

Summations- und Escapelinien ausgewählter Radionuklide in der Gammaskpektrometrie

γ -SPEKT/SUMESC

Bearbeiter:

G. Kanisch¹

H. Wershofen¹

D. Arnold²

M.-O. Aust¹

F. Bruchertseifer¹

A. Dalheimer¹

A. Heckel¹

S. Hofmann¹

C. Kowalik¹

F. Ober¹

K. Rupprecht¹

U.-K. Schkade¹

¹ Redaktionsausschuss der Messanleitungen des Bundes

² Physikalisch-Technische Bundesanstalt

Summations- und Escapelinien ausgewählter Radionuklide in der Gammaskopie

Ergänzend zu den Abschnitten 7 und 9.7 des Allgemeinen Kapitels γ -SPEKT/GRUNDL dieser Messanleitungen [1] ist in Tabelle 1 dieses Allgemeinen Kapitels eine Auswahl von Summations- und Escapelinien, die im Rahmen der Überwachung radioaktiver Stoffe in der Umwelt relevant sind, zusammengestellt.

Summationslinien (SL) können bei Radionukliden mit Kaskadenübergängen auftreten. In Tabelle 1 sind nur solche Summationslinien eines Radionuklids aufgeführt, die nicht mit dessen Einzellinien zusammenfallen und im Allgemeinen auch nicht in gängigen Nuklid-datenbanken zu finden sind. Diese Gammalinien müssen bei der Auswertung des Impulshöhenspektrums besonders betrachtet und bei der Aktivitätsberechnung ausgeschlossen werden.

Bei Linien mit Gammaenergien deutlich größer als 1 MeV treten infolge des Paarbildungseffektes bei der Messung auch sogenannte Single-Escapelinien (SE) und Double-Escapelinien (DE) im Impulshöhenspektrum auf.

Findet sich im Impulshöhenspektrum eine Gammalinie mit sehr großer Impulsanzahl, kann etwa 10 keV bis 12 keV unterhalb dieser Linie eine weitere Linie auftreten, allerdings mit vergleichsweise kleiner Impulsanzahl. Hierbei handelt es sich um eine Germanium X-Ray-Escapelinie [2]. Sie entsteht dadurch, dass ein im Germanium sekundär erzeugtes Röntgenquant aus dem Detektorkristall entweicht. Beispielsweise tritt bei langen Messdauern neben der Cs-137-Linie bei 661,7 keV noch eine schwache Linie bei ca. 650 keV auf, die etwas breiter ist. Ebenso kann bei K-40 ($E_{\gamma} = 1460,8$ keV) eine solche Linie bei ca. 1450 keV auftreten.

Neben den in diesem Kapitel erläuterten Summations- und Escapelinien können weitere linienähnliche Strukturen im Impulshöhenspektrum auftreten, wenn im Messpräparat eine größere Aktivität eines Radionuklids vorliegt. Dabei kann es sich um Rückstreulinien und Comptonkanten handeln, die im Allgemeinen Kapitel γ -SPEKT/INTERF dieser Messanleitungen diskutiert werden [3].

Anmerkung:

Der Stand der in Tabelle 1 gelisteten Radionuklid-daten ist Juni 2018. Für aktuelle Daten wird auf das Allgemeine Kapitel KERNDATEN dieser Messanleitungen verwiesen [4].

Tab. 1: Auswahl relevanter Summations- und Escapelinien (Stand Juni 2018)

mit: SE Single-Escapelinie
 DE Double-Escapelinie
 SL Summenlinie zweier oder mehrerer einzelner Linien

Radionuklid/ Radionuklid- paar	Energie der Linie	Code	Energie der ursprünglichen Gammastrahlung	
	in keV		in keV	
Na-22	1785,54	SL	511,00	1274,54
	763,54	SE	1274,54	
	252,54	DE	1274,54	
K-40	438,82	DE	1460,82	
	949,82	SE	1460,82	
Mn-56	1091,01	DE	2113,01	
	1602,01	SE	2113,01	
	1635,56	DE	2657,56	
	2146,56	SE	2657,56	
	2347,84	DE	3369,84	
	2858,84	SE	3369,84	
Co-56	2182,15	SL	846,77	1335,38
	2206,97	SL	846,77	1360,20
Co-58	1321,76	SL	511,00	810,76
Fe-59	2390,77	SL	1099,25	1291,59
	780,52	SE	1291,59	
Co-60	310,49	DE	1332,49	
	821,49	SE	1332,49	
	2505,72	SL	1173,26	1332,49
Se-75	187,17	SL	121,12	66,05
	202,05	SL	136,00	66,05
	319,73	SL	121,12	198,61
	334,61	SL	136,00	198,61
	385,78	SL	121,12	264,66
Y-88	814,07	DE	1836,07	
	1325,07	SE	1836,07	
	2734,11	SL	898,04	1836,07
Ru-106	1133,75	SL	511,85	621,90
Ag-108m	1156,85	SL	722,91	433,94
	1337,18	SL	722,91	614,28
	1771,13	SL	722,91	614,28
Ag-110m	1104,57	SL	446,81	657,76
	1153,67	SL	763,94	446,81
	1331,49	SL	446,81	884,68
	1364,44	SL	706,68	657,76

Radionuklid/ Radionuklid- paar	Energie der Linie	Code	Energie der ursprünglichen Gammastrahlung	
	in keV		in keV	
Ag-110m (Fortsetzung)	1421,70	SL	763,94	657,76
	1450,95	SL	763,94	687,01
	1450,96	SL	706,68	744,28
	1524,70	SL	706,68	812,02
	1581,96	SL	763,94	812,02
	1591,36	SL	706,68	884,68
	1595,25	SL	937,49	657,76
	1648,62	SL	763,94	884,68
	1822,17	SL	937,49	884,68
	2182,64	SL	706,68	1475,78
	2268,97	SL	1384,29	884,68
	2268,97	SL	763,94	1505,03
Te-123m	247,43	SL	88,46	158,97
Sb-124	668,97	DE	1690,97	
	1068,93	DE	2090,93	
	1179,97	SE	1690,97	
	1579,93	SE	2090,93	
	1248,58	SL	645,85	602,73
	1570,93	SL	968,20	602,73
	1647,86	SL	1045,13	602,73
	2293,71	SL	1690,97	602,73
	2693,66	SL	2090,93	602,73
Sb-126	988,20	SL	573,80	414,40
	1080,50	SL	414,40	666,10
	1109,40	SL	414,40	695,00
	1111,40	SL	697,00	414,40
	1134,70	SL	720,30	414,40
	1239,90	SL	573,80	666,10
	1259,10	SL	593,00	666,10
	1268,80	SL	573,80	695,00
	1288,00	SL	593,00	695,00
	1363,10	SL	697,00	666,10
	1386,40	SL	720,30	666,10
	1392,00	SL	697,00	695,00
	1415,30	SL	720,30	695,00
	1417,30	SL	697,00	720,30
	1522,80	SL	856,70	666,10
	1551,70	SL	856,70	695,00
1553,70	SL	697,00	856,70	

Radionuklid/ Radionuklid- paar	Energie der Linie	Code	Energie der ursprünglichen Gammastrahlung		
	in keV		in keV		
Sb-126 (Fortsetzung)	1775,50	SL	414,40	695,00	666,10
	1777,50	SL	697,00	414,40	666,10
	1806,40	SL	697,00	414,40	695,00
	2058,10	SL	697,00	695,00	666,10
Te-131m	483,99	SL	334,27	149,72	
	854,77	SL	81,10	773,67	
	874,85	SL	81,10	793,75	
	875,73	SL	102,06	773,67	
	933,31	SL	81,10	852,21	
	954,27	SL	102,06	852,21	
	1186,48	SL	334,27	852,21	
	1899,11	SL	1125,44	773,67	
	1980,32	SL	1206,65	773,67	
Te-132	166,06	SL	116,34	49,72	
	278,05	SL	228,33	49,72	
Ba-133	132,77	SL	53,16	79,61	
	134,16	SL	53,16	81,00	
	357,40	SL	276,40	81,00	
	437,01	SL	356,01	81,00	
	437,01	SL	53,16	383,85	
	437,01	SL	276,40	160,61	
Cs-134	1167,97	SL	563,25	604,72	
	1174,05	SL	604,72	569,33	
	1400,58	SL	604,72	795,86	
	1643,33	SL	604,72	1038,61	
	1772,69	SL	604,72	1167,97	
	1969,91	SL	604,72	1365,19	
Cs-136	230,80	SL	66,88	163,92	
	885,39	SL	66,88	818,51	
	904,87	SL	86,36	818,51	
	971,76	SL	153,25	818,51	
	995,11	SL	76,60	818,51	
	1092,16	SL	273,65	818,51	
	1114,95	SL	66,88	1048,07	
	1134,43	SL	86,36	1048,07	
	1159,09	SL	340,55	818,51	
	1201,32	SL	153,25	1048,07	
	1224,67	SL	176,60	1048,07	
	1302,24	SL	66,88	1235,36	

Radionuklid/ Radionuklid- paar	Energie der Linie	Code	Energie der ursprünglichen Gammastrahlung		
	in keV		in keV		
Cs-136 (Fortsetzung)	1321,72	SL	273,65	1048,07	
	1321,72	SL	86,36	1235,36	
	1388,61	SL	153,25	1235,36	
	1388,62	SL	340,55	1048,07	
	1866,58	SL	1048,07	818,51	
	1933,46	SL	66,88	1048,07	818,51
	2019,83	SL	153,25	1048,07	818,51
	2043,18	SL	176,60	1048,07	818,51
	2053,81	SL	1235,36	818,51	
	2207,13	SL	340,55	1048,07	818,51
Ba-140	567,22	SL	537,26	29,96	
La-140	574,20	DE	1596,20		
	1085,20	SE	1596,20		
	1836,85	SE	2347,85		
	2010,39	SE	2521,39		
	1924,96	SL	328,76	1596,20	
	2028,71	SL	432,51	1596,20	
	2083,22	SL	487,02	1596,20	
	2411,98	SL	328,76	487,02	1596,20
	2411,98	SL	815,78	1596,20	
Ce-144/Pr-144	185,51	SE	696,51		
	1674,66	SE	2185,65		
Eu-152	1123,18	SL	778,90	344,28	
	989,17	SL	867,38	121,78	
	1233,86	SL	1112,08	121,78	
	1529,76	SL	1408,01	121,78	
Eu-154	705,08	SL	582,01	123,07	
	839,69	SL	591,76	247,93	
	971,23	SL	723,30	247,93	
	1027,13	SL	904,06	123,07	
	1397,50	SL	1274,43	123,07	
	1719,55	SL	723,30	996,25	
Ta-182	1189,04	SL	67,75	1121,29	
	1289,15	SL	67,75	1221,40	
Tl-208	816,56	SL	233,37	583,19	
	2847,88	SL	233,37	2614,51	
	2891,88	SL	277,37	2614,51	
	3125,21	SL	510,74	2614,51	
	3197,70	SL	583,19	2614,51	

Radionuklid/ Radionuklid- paar	Energie der Linie	Code	Energie der ursprünglichen Gammastrahlung	
	in keV		in keV	
TI-208	3475,04	SL	860,53	2614,51
(Fortsetzung)	3708,40	SL	510,74	583,19
Ra-226-Reihe	742,49	DE	1764,49	
	1096,55	DE	2118,55	
	1182,21	DE	2204,21	
	1253,49	SE	1764,49	
	1271,40	DE	2293,40	
	1425,86	DE	2447,86	
	1607,55	SE	2118,55	
	1693,21	SE	2204,21	
	1782,40	SE	2293,40	
	1936,86	SE	2447,86	
Th-232-Reihe	566,20	DE	1588,20	
	598,74	DE	1620,74	
	608,63	DE	1630,63	
	616,28	DE	1638,28	
	1077,20	SE	1588,20	
	1109,74	SE	1620,74	
	1119,63	SE	1630,63	
	1127,28	SE	1638,28	
	1592,51	DE	2614,51	
	2103,51	SE	2614,51	
Np-239	289,64	SL	61,46	228,18
	339,06	SL	61,46	277,60
	383,73	SL	106,13	277,60
	391,59	SL	106,13	285,46

Literatur

- [1] Arnold, D., Debertain, K., Heckel, A., et al.: *Grundlagen der Gammaskpektrometrie*. γ -SPEKT/GRUNDL, Version März 2018. In: Bundesministerium für Umwelt, Klimaschutz, Naturschutz und nukleare Sicherheit (Hrsg.): Messanleitungen für die Überwachung radioaktiver Stoffe in der Umwelt und externer Strahlung. ISSN 1865-8725. Verfügbar unter: <https://www.bundesumweltministerium.de/WS1517>. [Letzter Zugriff am 13.06.2025].
- [2] Knoll, G. F.: *Radiation Detection and Measurement*. New York (USA): John Wiley & Sons, 2010, 4 Auflage, 864 S. ISBN 978-0-470-13148-0.
- [3] Kanisch, G., Schkade, U.-K., Wershofen, H., et al.: *Interferenzen bei der Gammaskpektrometrie*. γ -SPEKT/INTERF, Version März 2019 / geprüft Juni 2025. In: Bundes-

ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Naturschutz und nukleare Sicherheit (Hrsg.): Messanleitungen für die Überwachung radioaktiver Stoffe in der Umwelt und externer Strahlung. ISSN 1865-8725. Verfügbar unter: <https://www.bundesumweltministerium.de/WS1517>. [Letzter Zugriff am 13.06.2025].

- [4] Heckel, A., Wershofen, H., Aust, M.-O., et al.: *Kernphysikalische Daten*. KERNDATEN, Version Mai 2025. In: Bundesministerium für Umwelt, Klimaschutz, Naturschutz und nukleare Sicherheit (Hrsg.): Messanleitungen für die Überwachung radioaktiver Stoffe in der Umwelt und externer Strahlung. ISSN 1865-8725. Verfügbar unter: <https://www.bundesumweltministerium.de/WS1517>. [Letzter Zugriff am 13.06.2025].