

**KERNFORSCHUNGSZENTRUM  
KARLSRUHE**

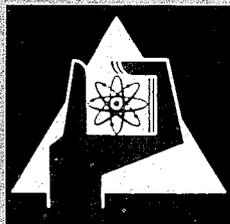
Juni 1968

KFK 782

Abteilung Reaktorbetrieb

Experimentelle Untersuchungen am Sicherheitssystem des FR 2  
(Core mit  $\text{UO}_2$ -Brennelementen)

W. Steiger, D. Wildberg



GESELLSCHAFT FÜR KERNFORSCHUNG M. B. H.

KARLSRUHE



KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE

Juni 1968

KFK 782

Abteilung Reaktorbetrieb

Experimentelle Untersuchungen am

Sicherheitssystem des FR 2

(Core mit UO<sub>2</sub>-Brennelementen)

W. Steiger

D. Wildberg

Gesellschaft für Kernforschung m. b. H. Karlsruhe



## Inhaltsverzeichnis

1. Zusammenfassung
2. Einleitung
3. Vorbereitungen für das Experiment
  - 3.1 Cd-Absorber
  - 3.2 Einführung z-Koordinate
  - 3.3 Trimmung
  - 3.4 Registrierung der Meßgrößen
4. Durchführung der Versuche
  - 4.1 Flußverlauf bei Störung des kritischen Reaktors  
bei Nulleistung
  - 4.2 Flußverlauf bei Störung des unterkritischen Reaktors
  - 4.3 Flußverlauf bei Störung des Reaktors mit wirksamem  
Periodengrenzwert
5. Auswertung
6. Literatur

## 1. Zusammenfassung

Nach dem Umbau des Reaktorcores wurden an dem in Betrieb befindlichen FR 2 Versuche mit rampenartigen Reaktivitätsstörungen durchgeführt. Sie zeigen, daß solche Reaktivitätsstörungen vom Sicherheitssystem des FR 2 nach wie vor sicher beherrscht werden. Gegenüber den Versuchsbedingungen herrschen bei Leistungsbetrieb insofern günstigere Verhältnisse, als die TA-Stäbe normalerweise  $\geq 500$  mm eintauchen, der Periodengrenzwert auf 10 sec eingestellt ist und der negative Temperatureffekt Leistungsüberschläge im Leistungsbereich begrenzt.

## 2. Einleitung

Der Betrieb des FR 2 mit metallischen Natururan-Brennelementen wurde im Oktober 1965 eingestellt, weil die Elemente keine hinreichende Reaktivitätsreserve mehr besaßen. Um eine Leistungssteigerung von 12 MW auf 60 MW zu ermöglichen, wurde die 2. Corebeladung mit oxidischen 7er-Bündel-Brennelementen vorgenommen. Es ergab sich dadurch die Notwendigkeit, auf 1,5% angereicherte Brennelemente in die Außenzone des Reaktors einzubringen, die dann nach Maßgabe ihres Abbrandes zum Corezentrum hin versetzt werden. Für eine gewisse Einfahrzeit wurde deshalb der innere Kern mit 48 Natururanoxid-Brennelementen bestückt.

Im Jahre 1962 wurden bei der Inbetriebnahme des Reaktors Messungen von Leistungsüberschlägen durchgeführt, wie sie bei Reaktivitätsstörungen auftreten können (2). Es interessierte vor allem die Begrenzung solcher Überschläge durch das Sicherheitssystem.

Die auf die damaligen Versuche bezogene Aussage des Nachtrages II zum Sicherheitsbericht des FR 2 (April 1965) über 'gestörten Reaktorbetrieb' sollte nochmals durch ein Experiment erhärtet werden, da

die Randbedingungen der damaligen Versuche (2) sich in der Zwischenzeit gewandelt hatten,

statt metallischer Brennstoff keramischer ( $\text{UO}_2$ ) verwendet wurde,

für das Brennelement als Can- und Strukturmaterial statt Aluminium Zircaloy 2 zum Einsatz kam,

zur Vergrößerung der wärmeabführenden Fläche ein einzelner Stab durch ein Brennstabbündel ersetzt wurde,

durch die neue Beladung das dynamische Verhalten leicht verändert wurde (die Verzögerungsanteile  $B_i$  änderten sich etwas infolge Spektrumsverschiebung).

Die Instrumentierung des Sicherheitssystems mit logarithmischem und linearem Meßkanal sowie der Aufbau derselben war im Vergleich zu den damaligen Versuchen fast unverändert. Lediglich Kanal 2 (log.) war im Oktober 1965 von Röhren- auf Transistorinstrumentierung umgebaut worden. Gleichzeitig damit wurden log-Differenzier- und Trennverstärker in der Meßsäule untergebracht. Die neuen Differenzierverstärker des Kanals 2 hatten eine etwas kleinere Anstiegsgeschwindigkeit als früher. Auch deshalb sollte vor dem Leistungsbetrieb die Wirksamkeit des Sicherheitssystems bei rampenartigen positiven Reaktivitätsstörungen unter erschwerten Bedingungen durch ein Experiment überprüft werden.

Um einen möglichst guten Vergleich zu den im Juli 1962 stattgefundenen Leistungsüberschlagsmessungen (2) zu ermöglichen, wurden die Versuche in ähnlicher Weise geplant und durchgeführt. Auch in diesem Fall wurde der ungünstigste Abschaltfall untersucht: Ausgangszustand mit völlig ausgefahrenen Trimmabschaltstäben. Dies wurde durch entsprechende Beladung verschiedener Isotopenkanäle mit Cadmium erreicht.

### 3. Vorbereitungen für das Experiment

#### 3.1 Cd-Absorber

Zur Erzeugung der positiven Reaktivitätsstörung wurde für das Zentralloop mit einem Innendurchmesser des Tauchrohrs von 130 mm ein mit Cadmium-Folie überzogenes PVC-Rohr mit einer Länge von  $l = 1968$  mm und einer Oberfläche von  $7400 \text{ cm}^2$  gebaut, das von der BE-Flasche ein- und ausgefahren werden konnte.

Zum Vergleich einige Werte für ähnliche Absorber:

|                         |  |
|-------------------------|--|
| FR-Stab                 | $4150 \text{ cm}^2$ ( $l = 2100 \text{ mm}$ ), |
| TA-Stab                 | $4150 \text{ cm}^2$ ( $l = 2100 \text{ mm}$ ), |
| Cd-Absorber<br>nach (2) | $9900 \text{ cm}^2$ ( $l = 1990 \text{ mm}$ ). |

Marxen (2) hatte seine damaligen Versuche mit einem Core aus 148 metallischen Brennelementen durchgeführt. Eine Abschätzung ergab, daß jetzt trotz einer um 25% kleineren Oberfläche der Cd-Absorber einen größeren Reaktivitätsbeitrag aufweisen würde. Ein Vergleich von Abb. 1 mit (2) zeigt, daß dies tatsächlich der Fall war.

Die Eichung des Cd-Absorbers erfolgte durch Messung der positiven stabilen Periode  $\tau$  (Stellung der inneren 8 TA-Stäbe dabei immer ganz ausgefahren, Anzeige 0). Die Abhängigkeit der stabilen Periode  $\tau$  von der Reaktivität  $\rho$ , gegeben durch die Inhour-Gleichung, wurde (3) entnommen. Die Corebeladung zeigt Abb. 2 (Kern mit 48 BE 6, äußerer Ring mit 40 BE 5), allerdings ohne die Trimmung durch die beiden mit Cadmium beladenen Isotopenkanäle, die erst unmittelbar vor den Leistungsüberschlagsmessungen erfolgte. Eine Überprüfung der Eichkurve durch Abbildung des Cd-Absorberhubes auf FR- und TA-Stäbe unmittelbar vor den Versuchen und nach der Trimmung des Reaktors erbrachte eine befriedigende Übereinstimmung. FR- und TA-Stab-Eichkurven für das 88er-Core siehe (3). Abb. 12 zeigt den Stellbereich der FR- und TA-Stäbe innerhalb des Cores.

Die BE-Flasche hat 5 Geschwindigkeitsstufen (6,0 / 17,5 / 21,0 / 23,5 / 26,0 cm/s). Bei den Versuchen wurde nur mit der ersten Stufe 6,0 cm/s gefahren. Es ergibt sich im linearen Teil der Kurve der Abb. 1 für die Änderung von  $\rho$  mit der Höhe  $z$

$$\left(\frac{\Delta \rho}{\Delta z}\right)_{\max} = \frac{d\rho}{dz} = 0,2 \frac{\text{mk}}{\text{cm}},$$

und daraus bei der 1. Geschwindigkeitsstufe des Hubes der BE-Flasche von  $dz/dt = 6,0 \text{ cm/s}$  (vgl. Abb. 10) für die Änderung der Reaktivität in der Zeit

$$\frac{d\rho}{dt} = \frac{d\rho}{dz} \cdot \frac{dz}{dt} = 1,2 \frac{\text{mk}}{\text{s}}.$$

Die nachfolgend beschriebenen Versuche sind wegen der gleichen Reaktivitätsänderung mit Versuch 2 (Tabelle 2, 3, 4) aus (2) zu vergleichen. Allerdings muß dann in (2) aus der korrigierten Cd-Absorber-Eichkurve statt des Mittelwertes der Maximalwert  $\frac{d\rho}{dz}$  eingesetzt werden: Man erhält damit 1,0 mk/s statt 0,5 mk/s. Der Maximalwert wurde deswegen verwendet, weil die Reaktivitätsänderung im linearen Teil der Absorbereichkurve erzeugt wurde.

Die Korrektur der Eichkurve in (2) erfolgte damals, um die gemessenen Leistungsexkursionen der Rechnung anzugleichen: begründet wurde diese Korrektur durch die Vergrößerung des Reaktivitätseinflusses des Cd-Absorbers bei der Eichung mit der Pulsmethode durch das teilweise Herausziehen der äußeren 4 TA-Stäbe.

### 3.2 Werte der z-Koordinate

Um einen Vergleich mit (2) möglichst einfach zu machen, wurde die dortige Festsetzung  $z = 0 \text{ cm}$  entsprechend einer Höhen-Kote von 9531 mm bzw. einer Anzeige des Hubwerkes der BE-Flasche von 11587 mm (Umrechnung siehe Tabelle 1) übernommen. Bei der Absorberstellung  $z = 0$  befindet sich die Unterkante des Cd-Blechtes des Absorbers auf  $z = 0 \text{ cm}$ .

Mit dem Herausziehen des Absorbers steigt die z-Koordinate. Im Gegensatz dazu wird die Höhenanzeige der BE-Flasche beim Herausziehen des Absorbers kleiner - wie bei FR- und TA-Stäben (siehe Abb. 12).

Vor der Eichung des Cd-Absorbers mittels Periodenmessung wurde durch Abbildung auf den Feinregelstab (FR-Stab) die Stelle maximaler integraler Wirksamkeit des Cd-Absorbers im Core gesucht, sie stimmt in etwa mit  $z = 0$  überein.

### 3.3 Trimmung

Der Reaktor sollte möglichst so getrimmt werden, daß er bei der Cd-Absorberstellung  $z \approx 70$  cm mit ganz ausgefahrenen Trimmabschaltstäben (TA = 0) bei mittlerer Stellung des FR-Stabes kritisch wird, siehe auch (2). Nach einer Abschätzung aufgrund von Vergleichen mit dem FR-Stab, den TA-Stäben und dem Cd-Absorber (Oberfläche, Eichkurve) wurden entsprechend Abb. 2 und 3 die ungeraden Kapselträgerrohrpositionen der beiden Isotopenkanäle 41/15 und 49/23 - etwa symmetrisch zu FR-Stab und Meßsäule - mit je einem Cd-Blech in Form einer Rolle von etwa  $39 \text{ cm}^2$  äußerer Oberfläche beladen; die Trimmung wurde also mit insgesamt etwa  $1150 \text{ cm}^2$  äußerer Cd-Blech-Oberfläche durchgeführt. Damit wurde der Reaktor bei einer Stellung des Cd-Absorbers von  $z = 73$  cm, voll ausgefahrenen TA-Stäben und einer Stellung des FR-Stabes von 216 mm kritisch.

### 3.4 Registrierung der Meßgrößen

Für die Registrierung wurde ein Mehrfachschleifenoszillograf mit getrennter Zeitmarkierung verwendet. Ihre Genauigkeit betrug nach Angaben der Herstellerfirma  $\pm 2\%$ .

Aufgeschaltet wurden:

|                                       |   |
|---------------------------------------|---|
| Sicherheitssystem Kanal 3a/Strang III | (lin. Flußanzeige)                          |
| Sicherheitssystem Kanal 3a/Strang II  | (lin. Flußanzeige)                          |
| Sicherheitssystem Kanal 2a/Strang I   | (log. Flußanzeige)                          |
| Sicherheitssystem Kanal 2b/Strang I   | (Periode)                                   |
| Grenzwerteinheit GE 3/IIIa            | (Abschaltsignal bei zu hohem Neutronenfluß) |

Magnetsteuergerät TA-Stab 1 }  
Magnetsteuergerät TA-Stab 2 } Positionen sieh. Abb. 2  
Magnetsteuergerät TA-Stab 3 }  
Höhenanzeige Hubwerk BE-Flasche  
Meldung 'Absorber unten' (d.h. TA-Stäbe in tiefster  
Stellung).

Kanal 3 war bisher auf  $\phi/\phi_N = 1 \pm 12$  MW normiert. Der umgebaute Kanal 2 war auf rd. 60 MW eingestellt worden, der genaue Umrechnungsfaktor wurde später bei der Auswertung mit 3,3 ermittelt. Deswegen liegen manche Grenzwerteinstellwerte von Kanal 2 etwas anders als ursprünglich vorgesehen. Den Aufbau der Sicherheitskanäle 2 und 3 zeigt Abb. 11 in schematischer Darstellung.

Für die Höhenanzeige des Hubwerks der BE-Flasche wurde ein Potentiometer an geeigneter Stelle angebaut. Außer diesem und dem Schleifenzillographen wurde im Gegensatz zu (2) keine zusätzliche Instrumentierung verwendet. Kanal 2b (Periodenkanal) wurde für den 1. und 2. Versuch um den Faktor 10 unempfindlicher gemacht, um noch Perioden bis herunter zu 0,1 s messen zu können.

Vor den Versuchen erfolgte eine Eichung des Schleifenzillographen.

#### 4. Durchführung der Versuche (22.1.66)

##### 4.1 Flußverlauf bei Störung des kritischen Reaktors bei Nullleistung

Bei konstanter Reaktorleistung wurde der Cd-Absorber stufenweise eingefahren (dabei Abbildung auf FR- und TA-Stäbe), bis in der Stellung  $z = 73$  cm alle TA-Stäbe voll ausgefahren waren. Die genauen Ausgangsdaten gibt Tabelle 1 wieder.

Die Differenzierverstärker von Kanal 3b (linearer Neutronenmeßkanal) für die Bildung von  $d\phi/dt$  bzw. des Reziprokwertes hiervon waren während der Versuche nicht aufgeschaltet. Außerdem hatte man die nicht auf den Schleifenzillographen aufgeschalteten Stränge von Kanal 2b (Periodenkanal) außer Betrieb gesetzt. Der unterste Abschaltgrenzwert im Strang III des linearen Meßkanals lag etwa um den Faktor 1000 über der Ausgangsreaktorleistung. Siehe auch Tabelle 1.

Aus Sicherheitsgründen waren das Grenzwertsignal ' $\phi > 10^{-3} \phi_N$ ' von Kanal 2 und die Flußgrenzwerte der beiden nicht zur Messung verwendeten Stränge von Kanal 3 ebenfalls aufgeschaltet, jedoch um den Faktor 10 höher.

Dann wurde aus dem kritischen Reaktor der Cd-Absorber im Zentralloop mit der kleinsten Hubgeschwindigkeit der BE-Flasche gezogen. Die Festlegung der Zeitskala wurde so vorgenommen, daß  $t = 0$  mit dem Beginn des Ziehens übereinstimmt.

Den mittels Mehrfachschleifenoszillograf registrierten Neutronenfluß- und Periodenverlauf von Versuch 1 zeigen Abb. 4 und 7. Die Verzögerungszeiten, z.B. zwischen Auslösung des Grenzwertes und Beginn der Entregung der TA-Stäbe, wurden dem Oszillogramm entnommen und sind in Tabelle 1 aufgeführt. Da es sich um eine sehr niedrige Reaktorleistung handelte, sind keine Reaktivitätseffekte durch Temperaturänderung zu berücksichtigen. Durch die voll ausgefahrenen TA-Stäbe wurde der größtmögliche Leistungsüberschlag erzielt, da im Bereich 0 bis etwa 500 mm die wegabhängige Reaktivitätsänderung der TA-Stäbe am geringsten ist, siehe (3). Das Weg-Zeit-Diagramm eines TA-Stabes bei Abwurf aus verschiedenen Höhen kann (4) entnommen werden.

Im Weg-Zeit-Diagramm des Cd-Absorbers (Abb. 10) wurde die Kurve für den ersten Versuch aufgrund des Kurvenverlaufs beim 2. und 3. Versuch korrigiert. Der Papiervorschub betrug zuerst 500 mm/s, bei den anderen beiden Versuchen 125 mm/s. Die Abweichung beim ersten Versuch (etwa 9%) liegt höher als die vom Hersteller angegebene Genauigkeit (siehe Punkt 3.4), sie ist auf die sehr große Papiervorschubgeschwindigkeit zurückzuführen.

Beim Vergleich der Auswertung in Tabelle 1 mit den entsprechenden Werten in (2) zeigt sich, daß gegenüber (2) ein größerer Leistungsüberschlag über den Abschaltwert hinaus ermittelt wurde. Dies ist vor allem auf die größere Wirksamkeit des Cd-Absorbers im neuen Core zurückzuführen. Das Verhältnis maximal erreichter Neutronenfluß zum Fluß beim Ansprechen des Sicherheitssystems wird umso größer, je größer die störungsbedingte Reaktivitätsänderung in der Zeit zwischen Auslösen der Abschaltung und dem Wirksamwerden der Abschaltstäbe ist.

#### 4.2 Flußverlauf bei Störung des unterkritischen Reaktors

Nachdem der Reaktor während kurzer Zeit auf einer Leistung wie beim 1. Versuch konstant gehalten worden war (Cd-Absorber in der gleichen Stellung wie beim 1. Versuch), wurde der Cd-Absorber auf  $z = 0$  eingefahren. Am Sicherheitssystem hatte man gegenüber dem 1. Versuch nichts verändert. Zum Zeitpunkt  $t = 0$  wurde begonnen, den Cd-Absorber mit der kleinsten Hubgeschwindigkeit der BE-Flasche aus dem Zentralloop zu ziehen.

Den Neutronenfluß- und Periodenverlauf von Versuch 2 zeigen Abb. 5 und 8, siehe auch Tabelle 1. Die Deckungsgleichheit der Kurven von Versuch 1 und 2 beweist, daß noch kein Einfluß von Photoneutronen vorliegt.

#### 4.3 Flußverlauf bei Störung des Reaktors mit wirksamem Periodengrenzwert

Beim 3. Versuch wurde die Periodenabschaltung von Kanal 2 wieder aufgeschaltet und auf einen Abschaltwert von 2 s eingestellt (Betriebseinstellung nach Sicherheitsbericht 10 s). Die Flußgrenzwerte von Kanal 2 wurden auf  $1,3 \cdot 10^{-2} \phi_N \hat{=} 156$  kW und die von Kanal 3 auf  $1,7 \cdot 10^{-2} \phi_N \hat{=} 200$  kW eingestellt.

Die Reaktorausgangsleistung betrug  $\phi = 3,1 \cdot 10^{-4} \phi_N \hat{=} 3,7$  kW (Cd-Absorber in der gleichen Stellung wie beim 1. Versuch). Diese gegenüber Versuch 1 und 2 wesentlich höhere Leistung wurde gewählt, um den Periodenverlauf des umgebauten Kanals 2 in einem anderen Leistungsbereich zu beobachten. Zum Zeitpunkt  $t = 0$  wurde der Cd-Absorber im Zentralloop mit der kleinsten Hubgeschwindigkeit der BE-Flasche gezogen.

Den Neutronenfluß- und Periodenverlauf von Versuch 3 zeigen Abb. 6 und 9, siehe auch Tabelle 1. Ein ungünstigeres Verhältnis von Ausgangsfluß zum Fluß bei der Abschaltung hätte sich ergeben, wenn die Reaktivitätsgeschwindigkeit gerade so groß gewesen wäre, daß der Reaktor den Periodengrenzwert genau beim Erreichen des Neutronenflußgrenzwertes erreicht hätte, weil dann der Flußgrenzwert mit der durch das Sicherheitssystem bedingten kürzesten Reaktorperiode überschritten worden

wäre. In diesem Fall war aber die Reaktivitätsgeschwindigkeit so groß, daß die Abschaltung durch das Periodensignal bei einem niedrigeren Flußwert eingeleitet wurde und damit war auch die Leistungsspitze kleiner. Wäre im anderen Fall die Reaktivitätsgeschwindigkeit so klein gewesen, daß der Flußabschaltwert mit größerer Periode überschritten worden wäre, so wäre der max. Fluß ebenfalls kleiner geworden. Siehe auch (1). Eine Erhöhung der Ausfahrgeschwindigkeit des Absorbers hätte also nur dazu geführt, daß die Abschaltung durch den Periodengrenzwert bei noch niedrigeren Flußwerten eingetreten wäre.

Obgleich also die Differenzierverstärker des log. Kanals nach dem Umbau um den Faktor 2 bis 5 langsamer geworden sind (die Anstiegsgeschwindigkeit der Periodenanzeige von Kanal 2 ist aussteuerungsabhängig, d.h. proportional zur Flußänderung), ist damit keine Einbuße an Sicherheit erfolgt. Wie man aus Abb. 4 und 5 ansehen kann, läuft die log.-Flußkurve in die lin.-Flußkurve ein; bei Abb. 6 liegt die Abweichung darin begründet, daß der Fluß für den lin. Meßkanal bei zu kleinen Werten blieb ( $1,7 \cdot 10^{-2} \phi_N = 100\%$  des Meßbereichs).

## 5. Auswertung

In Tabelle 1 sind alle interessierenden Werte zusammengestellt. Die Totzeiten stimmen mit den Ergebnissen von (5) und auch mit (2) gut überein.

Die Periode läßt sich aus dem Flußverlauf in Abb. 4/5/6 nach der bekannten Beziehung unmittelbar entnehmen:

$$\tau = \frac{1}{\varnothing} \cdot \frac{d\varnothing}{dt} = \frac{1}{d \ln \varnothing / \varnothing_0}{dt} = \frac{0,4343}{d \log \varnothing / \varnothing_0} \cdot$$

Die so aus der Kurve für den Flußverlauf entnommene minimale Periode stimmt mit der durch Kanal 2b direkt gemessenen sehr gut überein.

Bei Beginn des Ausfahrens des Cd-Absorbers sind die Meßströme klein und damit sind auch die stromabhängigen Zeitkonstanten der log-Verstärker und die statistischen Schwankungen noch relativ groß. Bei den Abb. 7 bis 9 ist außerdem zu berücksichtigen, daß bei dem gewählten hyperbolischen Maßstab zur Darstellung der Periode bei großen Werten für  $\tau$  der Fehler größer ist als nachher bei kleineren Werten. Deswegen wurde der Anfangsteil der Kurven  $\tau = f(t)$  nur gestrichelt. Der Verlauf der Periode beim 1. und 3. Versuch (Abb. 7 und 9) zeigt im unteren Bereich 'Einschwingvorgänge', die auf die Elektronik zurückzuführen sind. Die Anstiegsgeschwindigkeit der Periodenanzeige ist aussteuerungsabhängig und bei schnellen rampenförmigen Flußänderungen kann es im unteren Bereich zu einem gewissen Überschwingen kommen.

Die Ergebnisse dieser Leistungsüberschlagsmessungen vom 88er-Core sind auf jedes andere Core des FR2 übertragbar. Um genau die gleichen Leistungsüberschläge zu erreichen, müßten allerdings die Randbedingungen des Versuches wie die Größe des Cd-Absorbers und seine Hubgeschwindigkeit entsprechend geändert werden, da dessen Reaktivitätseinfluß sich mit der Größe des Cores ändert.

An dieser Stelle sei nochmals allen an diesen Versuchen beteiligten Kollegen der Abteilung RB, insbesondere den Herren Döbele und Tangen, für ihre Mitarbeit gedankt.

## 6. Literatur

- (1) Nachtrag II zum Sicherheitsbericht für den Reaktor FR2  
(April 1965).
- (2) Dosch, Marxen, Uhrig: "Experimentelle Untersuchungen  
am Sicherheitssystem des Reaktors FR2"  
(Interner Arbeitsbericht Nr. 62/2).
- (3) Hagen, Jaeckel, Kapulla: "Nullenergiemessungen am  
oxidischen Core des FR2"  
(RB-Bericht Nr. 3/66).
- (4) Dauth: "Bericht über die Funktionsprüfung der ersten  
3 TA-Stäbe für den FR2"  
(Interner Arbeitsbericht Nr. 61/118).
- (5) Holub, Wildberg, Döbele: "Totzeitmessungen am Sicher-  
heitssystem"  
(Interner Prüfbericht, Januar 1966).

Die angeführte Literatur ist zum Verständnis dieses  
Berichtes nicht notwendig und nur einem bestimmten  
Personenkreis zugänglich.

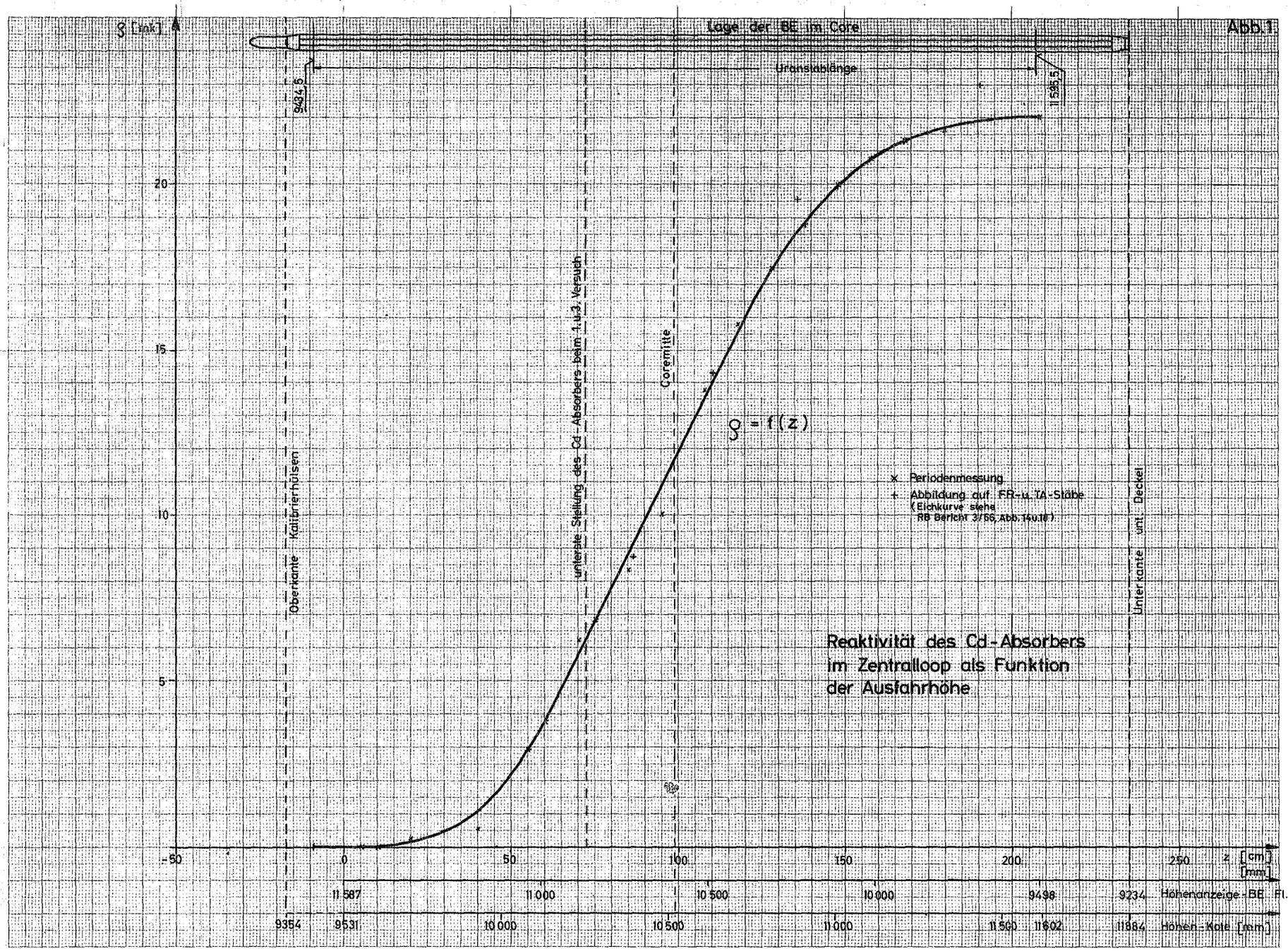


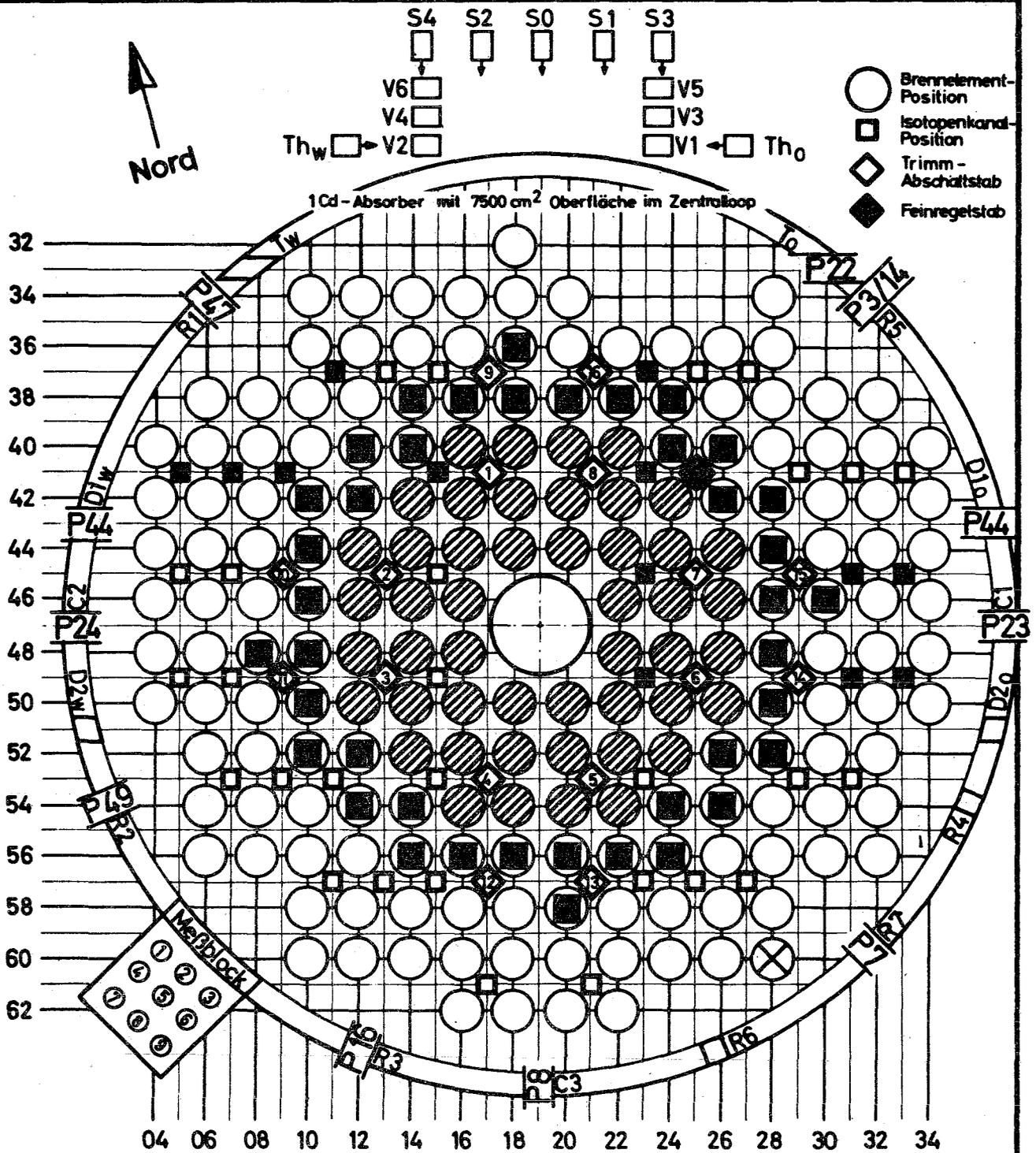
Abb. 1

### Beladungs und Belegungsplan Betriebsphase B

- 40 BE5 (UO<sub>2</sub>-Element 1,5% anger.)      ■ Isotopenk.-Pos. mit Belademöglichkeit (Proj.1)
- ◐ 48 BE6 (UO<sub>2</sub>-nat.Element)              ⊗ Temperatursonde

Beladung Nr.: 93 Datum: 22.1.66

Kapselträgerrohre auf Pos. 41/15 und 49/23 mit je 15 Kapseln Cd beladen.



Formblatt: 9/2 (Positionskarte FR 2 - Core)

# Isotopenkanäle

mit Kapselträgerrohrpositionen

Beladung am 22.1.66

| 37/23 | 41/05 | 41/07 | 41/09 | 41/15 | 41/23 | 45/15 | 45/23 | 49/23 | 49/31 | 49/33 | 57/11 | 61/17 |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 29    | 29    | 29    | 29    | 29    | 29    | 29    | 29    | 29    | 29    | 29    | 29    | 29    |
| 28    | 28    | 28    | 28    | 28    | 28    | 28    | 28    | 28    | 28    | 28    | 28    | 28    |
| 27    | 27    | 27    | 27    | 27    | 27    | 27    | 27    | 27    | 27    | 27    | 27    | 27    |
| 26    | 26    | 26    | 26    | 26    | 26    | 26    | 26    | 26    | 26    | 26    | 26    | 26    |
| 25    | 25    | 25    | 25    | 25    | 25    | 25    | 25    | 25    | 25    | 25    | 25    | 25    |
| 24    | 24    | 24    | 24    | 24    | 24    | 24    | 24    | 24    | 24    | 24    | 24    | 24    |
| 23    | 23    | 23    | 23    | 23    | 23    | 23    | 23    | 23    | 23    | 23    | 23    | 23    |
| 22    | 22    | 22    | 22    | 22    | 22    | 22    | 22    | 22    | 22    | 22    | 22    | 22    |
| 21    | 21    | 21    | 21    | 21    | 21    | 21    | 21    | 21    | 21    | 21    | 21    | 21    |
| 20    | 20    | 20    | 20    | 20    | 20    | 20    | 20    | 20    | 20    | 20    | 20    | 20    |
| 19    | 19    | 19    | 19    | 19    | 19    | 19    | 19    | 19    | 19    | 19    | 19    | 19    |
| 18    | 18    | 18    | 18    | 18    | 18    | 18    | 18    | 18    | 18    | 18    | 18    | 18    |
| 17    | 17    | 17    | 17    | 17    | 17    | 17    | 17    | 17    | 17    | 17    | 17    | 17    |
| 16    | 16    | 16    | 16    | 16    | 16    | 16    | 16    | 16    | 16    | 16    | 16    | 16    |
| 15    | 15    | 15    | 15    | 15    | 15    | 15    | 15    | 15    | 15    | 15    | 15    | 15    |
| 14    | 14    | 14    | 14    | 14    | 14    | 14    | 14    | 14    | 14    | 14    | 14    | 14    |
| 13    | 13    | 13    | 13    | 13    | 13    | 13    | 13    | 13    | 13    | 13    | 13    | 13    |
| 12    | 12    | 12    | 12    | 12    | 12    | 12    | 12    | 12    | 12    | 12    | 12    | 12    |
| 11    | 11    | 11    | 11    | 11    | 11    | 11    | 11    | 11    | 11    | 11    | 11    | 11    |
| 10    | 10    | 10    | 10    | 10    | 10    | 10    | 10    | 10    | 10    | 10    | 10    | 10    |
| 9     | 9     | 9     | 9     | 9     | 9     | 9     | 9     | 9     | 9     | 9     | 9     | 9     |
| 8     | 8     | 8     | 8     | 8     | 8     | 8     | 8     | 8     | 8     | 8     | 8     | 8     |
| 7     | 7     | 7     | 7     | 7     | 7     | 7     | 7     | 7     | 7     | 7     | 7     | 7     |
| 6     | 6     | 6     | 6     | 6     | 6     | 6     | 6     | 6     | 6     | 6     | 6     | 6     |
| 5     | 5     | 5     | 5     | 5     | 5     | 5     | 5     | 5     | 5     | 5     | 5     | 5     |
| 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     |
| 3     | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     |
| 2     | 2     | 2     | 2     | 2     | 2     | 2     | 2     | 2     | 2     | 2     | 2     | 2     |
| 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     |

Jede 2. Kapsel leer, insgesamt etwa 1150 cm<sup>2</sup> äußere Oberfläche

Je Kapsel ca. 39 cm<sup>2</sup> Cd-Blech in Form einer Rolle,

GESELLSCHAFT FÜR KERNFORSCHUNG M. B. H., KARLSRUHE  
Abteilung Reaktorbetrieb

Abb. 3

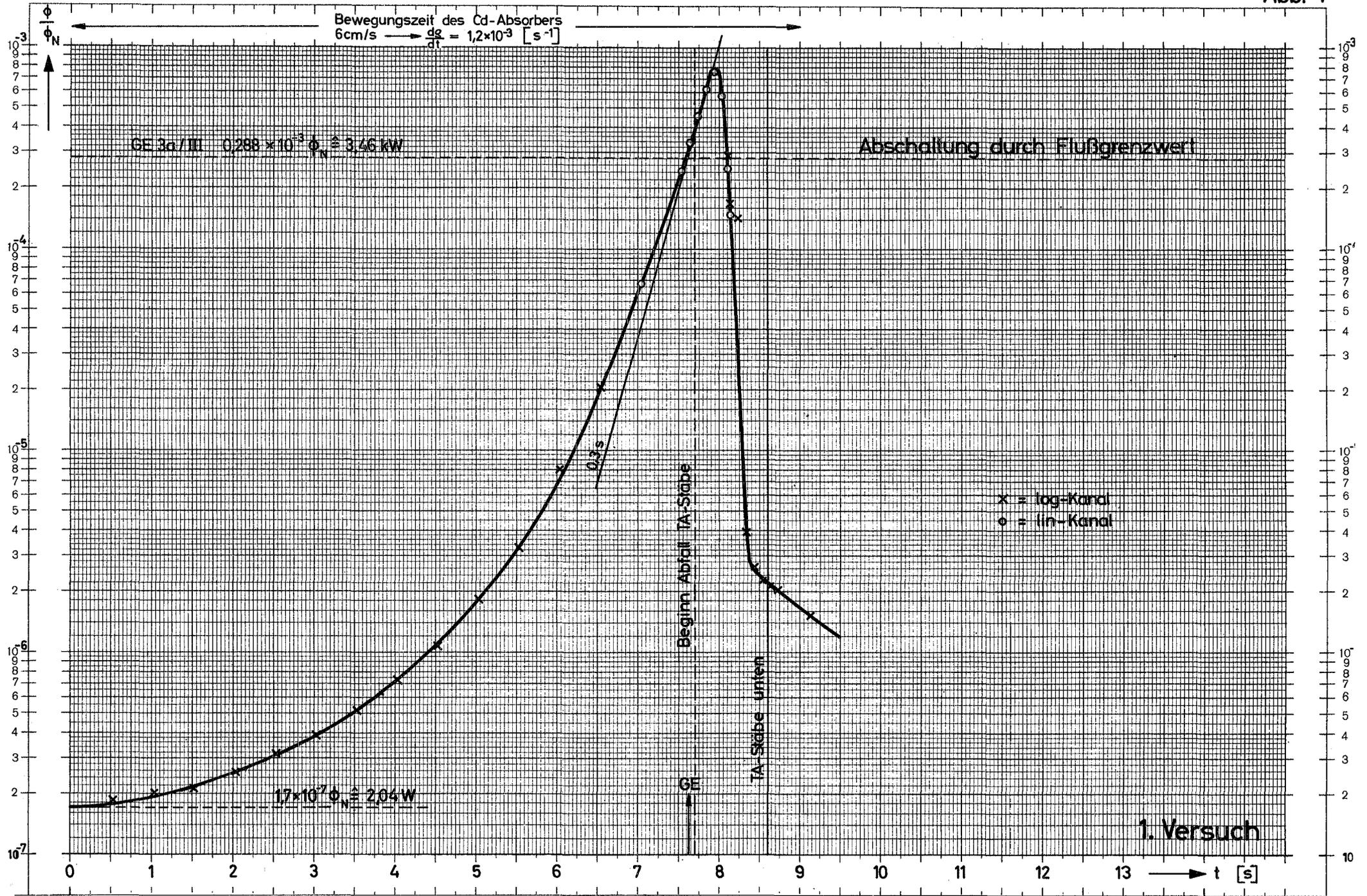
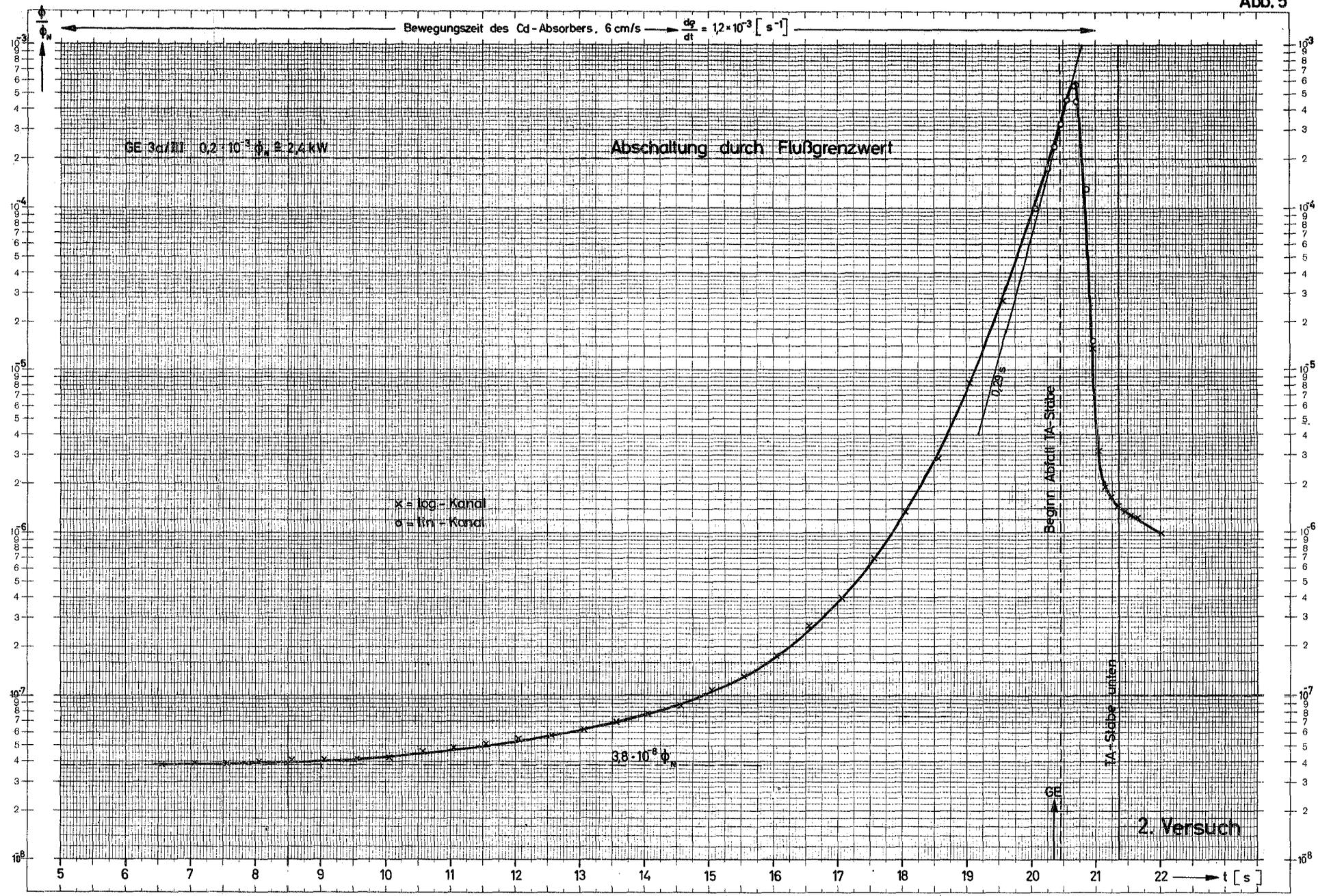
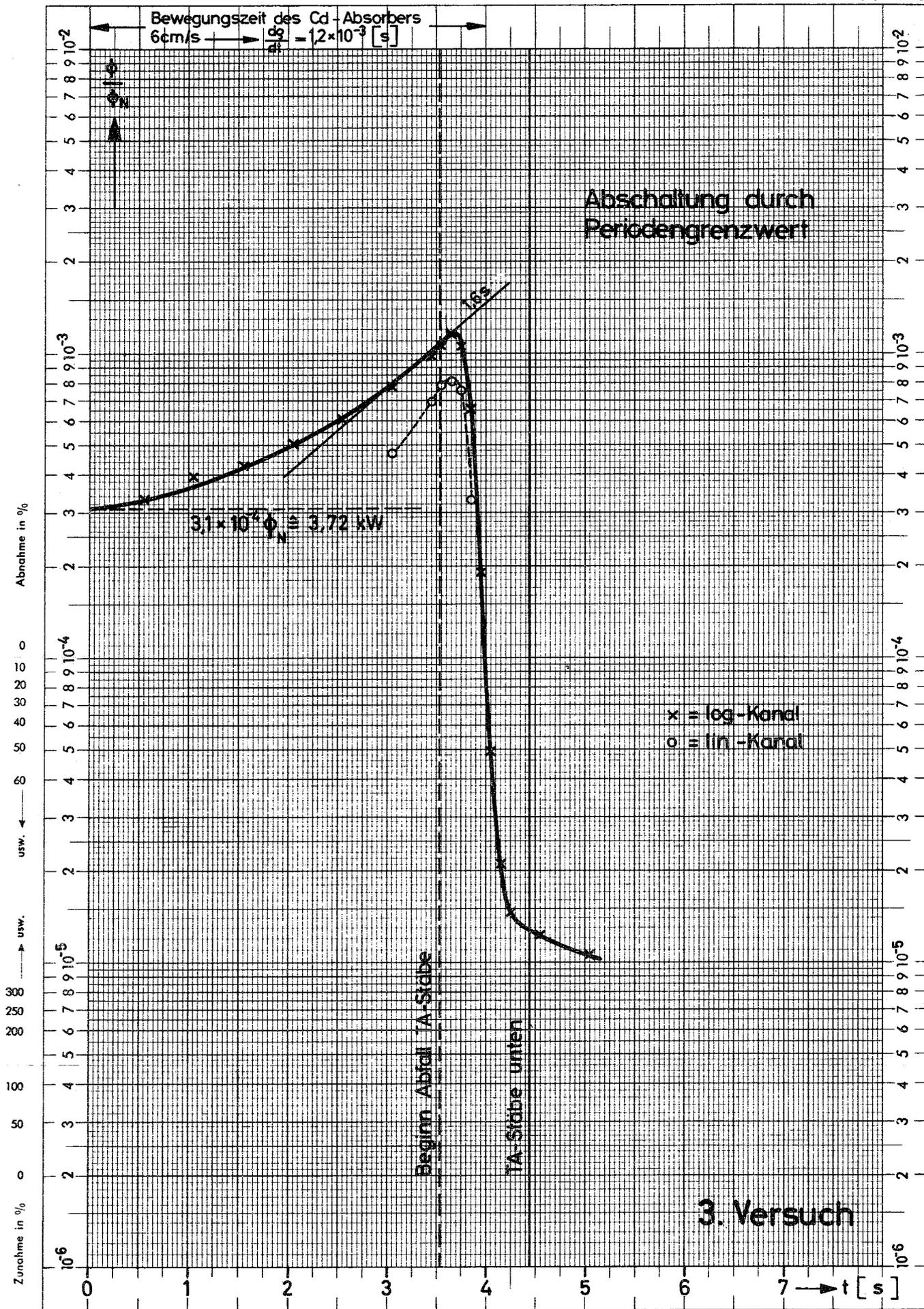


Abb. 5

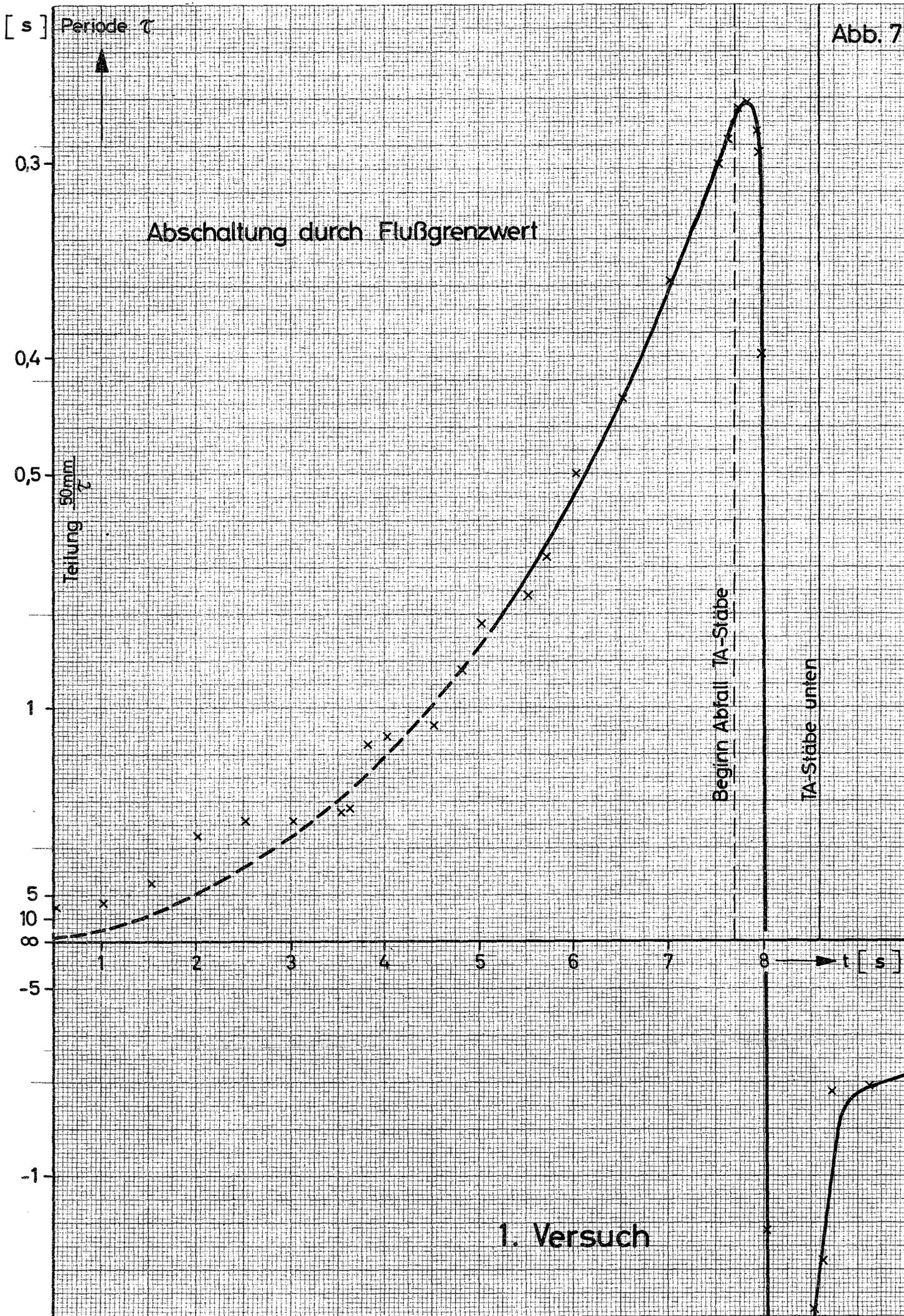


Eine Achse logar. geteilt von 1 bis 10000, Einheit 50 mm, die andere linear in mm.

Abb.6



Eine Achse logar. geteilt von 1 bis 10000, Einheit 62,5 mm, die andere in mm mit Prozentmaßstab



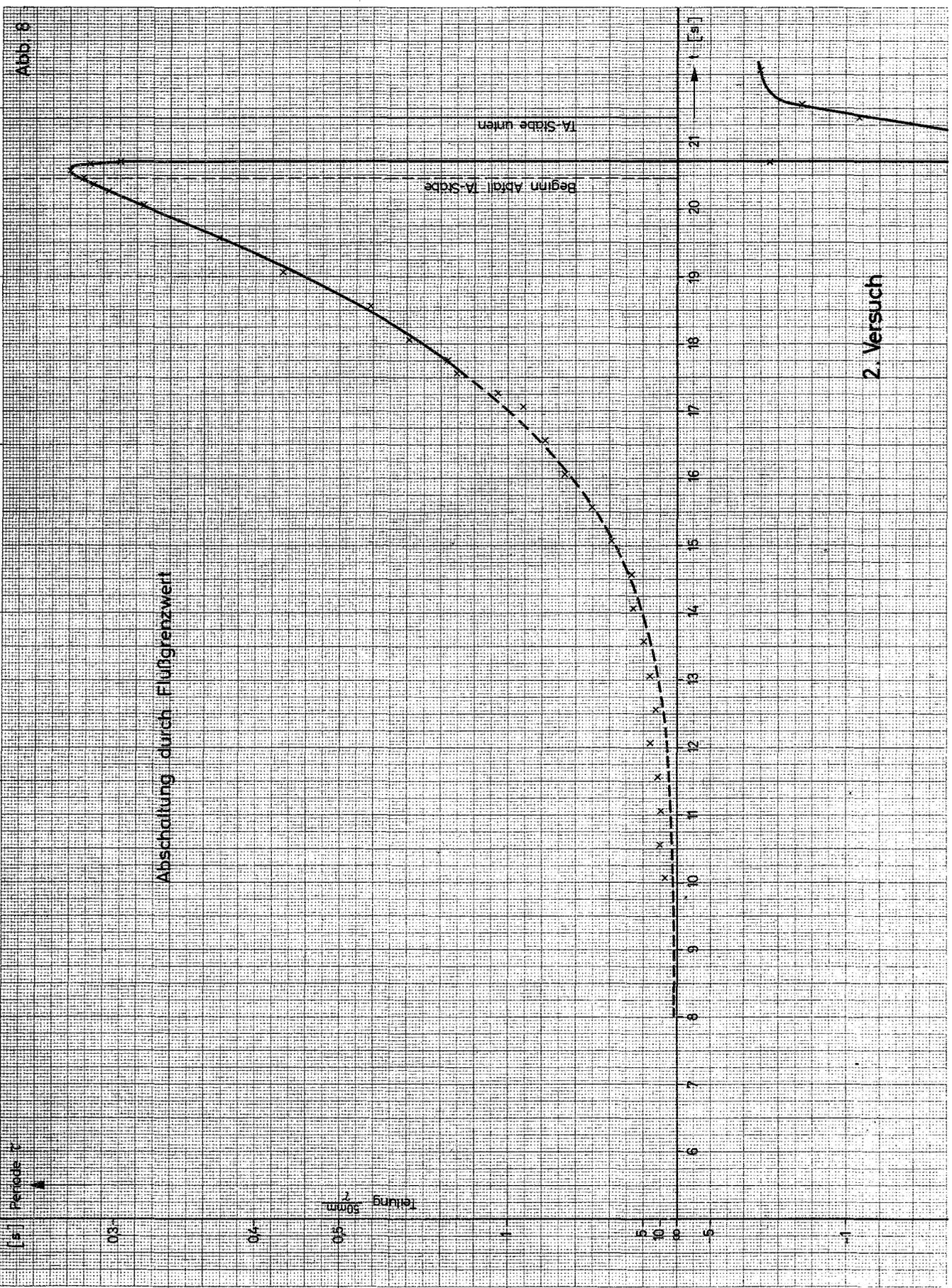


Abb. 8

Abschaltung durch Flußgrenzwert

Beginn Abfall TA-Stabe

TA-Stabe unten

2. Versuch

[s] Periode  $\tau$

0.3

0.2

0.1

0

0.1

0.2

0.3

Teilung  
50mm

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

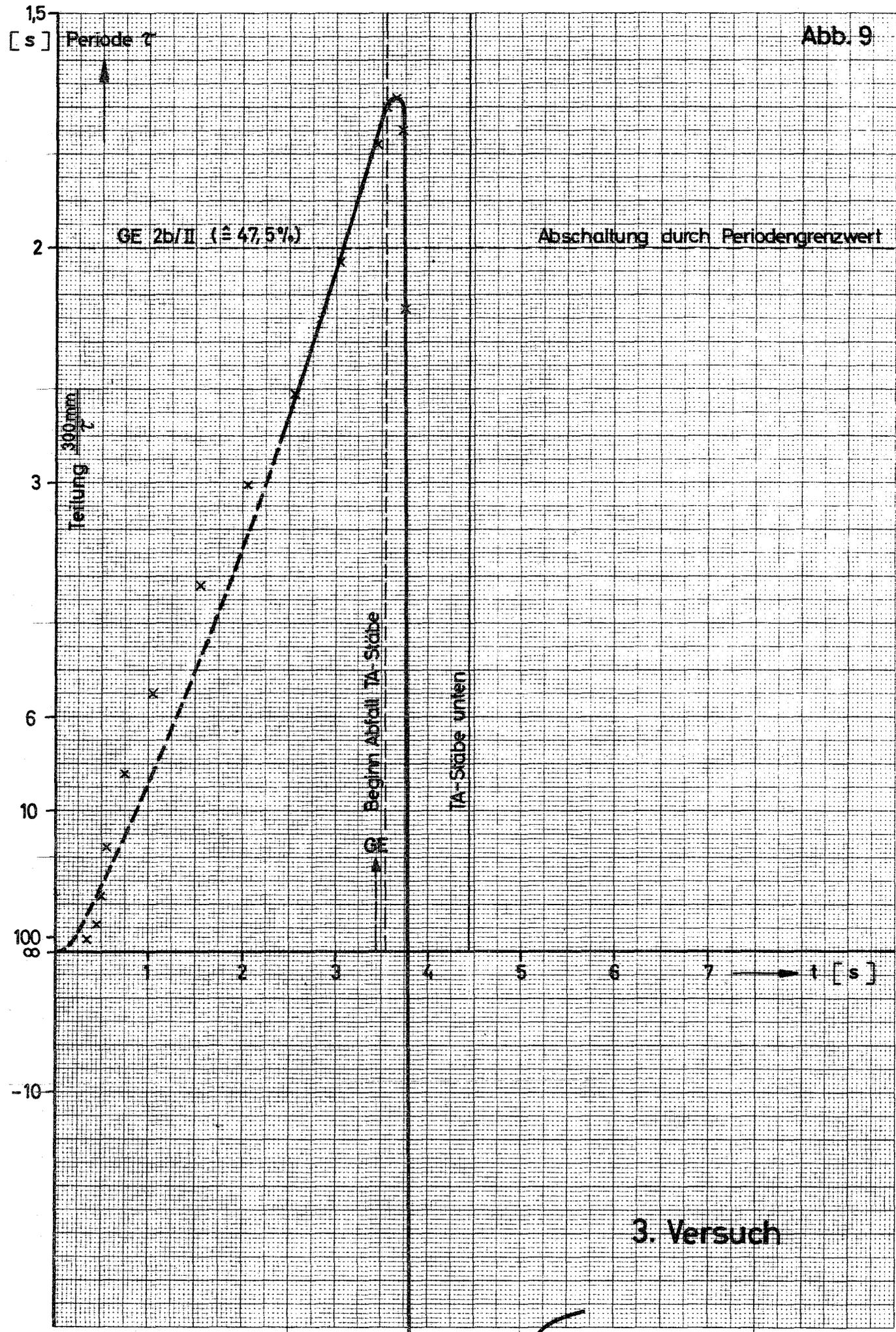
19

20

21

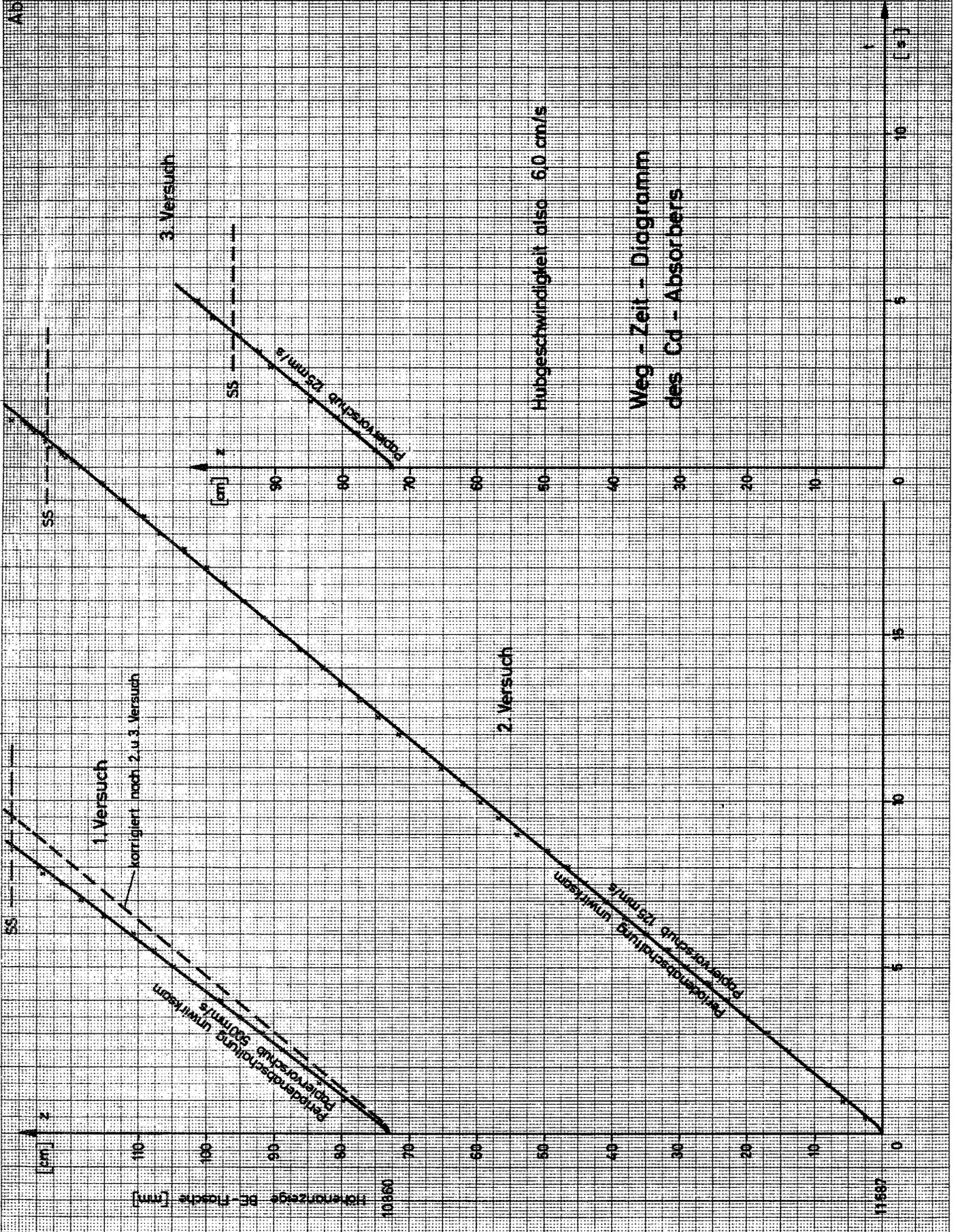
t [s]

Abb. 9



3. Versuch

Abb. 10



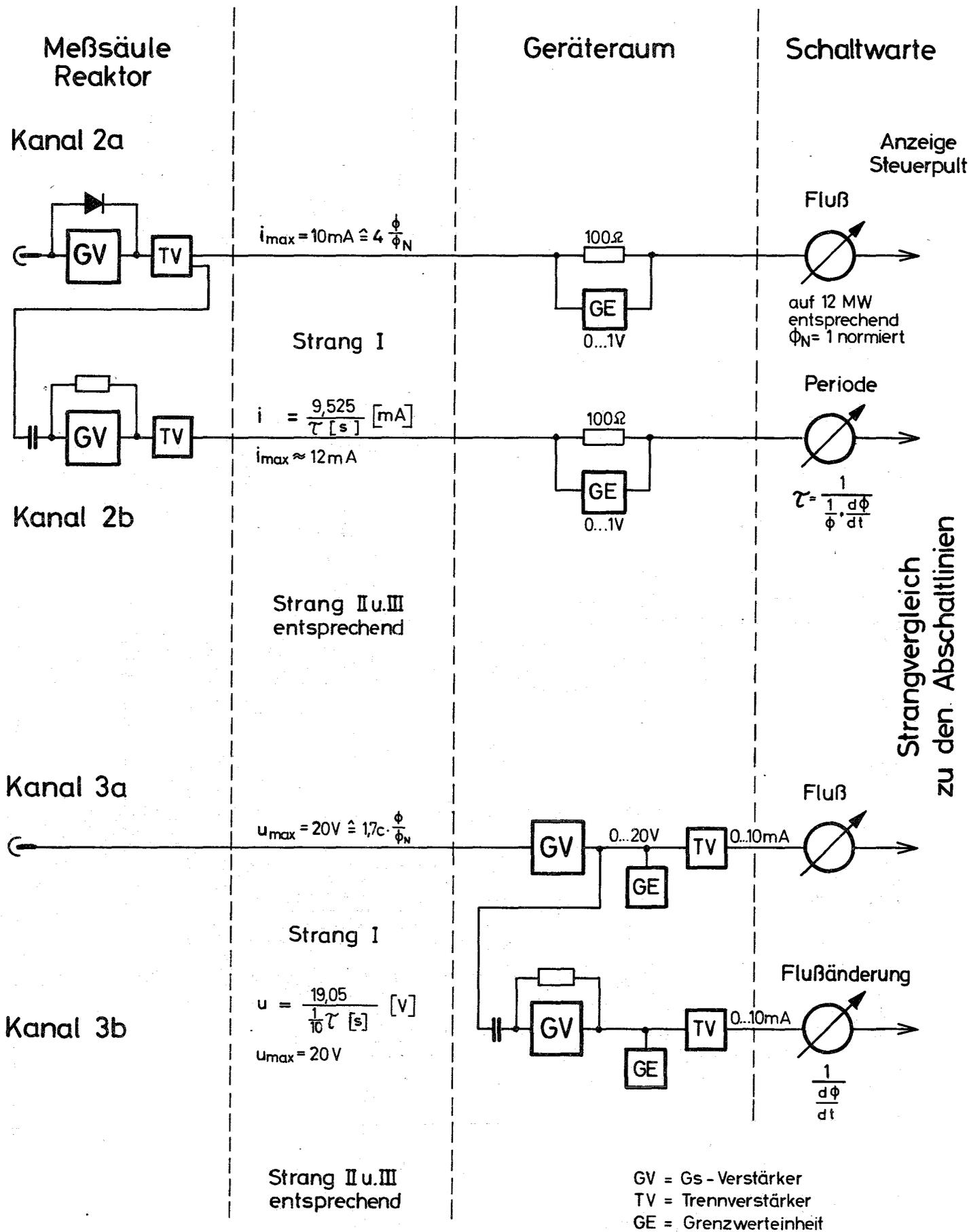
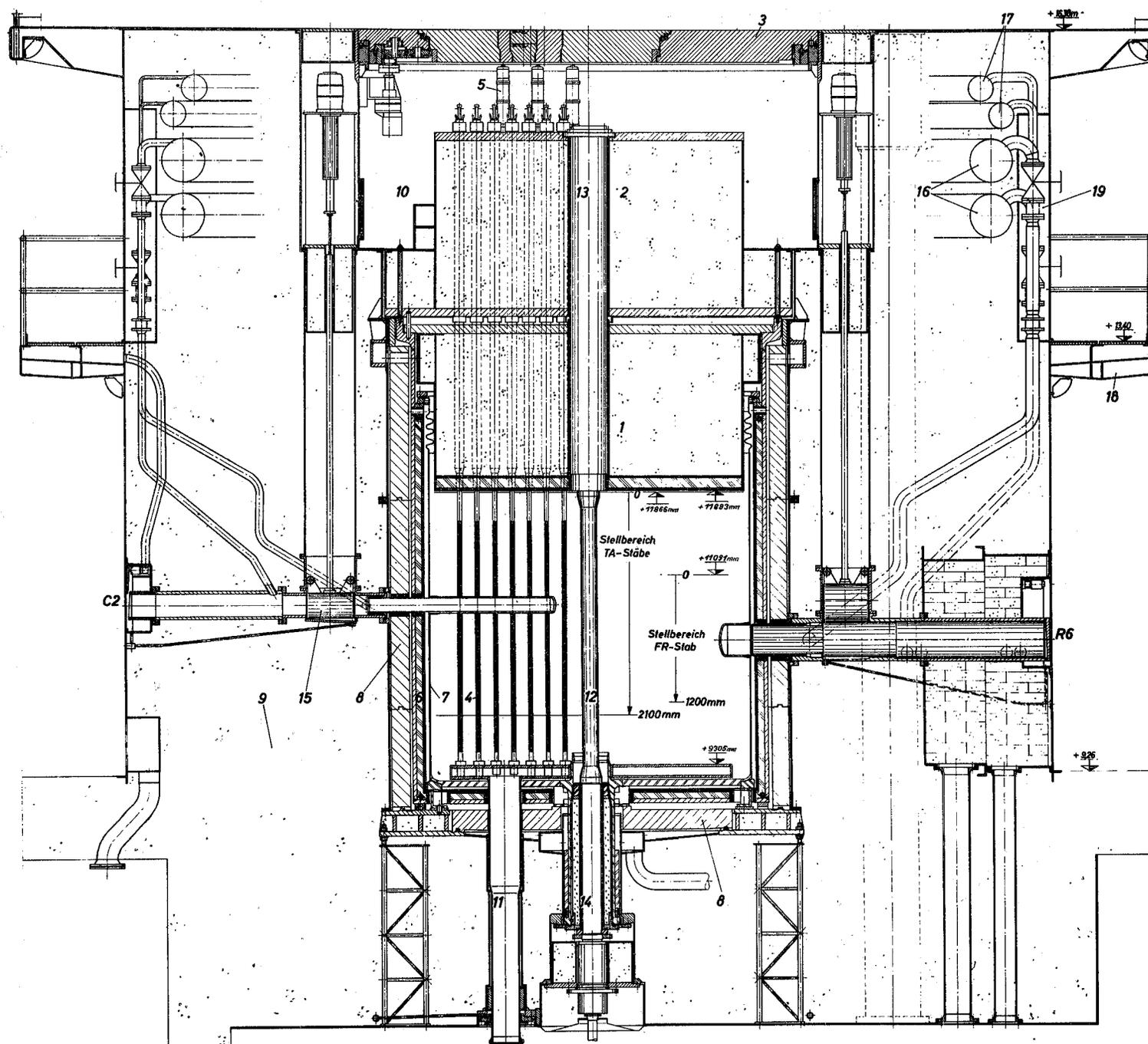


Abb. 11: Sicherheitssystem Kanal 2u.3 des FR2 (schematisch)



- 1 Unterer Festdeckel
- 2 Oberer Festdeckel
- 3 Drehdeckel
- 4 Brennelemente
- 5 Trimm-Abschaltetelemente
- 6 Stahl-Bleitank
- 7 Aluminiumtank
- 8 Gußeisenschirm
- 9 Betonschirm
- 10 Deckel-Rundgang
- 11 D<sub>2</sub>O-Zulauf
- 12 Zentraler vertikaler Prüfkanal
- 13 Oberer Adapter
- 14 Unterer Adapter
- 15 Strahlenschieber
- 16 Luft-Ringleitung off. Kreisl.
- 17 Luft-Ringleitung geschl. Kreisl.
- 18 Kabelkanal
- 19 Ventil-u. Instrumentennische

**Reaktor - Längsschnitt**

| Ver-<br>such | Ausgangszustand   |             |   |       |  |     |                      |        |                              |                          |  | Ziehen des Cd-Absorbers mit 6 cm/s<br>(Meßwerte, Auswertung Oszillographenschrieb) |  |                   |  |      |   |              |                         |                 |  | Auswertung       |                                     |                                   |                                     |              |                         |              |                         |  |
|--------------|---|-------------|---|-------|--|-----|----------------------|--------|------------------------------|--------------------------|--|--|--|-------------------|--|------|---|--------------|-------------------------|-----------------|--|------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|--------------|-------------------------|--------------|-------------------------|--|
|              | GE  | Cd-Absorber |   |       | TA                                       | FR  | Reaktor-<br>leistung |        | D <sub>0</sub> -Temperaturen |                          |  |  | Zeiten vom Durchlaufen des eingestellten Grenzwertes bis                             |                   |  |      |   |              |                         |                 |  |                  | $\frac{\beta_{max}}{\beta_{absch}}$ | $\frac{\tau_{absch}}{\tau_{min}}$ | $\frac{\beta_{max}}{\beta_{start}}$ | $\tau_{min}$ |                         |              |                         |  |
|              |   | EE-<br>Fl.  | z   | H-K.  |  |     | $\beta/\beta_N$      | N      | 1T1/2                        | 1T33                     | Core<br>1                                    | Core<br>2  | GE   | TA <sub>ent</sub> | TA 1   | TA 2 | TA 3                                      | $\tau_{min}$ | $(\beta/\beta_N)_{max}$ | $\tau = \infty$ | GE   | TA <sub>ab</sub> |                                     |                                   |                                     |              | $(\beta/\beta_N)_{min}$ | $\tau_{min}$ |                         |  |
| mm           | cm  | mm          | mm  | mm    | W  | °C  | °C                   | °C     | °C                           | ms                       | ms   | ms   | ms   | ms                | ms   | ms   | ms  | ms           | s                       | s               |  |                  | s                                   |                                   |                                     |              |                         |              |                         |  |
| 1            | $\beta_{ab} = 0,288 \cdot 10^{-3} \beta_N$<br>$\approx 3,46 \text{ kW}$ | 10860       | 72,7  | 10258 | 0  | 216 | $1,7 \cdot 10^{-7}$  | 2,04   | 24,2                         | 23,3                     | 23,0   | 23,2   | (5)  | 35                | 80   | 74   | 85  | 215          | 330                     | 400             | 485  | 0,99             | $7,56 \cdot 10^{-3}$                | 0,279                             | 2,62                                | -            | 4450                    | 0,3          |                         |  |
| 2            | $\beta_{ab} = 0,2 \cdot 10^{-3} \beta_N$<br>$\approx 2,4 \text{ kW}$    | 11587       | 0   | 9531  | 0  | 243 | $3,8 \cdot 10^{-8}$  | (0,46) | 23,8                         | 22,8                     | 22,5   | 23,0   | (5)  | 37                | 96   | 91   | 100                                       | 205          | 335                     | 410             | 495  | 1,01             | $5,63 \cdot 10^{-3}$                | 0,277                             | 2,82                                | -            | -                       | 0,29         |                         |  |
| 3            | $\tau_{ab} = 2,0 \text{ s}$   | 10860       | 72,7  | 10258 | 0  | 130 | $3,1 \cdot 10^{-4}$  | 3720   | 23,0                         | 22,5                     | 22,5   | 22,7   | (350)  | (390)             | 446  | 446  | 451                                       | 530          | 600                     | 700             | -  | 2,01             | $1,15 \cdot 10^{-3}$                | 1,647                             | -                                   | 1,22         | 3,73                    | 1,6          |                         |  |
| Bemerkungen  | eingestellter Wert der entsprechenden GE, die zum SS führte             |             | Unterkante Cd-Absorber hat angegebene Werte |       | Stellbereich FR-, TA-Stäbe siehe Abb. 12 |     |                      |        | Eintrittstemperatur Core     | Austrittstemperatur Core | Temperatursonde auf Pos. 60/28, siehe Abb. 2 |  | Ansprachen GE, Werte aus (5) bzw. bei 3. Versuch Rekonstruktion aus 1. u. 2. Versuch |                   | Beginn Entregung TA-Stäbe, Perioden-GE war nicht aufgeschaltet |      | Beginn Abfall TA-Stäbe definiert nach (2) |              | siehe Abb. 7, 8, 9      |                 | Abfall GE, Perioden-GE war nicht aufgeschaltet |                  | Meldung "TA-Stäbe unten"            |                                   | siehe Abb. 4, 5, 6                  |              | siehe Abb. 7, 8, 9      |              | errechnet aus Flußkurve |  |

Verwendete Kurzbezeichnungen:

- $\beta_{ab}$  - eingestellter Grenzwert, der zur Abschaltung führte
- $\beta_N$  - auf 12 MW normierter Neutronenfluß
- SS - Periode
- SS - Schnellschluß
- GE - Grenzwerteinheit (Abschaltsignal für zu hohen Neutronenfluß oder
- TA - Trimmschaltstab (Pos. 1-3 auf Oszillograph aufgeschaltet, siehe Abb. 2)
- FR - Feinregelstab
- H-K. - Höhenkote
- EE-Fl. - Höhenanzeige EE-Flasche
- z - Festsetzung gemäß (2):

$z = \frac{1}{10} (H-K. - 9531) = \frac{1}{10} (11587 - EE-Fl.) \quad [ \text{cm} ]$   
 $H-K. = 10 z + 9531 = 21118 - EE-Fl. \quad [ \text{mm} ]$   
 $EE-Fl. = 11587 - 10 z = 21118 - H-K. \quad [ \text{mm} ]$

Zum Vergleich: Mitte Core  
H-K. = 10520 mm  $\hat{=}$  z = 98,9 cm  
Unterkante Deckel  
H-K. = 11883 mm  $\hat{=}$  z = 235,2 cm  
Oberkante Kalibrierhülsen  
H-K. = 9354 mm  $\hat{=}$  z = -17,7 cm

Tabelle 1