

**Messung der Diffusionslänge  
thermischer Neutronen in Beton**

**M. Moser**

**AIAU 27303**

**April 2007**

ausgeführt im Rahmen einer Projektarbeit aus Reaktortechnik

**Inhalt:**

1	Einleitung.....	3
2	Vorbereitung der Messung .....	4
2.1	Eichung des Gamma-Detektors.....	4
3	Messung.....	7
3.1	1. Messung .....	9
3.1.1	Versuchsaufbau .....	9
3.1.2	Versuchsdurchführung.....	9
3.1.3	Messergebnisse.....	10
3.1.4	Resümee.....	10
3.2	2. Messung .....	11
3.2.1	Versuchsaufbau .....	11
3.2.2	Messung.....	12
3.2.3	Resümee.....	15
4	Literaturverzeichnis .....	16

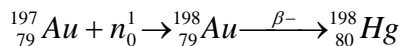
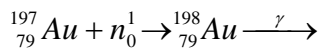
# 1 Einleitung

Der Zweck dieser Messung ist es die Diffusionslänge thermischer Neutronen, d.h. Neutronen mit einer mittleren Energie unter  $0,025\text{eV}$ , in Beton zu bestimmen. Damit kann anschließend bestimmt werden, wie tief die Neutronen beim Betrieb eines Reaktors in die diversen Betonbauteile eindringen kann. Wodurch beim Abbau eines Reaktors schon im Vorfeld bestimmt werden kann, bis zu welchen Bereich ein gefahrloser Abbau möglich ist und ab wann man von einer Aktivierung des Betons, bzw. dessen Bestandteile ausgehen muss.

## 2 Vorbereitung der Messung

### 2.1 Eichung des Gamma-Detektors

Beim Beschuss von  $^{197}\text{Au}$  mit einem  $n_0^1$  entsteht  $^{198}\text{Au}$  welches bei einer Energie von 411,8keV ein  $\gamma$ -Quant aussendet. Eine weitere Möglichkeit ist, dass  $^{198}\text{Au}$  unter  $\beta^-$ -Strahlung zu  $^{198}\text{Hg}$



Zur Bestimmung der Effizienz des Detektors (Abb. 0) werden mittels der Eichproben (Abb. 0) Messungen durchgeführt. Wobei die Proben Gamma-Strahlen in verschiedenen Energien aussendet. Mit den Gemessenen Impulswerten, und der Aktivität (Tabelle 1) der Eichproben kann man auf die Effizienz des Detektors in Abhängigkeit der Energie bestimmen.



Abb. 2 Eichproben



Abb. 1  $\gamma$ -Detektor

	Co-60	Co-60	Ba-133	Cs-137	Eu-152	Pb-210	Ra-226	Am-241
Isotop	Co-60	Co-60	Ba-133	Cs-137	Eu-152	Pb-210	Ra-226	Am-241
Herkunft	ARC	ATI	ARC	ARC	ATI	ATI	ATI	ARC
HWZ [a]	5,272	5,272	10,5	30,17	12,7	22,3	1600	432,2
Ref. Datum	01.01.94	01.09.92	01.01.94	01.01.94	01.09.92	01.09.92	01.09.92	01.01.94
Ref. Aktivität [Bq]	44200	36500	45000	47900	40900	202000	56300	35500
1. Messung	Messdatum	19.02.07	19.02.07	19.02.07	19.02.07	19.02.07	19.02.07	19.02.07
	Differenz in Tagen	4797	5284	4797	4797	5284	5284	4797
	Aktivität [Bq]	7861,48	5448,06	18909,59	35423,58	18570,11	128843,50	55948,26
2. Messung	Messdatum	20.02.07	20.02.07	20.02.07	20.02.07	20.02.07	20.02.07	20.02.07
	Differenz in Tagen	4798	5285	4798	4798	5285	5285	4798
	Aktivität [Bq]	7858,65	5446,10	18906,18	35421,35	18567,34	128832,53	55948,19

**Tabelle 1 Aktivitäten der Eichproben**

Die in Tabelle 1 beschriebenen Eichproben kommen zu Teil vom Atominstitut der österreichischen Universitäten (ATI) und zum Teil von Austrian Reseach Centers (ARC).

Die Werte aus der Berechnung der Effizienz sind in Tabelle 2 zusammengestellt. Sie gelten nur für einen Abstand von 10cm zwischen Probe und Detektor.

Isotop	Messdatum	Messzeit [s]	CTRD keV	Impulse net,	Backgrnd	Impulse/Sek	%Fehler	Aussendewahr, [%]	Effi, [%]
Pb-210	19.02.2007	1500	46,54	58239	38555	38,826	0,62	4,25	0,7090%
Am-241	19.02.2007	1500	59,54	147690	73430	98,460	0,38	35,9	0,7890%
Eu-152	20.02.2007	2000	121,78	107868	21534	53,934	0,38	28,67	1,0132%
Ra-226	19.02.2007	2800	186,21	37632	69861	13,44	1,23	3,59	0,6691%
Ba-133	20.02.2007	2000	302,85	32709	4895	16,355	0,67	18,33	0,4719%
Ba-133	20.02.2007	2000	356,01	97847	2685	48,923	0,33	62,05	0,4170%
Cs-137	19.02.2007	1500	661,66	107774	1564	71,849	0,32	85,1	0,2383%
Co-60 ARC	20.02.2007	1500	1173,24	16427	1259	10,951	0,87	99,97	0,1394%
Co-60 ATI	19.02.2007	1500	1173,24	11238	933	7,492	1,07	99,97	0,1376%
Co-60	Mittelwert		1173,24						0,1385%
Co-60 ARC	20.02.2007	1500	1332,5	15106	380	10,071	0,85	99,97	0,1282%
Co-60 ATI	19.02.2007	1500	1332,5	10078	284	6,719	1,06	99,99	0,1233%
Co-60	Mittelwert		1332,5						0,1258%
Eu-152	20.02.2007	2000	1408,08	10167	367	5,083	1,09	21,07	0,1299%

**Tabelle 2 Werte der Effizienz**

Aus diesen Werten kann ein Diagramm (Abb. 0) der Effizienz in Abhängigkeit der Energie erstellt werden. Daraus sehen wir, dass bei einer Energie von 411,8keV der Au-Linie der Detektor eine Effizienz von 0,38% aufweist.

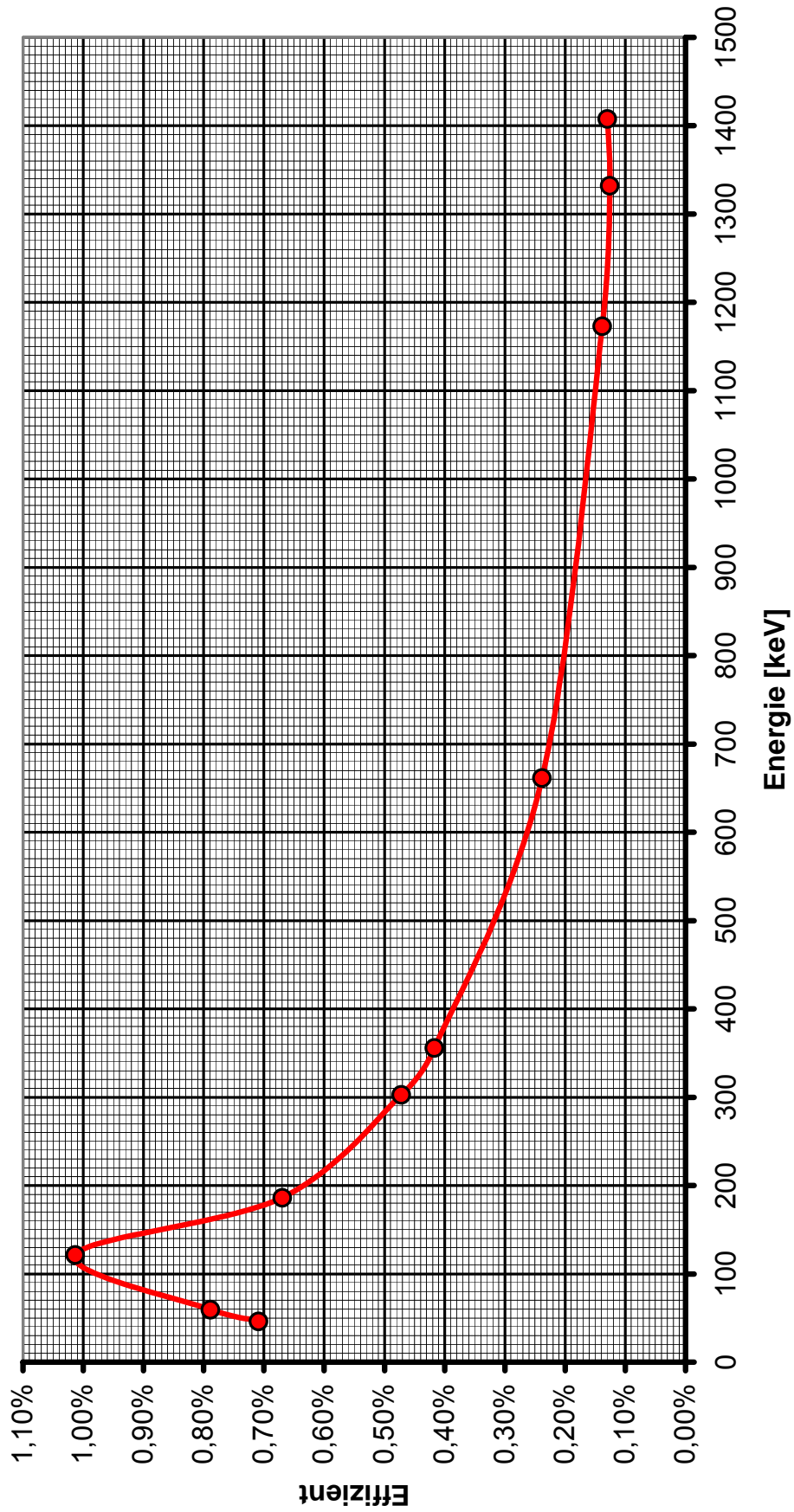


Abb. 3 Effizienz des  $\gamma$ -Detektors

### 3 Messung

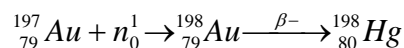
Da es für den Versuch wesentlich ist, dass sich die Neutronen im thermischen Gleichgewicht befinden, werden die Betonblöcke (Abb. 1) in der in der Mitte der thermischen Säule des TRIGA-Reaktors platziert. Wobei die thermische Säule ein Graphitblock ist, in dem die Neutronen nach der Entstehung durch die  $^{235}\text{U}$  Spaltung und der Moderation im Brennstoff (U-Zr-H-Gemisch) noch zusätzlich moderiert werden.

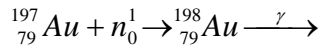
Um die Betonblöcke in der thermischen Säule zu platzieren, wird eine schon im Vorfeld gefertigte Holzbox (Abb. 1) verwendet, die von der Breite und Höhe den Abmessungen eines Graphitziegels entspricht. Für den Versuch kann der mittlere Graphitziegel durch die Holzbox ersetzt werden, wobei die Box von der Tiefe weniger als die Hälfte des Platzes verbraucht. Dieser freie Platz erlaubt uns vor der Holzbox einen halben Graphitziegel zu platzieren, was sicherstellen soll, dass der Beton nicht direkt auf den Kern schaut und somit auch durch schnelle Neutronen getroffen wird. Weiters soll verhindert werden, dass Neutronen seitlich aus der thermischen Säule in den Beton diffundieren, da sonst das Messergebnis wesentlich verfälscht wird. Hierfür wird die Holzbox innen mit einem etwa 1mm starkem Cd-Blech (Abb. 1) ausgelegt, welches einen besonders hohen Absorptionswirkungsquerschnitt für thermische Neutronen besitzt. Diese Schirmung dürfte ausreichend sein, da wir davon ausgehen können, dass sich durch den Graphit die Neutronen in einem größtenteils thermischen Zustand befinden.



Abb. 4 Holzbox mit Cd-Auskleidung und Betonblöcke

Um die Diffusionslänge zu bestimmen, werden Au-Folien jeweils zwischen den Betoblöcken verwendet, die durch die thermischen Neutronen aktiviert werden. Dabei treten folgende Prozesse auf:





Da es beim Beschuss mit Neutronen zur Aktivierung kommt müssen die Folien möglichst rein sein, da jede Verunreinigung zusätzlich aktiviert werden kann und somit das Messergebnis verfälscht wird. Dazu werden die Folien alle mit Isopropanol gereinigt. Um die Diffusionslänge bestimmen zu können sind die wesentlichen Faktoren für die Berechnung die Masse und die Größe der Au-Folien.

Zur Bestimmung der Aktivität können sowohl der  $4 - \pi - \beta$ -Detektor als auch der  $\gamma$ -Detektor verwendet werden, um einen Kontroll- und Vergleichswert für die Aktivität zu erhalten. Da die Halbwertszeit für  ${}^{198}\text{Au}$  bei 2,7 Tagen liegt, kann die Messung auch noch einige Tage nach der Bestrahlung erfolgen.

Zur Bestimmung der Diffusionslänge sind in weiterer Folge auch die Abmessungen (Tabelle 3) der Betonblöcke, insbesondere die Länge von großer Bedeutung.

Au-Nr	$\varnothing$ [mm]	Länge [mm]	Masse [g]
1	60,4	48,8	468,23
2	60,6	53,6	508,14
3	60,6	58,8	567,4
4	58,8	61,2	558,44
5	60,6	55	519,06
6	59	60	561,35
7	60,2	58,8	564,58
8	59,4	62,8	611,83

**Tabelle 3 Betonblöcke**

Auf Grund der unterschiedlichen dicken der Betonblöcke und der leicht konischen Form der Holzbox werden die Betonblöcke in folgender Reihenfolge von vorne nach hinten in die Box eingesetzt (Abb. 2):

**vorne 4 – 6 – 8 – 1 – 7 – 5 – 3 – 2 hinten**



**Abb. 5 Nummerierung**



### 3.1 1. Messung

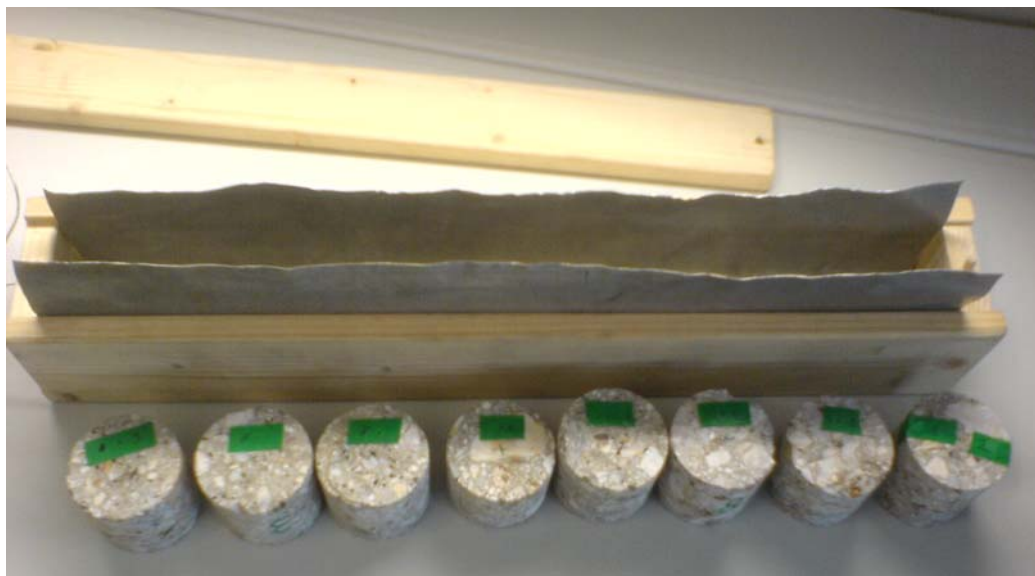
#### 3.1.1 Versuchsaufbau

Es werden 10 inaktive Au-Folien mit einem Durchmesser von etwa 5mm für die Messung verwendet. Sie wurden für die Messung nummeriert und nach der Reinigung gewogen (Tabelle 4).

Au-Nr.	Masse [g]	Au-Nr.	Masse [g]
1	0,00766	6	0,00785
2	0,00757	7	0,00759
3	0,00760	8	0,00791
4	0,00776	9	0,00738
5	0,00780	10	0,00781

**Tabelle 4 Masse der Goldfolien**

Es ist darauf zu achten, dass sich die einzelnen Folien nicht gegenseitig abschirmen. Auf den vordersten Block werden jeweils eine mit Cd beidseitig bedeckte und eine unbedeckte Au-Folie befestigt. Daraus kann nach der Neutronenbestrahlung mittels Differenzbildung festgestellt werden, wie groß der Anteil der schnellen Neutronen am vorderen Ende der Probe ist. Diese werden so weit außen wie möglich befestigt, damit die Aktivierung der dahinter befindlichen Folien nicht beeinträchtigt wird (Abb. 3). Danach werden die Betonblöcke in eine mit Cd ausgekleidete Holzbox gelegt.



**Abb. 6 Folienbefestigung**

#### 3.1.2 Versuchsdurchführung

Um keiner zu hohen Strahlenbelastung bei der Platzierung der Holzbox in der thermischen Säule ausgesetzt zu sein, wird der Versuch erst nach einem längeren Stillstand des Reaktors von einigen Tagen durchgeführt. Dabei wird die Probe in den

Reaktor eingesetzt und das Schwerbetontor vor der thermischen Säule geschlossen. Die Bestrahlung dauerte 10 Minuten bei einer Leistung von 25 kW. Nach dem Herunterfahren des Reaktors wurde mit dem Entfernen der Probe etwa zwei bis drei Stunden gewartet. Da die Aktivität der Probe nach dieser Abklingzeit aber immer noch zu hoch war wurde die Messung der Beta- und Gamma-Strahlung auf den nächsten Tag verschoben.

### 3.1.3 Messergebnisse

Es wurde zuerst die Messung mittels  $4 - \pi - \beta$ -Detektor durchgeführt (Tabelle 5). Die ersten zwei Folien dienen zur Bestimmung des thermischen Anteils der Neutronen. Der geringe Wert der Aktivierung der mit Cd bedeckten Folie (im Bereich der Untergrundstrahlung) zeigt, dass sich am vorderen Bereich der Probe bereits fast nur noch thermische Neutronen befinden. Die restlichen Folien zeigen bis zur vierten Folie einen noch messbaren Wert der Beta-Strahlung. Ab der fünften Folie entspricht der Messwert nur noch der Untergrundstrahlung. Lediglich die letzte Folie weist einen etwas höheren Wert ( $\sim 2$ -3 fache Untergrundstrahlung) auf.

Au-Nr.	1. Messzeit	1. Wert	2. Messzeit	2. Wert
1	21.02.2007 10:40	209	21.02.2007 10:40	186
2	21.02.2007 10:40	34113	21.02.2007 10:40	32170
3	21.02.2007 10:40	1158	21.02.2007 10:40	1160
4	21.02.2007 10:40	127	21.02.2007 10:40	125
5	21.02.2007 10:40	81	21.02.2007 10:40	72
6	21.02.2007 10:40	79	21.02.2007 10:40	87
7	21.02.2007 10:40	72		
8	21.02.2007 10:40	41		
9	21.02.2007 10:40	63	21.02.2007 10:40	71
10	21.02.2007 10:40	193	21.02.2007 10:40	120

Tabelle 5 Messwerte der  $\beta$ -Messung

Bei der Messung der  $\gamma$ -Strahlung konnte auf Grund der geringen Effizienz nur für die vorderste unbedeckte Au-Folie (Au-Nr. 2) ein Messwert für die Gamma-Strahlung festgestellt werden.

### 3.1.4 Resümee

Es kann keine sinnvolle Aussage über die Diffusionslänge der thermischen Neutronen in Beton gemacht werden, da die Neutronen offensichtlich nicht tief genug in die Probe eingedrungen sind. Da der Neutronenfluß direkt proportional der Leistung des Reaktors ist folgt, dass 25kW für diesen Versuch eine zu geringe Leistung ist.

Das etwas erhöhte Messergebnis der hintersten Folie (Au-Nr. 10) kann entweder einen rein statistischen Grund haben oder durch Reflexionen begründet werden. Wobei dabei Neutronen die an der Holzbox vorbei durch die thermische Säule hindurch diffundiert sind von hinten auf die Folie treffen.

## 3.2 2. Messung

Die Resultate aus der ersten Messung können zur besseren Durchführung des zweiten Versuches verwendet werden.

Da wir aus der ersten Messung gesehen haben, dass sich am Beginn der Probe nur noch thermische Neutronen befinden, kann auf die Differenzmessung mittels einer Cd bedeckten und einer unbedeckten Au-Folie verzichtet werden.

Um einen größeren Neutronenfluss gewährleisten zu können wird bei gleicher Bestrahlungsdauer die Leistung auf 250kW erhöht.

Weiters werden größere Au-Folien (Durchmesser 20 mm) verwendet um mehr Neutronen einfangen zu können. Diese werden alle möglichst mittig angebracht, da die Abschirmung vernachlässigt werden kann.

$$\phi_1 = \phi_0 \cdot e^{-N\sigma D}$$

Mit  $N = \frac{m}{197} \cdot N_L = 9,18 \cdot 10^{20}$ ,  $\sigma = 98 \text{ barn}$  und  $D = \frac{m}{A_{Au} \cdot \rho} = 0,005 \text{ cm}$  folgt für den Neutronenfluss der nächsten Folie

$$\phi_1 = \phi_0 \cdot 0,9996$$

### 3.2.1 Versuchsaufbau

Die Anordnung der Betonblöcke in der Holzbox, sowie die Stelle der Bestrahlung im Reaktor bleiben unverändert. Es wird nur zur Abschirmung möglicher Neutronen, die von hinten auf die letzte Folie diffundieren, auch auf der Rückseite eine Cd-Abdeckung befestigt.

Es werden lediglich die in Kapitel 3.2 beschriebenen Änderungen durchgeführt.

Vor der Messung wird ebenfalls eine genaue Messung der Masse der Au-Folien durchgeführt (Tabelle 6).

Au-Nr	Masse [mg]
1	291,30
2	283,66
3	285,82
4	291,03
5	287,55
6	283,95
7	290,33
8	290,20
9	292,97

Tabelle 6 Masse der Au-Folien

### 3.2.2 Messung

Um den Neutronenfluss über die Aktivität bestimmen zu können, wird genau wie beim ersten Versuchsaufbau zuerst mit dem  $4 - \pi - \beta$ -Detektor und anschließend mit dem  $\gamma$ -Detektor gemessen.

Die Messergebnisse aus dem  $4 - \pi - \beta$ -Detektors liefern uns im vorderen Bereich Relativ hohe Werte, wobei die Aktivierung mit zunehmender Diffusion sehr stark abnimmt (Tabelle 7).

Datum 06.03.2007							
Probe	Zeit	Messwert	Zeit	Messwert	Zeit	Messwert	Mittelwert net.
Leerwert 1		24		34			
Leerwert 2		32					
Probe 1	13:52	387997	13:53	386265			387086
Probe 2	13:55	147895	13:56	148578			148192
Probe 3	13:58	11068	13:59	11240			11109
Probe 4	14:11	3107	14:13	3081			3049
Probe 5	14:14	1902	14:15	1975			1894
Probe 6	14:21	1173	14:22	1308	14:23	1221	1189
Probe 7	14:24	847	14:25	822			790
Probe 8	14:27	458	14:28	477			423
Probe 9	14:30	247	14:31	304	14:36	256	224
Leerwert 3		16		71			
Leerwert 4		63		73			

Mittel der Leerwerte	45
-------------------------	----

Tabelle 7 Messwerte der  $\beta$ -Messung

Die Gamma-Messung hingegen liefert auf Grund der geringen Effizienz des Detektors nur für die ersten fünf Folien ein sinnvolles Messergebnis. Wobei aber bei den gewählten Messzeiten ab der vierten Folie ein Messfehler von über 10% auftritt. Da für eine Verringerung des Fehlers eine deutliche Erhöhung der Messzeit erforderlich ist, wurde die Messung nach der fünften Au-Folie abgebrochen

Au-Nr.	Messdatum	Uhrzeit d. Messung	Messzeit [s]	CTRD keV	Impulse net,	Backgrnd	Impulse/Sek	%Fehler	Aussendewahr, [%]	Effi, [%]	Aktivität [Bq]
1	08.03.2007	15:29	450	411,802	153087	5527	340,193	0,28	95,58	0,003800	93664,44
2	08.03.2007	15:40	300	411,802	3617	490	12,057	2,21	95,58	0,003800	3319,62
3	08.03.2007	15:53	1000	411,802	849	804	0,849	7,66	95,58	0,003800	233,75
4	08.03.2007	16:21	1800	411,802	520	1255	0,289	14,04	95,58	0,003800	79,57
5	08.03.2007	16:35	1000	411,802	235	777	0,235	24,68	95,58	0,003800	64,70

Tabelle 8 Messwerte der  $\gamma$ -Messung

Für die Berechnung der Diffusionslänge wurden nur die Ergebnisse der  $\beta$ -Messung sowie die Konstanten aus Tabelle 9 verwendet.

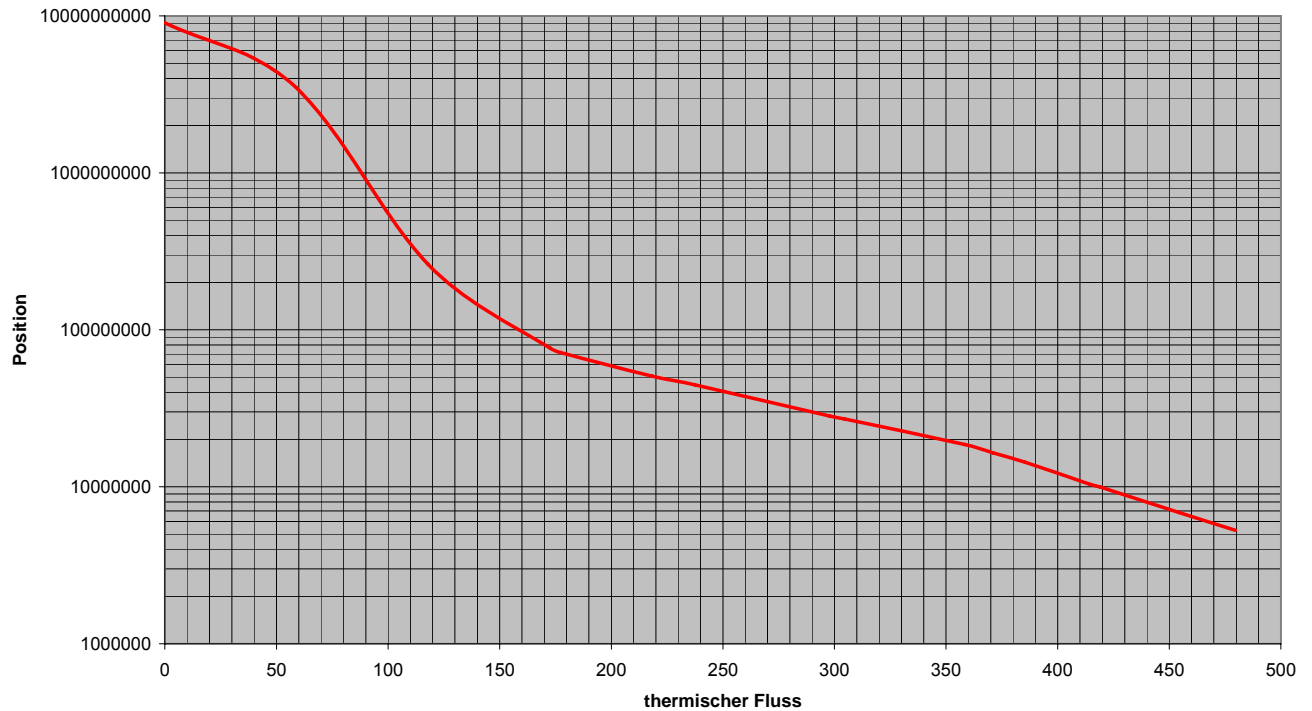
Konstanten	Wert	Einheit	
R	0,98		Effizienz des 4 $\pi$ -Detektors
F	3,141592654	cm	Fläche der Folie
$\mu$	0,3	cm <sup>2</sup> g <sup>-1</sup>	Massenabsorptionskoeffizient
TN/T0	1,07		
$\lambda$	0,0001783	min	Zerfallskonstante
t1	10	min	Aktivierungsdauer
$\alpha$	19,3	cm <sup>2</sup> g <sup>-1</sup>	

**Tabelle 9 Konstanten für die Flussberechnung**

Die in Tabelle 10 grau gekennzeichneten Zeilen geben den e-fachen, bzw. 1/e-fachen Wert des Neutronenflusses zu der jeweiligen Au-Folie, sowie dessen Position an.

Au-Nr.	Abstand [mm]	Masse [g]	Impulse/sec	t <sub>2</sub> [h]	t <sub>2</sub> [min]	$\theta = m/F$	G	S	$\Phi$	Diff-Länge von hinten	Diff-Länge von vorne
1	0	0,29130	387086	27,92	1675,02	0,0927	0,9473	0,4655	9053997546		
2	58,8	0,28366	148192	28,02	1681,02	0,0903	0,9486	0,4734	3498850116		
3	117,8	0,28582	11109	28,07	1684,02	0,0910	0,9482	0,4711	261797842		
zu 6	172,5								76638843	125	
4	177,2	0,29103	3049	28,28	1696,98	0,0926	0,9473	0,4657	71616680		
zu 7	218,3								50562995	140	
5	237,4	0,28755	1894	28,33	1699,98	0,0915	0,9479	0,4693	44665334		
6	297,8	0,28395	1189	28,45	1707,00	0,0904	0,9486	0,4731	28193855		
zu 8	304,4								27076938	115	
7	358,4	0,29033	790	28,50	1710,00	0,0924	0,9475	0,4665	18601086		
zu 5	371								16431458		134
zu 9	385,5								14321611	94	
zu 6	414,5								10371939		116,7
8	419	0,29020	423	28,55	1713,00	0,0924	0,9475	0,4666	9961049		
zu 7	454,3								6842957,28		95,9
9	479,6	0,29297	224	28,60	1716,00	0,0933	0,9470	0,4638	5268626		

**Tabelle 10 Werte des Neutronenflusses und der Diffusionslänge aus der  $\beta$ -Messung**



**Abb. 7 thermischer Fluss**

Für die Berechnung des Mittelwertes der Diffusionslänge werden nur die untersten fünf Werte der Diffusionslänge aus Tabelle 10 herangezogen. Da die vordersten Au-Folien von einem deutlich größeren Teil des Reaktorkernes mit Neutronen bestrahlt werden, erhalten wir erst ab der fünften Folie sinnvolle Messergebnisse.

### 3.2.3 Resümee

Nach den Berechnungen des Neutronenflusses für die einzelnen Au-Folien konnte eine Diffusionslänge von thermischen Neutronen im Beton von rund **111mm** ermittelt werden.

## 4 Literaturverzeichnis

**Die normgerechte Werkzeichnung** / 1. Teil: Allgemeine Zeichengrundlagen. Hrsg. von A. Frischherz und R. Domayer. – Wien : Bohmann, 1996 – ISBN 3-7002-0967-3

**Übungsunterlagen** / Praktische Übung am Reaktor

<http://atom.kaeri.re.kr>

<http://www.wikipedia.de>