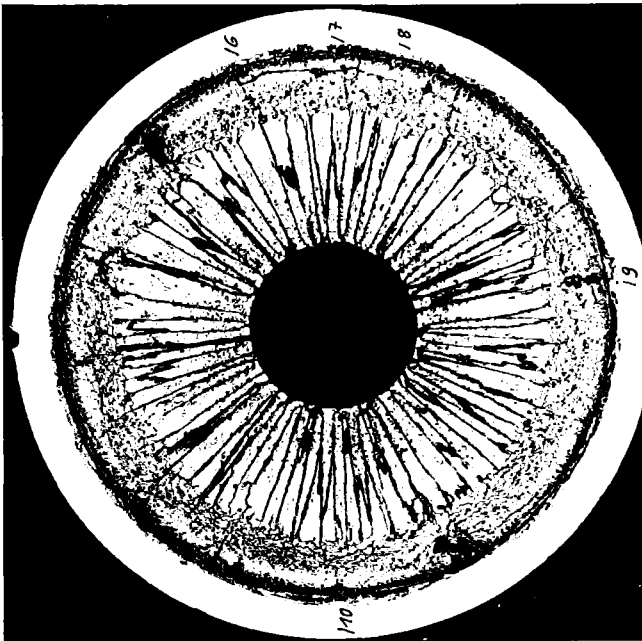
Schnitt 1



HZ-17D-Mo18C-9-1/17 200x 100 μm



HZ-17D-Mo18c-9-1/18 500 x 40 μm



Schnitt 2

α (5 sec)

β - γ (25 sec)

Autoradiografie

1 mm

Mol 8C Prüfling 9 UO_2 - PuO_2

-I/72-
Schnitt 2

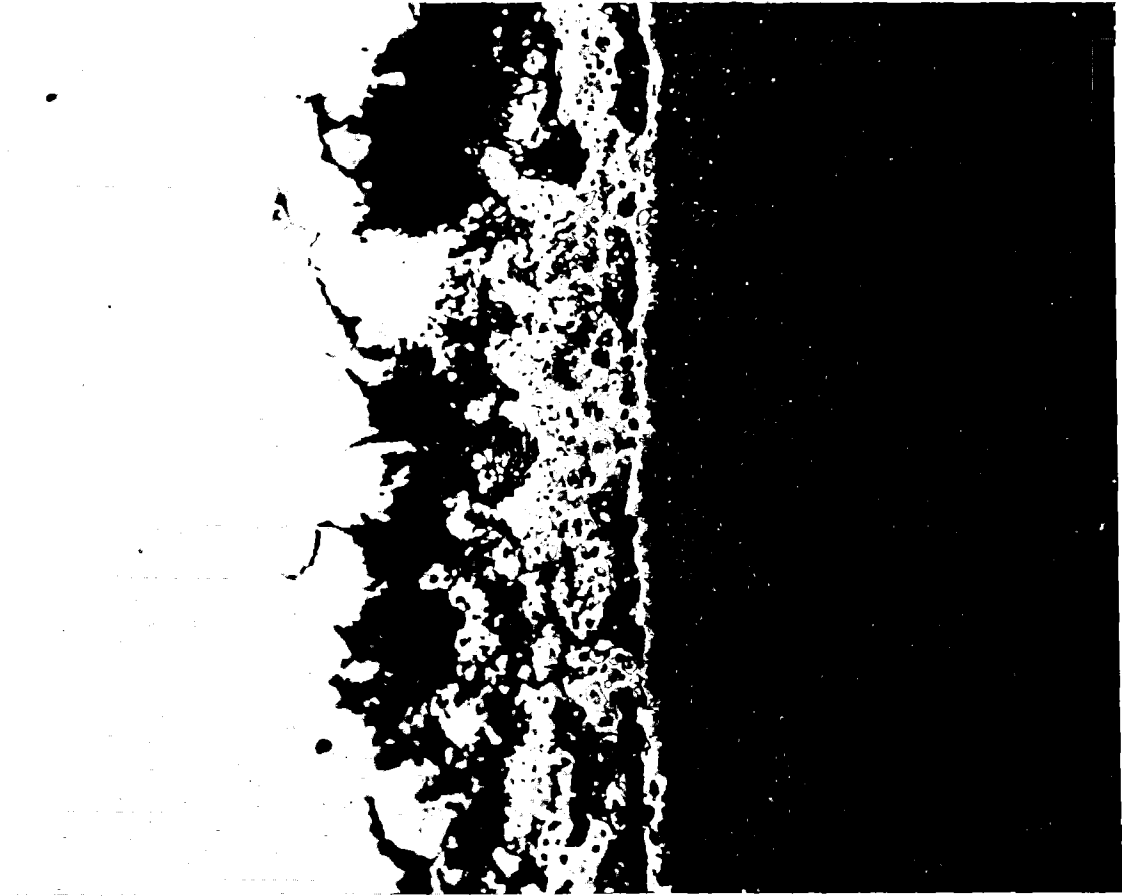


HZ-17D-Mo18C-9-2/6

100x

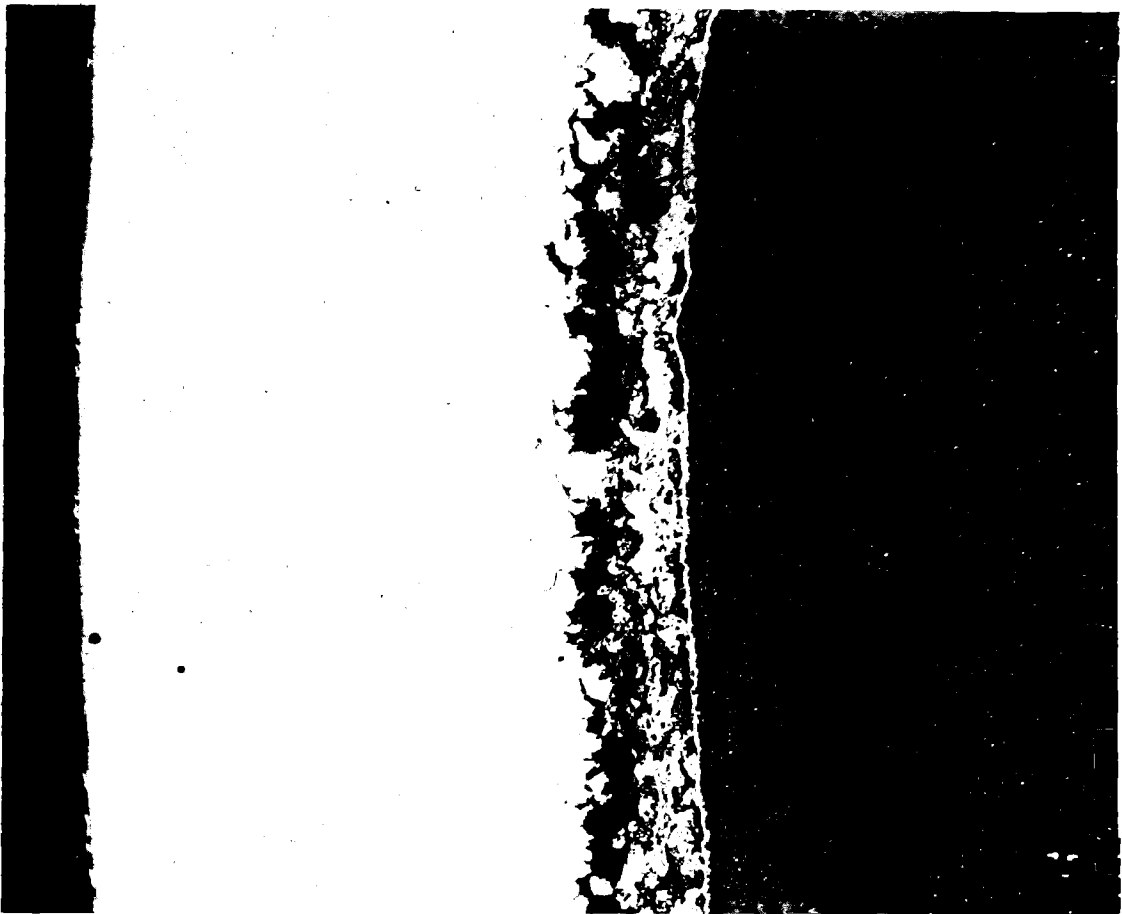
200 μm

-I/73-
Schnitt 2



40 μm

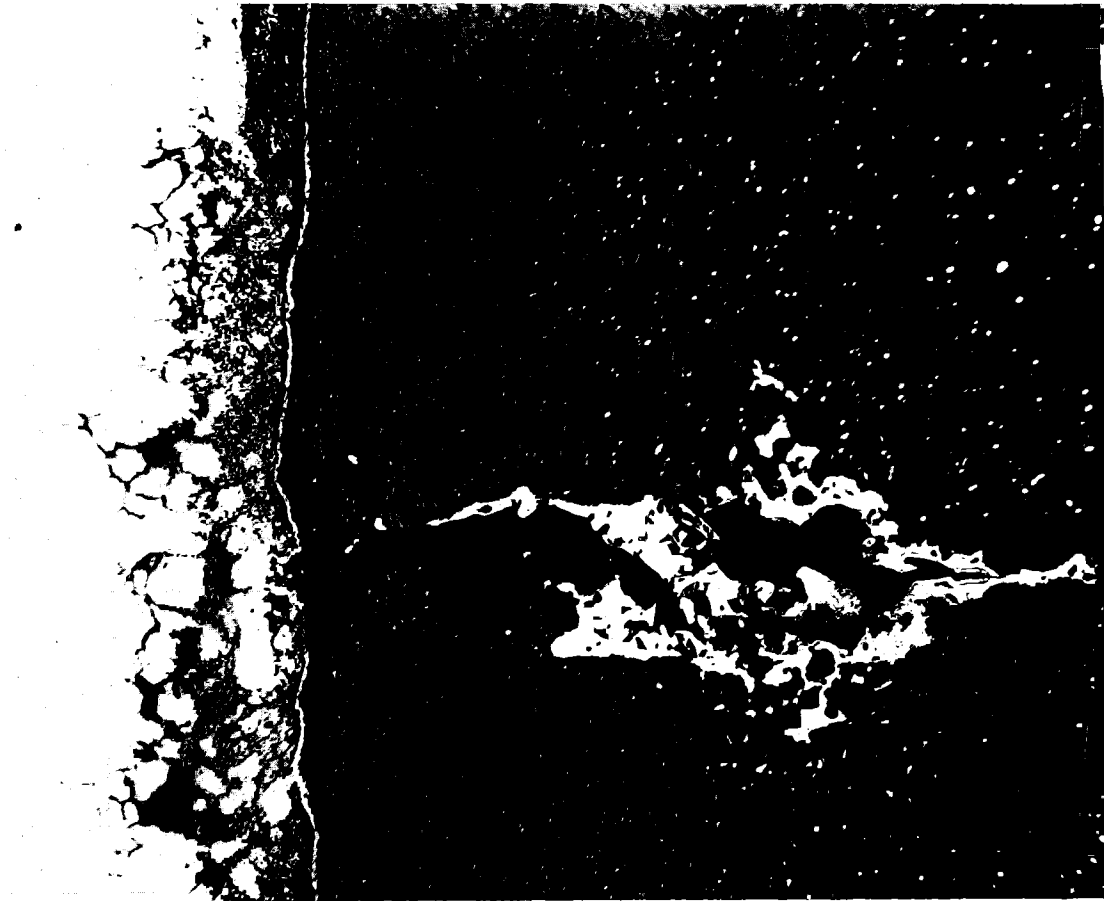
HZ-17D-Mo18c-9-2/7 500 x



100 μm

HZ-17D-Mo18c-9-2/8 200x

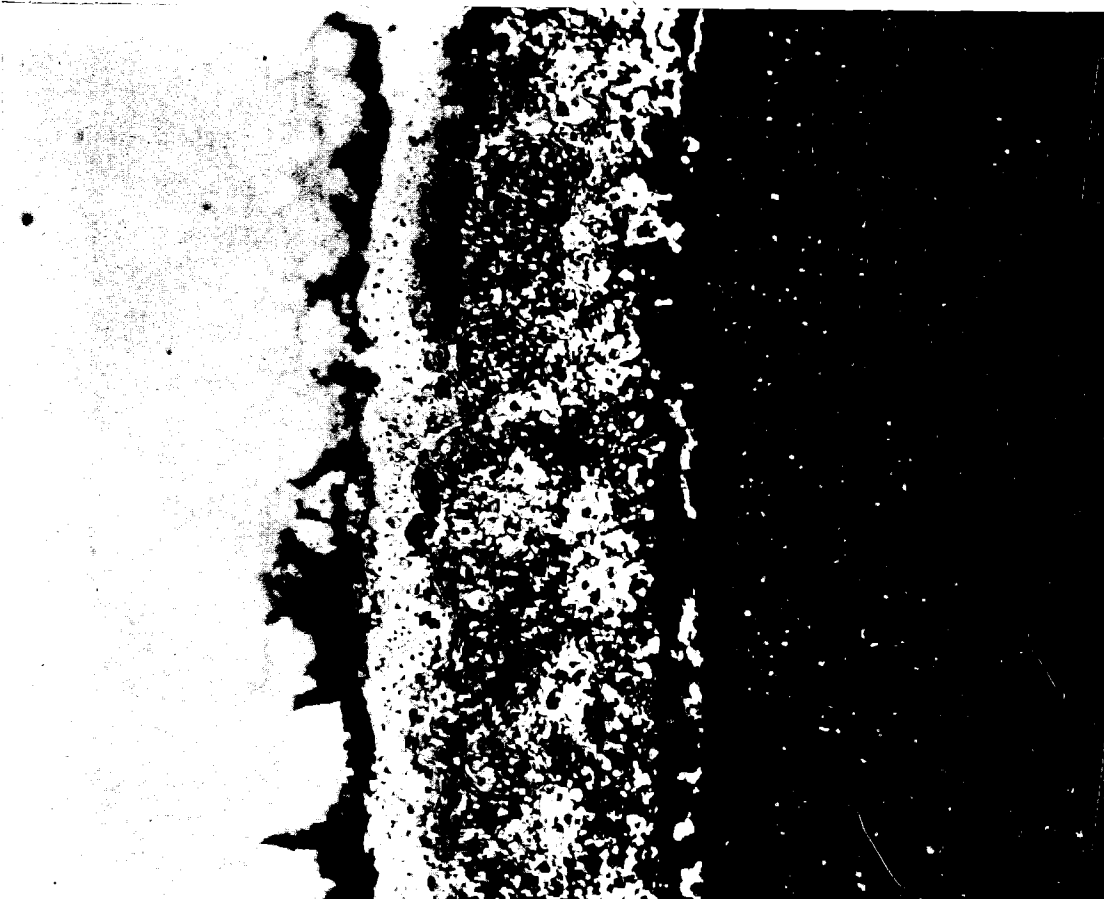
Schnitt 2



100 μm

200x

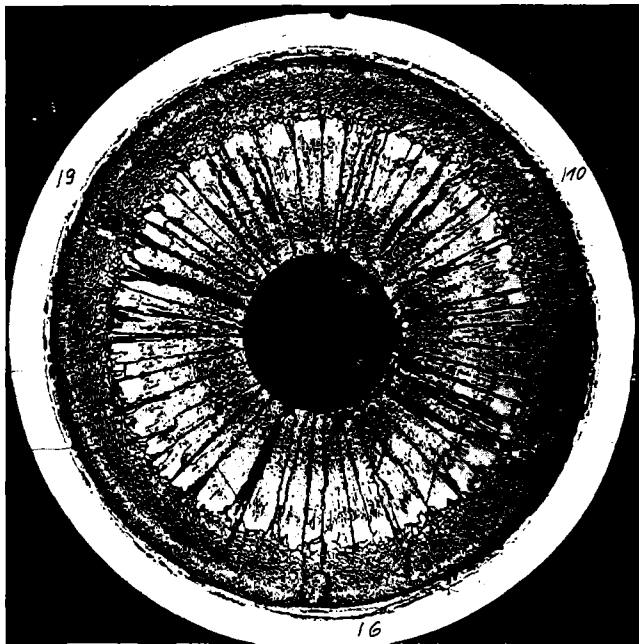
HZ-17D-Mo18C-9-2/9



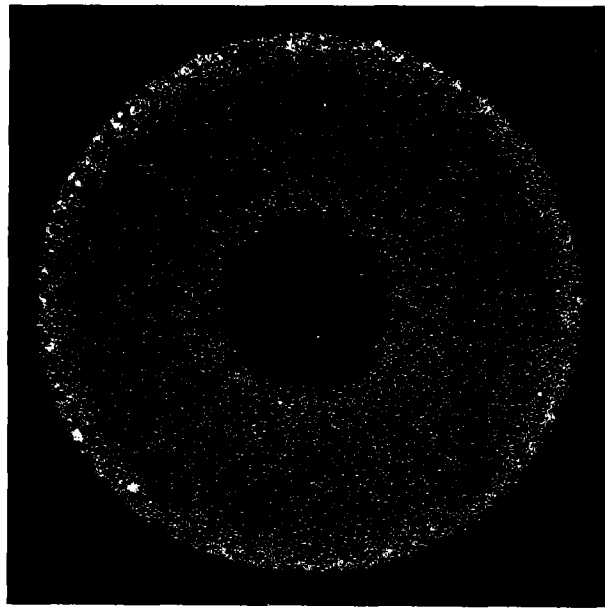
40 μm

500 x

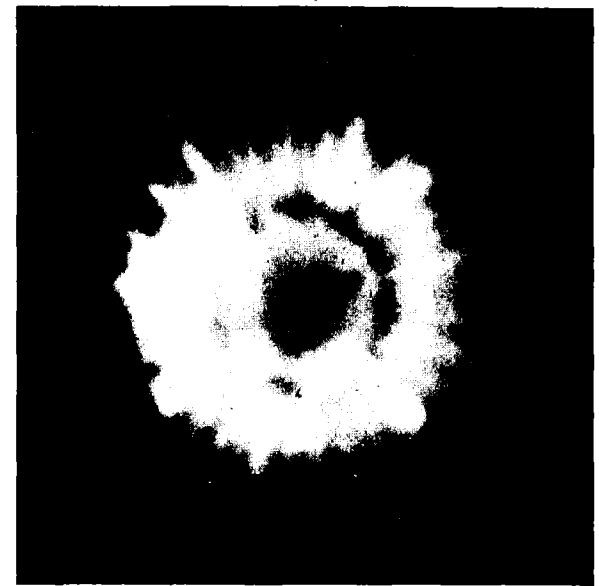
HZ-17D-Mo18c-9-2/10



Schnitt 3



α (5 sec)



β - γ (25 sec)

Autoradiografie

1 mm

Mol 8C Prüfling 9 UO_2 - PuO_2

-I/76-
Schnitt 3



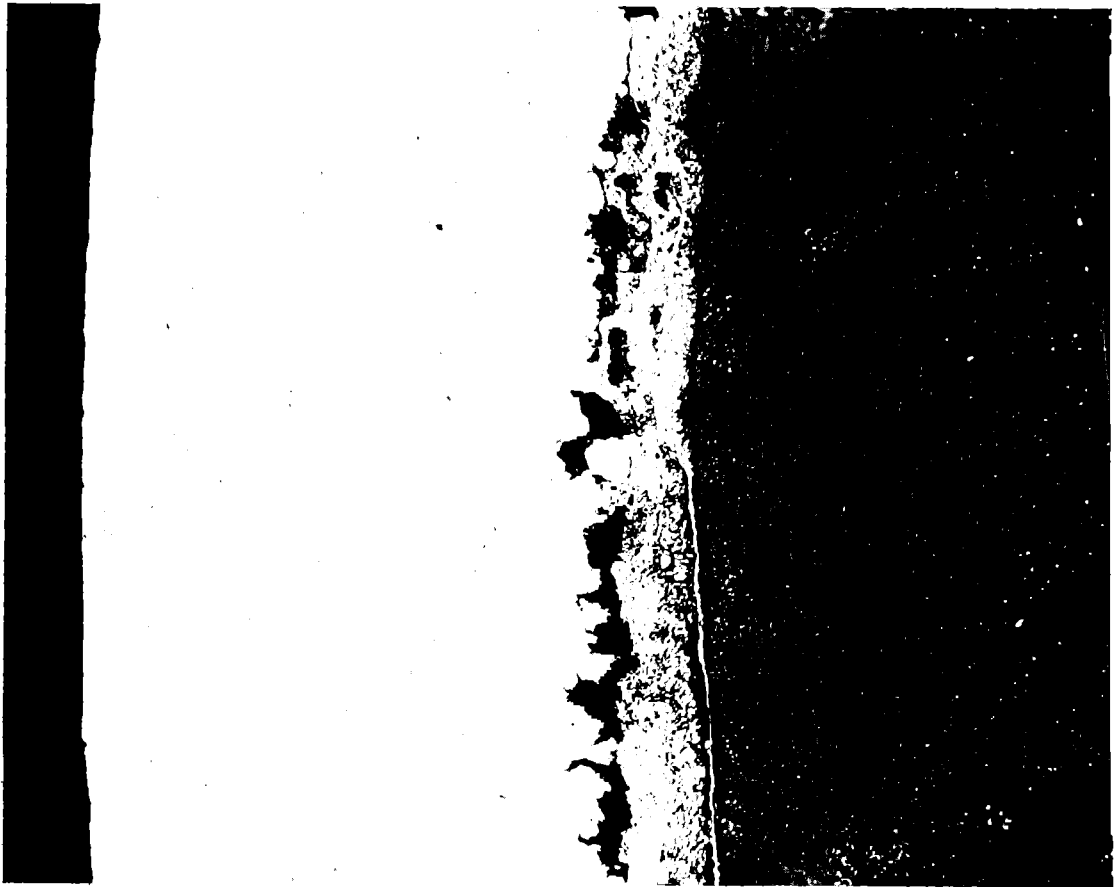
Z-17D-Mo18C-9-3/6

100x

200 μm

-I/77-

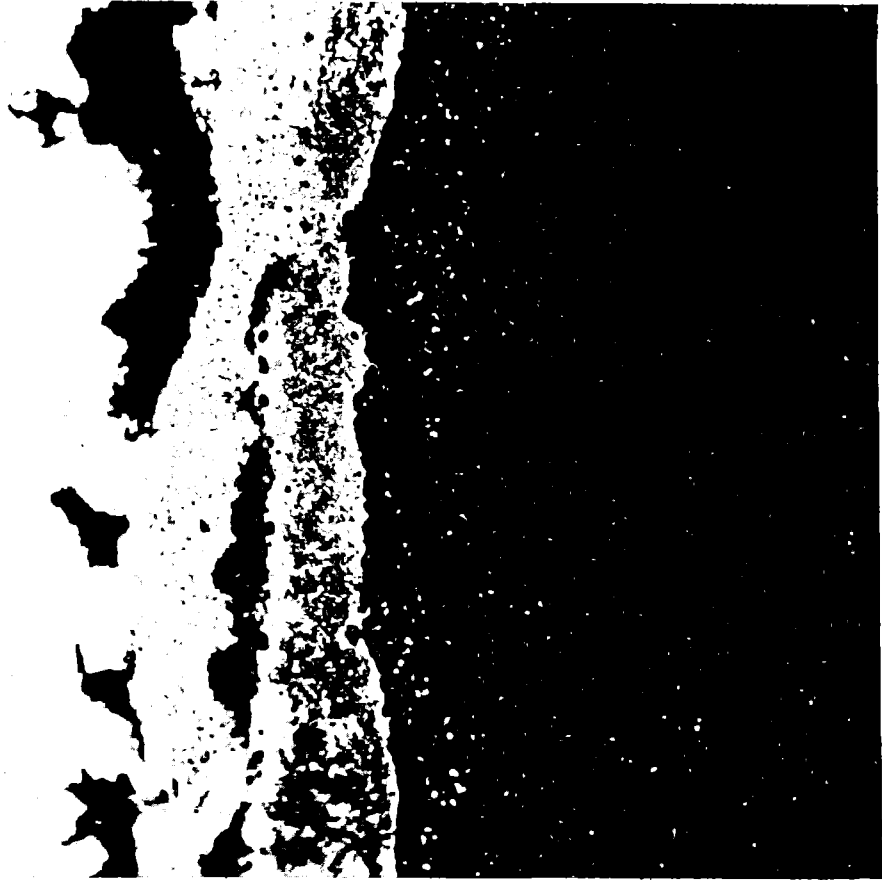
Schnitt 3



HZ-17D-Mo18C-9-3/10

200x

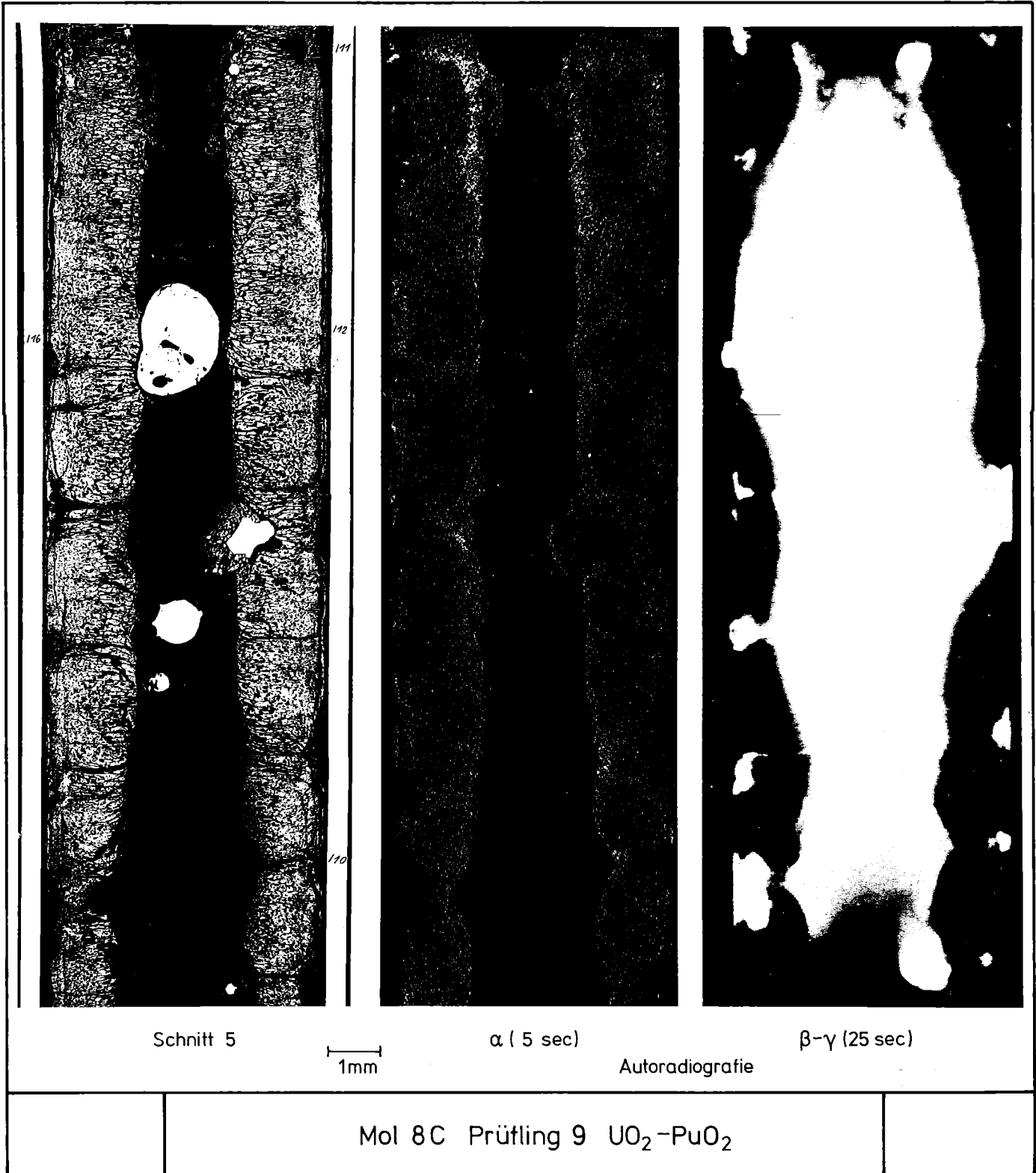
100 μm



HZ-17D-Mo18c-9-3/9

500 x

40 μm



Schnitt 5

1mm

α (5 sec)

Autoradiografie

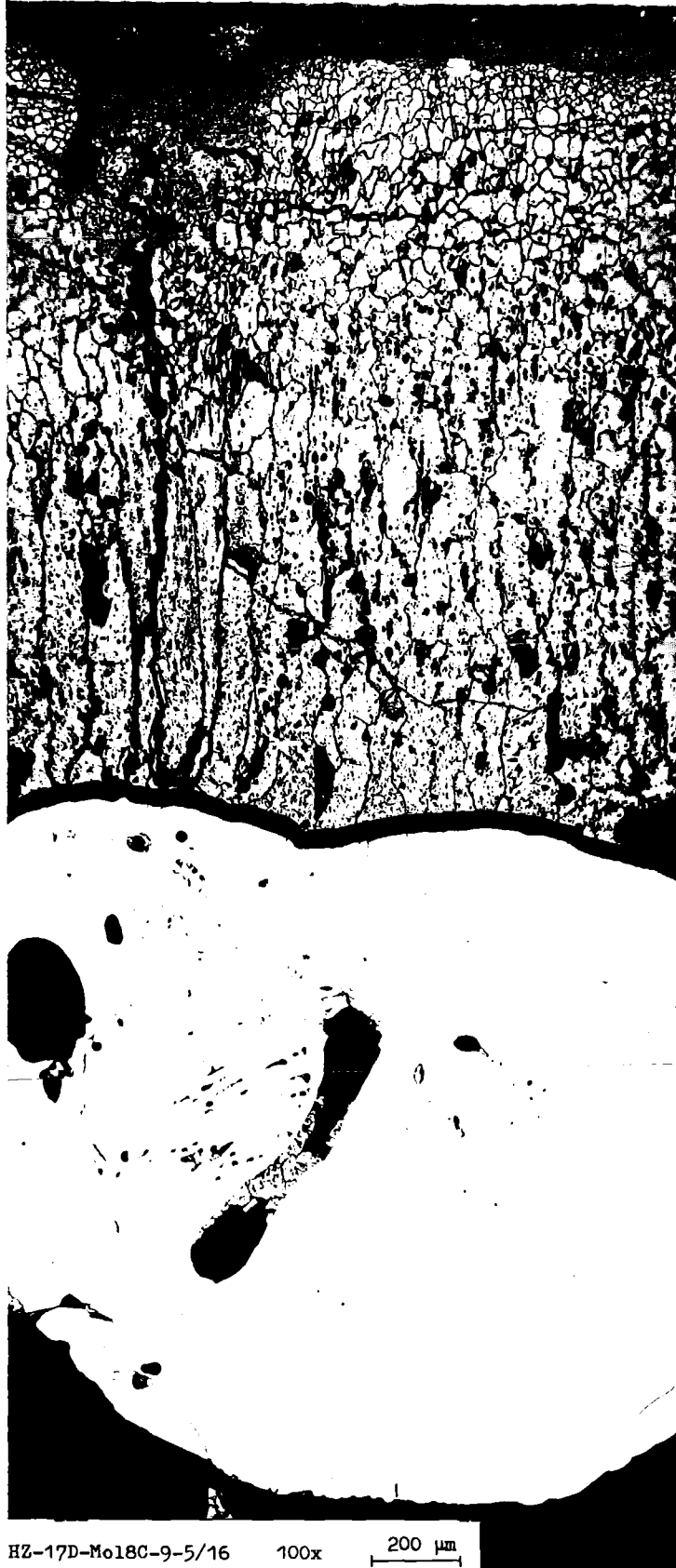
β-γ (25 sec)

Mol 8C Prütling 9 UO₂-PuO₂

-I/79-
Schnitt 5



- I/80 -
Schnitt 5

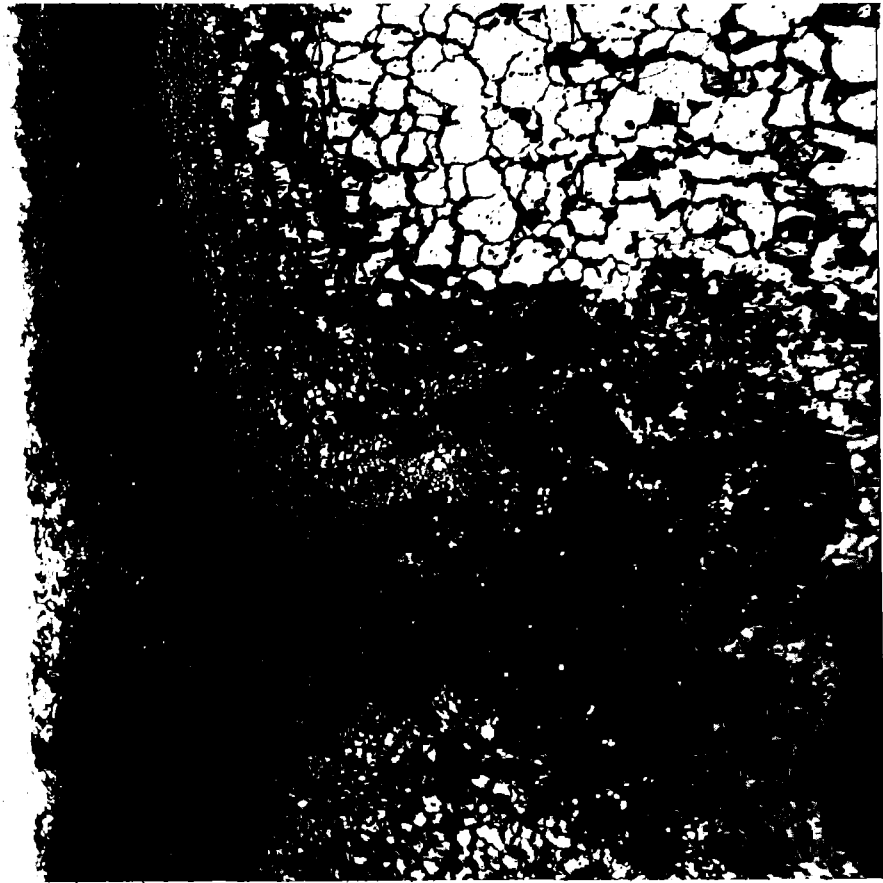


HZ-17D-Mo18C-9-5/16

100x

200 μ m

-I/81-
Schnitt 5



100 μm

200x

HZ-17D-Mo18C-9-5/11

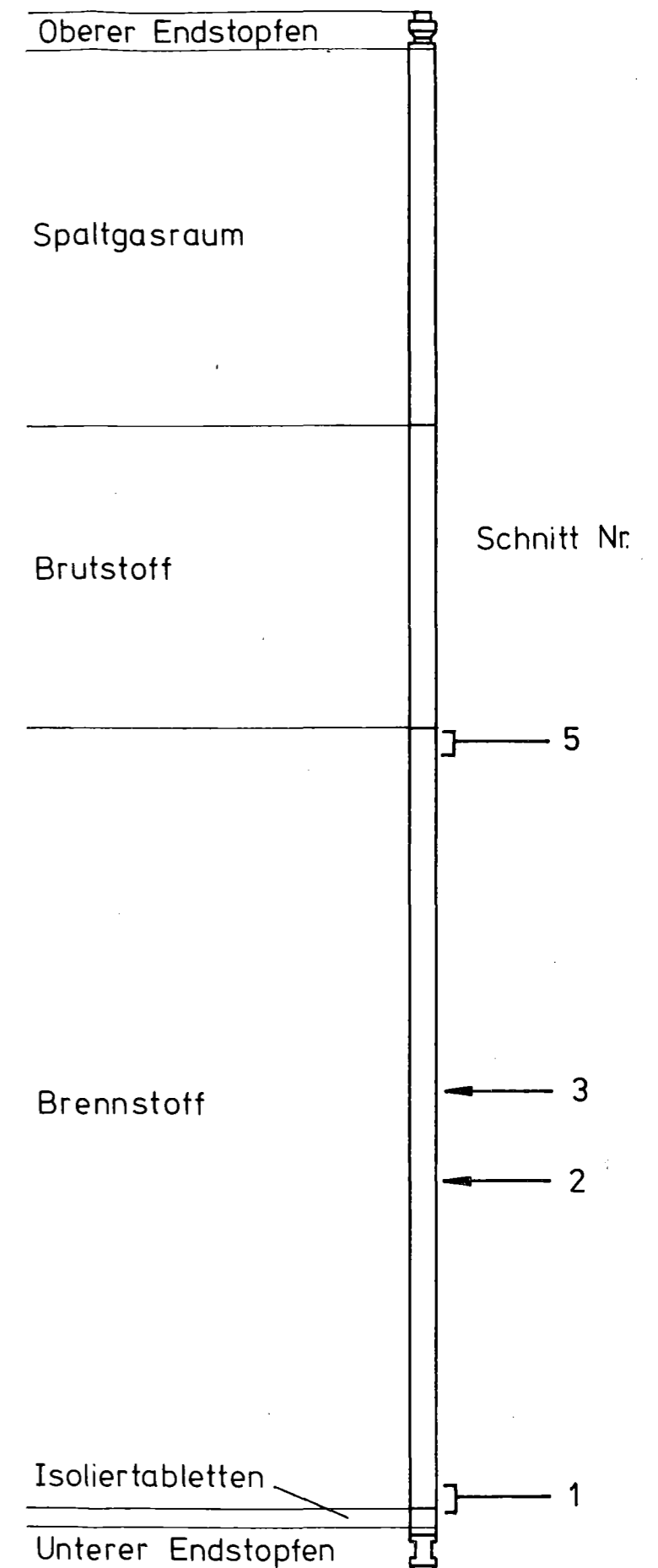


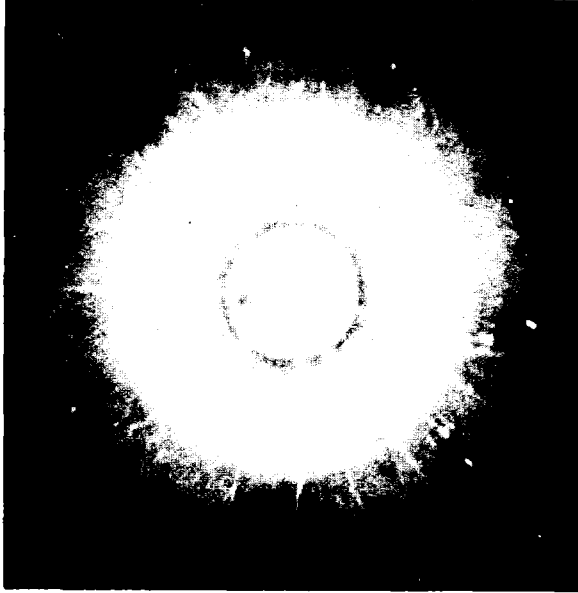
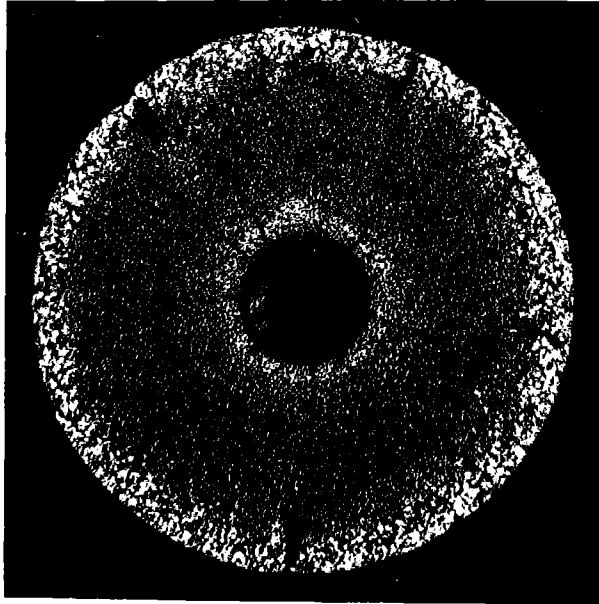
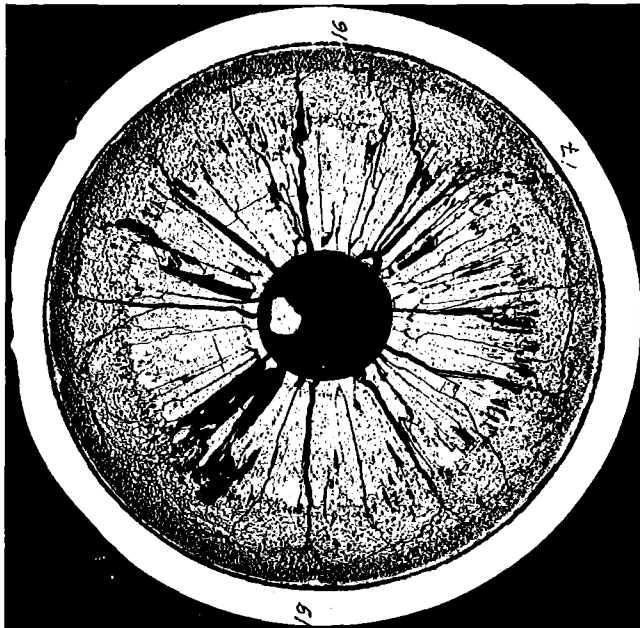
100 μm

200x

HZ-17D-Mo18C-9-5/12

Prüfling 8C-9	
Brennstoff:	
Form	: Tabletten
Zusammensetzung	: $UO_2 - PuO_2$
Tablettendichte	: 88, 91, 95 %th.D.
Hülle:	
Material	: 1.4988
Aussendurchmesser	: 6,0 mm
Wandstärke	: 0,38 mm
Geometrie:	
Länge des Prüflings	: 1024,4 mm
Länge der Brennstoffsäule	: 520 mm
Radiale Spaltweite	: 25,70,127 μ m
Schmierdichte	: 86 %th.D.
Bestrahlung:	
Einrichtung	: Kapsel- FAFNIR
Dauer in Vollasttagen	: 395,47 d
Ende	: 23.7.73
Rechn. Abbrand max.	: 92 MWd/kgM
Stableistung max/mittl.	: 662/336 W/cm





Schnitt 1

α (6 sec)

β - γ (25 sec)

Autoradiografie

1 mm

Mol 8C Prüfling 10 UO₂-PuO₂

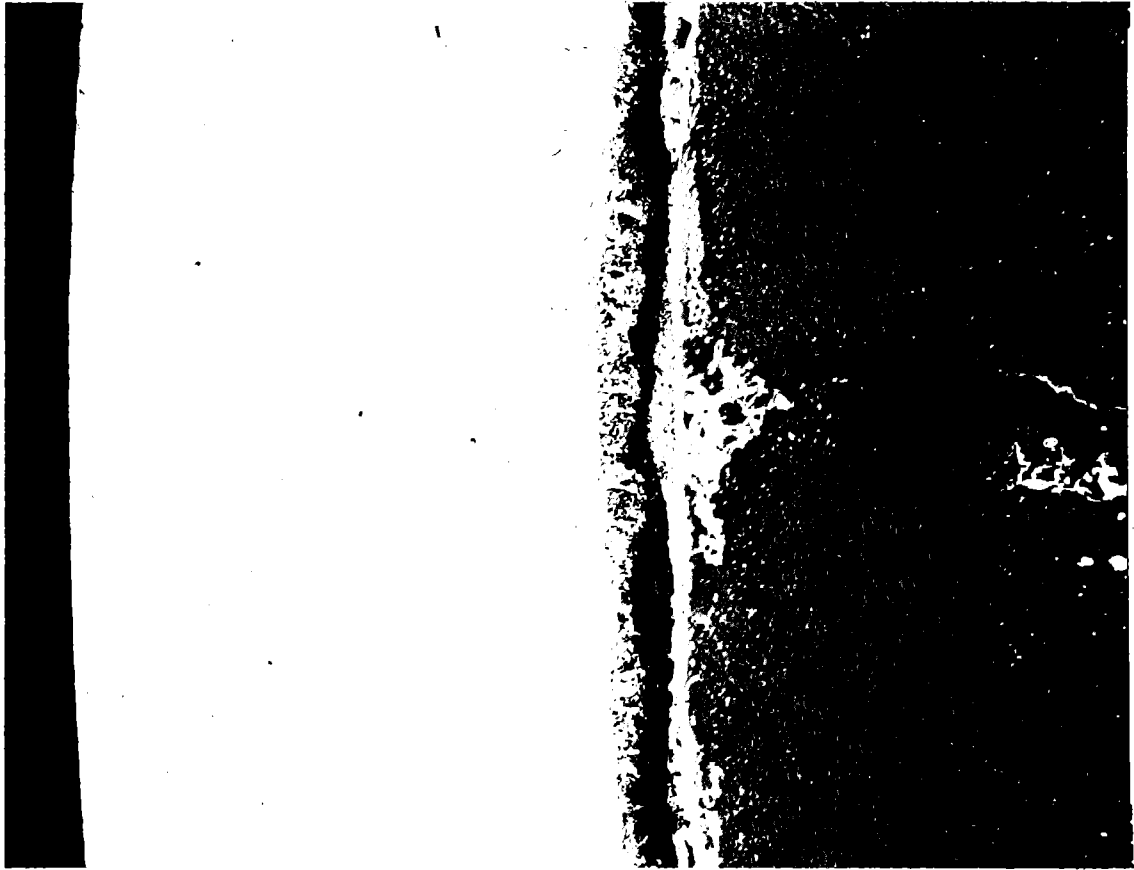
-I/86-

Schnitt 1



HZ-17D-Mo18C-10-1/6 100x 200 μm

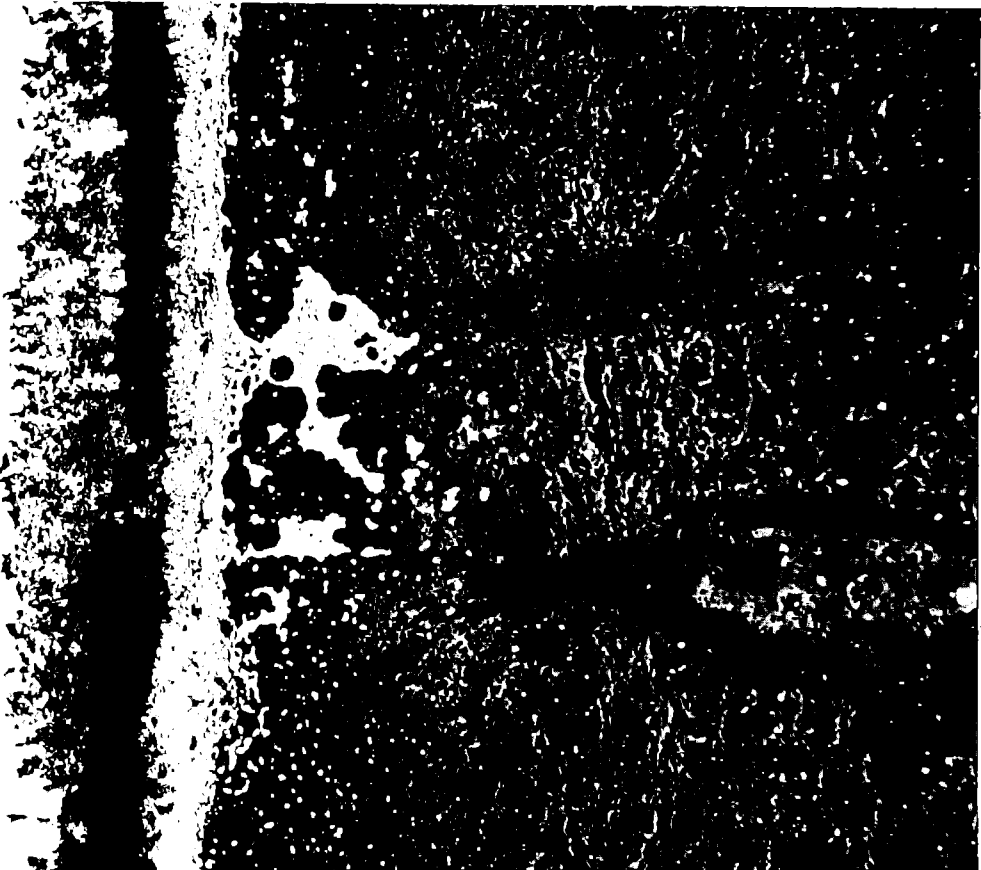
-I/87-
Schnitt 1



100 μm

200x

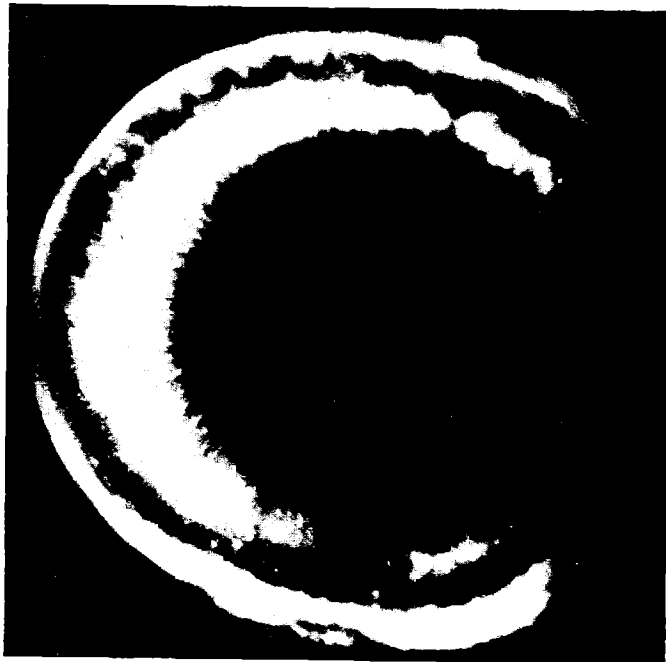
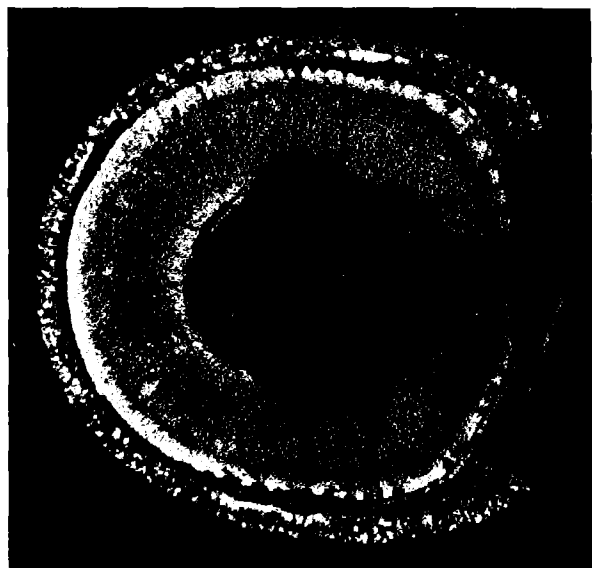
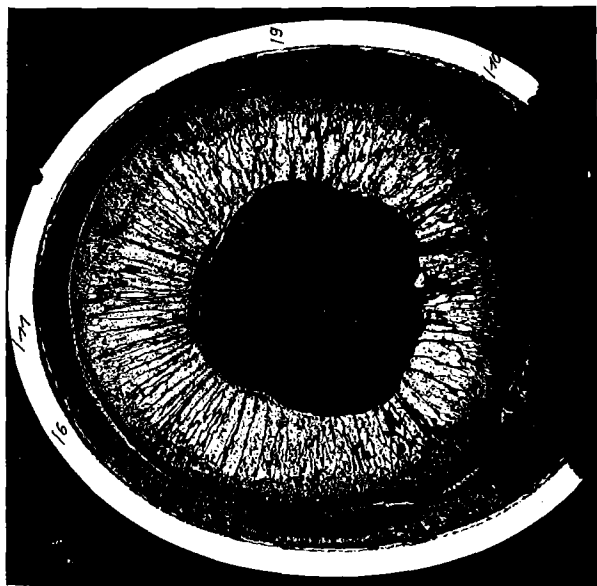
HZ-17D-Mo18C-10-1/7



40 μm

500 x

HZ-17D-Mo18c-10-1/9



Schnitt 2

α (6 sec)

β - γ (90 sec)

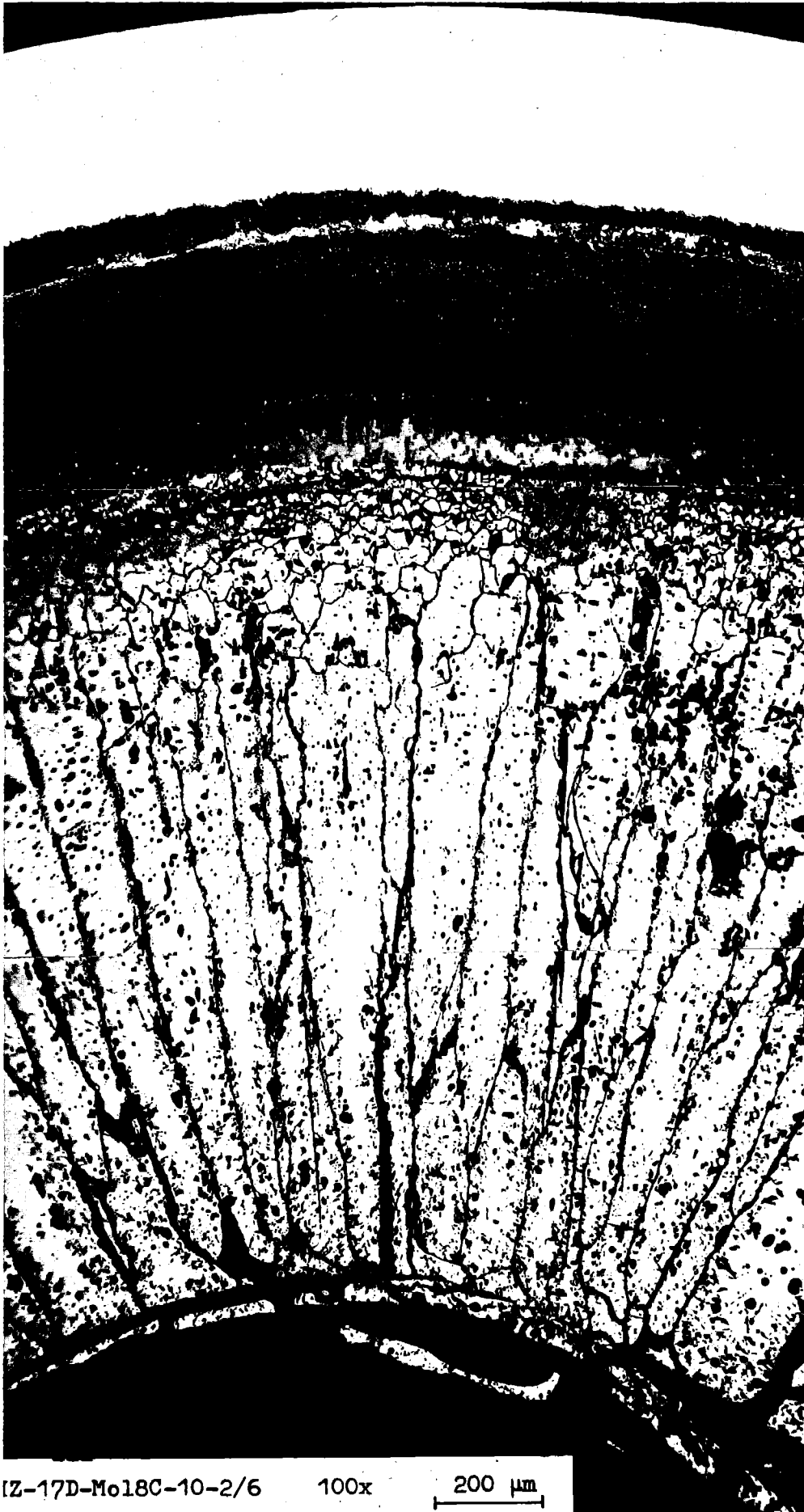
Autoradiografie

1 mm

Mol 8C Prufing 10 UO₂-PuO₂

-I/89-

Schnitt 2

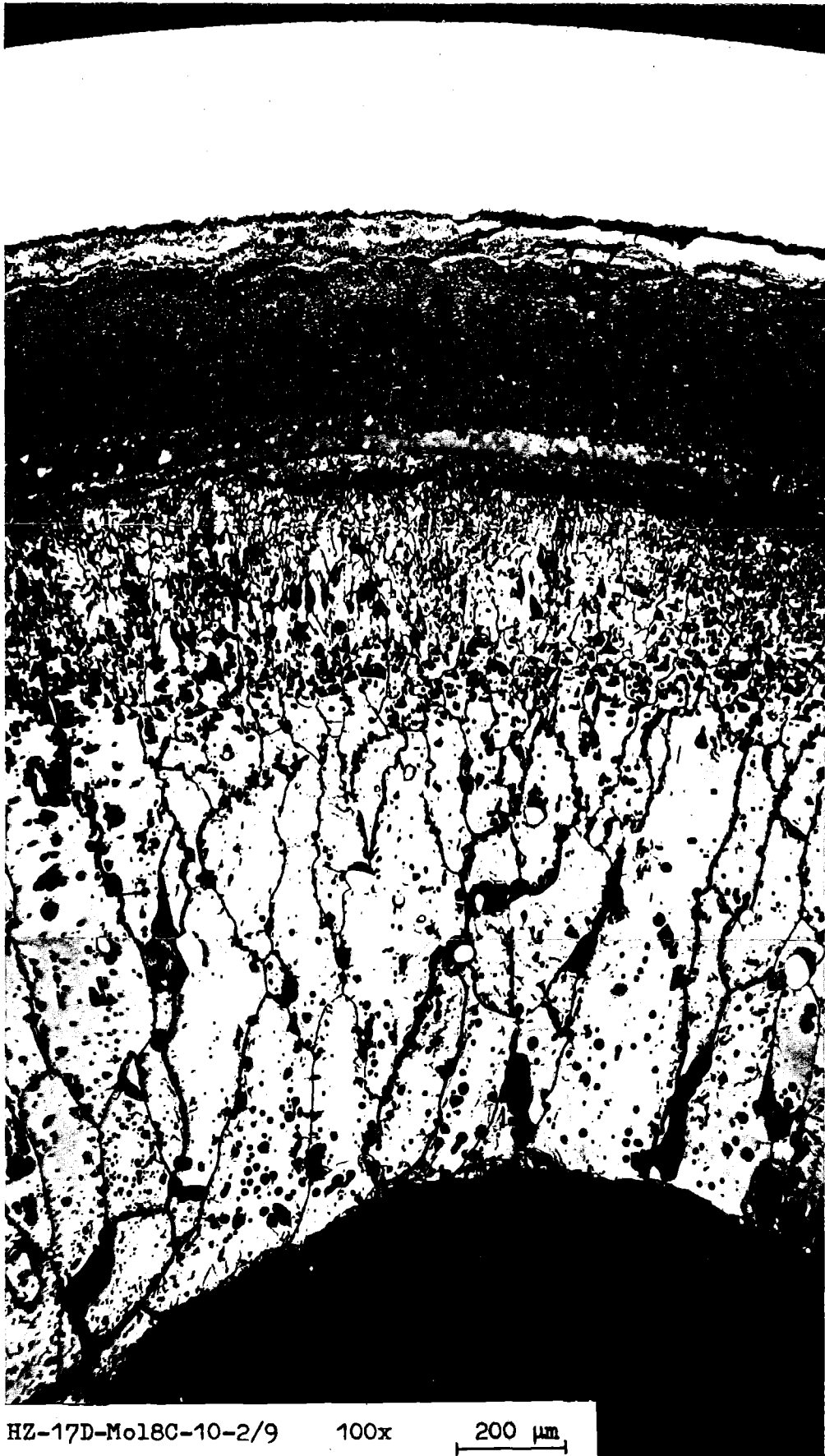


IZ-17D-Mo18C-10-2/6

100x

200 μ m

-I/90-
Schnitt 2

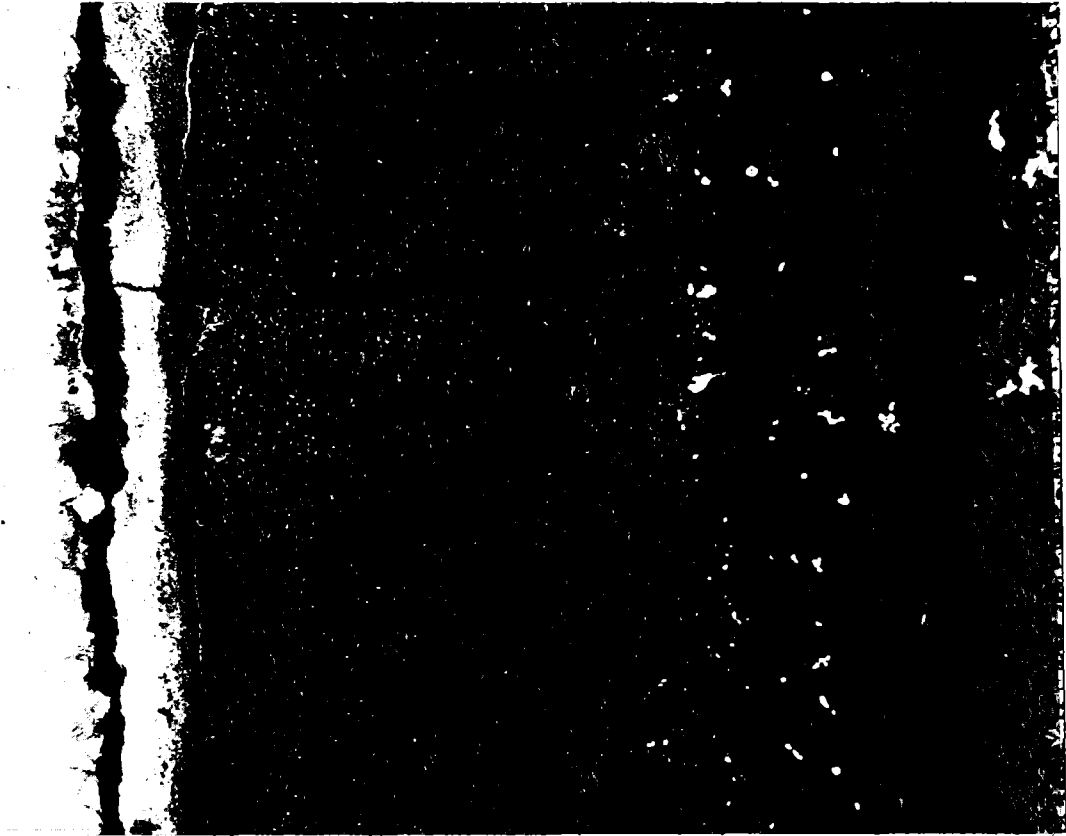


HZ-17D-Mo18C-10-2/9

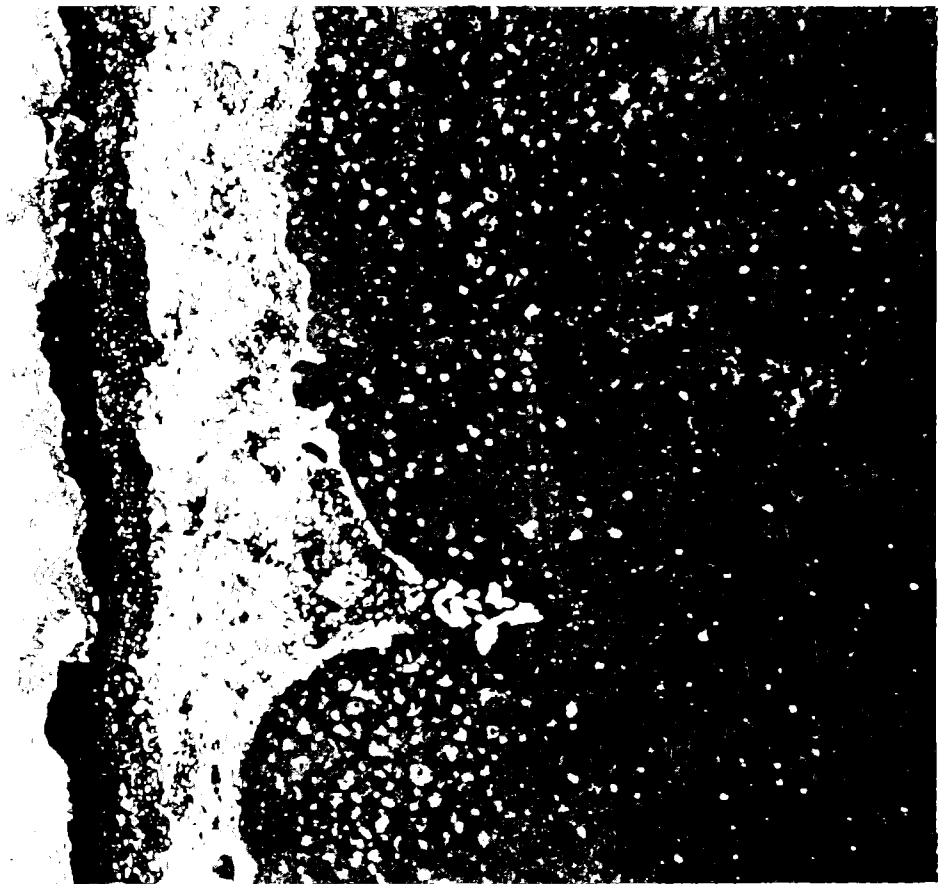
100x

200 μ m

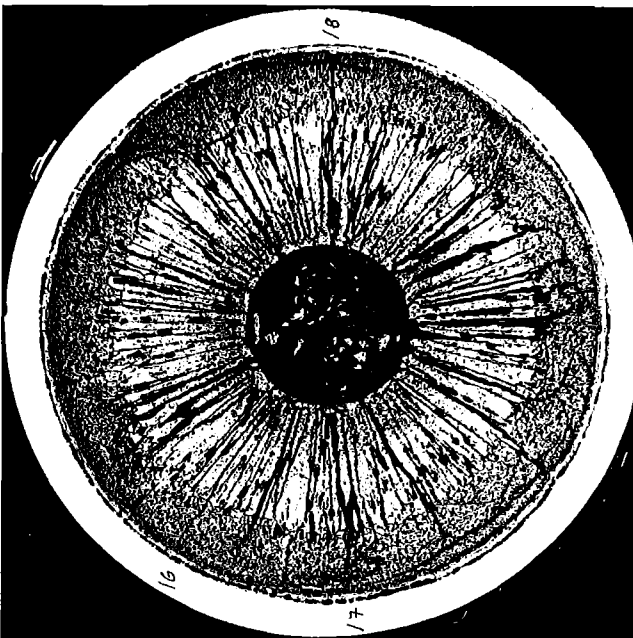
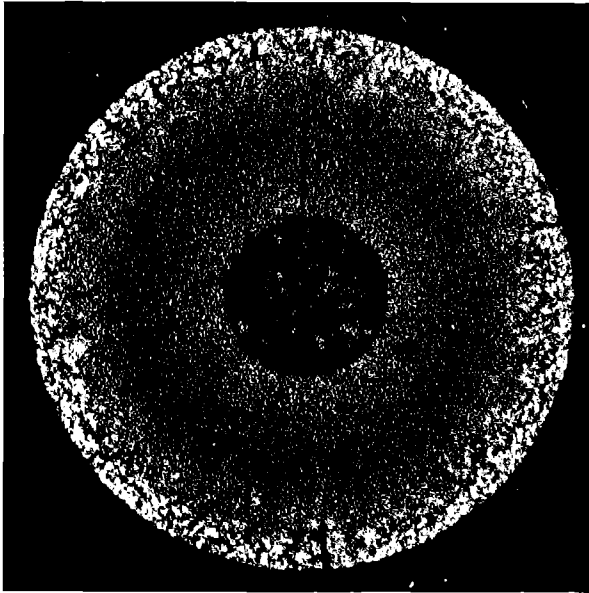
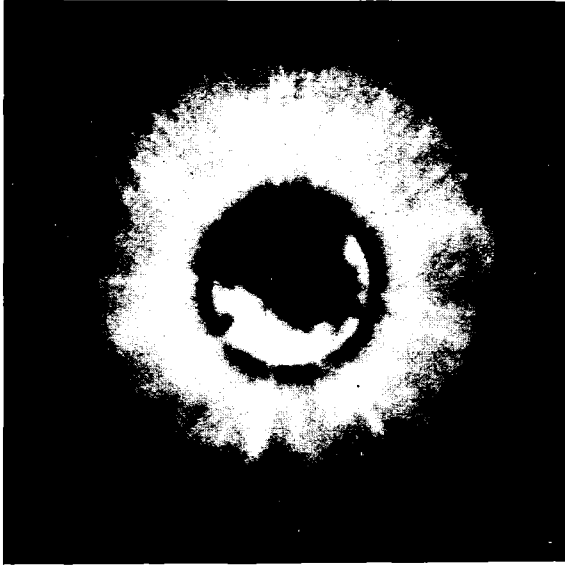
-I/91-
Schnitt 2



HZ-17D-Mo18C-10-2/10 200x 100 μm



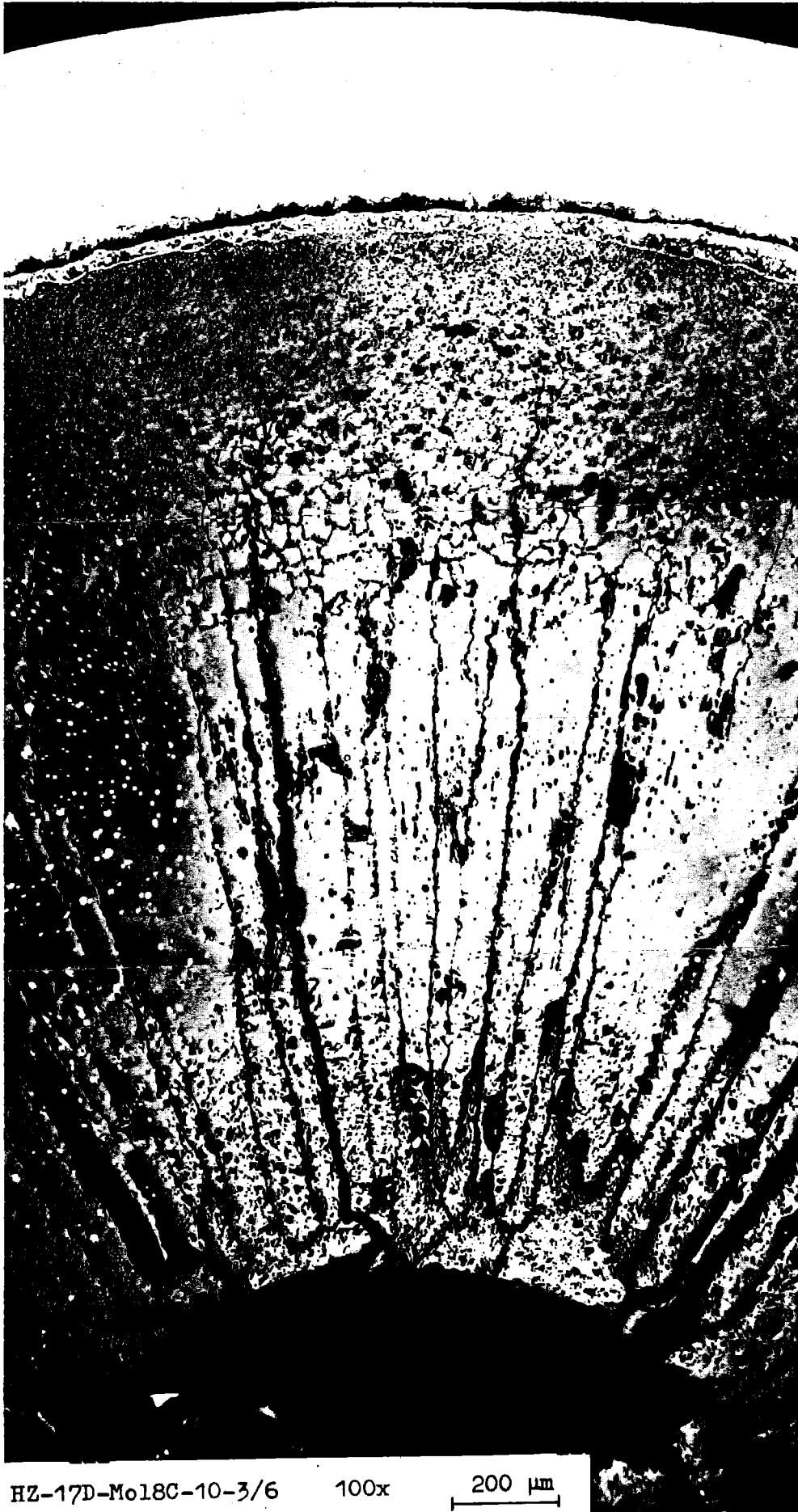
HZ-17D-Mo18c-10-2/11 500 x 40 μm



Mol 8C Prüfling 10 UO_2 - PuO_2

-I/93-

Schnitt 3

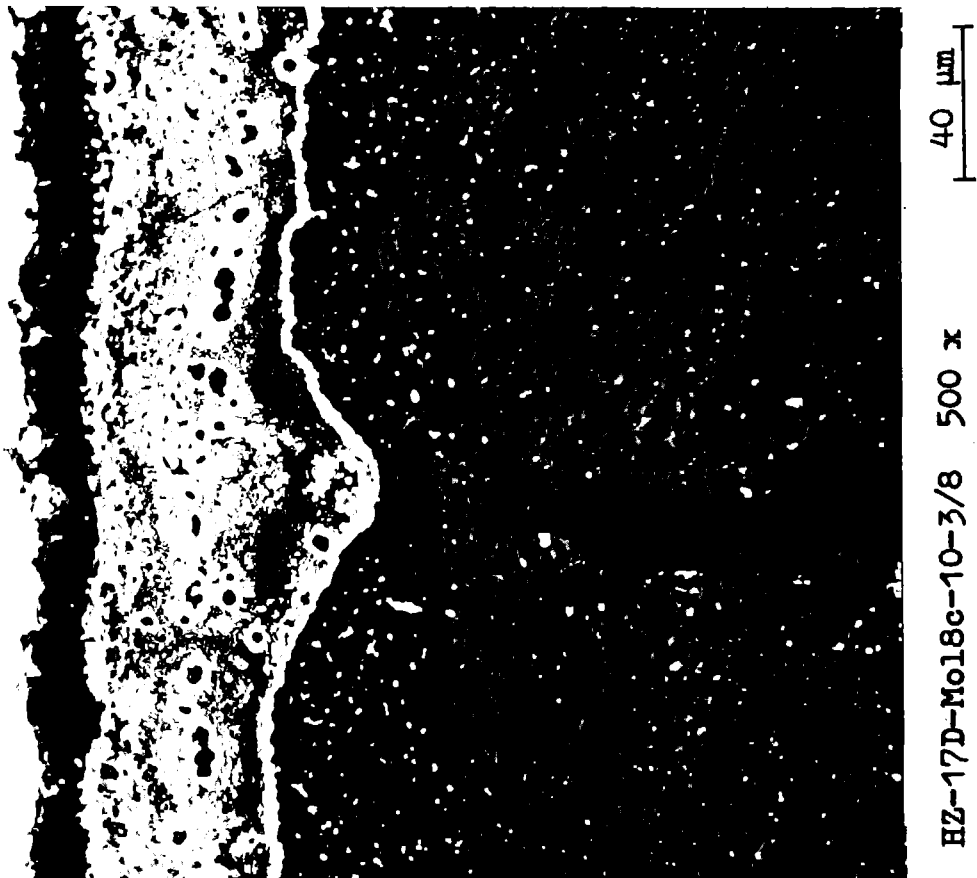
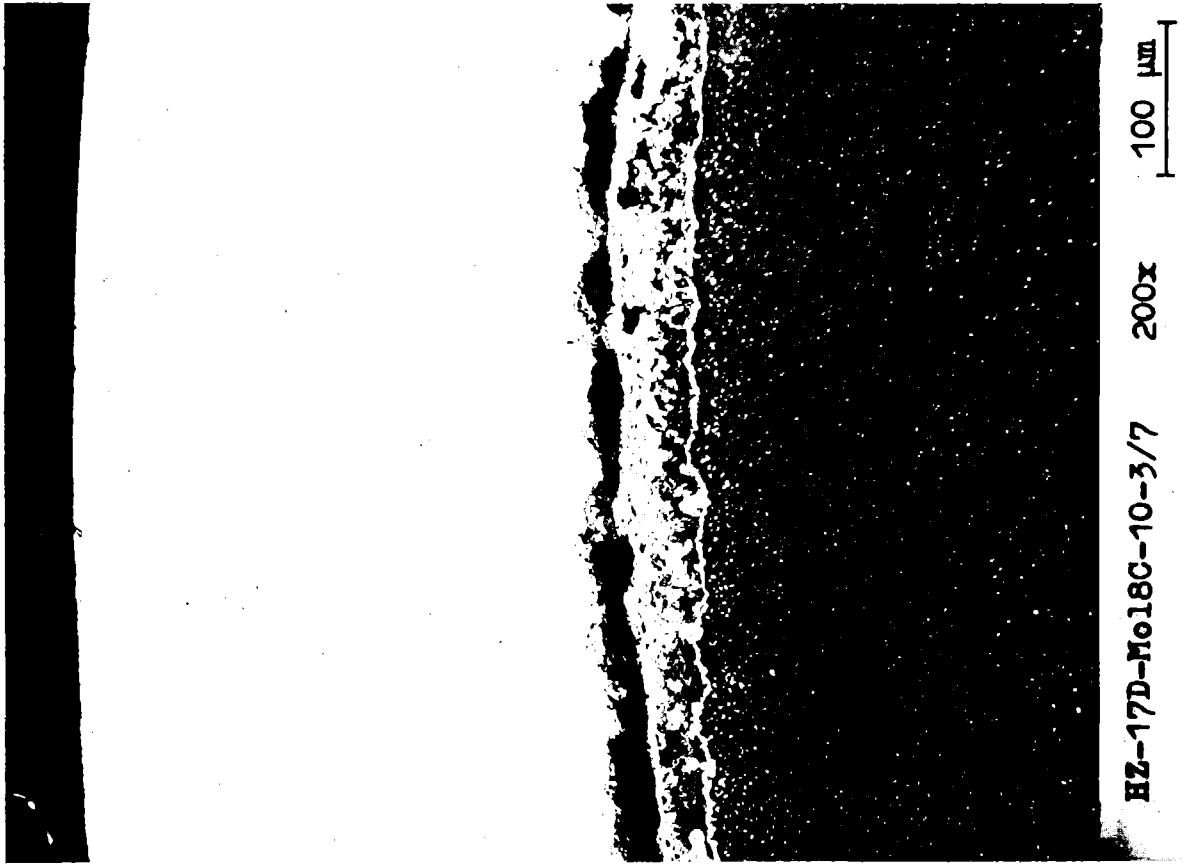


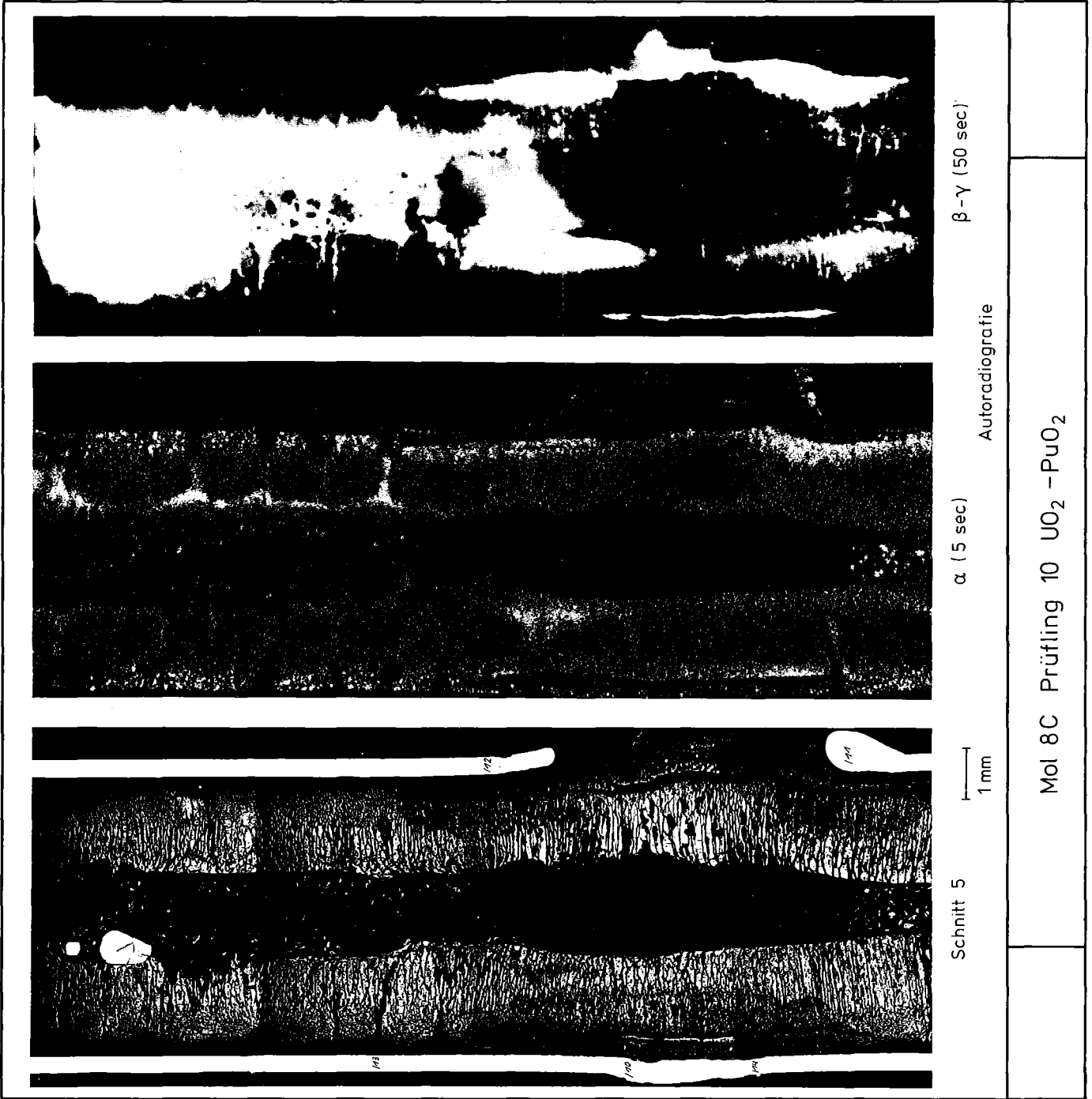
HZ-17D-Mo18C-10-3/6

100x

200 μm

-I/94-
Schnitt 3





Mol 8C Prütling 10 UO₂ - PuO₂

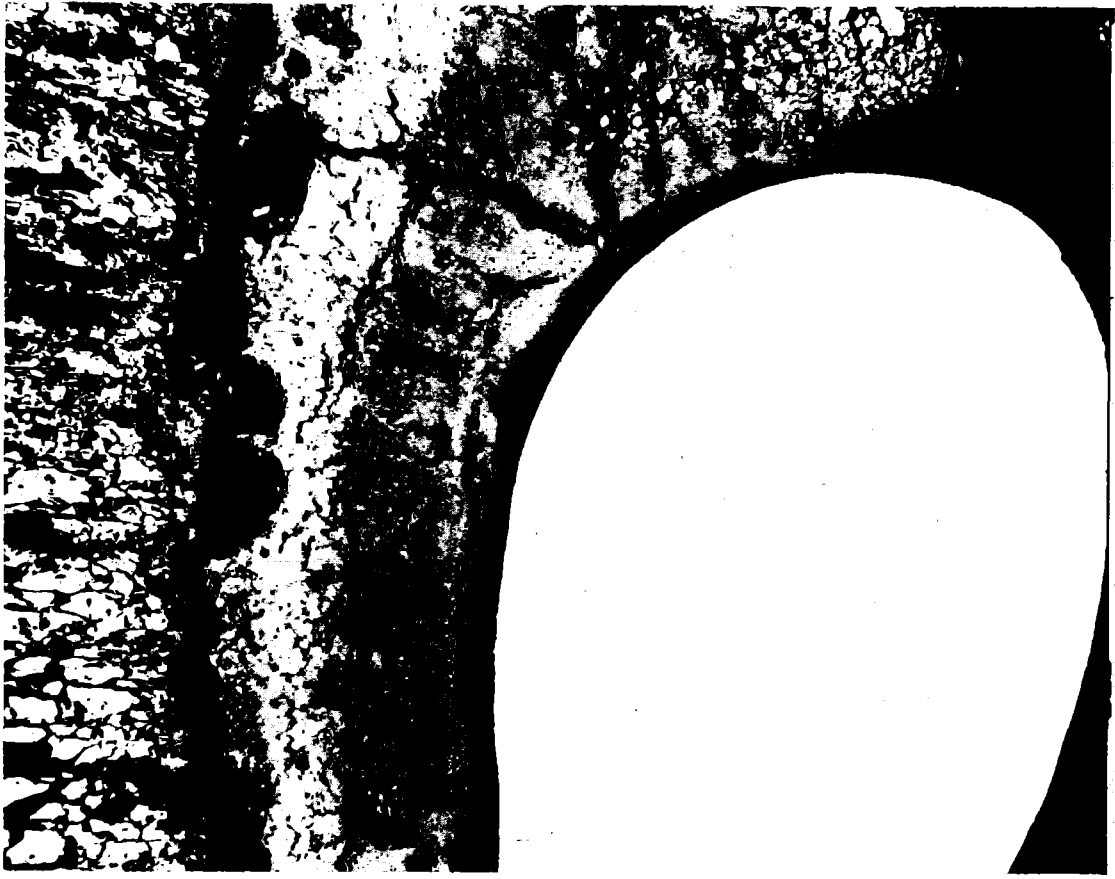
-I/96-

Schnitt 5



HZ-17D-Mo18C-10-5/10 100x 200 μ m

-I/97-
Schnitt 5



HZ-17D-No180-10-5/11 100x 200 μ m



HZ-17D-No180-10-5/12 200x 100 μ m

-I/98-

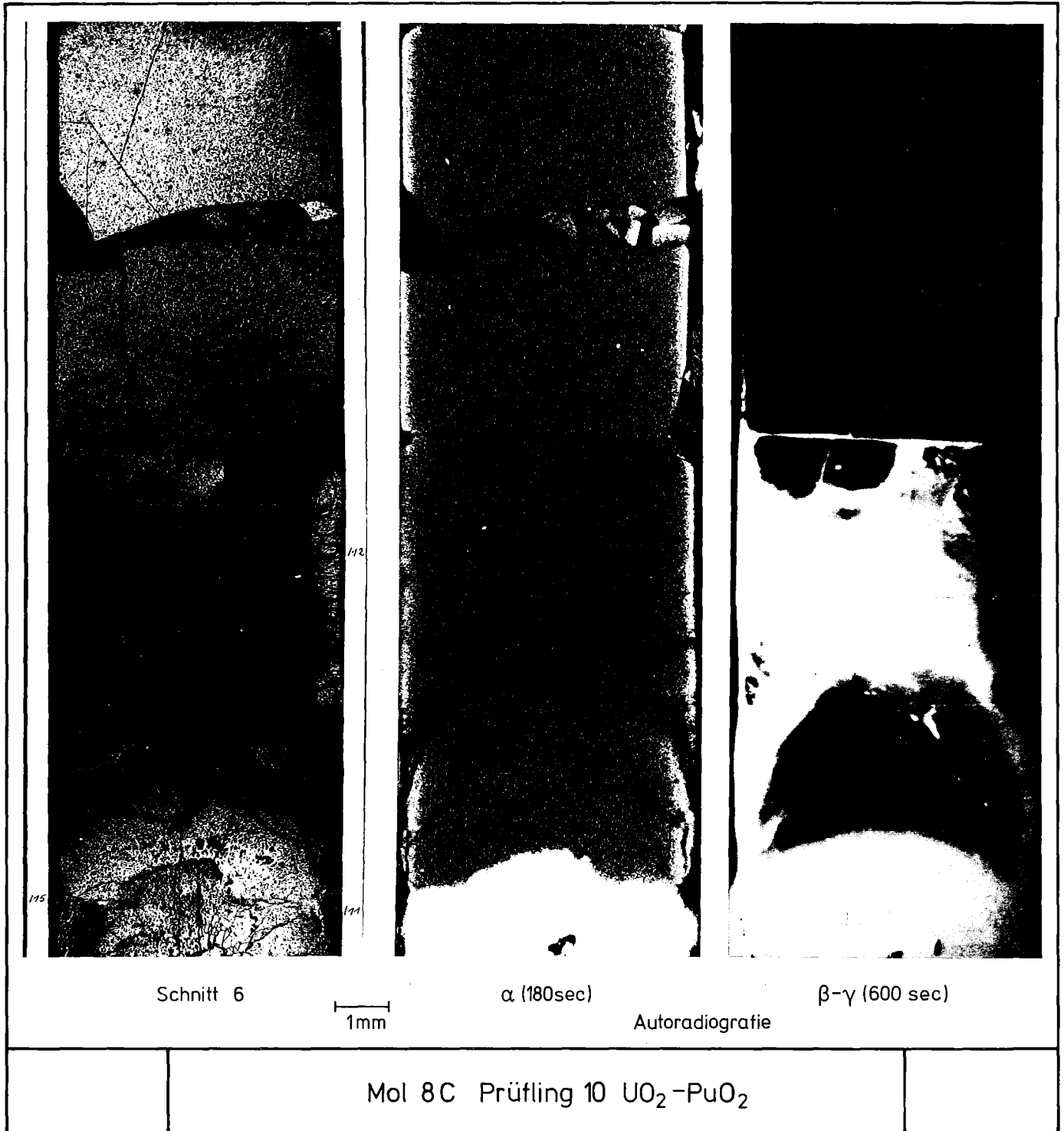
Schnitt 5



HZ-17D-Mo18C-10-5/13 100x 200 μ m



HZ-17D-Mo18C-10-5/14 100x 200 μ m



Schnitt 6

1mm

α (180sec)

Autoradiografie

β - γ (600 sec)

Mol 8C Prüfling 10 UO₂-PuO₂

-I/100-
Schnitt 6

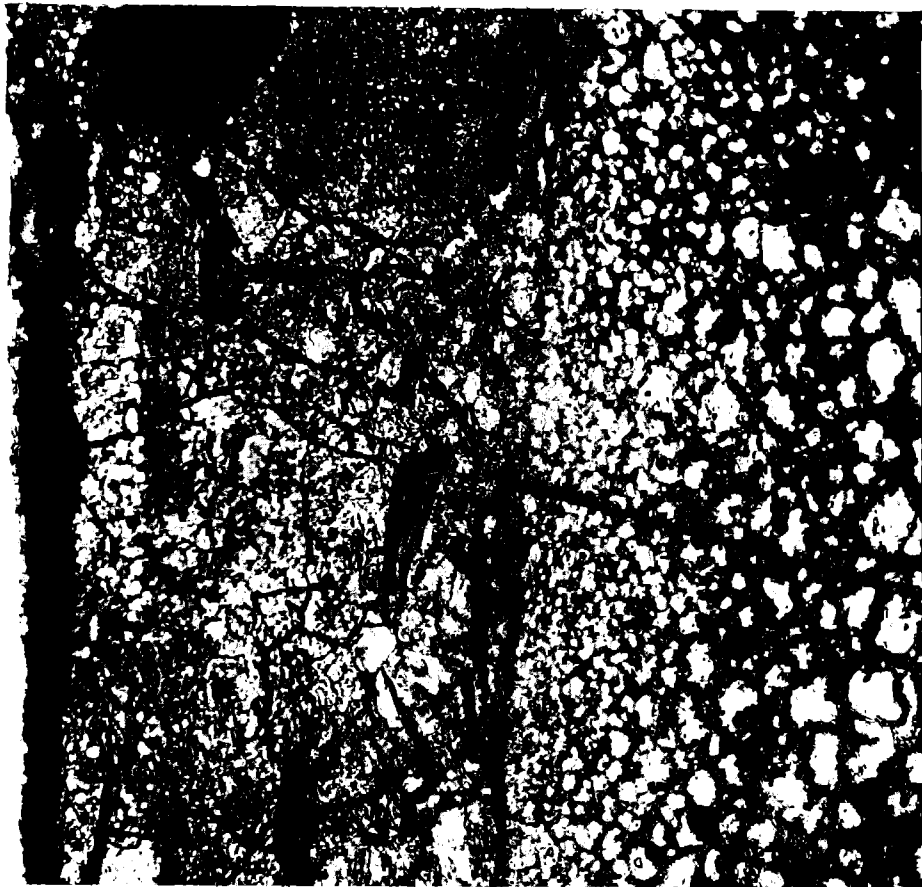


HZ-17D-Mo18C-10-6/11 100x 200 μm

-I/101-
Schnitt 6



HZ-17D-Mo18C-10-6/12 200x 100 μm



HZ-17D-Mo18C-10-6/15 500 x 40 μm

Prüfling 8C-10	
Brennstoff:	
Form	: Tabletten
Zusammensetzung	: $UO_2 - PuO_2$
Tablettendichte	: 88,91,95 % th.D.
Hülle:	
Material	: 1.4988
Aussendurchmesser	: 6,0 mm
Wandstärke	: 0,38 mm
Geometrie:	
Länge des Prüflings	: 1024,4 mm
Länge der Brennstoffsäule	: 520 mm
Radiale Spaltweite	: 25,70,127 μ m
Schmierdichte	: 86 % th.D.
Bestrahlung:	
Einrichtung	: Kapsel- FAFNIR
Dauer in Vollasttagen	: 443,71 d
Ende	: 29. 9.73
Rechn. Abbrand max.	: 116 MWd/kgM
Stableistung max/mittl.	: 620/379 W/cm

