

Untersuchungsbericht

Die Strahlenbeständigkeit von Brandmeldern unter dem Einfluss radioaktiver Gammastrahlung

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	4
2.	Geprüfte Brandmelder	4
3.	Versuchsbeschreibung	5
3.1.	Versuchsaufbau	5
3.2.	Energieverteilung und Quellstärke der γ -Strahlung	6
3.3.	Versuchsdurchführung	7
3.4.	Versuchsergebnisse	8
4.	Diskussion der Ergebnisse	12
4.1.	Grundsätzliches	12
4.2.	Auswertung und Schlussfolgerungen	12
4.3.	Einsatzzeit unter dem Einfluss von γ -Strahlung	12
5.	Anhang	13

1. Einleitung

In kerntechnischen Anlagen kommt der Brandfrüherkennung hinsichtlich Zuverlässigkeit und Sicherheitsanforderungen eine besondere Bedeutung zu. Automatische Brandmelder werden dort auch in Bereichen eingesetzt, in denen sie einer radioaktiven Strahlung ausgesetzt sind.

In Abhängigkeit der Art und Dosisleistung der am Melderstandort auftretenden Strahlung kann es zu Veränderungen im Ansprechverhalten der Brandmelder sowie zu Schäden an einzelnen Bauteilen kommen.

Bei der Projektierung von neuen Brandmeldeanlagen und bei Instandhaltungsmaßnahmen bestehender Systeme haben die Ergebnisse dieser Untersuchungen unter Berücksichtigung der jeweiligen Standortfaktoren entscheidenden Einfluss auf die Auswahl von Brandmeldertypen und deren Einsatzzeit.

Die vorliegende Untersuchung zeigt den Einfluss von Gammastrahlung auf die Empfindlichkeit und den Ruhewert von verschiedenen MAGIC.SENS Brandmeldern bei unterschiedlicher Dosisleistung.

2. Geprüfte Brandmelder

Es wurden Brandmelder mit GLT- und LSN-Technik und mit optischem, thermischem und chemischem Sensor getestet.

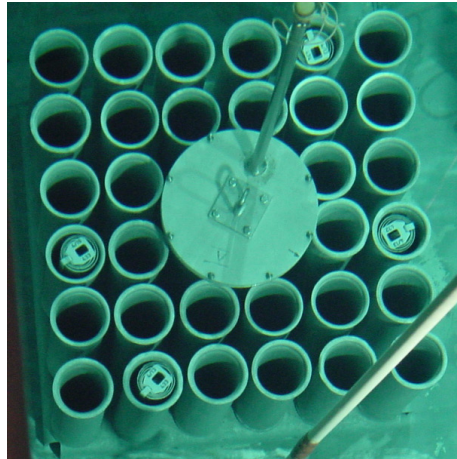
Versuch 1		
Melderbezeichnung	Typ	Sensoren
OT 300	GLT	optisch + thermisch
OT 400	LSN	optisch + thermisch
OTC 410	LSN	optisch + thermisch + chemisch

Versuch 2		
Melderbezeichnung	Typ	Sensoren
OT 300	GLT	optisch + thermisch
OT 400	LSN	optisch + thermisch
OTC 410	LSN	optisch + thermisch + chemisch

3. Versuchsbeschreibung

3.1. Versuchsaufbau

Die Versuche wurden im Forschungszentrum Jülich in der Beckenanlage Technikumshalle durchgeführt. Brennelemente mittleren Abbrands, die senkrecht in Aufbewahrungshülsen stehen, werden dort nach Bedarf zur gezielten Gammabestrahlung eingesetzt.



Aufsicht auf Probenbehälter im Bestrahlungsbecken

Die Brandmelder wurden in einem Probenbehälter mit 330 mm Durchmesser in das Bestrahlungsbecken zwischen die Brennelemente abgesenkt und über Leitungen versorgt und kontrolliert.

Das Umgebungsmedium war Luft mit einer Temperatur von 25–28 °C.



Probenbehälter

3.2. Energieverteilung und Quellstärke der γ -Strahlung

Zur Beurteilung der Qualität der Gammastrahlung wurde die Energieverteilung und Quellstärke für Brennelemente mittleren Abbrands (55%) bestimmt. Abbildung 1 zeigt die Quellstärke und die über den gesamten Energiebereich mit der Quellstärke gemittelte Photonenenergie als Funktion der Abklingzeit. Innerhalb der ersten zwei Wochen nimmt die Emissionsrate (Photonen/s) sprunghaft ab. Die anschließende Phase über einen Zeitraum von 16 Monaten ist von einer mittleren negativen Steigung gekennzeichnet. Der Verlauf danach ist verhältnismäßig flach, bedingt durch die Gammaaktivität langlebiger Spaltprodukte.

Die mittlere Energie der Gammastrahlung nimmt während der ersten drei Monate rapide ab. Danach ist der Verlauf nahezu konstant bei einer mittleren Energie von 0,6 MeV.

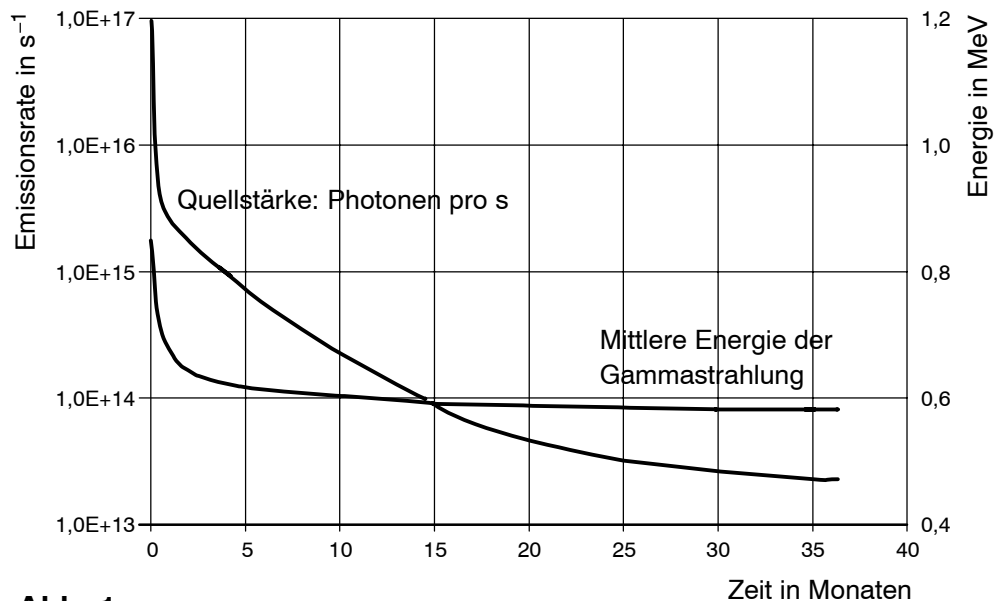


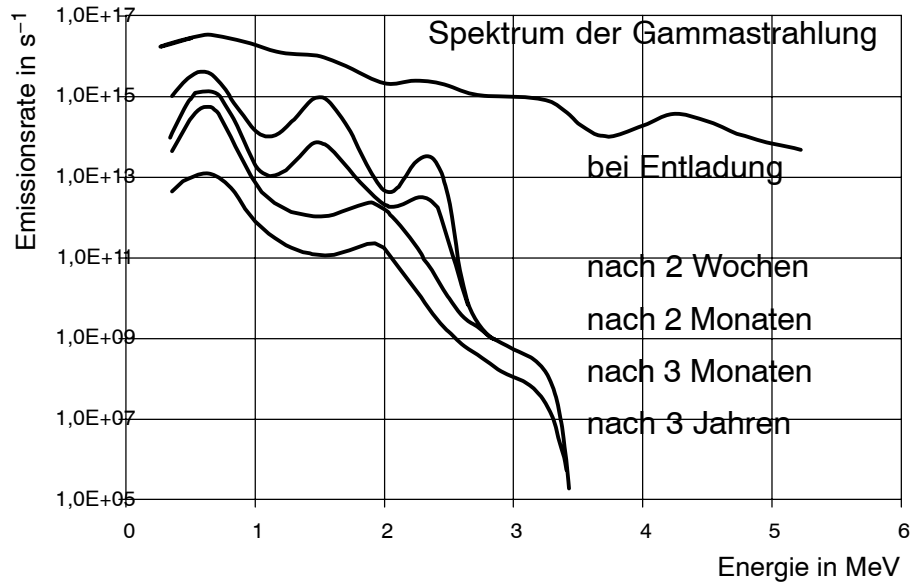
Abb. 1:

Quellstärke und mittlere Energie der Gammastrahlung eines abgebrannten Brennelementes in Abhängigkeit von der Abklingzeit

Abbildung 2 stellt die Energieverteilung der Gammastrahlung für verschiedene Abklingzeiten dar. Demnach werden bereits nach zwei Wochen keine hochenergetischen Photonen ($> 3,5$ MeV) emittiert. Mit zunehmender Abklingzeit wird das Energiespektrum durch den Rückgang hochenergetischer Gammastrahlung in Richtung kleinerer Energien verschoben. Daraus ergibt sich eine schwache Abnahme der mittleren Energie der γ -Photonen (Abb. 1). Bei den durchgeführten Versuchen wurden die Brandmelder einem Energiespektrum von 0,3–3 MeV ausgesetzt. Im Mittel betrug die Quantenenergie 0,7 MeV.

Die Messung der Energiedosis erfolgte über eine direkt anzeigende Ionisationskammer.

Das Neutronenfeld ist vernachlässigbar gering, sodass keine Aktivierung stattfindet. Die Proben können nach der Bestrahlung ohne Einschränkung gehandhabt werden.

**Abb. 2:**

Energieverteilung der Gammastrahlung eines abgebrannten Brennelementes (55% Abbrand)

3.3. Versuchsdurchführung

Im Versuch 1 wurden alle Brandmelder über einen Zeitraum von 20 h 35 min einer Gammastrahlung mit einer mittleren Energiedosisleistung von 25 Gy/h ausgesetzt. Die kumulierte Energiedosis betrug 515 Gy.

Der zweite Versuch wurde bei einer mittleren Energiedosisleistung von 15 Gy/h durchgeführt.

Bei einer Expositionszeit von 7 h für alle LSN-Brandmelder wurde eine kumulierte Energiedosis von 105 Gy erreicht.

Die GLT-Brandmelder verblieben 17 h im Bestrahlungsbecken. Die kumulierte Energiedosis betrug 255 Gy.

Bei allen Meldern wurde die Empfindlichkeit in einem Aerosolkanal gemäß EN 54-7 vor und nach der Bestrahlung gemessen.

Die Empfindlichkeitsmessung der chemischen Sensoren der OTC 410-Melder erfolgte mit einer Prüfgaskonzentration von 30 ppm Kohlenmonoxid (CO).

Zusätzlich zur Empfindlichkeitsmessung wurde bei allen LSN-Meldern der Ruhewert des optischen Teils aufgezeichnet.

Ein Teil der Melder war während der Bestrahlung in Betrieb (Prüfmodus).

3.4. Versuchsergebnisse

Die Messergebnisse sind in den Tabellen 1–6 dokumentiert.

Während der Strahlenexposition erhöht sich das Rauschen des optischen Teils geringfügig (von ca. +/-2 digit auf ca. +/-5 digit).

Der Ruhewert ist nach der Strahlenexposition erhöht, jedoch weit unterhalb des Grenzwertes, der eine Verschmutzungsmeldung auslösen würde.

Im Versuch 1 war nach einer Bestrahlungsdauer von 5 h ($\underline{\Delta}$ kumulierte Energiedosis von 125 Gy) der erste Brandmelder defekt. Insgesamt traten Defekte an

2 von 6 OT 300-Meldern,
4 von 6 OT 400-Meldern und
1 von 6 OTC 410-Meldern auf.

Die Fehlerursache lag bei den OT 300-Meldern in defekten Operationsverstärkern. Die Melder konnten keinen optischen Alarm, aber weiterhin Temperaturalarm geben.

Bei den vier betroffenen OT 400-Meldern war jeweils der LSN-Chip defekt. Die FET-Transistoren ließen sich zwar durchschalten, aber die LSN-Chips antworteten nicht mehr.

Bei dem defekten OTC 410-Melder war der Stromverbrauch des EEPROM erhöht und die Alarm-LED leuchtete.

Im Versuch 2 (kumulierte Energiedosis von 255 Gy bzw. 105 Gy) gab es bei den OT 300 und den OT 400-Meldern keine Defekte.

Bei zwei von den sechs OTC 410-Meldern trat erhöhter Stromverbrauch am EEPROM auf ($> 200 \mu\text{A}$). Wurden die Melder mit höherem Strom initiiert, waren sie wieder funktionsfähig. Der erste Defekt trat nach einer Bestrahlungsdauer von 5 h ($\underline{\Delta}$ kumulierte Energiedosis von 75 Gy) auf.

Zusammenfassend ergibt sich als Resultat des zweiten Versuchs, dass Defekte an

0 von 6 OT 300-Meldern,
0 von 6 OT 400-Meldern und
2 von 6 OTC 410-Meldern auftraten.

Die Empfindlichkeit des optischen Sensors nimmt durch die Bestrahlung um ca. 5 bis 20% zu.

Die Empfindlichkeit des chemischen Sensors nimmt bei einer Energiedosis von 515 Gy geringfügig (ca 7%) zu und bleibt bei einer Energiedosis von 105 Gy im Mittel unverändert.

MAGIC.SENS OT 300

Versuch 1: Mittlere Dosisleistung: 25 Gy/h Bestrahlungsdauer: 20 h 35 min Kumulierte Dosis: 525 Gy

Seriennummer	vor der Bestrahlung		nach der Bestrahlung	
	Empfindlichkeit O-Teil in dB/m		Empfindlichkeit O-Teil in dB/m	Fehler/ Kommentar
701002149	0,143		0,127	-
701002151	0,149		0,133	-
701002152	0,147		0,134	-
701002174	0,143		-	OP defekt/ T-Alarm intakt
701002175	0,138		-	OP defekt/ T-Alarm intakt
701002177	0,108		0,134	-

Versuch 2: Mittlere Dosisleistung: 15 Gy/h Bestrahlungsdauer: 17 h Kumulierte Dosis: 255 Gy

Seriennummer	vor der Bestrahlung		nach der Bestrahlung	
	Empfindlichkeit O-Teil in dB/m		Empfindlichkeit O-Teil in dB/m	Fehler/ Kommentar
7011001602	0,149		0,147	-
7011001880	0,142		0,125	-
7011001979	0,120		0,110	-
7011002002	0,126		0,110	-
7011002006	0,125		0,119	-
7011002007	0,128		0,125	-

MAGIC.SENS OT 400

Versuch 1: Mittlere Dosisleistung: 25 Gy/h Bestrahlungsdauer: 20 h 35 min Kumulierte Dosis: 525 Gy

Seriennummer	vor der Bestrahlung		nach der Bestrahlung	
	Ruhewert	Empfindlichkeit O-Teil in dB/m	Ruhewert	Empfindlichkeit O-Teil in dB/m
2014095	92	0,119		LSN-Chip defekt
2014107*	86	0,122		LSN-Chip defekt
2014112*	111	0,117		LSN-Chip defekt
2014113*	94	0,137	115	–
2014136	146	0,138	162	–
301900084	76	0,112		LSN-Chip defekt

* Melder waren während des Bestrahleins in Betrieb (Prüfmodus).

Versuch 2: Mittlere Dosisleistung: 15 Gy/h Bestrahlungsdauer: 7 h Kumulierte Dosis: 105 Gy

Seriennummer	vor der Bestrahlung		nach der Bestrahlung	
	Ruhewert	Empfindlichkeit O-Teil in dB/m	Ruhewert	Empfindlichkeit O-Teil in dB/m
2024160	62	0,105	97	–
2024162*	66	0,112	134	–
2024167*	41	0,109	88	–
2024183	74	0,120	118	–
2024567	71	0,124	108	–
2024581*	47	0,127	90	–

MAGIC.SENS OTC 410

Versuch 1: Mittlere Dosisleistung: 25 Gy/h Bestrahlungsdauer: 20 h 35 min Kumulierte Dosis: 525 Gy

Seriennummer	vor der Bestrahlung			nach der Bestrahlung			
	Ruhewert	Empfindlichkeit O-Teil in dB/m	Empfindlichkeit C-Teil in dB/m	Ruhewert	Empfindlichkeit O-Teil in dB/m	Empfindlichkeit C-Teil in dB/m	Fehler/ Kommentar
1007128	136	0,121	225	164	0,101	239	-
1007147*	97	0,125	242	120	0,101	247	EEPROM defekt
1007150	102	0,120	236	123	0,104	247	-
1007157	119	0,102	230	157	0,092	262	-
1007164*	104	0,138	228	134	0,118	242	-
1007179	105	0,136	239	132	0,115	257	-

* Melder waren während des Bestrahleins in Betrieb (Prüfmodus).

Versuch 2: Mittlere Dosisleistung: 25 Gy/h Bestrahlungsdauer: 7 h Kumulierte Dosis: 105 Gy

Seriennummer	vor der Bestrahlung			nach der Bestrahlung			
	Ruhewert	Empfindlichkeit O-Teil in dB/m	Empfindlichkeit C-Teil in dB/m	Ruhewert	Empfindlichkeit O-Teil in dB/m	Empfindlichkeit C-Teil in dB/m	Fehler/ Kommentar
1008069	87	0,136	267	90	0,112	269	-
1008071	98	0,130	249	102	0,113	257	-
1008082*	99	0,145	288	108	0,114	278	EEPROM defekt
1008084	111	0,117	267	125	0,091	272	-
1008087	90	0,122	262	97	0,112	264	-
1008088*	112	0,134	261	117	0,116	254	EEPROM defekt

4. Diskussion der Ergebnisse

4.1. Grundsätzliches

Es stellt sich grundsätzlich die Frage, ob die durchgeführten Versuche mit einer Gammastrahlenquelle den Einsatzbedingungen in kerntechnischen Anlagen entsprechen und in wie weit damit Aussagen über die Wirkung auf elektronische Geräte repräsentativ sind.

In wissenschaftlichen Diskussionen und Prüfungen werden die für elektronische Geräte relevanten Strahlenarten auf Gammastrahlung und Neutronenstrahlung eingegrenzt.

Neutronenstrahlung tritt nur im Containment mit direkter Sicht auf den Reaktor, ohne Reflexionen und nur während des Reaktorbetriebs auf. In den Hilfsräumen, der Mehrheit aller Räume, ist nur Gammastrahlung vorhanden.

Sowohl die Sicherheitstechnischen Regeln des KTA (Kern-Technischer Ausschuss) als auch das Normenwerk IEEE (USA) schreibt für die Prüfung von Geräten nur Gammastrahlung vor.

4.2. Auswertung und Schlussfolgerungen

Die Versuche haben gezeigt, dass die Gammabestrahlung über einen längeren Zeitraum die IC's beschädigen kann. Dies waren insbesondere der LSN-Chip ab einer Energiedosis von 125 Gy und das EEPROM bei den OTC 410 ab einer Energiedosis von 75 Gy.

Bauartbedingt waren die GLT-Brandmelder (OT 300) wesentlich unempfindlicher gegenüber der Strahlung.

Da der Temperaturteil der OT 300 Melder auch im Versuch 1 bei einer kumulierten Energiedosis von 515 Gy ohne Defekte blieb, kann davon ausgegangen werden, dass der GLT-Melder T 300 (thermischer Sensor) für Bereiche hoher Strahlenbelastung (bis 515 Gy) geeignet ist.

Bei den OT 300-Meldern trat bei einer kumulierten Dosis von 255 Gy kein Defekt auf.

Auch die OT 400-Melder zeigten sich gegenüber einer Bestrahlung von 105 Gy resistent. Dieses Ergebnis ist auf die O 400 und T 400-Melder auf Grund vergleichbarer Bauart übertragbar.

Die Empfindlichkeit war bei allen getesteten Brandmeldern gleich geblieben oder erhöht.

4.3. Einsatzzeit unter dem Einfluss von γ -Strahlung

Aus den Ergebnissen bei unterschiedlich hohen Energiedosisleistungen (Versuch 1 und Versuch 2) kann eine Abschätzung für die erwartete Lebensdauer bei bekannten Einsatzbedingungen erfolgen.

Dazu muss die am Melderstandort auftretende Strahlung nach Art, Dosisleistung und kumulierter Dosis bekannt sein.

Gemäß Strahlenschutzverordnung liegt die Energiedosisleistung in kerntechnischen Anlagen im Kontrollbereich zwischen 7,5 µSv/h und 3 mSv/h.

Damit lässt sich aus den Versuchsergebnissen die Einsatzzeit für Kontrollbereiche abschätzen, in der keine Ausfälle zu erwarten sind. Dabei wird von der maximalen Strahlenbelastung ausgegangen, die zugleich Grenzwert zur Ausweisung von Sperrbereichen ist:

$$\text{Für OT 400: } t_E = \frac{D_V}{\dot{D}_E} = \frac{105 \text{ Gy}}{3 \text{ mGy/h}} = 35000 \text{ h} = 4 \text{ Jahre}$$

$$\text{Für OT 300: } t_E = \frac{D_V}{\dot{D}_E} = \frac{255 \text{ Gy}}{3 \text{ mGy/h}} = 85000 \text{ h} = 9,7 \text{ Jahre}$$

mit t_E Einsatzzeit

D_V Energiedosis aus Versuch 2 (keine Defekte)

\dot{D}_E erwartete Energiedosisleistung am Einsatzort

Im Containment liegt die maximale Ionendosis im Bereich von 70 nA/kg und die Energiedosis in der Größenordnung von ca. 10 mGy. Auch für diesen Bereich lässt sich eine Einsatzzeit abschätzen:

$$\text{Für OT 300: } t_E = \frac{D_V}{\dot{D}_E} = \frac{255 \text{ Gy}}{10 \text{ mGy/h}} = 25500 \text{ h} = 2,9 \text{ Jahre}$$

5. Anhang

Radiologische Größen

Größe	Einheit	Beziehung	alte Einheit
Energie W	eV (Elektronenvolt)	1 eV = 1,602x10 ⁻¹⁹ J	
Aktivität A	Bq (Becquerel)	1 Bq = 1 s ⁻¹	1 Ci (Curie) = 37x10 ⁹ Bq
Energiedosis D	Gy (Gray)	1 Gy = 1 J/kg	1 rd (Rad) = 0,01 Gy
Energiedosisleistung \dot{D}	Gy/s, Gy/h		
Ionendosis J	C/kg (Coulomb/kg)	1 C/kg = 1 As/kg	1 R (Röntgen) = 0,258 mC/kg
Äquivalentdosis D_e	Sv (Sievert)	1 Sv = 1 Gy (für γ -Strahlung)	1 rem = 0,01 Sv

BOSCH

**Bosch Sicherheitssysteme GmbH
Robert-Koch-Str. 100
D-85521 Ottobrunn**

**Telefon +49 (0)89 6290 0
Telefax +49 (0)89 6290 1020**

**www.bosch-sicherheitssysteme.de
info.service@de.bosch.com**