

Welche elektromagnetische Strahlung geht von 1 kg spent fuel aus das 10 Jahre aus dem Reaktor ist ?

Frage Ing. Goebel an die google KI

Nach 10 Jahren Abklingzeit wird die elektromagnetische Strahlung von 1 kg hochradioaktivem Kernbrennstoff (*spent fuel*) fast vollständig von **Gammastrahlung** (hochenergetische Photonen) dominiert. Die Intensität ist extrem hoch; die Strahlendosis in unmittelbarer Nähe wäre in kurzer Zeit tödlich. [[1](#), [2](#), [3](#)]

Ursachen und Eigenschaften der Strahlung

Nach 10 Jahren sind die kurzlebigeren Spaltprodukte weitgehend zerfallen. Das Spektrum und die Intensität der verbleibenden Gammastrahlung werden nun durch bestimmte mittelschwere Zerfallsprodukte und Transurane dominiert. [[1](#), [2](#), [3](#)]

- **Hauptverursacher der Gammastrahlung:**
- **Cäsium-134** und **Cäsium-137**
- **Europium-154**
- **Americium-241**
- **Energiespektrum:** Die emittierten Gamma-Quanten bewegen sich typischerweise in einem Energiebereich von ca. 0,6 MeV bis zu etwa 2,0 MeV.
- **Wärmestrahlung:** Zusätzlich zur ionisierenden Gammastrahlung gibt das abgebrannte Material noch eine erhebliche Menge an **Infrarotstrahlung (Wärme)** ab, da die radioaktiven Zerfälle Energie in Form von Wärme freisetzen. Von einem Kilogramm spent fuel gehen nach 10 Jahren noch etwa 1 bis 2 Watt an Nachzerfallswärme aus. [[1](#), [2](#)]
- (Dr. Herres rechnet auf Vorschlag in Goebel immer mit 4,31 Watt)

Dosisleistung

Die Gammastrahlendosisleistung von abgebrannten Brennelementen ist enorm. Befindet sich 1 kg dieses Materials nach 10 Jahren un-abgeschirmt an der Luft, baut sich in unmittelbarer Nähe eine Dosisleistung von mehreren Sievert pro Stunde auf. Zum Vergleich: Eine einmalige Dosis von ca. 5 Sievert gilt für den Menschen als tödlich.

Andere Strahlungsarten (Teilchenstrahlung)

Obwohl Gammastrahlung die einzige nennenswerte **elektromagnetische** Strahlung ist, gibt das Material physikalisch bedingt auch Teilchenstrahlung ab: [[1](#)]

- **Betastrahlung:** Hochenergetische Elektronen (entstehen beim Betazerfall der Spaltprodukte).
- **Alphastrahlung:** Heliumkerne (werden hauptsächlich von den Transuranen wie Plutonium und Americium emittiert).
- *Hinweis:* Alpha- und Betastrahlung haben eine sehr geringe Reichweite und werden bereits durch die eigene Hülle (Zircaloy-Rohre) oder wenige Zentimeter Luft vollständig abgeschirmt.

Abschirmung

Aufgrund dieser harten Gammastrahlung werden abgebrannte Brennelemente bis zum Abtransport in Castor-Behältern oder während der ersten Jahre in Abklingbecken unter metertiefem Wasser gelagert. Dieses absorbiert die elektromagnetische Strahlung und kühlt die Brennstäbe.

Ich kann Ihnen gerne weitere Details zu diesem Thema geben. Sagen Sie mir einfach:

- Möchten Sie wissen, wie sich dieses **Gammastrahlenspektrum nach 50 oder 100 Jahren** verändert?
- Interessieren Sie sich für die genauen **Halbwertszeiten** der genannten Isotope?
- Planen Sie eine Berechnung zur **Abschirmung** (z. B. durch Wasser oder Blei)?

Du hast Folgendes gesagt: Abschirmung durch Edelstahl 20 mm und Blei 35 mm

Eine Kombination aus **20 mm Edelstahl** und **35 mm Blei** reduziert die Intensität der dominanten Gammastrahlung ^{137}Cs mit 0,662 MeV auf ca. **0,4 % bis 1 %** des ursprünglichen Wertes (Schwächungsfaktor von rund 100 bis 250). Diese Abschirmung ist sehr wirksam, reicht jedoch bei 1 kg hochradioaktivem abgebrannten Kernbrennstoff (*spent fuel*) nach 10 Jahren noch nicht aus, um die Strahlung auf ein für Menschen völlig sicheres Niveau zu senken.

1. Schwächung durch die einzelnen Schichten

Die Berechnung basiert auf dem exponentiellen Schwächungsgesetz für die Hauptenergiekomponente von 0,662 MeV :

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu \cdot x}$$

- **20 mm Edelstahl (Dichte $\rho \approx 7,8 \text{ g/cm}^3$):**
- Der lineare Schwächungskoeffizient μ beträgt etwa $0,57 \text{ cm}^{-1}$.
- Die Transmission liegt bei $(e^{-0,57 \cdot 2} \cdot 100) \approx 0,32\%$.
- **Ergebnis:** Edelstahl reduziert die Strahlung auf etwa **32 %**.

- **35 mm Blei (Dichte $\rho \approx 11,35 \text{ g/cm}^3$):**
- Der lineare Schwächungskoeffizient μ beträgt etwa $(1,24 \text{ cm}^{-1})$.
- Die Transmission liegt bei $(e^{-1,24 \cdot 3,5} \approx 0,013)$.
- **Ergebnis:** Blei reduziert die verbleibende Strahlung auf etwa **1,3 %**

2. Gesamteffekt und der „Buildup-Effekt“

Kombiniert man beide Schichten, ergibt sich rein rechnerisch eine Verringerung auf:

$$(0,32 \cdot 0,013 = 0,00416 \rightarrow 0,42 \%)$$

In der Realität kommt es in den dicken Abschirmmaterialien jedoch zur Compton-Streuung. Dadurch entstehen sekundäre Gamma-Quanten, die die Dosisleistung hinter dem Schild wieder leicht erhöhen (sogenannter **Buildup-Faktor**). Unter Berücksichtigung dieses Effekts kommt am Ende noch etwa **0,8 % bis 1 %** der Strahlung durch.

3. Auswirkung auf die Dosisleistung

- **Ohne Abschirmung:** Unmittelbar an 1 kg ungeschirmtem *spent fuel* (10 Jahre alt) herrscht eine lebensgefährliche Dosisleistung von geschätzt mehreren hundert Millisievert bis einigen Sievert pro Stunde.
- **Mit dieser Abschirmung (55 mm Gesamtstärke):** Die Dosisleistung sinkt um das Hundert- bis Zweihundertfache. Sie liegt danach im Bereich von einigen Millisievert pro Stunde

Fazit und Anwendung

Diese Kombination entspricht in etwa dem Aufbau leichter Transport- oder Laborabschirmungen.