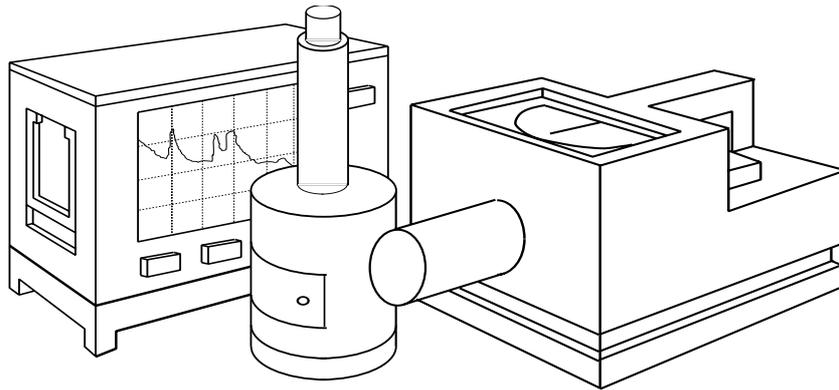


**TECHNISCHE UNIVERSITÄT
DRESDEN**

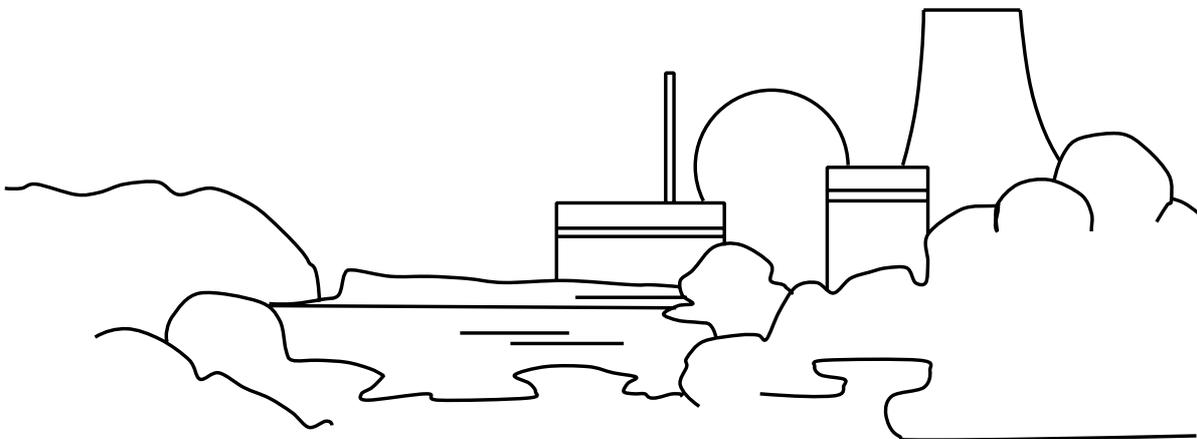
Institut für Energietechnik
Ausbildungskernreaktor



REAKTORPRAKTIKUM

VERSUCH

"Einflussfunktion"



Praktikumsanleitung
Versuch "Einflussfunktion"

Gliederung:

1. Zielstellung
2. Aufgabenstellung
3. Einleitung
4. Hinweise zum Versuch
5. Hinweise zum Protokoll
6. Kontrollfragen

Anhang: Physikalische Grundlagen

Anhang: Anwendung der Störungstheorie auf Experimente am AKR - Eingruppentheorie

Anhang: Anwendung der Störungstheorie auf Experimente am AKR - Zweigruppentheorie

Stand: 12.05.2011

1. Zielstellung

Notwendig für den sicheren Betrieb eines Kernreaktors ist die Kenntnis aller Auswirkungen, die durch Veränderungen der materiellen Zusammensetzung der Spaltzone und ihres geometrischen Aufbaus verursacht werden.

Der Einfluss derartiger Veränderungen auf das reaktorphysikalische Verhalten lässt sich pauschal durch die hervorgerufene Reaktivitätsänderung beschreiben.

Die Aufnahme von Reaktivitätskennlinien für Proben aus unterschiedlichen Materialien dient dem Ziel, den qualitativen und quantitativen Einfluss typischer Reaktorwerkstoffe auf die Reaktivitätsbilanz zu erkennen.

2. Aufgabenstellung

- 2.1. Für die Probenbewegung wird ein dünnwandiges Aluminiumrohr verwendet, in dem die jeweilige Probe durch Füllstücke in definierter Position fixiert wird. Das Rohr ist so markiert, dass die Position der Probe eindeutig als Funktion des Abstandes r von der Spaltzonenmitte bestimmt werden kann.
- 2.2. Vor dem Ausmessen der Probe wird die Reaktivität des in den EK 1-2 vollständig eingeführten Probenrohres, das mit Füllstücken, aber ohne Probe beladen ist, bestimmt.
- 2.3. Für Proben aus unterschiedlichem Material (Absorber, Streuer, Brennstoff, Hohlraum) werden die Reaktivitätskennlinien $\rho(r)$ aufgenommen.
Dabei wird die durch Positionsänderung der Probe hervorgerufene Reaktivitätsänderung mittels kalibrierter Steuerstäbe kompensiert und der Betrag der Reaktivitätsänderung aus vorliegenden Steuerstabkennlinien ermittelt.
- 2.4. Die gemessenen Reaktivitätskennlinien sind zu diskutieren.
- 2.5. Für eine Probe unbekannter Zusammensetzung ist die Materialart und der Wirkungsquerschnitt durch Vergleich mit den Reaktivitätskennlinien von Proben bekannter Zusammensetzung zu ermitteln.

3. Einleitung

Im Praktikumsversuch "Steuerstabkalibrierung" wurde bereits der Einfluss eines Absorbers mit geringer räumlicher Ausdehnung auf die Spaltzone diskutiert. Es zeigte sich, dass der Reaktivitätsverlust, der durch ein differentielles Stabstück der Länge dz , das sich am Ort z befindet, verursacht wird, um so größer ist

- je größer der makroskopische Absorptionsquerschnitt
- je größer die Neutronenflussdichte Φ am Ort z
- je länger das Stabstück dz ist.

Das ist ein Ergebnis der Störungstheorie in Eingruppennäherung.

In Weiterführung dieser Problematik werden in diesem Praktikumsversuch neben Absorbieren auch andere Materialien (Streuer, Brennstoff, Hohlraum) untersucht, deren Position sich gegenüber der Spaltzone nicht vertikal, sondern horizontal im zentralen Experimentierkanal EK 1-2 ändern soll (siehe Abb. 1).

Die theoretischen Grundlagen werden im Anhang bis zur Anwendung der Störungstheorie auf radiale Probleme in 2-Gruppennäherung dargestellt.

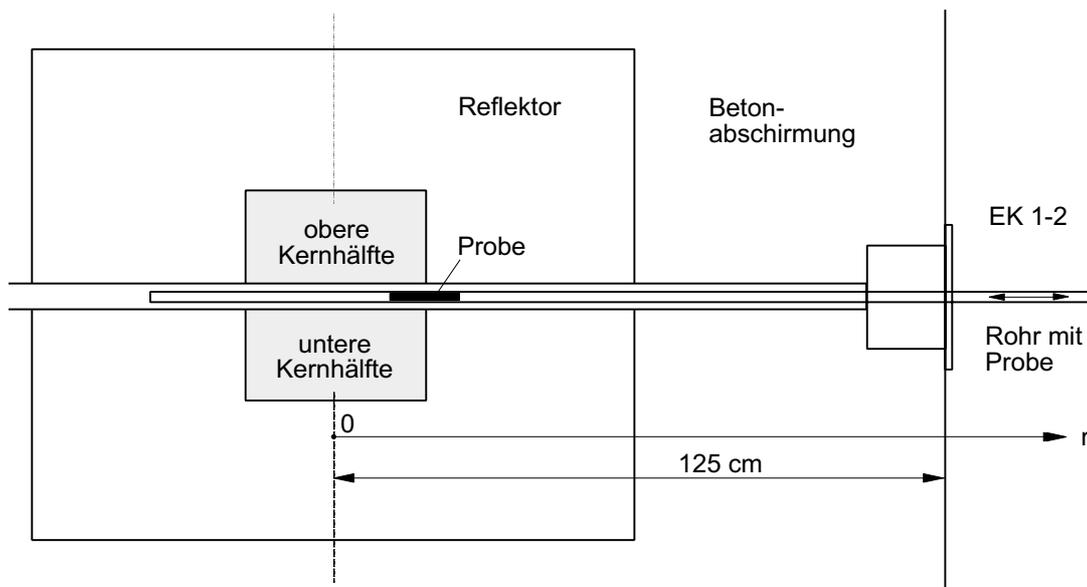


Abb. 1, Schema des Versuchsaufbaus

4. Hinweis zum Versuch

Achtung!

Positionsänderungen des Probenrohres im zentralen Experimentierkanal EK 1-2 können positive Reaktivitätsänderungen hervorrufen! Rasche Bewegungen mit großen Schrittweiten vermeiden! Vollständiges Herausziehen oder Einführen des Probenrohres nur bei partiell abgeschaltetem Reaktor!

1. Untersuchungen des Einflusses des leeren Experimentierrohres
2. Untersuchungen des Reaktivitätseinflusses für das Experimentierrohr, nur gefüllt mit Hartpapier (kritische Stabposition ermitteln)
3. Einführen einer Absorberprobe (5 cm PVC) in den EK 1-2 in Schritten von 5 cm im Bereich -30 cm ... 0 ... +30 cm (0 kennzeichnet die Lage in Spaltzonenmitte)
4. Zeichnen der Einflussfunktion für Absorber
5. Einführen einer Streuer-/Moderatorprobe (10 cm Polyäthylen) in den EK 1-2 in Schritten von 5 cm im Bereich -30 cm ... 0 ... +30 cm (0 kennzeichnet die Lage in Spaltzonenmitte)
6. Darstellung der Einflussfunktion für Streuer/Moderator
7. Wiederholung Pkt. 5 und 6 für eine Probe aus 10 cm Graphit

5. Hinweise zum Protokoll

- Kurzbeschreibung des Versuchsziels
- Messwerttabelle
- Rechnerische Auswertung mit Angabe von Zwischenergebnissen
- Graphische Darstellung der experimentell ermittelten Kennlinien, wobei beim Absorber der Vergleich mit der theoretisch ermittelten Kennlinie erfolgen soll. Die Kennlinie des Streuers ist qualitativ zu diskutieren.
- Fehlerbetrachtung.

6. Kontrollfragen

1. Überlegen Sie, wie man die Größe einer durch eine Probe hervorgerufenen und durch den Steuerstab kompensierten Reaktivität an einer differentiellen oder integralen Steuerstabskennlinie abliest!
2. Worin besteht der Unterschied in der Vorgehensweise bei der Erstellung einer integralen Steuerstabskennlinie und der Erstellung der Kennlinie einer Probe, deren Volumen klein ist gegen die Ausdehnung der Spaltzone?
3. Wieso ist bei der Graphitprobe (Annahme: nur $D \neq 0$) als Streuer im Zentrum der Spaltzone ($r = 0$) nicht $q = 0$ zu erwarten?
4. Überlegen Sie die Vorgehensweise, wenn man mit Hilfe von Reaktivitätskennlinien den Uran-Gehalt einer Probe messen möchte!

Anhang: Physikalische Grundlagen

Als Näherung für die Beschreibung des Neutronentransports nutzen wir die Diffusionsgleichung in 2-Gruppennäherung.

$$\begin{aligned} \operatorname{div}(D_1 \cdot \operatorname{grad} \Phi_1) - \Sigma_{\text{rem}} \Phi_1 + \varepsilon \cdot v \cdot \Sigma_{f,2} \Phi_2 &= 0 \\ \operatorname{div}(D_2 \cdot \operatorname{grad} \Phi_2) - \Sigma_{a,2} \Phi_2 + p \cdot \Sigma_{s,1 \rightarrow 2} \Phi_1 &= 0 \end{aligned} \quad (1)$$

$$\text{mit } \Sigma_{\text{rem}} = \Sigma_{a,1} + \Sigma_{s,1 \rightarrow 2}, \quad \Sigma_{s,1 \rightarrow 2} = \frac{\Sigma_{s,1}}{\frac{1}{\zeta} \ln \frac{E_o}{E_g}}$$

$$\text{und } D = \frac{1}{3 \cdot \Sigma_{\text{tr}}} = \frac{1}{3(\Sigma_T - \Sigma_s \cdot \bar{\mu})}, \quad \bar{\mu} = \frac{2}{3 \cdot A}$$

Kleine Störungen im Sinne der Störungstheorie sind Änderungen der Koeffizienten D_1 , D_2 , Σ_{rem} , $\Sigma_{a,2}$, $\Sigma_{f,2}$, $\Sigma_{s,1 \rightarrow 2}$, wobei die Neutronenflussverteilungen im Reaktor durch das Einbringen der Probe nicht beeinflusst werden sollen.

Gleichung (1) lässt sich in Matrixschreibweise darstellen:

$$\underline{M} \underline{\Phi} = 0 \quad (2)$$

Befindet sich die Probe, die die Störung S hervorruft, im Reaktor, wird der Reaktor über- oder unterkritisch, d.h.

$$\varrho = \frac{k'_{\text{eff}} - 1}{k'_{\text{eff}}} \neq 0 \quad (3)$$

mit $k'_{\text{eff}} = k_{\text{eff}}^0 + \Delta k_{\text{eff}} \neq 1$... gestörter Zustand

und $k_{\text{eff}}^0 = 1$... ungestörter Zustand

Die Störung infolge Änderung der Koeffizienten wird z. B. durch Nachregeln der Steuerstäbe kompensiert, so dass gilt

$$k_{\text{eff}} = k'_{\text{eff}} - \Delta k_{\text{eff}} = 1$$

Für den wieder kritischen Zustand folgt

$$(\underline{\mathbf{M}} + \underline{\mathbf{S}}) \cdot \underline{\Phi} = 0 \quad (4)$$

$$\text{mit } \underline{\mathbf{S}} = \begin{vmatrix} \text{div } \delta D_1 \cdot \text{grad } \Phi_1 - \delta \Sigma_{\text{rem}} & \varepsilon \cdot \mathbf{v} \cdot \delta \Sigma_{f,2} - \Delta k_{\text{eff}} \cdot \varepsilon \cdot \mathbf{v} \cdot \Sigma_{f,2} \\ p \cdot \delta \Sigma_{s,1-2} & \text{div } \delta D_2 \cdot \text{grad } \Phi_2 - \delta \Sigma_{a,2} \end{vmatrix} \quad (5)$$

wobei durch den Term $-\Delta k_{\text{eff}} \cdot \varepsilon \cdot \mathbf{v} \cdot \Sigma_{f,2}$ berücksichtigt wird, dass die Reaktivitätsänderung infolge der Störung bereits wieder kompensiert wurde.

Nach Aufstellen der adjungierten Gleichung

$$(\underline{\mathbf{M}}^+ + \underline{\mathbf{S}}^+) \cdot \underline{\Phi} = 0$$

und unter Benutzung der Aussagen der Theorie der Eigenwerte sowie einer Reihe von Umstellungen folgt für $\varrho = \Delta k_{\text{eff}}$

$$\varrho = \frac{1}{K} \int_{\text{Reaktor}} [-\delta D_1 \text{grad } \Phi_1^+ \text{grad } \Phi_1 - \delta \Sigma_{\text{rem}} \Phi_1^+ \Phi_1 + \varepsilon \cdot \mathbf{v} \cdot \delta \Sigma_{f,2} \Phi_1^+ \Phi_2 - \delta D_2 \text{grad } \Phi_2^+ \text{grad } \Phi_2 - \delta \Sigma_{a,2} \Phi_2^+ \Phi_2 + p \cdot \Sigma_{s,1-2} \Phi_2^+ \Phi_1] dV \quad (6)$$

$$\text{mit } K = \int_{\text{Reaktor}} \varepsilon \cdot \mathbf{v} \cdot \Sigma_{f,2} \Phi_1^+ \Phi_2 dV$$

Im vorliegenden Praktikumsversuch sind vor allem der Einfluss eines Absorbers (nur $\delta \Sigma_{a,2} \neq 0$) und eines Streuers ($\delta \Sigma_s \neq 0$) näher zu untersuchen, d.h. es gilt

$$\varrho_a = - \frac{1}{K} \int_{\text{Reaktor}} \delta \Sigma_{a,2} \Phi_2^+ \Phi_2 dV \quad (7)$$

für den Absorber und

$$\rho_s = \frac{1}{K} \int_{\text{Reaktor}} [-\delta D_2 \text{grad } \Phi_2^+ \text{grad } \Phi_2 + p \cdot \delta \Sigma_{s,1-2} \Phi_2^+ \Phi_1] dV \quad (8)$$

für den Streuer, da sich eine Änderung von Σ_s sowohl auf den Diffusionskoeffizienten als auch auf den Bremsquerschnitt (oft als Moderationsanteil bezeichnet) auswirkt. Für einen Hohlraum gelten die entsprechenden Gleichungen mit umgekehrtem Vorzeichen.

Gleichung (6) zeigt, dass eine Erhöhung der Wirkungsquerschnitte $\delta \Sigma_a$ und $\delta \Sigma_{s,1-2}$ mit $\Phi^+ \Phi$ gewichtet wird, während die Wichtung bei einer Änderung von D mit $\text{grad} \Phi^+ \text{grad} \Phi$ erfolgt. Eine Vergrößerung der Absorptionsquerschnitte ergibt einen negativen Reaktivitätsbeitrag. Ebenso liefert eine Vergrößerung des Diffusionskoeffizienten einen negativen Beitrag, da dies zu einer Erhöhung des Leckageterms führt.

Unter der Voraussetzung, dass die Störung nur einen kleinen Bruchteil ΔV des Reaktorvolumens einnimmt, in dem sich die Neutroneneinflüsse nicht ändern, kann das Integral in Gl. (7) und (8) entfallen.

$$\rho_a = - \frac{1}{K} \cdot \delta \Sigma_{a,2} \Phi_2^+ \Phi_2 \Delta V \quad (9)$$

$$\rho_s = \frac{1}{K} (-\delta D_2 \text{grad } \Phi_2^+ \text{grad } \Phi_2 + p \cdot \delta \Sigma_{s,1-2} \Phi_2^+ \Phi_1) \Delta V$$

Anhang: Anwendung der Störungstheorie auf Experimente am AKR - Eingruppentheorie

In Eingruppentheorie gilt $\mathbf{M} = \mathbf{M}_2$ und $\mathbf{M} = \mathbf{M}_1^+$.

In Zylindergeometrie wie beim AKR lässt sich der radiale Verlauf von \mathbf{M} und $\frac{\mathbf{M}}{\mathbf{M}^+}$ mit Hilfe

von Besselfunktionen ausdrücken:

$$\mathbf{M} = \mathbf{M}_{\max} \cdot I_0 \left(\frac{2.405}{R \cdot \kappa} \cdot r \right)$$

$$\frac{\mathbf{M}}{\mathbf{M}^+} = \mathbf{M}_{\max} \cdot \frac{2.405}{R \cdot \kappa} \cdot I_1 \left(\frac{2.405}{R \cdot \kappa} \cdot r \right)$$

mit $R = 12.5$ cm und $\kappa = 6.35$ cm.

Die Näherung in Eingruppentheorie eignet sich gut für Absorber mit kleinen Reaktivitäten.

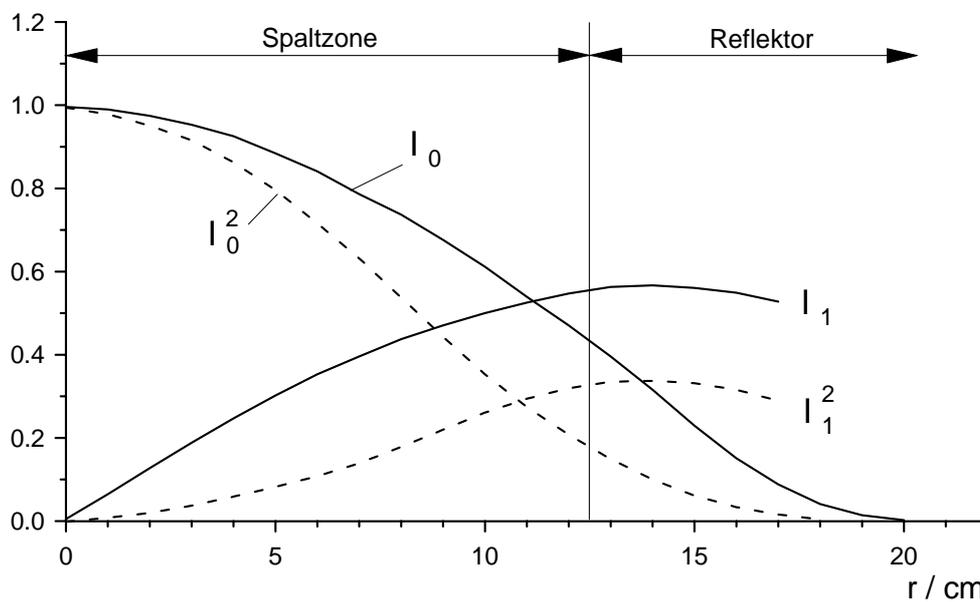


Abb. 2, Normierte Besselfunktionen I_0 und I_1 und in Eingruppennäherung für den AKR

Anhang: Anwendung der Störungstheorie auf Experimente am AKR - Zweigruppentheorie

Abb. 3 zeigt die radialen Verteilungen von Φ_1 , Φ_1^+ , Φ_2 , Φ_2^+ , $\frac{\partial}{\partial r} \Phi_2$ und $\frac{\partial}{\partial r} \Phi_2^+$, die für den AKR mit Hilfe des Rechenprogramms RHEIN in 2-Gruppennäherung unter Verwendung der Transportmethode P1 (eindimensional) ermittelt wurden.

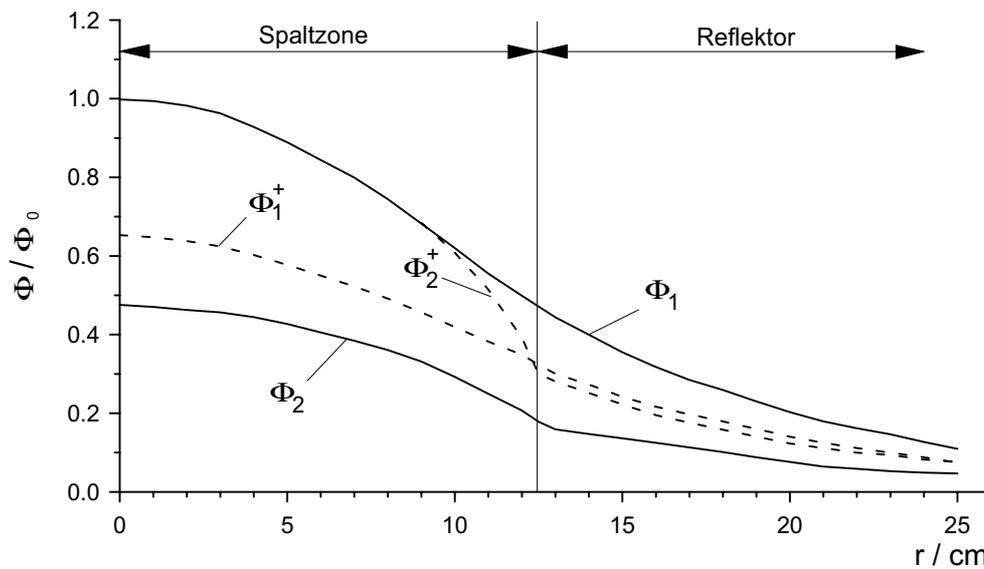


Abb. 3a, Radiale Verteilungen der Neutronenflüsse und Einflussfunktionen für den AKR

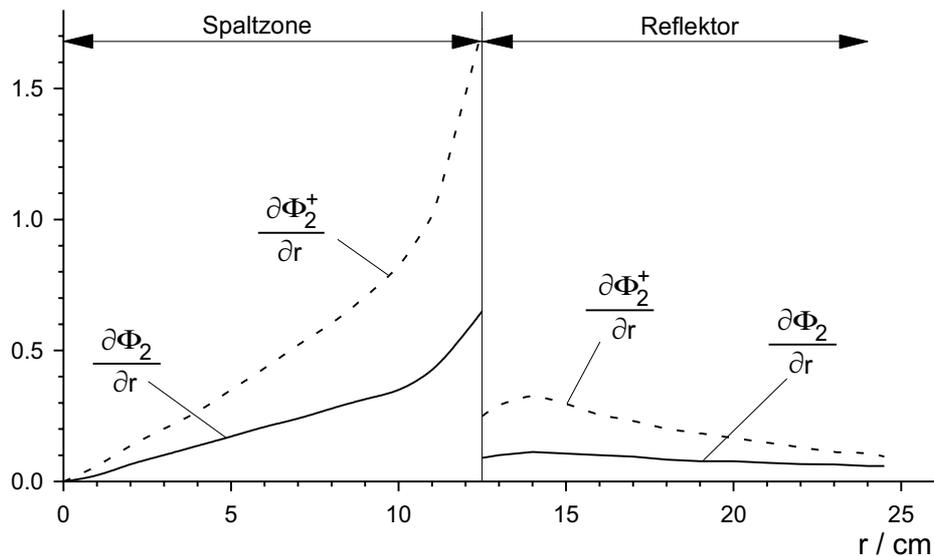


Abb. 3b, Radiale Verteilungen von $\frac{\partial}{\partial r} \Phi_2$ und $\frac{\partial}{\partial r} \Phi_2^+$ für den AKR

Damit lassen sich die in den Abb. 4 und 5 dargestellten, am AKR experimentell ermittelten Reaktivitätskennlinien begründen.

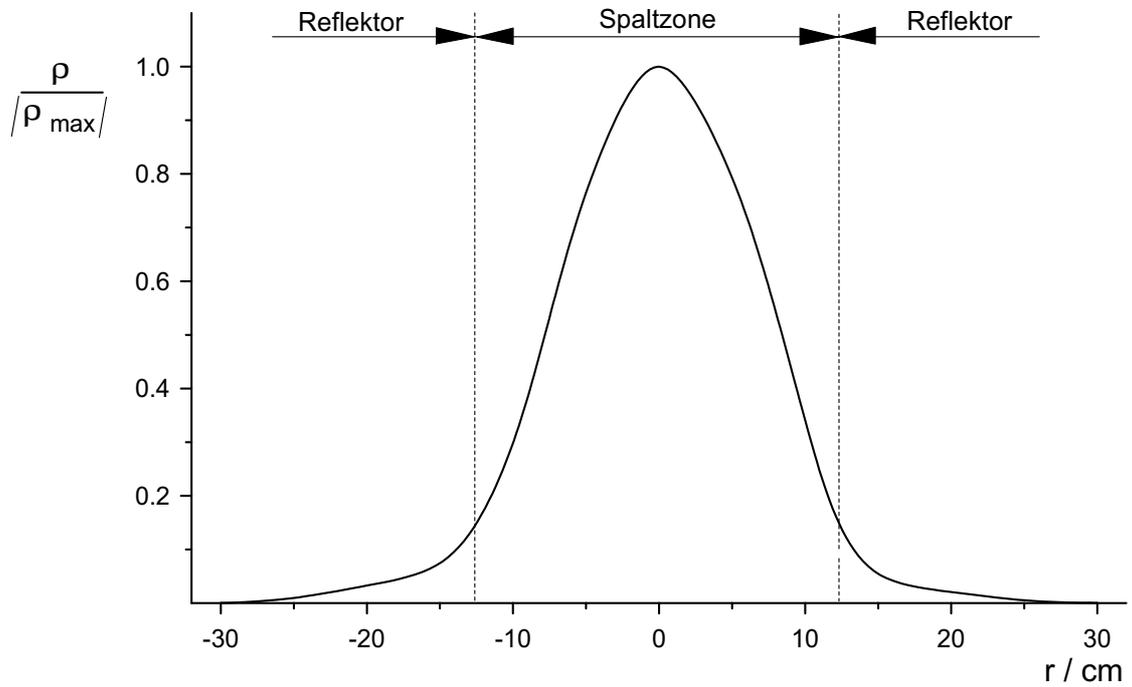


Abb. 4, Typischer Verlauf einer Absorberkennlinie am AKR

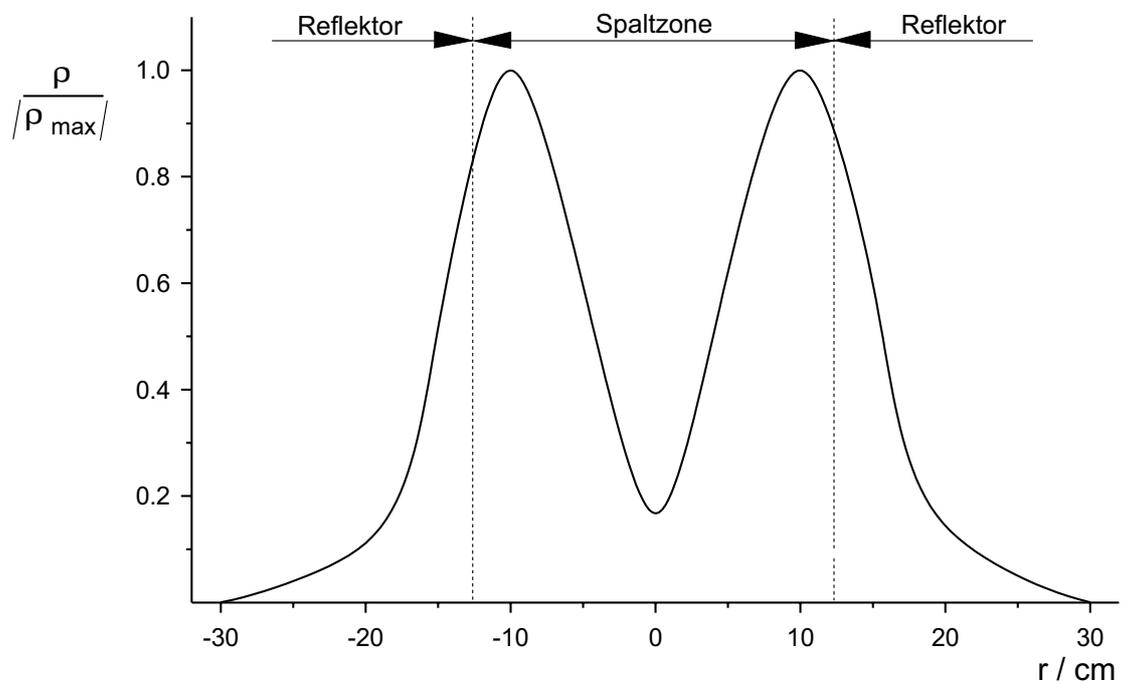


Abb. 5, Typischer Verlauf einer Streuerkennlinie am AKR