

GRUNDLAGEN ZUR AUSLEGUNG DIREKT IN DEN KUGELHAUFEN EINFAHRENDER ABSORBERSTÄBE

H. CRAMER, G. ROHARK, H. MAREK,

*Technische und physikalische Abteilungen,
Brown Boveri/Krupp Reaktorbau GmbH, Mannheim, Germany*

ABSTRACT

The shut off system of the THTR is based on rods which are directly inserted into the pebble bed without any guidance in the graphite structural material. To prove this principle the characteristic parameters have been examined with the aim to develop an actuator by which the rods can be inserted into the pebble bed at any time.

The system is characterized by

- integration into the PCRV
- double independent He-pneumatic drive
- accessibility and possibility of maintenance on load
- maximum possible elimination of sliding parts considering the special conditions under He

Three main topics are considered for the study of parameters and environmental conditions:

- Pebble bed: Friction, gas pressure, density of the pebble-bed, bending of the rods by the sphere flow
- He technology: Behaviour of the drive components in He at 260 °C
- Operational safety
 - Longterm behaviour of special individual components

Measuring the insertion forces in a pebble bed at a 1:1 scale will only be possible in the THTR itself.

By models of several different scales the necessary information for the layout has been obtained using an exponential equation with three terms

each describing one parameter.

$$F_R = F_M \left(\frac{\gamma_R}{\gamma_M} \right)^{\epsilon_1} \cdot \left(\frac{\mu_R}{\mu_M} \right)^{\epsilon_2} \cdot \left(\frac{M_R}{M_M} \right)^{\epsilon_3}$$

Indices: R = Reactor
M = Model
 γ = Specific weight
 μ = Value of friction
M = Scale

The following results were obtained:

- the influence of specific weight and pressure drop is linearly dependent i.e. $\epsilon_1 = 1$
- the influence of friction is nearly linearly dependent i.e. $\epsilon_2 < 1$
- the influence of model scale is smaller than cubic dependence i.e. $\epsilon_3 < 3$

In addition to this experimental work on the core models, special problems of the use of moving mechanical components in He atmosphere at 260 °C are investigated. In order to become acquainted with the behaviour of friction dependent on material, surface quality, graphite deposition, and temperature extensive tests have been undertaken at a 1:1 scale simulating operation condition.

The third stage of development is the construction and testing of a prototype of rod and drive, based on the results of the stages 1 and 2.

Das Abschaltssystem des THTR basiert auf dem Prinzip linear frei ein-fahrender Absorberstäbe. Mit Hilfe umfangreicher Versuche wurden die für den Kugelhaufen charakteristischen Parameter im einzelnen unter-sucht, mit dem Ziel, einen Antrieb zu entwickeln, der jederzeit ein Einfahren der Absorberstäbe in den Kugelhaufen ermöglicht und ein Ab-schalten des Reaktors sicherstellt.

Die im folgenden beschriebene Entwicklung erfolgte in drei Stufen:

1. Definition und Quantifikation der Randbedingungen und Parameter auf Grund des Reaktorkonzepts
2. Auslegung, Konstruktion eines Antriebs sowie die Erprobung der wichtigsten Detailkomponenten unter simulierten Betriebsbedin-gungen
3. Konstruktion und Fertigung eines Prototyps entsprechend den in 2. gewonnenen Erkenntnissen.

Die Parameteruntersuchungen der Stufe 1 sind im wesentlichen durch die besondere Art der Brennelemente und ihrer Anordnung in einer statisti-schen Schüttung gekennzeichnet. Sie betrafen die Ermittlung

- der Stabeindrückkräfte unter Berücksichtigung des Kühlgasstroms von oben nach unten
- der Stabquerkräfte durch Kugelumwälzen
- einer geeigneten Stabspitzenform mit Berücksichtigung einer zulässigen Bruchrate der Brennelemente
- der Reibwerte unter Temperatureinfluß und Möglichkeiten ihrer Reduktion

In Ermangelung einer 1:1-Geometrie des THTR wurde die experimentelle Bestimmung der Stabkräfte in Modellen durchgeführt. Die theoretische Grundlage hierzu bildete ein Exponentialansatz, mit dem die drei we-sentlichsten Parameter (Modell, Reibung und spez. Kugelgewicht mit Gasdruck) beschrieben werden (Bild 1).

$$F_R = F_M \left(\frac{\gamma_R}{\gamma_M} \right)^{\epsilon_1} \cdot \left(\frac{\mu_R}{\mu_M} \right)^{\epsilon_2} \cdot \left(\frac{M_R}{M_M} \right)^{\epsilon_3}$$

Index: R = Reaktor
 M = Modell

Größen: γ = spez. Gewicht
 μ = Reibwert
 M = Maßstabfaktor

Der Gasdruck wird hierbei durch eine scheinbare Erhöhung des spez. Gewichts berücksichtigt und ist in ϵ_1 enthalten.

Die Exponenten des Exponentialansatzes wurden in verschiedenen Geometrien unter Variation des Maßstabs bestimmt. Hierzu standen Versuchssilos im Maßstab 1:10, 1:6, 1:3, 1:2 und 1:1 zur Verfügung. Das Ergebnis im Hinblick auf obigen Ansatz ist:

- spez. Gewicht und Kühlgasdruck zeigen lineare Abhängigkeit, d.h.
 $\epsilon_1 = 1$
- Reibwertexponent $\epsilon_2 < 1$
- Modellmaßstabsexponent $\epsilon_3 < 3$

Die genannten Exponenten wurden benutzt, um die interessierenden Core-daten aus den Modellen in Coregeometrie (1:20, 1:10 und 1:6) auf das 1:1-THTR-Core zu extrapolieren.

Diese extrapolierten Daten bildeten die Grundlage für die Auslegung des Antriebs und der Stäbe. Bild 2 zeigt das Coremodell im Maßstab 1:6 und in Bild 3 sehen wir den typischen Verlauf der Einfahrkraft in Abhängigkeit von der Einfahrtiefe.

Auf Grund des Kugelfließens zum zentralen Kugelabzugsrohr werden sich eingefahrene Stäbe entsprechend dem Verlauf der Flußlinien auslenken.

Abb. 4 zeigt den Verlauf der Flußlinien im THTR-300-Core.

Die hierbei auftretenden Biegespannungen sowie ihre Verteilung über die Corestablänge wurden mit Hilfe der Dehnmessstreifentechnik in Modellen 1:10, 1:6 und in einem Teilcore 1:1 ermittelt.

Bei entsprechender Modellstabausbildung hinsichtlich Durchmesser, Widerstandsmoment und E-Modul, werden die gemessenen Dehnungen maßstabsunabhängig, gleiche Reibwerte vorausgesetzt.

Die folgenden zwei Bilder zeigen den Spannungsverlauf in der Stabrandfaser am Beispiel spezieller Stabanordnungen, mit der Anzahl umgewälzter Kugeln als Parameter.

Bild 5 zeigt die Belastung des Einzelstabs auf R_1 -Position; man erkennt die ausgeprägte Stützwirkung des Kugelhaufens bei kleinen Zahlen umgewälzter Kugeln.

In Bild 6 ist die Belastung der Absorberstäbe in Kranzgeometrie auf R_2 -Position angegeben; bei großen Zahlen umgewälzter Kugeln (ungefähr 10^6) kann die verteilte Stabquerkraft durch eine Einzelkraft im Bereich der Stabspitze ersetzt werden.

Die Wechselwirkung Stab/Kugelschüttung bedeutet für die einzelne Kugel eine hohe Belastung, sofern sie zentral getroffen wird. Entsprechend der Hertzschen Gleichung sind hier E-Module und Stabspitzengeometrie die beeinflussenden Parameter. In Ermangelung geeigneter Werkstoffe für die Stabspitze, wurde das Problem konstruktiv gelöst durch Verwendung einer konkaven Stabspitze (Bild 7). Mit dieser wird bei Stabeintritt in die Schüttung eine Kugel eingefangen, wodurch eine "temporäre Graphitstabspitze" entsteht.

Die große Bedeutung des Reibwerts bei der Extrapolation der Einfahrkräfte erfordert detaillierte Kenntnisse des Reibwerts. Seine Parameter sind Temperatur und Partialdruck "schmierender Gase" des Kühlgases.

Bild 8 zeigt die Temperaturabhängigkeit des Reibwerts von Graphit im interessierenden Temperaturbereich.

In Bild 9 sehen wir den Einfluß von NH_3 auf die Reibwertreduktion.

Basierend auf den obigen Ergebnissen, wurde ein Antrieb konzipiert, der gekennzeichnet ist durch (Bild 10):

- integralen Einbau in die Spannbetonbehälterdecke
- doppeltes, voneinander unabhängiges pneumatisches Antriebssystem mit Helium als Arbeitsgas
- Zugänglichkeit und Wartungsmöglichkeit während des Betriebs
- Beschränkung der reibenden Teile auf die unbedingt notwendigen, unter Berücksichtigung der besonderen Bedingungen der Heliumatmosphäre.

Seine wesentlichen Funktionskomponenten sind (Bild 11):

- Energiezufuhr (Steuerventile)
- Schrittkolbenantriebssystem
- Langhubkolbensystem für Scram
- Transport- und Haltevorrichtung
- Stabführungslager
- Absorberstab
- Stellungsanzeige

Die Energieversorgung erfolgt durch gespeichertes Helium, das nach dem Arbeitsprozeß in den Primärkreis expandiert. Schrittmotor und Langhubkolben haben getrennte Versorgungssysteme.

Während der Scramkolben in den meisten Fällen nur zur Schnellabschaltung des Reaktors herangezogen wird, werden die Betriebszustände des Reaktors durch den Schrittschaltmotor eingestellt.

Der Schrittmotor wird über eine Folgesteuerung betätigt, wobei der Stab alternierend über Stellelemente transportiert bzw. gehalten wird. Die dabei erreichbaren Geschwindigkeiten betragen im Mittel 1 cm/s für den Schrittschaltmotor und 30 cm/s für den Scrammotor. Der Antrieb ist so konzipiert, daß eine Wartung der Steuer- und Schaltventile sowie der Stellungsanzeige jederzeit möglich ist.

Der Absorberstab selbst wird formschlüssig an die Schubstange, die gleichzeitig Langhubkolben ist, angekuppelt. Der Stab besteht aus zwei konzentrischen Röhren, zwischen denen sich das Absorbermaterial in Form von keramischen B_4C -Sinterkörpern befindet.

Mit dem Entwurf des Antriebskonzepts wurden die Einzelkomponenten hinsichtlich ihrer besonderen Aufgaben und Anforderungen analysiert. Soweit keine gesicherten Aussagen aus vergleichbaren Untersuchungen vorlagen, wurden in maßstabgetreuen Versuchsständen die erwarteten Betriebsbedingungen simuliert und das Verhalten der Antriebskomponenten getestet.

Kennzeichnende Parameter sind hierbei:

- Temperatur bis 300 °C
- Extrem reine Heliumatmosphäre
- Langzeitverhalten und Dauerfestigkeit

Zu nennen sind hier Untersuchungen

- zur mechanischen Kraftübertragung, womit die Abhängigkeit des Reibwerts von Temperatur, Rauhtiefe, Graphitablagerung und Werkstoff ermittelt wurde
- zum unteren Führungslager und Stabkupplung mit Belastungen entsprechend ausgelenkter Stäbe, wobei 300 °C Heliumatmosphäre den späteren Einbauort simulierte
- zum Schrittmotor zur Bestimmung von Kolbenringleckage, Steuerungszeiten und Langzeitverhalten
- zur Dichtigkeit und Betätigungszahl neu entwickelter Magnetventile für 120 at Heliumdruck
- Dauerstandfestigkeit der Stellelemente für die Transport- und Haltevorrichtung, unter besonderer Berücksichtigung von Verschleiß und Temperatur.

Die aus den genannten Einzelprüfständen gewonnenen Aussagen bilden die Grundlage für die Ausführung eines Prototyps und die Konstruktion der Corestabantriebe (siehe hierzu Bild 12 - 13).

Die dritte Entwicklungsstufe dieses neuartigen Antriebssystems bilden die Versuche mit dem Prototyp, die in einem 1:1-Teilcore mit Luft und Helium als Arbeitsgas durchgeführt werden sollen.

Dieser Prototyp wird bereits entsprechend den Technischen Prüf- und Abnahmebedingungen der Reaktorausführung gebaut, so daß seine spätere Verwendung als Reserveantrieb möglich ist. Dies zeigt, daß auf Grund der detaillierten Kenntnisse aus Entwicklungsstufe 2 aus der Prototypenprobung keine entscheidenden Änderungen erwartet werden.

Das Versuchsprogramm ist deshalb maßgebend gekennzeichnet durch:

- den Nachweis der Auslegungsdaten bezüglich Gasverbrauch, max. Gesamtkraft und Querkräfte
- Einstellen der Gaszufuhrdrosseln zum Erreichen der gewünschten Fahrgeschwindigkeiten
- Kontrolle der Stabstellungsanzeige bei Betrieb
- Erprobung von Montage, Wartungs- und Ausbauarbeiten.

Die mit diesem Vortrag beschriebene Entwicklung hat als Ergebnis ein AS-System, das den Forderungen des THTR-300 entspricht. In der Zwischenzeit ist das System der direkteinfahrenden Stäbe modifiziert worden, um den Forderungen der Baulinienentwicklung gerecht zu werden. In weiterführenden Untersuchungen ist das Entwicklungspotential dieser verschiedenen Varianten zu konkretisieren.

$F_R = F_M \left(\frac{\gamma_R}{\gamma_M} \right)^{E_1} \cdot \left(\frac{\mu_R}{\mu_M} \right)^{E_2} \cdot \left(\frac{M_R}{M_M} \right)^{E_3}$ INDEX : R = REAKTOR M = MODELL GRÖßEN: γ = SPEZ. GEWICHT μ = REIBWERT M = MAßSTABFAKTOR	THTR
	71.22-1
	EXPONENTIALANSATZ ZUR BESTIMMUNG DER GESAMTEINFABRKRÄFTE
	BBC / KRUPP

Abb. 1

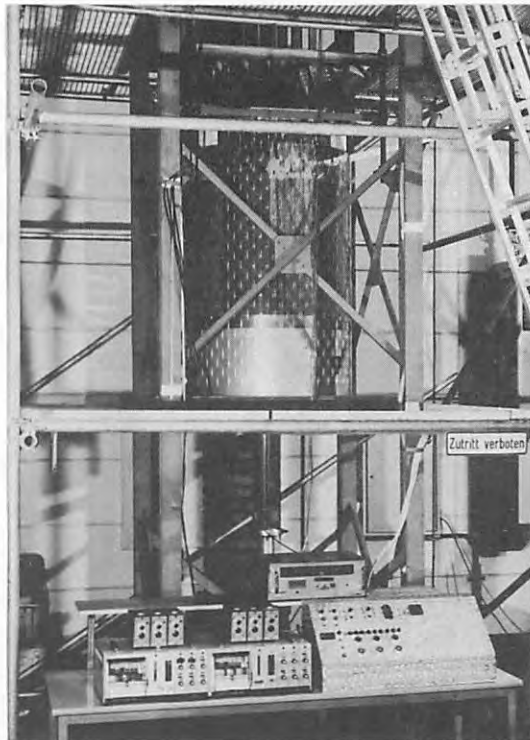


Bild 2 : 1 : 6 Coremodell

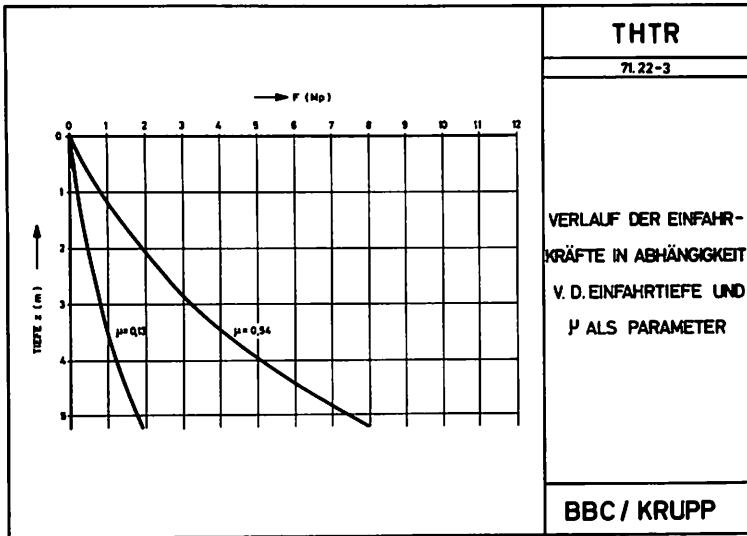


Abb. 3

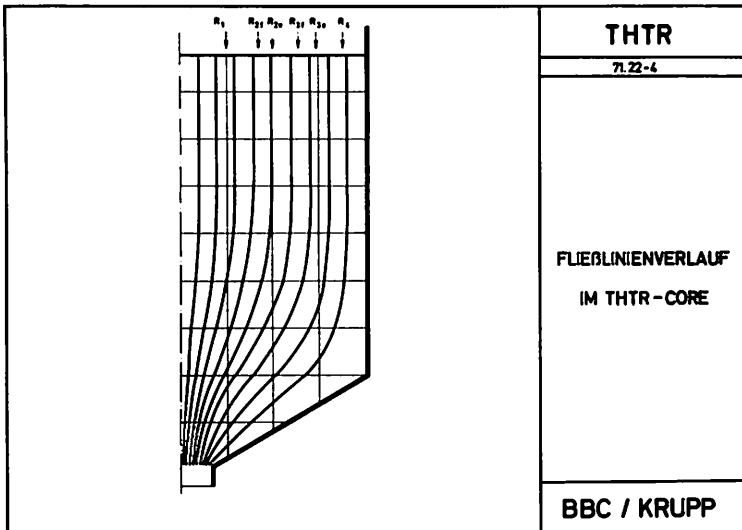


Abb. 4

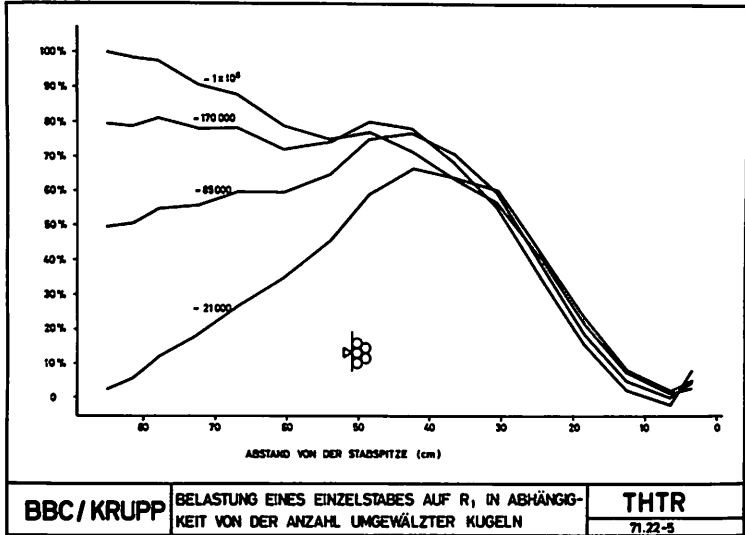


Abb. 5

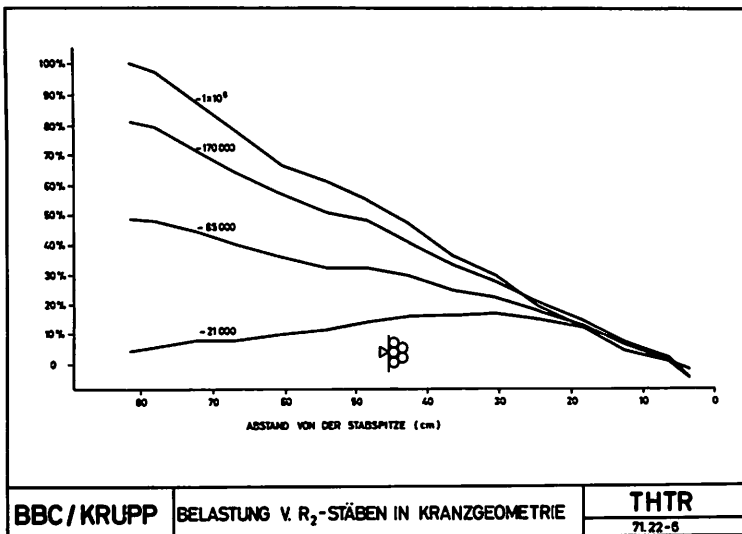


Abb. 6

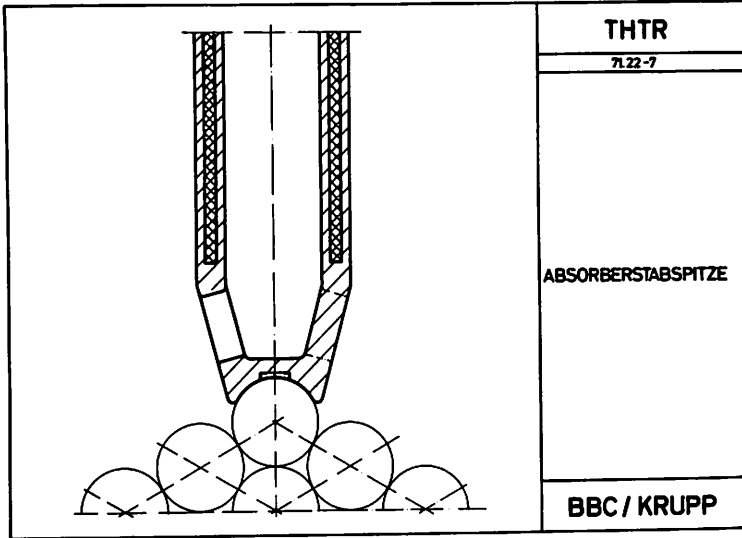


Abb. 7

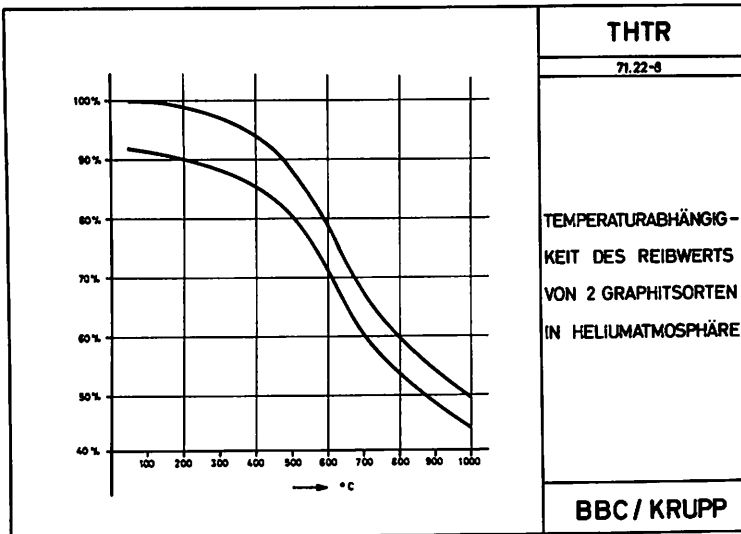


Abb. 8

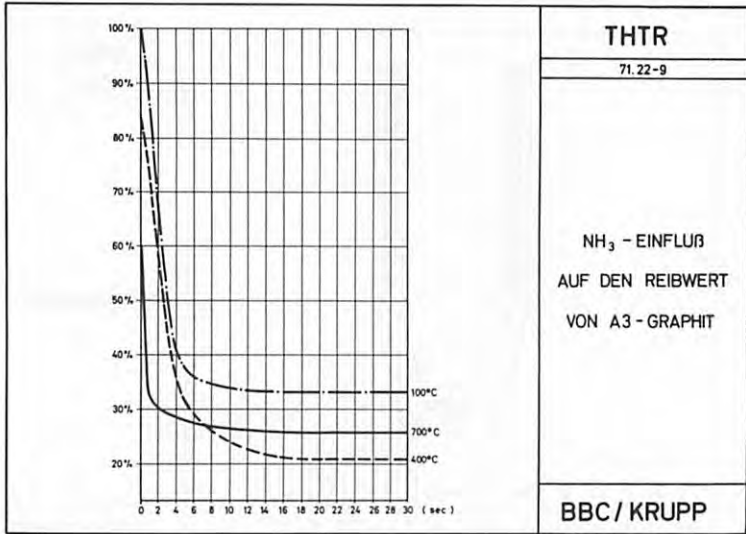


Abb. 9

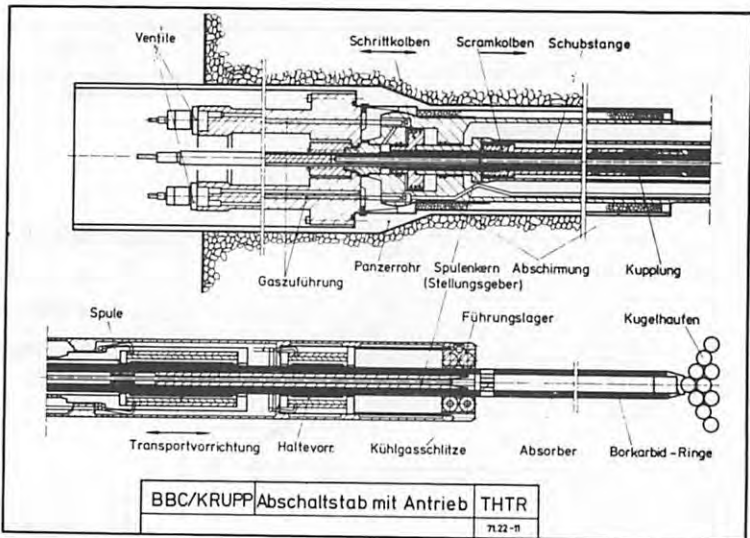


Abb. 10

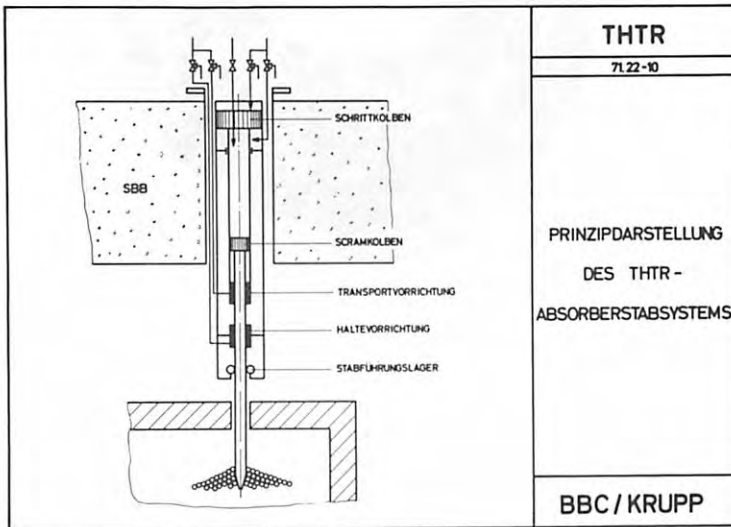


Abb. 11

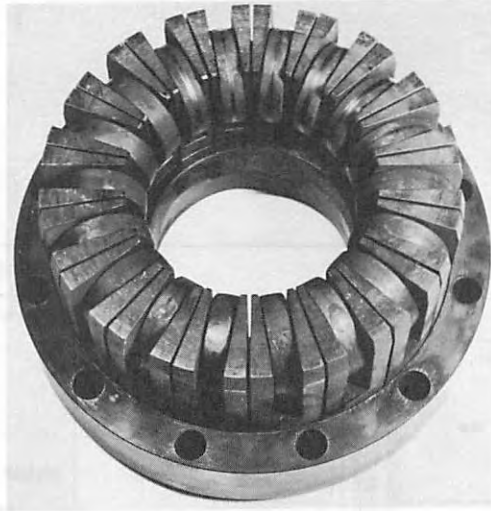


Bild 12 : Stabführungslager

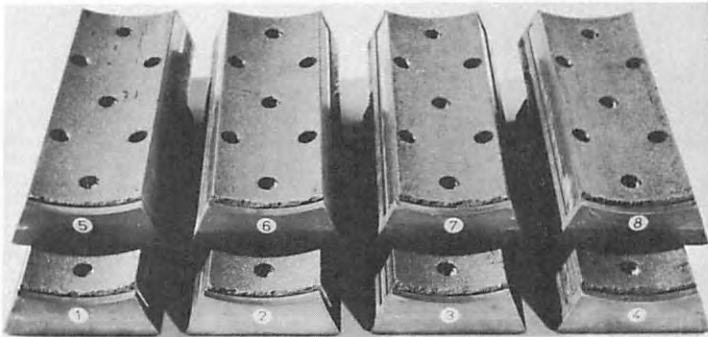


Bild 13 : Reibdelage für Transport-
und Haltevorrichtung