



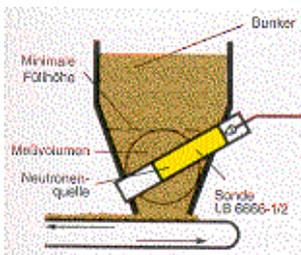
Versuch 3.4

Feuchtemessung (radiometrisches Verfahren mit Neutronen)

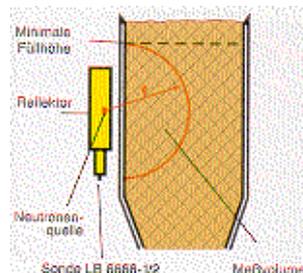
Grundlagen

Schnelle Neutronen, die in ein feuchtes Produkt eintreten, werden durch Streuung an den Wasserstoffkernen abgebremst. Die Konzentration der langsamen Neutronen dient als Maß für den Feuchtegehalt des Produkts und wird mit einem Neutronendetektor erfaßt. Neben dem freien Wasser trägt auch der an das Produkt chemisch gebundene Wasserstoff zum Meßeffect bei. In den meisten Fällen ist dieser Anteil konstant und durch die Kalibrierung berücksichtigt. Schwankende Produktschüttdichten können durch eine zusätzliche Durchstrahlungsmessung kompensiert werden. Die Messung wird nicht von Temperatur, Druck, pH-Wert, Körnung oder chemischer Zusammensetzung des Produkts beeinflusst. Das Meßsystem läßt sich einfach bei vorhandenen Behältern ein- oder anbauen und verfügt über ein großes Meßvolumen. Prinzipiell sind zwei Meßanordnungen möglich.

Meßanordnung als Bunkersonde



Meßanordnung als Oberflächensonde



Bezeichnung von Neutronen:

Weil bei Neutronen je nach Energie unterschiedliche Effekte zu beobachten sind, werden zusätzliche Bezeichnungen verwendet. Thermische Neutronen haben Energien bis 0,4 eV. Im Mittel beträgt ihre Energie 0,025 eV. Das entspricht einer Geschwindigkeit von etwa 2200 m/s.

Das epithermische Gebiet liegt etwa zwischen 0,4 eV und 50 keV. Bei Energien bis 1 MeV spricht man von mittelschnellen Neutronen. Neutronen mit einer Energie über etwa 1 MeV werden als schnelle Neutronen bezeichnet.

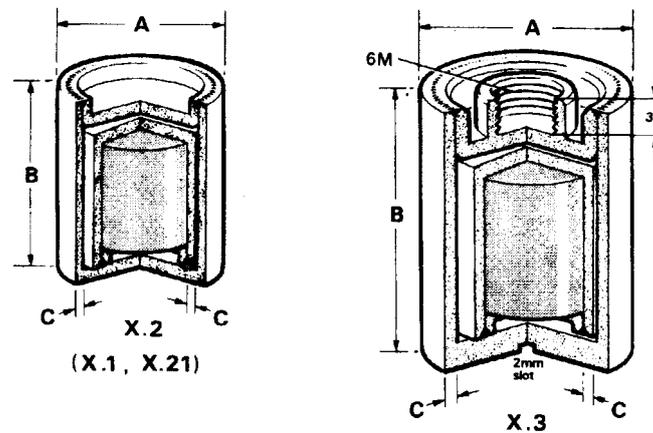


Aufbau der Präparate zur Erzeugung von Neutronen:

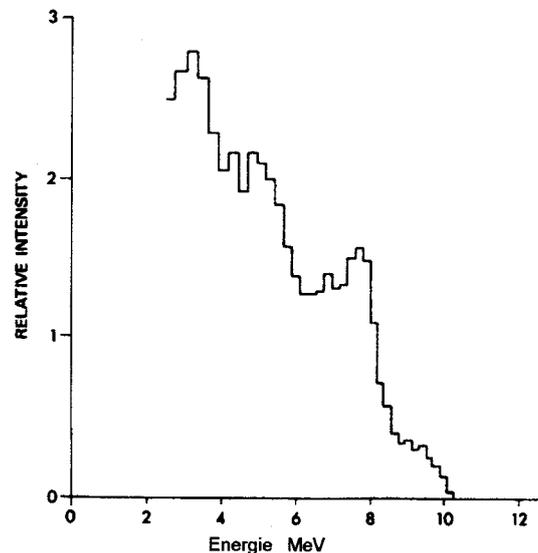
Bei den Präparaten handelt es sich um Zylinder von ca. 20 mm Durchmesser und 20-30 mm Höhe (siehe Abb). Sie enthalten ^{241}Am in Form von Oxyd vermischt mit Be-Pulver. Sie sind entweder gepreßt oder bei 1400 °C gesintert. Die gesinterten bieten eine höhere Sicherheit, liefern jedoch eine geringere Neutronenemission. Der radioaktive Stoff ist doppelwandig umschlossen. Beide Hüllen bestehen aus nicht rostendem Stahl und sind durch Argon - arc - Verschweißung verschlossen.



Abbildung Neutronen Kapseln

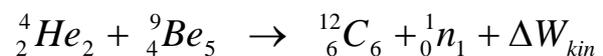


NeutronenSpektrum Am/Be



Energiespektrum der Neutronenquelle

Reaktion im Gemisch der Quelle:



Detektoren für Neutronen:

1. Lithium Glas Szintillationskristalle: NWW nahezu 100% für langsame Neutronen.
2. **BF, Proportionalzählrohre:** Einfacher Aufbau, jedoch geringe Empfindlichkeit für langsame Neutronen und geringe Ausgangsspannung. Trotz einer Arbeitsspannung von 2000V beträgt die Ausgangsspannung nur einige Millivolt.
3. **He-3 Zählrohre:** Die Funktion von ${}^3\text{He}$ -Zählrohren beruht auf

der Kernreaktion: ${}^3\text{He} + \text{n} \rightarrow {}^3\text{H} + \text{p} + \text{E} + 764 \text{ keV}$.

Das zu messende Neutron löst beim Auftreffen auf einen ${}^3\text{He}$ -Atomkern eine Kernreaktion aus, bei welcher ein Proton und ein Triton entstehen. Gemessen wird die Ionisierung, die durch die sekundären, als Ionen vorliegenden Teilchen verursacht wird. E bedeutet die kinetische Energie des einfallenden Neutrons. Die Mindestenergie, die bei dieser



Kernreaktion auftritt, beträgt 764 keV. Diese Reaktion ist möglich für thermische und subthermische Neutronen.

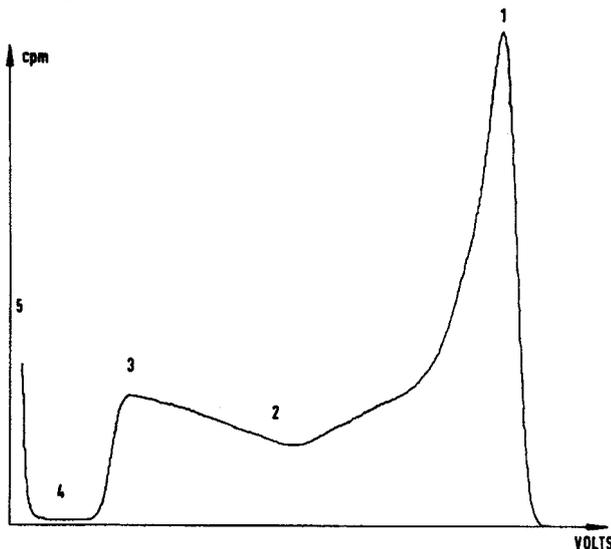
Die sehr hohe Neutronenempfindlichkeit von ^3He -Zählrohren beruht darauf, daß der Wirkungsquerschnitt für Neutroneneinfang mit $\sigma = 5400$ barn sehr hoch ist (zum Vergleich: für ^{10}B 4200 barn), vor allem aber können ^3He -Detektoren mit Drücken bis über 10 atm gefüllt werden, während $^{10}\text{BF}_3$ -Zählrohre bis etwa 2,5 atm gefüllt werden können.

Gasfüllung

Die Füllung der Zählrohre erfolgt erst nach strengen Dichtigkeitsprüfungen des Zählrohrkörpers sowie des gesamten Füllsystems. Das ^3He -Gas wird in höchstreiner Qualität verwendet, dem eine kleine Menge von Löschgas zugesetzt wird, durch welches u. a. metastabile Zustände der Edelgasatome beseitigt werden. Der Löschgaszusatz bewirkt eine erhebliche Verbesserung der Betriebsdaten eines ^3He -Zählers, so kann die Gasverstärkung so weit gesteigert werden, daß die Amplituden der Detektorimpulse genügend hoch über Störimpulsen und Rauschimpulsen des Verstärkers liegen. Zusätzlich kann der Füllung noch Krypton zugesetzt werden.

Spektrum

Ein typisches Impulshöhenspektrum für thermische Neutronen:



Der hochenergetische Peak (1) entspricht einer völligen Absorption des Protons und des Tritons im empfindlichen Gasvolumen (keine Wandeffekte).

Die Ausdehnung des Spektrums zu niederen Energien hin (2) ist bedingt durch Wandeffekte (Ionisationsspuren verlaufen nicht völlig im Gas).

Das Auftreten einer „Minimalenergie“ (steile Flanke am unteren Ende des Teilchenspektrums (3)) kann man sich folgendermaßen erklären: Wegen des Impulserhaltungssatzes werden Proton und Triton unter 180° emittiert, wobei das Proton $3/4$, das Triton $1/4$ der kinetischen Energie erhalten. Wird nun ein thermisches Neutron in unmittelbarer Nähe der Wand eingefangen, so wird mit 50 % Wahrscheinlichkeit das Proton in Richtung Wand und das Triton in das Gas hineinfliegen. Die Energie des Maximums bei (3) liegt in der Tat bei etwa $1/4$ derjenigen des Peaks (1). Im „Tal“ (4) liegen die wenigsten Impulse und hier muß die untere Diskriminatorschwelle liegen, wenn alle Neutronenimpulse gezählt werden sollen. Bei einem guten Zählrohr ist dieses Tal sehr ausgeprägt, denn der Bereich (5) enthält nur Störimpulse, deren Ursache Gamma- Strahlung und Rauschen des Vorverstärkers sind.

Die Halbwertsbreite des Peaks (1) gilt als Qualitätsmerkmal eines ^3He -Zählers, auch wenn er nicht für Spektroskopie benutzt wird.



Beimischung von Krypton

Durch den Zusatz von Krypton wird die Reichweite der ionisierenden Teilchen so weit verkürzt, daß die Wandeffekte nur noch eine kleine Rolle spielen und man schließlich bis über 90% der gesamten Impulse in den Peak (1) hineinschiebt. Demzufolge wird es möglich, die Diskriminatorschwelle ohne allzu großen Empfindlichkeitsverlust nach oben zu schieben, wodurch insbesondere die Gamma - Empfindlichkeit erheblich reduziert wird.

Anwendungsbeispiele der Feuchtebestimmung in der Industrie bei:

- | | |
|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| 1. Glassand | Erreichbare Genauigkeit: $\pm 0,1$ % Feuchte. |
| 2. Koks | Erreichbare Genauigkeit: $\pm 0,5$ % Feuchte. |
| 3. Sintererzmischungen | Erreichbare Genauigkeit: $\pm 0,3$ % Feuchte. |
| 4. Keramische Massen | Messung am Rundbeschicker. Erreichbare Genauigkeit: $\pm 0,3$ % Feuchte. |
| 5. Betonmischung | Am Auslauf des Feinsandsilos. Erreichbare Genauigkeit: $\pm 0,3$ % Feuchte. |
| 6. Holzschnitzel | Holzschnitzelsilo Erreichbare Genauigkeit. $\pm 1,5$ % Feuchte. |

Das Neutronenfeuchteverfahren ist nicht geeignet für organische Materialien mit schwankendem Wasserstoffgehalt in der Trockensubstanz (Steinkohle).

Alternative Verfahren:

- Das kapazitive Meßverfahren
- Mikrowellenverfahren Resonator-
Reflexions-
Transmissions-
- Die Infrarot- Reflexionsmethode

Aufgaben: Es sind Messungen an der Säule siehe [Versuch 3.7](#) durchzuführen.

