



KERNFORSCHUNGSANLAGE JÜLICH
DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN - E. V.

Zentralabteilung Strahlenschutz

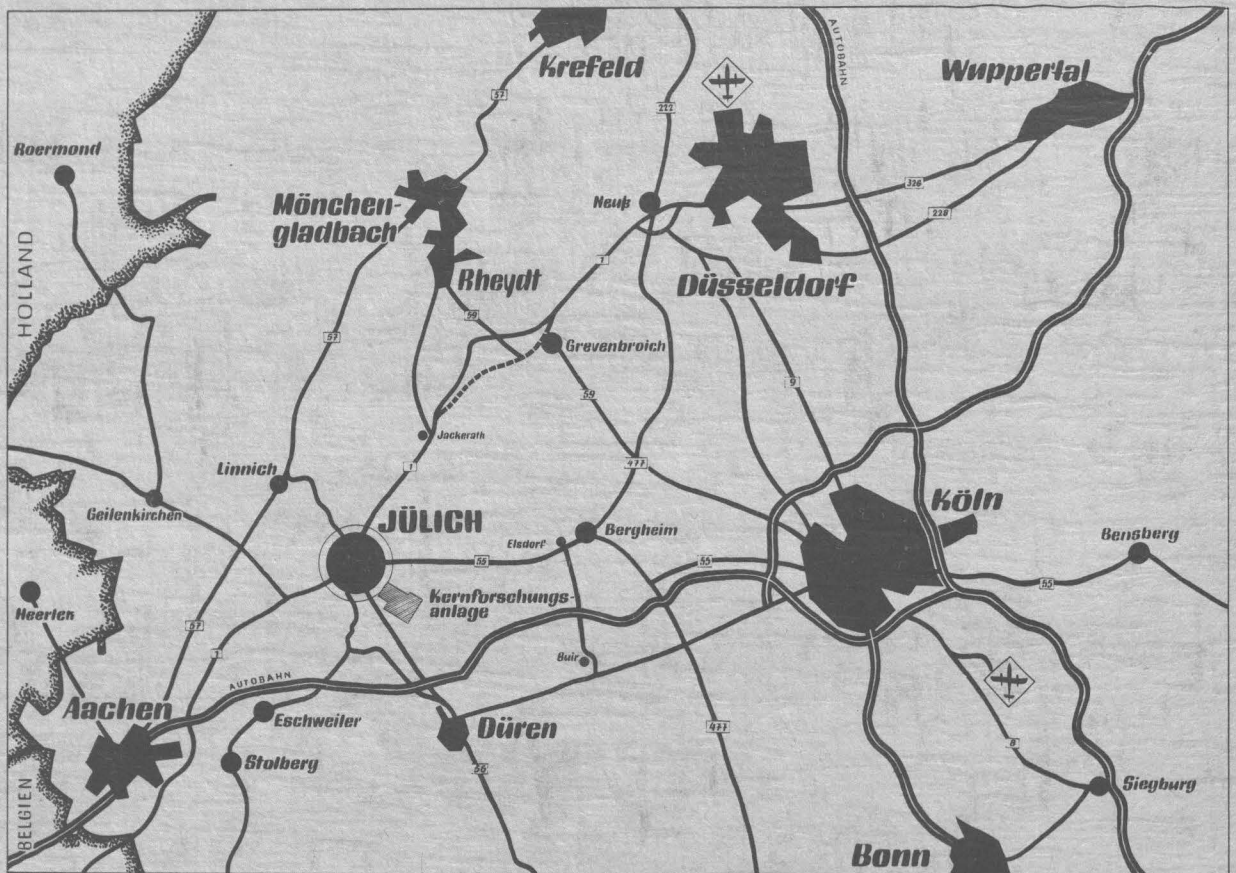
Schwächungsfaktoren zur Berechnung der
Abschirmung monoenergetischer γ -Strahlung
durch Schwer- und Schwerstbeton

von

P. F. Sauer mann und F. Crommen

Jül - 509 - ST
Dezember 1967

Als Manuskript gedruckt



Berichte der Kernforschungsanlage Jülich – Nr. 509
Zentralabteilung Strahlenschutz Jülich – 509 – ST

Dok.: Concretes - Gamma Attenuation
Gamma Attenuation - Tables

DK: 691.3 : 539.122.173
539.122.173 (083)

Zu beziehen durch: ZENTRALBIBLIOTHEK der Kernforschungsanlage Jülich,
Jülich, Bundesrepublik Deutschland

Schwächungsfaktoren zur Berechnung der
Abschirmung monoenergetischer γ -Strahlung
durch Schwer- und Schwerstbeton

von

P.F. Sauer mann und F. Crommen

SCHWÄCHUNGSFAKTOREN ZUR BERECHNUNG DER ABSCHIRMUNG
MONOENERGETISCHER γ -STRAHLUNG DURCH SCHWER- UND
SCHWERSTBETON

Zusammenfassung

Von Gussew (1) wurden vor einiger Zeit Schwächungsfaktoren für die Abschirmung von γ -Strahlung in verschiedenen Abschirmstoffen angegeben, die zur raschen Abschätzung der Wirkung einer Abschirmung sehr gut geeignet sind. Leider fehlten Schwächungsfaktoren für Stoffe, deren Dichte zwischen der von Normalbeton ($\rho = 2,3 \text{ g/cm}^3$) und Eisen ($\rho = 7,8 \text{ g/cm}^3$) liegt.

Im bautechnischen Strahlenschutz ist es jedoch in vielen Fällen notwendig, Normalbeton durch Schwer- oder Schwerstbeton zu ersetzen, wodurch eine wesentliche Reduzierung der Dicke von Abschirmungen möglich ist.

Daher haben wir für eine Anzahl von Schwer- und Schwerstbetonen mit Dichten von 2,35 bis 4,82 g/cm^3 Schwächungsfaktoren für γ -Energien von 0,5 MeV bis 10 MeV berechnet. Die Ergebnisse werden in Form von Tabellen und Diagrammen gegeben.

1. Problemstellung

Die Schwächung der Dosisleistung \dot{D}_{γ_0} eines parallelen Strahlenbündels monoenergetischer γ -Strahlung in Materie folgt bekanntlich der einfachen Beziehung

$$\dot{D}_{\gamma} = \dot{D}_{\gamma_0} \cdot B_{\gamma} \cdot e^{-\mu_{\gamma}x}, \quad (1)$$

Wo \dot{D}_{γ_0} bzw. \dot{D}_{γ} die Dosisleistung der γ -Strahlung ohne bzw. mit Abschirmung der Dicke x , μ_{γ} den energieabhängigen Schwächungskoeffizienten und B_{γ} ($E_{\gamma} \cdot \mu_{\gamma} \cdot x$) den Aufbaufaktor bedeuten.

Den Quotienten

$$k_{\gamma} = \frac{\dot{D}_{\gamma_0}}{\dot{D}_{\gamma}} = \frac{1}{B_{\gamma}} \cdot e^{\mu_{\gamma} \cdot x} \quad (2)$$

bezeichnet man als Schwächungsfaktor. Für eine Reihe von gebräuchlichen Abschirmstoffen (Wasser, Normalbeton, Eisen und Blei) hat Gussew (1) vor einiger Zeit Tabellen der Schwächungsfaktoren k_{γ} in Abhängigkeit von Energie und Schichtdicke veröffentlicht, die sehr häufig zur einfachen und schnellen Abschätzung der notwendigen Dicke einer Abschirmung Verwendung gefunden haben.

Da jedoch in vielen Fällen aus räumlichen Gründen an Stelle von Normalbeton Schwer- oder Schwerstbeton verwendet werden muß, erschien es wünschenswert und nützlich, für eine Reihe von gebräuchlichen Betonsorten die Schwächungsfaktoren zu berechnen. Wir haben aus der Vielzahl der bei Walker und Grotenhuis (2) angegebenen erprobten Betonmischungen die in Tabelle 1 aufgeführten Schwer- und Schwerstbetone ausgewählt und auf der IBM 1401 des Institutes für Plasmaphysik der Kernforschungsanlage Jülich die Schwächungsfaktoren k_{γ} berechnet.

2. Zusammenstellung der bei der Rechnung verwendeten Daten

Die bei der Rechnung verwendeten Schwächungskoeffizienten μ_{γ} und Aufbaufaktoren B_{γ} wurden dem Report von Walker und Grotenhuis: "A Summary of Shielding Constants for Concrete" (2) entnommen. Sie sind in den Tabellen 2 und 3 zusammengestellt.

3. Ergebnisse

Die Ergebnisse sind in den Tabellen 4 bis 11 sowie den Abbildungen 1 bis 3 zusammengefaßt. Mit ihrer Hilfe kann mit einer für Strahlenschutz zwecke ausreichenden Genauigkeit einfach und schnell die erforderliche Dicke einer Abschirmung abgeschätzt werden.

5. Literatur

(1) Gussew, "Leitfaden für Radioaktivität und Strahlenschutz", Berlin 1959

(2) Walker, R. L. und Grotenhuis, ANL - 6443 (1961)

Betonart Element	Normal- beton	Baryt- beton	Baryt- beton	Magnetit- beton	Magnetit- beton	Magnetit- u. Stahl- beton	Eisen- Phosphor- beton	Eisen- Phosphor- beton
H	0,013	0,036	0,024	0,015	0,0229	0,0225	0,023	0,021
O	1,165	1,262	1,185	1,279	1,187	0,713	0,296	0,322
C							0,002	0,004
Na	0,040							
Mg	0,006	0,010	0,004		0,023	0,020	0,005	0,006
Al	0,107	0,007	0,014	0,184	0,097	0,047	0,019	0,009
Si	0,737	0,139	0,035	0,129	0,123	0,071	0,131	0,090
P					0,006	0,001	0,967	1,049
S	0,003	0,287	0,364		0,004	0,002		0,004
K	0,045							
Ca	0,194	0,135	0,167	0,022	0,240	0,256	0,197	0,203
Ti					0,096	0,067		0,042
V					0,006	0,004		0,084
Cr					0,003	0,002	0,002	0,084
Mn					0,002	0,002	0,117	0,013
Fe		0,277	0,160	1,460	1,744	3,492	2,822	2,823
Ni	0,029							0,017
Cu								0,008
Mo								0,042
Ba		1,200	1,551					
Dichte _{g/cm³}	2,35	3,30	3,50	3,29	3,55	4,70	4,68	4,82

Tabelle 1: Elementare Zusammensetzung und Dichte der Schwer- und Schwerstbetone

	ρ [g/cm ³]	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	6,0	8,0	10,0
Normal-Beton	2,35	0,2040	0,1489	0,1046	0,0852	0,0744	0,0627	0,0566	0,0533
Baryt-Beton	3,30	0,2964	0,2030	0,1436	0,1217	0,1107	0,1010	0,0972	0,0963
" "	3,50	0,3168	0,2142	0,1517	0,1295	0,1187	0,1097	0,1066	0,1064
Magnetit-Beton	3,29	0,2809	0,2037	0,1439	0,1192	0,1059	0,0926	0,0863	0,0833
" "	3,55	0,3027	0,2192	0,1550	0,1290	0,1150	0,1014	0,0950	0,0922
Magnetit + Stahl	4,70	0,3957	0,2855	0,2027	0,1706	0,1542	0,1391	0,1328	0,1308
Eisenphosphor-Beton	4,68	0,3946	0,2851	0,2024	0,1697	0,1529	0,1371	0,1304	0,1280
" "	4,82	0,4058	0,2930	0,2080	0,1747	0,1477	0,1418	0,1351	0,1329

Tabelle 2

Schwächungskoeffizienten für γ -Strahlung in Abhängigkeit von der Energie

$\mu \cdot x$	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	6,0	8,0	10,0	
	1								
Normal- beton $Z_{\text{eff}} = 11$	1	2,5	2,06	1,8	1,69	1,56	1,44	1,37	1,3
	2	4,75	3,5	2,75	2,45	2,15	1,84	1,75	1,6
	4	11,6	7,05	4,8	3,85	3,30	2,77	2,45	2,2
	7	28,0	14,6	8,4	6,2	5,00	4,05	3,3	3,00
	10	52,5	24,5	12,3	8,65	6,90	5,3	4,4	3,85
	15	110,0	43,0	19,0	12,8	10,0	7,3	5,95	5,2
	20	190,0	66,0	27,8	17,3	12,95	9,2	7,45	6,6
	1	1	1	1					
Baryt- Beton $Z_{\text{eff}} = 25, 27$	1	2,05	1,86	1,75	1,55	1,475	1,31	1,28	1,20
	2	3,20	2,95	2,55	2,20	1,95	1,72	1,56	1,44
	4	6,10	5,5	4,20	3,60	3,05	2,55	2,25	2,00
	7	12,5	10,4	7,5	5,9	4,95	4,2	3,5	3,00
	10	20,0	16,5	11,0	8,6	7,05	6,05	5,1	4,45
	15	38,0	26,0	17,5	13,4	11,1	9,65	8,4	7,40
	20	58,0	38,0	26,0	18,9	15,8	14,0	13,0	12,0
	1	2,25	1,95	1,79	1,62	1,5	1,38	1,31	1,25
Magnetit- beton $Z_{\text{eff}} = 17$	2	3,80	3,20	2,70	2,30	2,0	1,77	1,63	1,5
	4	8,00	6,15	4,55	3,70	3,1	2,72	2,32	2,15
	7	18,00	12,0	8,0	6,05	4,95	4,1	3,45	3,0
	10	30,00	19,3	11,9	8,60	7,00	5,7	4,7	4,1
	15	62,00	35,0	18,5	13,0	10,5	8,25	6,8	6,2
	20	100,00	51,0	27,0	18,0	14,1	11,0	9,1	8,8
	1								
Magnetit + Stahl $Z_{\text{eff}} = 22$	1	2,15	1,89	1,76	1,59	1,49	1,34	1,29	1,21
	2	3,4	3,0	2,58	2,24	1,98	1,74	1,59	1,45
	4	6,8	5,7	4,44	3,63	3,06	2,62	2,31	2,00
	7	14,1	11,0	7,80	5,95	4,95	4,16	3,5	3,0
	10	23,0	17,6	11,4	8,60	7,00	5,91	4,9	4,3
	15	45,0	30,5	17,95	13,3	11,00	0,1	7,65	7,0
	20	70,0	45,5	25,8	18,6	15,2	12,7	11,2	10,9
	1								
Eisenphosphor- Beton $Z_{\text{eff}} = 21$	1	2,2	1,90	1,78	1,6	1,49	1,35	1,30	1,22
	2	3,5	3,05	2,60	2,25	2,00	1,75	1,60	1,46
	4	7,0	5,80	4,45	3,65	3,08	2,63	2,32	2,02
	7	15,0	11,2	7,85	6,00	4,95	4,15	3,5	3,00
	10	25,0	18,0	11,7	8,60	7,00	5,85	4,85	4,25
	15	49,0	31,0	18,0	13,20	10,8	8,95	7,5	6,85
	20	76,0	46,0	26,0	18,50	15,0	12,4	10,75	10,4

Tabelle 3

Aufbaufaktor B_{γ} in Abhängigkeit von der Energie der γ -Strahlung und der Relaxationslänge μx

Schwächungs- faktor k_γ	Energie der γ -Strahlung [MeV]							
	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	6,0	8,0	10,0
1 . 5	9,4	9,0	9,4	10,3	10,2	10,5	10,7	10,5
2	12,8	12,8	14,6	16,1	16,3	17,2	17,9	17,7
5	20,2	22,8	27,9	31,5	33,6	36,5	39,0	39,3
8	23,9	27,2	33,9	38,6	41,7	46,1	49,2	50,0
10	25,5	29,4	36,7	41,9	45,5	50,6	54,0	55,0
20	30,1	35,9	45,2	52,0	56,8	64,0	68,4	70,9
30	32,7	39,4	50,1	57,8	63,3	71,6	76,6	79,1
40	34,5	41,8	53,5	61,8	67,8	77,0	82,3	85,2
50	36,0	43,7	56,0	64,9	71,4	81,1	86,7	89,9
60	37,1	45,2	58,1	67,4	74,2	84,4	90,3	93,7
80	39,0	47,6	61,4	71,4	78,7	89,7	95,9	99,8
100	40,4	49,5	63,9	74,4	82,1	93,7	100,3	104,5
2 . 10 ²	44,7	55,2	71,7	83,8	92,7	106,2	113,8	118,9
5 . 10 ²	50,1	62,6	81,8	96,1	106,7	122,5	131,8	137,8
10 ³	54,3	68,0	89,3	105,2	117,1	134,7	145,4	152,1
2 . 10 ³	58,4	73,4	96,7	114,2	127,5	146,8	158,9	166,2
5 . 10 ³	63,6	80,5	106,5	126,1	141,0	162,7	176,7	184,9
10 ⁴	67,5	85,7	113,9	135,0	151,2	174,6	189,8	198,9
2 . 10 ⁴	71,5	90,9	121,1	143,9	161,3	186,4	202,8	212,8
5 . 10 ⁴	76,5	97,6	130,6	155,5	174,6	202,1	220,1	231,1
10 ⁵	80,4	102,8	137,8	164,2	184,5	213,9	233,2	244,8
2 . 10 ⁵	84,2	108,0	145,0	173,0	194,6	225,7	246,1	258,7
5 . 10 ⁵	89,3	114,7	154,6	184,5	207,7	241,1	263,3	276,9
10 ⁶	93,0	119,8	161,8	193,2	217,6	252,8	276,1	290,6
1 . 10 ⁶	96,7	124,8	168,9	201,9	227,4	264,4	289,0	304,3
5 . 10 ⁶	101,6	131,5	178,4	213,4	240,3	279,7	306,0	322,3
10 ⁷	105,3	136,5	185,5	221,9	250,1	291,2	318,7	336,0

Tabelle 4

Dicke [cm] einer Abschirmung aus Normalbeton ($\rho = 2,35/\text{cm}^2$) für verschiedene Schwächungsfaktoren k_γ der γ -Strahlung

Schwächungs- faktor k_γ	Energie der γ -Strahlung [MeV]							
	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	6,0	8,0	10,0
1.. 5	5,4	5,8	6,8	6,8	6,7	6,6	6,6	6,3
2	7,3	8,6	10,4	10,8	10,8	11,0	11,0	10,7
5	12,7	15,8	19,9	21,9	22,7	24,2	24,6	24,2
8	15,2	19,0	24,2	27,1	28,5	30,8	31,5	31,3
10	16,4	20,5	26,2	29,4	31,9	33,9	34,5	34,6
20	19,9	25,1	32,4	36,8	39,2	43,1	44,1	44,6
30	21,8	27,7	36,0	40,9	44,0	48,4	49,7	50,3
40	23,1	19,4	38,4	43,8	47,2	52,0	53,6	54,3
50	24,0	30,8	40,3	46,1	49,7	54,9	56,6	57,3
60	24,9	31,9	41,8	47,9	51,8	57,1	59,1	59,8
80	26,1	33,6	44,2	50,8	55,0	60,8	62,9	63,7
100	27,1	34,9	46,1	52,9	57,4	63,5	65,9	66,7
$2 \cdot 10^2$	30,2	39,1	51,8	59,7	65,0	72,0	75,1	76,0
$5 \cdot 10^2$	34,0	44,4	59,2	68,5	74,9	83,3	87,0	88,3
10^3	37,0	48,3	64,7	75,1	82,3	91,8	96,1	97,7
$2 \cdot 10^3$	40,0	52,3	70,1	81,6	89,7	100,1	105,0	107,0
$5 \cdot 10^3$	43,9	57,5	77,2	90,1	99,2	111,0	116,7	119,1
10^4	46,7	61,4	82,6	96,5	106,5	119,2	125,5	128,3
$2 \cdot 10^4$	49,5	65,2	87,8	102,9	113,6	127,3	134,2	137,5
$5 \cdot 10^4$	53,2	70,2	94,7	111,2	123,0	138,0	145,7	149,5
10^5	56,0	74,0	100,0	117,5	130,1	146,1	154,3	158,6
$2 \cdot 10^5$	58,7	77,7	105,2	123,7	137,1	154,1	162,9	167,6
$5 \cdot 10^5$	62,4	82,6	112,2	132,0	146,5	164,7	174,3	179,4
10^6	65,1	86,3	117,4	138,3	153,4	172,7	182,9	188,5
$2 \cdot 10^6$	67,8	90,0	122,6	144,5	160,4	180,7	191,4	197,5
$5 \cdot 10^7$	71,3	94,8	129,5	152,8	169,6	191,1	202,8	109,4
10^7	74,0	98,4	134,6	159,0	176,6	199,0	211,2	218,2

Tabelle 5

Dicke [cm] einer Abschirmung aus Magnetitbeton ($\rho = 3,29 \text{ g/cm}^3$) für verschiedene Schwächungsfaktoren k_γ der γ -Strahlung

Schwächungs- faktor k_γ	Energie der γ -Strahlung [MeV]							
	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	6,0	8,0	10,0
1,5	4,2	5,2	6,5	6,1	6,2	5,6	5,6	5,2
2	6,0	8,0	10,0	10,0	10,1	9,4	9,5	8,8
5	10,8	15,1	19,3	21,0	21,5	21,8	21,3	20,4
8	13,0	18,3	23,6	26,2	27,1	27,7	27,7	26,4
10	14,1	19,7	25,6	28,6	29,6	30,4	30,2	29,2
20	17,3	24,7	31,8	35,7	37,5	38,7	38,8	37,8
30	19,1	26,9	35,4	39,8	41,9	43,8	43,8	42,7
40	20,4	28,7	37,9	42,7	45,1	47,3	47,4	46,2
50	21,3	30,1	39,8	44,9	47,5	50,0	50,1	49,0
60	22,1	31,1	41,4	46,7	49,5	52,2	52,4	51,2
80	23,2	32,9	43,8	49,5	52,5	55,6	55,8	54,7
100	24,2	34,2	45,6	51,6	54,9	58,2	58,5	57,4
$2 \cdot 10^2$	27,0	38,3	51,3	58,2	62,1	66,2	66,7	65,6
$5 \cdot 10^2$	30,7	43,7	58,7	67,0	71,7	76,8	77,6	76,5
10^3	33,4	47,6	64,2	73,5	78,8	84,6	85,9	84,9
$2 \cdot 10^3$	36,2	51,5	69,6	79,9	85,8	92,4	94,0	93,2
$5 \cdot 10^3$	39,8	56,5	76,8	88,3	95,1	102,6	104,6	103,9
10^4	42,5	60,3	82,2	94,7	102,1	110,3	112,8	112,1
$2 \cdot 10^4$	45,1	64,0	87,5	100,9	109,0	117,9	120,7	120,4
$5 \cdot 10^4$	48,6	69,0	94,5	109,1	118,1	127,9	131,2	130,9
10^5	51,2	72,7	99,7	115,4	124,9	135,4	139,1	138,9
$2 \cdot 10^5$	53,8	76,4	105,0	121,5	131,7	142,9	146,9	146,8
$5 \cdot 10^5$	57,2	81,3	112,0	129,7	140,7	152,8	157,2	157,2
10^6	59,7	85,0	117,3	135,8	147,5	160,2	165,1	165,4
$2 \cdot 10^6$	62,2	88,7	122,6	141,9	154,3	167,7	173,0	173,4
$5 \cdot 10^6$	65,6	93,6	129,5	150,0	163,1	177,5	183,3	184,0
10^7	68,1	97,2	134,6	156,1	169,8	184,9	191,2	191,9

Tabelle 6

Dicke [cm] einer Abschirmung aus Barytbeton ($\rho = 3,3 \text{ g/cm}^3$) für verschiedene Schwächungsfaktoren k_γ der γ -Strahlung

Schwächungs- faktor k_γ	Energie der γ -Strahlung [MeV]							
	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	6,0	8,0	10,0
1,5	4,0	4,9	6,2	5,8	5,8	5,2	5,1	4,7
2	5,6	7,6	9,4	9,4	9,4	8,7	8,7	8,0
5	10,1	14,3	18,2	19,8	20,0	20,0	19,4	18,5
8	12,2	17,3	22,3	24,6	25,2	25,5	25,0	23,9
10	13,2	18,7	24,2	26,8	27,6	28,0	27,5	26,4
20	16,2	23,1	30,1	33,6	34,9	35,7	35,4	34,2
30	17,9	25,5	33,5	37,4	39,1	40,3	39,9	38,7
40	19,0	27,2	35,9	40,1	42,0	43,6	43,2	41,9
50	19,9	28,5	37,7	42,2	44,3	46,1	45,7	44,3
60	20,6	29,5	39,2	43,9	46,1	48,1	47,7	46,3
80	21,7	31,1	41,4	46,5	49,0	51,2	50,9	49,5
100	22,6	32,7	43,2	48,5	51,2	53,6	53,4	51,9
$2 \cdot 10^2$	25,3	36,3	48,6	54,7	56,0	61,0	60,9	59,4
$5 \cdot 10^2$	28,7	41,4	55,6	62,9	66,9	70,7	70,8	69,3
10^3	31,2	45,1	60,8	69,0	73,5	77,9	78,3	76,9
$2 \cdot 10^3$	33,8	48,8	65,9	75,1	80,1	85,0	85,7	84,4
$5 \cdot 10^3$	37,2	53,6	72,7	83,0	88,7	94,4	95,4	94,1
10^4	39,7	51,1	77,8	89,6	95,2	101,5	102,0	101,5
$2 \cdot 10^4$	42,2	60,7	82,9	94,8	101,7	108,6	110,0	108,9
$5 \cdot 10^4$	45,4	65,4	89,4	102,5	110,1	117,8	119,6	118,5
10^5	47,9	68,9	94,4	108,4	116,5	124,7	126,8	125,8
$2 \cdot 10^5$	50,3	72,4	99,4	114,2	122,8	131,5	134,0	132,9
$5 \cdot 10^5$	53,5	77,1	106,0	121,9	131,3	140,7	143,3	142,3
10^6	55,9	80,6	111,0	127,6	137,6	147,5	150,6	149,7
$2 \cdot 10^6$	58,3	84,1	116,0	133,4	143,9	154,4	157,8	157,0
$5 \cdot 10^6$	61,4	88,7	122,5	141,0	152,1	163,4	167,2	166,5
10^7	63,7	92,2	127,4	146,7	158,4	170,2	174,3	173,7

Tabelle 7

Dicke [cm] einer Abschirmung aus Barytbeton ($\rho = 3,5 \text{ g/cm}^2$) für verschiedene Schwächungsfaktoren k_γ der γ -Strahlung

Schwächungs- faktor k_γ	Energie der γ -Strahlung [MeV]							
	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	6,0	8,0	10,0
1,5	5,0	5,4	6,3	6,3	5,2	6,1	6,0	5,7
2	6,8	8,0	9,7	10,0	10,0	10,1	10,0	9,7
5	11,8	14,7	18,5	20,3	20,9	22,1	22,3	21,9
8	14,1	17,6	22,4	25,0	26,2	28,9	28,5	28,3
10	15,2	19,0	24,3	27,2	28,7	31,0	31,4	31,4
20	18,4	23,3	30,1	34,0	36,2	39,4	40,1	40,3
30	20,2	25,7	33,4	37,8	40,5	44,2	45,1	45,5
40	21,4	27,3	35,7	40,5	43,5	47,5	48,7	49,0
50	22,3	28,6	37,4	42,6	45,8	50,1	51,4	51,8
60	23,1	29,6	38,8	44,2	47,7	52,2	53,7	54,0
80	24,3	31,2	41,1	46,9	50,6	55,6	57,2	57,5
100	25,2	32,4	42,8	48,9	52,9	58,0	59,9	60,3
$2 \cdot 10^2$	28,0	35,3	48,0	55,1	59,8	65,8	68,2	68,7
$5 \cdot 10^2$	31,6	41,3	54,9	63,3	69,0	76,1	79,1	79,8
10^3	34,3	44,9	60,0	69,4	75,8	83,8	87,2	88,2
$2 \cdot 10^3$	37,1	48,6	65,1	75,4	82,6	91,4	95,4	96,6
$5 \cdot 10^3$	40,7	53,5	71,7	83,3	91,4	101,4	106,0	107,6
10^4	43,3	57,1	76,6	89,1	98,1	108,9	114,0	115,9
$2 \cdot 10^4$	45,9	60,6	81,5	95,0	104,6	116,3	121,9	124,2
$5 \cdot 10^4$	49,4	65,3	87,9	102,8	113,3	126,0	132,3	135,0
10^5	51,9	68,7	92,8	108,6	119,8	133,4	140,2	143,3
$2 \cdot 10^5$	54,5	72,2	97,4	114,3	126,3	140,7	148,0	151,4
$5 \cdot 10^5$	57,9	76,8	104,1	122,0	134,9	150,4	158,3	162,0
10^6	60,4	80,2	109,0	127,8	141,3	157,7	166,1	170,3
$2 \cdot 10^6$	62,9	83,6	113,8	133,6	147,7	165,0	173,9	178,4
$5 \cdot 10^6$	66,2	88,1	120,2	141,2	156,2	174,6	184,2	189,2
10^7	68,6	91,5	125,0	146,9	162,6	181,8	191,9	197,2

Tabelle 8

Dicke [cm] einer Abschirmung aus Magnetitbeton ($\rho = 3,55 \text{ g/cm}^3$) für verschiedene Schwächungsfaktoren k_γ der γ -Strahlung

Schwächungs- faktor k_γ	Energie der γ -Strahlung [MeV]							
	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	6,0	8,0	10,0
1,5	3,6	3,9	4,8	4,7	4,6	4,3	4,3	4,0
2	4,8	5,9	7,2	7,4	7,4	7,2	7,2	6,8
5	8,6	11,0	13,9	15,3	15,7	16,2	16,1	15,5
8	10,2	13,3	17,0	18,9	19,7	20,6	20,7	20,0
10	11,1	14,3	18,5	20,6	21,5	22,7	22,8	22,1
20	13,6	17,6	22,9	25,7	27,1	28,8	29,2	28,5
30	14,9	19,5	25,4	28,7	30,4	32,5	32,9	32,2
40	15,8	20,7	27,2	30,7	32,7	35,0	35,5	34,9
50	16,6	21,7	28,5	32,3	34,4	36,9	37,5	36,9
60	17,1	22,5	29,6	33,6	35,8	38,5	39,9	38,6
80	18,0	23,7	31,3	35,6	38,1	41,0	41,7	41,2
100	18,7	24,6	32,6	37,1	39,8	42,9	43,7	43,2
$2 \cdot 10^2$	20,9	27,6	36,7	41,9	45,0	48,7	49,8	49,4
$5 \cdot 10^2$	23,7	31,4	42,6	48,1	51,9	56,4	57,8	57,5
10^3	25,7	34,3	45,9	52,7	57,0	62,1	63,8	63,7
$2 \cdot 10^3$	27,8	37,4	49,7	57,3	62,1	67,8	69,7	69,8
$5 \cdot 10^3$	30,6	40,8	54,8	63,3	68,8	75,3	77,5	77,8
10^4	32,6	43,5	58,5	67,8	73,8	80,9	83,4	83,9
$2 \cdot 10^4$	34,6	46,2	62,3	72,3	78,8	86,4	89,3	90,0
$5 \cdot 10^4$	37,2	49,7	67,2	78,2	85,3	93,7	97,0	98,0
10^5	39,1	52,4	70,9	82,6	90,3	99,2	102,8	103,9
$2 \cdot 10^5$	41,1	55,1	74,6	87,0	95,2	104,7	108,6	109,8
$5 \cdot 10^5$	43,7	58,6	79,6	92,9	101,6	111,9	116,2	117,6
10^6	45,6	61,2	83,3	97,3	106,5	117,4	122,0	123,6
$2 \cdot 10^6$	47,5	63,9	87,0	101,7	111,4	122,8	127,8	129,5
$5 \cdot 10^6$	50,0	67,3	91,8	107,5	117,8	129,9	135,4	137,4
10^7	51,9	69,9	95,5	111,8	122,6	135,3	141,0	143,3

Tabelle 9

Dicke [cm] einer Abschirmung aus Eisenphosphor-Beton ($\rho = 4,68 \text{ g/cm}^3$) für verschiedene Schwächungsfaktoren k_γ der γ -Strahlung

Schwächungs- faktor k_γ	Energie der γ -Strahlung [MeV]							
	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	6,0	8,0	10,0
1,5	3,4	3,8	4,7	4,6	4,5	4,2	4,2	3,9
2	4,7	5,8	7,1	7,4	7,4	7,0	7,0	6,6
5	8,5	10,9	13,9	15,1	15,5	15,9	15,8	15,1
8	10,1	13,2	17,0	18,8	19,5	20,3	20,2	19,5
10	10,9	14,2	18,4	20,4	21,3	22,3	22,3	21,5
20	13,4	17,5	22,9	25,5	26,9	28,4	28,6	27,8
30	14,7	19,4	25,4	28,5	30,1	32,0	32,3	31,4
40	15,6	20,6	27,1	30,5	32,4	34,5	34,8	34,1
50	16,3	21,6	28,5	32,1	34,1	36,4	36,8	36,1
60	16,9	22,4	29,6	33,4	35,5	38,0	38,4	37,7
80	17,8	23,6	31,3	35,3	37,7	40,4	41,0	40,4
100	18,5	24,5	32,6	36,9	39,4	42,3	42,9	42,2
$2 \cdot 10^2$	20,6	27,5	36,6	41,6	44,6	48,0	48,9	48,3
$5 \cdot 10^2$	23,4	31,3	41,8	47,8	51,4	55,6	56,7	56,3
10^3	25,4	34,1	45,7	52,4	56,5	61,3	62,7	62,4
$2 \cdot 10^3$	27,5	36,9	49,5	57,0	61,6	66,9	68,5	68,4
$5 \cdot 10^3$	30,2	40,6	54,6	63,0	68,2	74,3	76,2	76,2
10^4	32,3	43,4	58,4	67,5	73,2	79,8	82,0	82,3
$2 \cdot 10^4$	34,3	46,1	62,9	72,0	78,2	85,2	87,8	88,2
$5 \cdot 10^4$	36,8	49,6	67,1	77,8	84,8	92,5	95,4	96,0
10^5	38,8	52,3	70,8	82,2	89,6	97,9	101,1	101,8
$2 \cdot 10^5$	40,8	55,0	74,5	86,6	94,5	103,3	106,8	107,6
$5 \cdot 10^5$	43,3	58,5	79,4	92,4	100,9	110,4	114,2	115,3
10^6	45,2	61,1	83,1	96,8	105,8	115,8	120,0	121,2
$2 \cdot 10^6$	47,9	63,7	86,8	101,2	110,6	121,1	125,7	127,1
$5 \cdot 10^6$	49,7	67,2	91,7	106,9	116,9	128,3	133,1	134,8
10^7	51,5	69,8	95,4	111,3	121,7	133,6	138,8	140,5

Tabelle 10

Dicke [cm] einer Abschirmung aus Magnetit-Beton mit Stahlzusatz ($\rho = 4,7 \text{ g/cm}^3$) für verschiedene Schwächungsfaktoren k_γ der γ -Strahlung

Schwächungs- faktor k_γ	Energie der γ -Strahlung [MeV]							
	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	6,0	8,0	10,0
1,5	3,5	3,8	4,5	4,6	4,4	4,2	4,1	3,8
2	4,7	5,9	7,0	7,2	7,2	7,0	7,0	6,5
5	8,4	10,7	13,6	14,8	15,3	15,7	15,6	14,9
8	10,0	12,9	16,6	18,4	19,1	19,9	19,9	19,3
10	10,8	13,9	19,0	20,0	20,9	21,9	22,0	21,3
20	13,2	17,2	22,3	25,0	26,3	27,9	28,9	27,5
30	14,5	18,9	24,8	27,8	29,5	31,4	31,8	31,0
40	15,4	20,9	26,5	29,8	31,7	33,8	34,3	33,6
50	16,1	21,1	27,8	31,4	33,4	35,7	36,2	35,6
60	16,6	21,9	28,8	32,6	34,8	37,2	37,8	37,2
80	17,5	23,1	30,5	34,6	36,9	39,6	40,2	39,7
100	18,2	24,0	31,8	36,1	38,6	41,5	42,2	41,5
$2 \cdot 10^2$	20,3	26,9	35,7	43,7	43,7	47,1	48,0	47,5
$5 \cdot 10^2$	23,0	30,6	40,8	46,7	50,3	54,5	55,8	55,4
10^3	25,0	33,3	44,6	51,2	55,3	60,1	61,6	61,4
$2 \cdot 10^3$	27,1	36,1	48,4	55,7	60,2	65,6	67,3	67,2
$5 \cdot 10^3$	29,7	39,7	53,3	61,5	66,7	72,8	74,8	74,9
10^4	31,7	42,3	57,0	65,9	71,6	78,2	80,5	80,8
$2 \cdot 10^4$	33,6	44,9	60,6	70,2	76,5	83,6	86,1	86,7
$5 \cdot 10^4$	36,2	48,4	65,4	76,0	82,8	90,6	93,5	94,4
10^5	30,1	51,0	69,0	80,2	87,6	95,9	99,3	100,1
$2 \cdot 10^5$	40,0	53,6	72,6	84,5	92,3	101,2	104,8	105,8
$5 \cdot 10^5$	42,5	57,0	77,4	90,2	98,6	108,2	112,1	113,2
10^6	44,3	59,6	81,1	94,5	103,4	113,5	117,8	119,0
$2 \cdot 10^6$	46,2	62,1	84,7	98,8	108,1	118,7	123,3	124,8
$5 \cdot 10^6$	48,6	65,5	89,4	104,4	114,3	125,6	130,6	132,4
10^7	50,5	68,0	92,9	108,5	119,0	130,8	136,1	138,0

Tabelle 11

Dicke [cm] einer Abschirmung aus Eisenphosphor-Beton ($\rho = 4,82 \text{ g/cm}^3$) für verschiedene Schwächungsfaktoren k_γ der γ -Strahlung

