

**Messung der Zelldichtheit
in den Heißen Zellen des KfK**

L. Dörr

Vortrag zur 29. Konferenz der Euratom-Arbeitsgruppe
"Heiße Laboratorien und Fernbedienungstechnik"

am 12. und 13.6.1990 in Risø

Kernforschungszentrum Karlsruhe

Inhalt

Seite

Zusammenfassung

1.	Einleitung	3
2.	Meßverfahren	4
3.	Dichtheitsprüfungen und Betriebserfahrungen	6

Zusammenfassung

Es wird das in den Heißen Zellen angewandte Meßverfahren zur Messung der Leckrate an Alpha-Gamma-Zellen vorgestellt sowie auf die Erfahrungen und die erreichten Ergebnisse eingegangen. Ferner wird aufgezeigt, daß in der Betonzelle 1 umfangreiche Sanierungsmaßnahmen notwendig werden, um die geforderte Zellendichtheit sicherzustellen.

1. Einleitung

Bei der Errichtung der Heißen Zellen des KfK bildeten die Betonzellen das Kernstück der Anlage. Sie wurden als Alpha-Gamma-Zellen mit Stahlblechhauskleidungen ausgeführt. Sowohl bleiabgeschirmte Alpha-Gamma-Zellen als auch Beta-Gamma-Zellen gehörten zur Anfangsausstattung. Seit der Inbetriebnahme der Heißen Zellen 1966 wurde die Anlage in zwei Bauabschnitten erweitert, in denen als gasdichte Zellen die Metallografieanlage und die Zelle 5a sowie zur Untersuchung von Brutkeramikproben eine abgeschirmte Bleiboxenreihe errichtet wurden (Abb. 1).

In der DIN 25 420 Teil 1 über die Errichtung von heißen Zellen aus Beton wird zur Zellendichtheit vorgeschrieben: "Alpha-Gamma-Zellen müssen wegen der erhöhten Kontaminationsgefahr so abgedichtet werden, daß die Leckrate höchstens 1% des Volumens pro Stunde bei einem Unterdruck von 2 mbar beträgt."

Ein Meßverfahren zur Messung der Zellendichtheit ist in der DIN 25 420 Teil 1 jedoch nicht zwingend vorgeschrieben, so daß verschiedene Methoden zum Nachweis der geforderten Zellendichtheit zur Anwendung kommen können.

Etwas anders ist die Situation bei der Dichtheitsprüfung von Handschuhkästen. Hierzu ist in DIN 25 412 Teil 2 ausgeführt:

"Ein Handschuhkasten genügt den Anforderungen an die Dichtheit, wenn die Leckrate $L \leq 0.25\%$ des Volumens je Stunde bei einem Anfangsdruck von - 10hPa ist."

Neben der zulässigen Leckrate ist in der DIN 25 412 Teil 2 auch das Meßverfahren definiert, mit dem die Leckrate näherungsweise zu bestimmen ist. Dieses Verfahren läßt sich auch zur Prüfung von gasdichten Betonzellen anwenden. Das Verfahren wurde jedoch zur Prüfung recht kleiner Leckraten bis 0,25 Volumen-% je h entwickelt und verliert mit zunehmender Leckrate an Genauigkeit. Zum Nachweis der Zellendichtheit kommt daher das nachfolgend beschriebene Verfahren zur Anwendung. Die Messungen werden jährlich mindestens einmal durchgeführt, da in der Betriebsgenehmigung für die Heißen Zellen von der Genehmigungsbehörde eine jährliche Prüfung von Alpha-Gamma-Zellen und Boxen vorgeschrieben wird. Diese Prüfungen sind unter Hinzuziehung des Gutachters (TÜV) durchzuführen.

Eine Einhaltung der geforderten Dichtigkeit der Alpha-Gamma-Zellen ist nicht nur wegen der bestehenden Kontaminationsgefahr von Bedeutung. Die Zellen werden auch sehr oft mit einer Stickstoffatmosphäre (z.B. Nachbestrahlungsuntersuchungen an Prüflingen mit Natrium) im geschlossenen Kreislauf betrieben.

Der über die Leckluft zugeführte Sauerstoff reagiert dabei mit Wasserstoff zu Wasser, das in einem Trockner ausgeschieden wird. Niedrige Leckraten reduzieren den Wasserstoffverbrauch und ermöglichen eine gute Schutzgasqualität.

2. Meßverfahren

Bei einem Behälter oder einer Zelle mit dem Volumen V und einer anstehenden Druckdifferenz wird die Leckrate definiert als:

$$L = \frac{1}{V} \frac{dV}{dt} \quad (1)$$

Sie gibt die prozentuale Gasmenge des Volumens, die pro Zeiteinheit durch das Leck strömt, an.

Nach der Zustandsgleichung für ideale Gase ergibt sich bei konstanter Temperatur der Zusammenhang:

$$L = \frac{1}{V} \frac{dV}{dt} = \frac{1}{p} \frac{dp}{dt} \quad (2)$$

Dabei ist zu beachten, daß die Leckrate nicht volumenabhängig, aber druckabhängig ist und somit der Prüfdruck immer mit anzugeben ist.

Die Leckrate kann bestimmt werden, wenn die Zeitabhängigkeit des Druckes dp/dt bekannt ist. Für den hier interessierenden Druckbereich und den vorhandenen Lecks kann die Annahme getroffen werden, daß die Änderungsgeschwindigkeit des Druckes proportional zur momentanen Differenz zwischen Umgebungsdruck p₀ und Druck p im Volumen V ist.

$$\frac{dp}{dt} = a (p_0 - p) \quad (3)$$

Die Kombination von Gl. (2) und Gl. (3) ergibt dann für die Leckrate

$$L = a \frac{p_0 - p}{p} \quad (4)$$

wobei a noch zu bestimmen ist. Dies erfolgt durch die Lösung der Differentialgleichung (3), deren allgemeine Lösung lautet:

$$p = p_0 (1 - b e^{-at}) \quad (5)$$

Die Koeffizienten b und a lassen sich aus den Randbedingungen einer Druckanstiegsmessung bestimmen. Zum Zeitpunkt t₁ = 0 (Anfang der Messung) folgt

$$b = \frac{p_0 - p_1}{p_0} \quad (6)$$

mit dem Druck p₁ innerhalb der Zelle am Anfang der Messung und dem Umgebungsdruck p₀ außerhalb der Zelle.

Nach der Meßzeit Δt, in der sich der Druck in der Zelle vom Wert p₁ auf den Wert p₂ verändert hat, folgt aus Gleichung (5) für den Koeffizienten a:

$$a = \frac{1}{\Delta t} \ln \frac{\Delta p_1}{\Delta p_2} \quad (7)$$

mit

$$\Delta p_1 = p_0 - p_1$$

und

$$\Delta p_2 = p_0 - p_2$$

Für die Leckrate ergibt sich dann nach Gleichung (4) beim Unterdruck

$$\Delta p = p_0 - p :$$

$$L = \frac{\Delta p}{p_0 - \Delta p} \frac{1}{\Delta t} \ln \frac{\Delta p_1}{\Delta p_2} \quad (8)$$

Somit kann die Leckrate L für einen bestimmten Unterdruck einer Zelle bestimmt werden durch die Erfassung der Druckdifferenzen p₀-p₁ zum Beginn einer Messung und p₀-p₂ am Ende einer Messung nach der Zeitspanne Δt.

Wesentliche Voraussetzungen hierbei sind, daß die Temperatur in der Zelle während der Messung konstant bleibt, d.h. keine Wärmequellen vorhanden sind und der äußere Umgebungsdruck nach allen Seiten gleich ist. Wärmequellen in der Zelle beschleunigen den Druckanstieg und geben eine zu hohe Leckrate vor. Weiterhin muß sichergestellt sein, daß Ventile zum Abschluß der Zelle ihre Dichtfunktion erfüllen.

3. Dichtheitsprüfungen und Betriebserfahrungen

In der Betriebsgenehmigung für die Heißen Zellen wird für Alpha-Gamma-Zellen eine jährliche Prüfung der Dichtheit gefordert. Diese Dichtheitsprüfungen wurden mit dem beschriebenen Verfahren durchgeführt.

Dabei zeigte sich, daß die Einhaltung der geforderten Leckrate $L \leq 1$ Vol.% pro h bei den bleiabgeschirmten Boxen in der Regel keine Probleme darstellt. Dies ist dadurch begründet, daß Dichtungsflächen von Schleusöffnungen keine großen Dimensionen annehmen und die Versprödung der Dichtungen bei niedrigem Aktivitätspegel begrenzt bleibt.

Etwas anders stellt sich die Situation bei den Betonzellen dar. Hier muß unterschieden werden zwischen der Zelle 1 (120 m³ Volumen) und den übrigen Betonzellen 2 bis 5 (60 m³ bzw. 36 m³ Volumen).

Bei den Betonzellen 2 bis 5 konnte die geforderte Leckrate in den meisten Fällen ohne große Probleme erreicht werden, wobei Undichtigkeiten mit Rauchpatronen aufgespürt und dann abgedichtet werden konnten.

Das Erreichen der nach der DIN geforderten Dichtigkeit ist nur bei der Betonzelle 1 schwierig und verlangte in den letzten Jahren immer größere Anstrengungen. Dies ist dadurch begründet, daß in der Zelle die höchsten Aktivitäten einschließlich offenem Kernbrennstoff gehandhabt werden und somit die Dichtungen die höchsten Strahlendosen erhalten. Hinzu kommt, daß die Zelle die größte Anzahl von abzudichtenden Flächen besitzt und die Dichtungen teilweise kaum zugänglich sind. Als kritische Stellen sind im Einzelnen anzusehen (Abb. 2):

1. α -Tür mit Schleusöffnung an der Stirnseite der Zelle 1

Die in diesem Bereich angeordneten Dichtelemente wurden bisher noch nicht gewechselt. Auftretende Undichtigkeiten wurden durch Abdichten mit FD-Plast beseitigt. Die Erfahrungen aus den jährlichen Dichtheitsprüfungen zeigen aber auch, daß die Dichtfunktion der Dichtungen von Jahr zu Jahr abnimmt.

2. α -Tür zum Isolationsraum der Zelle 1.

Die Dichtungen in diesem Bereich wurden vor ca. 14 Jahren erneuert. Es traten in der Zwischenzeit aber auch hier Undichtigkeiten auf, die mit FD-Plast beseitigt wurden.

Silikon

3. α -Deckel der Deckenluke 1

Die in diesem Bereich angeordneten Dichtungen wurden vor ca. 5 Jahren gewechselt. Selbst nach dem Wechsel der Dichtungen war noch eine Restleckrate vorhanden, die sich aus der nicht planen Dichtungsebene ergibt. Entsprechende Abdichtungsmaßnahmen mit FD-Plast reduzieren zwar die Leckrate, müssen aber nach jedem Schleusen über die Deckenluke erneut durchgeführt werden.

4. α -Deckel der Deckenluke 2

Auf diesem Deckel sitzt ein Röntgenturm, wobei die Deckenlukendichtung erst nach Abbau des Röntgenturmes zugänglich ist. Daher wurden die Dichtungen in diesem Bereich seit ca. 15 Jahren nicht mehr gewechselt, so daß die größte Leckrate an Zelle 1 in diesem Bereich vorhanden sein dürfte. Ersatzabdichtmaßnahmen sind auch hier erfolgt. Sie sind jedoch weitaus schwieriger und nicht so effektiv.

5. Weitere Dichtungsstellen sind vom Zelleninneren zu Schächten vorhanden. Die Dichtungen wurden hier teilweise seit der Inbetriebnahme 1966 nicht mehr erneuert, da die entsprechenden Stellen nur vom Zelleninneren zugänglich sind.

Bei den letzten Messungen lag trotz intensiver Abdichtmaßnahmen die Leckrate noch bei ca. 1,8 Vol.% pro h. Weitere Anstrengungen zur Reduzierung der Leckrate, besonders im Bereich des Röntgenturmes, werden gegenwärtig noch durchgeführt. Wesentliche und dauerhafte Verbesserungen sind langfristig nur erreichbar, wenn alle Dichtungen erneuert werden. Dies ist aber nur im Rahmen einer Generalsanierung der Betonzelle 1 möglich, da die Zelle einen hohen Strahlenpegel aufweist, α -kontaminiert ist und viele Stellen nicht einfach zugänglich sind. Eine solche Maßnahme wird momentan in Betracht gezogen. Bisher wurde die Sanierungsmaßnahme wegen dringend anstehender Untersuchungsaufgaben immer wieder verschoben.

Die Erfahrungen bei einem ca. 10stündigen totalen Lüftungsausfall in der jüngsten Vergangenheit zeigen aber auch, daß trotz der höheren Leckrate bei dieser Anlage keine Kontaminationen über die Leckagen aus der Zelle ausgetragen werden.

✕

✕ ✕

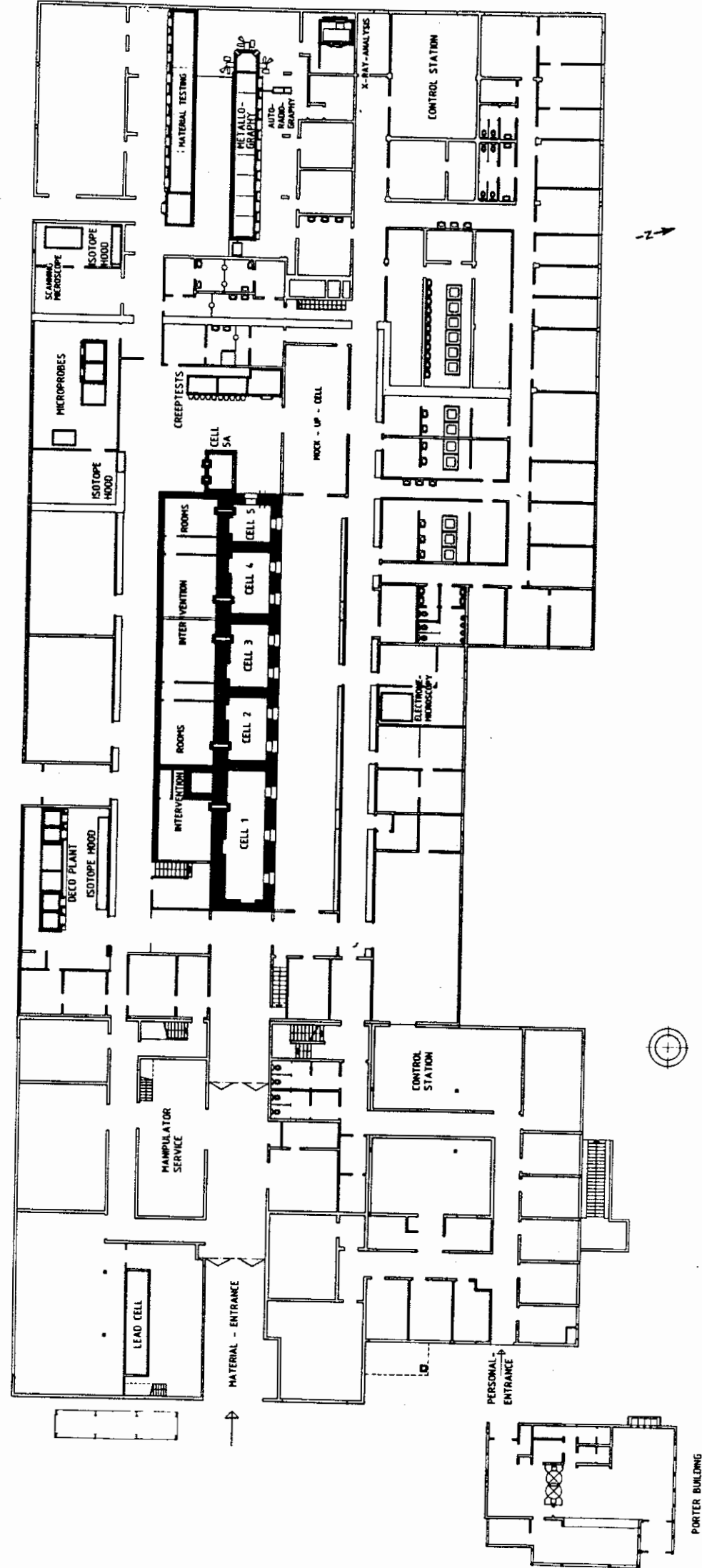
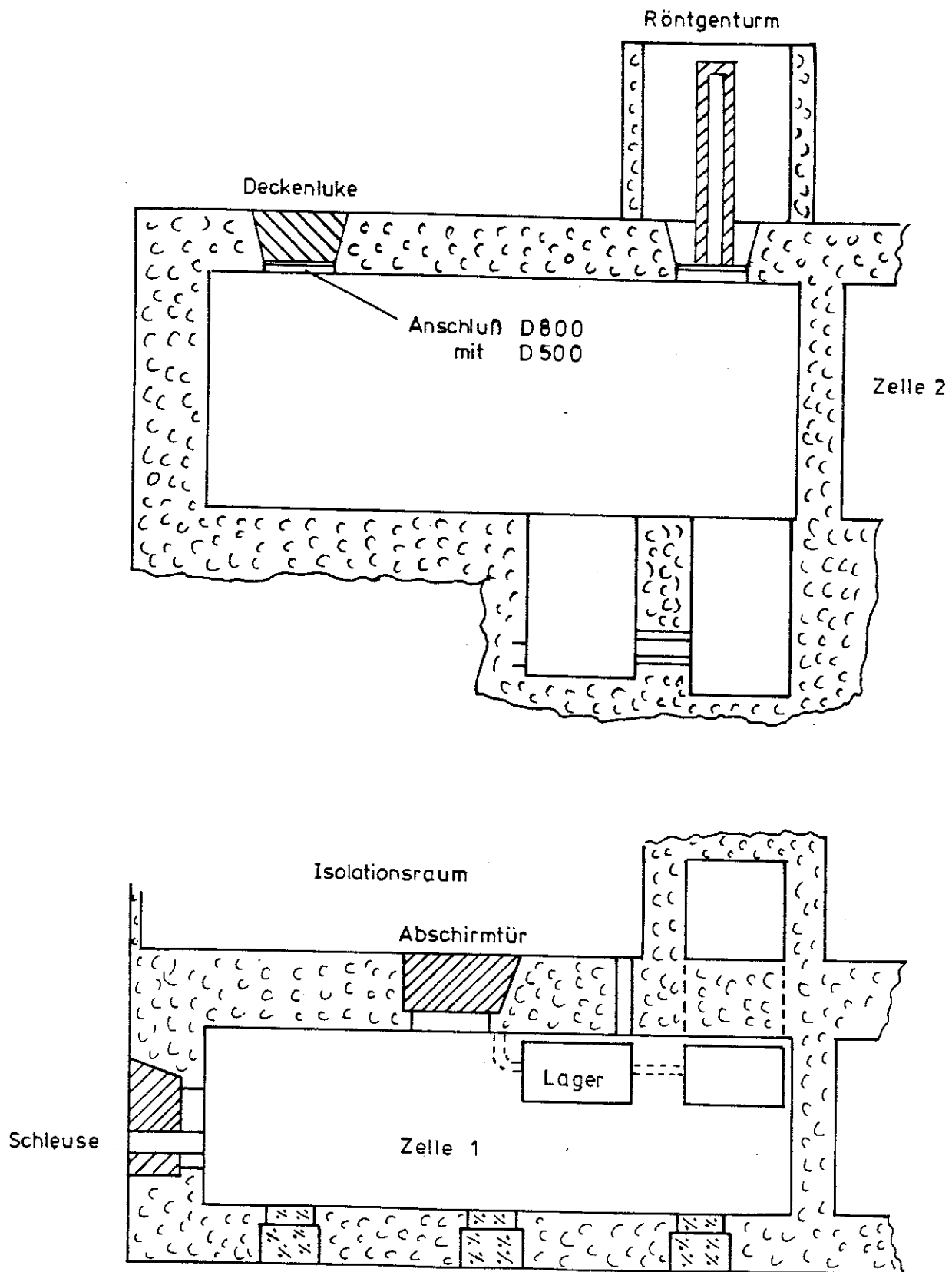


Abb. 1: Grundriß der Anlage Heiße Zellen



KIK

Abb. 2: Vorderansicht (oben) und Grundriß der Betonzelle 1 mit wichtigen Dichtstellen