

KfK 2475  
April 1978

# **Beschreibung der Teststrecken zum lokalen Sieden im kompakten Natriumsiedekreislauf**

F. Huber, E. Jenes, K. Mattes  
Institut für Reaktorentwicklung  
Projekt Schneller Brüter

**Kernforschungszentrum Karlsruhe**

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

KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE GMBH

KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE  
Institut für Reaktorentwicklung  
Projekt Schneller Brüter

KfK 2475

Beschreibung der Teststrecken zum lokalen  
Sieden im kompakten Natriumsiedekreislauf

F. Huber  
E. Jenes  
K. Mattes



## Zusammenfassung

Im Rahmen des bauzugehörigen F+E-Programms zum SNR 300 werden lokale Kühlungsstörungen experimentell in großen Bündelgeometrien unter reaktorähnlichen Bedingungen untersucht.

Hierzu wurden zwei Teststrecken gebaut, die geometrisch und thermohydraulisch einem SNR 300-Brennelement ähnlich sind. Die Teststrecke 1 besitzt eine Zentralblockade von 49 % Versperrung, die Teststrecke 2 eine Eckblockade von ca. 21 %.

Dieser Bericht stellt eine ausführliche Beschreibung beider Teststrecken dar und geht insbesondere auf konstruktive und instrumentelle Einzelheiten ein.

## Summary

Description of the Testsections for local Boiling Experiments in the KNS-Loop

---

Within the context of the SNR-300 R & D program experimental studies have been made on the effects of local cooling disturbances within large pin bundle geometry, under conditions similar to those in the reactor. To this two test sections were built which were geometrically and thermohydraulically similar to a SNR-300 fuel element.

The first test section possesses a central 49 % blockage and the second a 21 % edge blockage.

This report is a description of both test sections and considers the construction and instrumentation in particular detail.

## Gliederung

1. Einleitung
2. Beschreibung der Teststrecken
  - 2.1 Konzeption und Auslegungskriterien
    - 2.1.1 Konstruktiver Aufbau
    - 2.1.2 Instrumentierung
  - 2.2 Beschreibung der Teststrecke 1
    - 2.2.1 Stabanordnung und Blockadeposition
    - 2.2.2 Blockade
    - 2.2.3 Instrumentierung
  - 2.3 Beschreibung der Teststrecke 2
    - 2.3.1 Stabanordnung und Stabposition
    - 2.3.2 Blockade
    - 2.3.3 Erforderliche konstruktive Maßnahmen durch die asymmetrische Heizstabanordnung
    - 2.3.4 Instrumentierung
3. Gaseinspeisung
4. Detailbeschreibung wesentlicher Bauelemente
  - 4.1 Heizstab und Heizstabinstrumentierung
  - 4.2 Elektrischer Anschluß
  - 4.3 Abstandshaltergitter und Instrumentierung
  - 4.4 Blockade
  - 4.5 Brennelementmischkopf
  - 4.6 Dummy- und Strukturstab
  - 4.7 Chen-Sonde und instrumentierter Dummy-Stab
  - 4.8 Thermoelementdurchführung und -anschluß
  - 4.9 Dynamische Druck- und Schallmessung
5. Verzeichnisse
  - 5.1 Tabellen und Abbildungen
  - 5.2 Literatur

## 1. Einleitung

Die Sicherheitsüberlegungen zum Core des Schnellen Brütters beinhalten unter anderem die Frage, ob lokale Kühlungsstörungen, verursacht durch Blockaden, in einem Brennelement eine Schadenspropagation infolge der lokalen Temperaturerhöhung oder des lokalen Siedens auslösen können [1,7]. Um diese Frage zu beantworten, werden im Rahmen des bauzugehörigen F + E-Programms zum SNR 300 lokale Kühlungsstörungen experimentell in großen Bündelgeometrien und unter reaktorähnlichen Bedingungen untersucht.

Diese Untersuchungen werden in einem eigens zu diesem Zweck gebauten Kreislauf, in dem kompakten Natriumsiedekreislauf (KNS) [2], im Institut für Reaktorentwicklung durchgeführt. Hierfür wurden zwei Teststrecken konzipiert:

- KNS-Teststrecke 1 mit zentraler Blockade mit einer Versperrung von 49 %
- KNS-Teststrecke 2 mit einer Eckblockade mit einer Versperrung von 21 %

Die Teststrecken entsprechen geometrisch und thermohydraulisch weitgehend einem SNR 300 Brennelement (Mk Ia). Sie werden in diesem Bericht eingehend und ausschließlich behandelt.

Zum Zeitpunkt der Veröffentlichung waren die Untersuchungen mit der KNS-Teststrecke 1 beendet und die mit der KNS-Teststrecke 2 begonnen worden.

Über einen Teil der Ergebnisse der Untersuchungen mit der Teststrecke 1 wurde bereits unter [3] berichtet.

## 2. Beschreibung der Teststrecken

### 2.1 Konzeption und Auslegungskriterien

#### 2.1.1 Konstruktiver Aufbau

Für die Konstruktion der Teststrecken waren Geometrie und Thermohydraulik des SNR 300 Mk Ia Brennelementes maßgebend. Die Teststrecken wurden daher so weit wie möglich diesem Brennelement angepaßt. Außerdem wird das Eintrittsplenium des Reaktors auf der Kreislaufseite durch das Gasplenium eines vorgeschalteten Pufferbehälters simuliert. Der durch die Verkürzung gegenüber dem Brennelement fehlende Druckverlust wird durch die Verbindungslei-

leitung zwischen Teststrecke und Pufferbehälter in Verbindung mit einem Drosselventil nachgebildet. So entspricht der obere Teil der Teststrecken, d.h. Blanket, Mischkopf und Austritt, geometrisch und hydrodynamisch weitgehend dem SNR 300-Brennelement. Abb. 1 zeigte eine schematische Darstellung beider Teststrecken.

Zur Übersicht sind ihre technischen Daten in Tab. 1 aufgeführt und denen eines SNR 300-Brennelementes gegenübergestellt. Wie aus dieser Tabelle zu ersehen ist, entsprechen beide Teststrecken in Stabzahl, Stabdurchmesser und Stabmittenabstand dem SNR 300-Brennelement.

Da im wesentlichen nur Vorgänge im Einflußbereich einer Blockade zu untersuchen waren, war es nicht erforderlich, das Bündel über seine gesamte Länge und über seinen gesamten Querschnitt zu beheizen. Als ausreichend wurde eine beheizte Länge von ca. 300 mm über einen Querschnitt angesehen, der mindestens die jeweilige Blockade einschließt. Diese Einschränkung konnte deshalb als zulässig angenommen werden, weil die axiale Verkürzung der beheizten Länge durch Anheben der Na-Eintrittstemperatur ausgeglichen werden kann und die radial über dem Querschnitt fehlende Beheizung, d.h. die fehlende Beheizung außerhalb der Blockade, das Temperaturfeld in der Rezirkulation über der Blockade nur geringfügig beeinflusst. Versuche in einem Wasserkreislauf mit einem voll- und teilbeheizten Bündel bestätigten die letztgemachte Aussage [4].

Die Blockade wurde 40 mm oberhalb des Beginns der beheizten Länge innerhalb eines Abstandshaltergitters angeordnet. Ihr Einbau in ein Abstandshaltergitter ergab sich aus der Überlegung, daß, wenn es infolge von Ablagerungen zur Blockade kommt, diese mit hoher Wahrscheinlichkeit an einem Abstandshaltergitter stattfindet. Die Blockade selbst besteht aus einem 3 mm dicken senkrecht zur Strömung angeordneten Stahlblech. Um die Versuchsergebnisse mit bestehenden Rechenmodellen vergleichen zu können, wurde angestrebt, die Blockade und die sie durchdringenden Stäbe so gegeneinander abzudichten, daß der Restdurchsatz  $< 1\%$  beträgt.

Die Leistungsdichte im beheizten Bereich sollte der eines Brennelementes angenähert werden. Bei der Entwicklung geeigneter Heizstäbe (s. P. 4.1) wurde eine maximale Leistungsdichte von  $170 \text{ W/cm}^2$  spezifiziert. Vom Typ her handelt es sich bei den eingesetzten Heizstäben um Bandwendelheizstäbe mit einer Stromrückführung über den Mantel bzw. durch das Natrium. Die Stäbe wurden mit Drehstrom beheizt und waren über das Natrium zu einem gemeinsamen Sternpunkt verschaltet. Um die Beeinflussung der Meßsignale durch die elektrische Beheizung zu reduzieren, wurden in Höhe des Übergangs der Band-

wendel zum Heizstabhüllrohr außen an das Sechskantrohr Anschlüsse für den Mittelpunktleiter angeschweißt, über die der aus asymmetrischer Leistung resultierende Mittelpunktleiterstrom zu den Transformatoren zurückgeleitet wird. Auf der Anschlußseite ist der Mantel der Heizer mit der Grundplatte dicht verschweißt, die unbeheizten Stäbe sind an der Prallplatte befestigt. Die thermodynamischen Werte der beheizten und unbeheizten Stäbe (Wärmekapazität, Wärmeleitfähigkeit) wurden durch konstruktive Maßnahmen den Werten für einen SNR-300-Brennstab angenähert. In den dem SNR 300-Brennelement entstehenden Abständen sind Abstandshaltergitter eingesetzt, die über drei um  $120^{\circ}$  versetzte Strukturstäbe fixiert sind. Vom Typ her wurden Wabenabstandshaltergitter eingebaut (vgl. hierzu Pkt. 4.3).

Unter Vorgabe der beheizten Länge und der max. Leistungsdichte wurde die Energieversorgung und Kühlkapazität des KNS für ca. 1,2 MW ausgelegt.

Auf eine ausführliche Beschreibung wesentlicher Bauelemente der Teststrecken wird im Rahmen dieses Kapitels nicht eingegangen; sie werden aus Gründen einer besseren Übersicht und Vollständigkeit unter Pkt. 4. im Anhang abgehandelt.

### 2.1.2 Instrumentierung

Zur Ermittlung der Temperaturverteilung sowie zur Untersuchung des lokalen Siedens und seiner Detektion in entsprechenden Teststrecken, ist eine geeignete Instrumentierung Voraussetzung. Diese Instrumentierung besteht im wesentlichen aus Meßstellen zur Ermittlung folgender Meßgrößen:

- Temperatur
- Void
- Druck
- Durchfluß
- Leistung
- Schall

Mit Ausnahme der Leistungsmessung, die Teil der KNS-Stromversorgung ist und von daher nicht unmittelbar zur Teststrecke gehört, gibt die Tab. 2 einen Überblick über die allgemeine Teststreckeninstrumentierung.

Hiernach nehmen einen großen Anteil die Temperaturmeßstellen ein. Ca. 20 % der Heizstäbe sind mit je drei Thermoelementen NiCr-Ni,  $\emptyset$  0,25, TI instrumentiert, die in äußere Nuten des jeweiligen Heizstabhüllrohres eingelötet

wurden. Um auch im nicht beheizten Bereich des Bündels die Temperatur bestimmen zu können, wurden Dummy-Stäbe und Abstandshaltergitter mit Thermoelementen NiCr-Ni,  $\emptyset$  0,5, TI bestückt. Zusätzlich sind am Teststreckenein- und -austritt Thermoelemente NiCr-Ni,  $\emptyset$  1 bzw. 0,5, TI angebracht. Insbesondere sind, um die Wirkungsweise des Brennelementmischkopfes zu testen, vor und nach diesem Thermoelemente an einer besonderen Lanze quer zur Na-Strömung angeordnet.

Zur Detektion von Blasen wurden im und um den beheizten Bereich über der Blockade mit Void-Meßstellen (nach dem Chen-Prinzip) bestückte Dummy-Stäbe eingebaut (vgl. Pkt. 4.7).

Jeweils am Teststreckenein- und -austritt ist ein permanent-magnetischer Durchflußmesser montiert.

Eine wesentliche Ergänzung der Instrumentierung bilden die angebrachten Druck- und Schallmeßstellen. Sie verteilen sich im wesentlichen um den Blockadebereich, jedoch wurden auch, um über die Ausbreitung der Drucksignale Aussagen machen zu können, Meßstellen vor und hinter diesem Bereich installiert. Die Druckaufnehmer sowie ein Teil der Schallsensoren sind unmittelbar am Sechskantrohr angeschweißt. Der andere Teil der Schallaufnehmer ist über Koppelstäbe mit dem Sechskantrohr verbunden.

Zur Messung der statischen Drücke bis zu einer Frequenz von 3 Hz dienen mechanische Druckaufnehmer (Barton-Zellen) mit einer Genauigkeit von 0,1 %.

Zur Messung dynamischer Druckvorgänge, wie sie sich z.B. beim Kollabieren einer Dampfblase zeigen, dienen induktive (Kaman) und piezoelektrische (Kistler) Druckaufnehmer. Der Frequenzbereich der induktiven Druckaufnehmer geht bis 5 kHz und der der piezoelektrischen bis 30 kHz bei einer Genauigkeit von ca. 1 %. Für die Schallaufnehmer wurden nur piezoelektrische Aufnehmer, jedoch mit unterschiedlichen Kristallen, eingesetzt (konstruktive Einzelheiten vgl. Pkt. 4.9).

## 2.2 Beschreibung der Teststrecke !

### 2.2.1 Stabanordnung und Blockadeposition

Abb. 2 zeigt im Querschnitt Stabanordnung und Blockadeposition der Teststrecke 1.

Die insgesamt 169 Stäbe setzen sich wie folgt zusammen:

88 Heizstäbe (s. Pkt. 4.1)  
davon 21 instrumentiert

81 Dummy-Stäbe  
davon 6 mit Thermoelementen (s. Pkt. 4.7),  
4 mit Void-Meßstellen (s. Pkt. 4.7),  
3 als Strukturstab (s. Pkt. 4.6),  
3 als Thermoelement-  
trägerrohr (s. Pkt. 4.3).

### 2.2.2 Blockade

Für die Teststrecke 1 wurde eine zentrale Blockade mit einer Versperrung von 49 % (Verhältnis von versperrem freiem Strömungsquerschnitt zu freiem Strömungsquerschnitt) gewählt. Die Wahl von Form und Größe dieser Blockade resultierte aus Ergebnissen aus hydrodynamisch ähnlichen Versuchen in einem Wasserkreislauf [4].

Die Blockade selbst besteht aus einem 3 mm dicken Edelstahlblech, das in das entsprechende Abstandshaltergitter eingelötet wurde. Abb. 3 zeigt ein Foto dieses Gitters (nähere fertigungstechnische Einzelheiten s. Pkt. 4.4).

### 2.2.3 Instrumentierung

#### Temperatur- und Void-Meßstellen im Blockadebereich

Zur Ermittlung der Temperaturverteilung im Blockadebereich wurden Heiz- und Dummy-Stäbe mit insgesamt 73 Thermoelementen instrumentiert. Diese Thermolemente wurden in sechs Querschnittsebenen angeordnet, und zwar in - 10; 10; 20; 40; 80 und 120 mm Entfernung von der Oberkante des Blockadebleches. Die Meßebenen liegen, wie durch entsprechende Wasserversuche ermittelt, in der Einfluß- bzw. Rezirkulationszone der Blockade (mit Ausnahme der Ebene -10).

Da eine symmetrische Temperaturverteilung angenommen werden konnte, wurde vorzugsweise in Richtung Sechskantecke (diagonal) und in Richtung Mitte Sechskantseite instrumentiert. Die eigentliche Meßstelle der instrumentierten Heizstäbe sitzt ca. 0,2 mm unter der Oberfläche des Heizstabhüllrohres. Die Meßstelle der Thermolemente der instrumentierten Dummy-Stäbe ragt ca. 1 mm in den jeweiligen Unterkanal (s. Pkt. 4.7).

Um Blasen detektieren und verfolgen zu können, wurden vier Stabpositionen mit je fünf Void-Meßstellen versehen. Diese Meßstellen befinden sich in den gleichen Meßebenen wie die der instrumentierten Heiz- und Dummy-Stäbe (mit Ausnahme der Ebene - 10 mm, wo keine Void-Meßstelle angeordnet wurde). Die Void-Meßstelle selbst ragt 2 mm in den jeweiligen Unterkanal. Im einzelnen sind Ort und Stabposition der jeweiligen Meßstellen für die einzelnen Meßebenen in den Abb. 4 bis 9 dargestellt.

Für die spätere Auswertung der Ergebnisse dieser Teststrecke ist die Einteilung des Teststreckenquerschnittes in Unterkanäle und die Zuordnung der Meßstellen zu ihrem jeweiligen Unterkanal von Bedeutung. Abb. 10 zeigt deshalb das für die Teststrecke 1 gültige Numerierungsschema der Unterkanäle. Bei der späteren Auswertung wird neben der Zuordnung zum Unterkanal auch noch unterschieden, ob eine Meßstelle der Sechseckdiagonalen oder der Sechskantseite zuzuordnen ist.

#### Temperaturmeßstellen an Abstandshaltergittern

Ergänzend zur Instrumentierung im Blockadebereich wurden auf dem Blockadegitter und auf den drei nachfolgenden Abstandshaltergittern insgesamt 21 Thermolemente NiCr-Ni,  $\emptyset$  0,5, TI angebracht. Ihre Position und Zuordnung zum jeweiligen Gitter ist in den Abb. 11 und 12 dargestellt (nähere Einzelheiten der Gitterinstrumentierung s. Pkt. 4.3).

#### Druck- und Schallmeßstellen

Die Verteilung der Druck- und Schallmeßstellen der Teststrecke 1 ist in Abb. 13 dargestellt (konstruktive Einzelheiten der Druck- und Schallmeßstellen vgl. P. 4.9).

### 2.3 Detailbeschreibung der Teststrecke 2

#### 2.3.1 Stabanordnung und Blockadeposition

Stabanordnung und Position der Eckblockade ist im Querschnitt aus Abb. 14 zu ersehen.

Die insgesamt 169 Stäbe teilen sich wie folgt auf:

- 90 Heizstäbe (s. Pkt. 4.1)
  - davon 21 instrumentiert
  
- 79 Dummy-Stäbe
  - davon 4 mit Thermoelementen (s. Pkt. 4.7),
  - 4 mit Void-Meßstellen (s. Pkt. 4.7),
  - 3 als Strukturstäbe (s. Pkt. 4.6),
  - 4 als Thermoelement-trägerrohr (s. Pkt. 4.3).

### 2.3.2 Blockade

Durch Versuche in einem Wasserkreislauf mit unterschiedlichen Blockadeformen wurde gefunden, daß eine Blockade in einer Ecke bei geringerer Versperrung zum Sieden in ihrer Rezirkulationszone führt als bei einer zentralen Blockade [5,6].

Da somit eine Eckblockade hinsichtlich ihrer Detektierbarkeit die ungünstigere Blockadeform darstellt, wurde diese Form für die Teststrecke 2 gewählt. Wie in [7] berichtet, liegt das Maximum der Temperaturerhöhung hinter der Blockade, für die Eckblockade im Bereich zwischen 20 und 40. Die Größe der Blockade wurde so gewählt, daß die Temperaturerhöhung im maximalen Bereich liegt und die Blockade vollständige Stabreihen eingrenzt. Die Blockade wurde wie die der Teststrecke 1 in ein Abstandshaltergitter eingebaut. Ihre Versperrung beträgt ca. 21 %. Abb. 15 zeigt ein Foto dieses Blockadegitters (nähere konstruktive und fertigungstechnische Einzelheiten s. Pkt. 4.3).

### 2.3.3 Erforderliche konstruktive Maßnahmen durch die asymmetrische Heizstabanordnung

Die asymmetrische Beheizung in Verbindung mit der Blockade führt bei Betrieb der Teststrecke infolge der sich im Sechskantrohr ausbildenden Temperaturgradienten zu lokalen und integralen Verformungen. Da eine feste Verspannung der Teststrecke plastisches Fließen an einigen Stellen bewirken würde und sich demzufolge Risse ausbilden könnten, wurde die Teststrecke nicht verspannt, so daß die Verformungen vom angrenzenden Rohrleitungssystem aufgenommen werden müssen. Durch Schockversuche in einem Sechskantrohr [8] sowie durch Rechnung wurde nachgewiesen, daß die integrale Verformung des Sechskantrohres durch das angrenzende Rohrleitungssystem aufgefangen werden kann. Zusätzlich treten hinter der Blockade an der Sechskantrohrwand Temperaturen auf, bei de-

nen die Festigkeit des Werkstoffes nicht mehr ausreicht, dem Innendruck standzuhalten.

Um lokale Verformungen im Bereich hinter der Blockade zu vermeiden sowie die Rohrwand gegen den Innendruck zu verstärken, wurden im Abstand von 8 mm jeweils 3 mm dicke Stützlamellen angeschweißt. Abb. 16 zeigt ein Foto der Teststrecke 2 im Montagezustand, auf dem der mit diesen Stützlamellen verstärkte Bereich deutlich zu sehen ist.

#### 2.3.4 Instrumentierung

##### Temperatur- und Void-Meßstellen im Blockadebereich

Im Blockadebereich wurden Heiz- und Dummy-Stäbe mit insgesamt 77 Thermoelementen instrumentiert. Analog zur Teststrecke 1 wurden die Thermoelemente in sechs Querschnittsebenen angeordnet, und zwar in -10; 10; 30; 50; 70 und 100 mm Entfernung von der Oberkante des Blockadebleches. Ergebnisse aus Wasserversuchen mit einer gleichartigen Eckblockade zeigten, daß die Höhe der Rezirkulationszone geringer ist als die der Rezirkulationszone der Zentralblockade. Aus diesem Grund wurde auch der Bereich in dem die einzelnen Meßebenen liegen, kleiner gewählt. Es sind hierbei vorzugsweise die Stäbe instrumentiert, die zum einen auf der Diagonalen liegen, die die Blockade halbiert, und zum anderen die Stäbe von Pos. 5.1 in Richtung Pos.15.4.

Die Void-Meßstellen orientieren sich wiederum an den Meßebenen der Temperaturmeßstellen. Es sind ebenfalls vier Stabpositionen mit je fünf Meßstellen versehen (mit Ausnahme der Ebene - 10).

Im einzelnen sind Ort, Ebene und Stabposition der jeweiligen Meßstellen aus den Abb. 17 bis 22 zu ersehen (konstruktive und fertigungstechnische Einzelheiten über instrumentierte Heizstäbe und Void-Meßstellen s. Pkt. 4.1 bzw. 4.7).

Abb. 23 zeigt die für die spätere Auswertung der Ergebnisse aus der Temperaturmessung wichtige Unterteilung in Unterkanäle sowie die jeweilige Zuordnung der Meßstellen.

##### Temperaturmeßstellen an Abstandshaltergittern

Am Blockadegitter und an den diesem Gitter nachfolgenden drei Abstandshaltergitter sind insgesamt 21 Thermoelemente angebracht. Ihre Position und Zuordnung zum jeweiligen Gitter ist aus den Abb. 24 und 25 zu ersehen (konstruktive und fertigungstechnische Einzelheiten s. Pkt. 4.3).

### Druck- und Schallmeßstellen

Die Verteilung der Druck- und Schallmeßstellen ist in Abb. 26 dargestellt (konstruktive Einzelheiten s. Pkt. 4.9).

### 3. Gaseinspeisung

Durch Defekt eines oder mehrerer Brennstäbe eines Brennelementes kann Spaltgas in das Kühlmittel austreten, was zur lokalen Beeinträchtigung der Kühlung führen kann [9]. Für die Untersuchungen zum lokalen Sieden war deshalb die Einspeisung von Gas in das Natrium ein wichtiger Parameter.

Bei der Teststrecke 1 war zunächst keine Gaseinspeisung vorgesehen. Zu einem späteren Zeitpunkt wurde jedoch die Möglichkeit geschaffen, Argon in die Natriumleitung vor dem Pufferbehälter des KNS einzuspeisen.

Bei der Teststrecke 2 wurden vorab mehrere Gaseinspeisestellen eingeplant.

- a) durch eine Kapillare durch den Chen-Stab Pos. 11.5  
mit Austritt 30 mm oberhalb der Oberkante Blockadeblech
- b) durch 3 Einspeisestellen durch die Wand des Sechskantrohres (vgl. Abb. 27)
  - unter  $210^{\circ}$ , 50 mm über Oberkante Blockadeblech
  - unter  $270^{\circ}$ , 50 mm über Oberkante Blockadeblech
  - unter  $240^{\circ}$ , 185 mm unter Oberkante Blockadeblech.

Zusätzlich blieb die Möglichkeit, Gas in die Rohrleitung vor dem Pufferbehälter des KNS einzuspeisen.

Die Gasmengen können über Schwebekörperdurchflußmesser im Bereich von 0,1 bis  $1000 \text{ Ncm}^3/\text{s}$  dosiert werden. Abb. 28 zeigt das für die Teststrecke 2 gültige Fließschema. Bei der Teststrecke 1 war der Aufbau analog.

Wesentlicher Bestandteil der Gaseinspeisung ist die Heißfalle, in der der restliche noch im Argon enthaltene Sauerstoff gebunden wird. Durch Vorversuche, insbesondere zur Erprobung der Kapillare, wurde festgestellt, daß sich die Austrittsöffnungen mit großer Wahrscheinlichkeit verstopfen, wenn das eingespeiste Gas nicht sauerstofffrei ist [10].

#### 4. Detailbeschreibung wesentlicher Bauelemente

##### 4.1 Heizstab und Heizstabinstrumentierung

Der bei den KNS-Teststrecken 1 und 2 eingesetzte Heizstab ist mit seinen Hauptabmessungen und Daten in Abb. 29 dargestellt.

Als mit der Planung des KNS begonnen wurde, waren Heizstäbe mit einer einem Brennstab vergleichbaren Leistungsdichte nicht auf dem Markt. Deshalb wurde die zu jener Zeit im Institut für Reaktorbauelemente (IRB) laufende Entwicklung von Heizstäben für einphasige Wärmeübergangsversuche in Richtung auf eine Verwendbarkeit auch für Natriumsiedeexperimente erweitert. Über diese Weiterentwicklung wird in [11] ausführlich berichtet, so daß auf eine detaillierte Beschreibung des Heizstabes verzichtet werden kann. Um die Eignung dieser im IRB weiterentwickelten Heizstäbe für die Natriumsiedeuntersuchungen festzustellen, wurden Stäbe im Verlaufe der Entwicklung unter Siedebedingungen getestet, wobei die jeweiligen Testergebnisse in die Weiterentwicklung einfließen. Als Endstufe wurden Prototypstäbe mit Erfolg in zwei 7-Stabbündel eingesetzt [12, 13].

Da das obere kalte Ende der Heizstäbe (Monoseite) aus fertigungstechnischen Gründen möglichst kurz sein sollte, wurde der Heizstab an dieser Stelle mit einem Innengewinde versehen, das dazu diente, eine Verlängerung aus massivem Rundstahl aufzuschrauben. Diese Verlängerung ist in Abb. 30 dargestellt.

Bei einem instrumentierten Heizstab wurden Thermoelemente NiCr-Ni,  $\emptyset$  0,25, TI in in das Hüllrohr gefräste Nuten gelegt, verstemmt und mittels Hochfrequenz unter Wasserstoffatmosphäre mit Hochtemperaturlot Nicrobraz 30 eingelötet. Das sorgfältige Verstemmen des Thermoelements in seiner Nut ist eine wichtige Voraussetzung für die Qualität der Instrumentierung. Da manuelles Verstemmen neben großer Sorgfalt eine entsprechend lange Zeit erfordert, wurde eine Vorrichtung entwickelt, mit der dieser Vorgang mechanisiert wurde. Abb. 31 zeigt ein Foto dieser Verstemmvorrichtung. Ihr Aufbau und ihre Wirkungsweise ist in [14] ausführlich beschrieben. Jeder instrumentierte Heizstab wurde mit drei um  $120^\circ$  versetzten Thermoelementen bestückt. Abb. 32 zeigt eine Prinzipskizze eines instrumentierten Heizstabes.

Bei dem Lötvorgang mußte darauf geachtet werden, daß die Front hoher Temperatur nicht in den Übergangsbereich vom Kupfer- zum Nickelanschluß kommt,

da sonst die Gefahr bestand, daß das Kupfer aufgeschmolzen wurde und damit der Heizstab zerstört wird. Im Bereich des Kupferanschlusses werden die Thermoelemente nur durch den dem Löten vorangegangenen Verstemmvorgang in ihrer Nut gehalten.

#### 4.2 Elektrischer Anschluß

Abb. 33 zeigt den Bündelanschlußkopf der Teststrecke mit zentraler Blockade; die Konstruktion für die Teststrecke mit Eckblockade ist hierzu analog.

An den Bündelanschluß wurden im wesentlichen die folgenden Anforderungen gerichtet:

- a) dichte und feste Verbindung der Heizstäbe mit der Grundplatte
- b) einwandfreier elektrischer Anschluß der Heizstabelektrode mit dem Stromzuführungsbolzen.

Die Forderung a) konnte durch stirnseitiges Einschweißen der Heizstäbe in die Lochplatte erfüllt werden. Hierzu wurde zum einen die in Abb. 34 dargestellte WIG-Schweißpistole in Zusammenarbeit mit der Schweißwerkstatt des FR2 entwickelt und zum anderen wurden Schweißlippen aus der Lochplatte herausgearbeitet. Diese Lippen wurden bei den Einzelstabtests, bei beiden 7-Stabbündeln und bei der Teststrecke mit zentraler Blockade aus dem Grundmaterial herausgefräst.

Bei der Teststrecke mit Eckblockade wurden die Lippen heraserodiert. Diese neuere Fertigungstechnik hatte eine wesentliche Verbesserung der Maßhaltigkeit und Oberflächenqualität der Lippen zur Folge, was sich wiederum auf die Güte der Schweißung positiv auswirkte (vgl. hierzu Abb. 35).

Die einfachste Methode zur Erfüllung der Forderung b) war, die beiden kupfernen Anschlußteile - Heizstabanschlußelektrode und Stromzuführungsbolzen - WIG zu verschweißen. Probeschweißungen sowie der nachfolgende Einsatz dieses Verfahrens bei den 7-Stabbündeln waren einwandfrei.

#### 4.3 Abstandshaltergitter und Instrumentierung

Als Abstandshaltergitter wurden für beide Teststrecken Wabenabstandshaltergitter verwendet. Dieser Gittertyp ist in Abb. 36 mit seinen wesentlichsten Abmessungen dargestellt. Er wurde von der Fa. Belgonucleaire geliefert. Über

die hydrodynamische Widerstandswerte dieses Gittertyps wird in [15] berichtet. Sowohl das Blockadegitter als auch die drei nächsten diesem Gitter folgenden wurden mit Thermoelementen NiCr-Ni,  $\emptyset$  0,5, TI instrumentiert. In Abb. 37 ist die Ausführung dieser Instrumentierung schematisch dargestellt. Mit den in dieser Abbildung dargestellten Thermoelement-Trägerrohren wurden bei der Teststrecke 1 die Positionen 1.6, 11.12 und 15.5 und bei der Teststrecke 2 die Positionen 5.12, 7.14, 9.14 und 11.12 besetzt. Die Rohre wurden durch Anschweißen an die Prallplatte fixiert.

#### 4.4 Blockade

Die Blockade wurde bei beiden Teststrecken aus einem 3 mm dicken austenitischen Stahlblech (S. Nr. 1.4301) gefertigt und in ein Abstandshaltergitter mit einem Nickellot (Microbraz 30) im Ofen unter Formiergasatmosphäre eingelötet (vgl. hierzu Abb. 3 und 15). Die Form der Blockade wurde aus dem jeweiligen Abstandshaltergitter herausgerodiert. Der Vorteil dieses Verfahrens war, daß sich die relativ dünnen Blechstege des Gitters nicht verformen konnten.

Um den Restdurchsatz zwischen Blockadeblech und Heizstab so gering wie möglich zu halten, wurden die Bohrungen des Blockadebleches mit den den jeweiligen Stäben und dessen Durchmesser zugeordneten Toleranzen versehen. Das Passungsmaß wurde so gewählt, daß das maximale Spiel, wie in Abb. 36 dargestellt, zwischen Dichtlippe und Heizstab 20  $\mu$ m betrug. Der auf diese Weise sich ergebende Restdurchsatz konnte mit Hilfe eines Wasserversuches auf kleiner als 1 % ermittelt werden.

Bei der Eckblockade mußte zusätzlich ein Bypass-Strom zwischen Blockaderand und Sechskantkastenwand verhindert werden. Die technische Lösung dieses Problems ist in Abb. 39 schematisch dargestellt. Diese Lösung machte eine Zerteilung des Sechskantrohrs notwendig.

#### 4.5 Brennelementmischkopf

Bei beiden Bündeln ist an ihrem Austritt jeweils ein Brennelementmischkopf installiert. In Abb. 40 sind zwei verschiedene Typen dargestellt. Der Typ entsprechend Bild 1 wurde in die Teststrecke mit zentraler Blockade eingebaut. Inzwischen wurden die Gleichrichterelemente des Mischkopfes von der zuständigen Firma, Firma Interatom Bensberg, mit dem Ziel, die Vermischung zu verbessern, geändert.

Bild 2 in Abb. 40 zeigt den Mischkopf mit dem geänderten Gleichrichterteil. Dieser Mischkopf ist in die Teststrecke mit Eckblockade eingebaut worden.

#### 4.6 Dummy- und Strukturstab

Ein großer Teil der Stäbe beider Bündel sind unbeheizt. Diese sog. Dummy-Stäbe sind hinsichtlich ihres Aufbaus den thermodynamischen Werten eines SNR-300 Brennstabes angepaßt. In Abb. 41 ist der Aufbau eines Dummy-Stabes dargestellt. Diese Stäbe werden nicht wie die Heizstäbe aus der Teststrecke herausgeführt, sondern sind mit der Prallplatte verschraubt (vgl. Abb. 3). Eine besondere Funktion haben die Dummy-Stäbe der Positionen 2/8, 8/2 und 14/8. Diese Dummy-Stäbe dienen bei beiden Teststrecken als Strukturstäbe zur Befestigung der Abstandshaltergitter. Zur Fixierung der Gitter werden an diese Stäbe Hülsen ( $\emptyset 7 \times \emptyset 6,3 \times 6$  mm lang) unmittelbar über und unter den Gittern angeschweißt.

#### 4.7 Chen-Sonde und instrumentierter Dummy-Stab

Untersuchungen von Siedeereignissen setzen geeignete Methoden zur Detektion und Verfolgung von Dampfblasen voraus. Ein hierfür geeignetes Verfahren ist das nach J.C.Chen [16]. Es handelt sich hierbei um zwei Metallmantelthermoelemente, deren Adern an der eigentlichen Meßstelle mit dem Mantel verschweißt sind und mit einer bestimmten Länge in den Natriumraum hineinragen.

Eine je zwischen einer Ader der beiden Thermolemente geschaltete Gleichspannungsquelle bewirkt einen Strom, der, wenn kein Natrium vorhanden ist, über den in den Natriumraum hineinragenden Mantel der Thermolemente zurückfließt und dort einen Spannungsabfall erzeugt. Dieser Spannungsabfall kann über die beiden freibleibenden Adern abgegriffen werden. Sind die beiden Thermolemente in Natrium eingetaucht, fließt der Strom über das Natrium, und der Spannungsabfall geht gegen Null. Somit kann diese Anordnung zur Blasendetektion benutzt werden und, wenn derartige Meßstellen hintereinander angeordnet sind, zur Verfolgung der Blasengrenzfläche verwendet werden. Abb. 42 zeigt die schematische Darstellung einer Void-Meßstelle nach dem Chen-Prinzip. Aus Abb. 43 sind die technischen Einzelheiten der Konstruktion der Chen-Sonden, wie sie in beiden Teststrecken eingesetzt wurden, zu ersehen. Über die Entwicklung dieser Sonden wird in [17] ausführlich berichtet.

Die instrumentierten Dummy-Stäbe entsprechen in ihrem Aufbau dem der Chen-Sonden. Der Unterschied besteht nur darin, daß bei dem instrumentierten Dummy-Stab anstelle der zwei Thermoelemente je Meßstelle nur ein Thermoelement je Meßstelle installiert wird und daß dieses Thermoelement in seinem Mantel isoliert ist (TI-Meßstelle).

#### 4.8 Thermoelementdurchführung und -anschluß

Die Thermoelemente der Teststrecken werden zwischen Prallplatte und Grundplatte durch Rohre herausgeführt. Diese Anordnung ist in Abb. 44 skizzenhaft dargestellt. An den Rohrenden sind die Anschlußkästen befestigt. Abb. 45 zeigt ein Foto dieser Anschlußkästen.

#### 4.9 Dynamische Druck- und Schallmessung

Zur Erfassung dynamischer Drücke wurden induktive und piezoelektrische Druckaufnehmer eingesetzt. Da ihre zulässige Betriebstemperatur beträchtlich unter der der Teststrecke liegt, mußten die Sensoren über Temperaturabklingstrecken an das Sechskantrohr angeschlossen werden. Abb. 46 zeigt die Konstruktion einer derartigen Abklingstrecke.

Die Schallsensoren wurden zum einen als Beschleunigungsaufnehmer über Koppelstäbe (vgl. Abb. 47) und zum anderen direkt an das Sechskantrohr angeschlossen. Die an die Koppelstäbe angeschlossenen Sensoren bestanden jeweils aus einem Siliziumdioxid-, Bariumtitanat- oder Lithiumniobatkristall.

Zum direkten Anschluß an das Sechskantrohr wurde im IRE ein Lithiumniobatsensor entwickelt, der bei Temperaturen bis 650 °C noch betrieben werden kann.

## 5. Verzeichnisse

### 5.1 Tabellen und Abbildungen

Tab. 1	Technische Daten
Tab. 2	Allgemeine Instrumentierungsübersicht
Abb. 1	Schematische Darstellung der Teststrecken
Abb. 2	Teststrecke 1 / Querschnitt der Teststrecke
Abb. 3	Teststrecke 1 / Zentrale Blockade
Abb. 4	Teststrecke 1 / Meßebene - 10
Abb. 5	Teststrecke 1 / Meßebene 10
Abb. 6	Teststrecke 1 / Meßebene 20
Abb. 7	Teststrecke 1 / Meßebene 40
Abb. 8	Teststrecke 1 / Meßebene 80
Abb. 9	Teststrecke 1 / Meßebene 120
Abb.10	Teststrecke 1 / Numerierungsschema der Unterkanäle
Abb.11	Teststrecke 1 / Temperaturmeßstellen an Abstandshaltergittern - Blockadegitter
Abb.12	Teststrecke 1 / Temperaturmeßstellen an Abstandshaltergittern - 1., 2. und 3. Gitter über Blockadegitter
Abb.13	Teststrecke 1 / Anordnung der Druck- und Schallmeßstellen
Abb.14	Teststrecke 2 / Querschnitt der Teststrecke
Abb.15	Teststrecke 2 / Eckblockade
Abb.16	Teststrecke 2 / Teststrecke im Montagezustand
Abb.17	Teststrecke 2 / Meßebene - 10
Abb.18	Teststrecke 2 / Meßebene 10

Abb.19	Teststrecke 2 / Meßebene	30
Abb.20	Teststrecke 2 / Meßebene	50
Abb.21	Teststrecke 2 / Meßebene	70
Abb.22	Teststrecke 2 / Meßebene	100
Abb.23	Teststrecke 2 / Numerierungsschema der Unterkanäle	
Abb.24	Teststrecke 2 / Temperaturmeßstellen an Abstandshaltergittern - Blockadegitter	
Abb.25	Teststrecke 2 / Temperaturmeßstellen an Abstandshaltergittern - 1., 2. und 3. Gitter über Blockade	
Abb.26	Teststrecke 2 / Anordnung der Druck- und Schallmeßstellen	
Abb.27	Einspeisestellen an Sechskantrohr	
Abb.28	Gaseinspeisung / Fließschema	
Abb.29	Heizstab	
Abb.30	Heizstabverlängerung	
Abb.31	Verstemmvorrichtung	
Abb.32	Prinzipskizze eines instrumentierten Heizstabes	
Abb.33	Bündelanschlußkopf	
Abb.34	WIG-Schweißpistole	
Abb.35	Fotos gefräster und erodierter Schweißlippen	
Abb.36	Wabenabstandshaltergitter	
Abb.37	Instrumentierung eines Abstandshaltergitters	
Abb.38	Ausbildung der Dichtlippen der Blockadebleche	
Abb.39	KNS-Teststrecke 2 / Abdichtung der Blockade	
Abb.40	Brennelementmischkopf	
Abb.41	Aufbau eines Dummy-Stabes	
Abb.42	Schematische Darstellung einer Void-Meßstelle	
Abb.43	Chen-Sonde	
Abb.44	Thermoelementdurchführung	
Abb.45	Thermoelementanschlußkästen	

Abb.46 Abklingstrecke

Abb.47 Koppelstab

## 6.2 Literatur

[1] S.Jacobi, W.Kramer, R.Krieg, K.Schleisiek:  
Local Failure Propagation in Liquid Metal Fast Breeder Reactors.  
Proceeding of the European Nuclear Conference, Paris, 1975

[2] F.Huber, K.Mattes, W.Till:  
KNS - der kompakte Natriumsiedekreislauf für sicherheits-  
technische Untersuchungen im Rahmen des schnellen Brüter-  
Programms.  
KFK-Nachrichten, 2/3/1976

[3] A.J.Brook, F.Huber, W.Peppler:  
Temperature Distribution and Local Boiling Behind a Central  
Blockage in a Simulated FBR Subassembly.  
Internat. Meeting on Fast Reactor Safety an Related Physics,  
Chicago 1976

[4] P.Basmer, D.Kirsch, G.F.Schultheiß:  
Phänomenologische Untersuchung der Strömungsverteilung unter  
Kühlkanalblockaden in Stabbündeln.  
KFK 1543 (1972)

[5] P.Basmer:  
Ergebnisse experimenteller Untersuchungen zur Strömungs- und  
Temperaturverteilung im Bereich lokaler Kühlkanalblockaden.  
(1976) unveröffentlicht

[6] P.Basmer:  
Weitere Ergebnisse experimenteller Untersuchungen zur Strö-  
mungsverteilung im Bereich lokaler Kühlkanalblockaden.  
(1976) unveröffentlicht

[7] D.Smidt, K.Schleisiek:  
Fast Breeder Safety Against Propagation of Local Failures.  
Nuclear Engineering and Design 40 (1977/393-402)

- [ 8 ] E.Jenes, G.Ochs:  
KNS - Teststrecke Nr. 2 / Schockversuche an einem  
Sechskantrohr.  
(1976) unveröffentlicht
- [ 9 ] T.C.Chawla, G.H.Hauser, M.A.Grolmes, H.K.Fauske:  
The Recovery of Coolant Flow Following Rapid Release of  
Fission Gas from a Postulated Multiple Pin Failure in a  
Liquid-Metal Fast Breeder Reactor Subassembly.  
Nuclear Science and Engineering, 58, 21-32 (1975)
- [ 10 ] K.Mattes, H.Weinhold:  
Entwicklung eines Verfahrens zur Injektion geringer Men-  
gen Inertgas in flüssigem Natrium durch eine Kapillare.  
(1976) unveröffentlicht
- [ 11 ] V.Casal, A.Demski, E.Graf, W.Hartmann:  
Heizstäbe zur Simulation von Brennstäben für Natrium-  
siedeexperimente Teil 1.  
KFK 2368, Januar 1977
- [ 12 ] A.Kaiser, W.Peppler:  
Steady State Boiling Experiments in a 7-Pin-Bundle.  
Meeting of the Liquid Metal Boiling Working Group,  
Risley, October 1st. to 3rd. 1975
- [ 13 ] J.Aberle, A.J.Brook, W.Peppler, H.Rohrbacher, K.Schleisiek:  
Sodium Boiling Experiments in a 7-Pin-Bundle under Flow Run  
Down Conditions.  
KFK 2378, Nov. 1976
- [ 14 ] F.Huber, K.Mattes:  
Entwicklung einer Verstemmvorrichtung zur Instrumentierung  
von Heizstäben.  
(1977) unveröffentlicht
- [ 15 ] K.Rehme:  
Widerstandsbeiwert von Gitterabstandshaltern für Reaktor-  
brennelemente.  
KFK 1205, April 1970

[ 16 ] J.C.Chen, S.Kalish, G.A.Schoener:  
Probe for Detection of Voids in Liquid Metals.  
The Review of Scientific Instruments, Vol. 30, No. 11, Nov. 1968  
S.1710-1713

[ 17 ] F.Huber, K.Mattes:  
Konstruktion und Erprobung einer Chen-Prototypsonde für  
große Bündel.  
(1976) unveröffentlicht

Einzelheit	Teststrecke mit		SNR 300 Brennelement
	zentraler Blockade (Nr. 1)	Eckblockade (Nr. 2)	
Stabzahl	169	169	169
Stabdurchmesser /mm/	6	6	6
Stabmittenabstand /mm/	7,9	7,9	7,9
hydraulischer Durchmesser /mm/ <sup>1)</sup>	5,47	5,47	5,47
freier Strömungsquerschnitt /cm <sup>2</sup> /	47,3	47,3	47,3
Blockade /%/ <sup>2)</sup>	49	21	
Zahl der beheizten Stäbe	88	90	169
maximale Leistungsdichte /W/cm <sup>2</sup> /	170	170	187
beheizte Stablänge /mm/	290	290	950
unbeheizte Stablänge Austritt /mm/	455	455	455
unbeheizte Stablänge Eintritt /mm/	385	385	1070
maximale Leistung /kW/	818	836	5660
maximale Strömungsgeschwindigkeit /m/s/	4,5	4,5	4,14
Na-Eintrittstemperatur /°C/	400 - 600	400 - 600	380
maximale Na-Austrittstemperatur /°C/	700	700	590
Abstandshaltergittertyp	Waben	Waben	Waben

Anmerkungen: 1) errechnet für einen Unterkanal

2) Verhältnis des blockierten zum gesamten freien Strömungsquerschnitt

KfK  
IRE

KNS-Teststrecken zum lokalen Sieden  
Technische Daten

Tab. 1

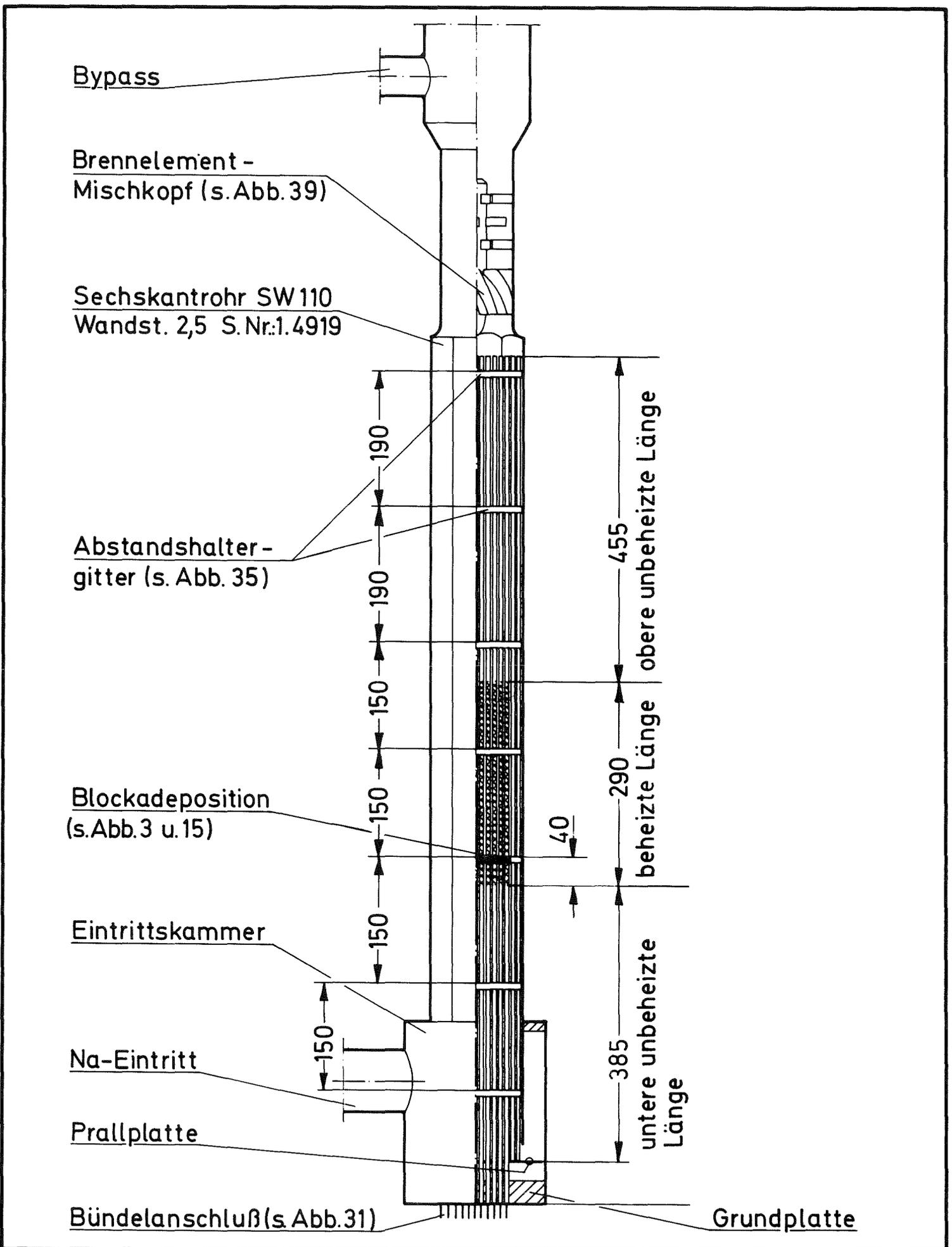
Meßgröße	Meßwertaufnehmer	Meßort	Anzahl der Meßstellen		Bemerkungen
			Teststr. 1	Teststr. 2	
Temperatur	Thermoelement $\varnothing$ 0,25, Ni-CrNi, TI	Heizstabhüllrohr	63	63	s.P. 4.1
	Thermoelement $\varnothing$ 0,5 Ni-Cr.Ni, TI	Dummy	10	14	s.P. 4.7
		Abstandshalter	21	21	s.P. 4.3
	Thermoelement $\varnothing$ 1 bzw. 0,5, NiCr-Ni/Fe - Na	Teststreckeneintritt	2	4	
Teststreckenaus- tritt		20	29		
Void	Chensonde, je Meßstelle 2 Thermoelemente $\varnothing$ 0,5, Ni-CrNi, TM	Blockadebereich	20	20	s.P. 4.7
Durchfluß	Permanentmagnet-Durchflußmesser	Teststreckeneintritt	1	1	
		Teststreckenaus- tritt	1	1	
Druck	mechanischer Druckaufnehmer (Bartonzelle)	Teststreckenbereich	1	1	statisch
	induktiver Druckaufnehmer (Kaman)		3	2	dynamisch
	piezoelektrischer Druckaufnehmer (Kistler)		3	4	
Schall	Schallsensor	Blockadebereich	3	3	Messung über Koppelstäbe
		Teststreckeneintritt	1	2	
		Teststreckenaus- tritt	1	3	

KfK  
IRE

KNS-Teststrecken zum lokalen Sieden  
Instrumentierungsübersicht

Tab. 2

7.10.77 *J. Müller*

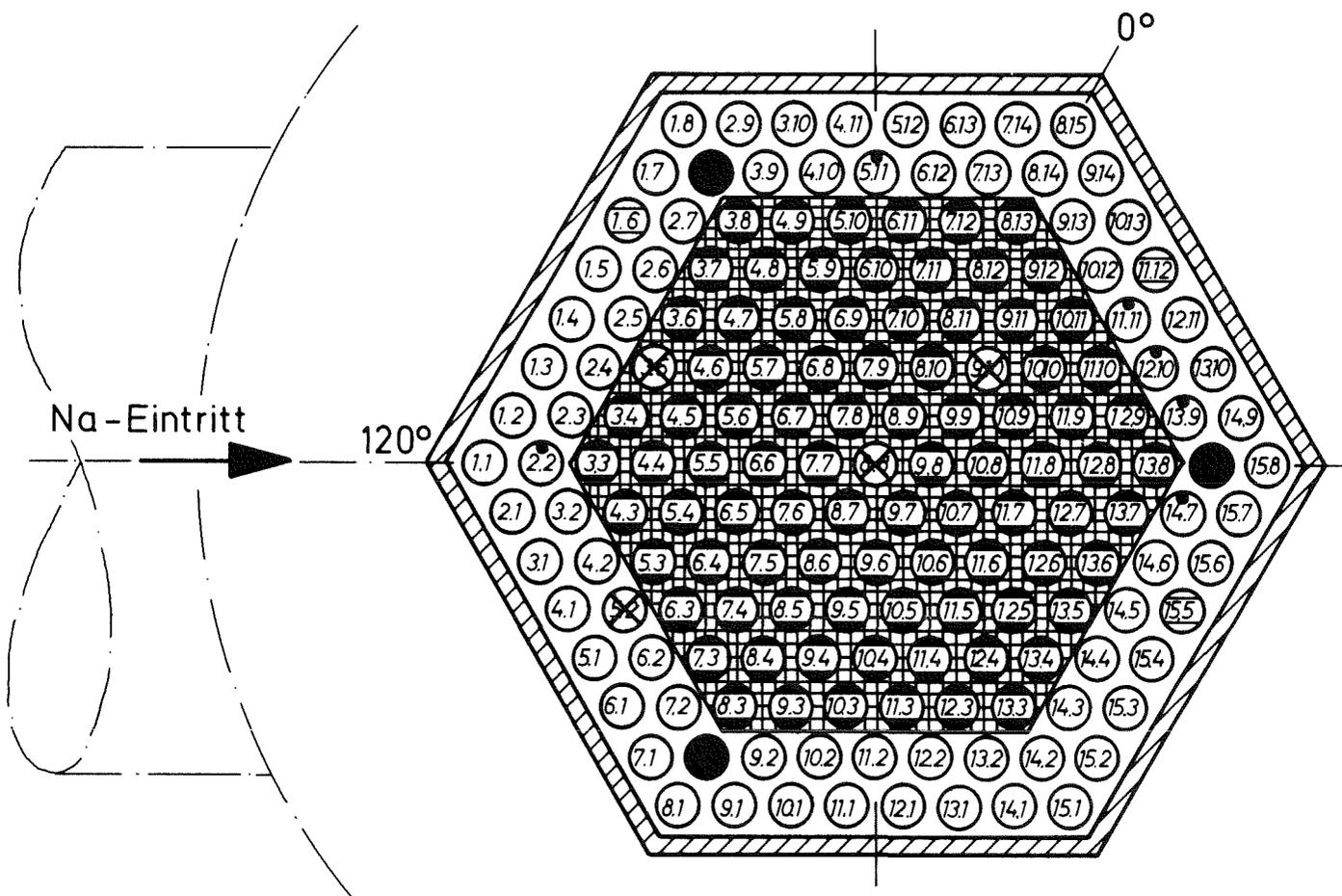


KfK  
IRE

KNS-Teststrecken zum lokalen Sieden  
Schematische Darstellung der  
Teststrecken

Abb. 1

20. 7. 77 *Handwritten signature*



- Strukturstab
- ④.6 beheizter Stab
- ②.1 unbeheizter Stab
- ⊗ Chen-Stab
- ⑤.1 instrumentierter Dummy-Stab
- ①.6 Thermoelementträgerrohr
- ⌘ Blockade

Ansicht entgegen Na-Strömung!

KfK  
IRE

KNS-Teststrecke 1

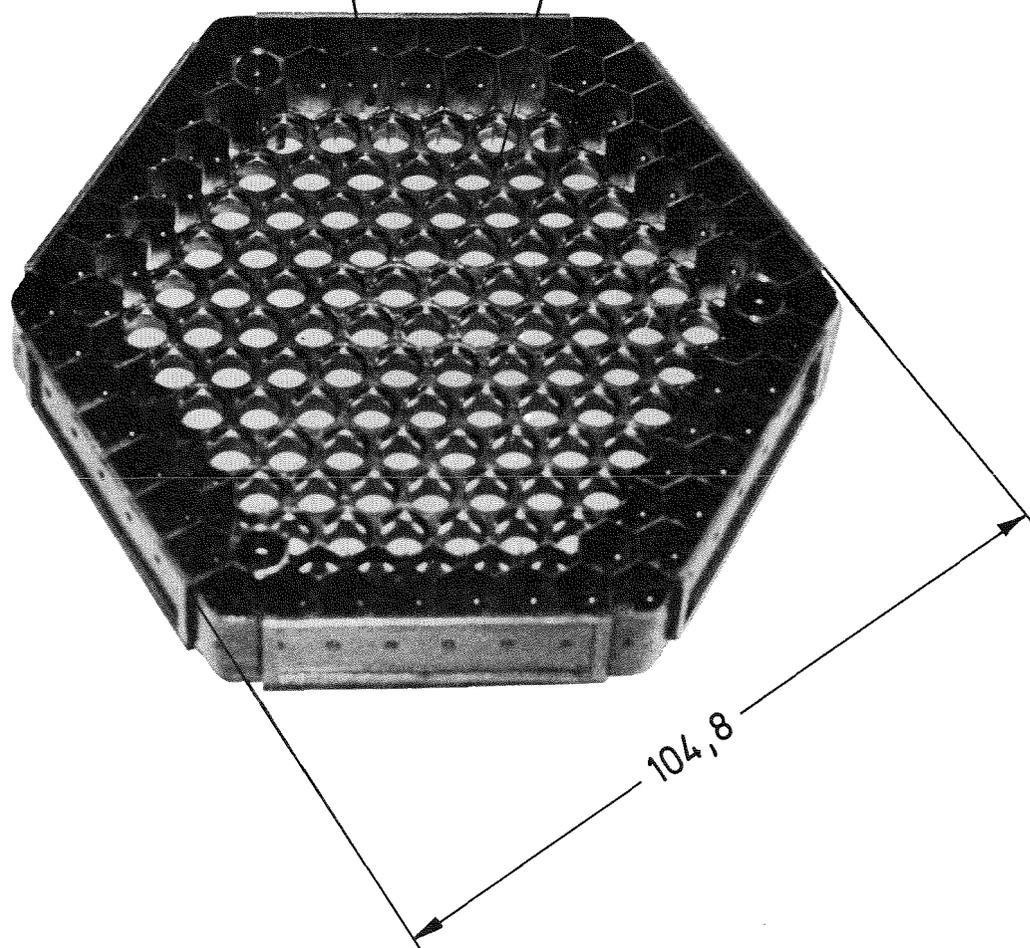
Querschnitt der Teststrecke

Abb. 2

7.7.77 *seuss*

Wabenabstandshaltergitter

Blockadeblech



104,8

KfK  
IRE

KNS-Teststrecke 1  
Zentrale Blockade

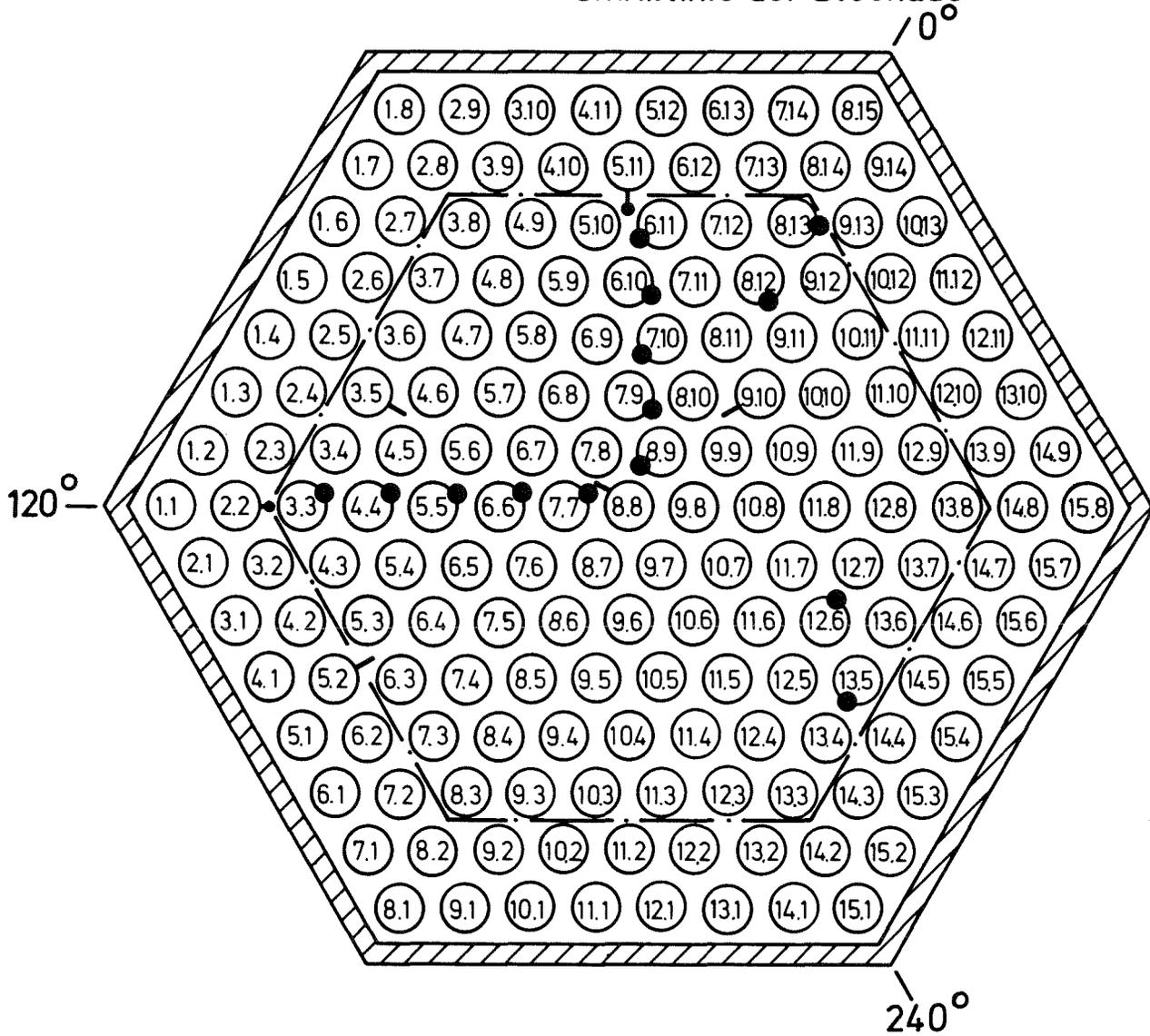
Abb. 3

5.7.77 *J. Müller*



Ansicht entgegen Na-Strömung

— · — · — · — Umrißlinie der Blockade



- ○ Meßstelle im Heizstabhüllrohr
- Voidmeßstelle
- ○ Meßstelle am Dummstab

Meßebeine 10

KfK  
IRE

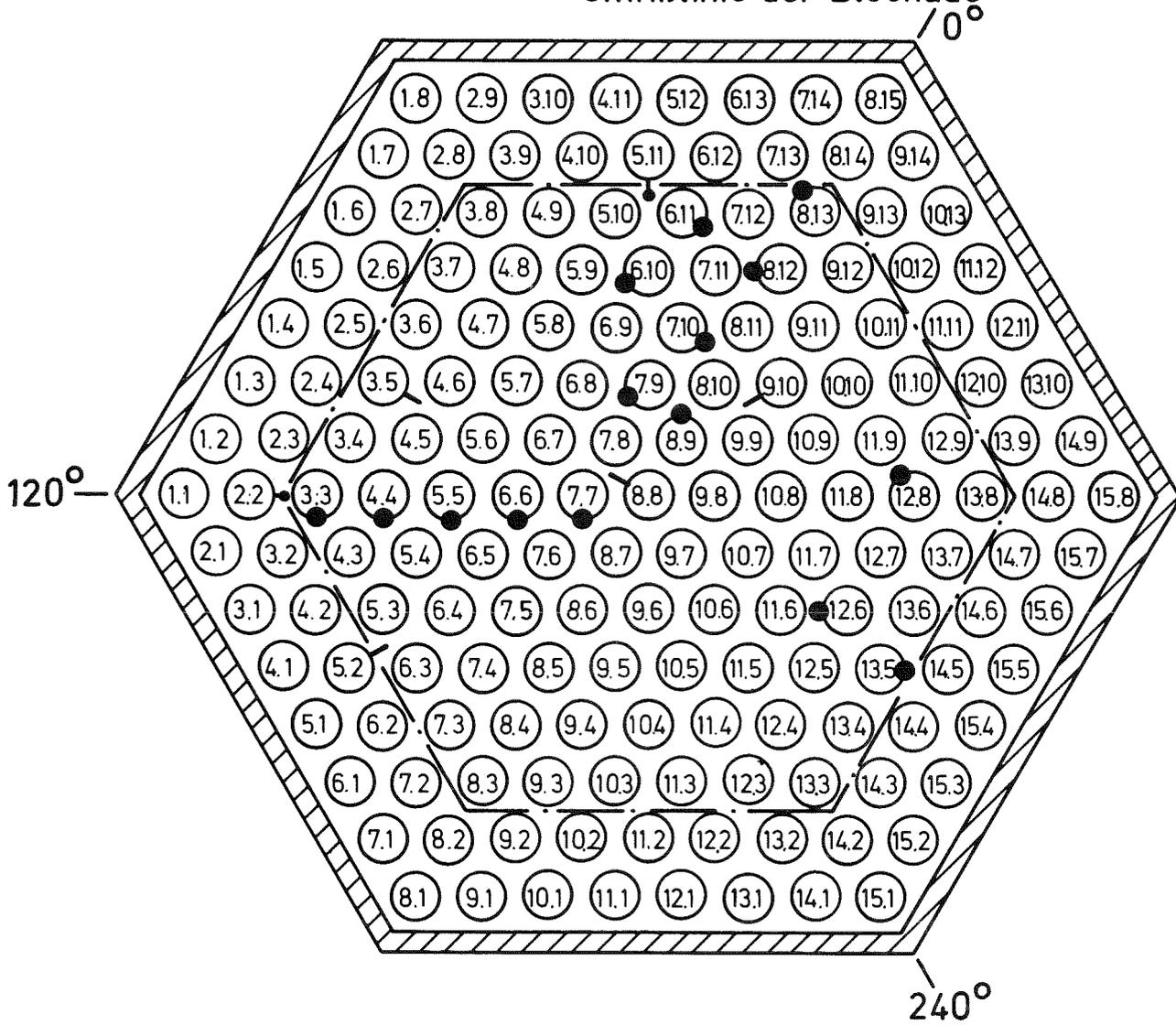
KNS-Teststrecke 1  
Void- und Temperaturmeßstellen

Abb. 5

13.8.77 J. Müller

Ansicht entgegen Na-Strömung

— · — · — · — Umrißlinie der Blockade



- ○ Meßstelle im Heizstabhüllrohr
- Voidmeßstelle
- ○ Meßstelle am Dummstab

Meßebeene 20

KfK  
IRE

KNS-Teststrecke 1  
Void- und Temperaturmeßstellen

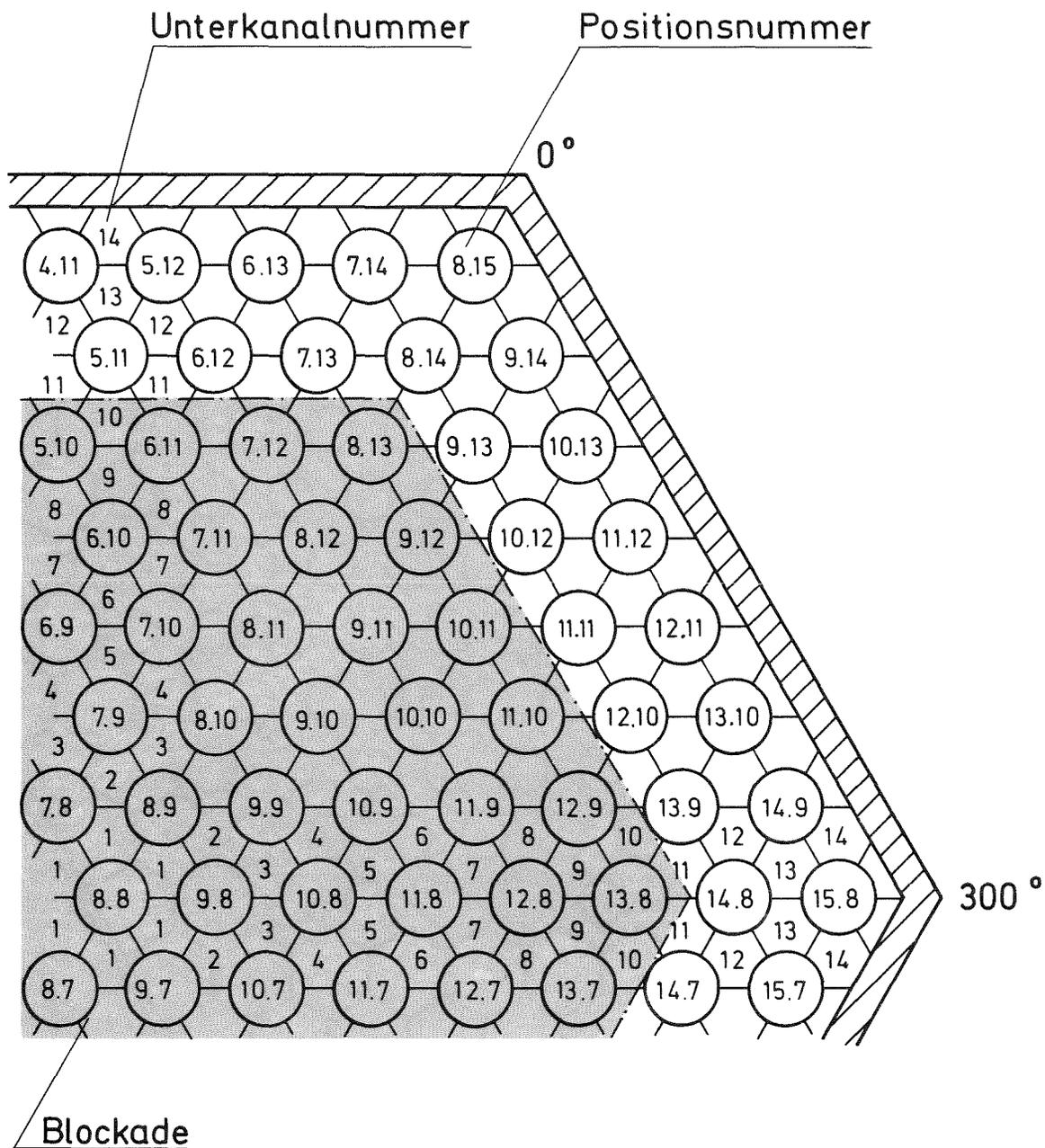
Abb. 6

19.8.77 *Handwritten signature*

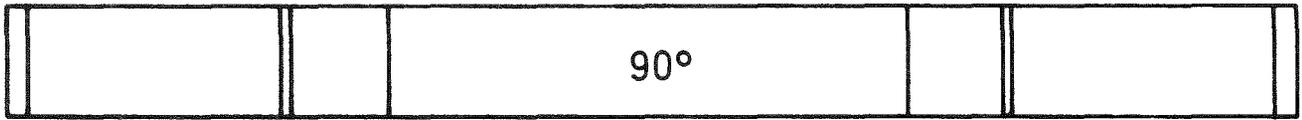




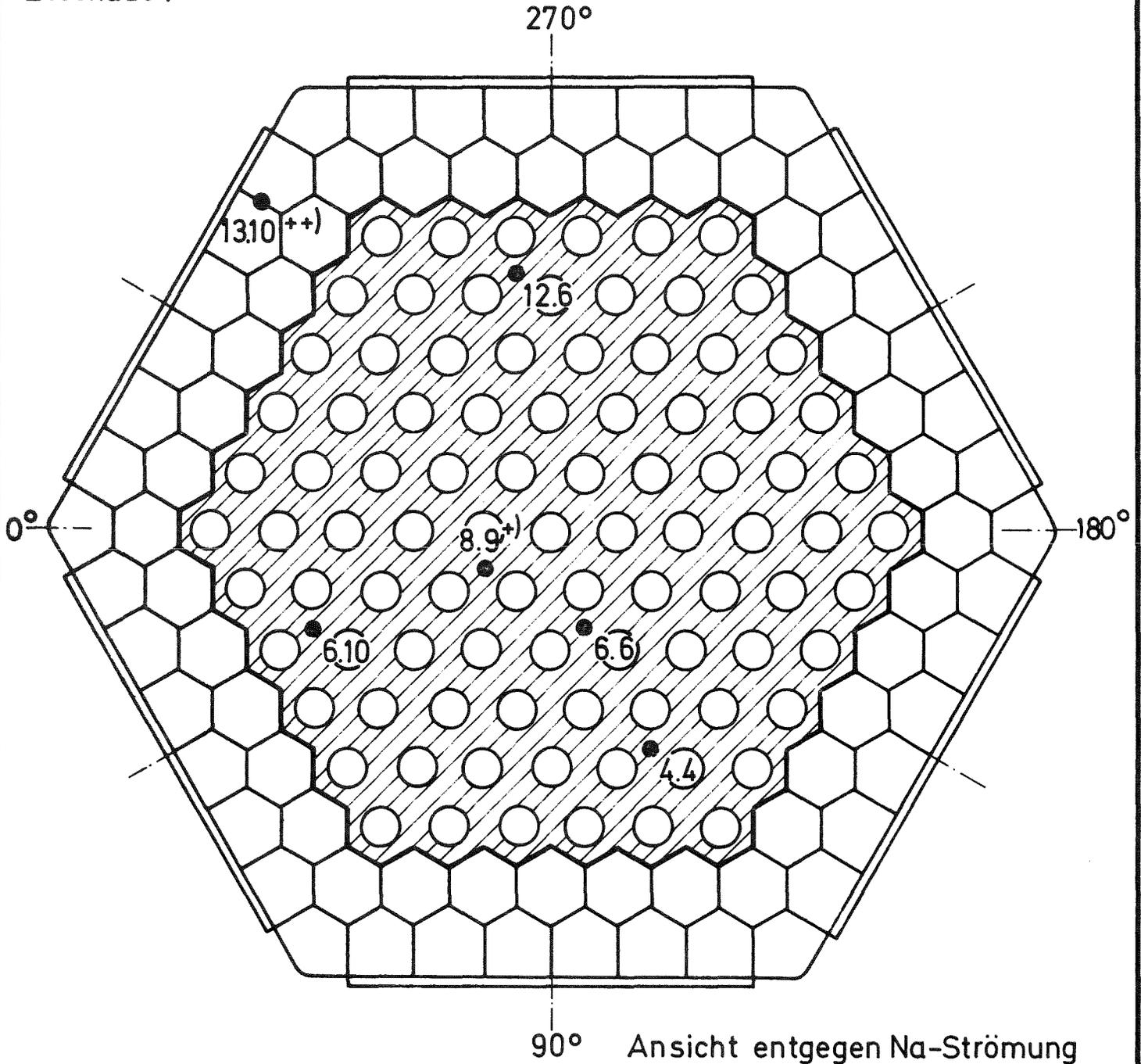




Ansicht entgegen Na - Strömung



Alle nicht besonders gekennzeichneten Meßstellen liegen 3mm über der Blockade!



- +<sup>1</sup>) je eine Meßstelle auf der Blockadenunter- und Blockadenoberseite eingebettet
- +<sup>2</sup>) Meßstelle liegt auf der Gitteroberseite

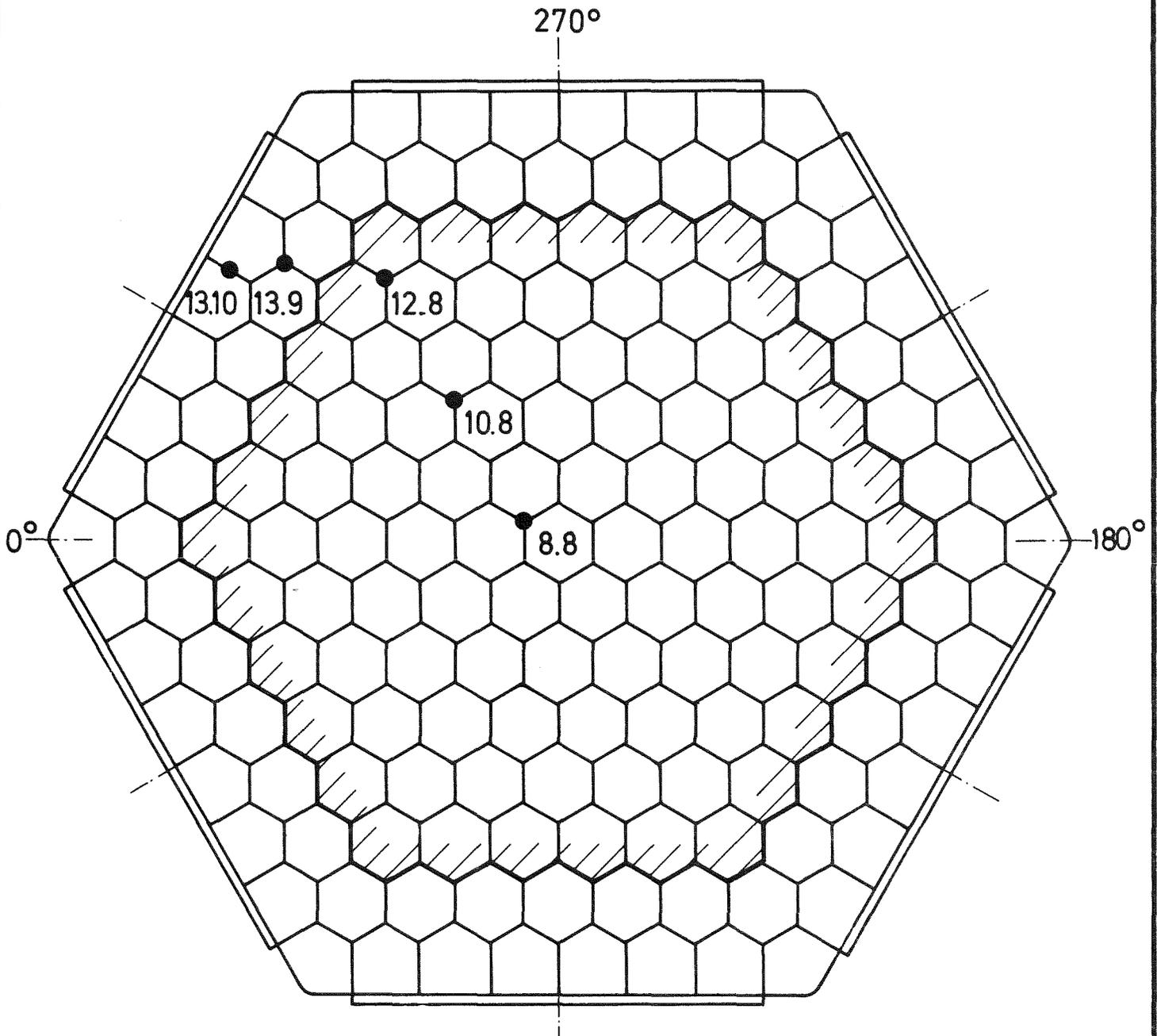
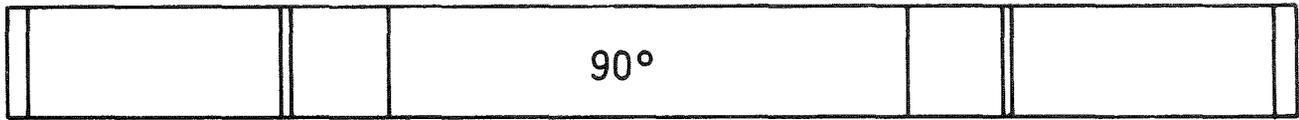
### Gitter mit Blockade

**KfK  
IRE**

KNS - Teststrecke 1  
Temperaturmeßstellen an  
Abstandshaltergittern

**Abb. 11**

7.9.77 *Janus*



Meßstellen auf  
Gitterunterseite

90° Ansicht entgegen Na-Strömung

1., 2. und 3. Gitter über Blockadegitter

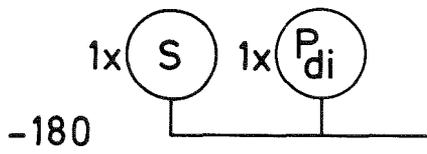
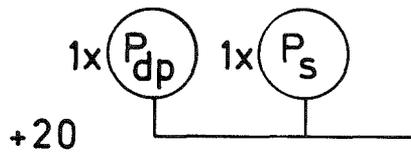
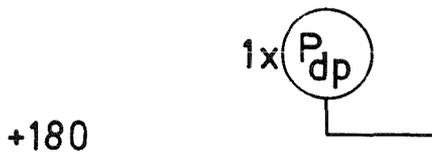
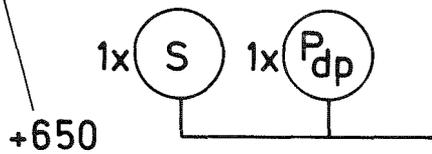
KfK  
IRE

KNS-Teststrecke 1  
Temperaturmeßstellen an  
Abstandshaltergittern

Abb. 12

7.9.77 *[Signature]*

Abstand von  
der Blockade



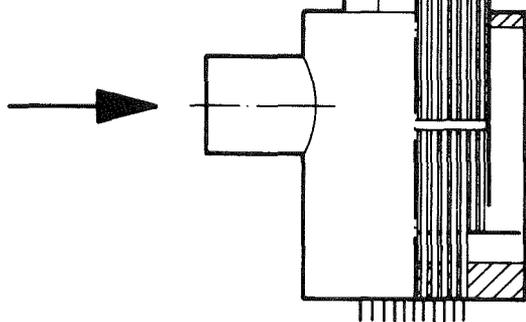
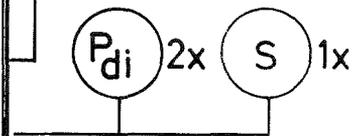
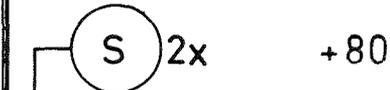
$P_s$  stat. Druck (Bartonzelle)

$P_{dp}$  dyn. Druck, piezo-  
elektrisch

$P_{di}$  dyn. Druck, induktiv

S Schallsensor

3x Anzahl der Meßstellen

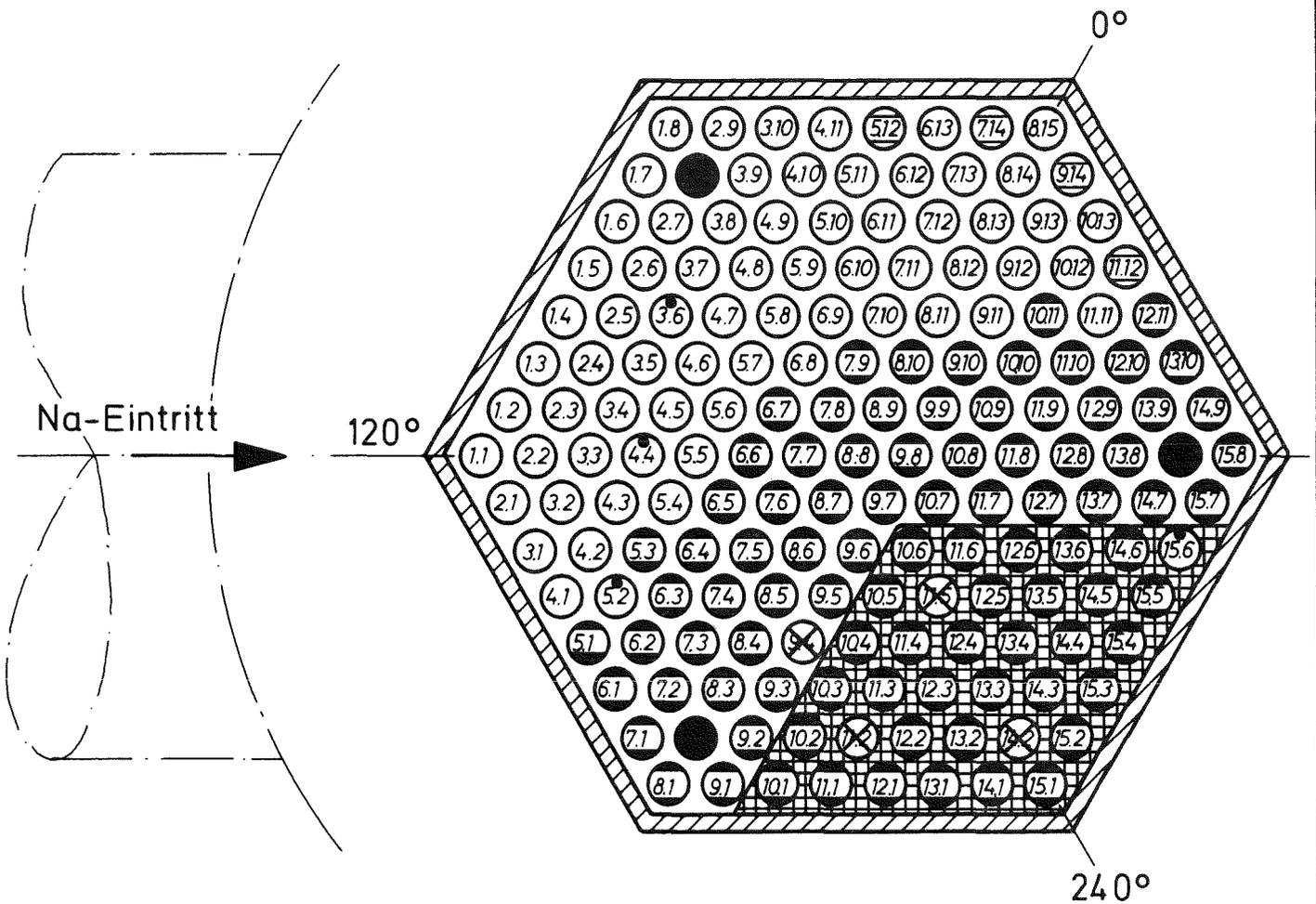


KfK  
IRE

KNS-Teststrecke 1  
Anordnung der Druck- und  
Schallmeßstellen

Abb. 13

16.9.77 *[Signature]*



- ⊙ (7.5) beheizter Stab
- (21) unbeheizter Stab
- ⊗ (9.4) Chen-Stab
- ⊙ (5.2) instrumentierter Dummy-Stab
- ⊙ (7.14) Thermoelementträgerrohr
- Strukturstab
- ⊠ Blockade

Ansicht entgegen Na-Strömung

KfK  
IRE

KNS-Teststrecke 2  
Querschnitt der Teststrecke

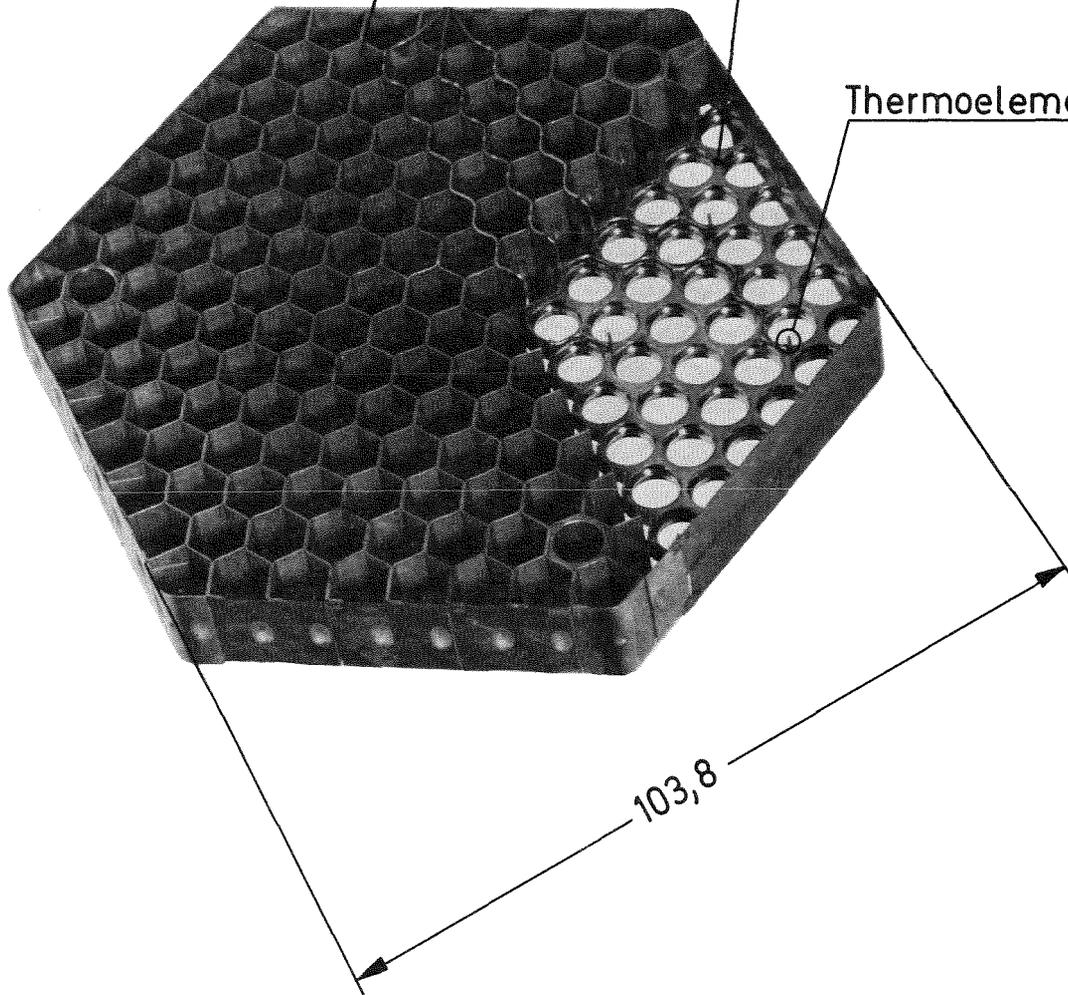
Abb. 14

11. 7. 77 *Seuß*

Wabenabstandshaltergitter

Blockadeblech

Thermoelement



103,8

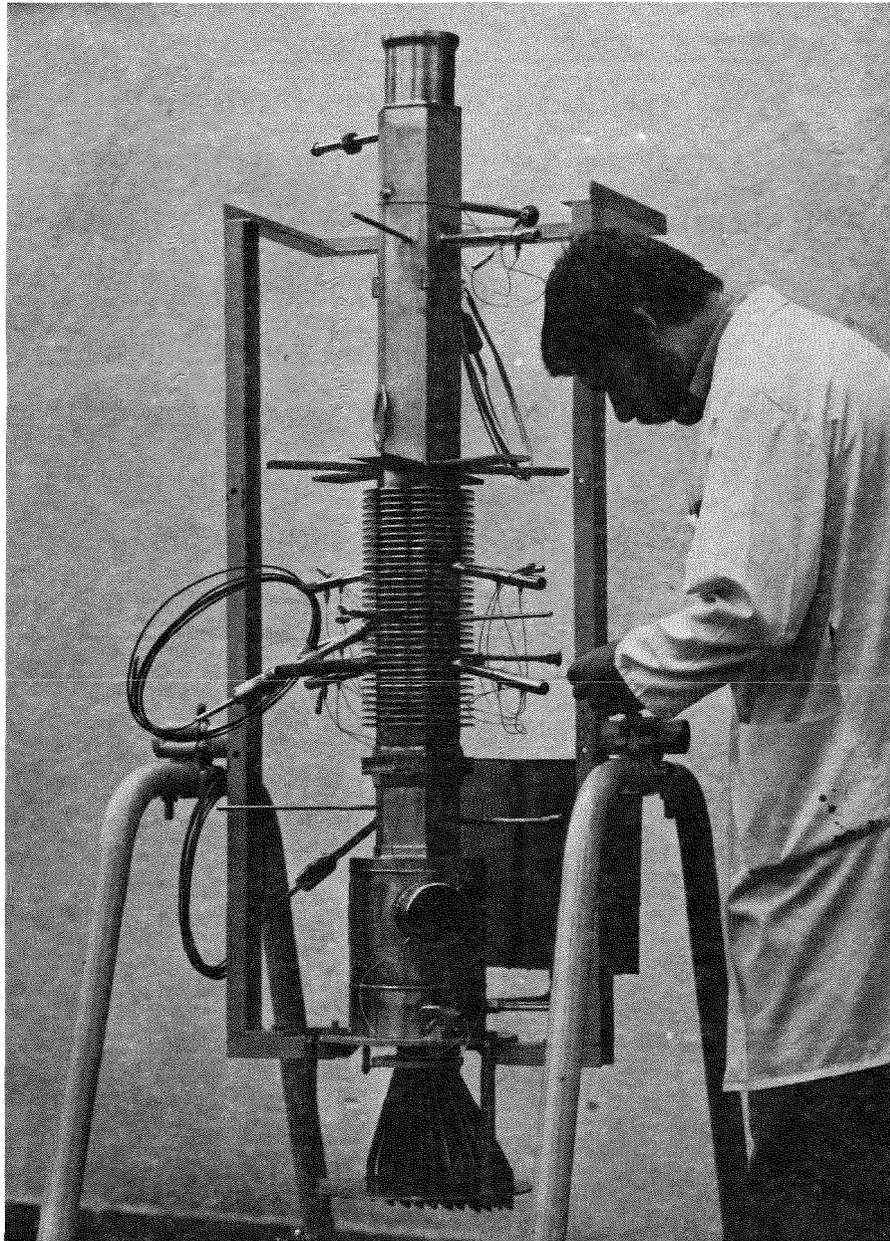
KfK  
IRE

KNS-Teststrecke 2

Eckblockade (instrumentiert)

Abb. 15

11. 7. 77 *Jens*



KfK  
IRE

KNS-Teststrecke 2  
Teststrecke im Montage-  
zustand

Abb.16

29.8.77 *Jens*



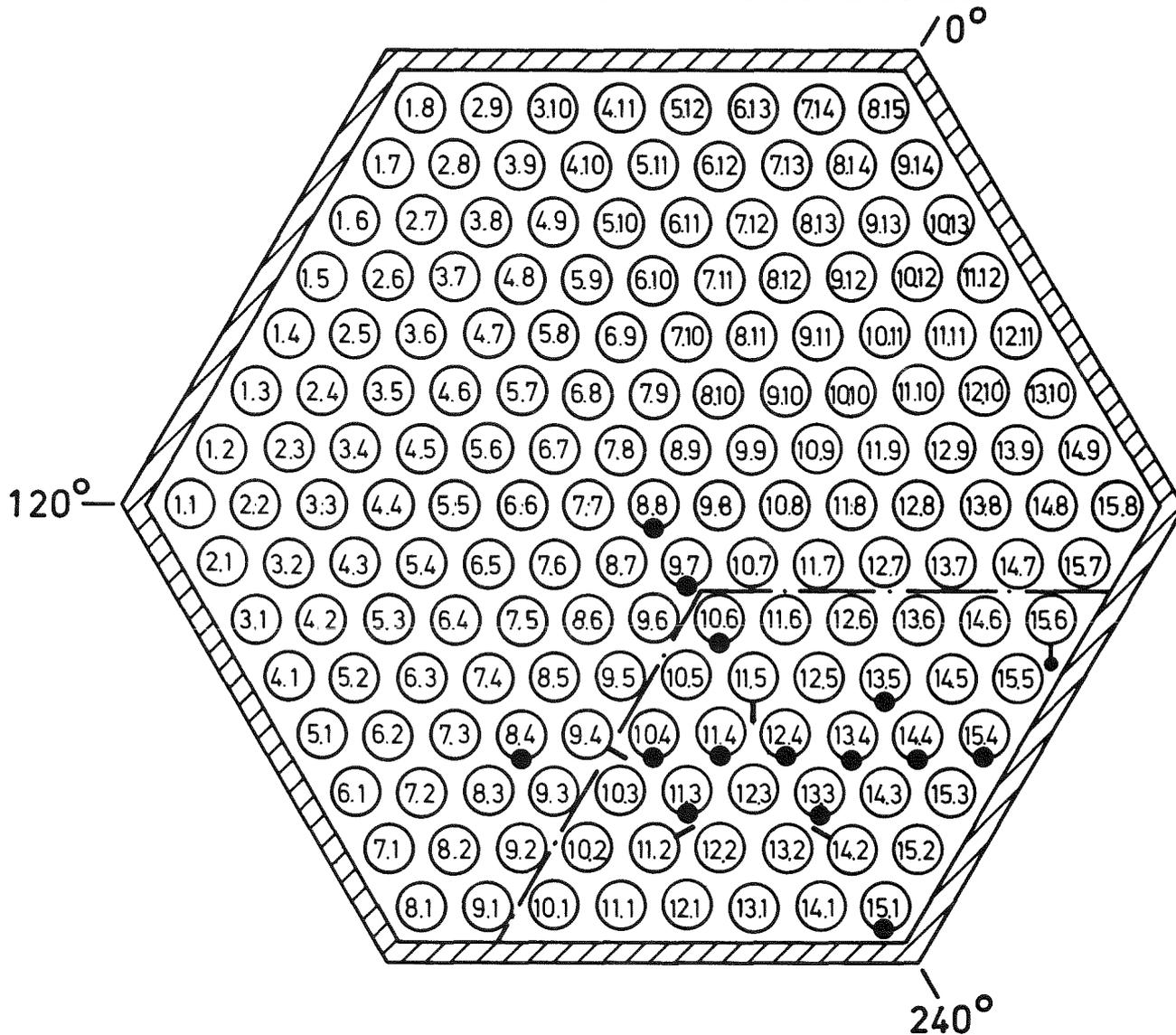






Ansicht entgegen Na-Strömung

Umrißlinie der Blockade



- Meßstelle im Heizstabhüllrohr
- Voidmeßstelle
- Meßstelle am Dummystab

Meßebeene 70

KfK  
IRE

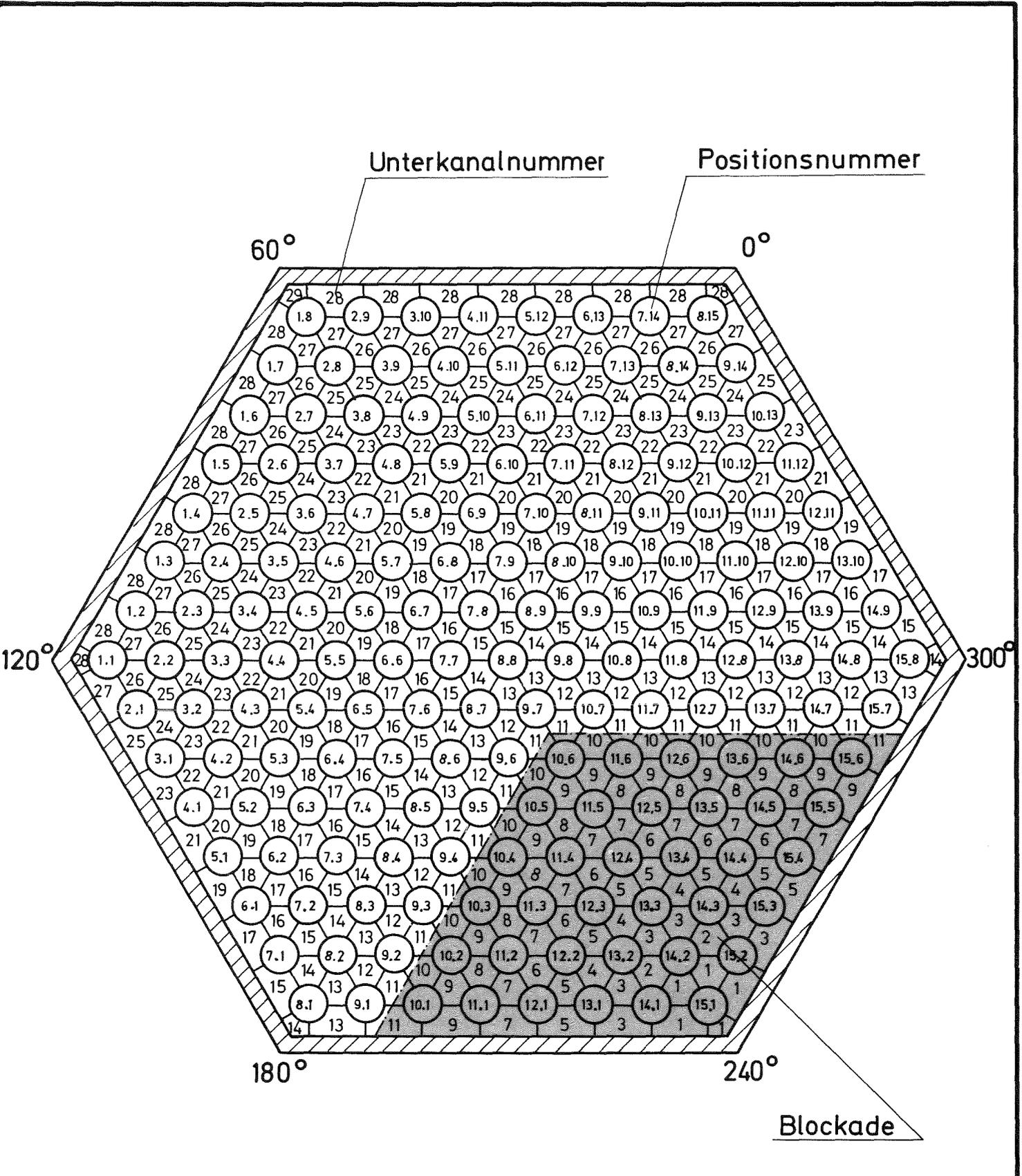
KNS-Teststrecke 2

Void- und Temperaturmeßstellen

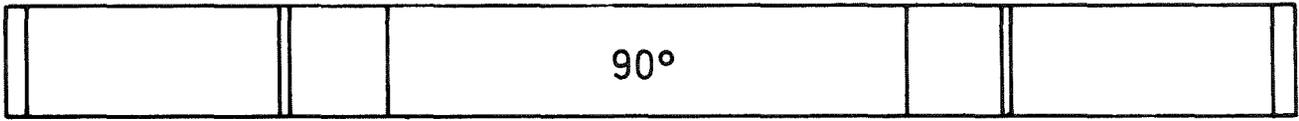
Abb. 21

31.8.77 *J. Müller*

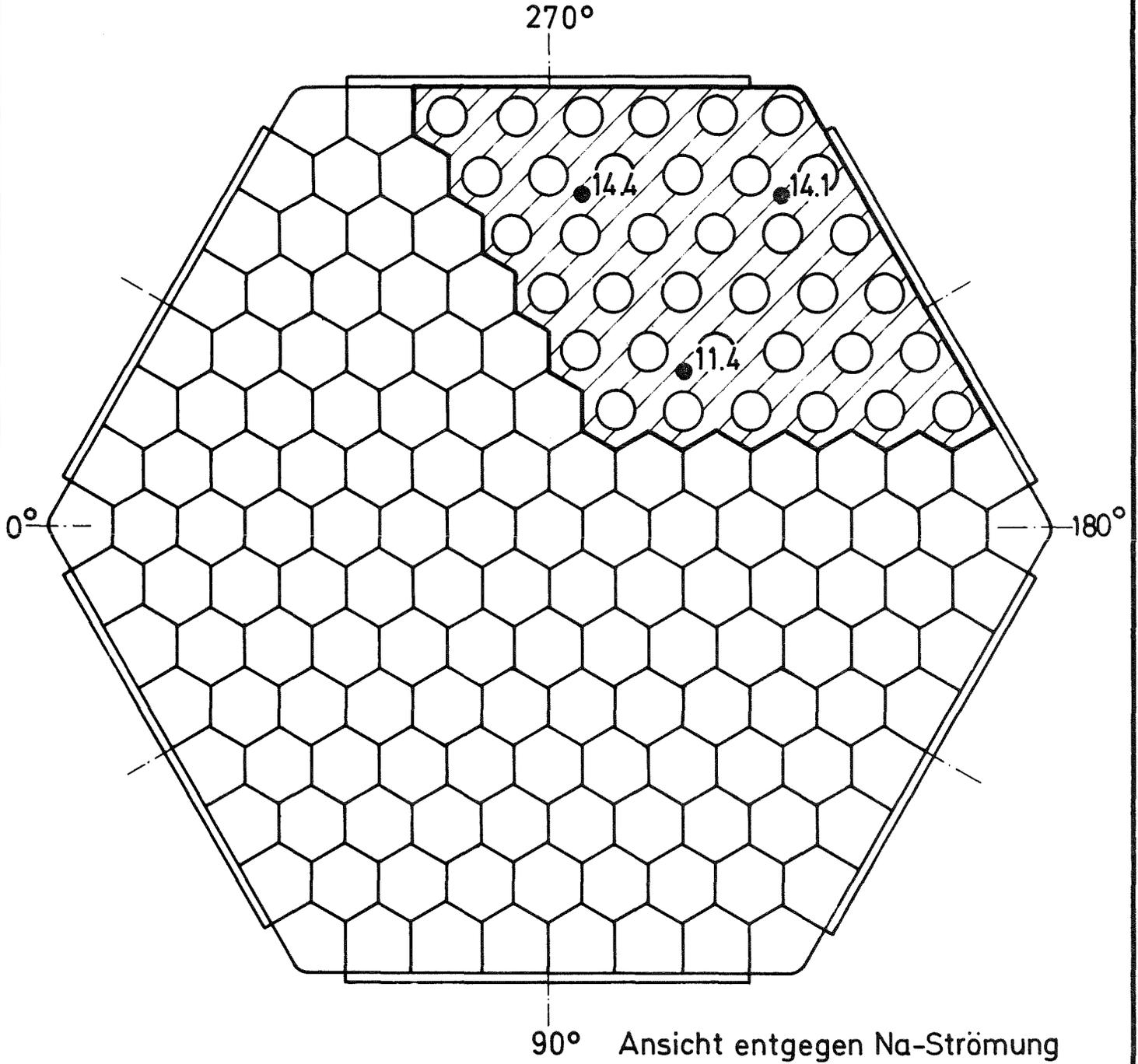




Ansicht entgegen Na - Strömung



Alle Meßstellen liegen 3mm über der Blockade



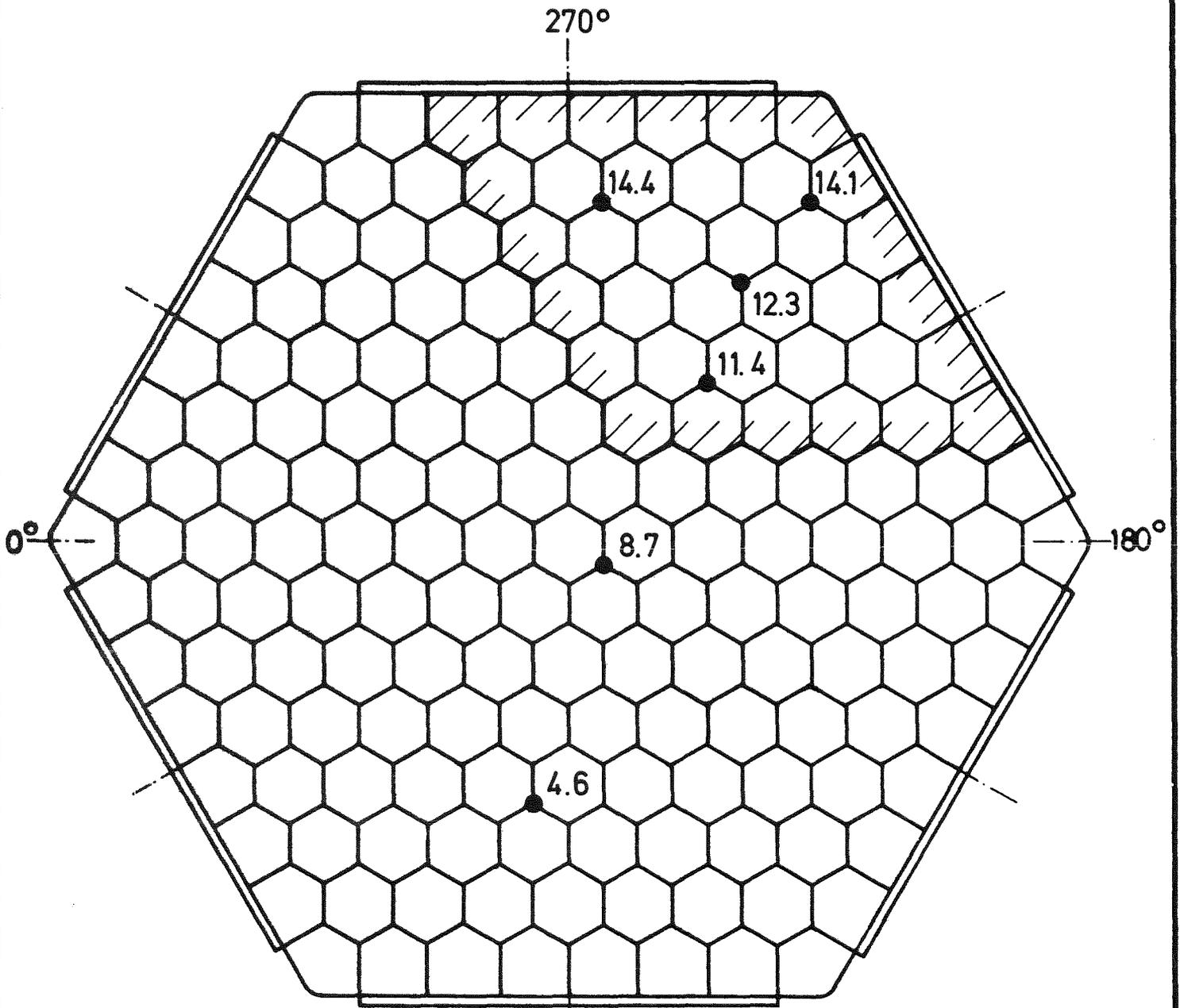
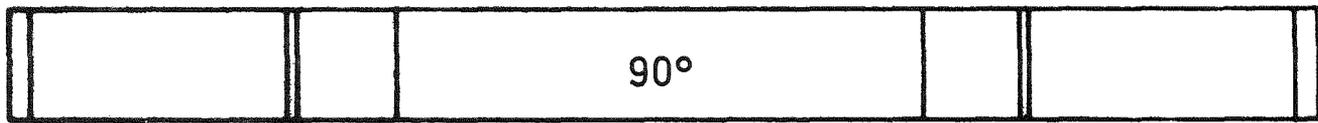
Gitter mit Blockade

KfK  
IRE

KNS - Teststrecke 2  
Temperaturmeßstellen an  
Abstandshaltergittern

Abb. 24

8.9.77 *Juss*



Meßstellen auf  
Gitterunterseite

90°

Ansicht entgegen Na-Strömung

1., 2. und 3. Gitter über Blockadegitter

**KfK**  
**IRE**

KNS-Teststrecke 2  
Temperaturmeßstellen an  
Abstandshaltergittern

**Abb. 25**

B. 9. 77 *Janet*

Abstand von  
der Blockade

+650

2x (S) 1x (P<sub>dp</sub>)

+400

1x (S)

+180

1x (P<sub>dp</sub>) 1x (P<sub>di</sub>)

+40

1x (P<sub>dp</sub>) 1x (P<sub>di</sub>) 1x (P<sub>s</sub>)

-165

2x (S)

P<sub>s</sub> stat. Druck (Bartonzelle)

P<sub>dp</sub> dyn. Druck, piezo-  
elektrisch

P<sub>di</sub> dyn. Druck, induktiv

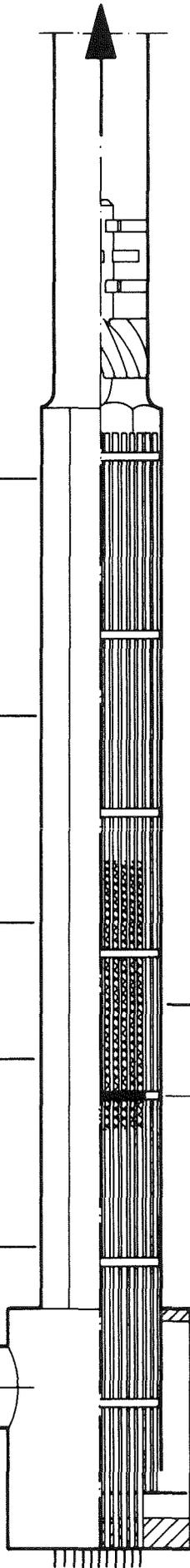
S Schallsensor

3x Anzahl der Meßstellen

(P<sub>dp</sub>) 1x (S) 3x

+100

0 — Blockade

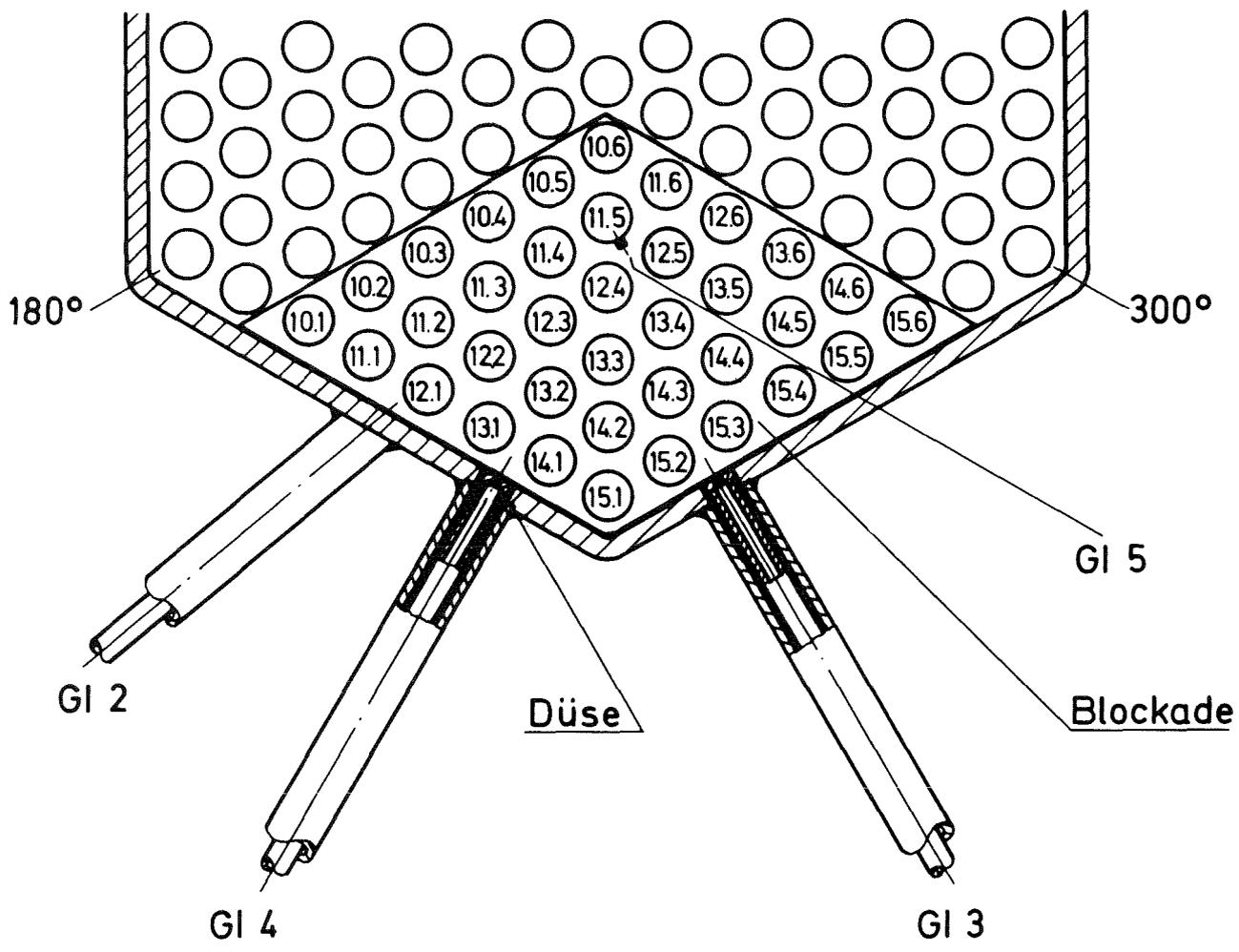


KfK  
IRE

KNS-Teststrecke 2  
Anordnung der Druck- und  
Schallmeßstellen

Abb. 26

19.9.77 *Jan*



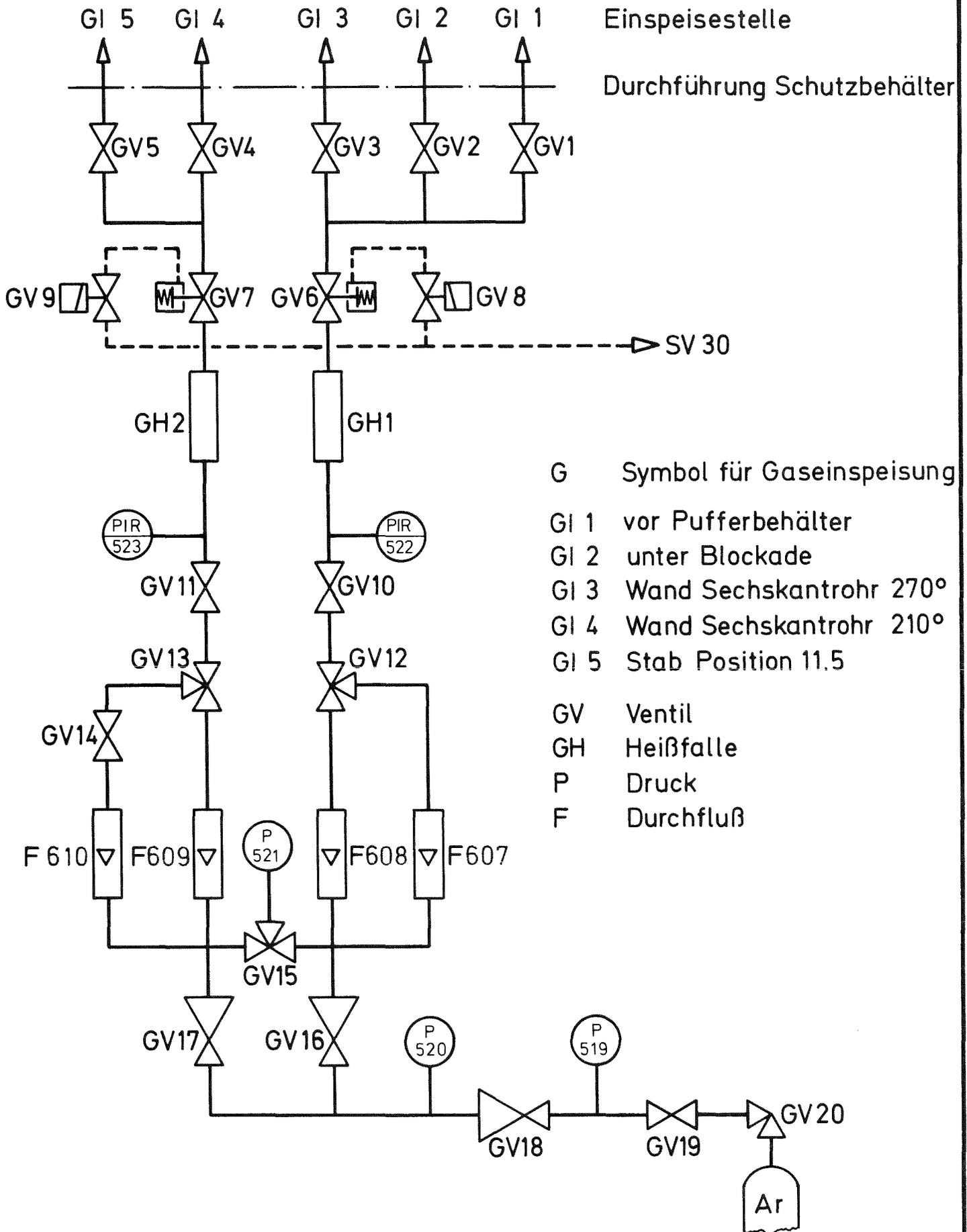
Einspeise - stelle	Lage	Düsendurchmesser	
		bei lfd. Nr.	bei lfd. Nr.
GI 2	185mm unter Blockade	0,8 mm	
GI 3	50mm über Blockade	0,5 mm	
GI 4	50mm über Blockade	0,5 mm	
GI 5	30mm über Blockade	0,6 mm	

KfK  
IRE

KNS-Teststrecke 2  
Einspeisestellen am Sechs-  
kantrohr

Abb. 27

17.11.77 *JKH*

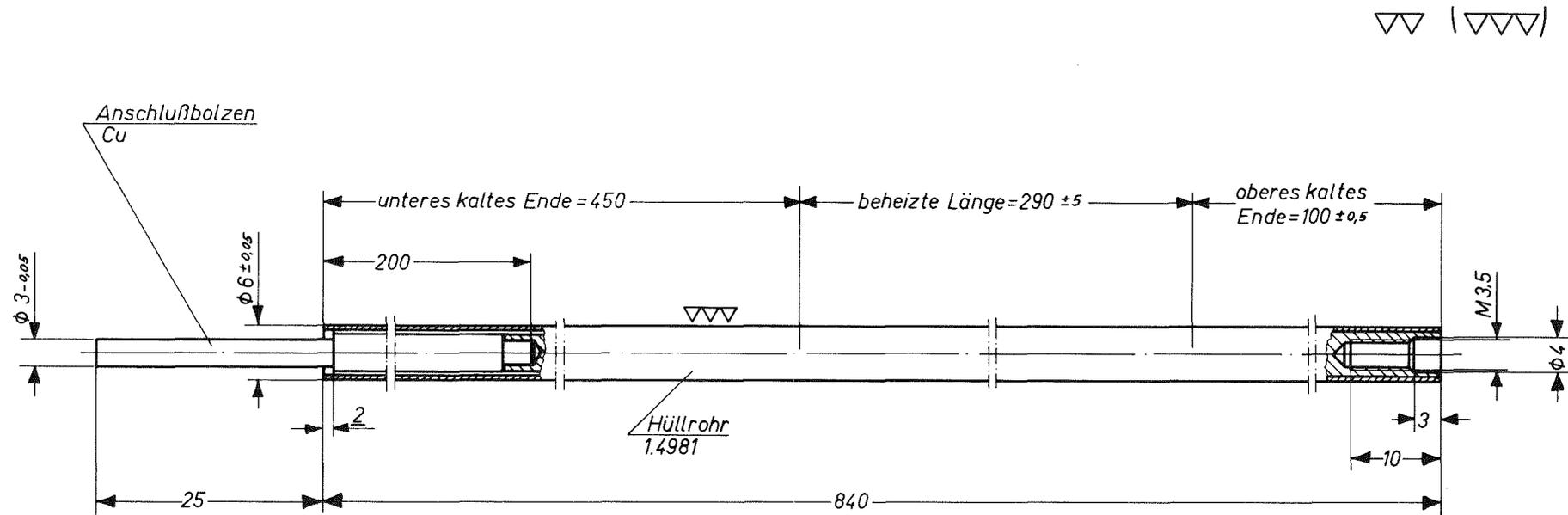


KfK  
IRE

KNS-Teststrecken zum lokalen Sieden  
Gaseinspeisung/Fließschema

Abb. 28

19.7.77 *Janus*



### Elektrische Daten:

Widerstand	$R = 0,439 \Omega$
Nennleistung	$P = 9,29 \text{ kW}$
Leistungsdichte bei Nennleistung	$q = 170 \text{ W/cm}^2$
Nennstrom	$I = 145,5 \text{ A}$
Nennspannung	$U = 63,9 \text{ V}$

Die elektrischen Daten wurden mit Hilfe des bei Raumtemperatur gemessenen Widerstandes der Heizstäbe errechnet; sie ändern sich bei hoher Temperatur nur unwesentlich.

KfK  
IRE

KNS-Teststrecken zum lokalen Sieden  
Heizstab

Abb. 29

4.10.77 *Janet*

KfK  
IRE

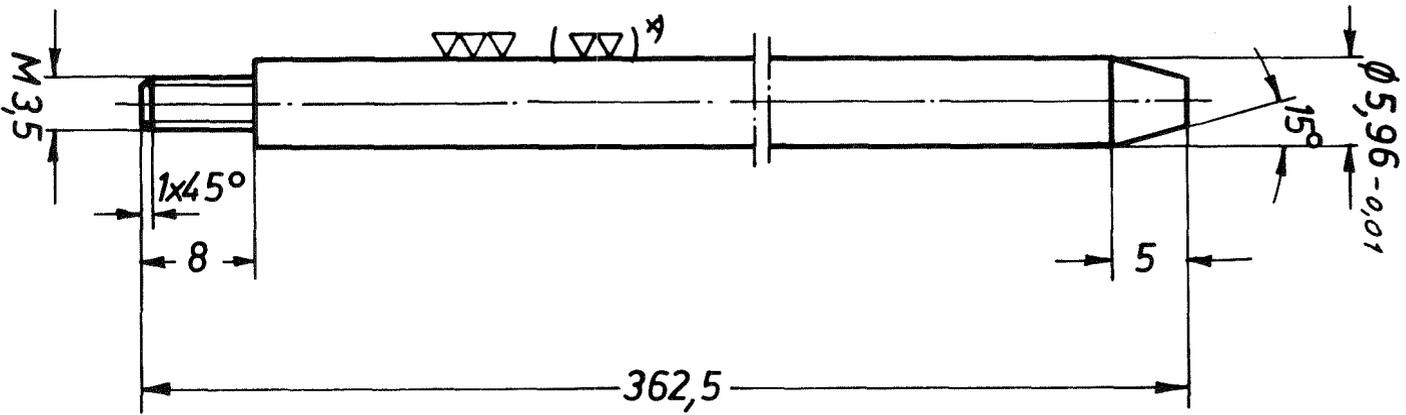
KNS-Teststrecken zum lokalen Sieden  
Heizstab-Verlängerung

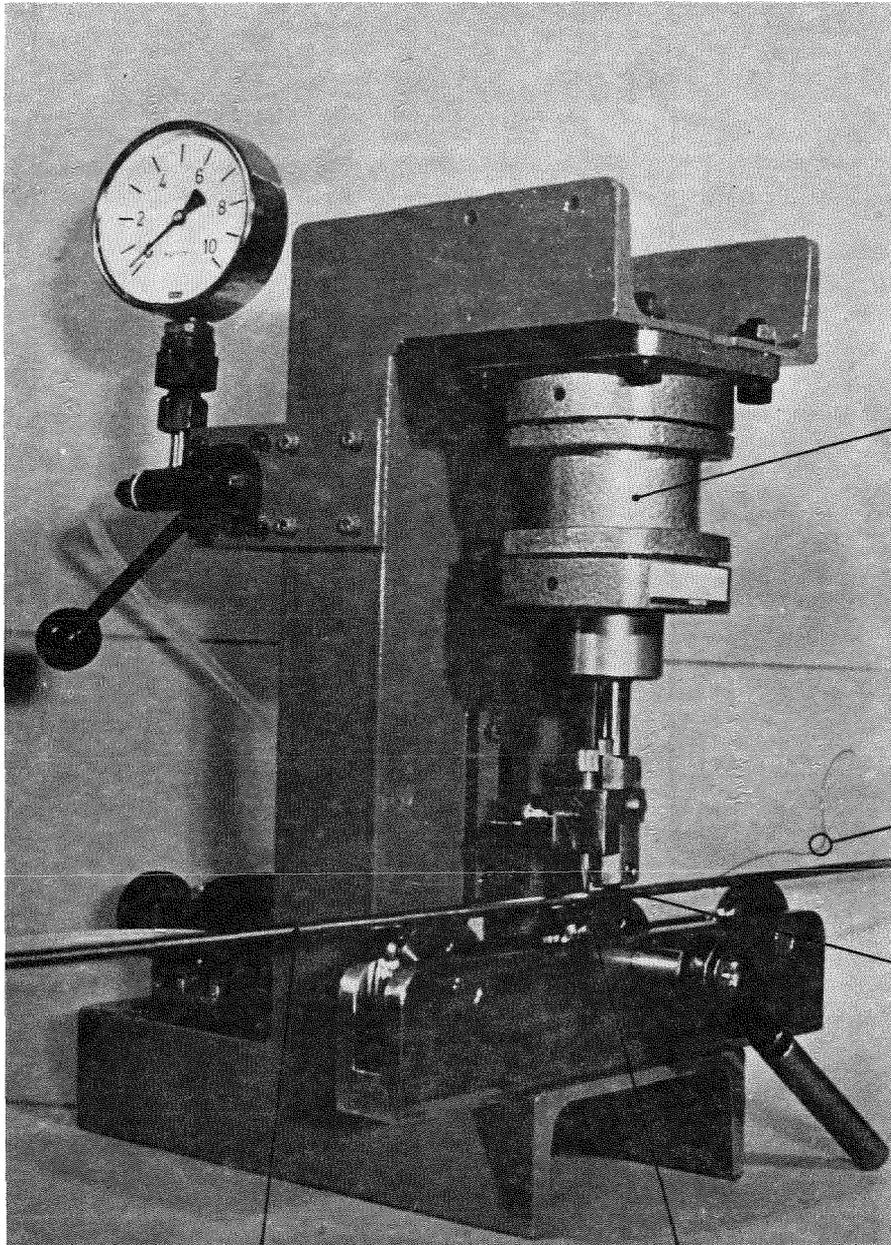
Abb. 30  
21.9.77 *Janus*

x) Zur Fertigung ist Rundmaterial  $\phi 6$  DIN 671-1.4571 zu verwenden.  
Wenn es das Istmaß noch erlaubt, ist die Heizstab-Verlängerung  
spitzenlos auf  $\phi 5,96 \pm 0,01$  zu schleifen.

M 2:1

$\nabla \nabla (\nabla \nabla \nabla)$





Pneumatik-  
zylinder

Thermoelement

Rändelrolle

Heizstab

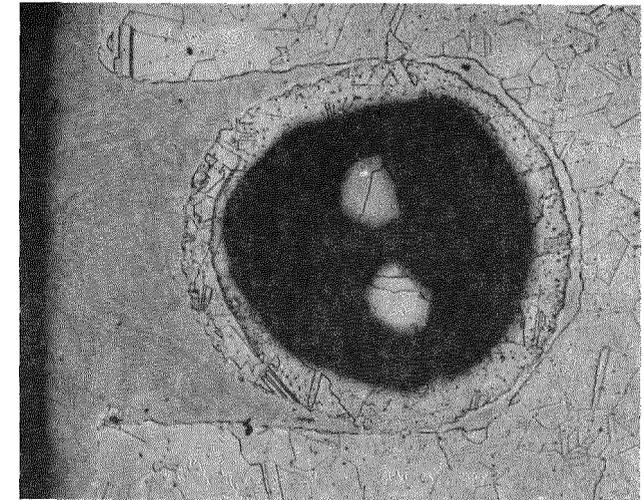
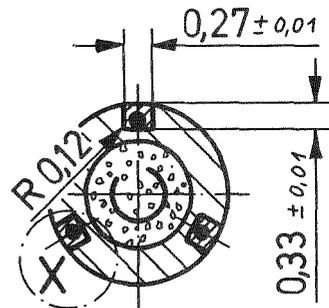
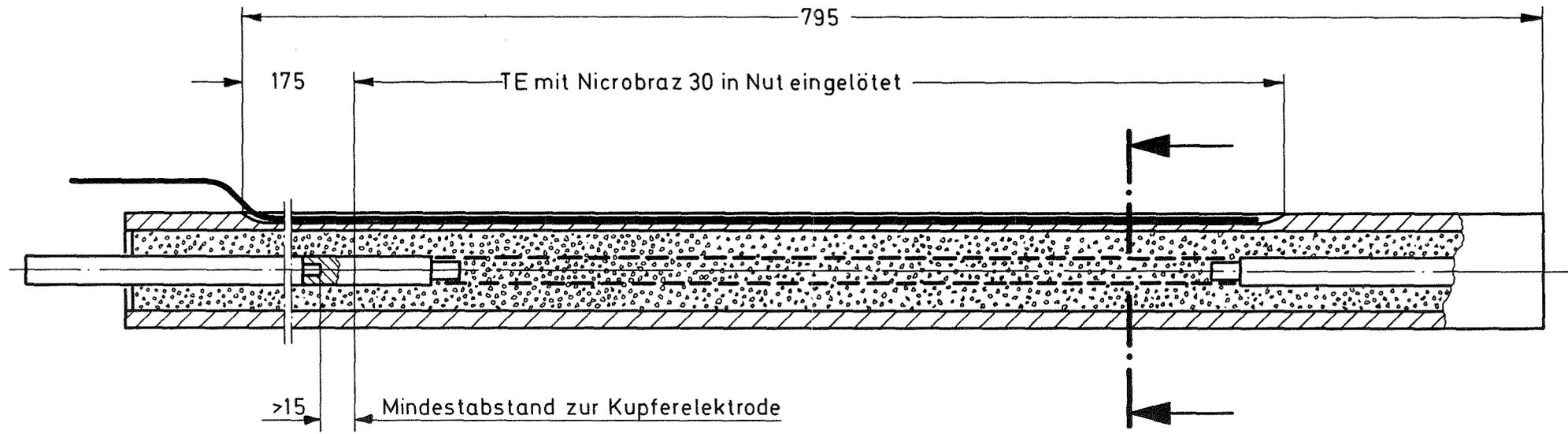
Gegenrolle, treibend

KfK  
IRE

KNS-Teststrecken zum lokalen Sieden  
Verstемmvorrichtung

Abb. 31

27.9.77 *Spull*



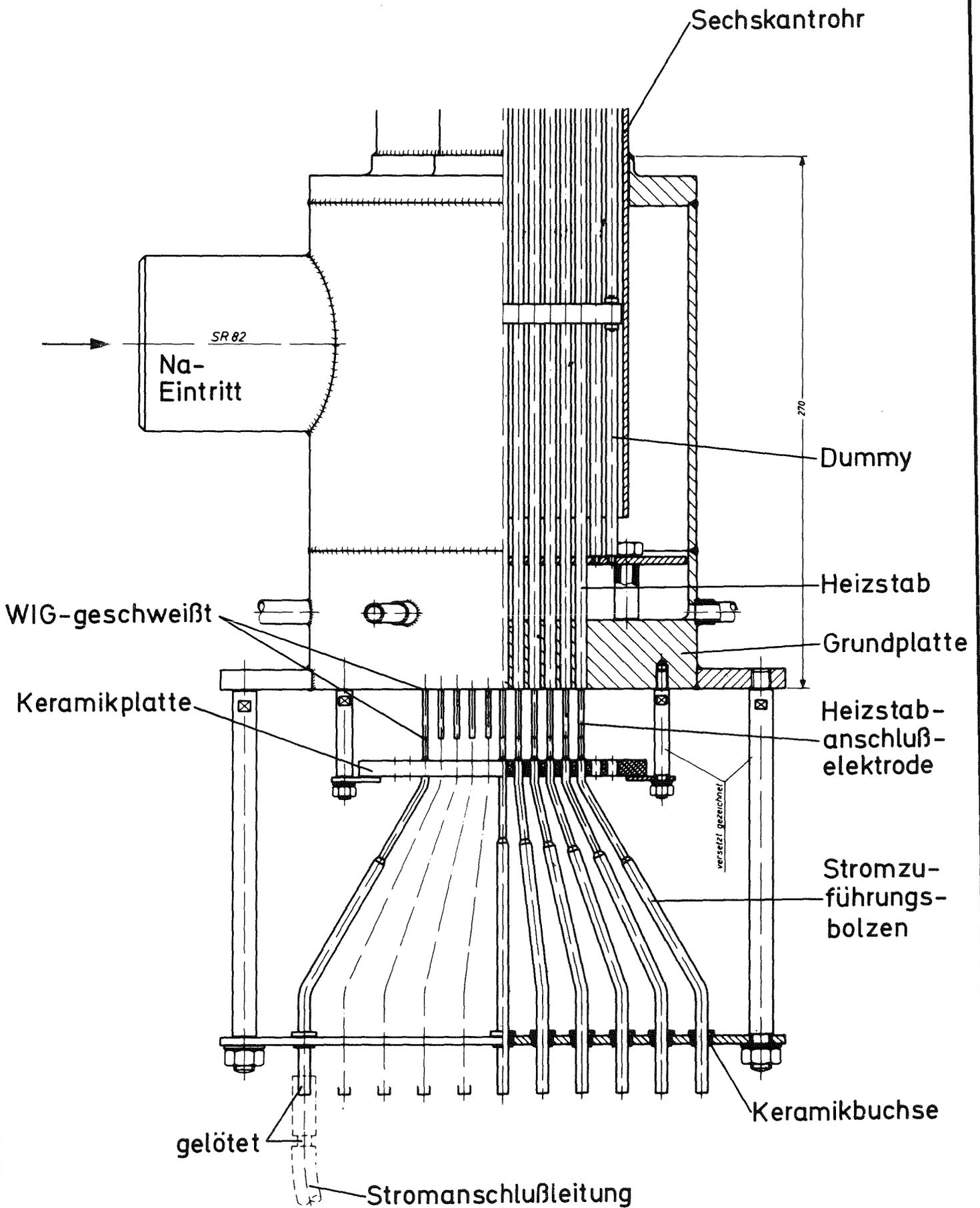
Detail X 200:1

KfK  
IRE

KNS-Teststrecken zum lokalen Sieden  
Prinzipskizze eines instrumentierten Heizstabes

Abb. 32

16.3.77 *Jewel*

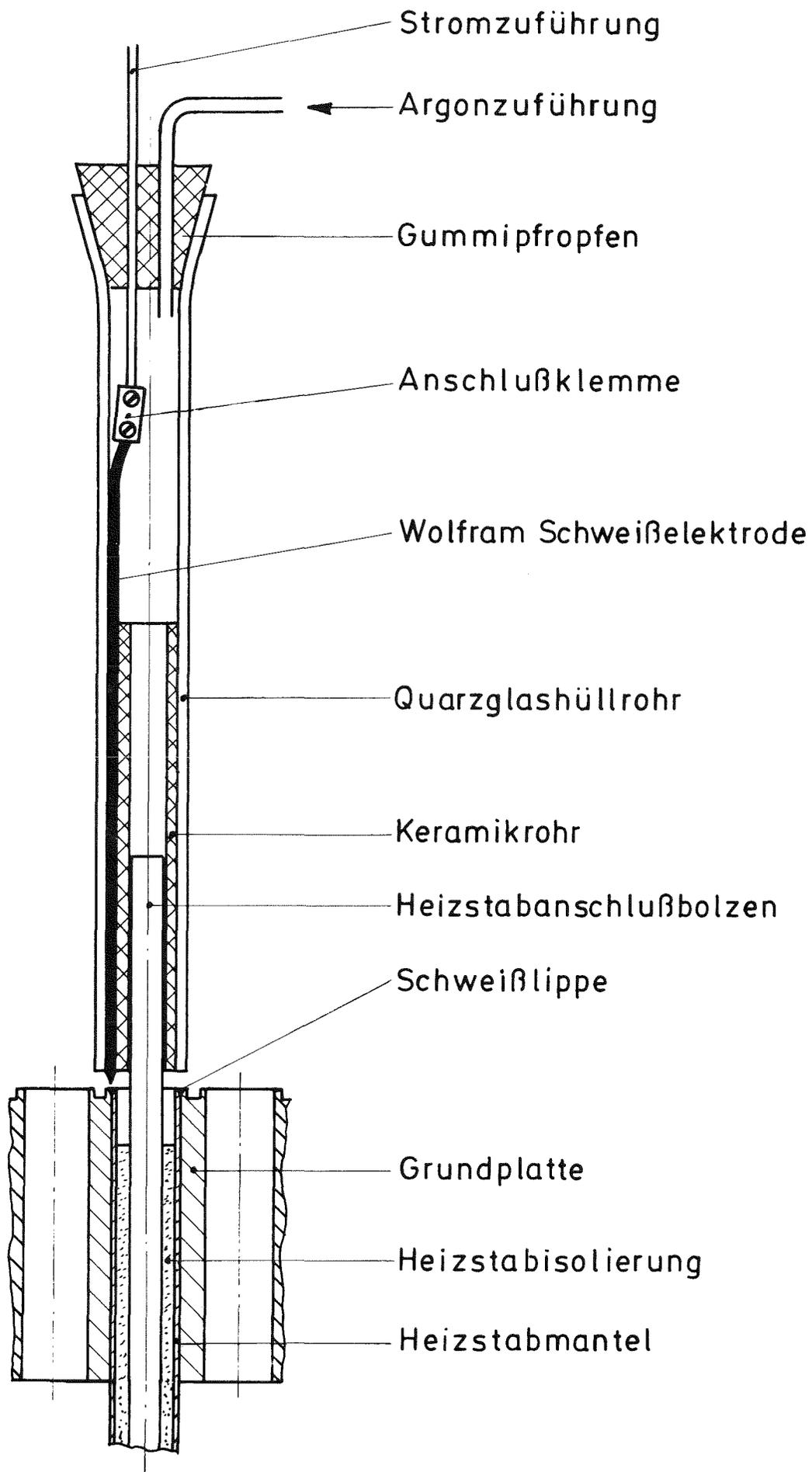


KfK  
IRE

KNS-Teststrecken zum lokalen Sieden  
Bündelanschlußkopf

Abb. 33

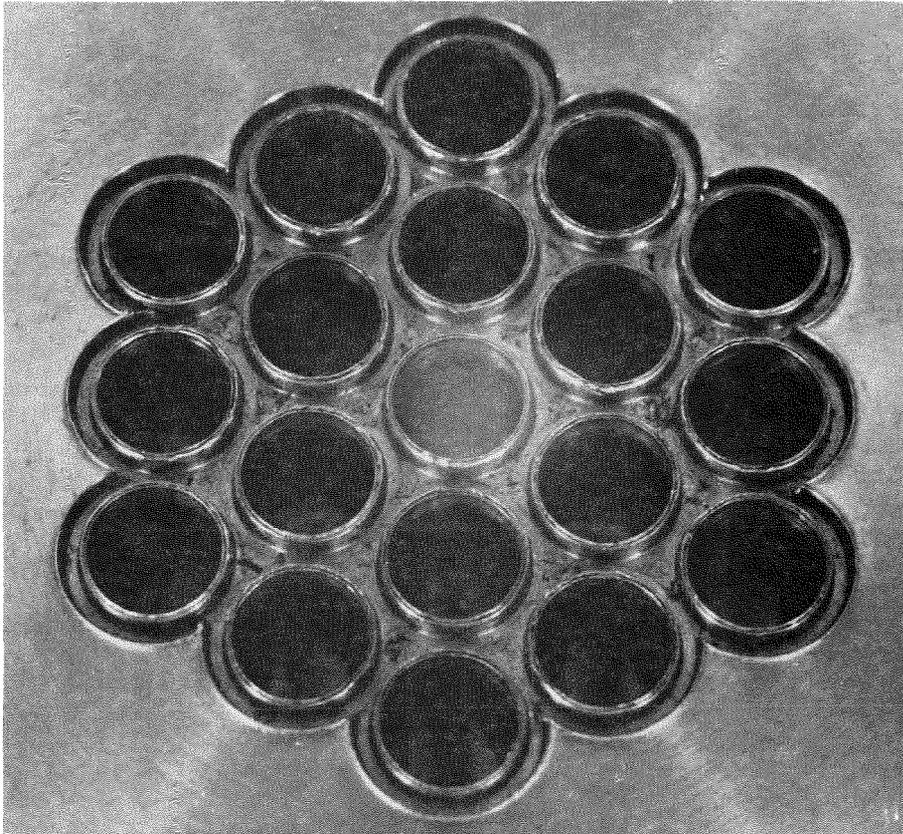
13.6.77 *Stuss*



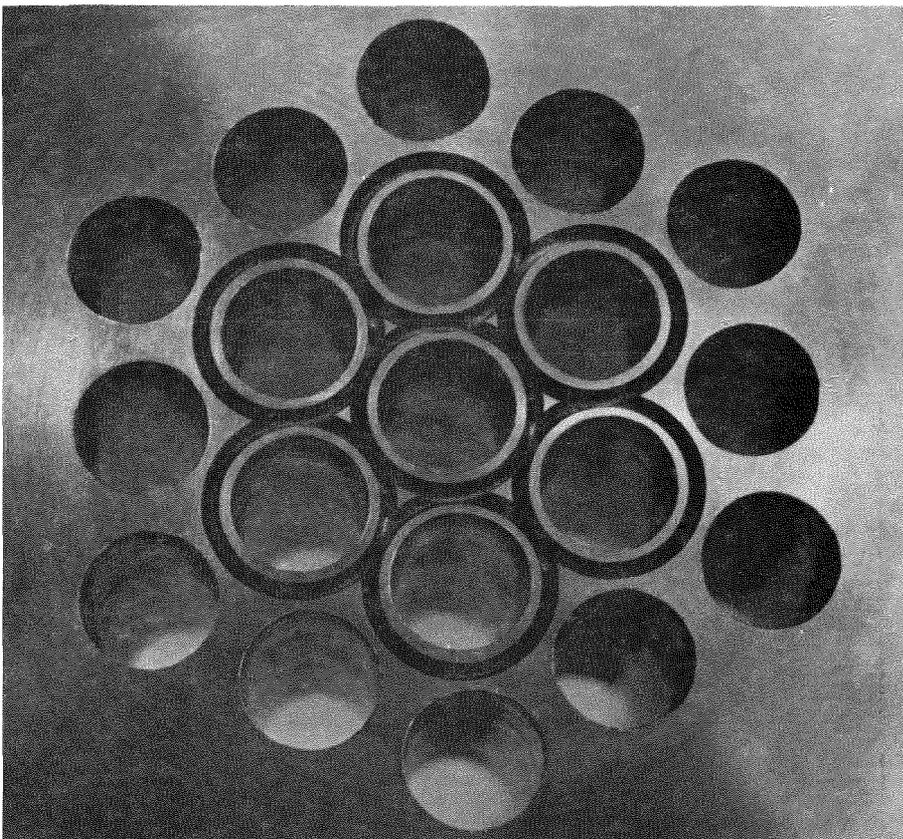
**KfK**  
**IRE**

KNS-Teststrecken zum lokalen Sieden  
**WIG-Schweißpistole**

**Abb. 34**



gefräste  
Lippen



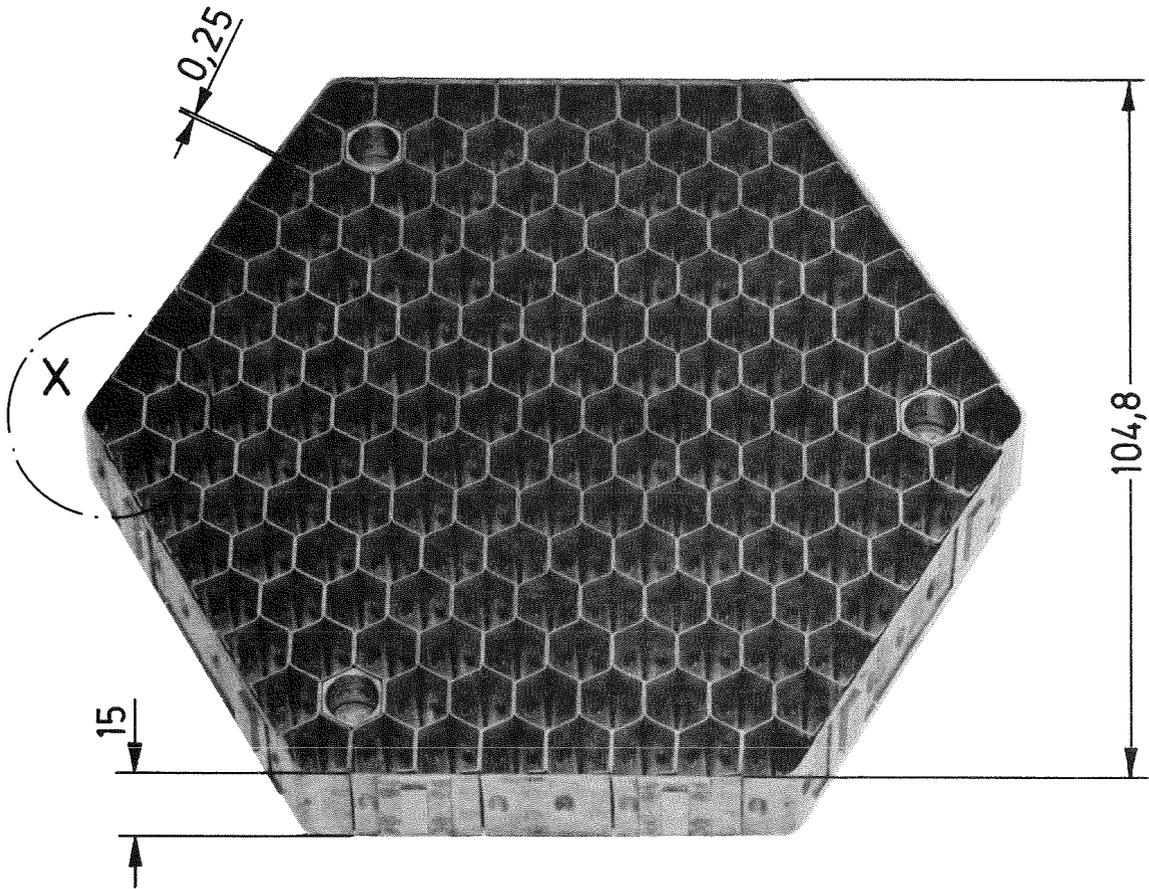
erodierte  
Lippen

KfK  
IRE

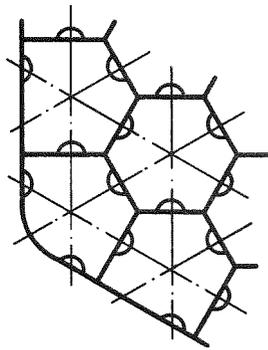
KNS-Teststrecken zum lokalen Sieden  
Fotos gefräster und erodierter  
Schweißlippen

Abb. 35

28.4.77 *Jank*



Werkstoff: Acier SC 2108 W  
(1.4981)



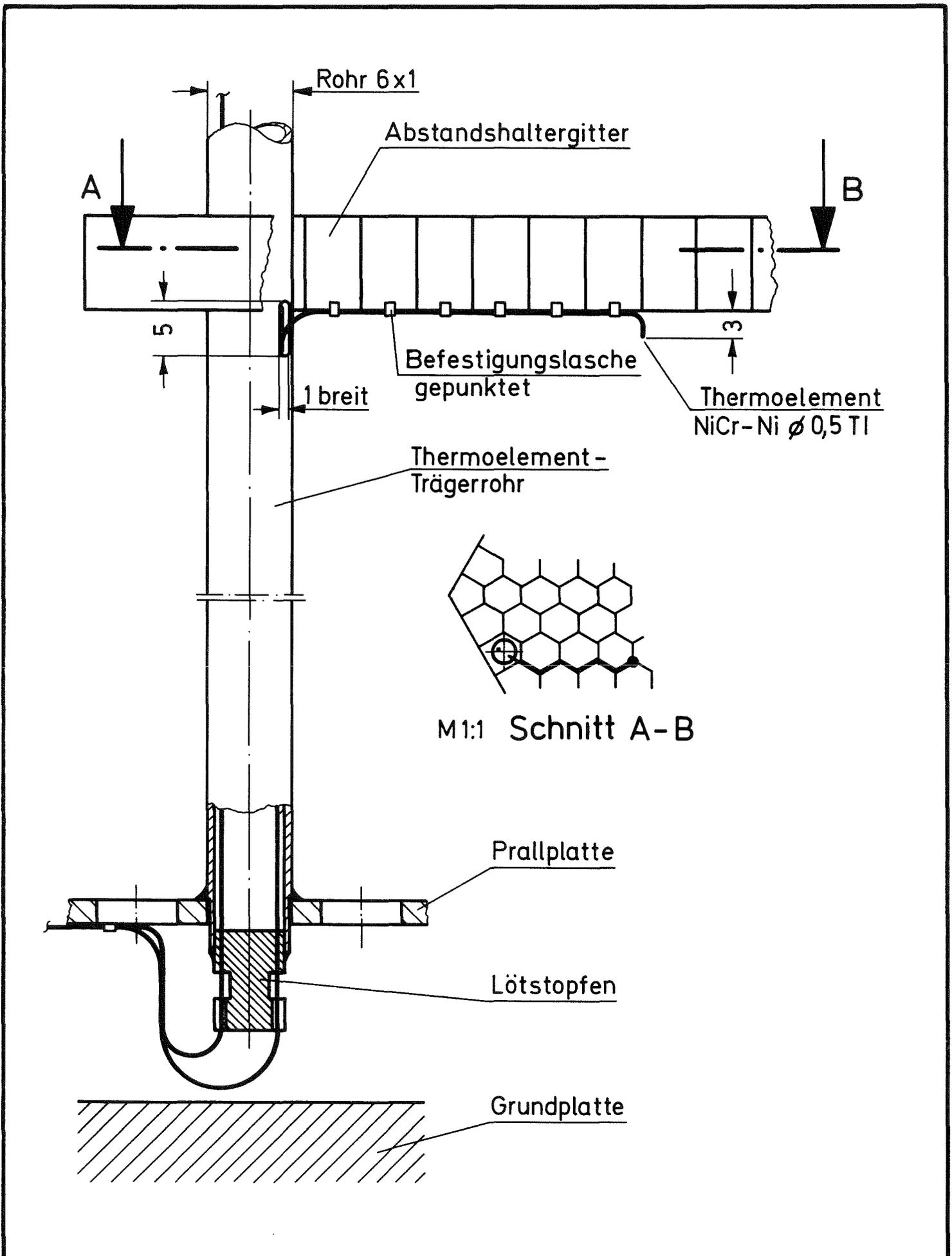
M 2:1 Detail X

KfK  
IRE

KNS-Teststrecken zum lokalen Sieden  
Wabenabstandshaltergitter

Abb. 36

28.6.77 *Jewell*

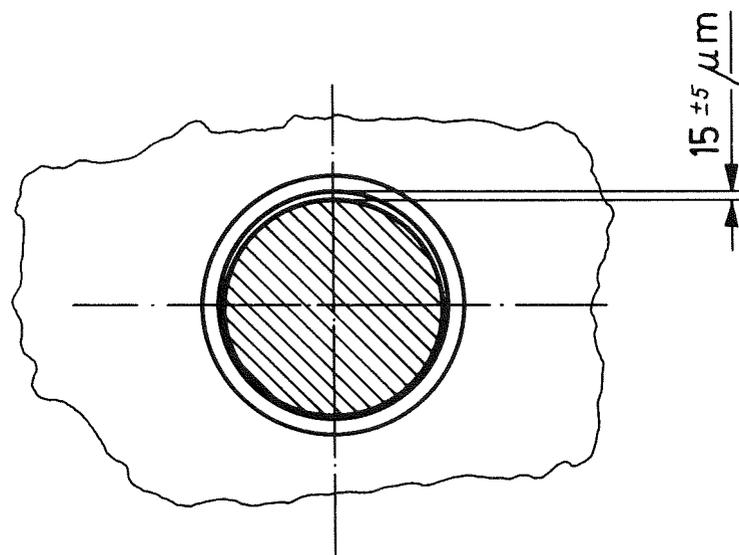
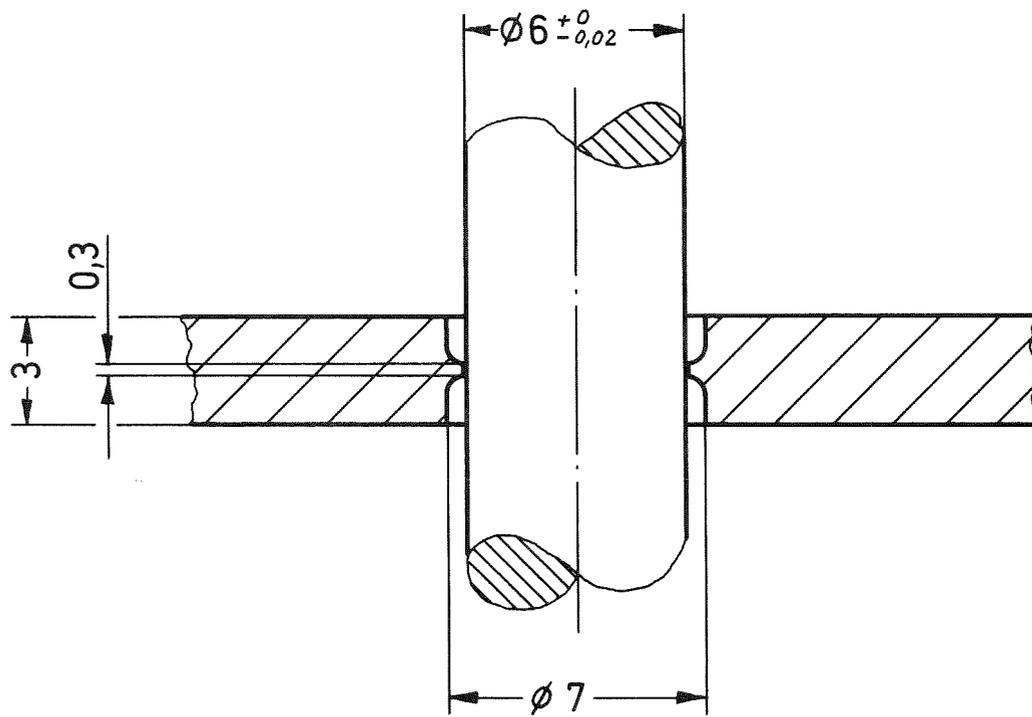


KfK  
IRE

KNS-Teststrecken zum lokalen Sieden  
Instrumentierung eines  
Abstandshaltergitters

Abb. 37

21.9.77 *Handwritten signature*

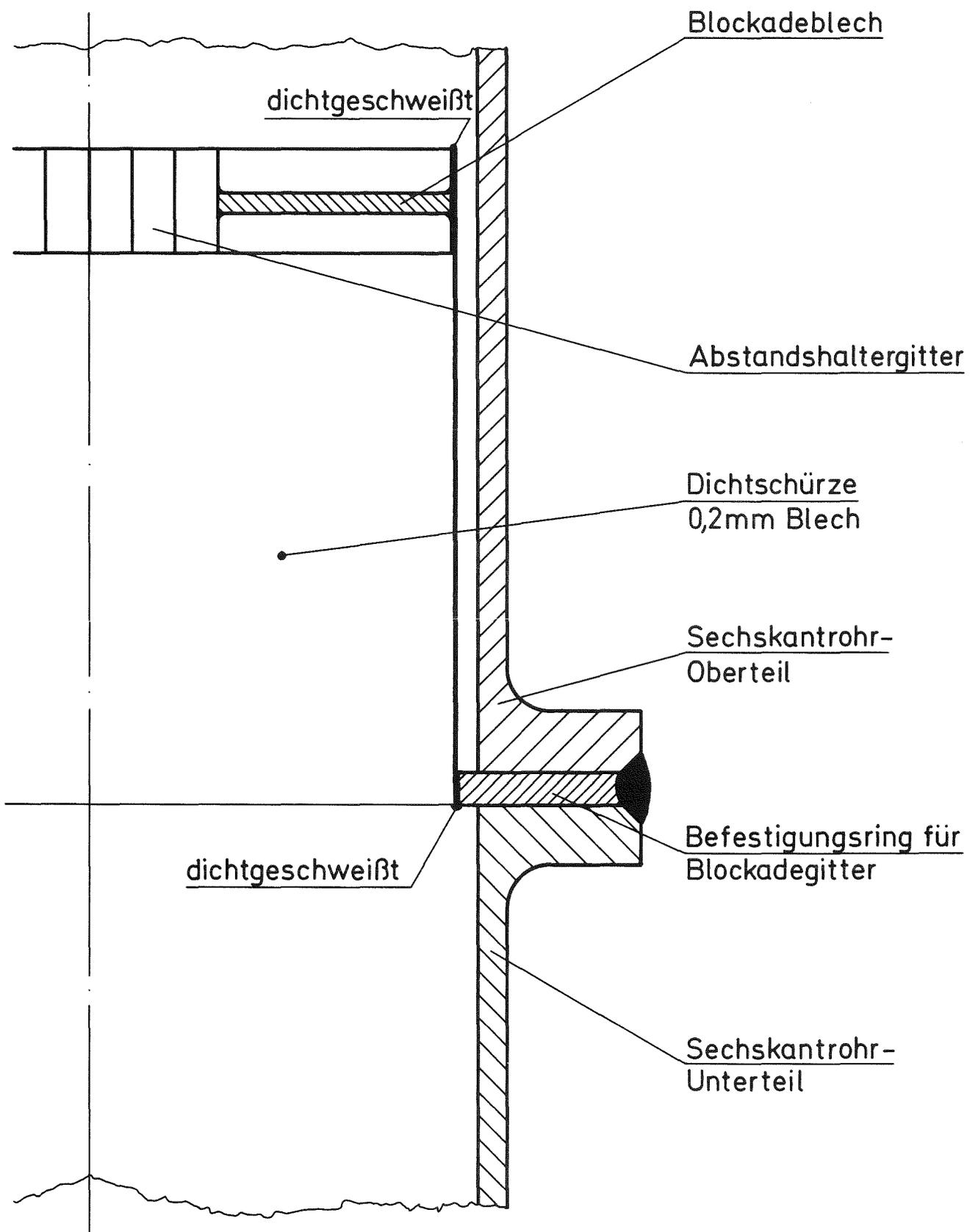


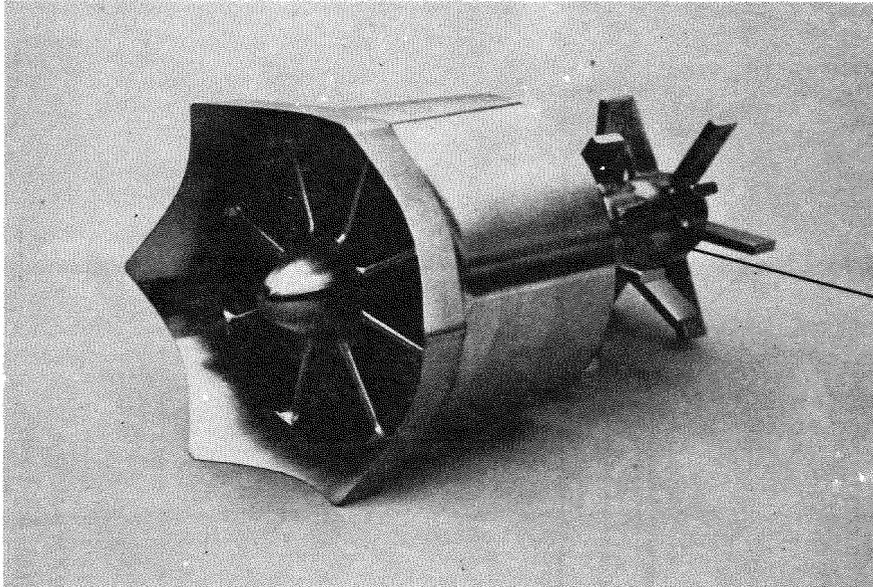
KfK  
IRE

KNS-Teststreifen zum lokalen Sieden  
Ausbildung der Dichtlippen der  
Blockadebleche

Abb. 38

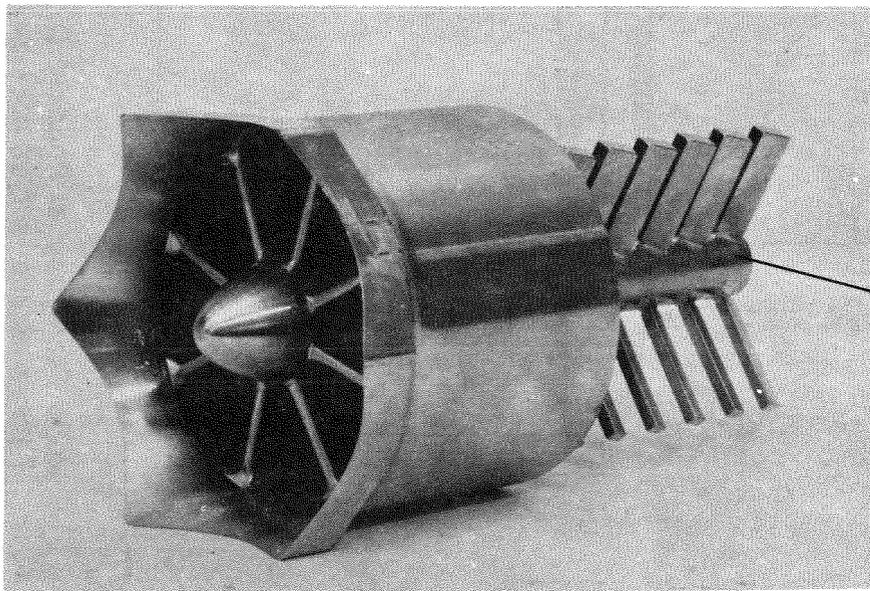
6. 7. 77 *Jones*





Gleichrichter-  
teil

in Teststrecke mit zentraler Blockade eingebaut Bild 1



Gleichrichter-  
teil

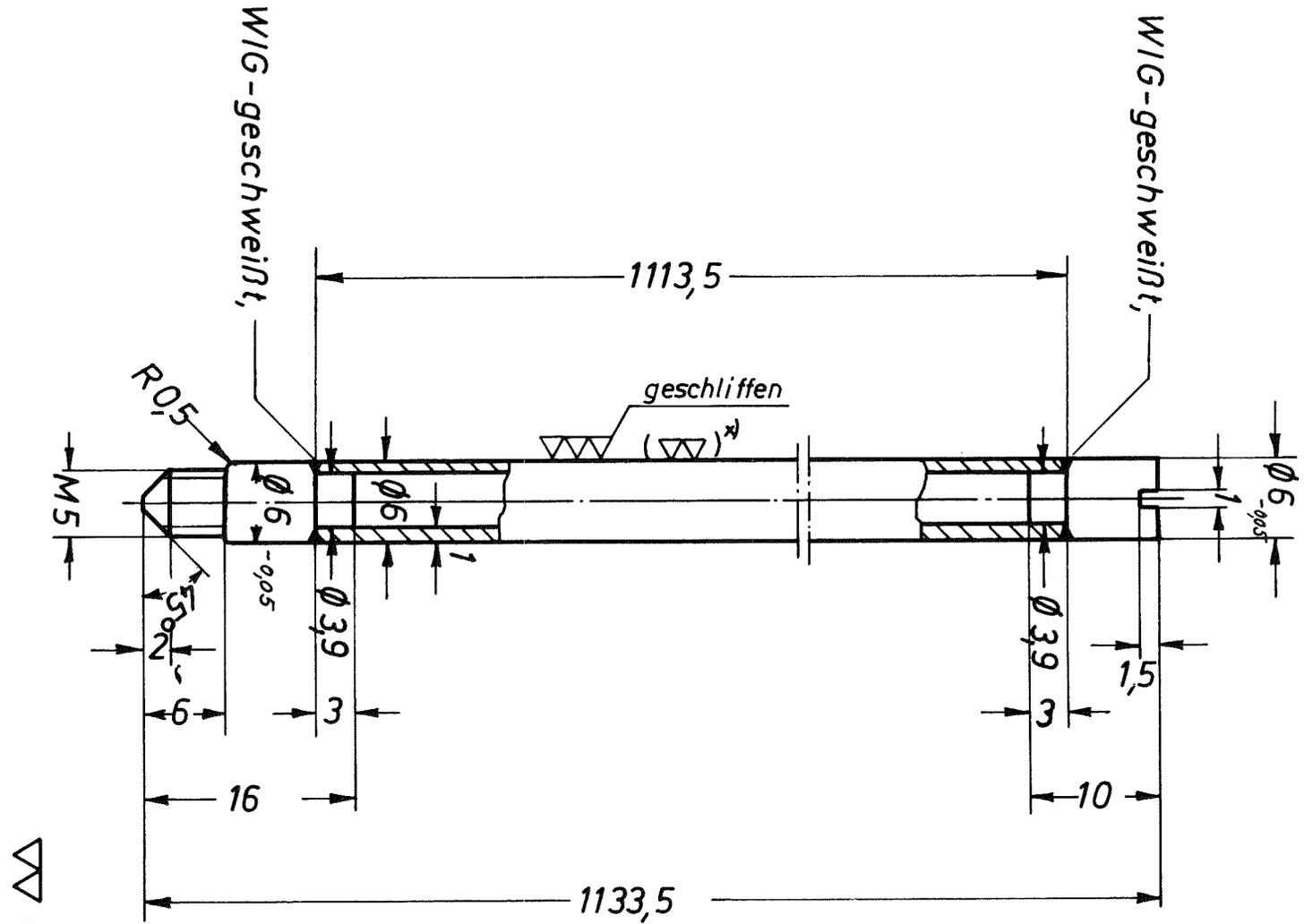
zum Einbau in Teststrecke mit Eckblockade vorgesehen Bild 2

**KfK  
IRE**

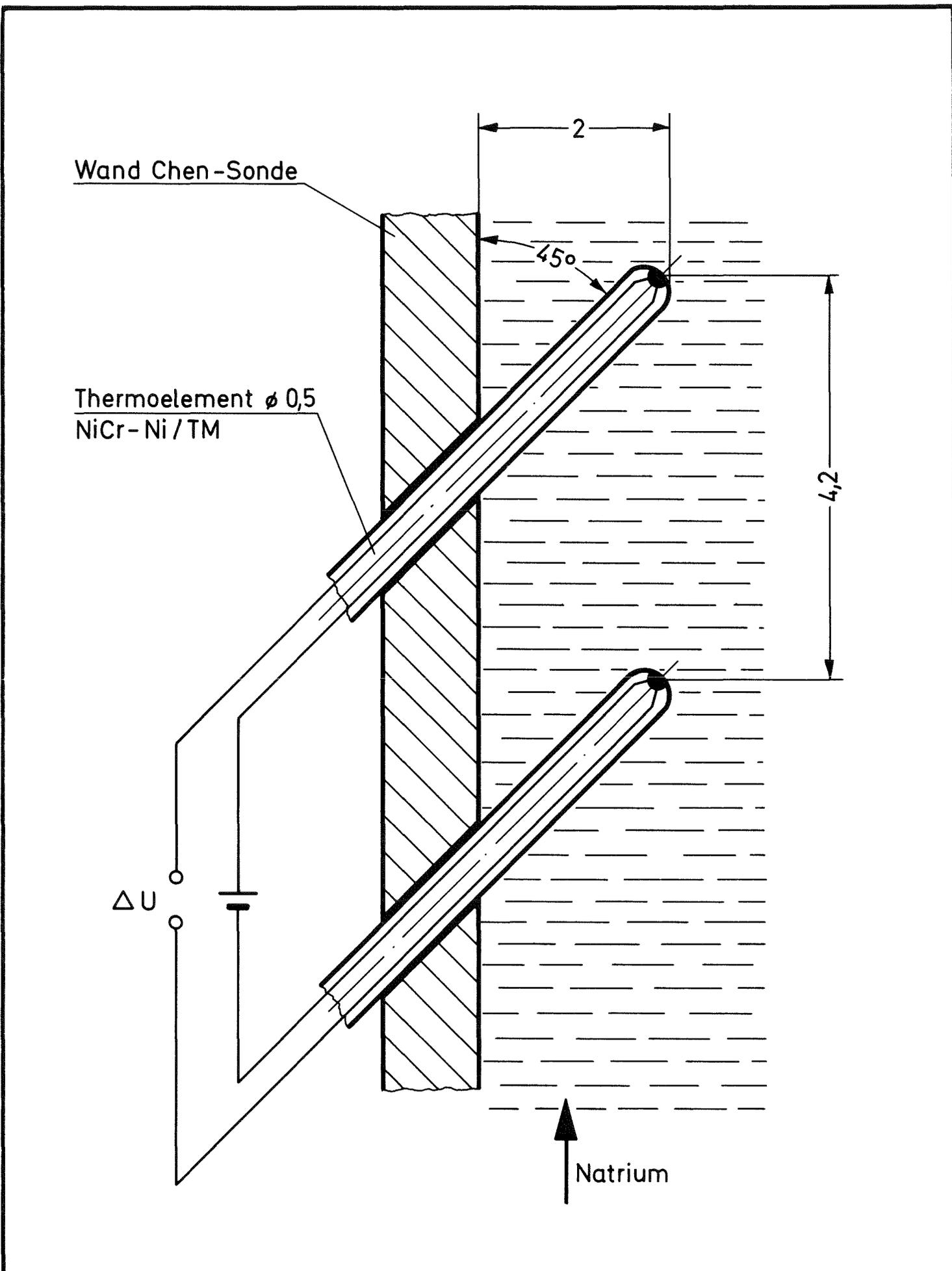
KNS-Teststrecken zum lokalen Sieden  
Brennelement-Mischkopf

**Abb. 40**

9.5.77 *Hull*



x) Zur Fertigung ist Rohr 6x1 D2-T3 DIN 2462-1.4571 zu verwenden.  
Wenn es das Istmaß noch zuläßt, ist der Dummy-Stab auf  $\phi 6 \pm 0,05$  spitzenlos zu schleifen. Für den Fall, daß kein Schleifen mehr möglich ist, sind die Schweißnähte auf das Istmaß abzarbeiten.

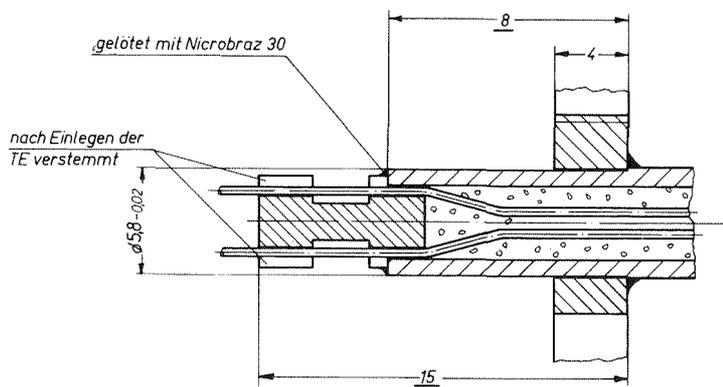
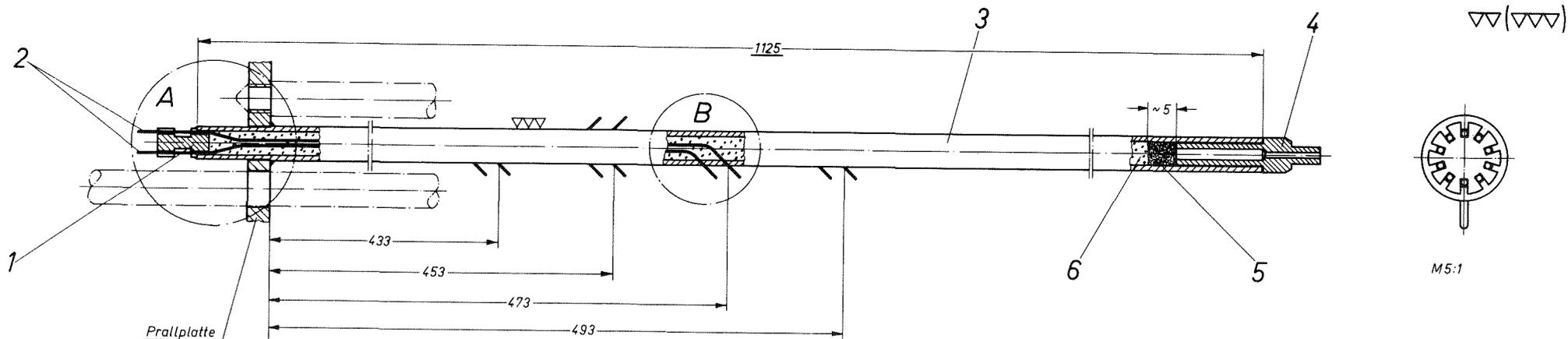


KfK  
IRE

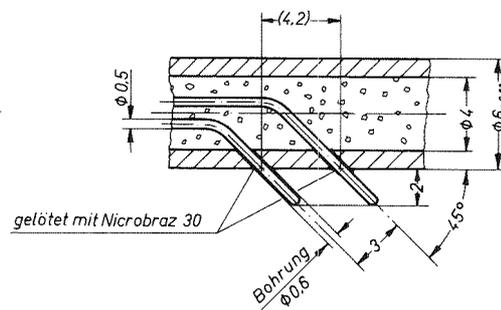
KNS-Teststrecken zum lokalen Sieden  
Schematische Darstellung  
einer Voidmeßstelle

Abb. 42

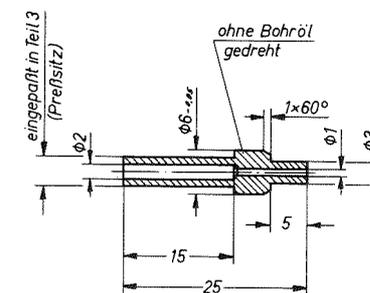
9.9.77 *Jones*



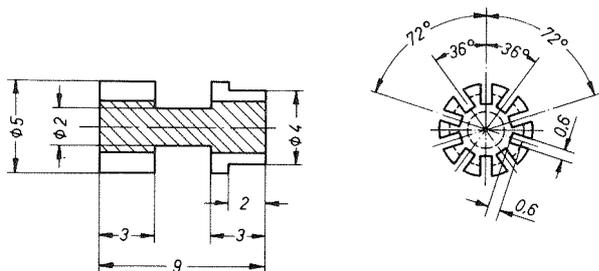
M5:1 Detail A



M5:1 Detail B



Teil 4



M5:1 Teil 1

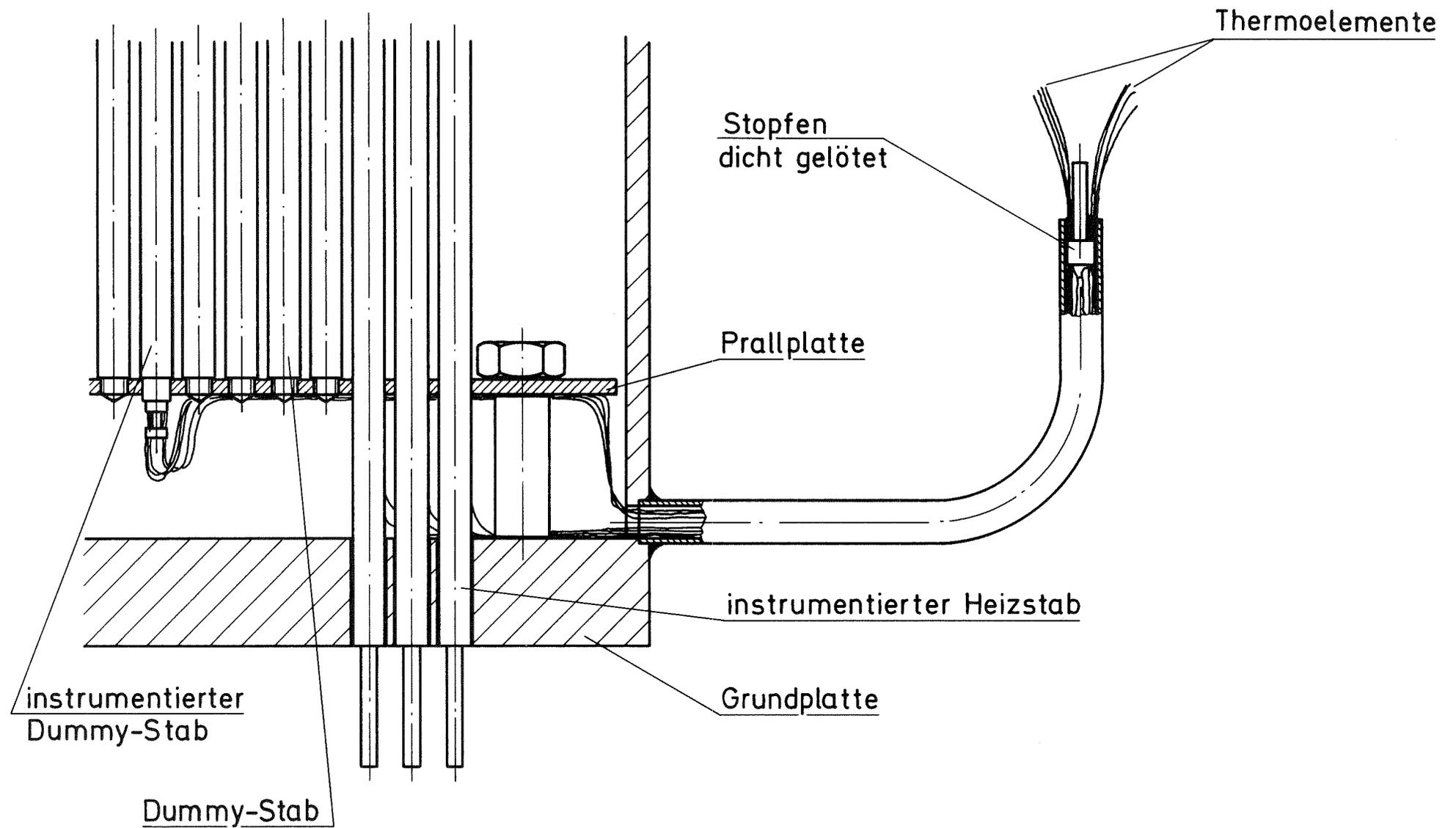
Teil	Stück	Benennung	Werkstoff	Abmessung
6	-	Magnesiumoxid		
5	1	Stahlwollepfropfen	14301 o.ä.	
4	1	Endstopfen	14571	
3	1	Hüllrohr	14301	
2	10	Thermoelement TM	Ni Cr-Ni	$\phi 0.5 \times 2500$
1	1	TE-Durchführung	14301	

KfK  
IRE

KNS-Teststrecken zum lokalen Sieden  
Chen-Sonde

Abb. 43

4.10.77 *[Signature]*

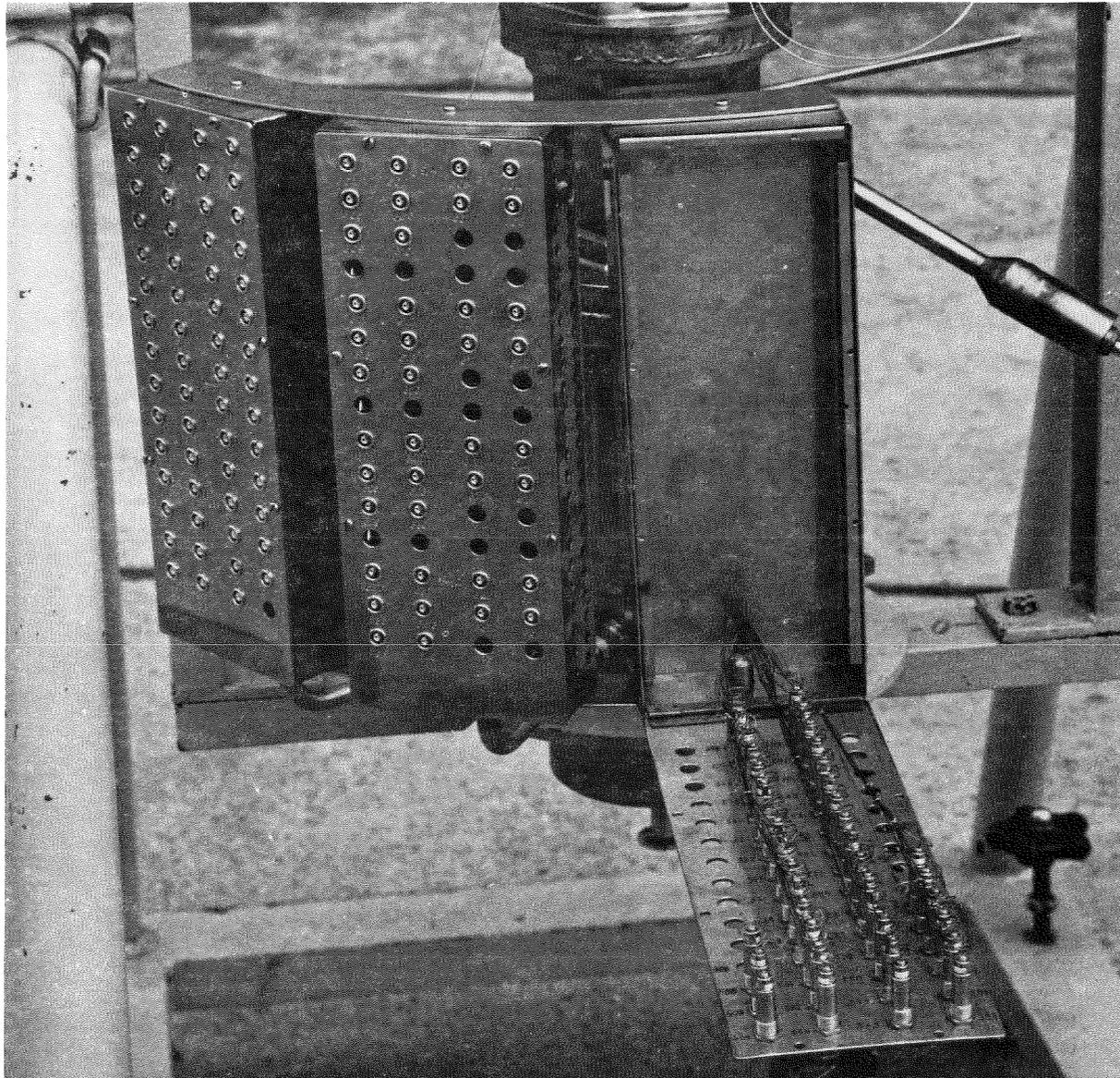


KfK  
IRE

KNS-Teststrecken zum lokalen Sieden  
Thermoelementdurchführung

Abb. 44

28.9.77 *[Signature]*

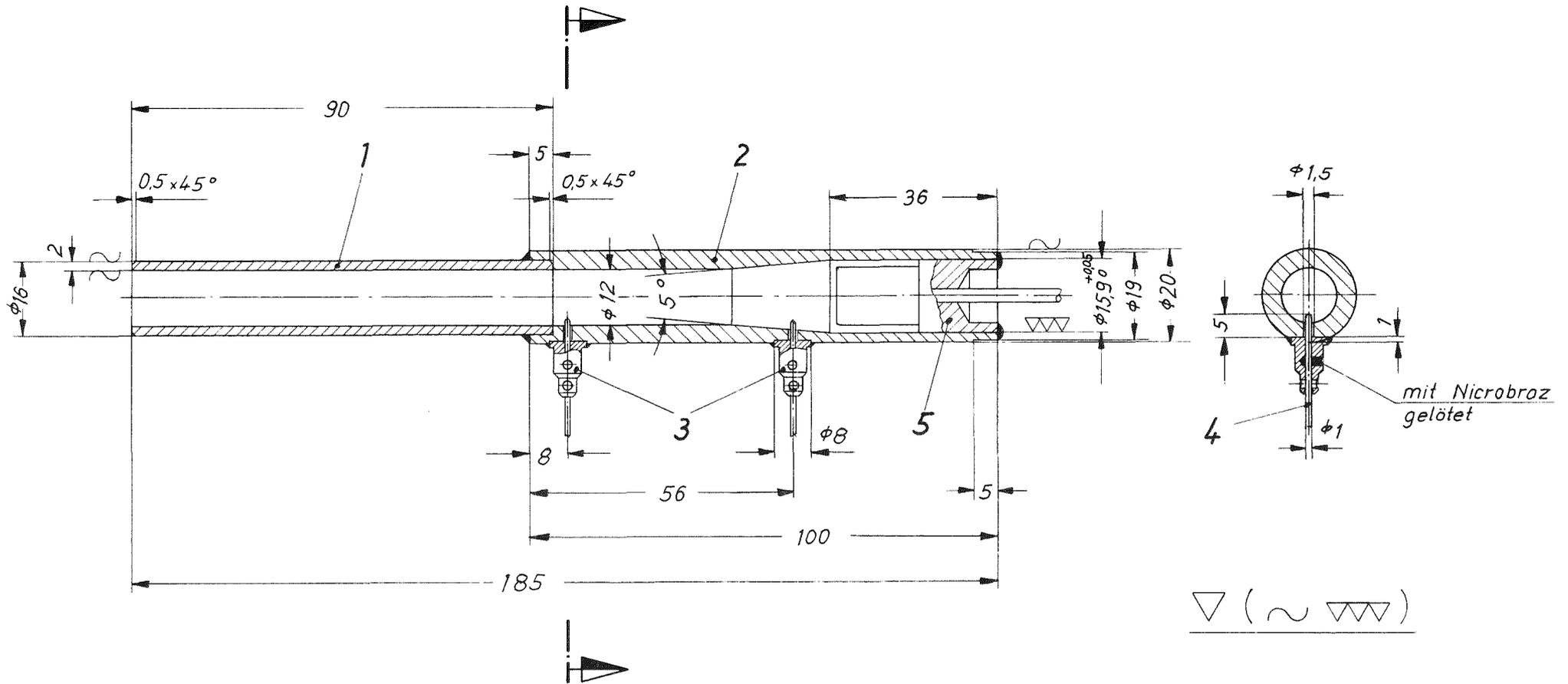


KfK  
IRE

KNS-Teststrecken zum lokalen Sieden  
Thermoelementanschlußkästen

Abb. 45

24.8.77 *Jones*

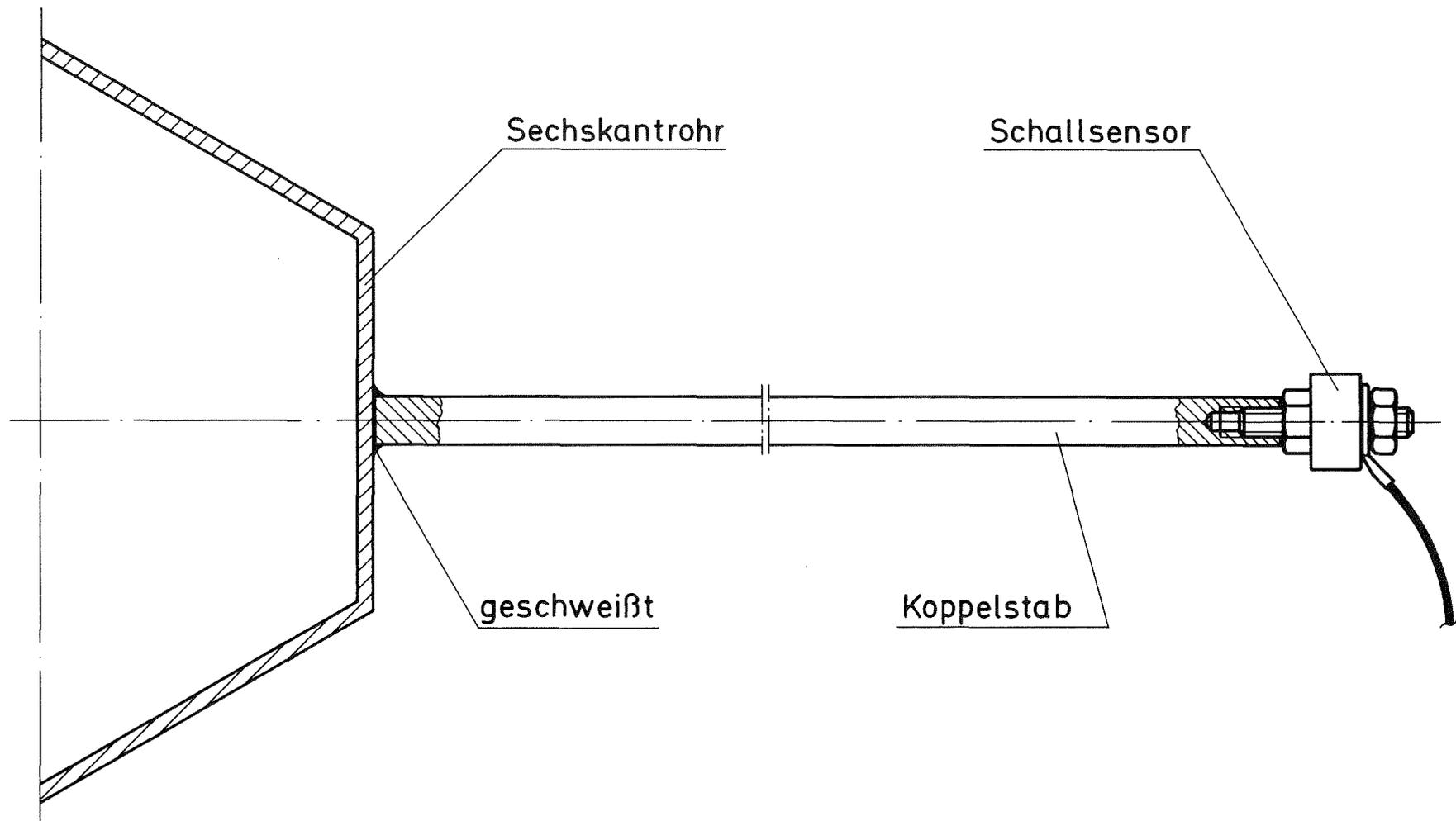


5	1	Druckaufnehmer	
4	2	Thermoelement	
3	2	TE-Halterung	1.4301
2	1	Anschlußstück	1.4301
1	1	Distanzrohr	1.4301
Teil	Stück	Benennung	Werkstoff

KfK  
IRE

KNS-Teststrecken zum lokalen Sieden  
Abklingstrecke

Abb. 46



KfK  
IRE

KNS-Teststrecken zum lokalen Sieden  
Koppelstab

Abb. 47

5.10.77 *Handwritten signature*