

Die Suche von Defektstäben in bestrahlten  
Schnellbrüter-Brennelementen

H. Enderlein

Vortrag zur 21. Sitzung der Euratom-Arbeitsgruppe

"Heiße Laboratorien und Fernbedienungstechnik"

am 10./11.6.82 in Mol / Belgien

**Kernforschungszentrum Karlsruhe**

## Inhalt

	Seite
Zusammenfassung	1
1. Einleitung	2
2. Nachuntersuchung von Einzelstäben	2
3. Hot-dry-sipping-test	5
4. Ausblick	8

## Zusammenfassung

Die Erfahrungen bei der Suche der Defektstäbe von 2 Brennelementen des KNK-II-Reaktors in Karlsruhe werden geschildert. Dabei wird auch das generelle Nachuntersuchungsprogramm der Einzelstäbe behandelt. Insbesondere werden die Lecktest-Methoden zur Bestimmung der fehlerhaften Stäbe beschrieben.

1. Einleitung

Der KNK-Reaktor in Karlsruhe ist ein Vorläufer des SNR 300 mit einer aus 7 Brennelementen bestehenden, schnellen Zone zum Test von Schnellbrüter-Brennelementen unter Na-Kühlung. Jedes Element besteht aus 211 Einzelstäben von 6 mm Außendurchmesser und 1556 mm Länge.

Bei einem mittleren Abbrand von 12 000 bzw. 35 000 MWd/t traten die ersten beiden Stabdefekte im Erstkern auf. Die beiden schadhaften Brennelemente wurden daraufhin ausgetauscht und nach 9 bis 12 Monaten Abkühlzeit im Juli 1980 bzw. im Juli 1981 in die Heißen Zellen zur Zerlegung, Schadenssuche und Nachbestrahlungsuntersuchung gebracht.

Die Beschreibung der Zerlegung erfolgte bei der letztjährigen Konferenz in Karlsruhe. Hier soll näher auf die Nachuntersuchung, insbesondere auf die Schadenssuche, eingegangen werden.

2. Nachuntersuchung von Einzelstäben

Nachuntersuchungsschritte zum Auffinden der Stabschäden und zur Analyse der Schadensursache sind

I an allen Stäben:

1. Visuelle Inspektion der Stäbe im Bündel (danach Vereinzeln und Reinigen der Stäbe)
2. Visuelle Inspektion der vereinzelteten Stäbe
3. Lecktest im Silikonölbad nach Beaufschlagung mit Außendruck (nur beim 1. BE)

4. Hot-dry-sipping-test

5. Gewichtsbestimmung

II an Defektstäben und weiteren ausgewählten Stäben:

6. Röntgenprüfung

7.  $\gamma$ -Spektrometrie

8. geometr. Dimensionskontrolle

9. Wirbelstrommessung

10. Messung der Spaltgase

11. Metallografische Untersuchung

12. REM-Untersuchung

Primäres Ziel der Untersuchungen ist das Auffinden der Stabschäden und wenn möglich, ihrer Ursachen. Um die gesuchten Schäden nicht durch Reaktionen des Natriums zu verändern, wurden die Elemente lediglich mit einem trockenen Gasstrom abgeblasen. Hüllkasten und Stäbe sind infolgedessen mit den Abstandshaltern durch nicht abgetropftes Na verklebt; die gesamte Zerlegung und Schadenssuche muß unter Intergas erfolgen.

Bereits vor dem Vereinzeln sollten die Stäbe wenigstens partiell inspiziert werden können, infolgedessen wurde als erster Schritt der Hüllkasten abgezogen.

Beim Ziehen der Stäbe erfolgte jeweils vor Beginn einer neuen Stabreihe eine visuelle Inspektion der Oberseiten der oben liegenden Stäbe. (Bilder 1 und 2).

Nach dem Vereinzeln wurde jeder Stab mit einer schwachen Säure feucht gereinigt, danach erfolgte eine detaillierte Inspektion. Bereits hierbei wurde der Defektstab des 2. BE's

entdeckt (Bilder 3 und 4), nicht jedoch der Defekt beim 1. BE.

Der Inspektion der Stäbe des 1. Brennelementes schloß sich eine Dichtheitsprüfung an, bei der je 5 Stäbe in einem auf 150°C aufgeheizten Rezipienten von außen mit 30 bar Argon eine Stunde lang beaufschlagt wurden. Danach wurden sie rasch in ein Silikonölbad gelegt, das ebenfalls auf 150°C aufgeheizt war. Ein kleines Leck zeigt sich dabei durch Blasenbildung an, ein größeres wird zuvor bei der visuellen Inspektion entdeckt. Das Druckgas wurde beim Entspannen zusätzlich über eine Ionisationskammer geleitet, die einen Austritt von Spaltgas anzeigen sollte, es wurde also eine Art sipping-test durchgeführt. Das anhaftende Silikonöl wurde anschließend trocken abgewischt.

Die Prüfmethode des Blasentestes wurde bereits mehrfach erfolgreich angewendet, ihre Brauchbarkeit wurde auch jetzt an einem Dummy mit einem Testleck nachgewiesen. Bei den 211 Stäben des 1. KNK-Elementes versagte sie jedoch. Es wurde kein Leck gefunden, weil eingedrungenes Natrium das Leck verstopfte, und weil dessen Reaktionsprodukte auch bei 150°C noch nicht schmolzen (Na-Schmelzpunkt = 97°C).

Nachträglich stellte sich ein weiterer gravierender Nachteil der Verwendung von Silikonöl heraus: Obwohl die Ölsorte mit dem höchstmöglichen Siedepunkt gewählt wurde, lag dieser doch nur bei ca. 180°C. Das Aufheizen auf 150°C hatte zur Folge, daß bereits ein erheblicher Anteil des Öles abdampfte und sich auf den Abluftfiltern in der Zelle und im Reinigungssystem des Inertgaskreislaufes absetzte, was in beiden Fällen Wartungsarbeiten zur Folge hatte.

Diese Lecktestmethode wurde infolgedessen durch einen trockenen sipping-test bei noch höheren Temperaturen ersetzt.

Die Gewichtsbestimmung erbrachte bei beiden Brennelementen eine Gewichtszunahme der Defektstäbe von ca. 5 g durch eingedrungenes Natrium.

Beim 1. Defekt-BE brachte aber erst die Messung der freien Spaltgase den Hinweis auf den Defektstab. Der Schaden selbst wurde beim Aufheizen des Stabes auf 500°C durch austretendes Natrium lokalisiert. (Bild 5).

### 3. Hot-dry-sipping-test

Die Versuchsanordnung besteht aus einem Edelstahl-Rezipienten von 2000 mm Länge und 54 mm Durchmesser, der in drei hintereinander aufgestellten, käuflichen Rohröfen eingesetzt ist. (Bild 6). Ein an den Rezipienten angeschlossenes Kupferrohr führt über ein Filter durch die Zellenwand nach außen, dort über einen Trockner zu einer Adsorberfalle. Die Adsorberfalle ist kühlbar mit flüssigem Stickstoff und mit einer Niederspannungs-Widerstandsheizung beheizbar, als Adsorbiermittel wird Aktivkohle verwendet. Im weiteren Verlauf führt die Leitung über ein Drosselventil zu einer Membranpumpe mit Metallfaltenbalg-Abdichtung, von dort zu einer Durchfluß-Ionisationskammer, danach zurück in die Zelle. Dort endet die Leitung in einem Behälter unter einem Flüssigkeitsspiegel zur Beobachtung des Durchflusses auf Grund der Blasenbildung. Am Rezipienten ist ein Meßgerät zur Anzeige des durch die Pumpe erzeugten Vakuums angebracht.

Die Armaturen außerhalb der Zelle sind in einem dichten Handschuhkasten untergebracht, der über eine Verbindungsleitung zur Zelle unter Unterdruck gegenüber dem Bedienungsraum gehalten wird. Ein U-Rohr-Manometer zeigt den Differenzdruck zwischen Kasten und Bedienungsraum an. Zur Steuerung dieses Differenzdruckes dient ein von Hand einstellbares Drosselventil, das über ein Filter einen einstellbaren Luftstrom vom Bedienungsraum in den Handschuhkasten freigibt, womit zugleich für eine gerichtete Spülung des Kastens in Richtung zur Zelle gesorgt ist.

Jeweils 20 KNK-Stäbe werden in ein auf beiden Seiten offenes Innenrohr gelegt und damit in den stirnseitig geöffneten Rezipienten geschoben. Danach wird der Rezipient mit einem Leybold-Kleinflansch NW 50 verschlossen. Der Flansch befindet sich 200 mm außerhalb des ersten Rohrofens, d.h. der Rezipient ragt um diesen Betrag aus der Anordnung der Öfen heraus, um die Temperatur für den Gummi-Dichtring niedrig zu halten.

Die drei Öfen werden nun auf etwa 500°C aufgeheizt, dabei saugt die Pumpe Gas aus dem Rezipienten ab. Der Volumenstrom des abgesaugten Gases wird am Drosselventil durch Beobachtung des im Flüssigkeitsbehälter in der Zelle sichtbaren Durchflusses so eingestellt, daß für die  $\gamma$ -Meßkammer die Durchflußgeschwindigkeit optimal ist. Ist ein Druck von 500 mbar im Rezipienten erreicht, ablesbar am Vakuummeter, so wird die Temperatur von 500°C eine Stunde lang gehalten. Danach wird der Versuch beendet, d.h. die Pumpe abgestellt, die Öfen abgekühlt, und der Rezipient belüftet.

Die Anzeige der Ionisationskammer wird laufend mitgeschrieben. Ist sie deutlich höher als der Nulleffekt, so deutet dies darauf hin, daß sich ein defekter Stab unter den Prüf-

lingen im Rezipienten befindet, der beim Aufheizen und infolge der Druckdifferenz Krypton 85 emittiert. Die Messung wird dann mit der Hälfte dieser Stäbe wiederholt, danach mit 5 Stäben der Hälfte mit erneut erhöhter Anzeige usw., bis auf diese Weise der oder die defekten Stäbe isoliert und alle Stäbe des Brennelementes geprüft sind.

Zur Verbesserung des Verfahrens ist am anderen Ende des Rezipienten eine Heliumzuleitung angebracht, die über einen zweiten Zellenstopfen zu einer Heliumdruckgasflasche im Bedienungsraum führt. Über diese Leitung kann Spülgas in das Rohrsystem eingespeist werden. Dadurch wird der Transport des Gases aus dem Rezipienten in die Durchfluß-Ionisationskammer beschleunigt, und evtl. ausgetretenes Spaltgas wird ohne zurückbleibenden Rest zur Ionisationskammer geleitet.

Eine weitere Verbesserung bringt das Schließen des Rohrsystems im Handschuhkasten durch Einbau von zwei Dreiwegeventilen und einer Verbindungsleitung. Diese Maßnahme ermöglicht es, den im Handschuhkasten befindlichen Teil der Versuchsanordnung, nach dem Überführen des  $Kr^{85}$  aus dem Rezipienten zur Adsorberfalle, vom zellenseitigen Teil abzutrennen. Das aus der Adsorberfalle desorbierte  $Kr^{85}$  kann danach im geschlossenen Kreis umgepumpt werden. Da die Durchfluß-Ionisationskammer ebenfalls in diesem Kreis liegt, ist eine eindeutige Bestimmung von Krypton<sup>85</sup> auch bei geringen Mengen möglich.

Durch diese beiden Maßnahmen ist auch eine quantitative Bestimmung der Krypton 85-Mengen durchführbar, wenn die Anzeige der Meßkammer zuvor kalibriert wird.

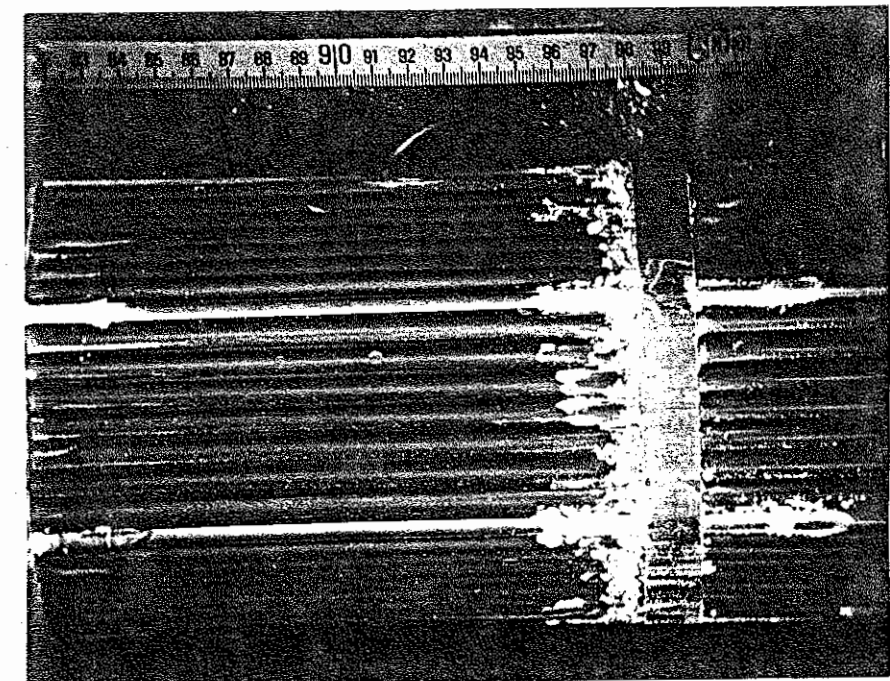
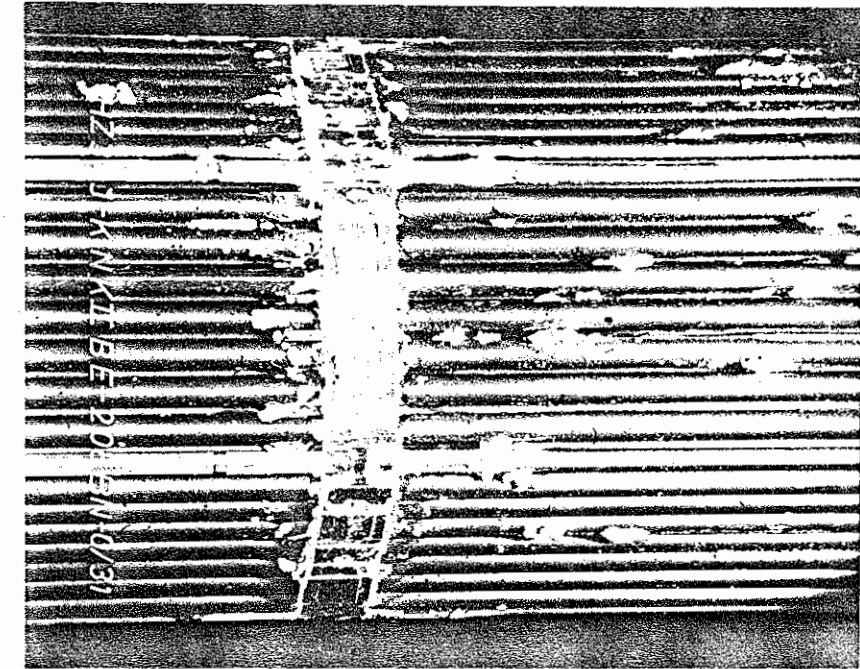
Die Gasleitungen vom Rezipienten zum Handschuhkasten und zurück in die Zelle sind im Zwischenraum zwischen Zellenwand und Kasten von einem dickwandigen Polyäthylenschlauch umgeben, der mit zwei Stützen an der Wanddurchführung und am Handschuhkasten dicht verbunden ist. Das gesamte Gasführungssystem außerhalb der Zelle ist somit doppelwandig ausgeführt, damit ist ein Austreten von evtl. abgesaugtem Spaltgas in den Bedienungsraum durch Bruch oder Undichtwerden von Leitungen oder Armaturen ausgeschlossen.

Zur zusätzlichen Überwachung der Umgebungsluft ist in der Nähe des Handschuhkastens eine Gasmeßstelle aufgestellt und ein Dosisleistungsmeßgerät zur Anzeige von direkter  $\gamma$ -Strahlung angebracht.

#### 4. Ausblick

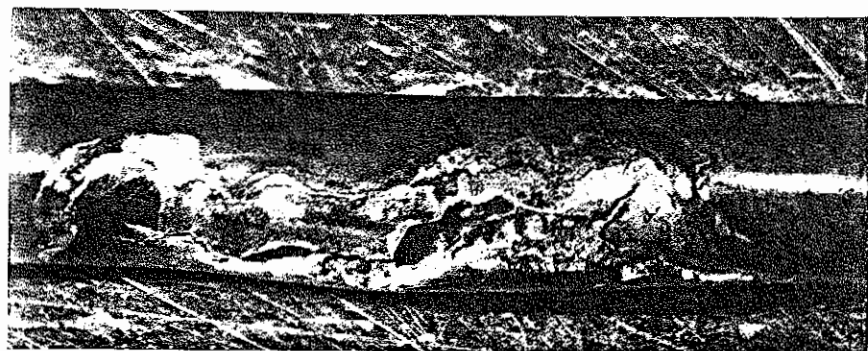
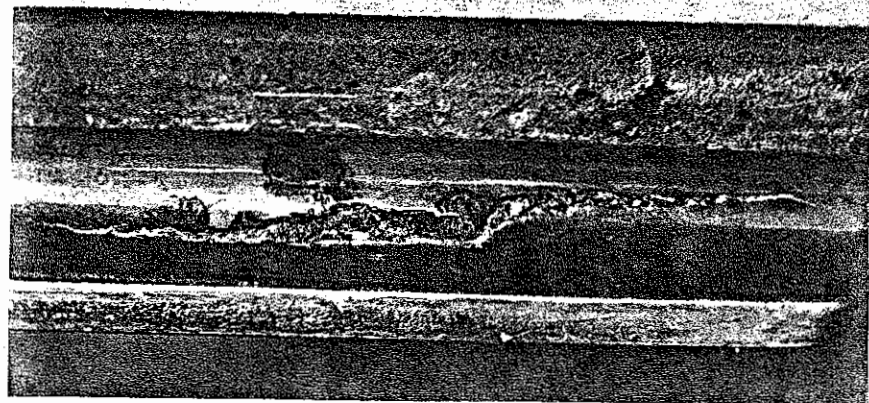
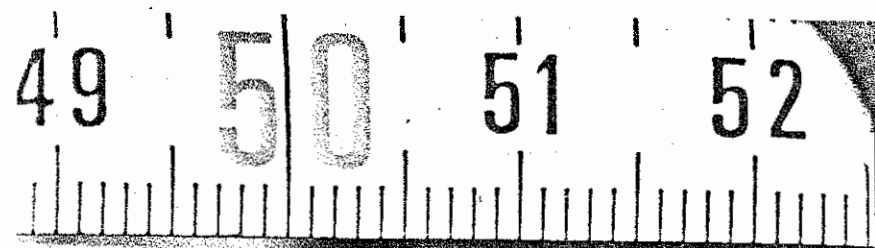
Die beiden untersuchten Brennelemente sind Vorläufer einer größeren Zahl von Brennelementen, die ab Frühjahr 1984 in den Heißen Zellen zerlegt und nachuntersucht werden. Alle Elemente des KNK-Erstkernes, kurz darauf die des Zweitkernes, durchlaufen im Zuge der Entsorgung die Heißen Zellen. Wegen der hohen Stabzahl werden bis dahin wichtige Untersuchungsschritte der zerstörungsfreien Nachuntersuchung mit elektronischer Datenverarbeitung ausgerüstet.

Der angestrebte Spitzen-Endabbrand des KNK-Reaktors ist 100 000 MWd/t, zur Zeit sind 85 000 MWd/t erreicht, ohne daß ein weiterer Stabdefekt aufgetreten ist.



Bilder 1 und 2:

Ausschnitte aus dem Stabbündel des 1. und des 2. Defekt-BE's nach Abziehen des jeweiligen Hüllkastens. An den Stäben haften Natrium-Reste.



Bilder 3, 4 und 5:

Stabschäden am 2. Defekt-BE (oben und Mitte) und am 1. Defekt-BE (unten)

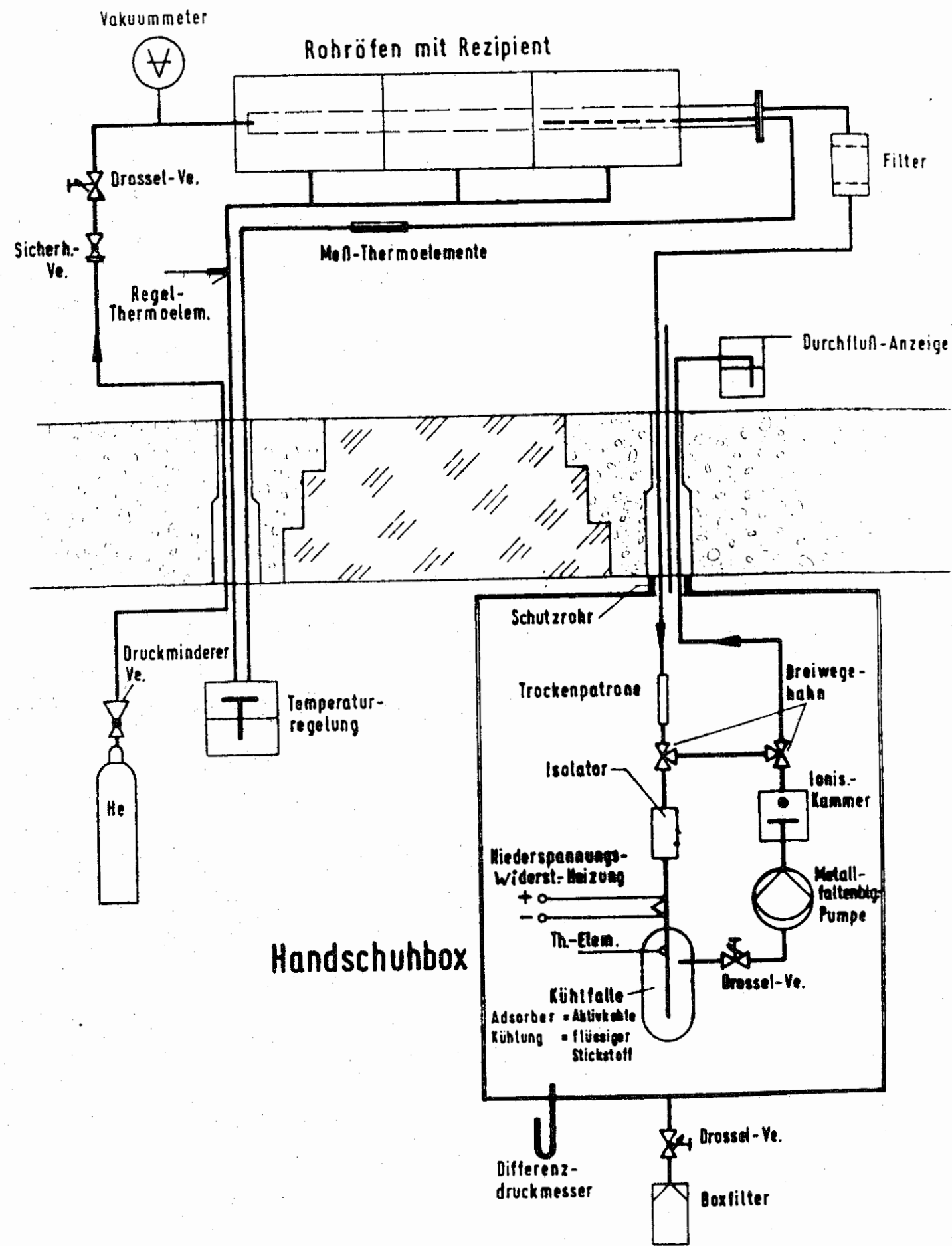


Bild 6:

Schema der Apparatur für den sipping-test.