

Protokoll Steuerstabskalibrierung

Fuchs, Gutmann, Kosbab, Kowal, Steindorf, Falker, Scheffel, Richter

5. Dezember 2022

Inhaltsverzeichnis

1	Kurzbeschreibung des Versuches	1
2	Messwerttabelle mit Angabe der Messfehler	2
2.1	Messfehler / Potenzielle Fehlerquellen	2
3	Rechnerische Auswertung und Diskussion der Fehler	2
3.1	INHOUE-Gleichung	2
3.2	Rechenergebnisse	3
4	Grafische Darstellung der Steuerstabskennlinien	4
4.1	Differentiell	4
4.2	Integral	4
5	Ableitung der Überschuss- und Abschaltreaktivität	5
5.1	Gesamtreaktivität	5
5.2	Überschussreaktivität	5
5.3	Abschaltreaktivität	6

1 Kurzbeschreibung des Versuches

- Die Funktionskontrolle des Reaktors wird gemäß Prüfvorschrift durchgeführt und protokolliert.
- Der Reaktor wird durch Wiederholungsstart in Betrieb genommen. Zuerst wird Steuerstab 2 komplett ausgefahren, mit Steuerstab 1 wird der Reaktor dann bei 0,3 W kritisch gemacht. Die Steuerstabsstellung ist hierbei (S1: 3645, S2: 0, S3: 4000).
- S2 wird um 800 Einheiten eingefahren, eine Minute wird gewartet und anschließend die Verdopplungszeit per Hand gemessen.
- Nach Beenden der Messung wird S3 eingefahren um den Reaktor wieder bei 0,3 W kritisch zu machen.
- Dieser Vorgang wird 5 mal wiederholt bis S2 komplett ausgefahren ist.

2 Messwerttabelle mit Angabe der Messfehler

P	Stabstellung			Verdopplungszeit				Periode
	S_1	S_2	S_3	T_{WB1}	T_{WB2}	T_{LB}	$\overline{T_2}$	T_s
0.32 W	3465	0	4000	∞	∞	∞	∞	∞
0.92 W	3465	827	4000	198.87 s	198.80 s	193.03 s	196.90 s	284.07 s
0.32 W	3465	827	3440	∞	∞	∞	∞	∞
1.42 W	3465	1604	3440	100.00 s	101.00 s	97.84 s	99.61 s	143.71 s
0.30 W	3465	1604	2698	∞	∞	∞	∞	∞
1.69 W	3465	2409	2698	71.78 s	72.17 s	70.81 s	71.59 s	103.28 s
0.29 W	3465	2409	1881	∞	∞	∞	∞	∞
1.57 W	3465	3215	1881	76.84 s	75.57 s	73.66 s	75.36 s	108.72 s
0.30 W	3465	3215	1000	∞	∞	∞	∞	∞
1.17 W	3465	4000	1000	113.59 s	112.34 s	107.50 s	111.14 s	160.35 s
1.17 W	3419	4000	0	∞	∞	∞	∞	∞

Tabelle 1: Steuerstabsstellungen und Verdopplungszeiten

2.1 Messfehler / Potenzielle Fehlerquellen

- Ungenauigkeiten beim Stoppen der Zeit (Reaktionszeit)
- Ungenauigkeiten beim Ablesen der Impulsrate, Leistung und Steuerstabspositionen
- Kompromiss beim Warten auf stabile Periode
- Differenz zwischen Messkanälen, Abweichung vom Mittelwert

Die Standardabweichung von den Mittelwerten der Verdopplungszeiten ist im Durchschnitt 2.1s.

3 Rechnerische Auswertung und Diskussion der Fehler

3.1 INHOUR-Gleichung

Zur Berechnung der Reaktivität wurde die in der Praktikumsanleitung erläuterte INHOUR-Gleichung sowie die gegebenen Werte für l^*/β sowie a_i bzw. λ_i verwendet:

$$\rho' = \frac{l^*/\beta}{T_S} + \sum_{i=1}^6 \frac{a_i}{1 + \lambda_i \cdot T_S}$$

Für den AKR gilt $l^*/\beta = 0.0051s$.

i	$\lambda_i[\text{s}^{-1}]$	$\mathbf{a}_i = \beta_i/\beta$
1	0.0124	0.033
2	0.0305	0.219
3	0.111	0.196
4	0.301	0.395
5	1.14	0.115
6	3.01	0.042

Tabelle 2: Daten der verzögerten Neutronen zur Verwendung in der INHOUR-Gleichung

3.2 Rechenergebnisse

Um die differentielle Reaktivität besser vergleichen und darstellen zu können wird sie zusätzlich im Format $\frac{d\rho'}{dz} * 1000$ berechnet.

S2	Periode	Diff. Reakt.	$\frac{d\rho'}{dz} * 1000$	Intgr. Reakt.
827	284.07 s	0.0410	0.0495	0.0410 \$
1604	143.71 s	0.0739	0.0951	0.1148 \$
2409	103.28 s	0.0964	0.1198	0.2113 \$
3215	108.72 s	0.0926	0.1149	0.3039 \$
4000	160.35 s	0.0674	0.0859	0.3713 \$

Tabelle 3: Stellung von Steuerstab 2 mit zugehörigen berechneten Werten

Die Positionen für Steuerstab 3 sind die tatsächlichen Positionen, jedoch in umgekehrter Reihenfolge, da die Steuerstäbe zur Kompensationsmethode eingefahren werden.

Die Positionen für Steuerstab 1 werden aus den Positionen für Steuerstab 2 und 3 gemittelt.

S3			S1		
Position	$\frac{d\rho'}{dz} * 1000$	ρ'_{Int}	Position	$\frac{d\rho'}{dz} * 1000$	ρ'_{Int}
1000	0.0410	0.0674 \$	913.5	0.0495	0.0542 \$
1881	0.0838	0.1600 \$	1742.5	0.0951	0.1374 \$
2698	0.1180	0.2564 \$	2553.5	0.1198	0.2339 \$
3440	0.1248	0.3303 \$	3327.5	0.1149	0.3171 \$
4000	0.1204	0.3713 \$	4000.0	0.0859	0.3713 \$

Tabelle 4: Stellung von Steuerstab 3 sowie 1 und deren Reaktivität

4 Grafische Darstellung der Steuerstabskennlinien

4.1 Differentiell

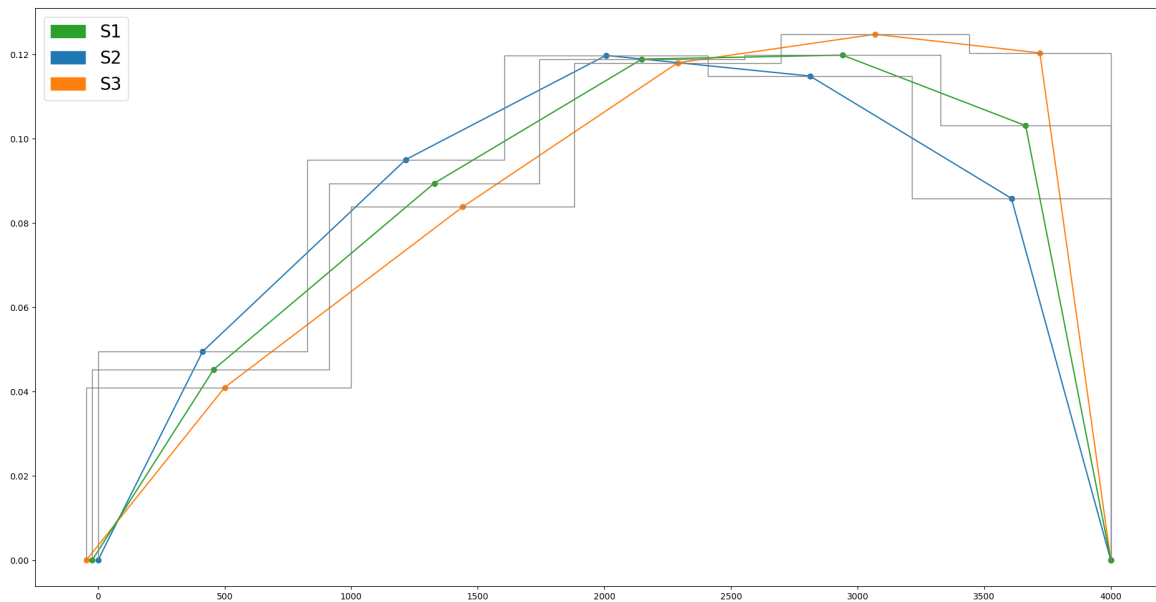


Abbildung 1: Differentielle Reaktivitätskennlinien

4.2 Integral

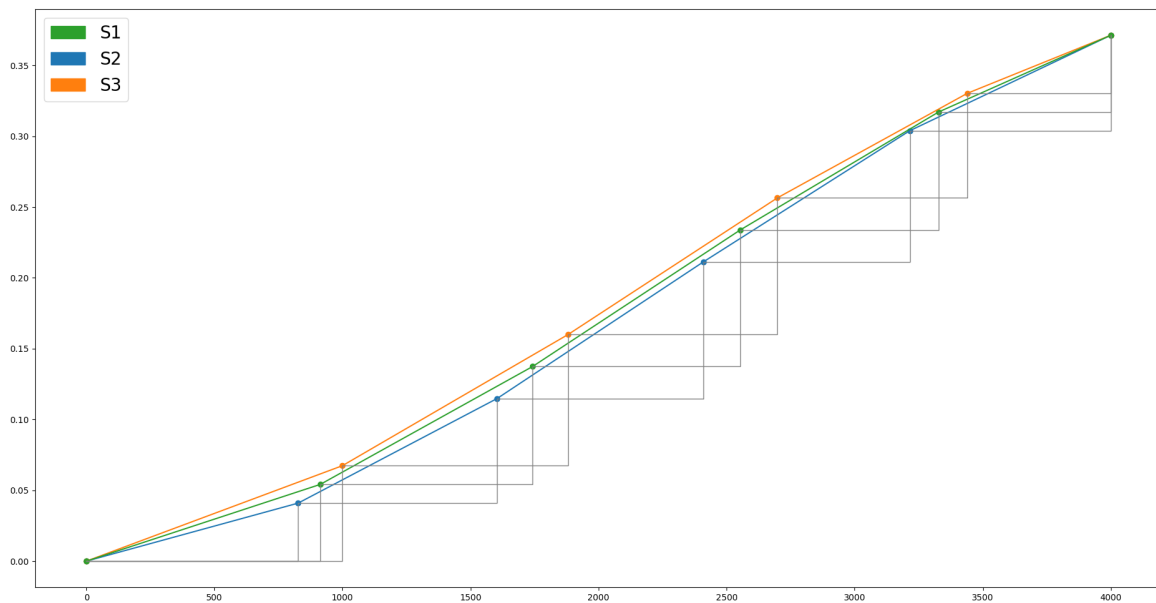


Abbildung 2: Integrale Reaktivitätskennlinien

5 Ableitung der Überschuss- und Abschaltreaktivität

5.1 Gesamtreaktivität

Zur Berechnung der Überschuss- bzw. Abschaltreaktivität wird sowohl die Gesamtreaktivität der einzelnen Steuerstäbe, als auch die des gesamten Reaktors benötigt. Die Gesamtreaktivität der Steuerstäbe entspricht der Reaktivitätsdifferenz des jeweiligen Stabes über die gesamte Hubhöhe, und ist damit in unserem Fall äquivalent zum Maximalwert der integralen Reaktivität des Stabes.

Steuerstab i	$\rho'_{i,Gesamt}$
S1	0.3712 \$
S2	0.3712 \$
S3	0.3712 \$

Tabelle 5: Gesamtreaktivitäten der Steuerstäbe

Die Gesamtreaktivität berechnet sich anschließend aus der Summe der Gesamtreaktivitäten der einzelnen Steuerstäbe:

$$\begin{aligned}\rho'_{Gesamt} &= \sum_{[S1,S2,S3]} \rho'_{i,Gesamt} \\ &= 0.3712 \$ + 0.3712 \$ + 0.3712 \$ \\ &= 1.1138 \$\end{aligned}$$

5.2 Überschussreaktivität

Die Überschussreaktivität entspricht derjenigen positiven Reaktivität, welche, ausgehend vom kritischen Zustand des Reaktors, durch weiteres Heben aller Steuerstäbe in die obere Endlage zugeführt werden kann.

Damit entspricht die gesamte Überschussreaktivität der Summe der Überschussreaktivitäten aller Steuerstäbe im kritischen Zustand:

$$\rho'_{\text{Überschuss}} = \rho'_{1,\text{Überschuss}} + \rho'_{2,\text{Überschuss}} + \rho'_{3,\text{Überschuss}}$$

Die einzelnen Überschussreaktivitäten berechnen sich jeweils aus der Differenz der Reaktivität im kritischen Zustand, zur Gesamtreaktivität des jeweiligen Steuerstabs:

$$\rho'_{i,\text{Überschuss}} = \rho'_{i,Gesamt} - \rho'_{i,kritisch}$$

Steuerstabsstellungen			Überschussreaktivitäten			
S1	S2	S3	$\rho'_{1,\ddot{U}}[\$]$	$\rho'_{2,\ddot{U}}[\$]$	$\rho'_{3,\ddot{U}}[\$]$	$\rho'_{\ddot{U}}[\$]$
3465	0	4000	0.0431	0.3713	0.0000	0.4144
3465	827	3440	0.0431	0.3039	0.0410	0.3879
3465	1604	2698	0.0431	0.2113	0.1148	0.3692
3465	2409	1881	0.0431	0.1148	0.2113	0.3692
3465	3215	1000	0.0431	0.0410	0.3039	0.3879
3419	4000	0	0.0468	0.0000	0.3713	0.4181

Tabelle 6: Steuerstabsstellung und Überschussreaktivitäten des kritischen Reaktors

Da für den Reaktorstab S1 kein exakt berechneter Reaktivitätswert zu den beiden Stabspositionen vorliegt, wurden diese über die beiden benachbarten Messpunkte mittels linearer Interpolation approximiert. Die mittlere Überschussreaktivität beträgt damit ca 0.3911\$ und liegt deutlich unter dem für die nukleare Sicherheit relevantem Grenzwert von 1\$.

5.3 Abschaltreaktivität

Die Abschaltreaktivität ist derjenige negative Reaktivitätswert, welcher durch das Abfallen aller Steuerstäbe in die spaltzohnennahe Endlage zugeführt werden kann. Sie berechnet sich damit aus der Differenz der Überschussreaktivität zur Gesamtreaktivität:

$$\begin{aligned}
 \rho'_{\text{Abschalt}} &= \rho'_{\text{Gesamt}} - \rho'_{\text{Überschuss}} \\
 &= 1.1138 \$ - 0.3911 \$ \\
 &= 0.7227 \$
 \end{aligned}$$