

## Der TRIGA Mark-II Reaktor

Technische Universität Wien  
Atominstitut der Österreichischen Universitäten

Weitere Informationen:  
[mvilla@ati.ac.at](mailto:mvilla@ati.ac.at), [boeck@ati.ac.at](mailto:boeck@ati.ac.at)  
oder 0043 1 5880114101

Der TRIGA Mark-II Reaktor wurde in den Jahren 1959 bis 1962 von der Firma General Atomic, San Diego/CA, U.S.A., errichtet und am 7. März 1962 erstmals kritisch. Seither ist der Reaktor ohne längere Stillstandszeiten durchschnittlich 220 Tage pro Jahr in Betrieb.

Beim TRIGA-Reaktor handelt es sich um einen reinen Forschungsreaktor des Swimmingpool-Typs, der für die Ausbildung, Forschung und Isotopenproduktion eingesetzt wird (Trainig, Research, Isotope Production, General Atomic = TRIGA). Weltweit sind mehr als 50 TRIGA-Reaktoren in Betrieb, davon allein in Europa 10 (siehe Anhang).

Der TRIGA-Reaktor Wien hat eine maximale Dauerleistung von 250 kW<sub>th</sub>. Die erzeugte Wärme wird über einen Primärkühlkreislauf (deionisiertes, destilliertes Wasser, Temperatur von 20 °C bis 40 °C) und einen Sekundärkühlkreis (Brunnenwasser, Temperatur von 12 °C bis 18 °C), die durch einen Wärmeaustauscher voneinander getrennt sind, an den Donaukanal abgegeben.

Der Reaktorkern besteht aus etwa 80 Brennelementen (Durchmesser 3,75 cm, Länge 72,24 cm), die in einer regelmäßigen Gitterplatte angeordnet sind (Abb. 1 bis 3). Zwei Brennelemente enthalten je 3 Thermolemente, die die Temperatur des Brennstoffs überwachen. Bei Maximalleistung (250 kW) beträgt die Brennstoff-Zentraltemperatur etwa 200 °C (Abb. 4). Aufgrund der geringen Reaktorleistung ist der Abbrand der Brennelemente sehr gering, sodaß noch mehr als 50 der im Jahr 1962 eingesetzten Brennelemente im Reaktorkern verwendet werden. Sollten die Brennelemente einmal nicht mehr verwendbar sein, so werden sie an die U.S.A. zurückgestellt.

Innerhalb der Brennelementhülle (Aluminium oder Stahl) befindet sich der Brennstoff in Form einer homogenen Mischung aus 8 gew% Uran,

1 gew% Wasserstoff und 91 gew% Zirkon, wobei das Zirkon-Hydrid den Moderator darstellt. Dieser hat die besondere Eigenschaft, bei hoher Temperatur schlechter zu moderieren. Daher kann am TRIGA-Reaktor Wien auch Impulsbetrieb durchgeführt werden (rasche Leistungserhöhung auf 250 MW für etwa 40 Millisekunden). Mit der Leistung steigt auch die maximale Neutronenflußdichte von  $1 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (bei 250 kW) auf  $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (bei 250 MW). Durch diesen sogenannten negativen Temperaturkoeffizienten der Reaktivität kehrt die Leistung nach der Exkursion wieder auf ungefähr 250 kW zurück. Es dürfen maximal zwölf Reaktorimpulse pro Stunde geschossen werden, weil dabei die Brennelementtemperatur auf etwa 360 °C ansteigt und dies eine starke Temperaturbelastung des Brennstoffs darstellt.

Die Regelung des Reaktors erfolgt mit drei Absorberstäben (Abb. 5 und 6), die als Absorber Borkarbid enthalten. Tauchen diese Stäbe ganz in den Reaktorkern ein, so werden die Neutronen, die aus einer Startquelle (Sb-Be-Photoneutronenquelle) ständig emittiert werden, in den Stäben absorbiert und der Reaktor bleibt unterkritisch. Führt man die Absorberstäbe aus dem Kern aus (zwei Stäbe mittels Elektromotor, ein Stab pneumatisch), dann nimmt die Zahl der Spaltungen im Reaktorkern und damit die Leistung zu. Dieser Anfahrvorgang vom abgeschalteten Reaktor auf 250 kW dauert etwa 1 Minute. Die Abschaltung des Reaktors kann von Hand aus oder automatisch durch das Reaktorschutzsystem erfolgen. Das Einfallen der Stäbe dauert etwa 1/10 Sekunde.

Die Überwachung der Reaktorleistung erfolgt durch vier Meßkanäle (Abb. 7), deren Anzeigen sowohl am Farb-Graphikmonitor links, als auch auf Leuchtbalkenanzeigen rechts am Pult zusammengefaßt sind (Abb. 8).

- a) Der automatisch umschaltbare Weit-Bereichskanal (wide range channel), NM-1000, mißt die Reaktorleistung vom Quellniveau (etwa 5 mW) bis zur Nennleistung von 250 kW. Als Meßfühler dient eine spezielle Spaltkammer, und das Signal wird über einen Mikroprozessor verarbeitet.
- b) Zwei voneinander unabhängige lineare Kanäle, NMP-Ch und NMP-Ph, überwachen die Reaktorleistung vom Quellniveau bis zur Nennleistung. Die Signale werden über einen Meßbereichsschalter geleitet, mit dem der jeweils gewünschte Leistungsbereich eingestellt wird. Überschreitet einer der beiden Kanäle die Leistung des eingestellten Meßbereichs um 5%, so kommt es zu einer

automatischen Reaktorabschaltung. Als Meßfühler dienen jeweils eine kompensierte Ionisationskammer.

- c) Für die Überwachung eines Reaktorimpulses dient eine unkompensierte Ionisationskammer, die nur bei Impulsbetrieb dazugeschaltet wird. Damit erfolgt die Aufzeichnung des Leistungsverlaufs während des Reaktorimpulses. Weitere Impulsdaten, wie integrierte Leistung, werden über einen Rechner ermittelt. Auf einem Schreiber wird auch der Verlauf der Brennstofftemperatur während des Reaktorimpulses aufgezeichnet.

Dem Sinn eines Forschungsreaktors entsprechend besitzt der TRIGA Mark-II eine Anzahl von Bestrahlungseinrichtungen (Abb. 9 und 10):

- 5 Reflektor-Bestrahlungsrohre
- 5 Reflektor-Bestrahlungrohre
- 1 zentrales Bestrahlungsrohr
- 1 langsames Rohrpostsystem (Transportzeit 3 Sekunden)
- 1 schnelles Rohrpostsystem (Transportzeit 20 Millisekunden)
- 4 Neutronenstrahlrohre
- 1 thermische Säule
- 1 Neutronen-Radiographieanlage

In den Reflektor-Bestrahlungsrohren können 10 Proben gleichzeitig bestrahlt werden.

Im zentralen Bestrahlungsrohr können Proben bis zu einem Durchmesser von 38,4 mm bei der maximalen Neutronenflußdichte von  $10^{13} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$  den Neutronen ausgesetzt werden. Das Rohrpostsystem erlaubt es, von einem Chemielabor aus die zu aktivierenden Stoffe in den Reaktor zu schießen und nach der notwendigen Bestrahlungsdauer wieder in das Labor zurückzu-holen, ohne daß der Experimentator seinen Arbeitsplatz verlassen muß.

Die vier Neutronenstrahlrohre dienen zum Herausleiten von Neutronen unterschiedlicher Energien in abgeschirmte Bereiche der Reaktorhalle, um neutronen- und festkörperphysikalische Experimente durchzuführen.

Zum Unterschied zu den Strahlrohren ist bei der thermischen Säule der Raum zwischen dem Reaktorkern und der Innenseite eines Betontores mit Graphit ausgefüllt. Dieser Graphit bewirkt die Abbremsung der Neutronen, sodaß an der Oberfläche der thermischen Säule ein

thermisches Neutronenspektrum vorliegt. Diese Graphitstruktur ist nur bei abgeschaltetem Reaktor nach Öffnen des Betontores zugänglich.

In der Neutronen-Radiographieanlage können Werkstücke mittels Neutronen durchstrahlt werden und damit insbesondere Wasserstoff sowie Neutronen-absorber dargestellt werden.

## TECHNISCHE DATEN

### 1. REAKTORKERN

Brennstoff-Moderator-Material	8 gew% Uran 91 gew% Zirkon 1 gew% Wasserstoff
Uran-Anreicherung	20% Uran-235
Brennstoffelement-Abmessungen	3,75 cm Durchmesser 72,24 cm Länge
Umhüllung	0,76 mm Aluminium oder 0,51 mm Stahl
aktives Kernvolumen	max. 44,4 cm Durchmesser 38,10 cm Höhe
Kernladung	etwa 3,6 kg Uran-235

### 2. REFLEKTOR

Material	Graphit mit Aluminium- Umhüllung
Dicke radial	30,5 cm
Dicke oben (im Brennelement)	6,6 cm
Dicke unten (im Brennelement)	9,4 cm

### 3. BAUMASSE

Reaktoraufbau	Schwer- und Normalbeton 6,55 m hoch 6,19 m breit 8,76 m lang
Reaktortank	1,98 m Durchmesser 6,40 m Tiefe

### 4. ABSCHIRMUNG

radial:	30,5 cm Graphit; 45,7 cm Wasser und mindestens 206 cm Schwerbeton
vertikal:	über dem Kern 4,90 m Wasser und 6,6 cm Graphit; unter dem Kern 61,0 cm Wasser; 9,4 cm Graphit und mindestens 91 cm Normalbeton

### 5. BESTRAHLUNGSEINRICHTUNGEN

1. vier Strahlrohre; 15,2 cm Durchmesser
  2. ein zentrales Bestrahlungsrohr (Kernmitte)
  3. fünf Reflektor-Bestrahlungsrohre
  4. eine Rohrpostanlage (in Nähe des Kernrandes)
  5. thermische Säule: 1,22 x 1,22 m Querschnitt,  
1,68 m lang
  6. Experimentiertank: 2,44 x 2,74 m Fläche,  
3,66 m tief
- Verbindung zum Reaktor: Neutronenradiographiekollimator  
0,61 x 0,61 m Querschnitt  
1,22 m lang

### 6. REGELEINRICHTUNG

- 2 Borkarbid-Regelstäbe, Antrieb: Elektromotor und Zahnstange (Abb. 5)  
1 Borkarbid-Impulsstab, Antrieb: Druckluft, 5 atü (Abb. 6)  
maximaler Reaktivitätseinsatz, zeitliche Änderung (Impulsvorgang  
ausgenommen) 0,04%  $\delta k/k/s$   
gesamter Stabwert etwa 4,8%  $\delta k/k$

## 7. EIGENSCHAFTEN BEIM DAUERBETRIEB

thermische Leistung:	250 kW
Kühlung der Brennelemente:	natürliche Konvektion des Tankwassers
Kühlung Tankwasser:	Wärmeaustauscher
thermische Flußdichte:	
im zentralen Bestrahlungsgrohr	$1 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
in den Bestrahlungsrohren	$1,7 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
prompter Temperaturkoeffizient	$-1,2 \times 10^{-4} \text{ dk/k } ^\circ\text{C}$
mittlere Lebensdauer der prompten Neutronen:	$6,0 \times 10^{-5} \text{ s}$

## 8. EIGENSCHAFTEN BEIM IMPULSBETRIEB

Spitzenleistung	250 MW
Energieabgabe prompter Impuls	10 MW s
Dauer des prompten Impulses	40 m s
Energieabgabe gesamt	12 MW s
minimale Periode	10 m s
maximaler Reaktivitätseinsatz	$1,6\% \delta k/k = 2 \$$
maximale Wiederholungsrate	12/h
Spaltungen während des Impulses	$3 \times 10^{17}$
maximale Brennstofftemperatur	
während des Impulses	240 °C
9 Sekunden nach Impuls	360 °C

## 9. KURZSTATISTIK (Mittelwert von 5 Jahren)

erzeugte Arbeit MWh	300
Bestrahlungsexperimente	200
Strahlrohrexperimente	15
Zahl der Reaktorimpulse	10
Zahl der Besucher	3000

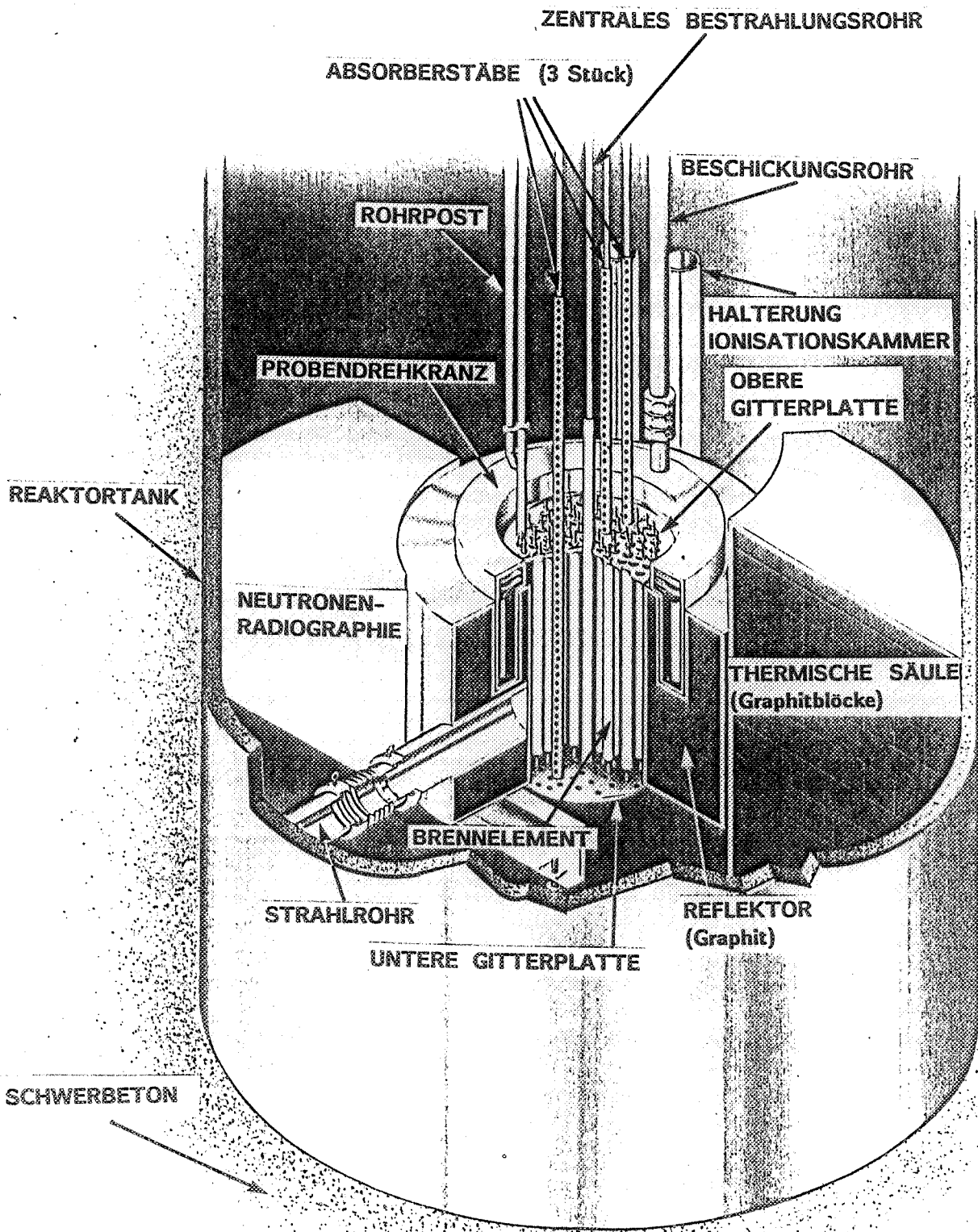


Abb. 1: REAKTORKERN

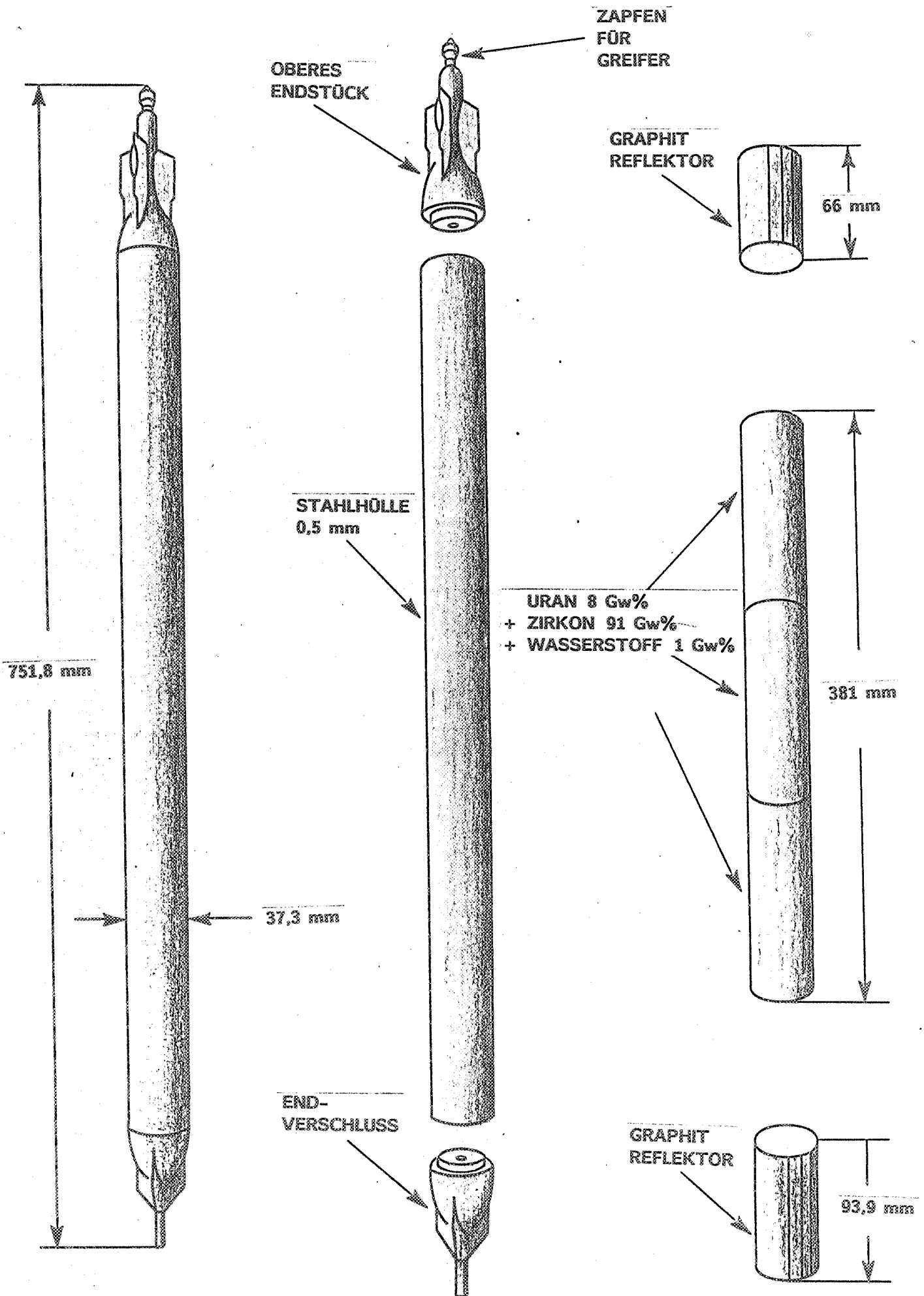
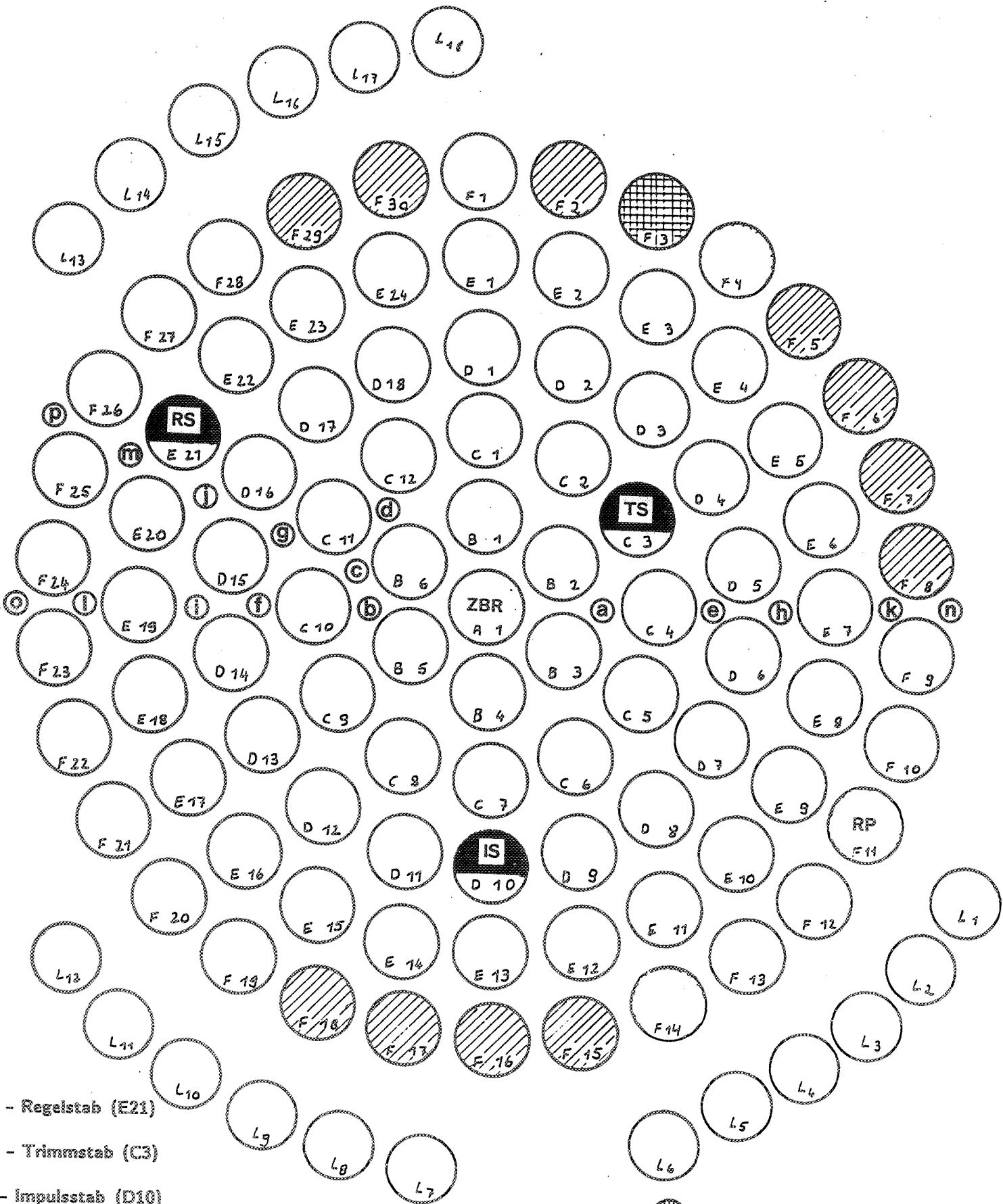


Abb. 2: TRIGA BRENNELEMENT





RS - Regelstab (E21)

TS - Trimmstab (C3)

IS - Impulsstab (D10)





RP - Rohrpost (F11)

ZBR - Zentrales Bestrahlungsrohr (A1)

L - Lagertaschen

Abb. 3: Kernschema

a ... p Incore Bestrahlungspositionen

-  Neutronenquelle
-  Brennelement
-  Absorberstab
-  Graphitelement

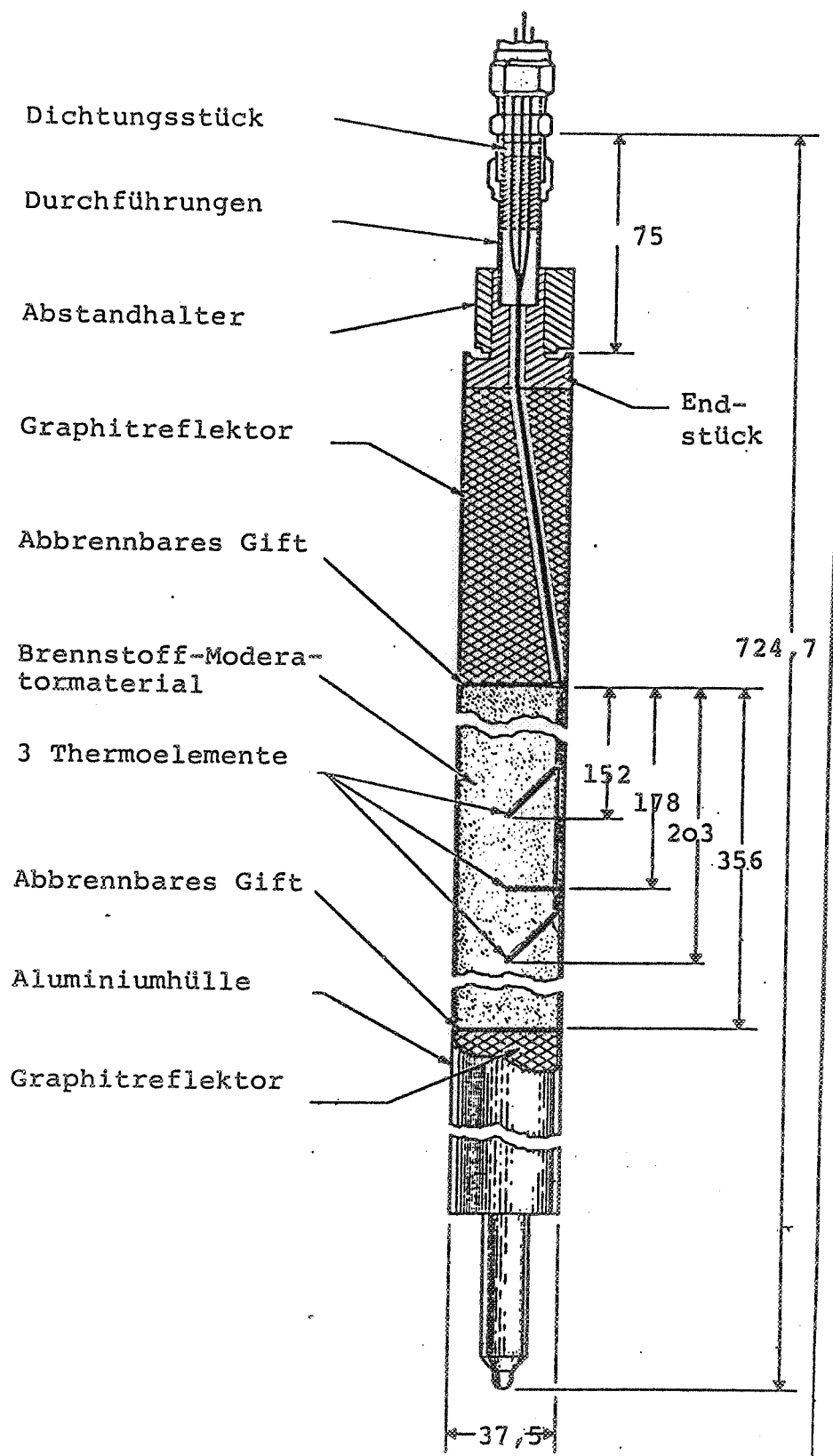


Abb.4: Instrumentiertes Brennelement (alle Angaben in mm)

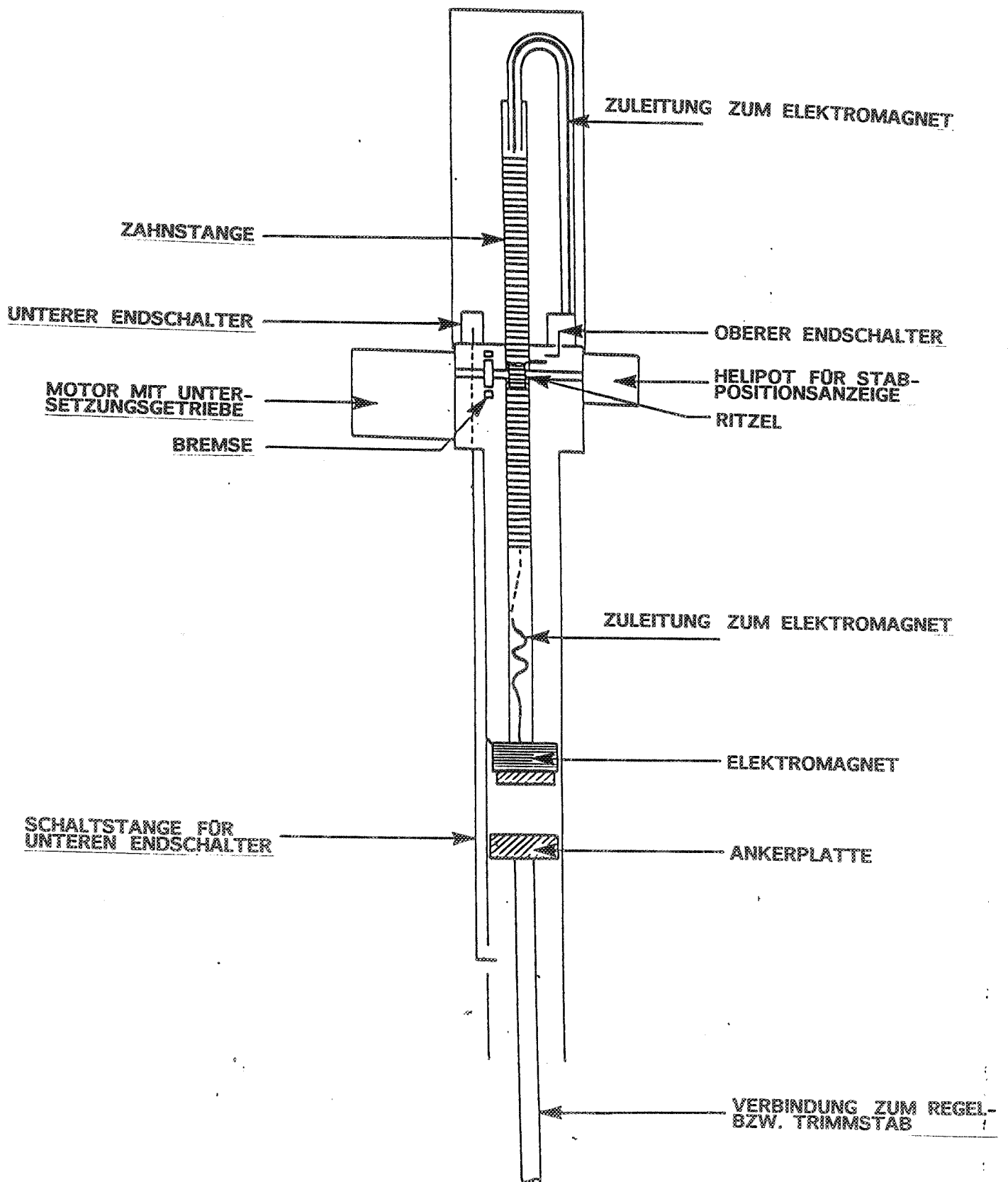


ABB. 5. ANTRIEB DES REGEL- UND TRIMMSTABES

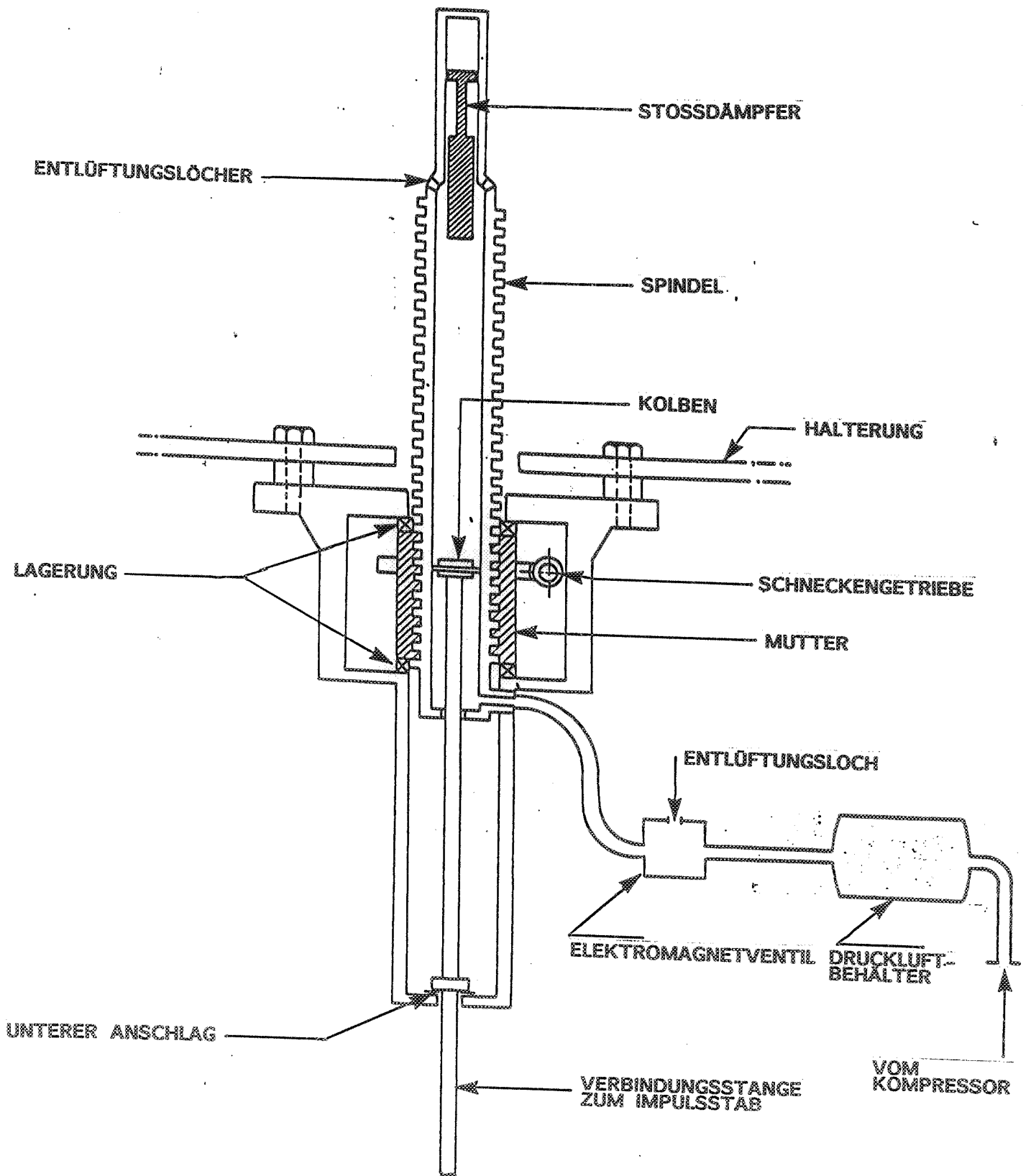


ABB. 6. ANTRIEB DES IMPULSSTABES

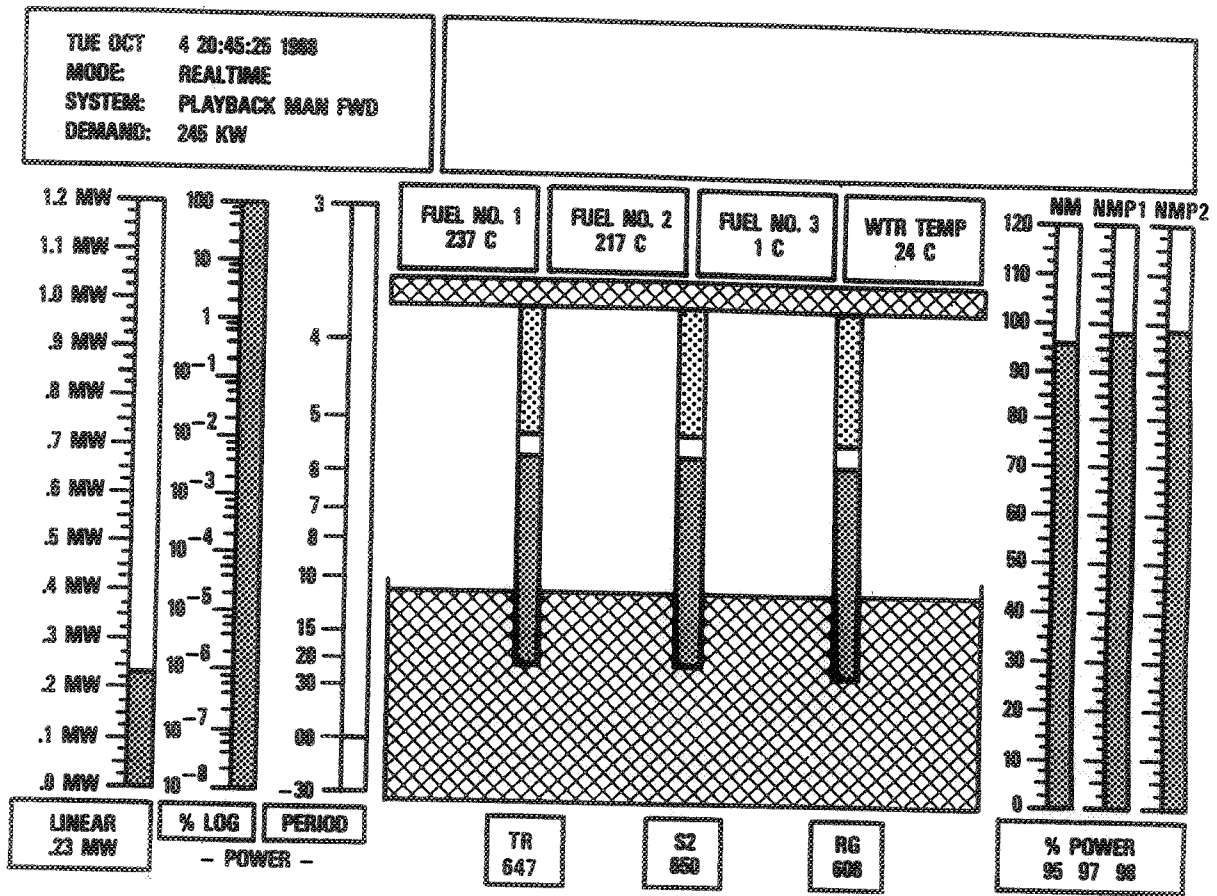


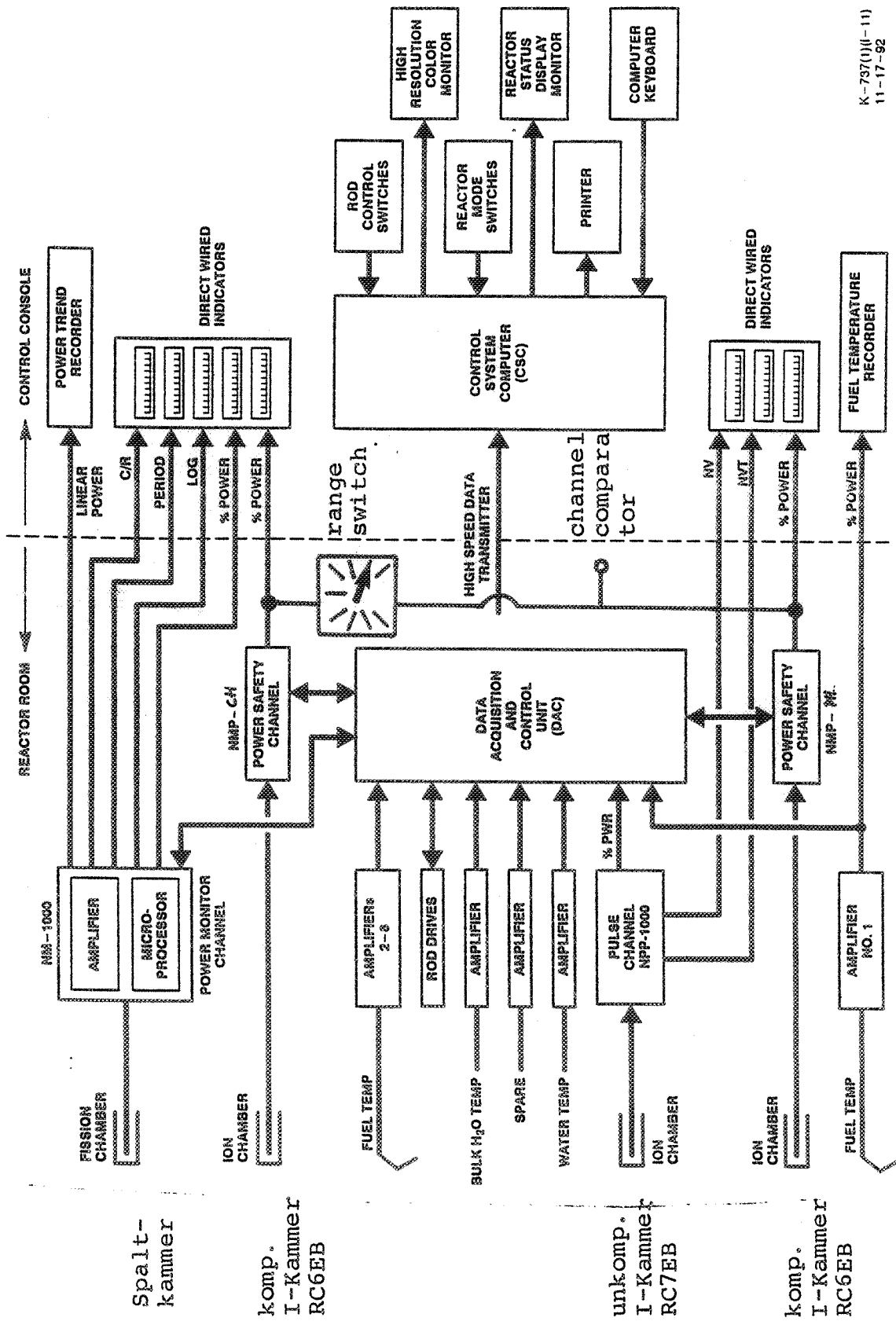
Abb. 7.a. Typische Darstellung am Graphikmonitor (links)

```

11/03/92*****VIENNA STATUS WINDOW*****12:49
* NM1000 Power          5.77e-3 W    * Prim Flow m3/h          .1    *
* NM1000 Log Power     2.30e-6 %    * Sec Flow m3/h          .0    *
* NM1000 % Power       0 %      * Purif Flow m3/h       2.1   *
*                       * Inlet Cond uS/cm      1.6   *
* NMP CH               0 %      * Outlet Cond uS/cm     .2    *
* NMP PH               0 %      *
*                       * Pool Level Extr Low A   OK    *
* Fuel Temp #1         24 C     * Refill Pool           OK    *
* Fuel Temp #2         23 C     *
* Fuel Temp #3         24 C     * Aerosolmonitor M 17    5.6e+1 cpm *
* Fuel Temp #4         23 C     * Vent PH M 15          1.0e-1 cps *
* Fuel Temp #5         25 C     * Vent CH M 16          1.8e+2 cps *
* Fuel Temp #6         27 C     * Tank Top M10 e-2 mSv/h 9.9e-3 *
*                       *
* Pool Temperature     25.9 C   * Trans Drive Position   0 mm  *
* Prim Out Temp SCRAM  22.0 C   * Shim1 Drive Position   3 mm  *
* Prim In Temp ALARM   27.6 C   * Reg Drive Position     29 mm *
*                       *
* Current Pulse Number 1190    * Reactor Hall Underpr   OK    *
*                       *
* One Kilowatt Interlock No    * NMP PH & CH Power Chec .00 % *
* Rod Withdrawal Prohib No    * Magnet Supply Voltage  2.037e+1 VDC *
*                       *
*****

```

Abb. 7.b. Typische Darstellung am Status Monitor (rechts)



K-797(U)(-11)  
11-17-92

Abb. 8: Blockdiagramm der Reaktorinstrumentierung

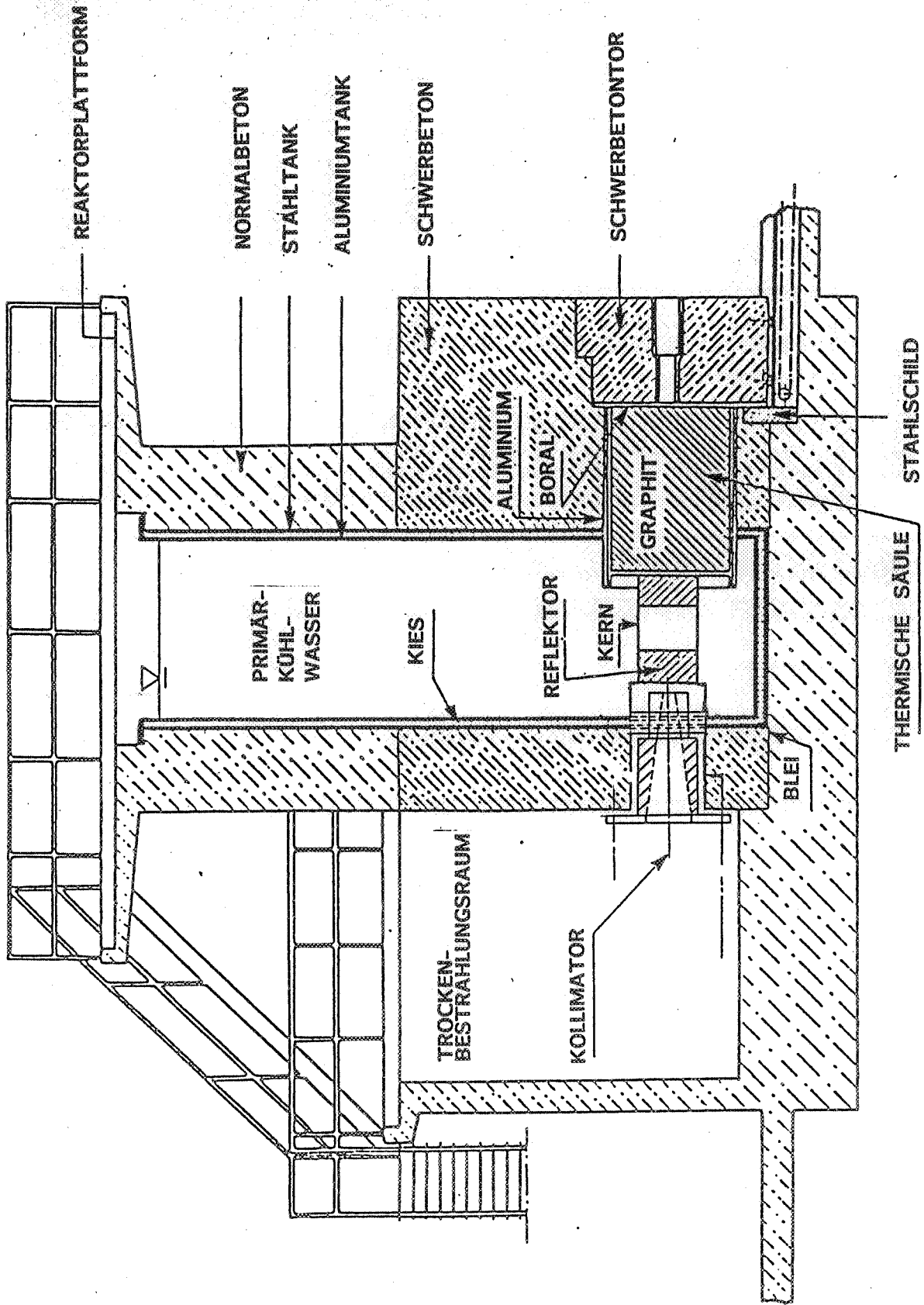


Abb. 9: VERTIKALSCHNITT



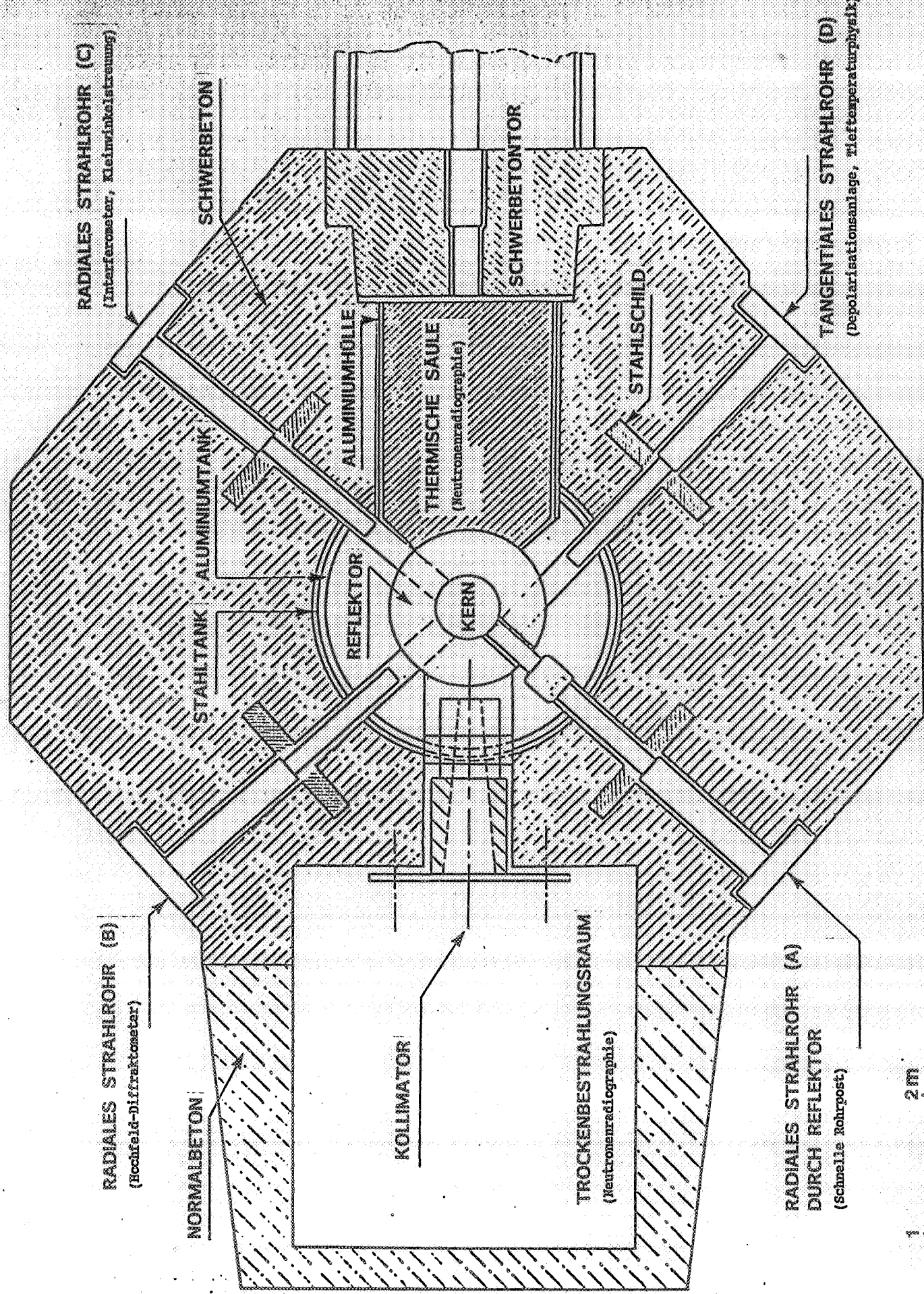


Abb. 16: HORIZONTALSCHNITT