

# Gefährdungsbeurteilung für den Umgang mit radioaktiven Stoffen in Schulen – Blatt 1: umschlossene radioaktive Stoffe

## 1. Einleitung

Dieses Blatt bezieht sich auf den Umgang mit radioaktiven Materialien, bei denen eine Inkorporation ausgeschlossen ist. Dazu gehören insbesondere umschlossene radioaktive Stoffe mit einer Bauartzulassung (BAZ), im Folgenden mit „Schulstrahler“ bezeichnet. Ebenfalls behandelt wird die Gefährdungsbeurteilung für Stoffe, die nicht im Sinne der DIN ISO 2919 [1] als umschlossene radioaktive Präparate angesehen werden können, bei denen aber eine Inkorporation praktisch ebenfalls ausgeschlossen sein sollte, wie z.B. Uranglasknöpfe oder Auernetze.

Bei Schulstrahlern mit BAZ sind insbesondere die Vorschriften aus dem Bauartzulassungsschein zu berücksichtigen.

**Da lediglich eine äußere Strahlenexposition auftreten kann, sind insbesondere die Grundregeln des Strahlenschutzes (siehe „Gefährdungsbeurteilung für den Umgang mit radioaktiven Stoffen in Schulen - allgemeine Maßnahmen“) zu beachten!**

Daher sind insbesondere Radionuklide mit  $\gamma$ -Strahlung zu berücksichtigen, da sowohl  $\alpha$ - als auch  $\beta$ -Strahlung keine durchdringende Strahlungsarten sind und damit die tieferliegenden Organe geschützt sind.

## 2. Grundsätzliches

Während die Reichweite von  $\alpha$ -Strahlung in Luft nur wenige Zentimeter beträgt und bereits ein Blatt Papier ausreichend abschirmt, kann die Reichweite von  $\beta$ -Strahlung mit folgender Zahlenwertgleichung abgeschätzt werden:

$$R_{\max} = \frac{E}{2 \cdot \rho}$$

Dabei ergibt sich die maximale Reichweite  $R_{\max}$  in cm, wenn die Energie  $E$  der Betastrahlung in MeV und die Dichte  $\rho$  des durchdrungenen Materials in  $\text{g/cm}^3$  angegeben wird. Zur vollständigen Abschirmung von Betastrahlen genügt also für an Schulen übliche Präparate wie Sr-90 eine Wasser- oder Plexiglasschicht von etwa 1 cm Dicke. Daher muss im Rahmen dieser Gefährdungsbeurteilung lediglich für  $\gamma$ -strahlende Nuklide die externe Strahlenexposition berücksichtigt werden.

Bei bekannter Aktivität  $A$  kann die Umgebungsäquivalentdosisleistung  $\dot{H}$  durch  $\gamma$ -Strahlung mit folgender Formel abgeschätzt werden:

$$\dot{H} = \Gamma_{\gamma} \cdot \frac{A}{r^2}$$

Die Dosisleistungsfaktoren  $\Gamma_{\gamma}$  können der Literatur, z.B. [2] entnommen werden. Als Aktivität  $A$  ist die aktuelle Aktivität des umschlossenen radioaktiven Stoffes einzusetzen. Diese muss, je nach Nuklid und Datum des Erwerbs, gemäß

$$A(t) = A_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T_{1/2}}}$$

berechnet werden, wobei  $A_0$  die Aktivität bei Erwerb des Stoffes,  $T_{1/2}$  die Halbwertszeit und  $t$  die seit dem Erwerb vergangene Zeit bezeichnet.

Tabelle 1 enthält für typische Schulstrahler berechnete Dosisleistungen in 1m Abstand vom Strahler (1. Reihe im Unterricht) sowie eine Abschätzung der effektiven Dosis für den hypothetischen Fall einer 90 minütigen Bestrahlung in diesem Abstand. Nahezu reine Beta- oder Alphastrahler ohne nennenswerten Gamma-Anteil wurden nicht berücksichtigt. Es ist zu beachten, dass hier mit den Nennaktivitäten bei Erwerb des Strahlers gerechnet wurde. Gegebenenfalls ist die Aktivität entsprechend der oben genannten Formel um den bereits stattgefundenen Zerfall zu korrigieren.

Soll die Dosisleistung für andere Abstände als 1m abgeschätzt werden, ist das Abstandsquadratgesetz zu verwenden:

$$\dot{H}_1 \cdot r_1^2 = \dot{H}_2 \cdot r_2^2$$

So erhöht die Reduzierung des Abstandes um einen Faktor 10 (von 1m auf 10cm) die Dosisleistung um einen Faktor 100.

### 3. Dosisleistung durch Schulstrahler

Für gängige Schulstrahler wurde die Dosisleistung in 1m Abstand berechnet (Tabelle 1). Man erkennt anhand der Werte in Tabelle 1, dass die aus den Strahlern resultierenden Dosisleistungen bei korrekter Handhabung sehr klein sind. Zum Vergleich: Unter normalen Bedingungen beträgt die Dosisleistung beim Fliegen aufgrund von natürlicherweise vorhandener kosmischer Strahlung ca. 5  $\mu\text{Sv/h}$ . Selbst bei der Verwendung des Strahlers mit der höchsten Dosisleistung wird dieser Wert in 1m Abstand noch deutlich unterschritten. Auch der Grenzwert von 1 mSv pro Kalenderjahr wird insgesamt um einige Größenordnungen unterschritten. Ebenso ist im Vergleich zur gesamten natürlichen Strahlenexposition (ca. 2 mSv pro Kalenderjahr) die zusätzliche Dosis durch Schulexperimente bei korrekter Handhabung und Berücksichtigung der Strahlenschutzgrundregeln vernachlässigbar klein.

### 4. Dosisleistung durch andere umschlossene Strahler

Neben den Schulstrahlern werden auch andere Präparate an Schulen genutzt, die zwar nicht als umschlossene Stoffe im Sinne der DIN ISO 2919 gelten, bei denen aber trotzdem eine Inkorporation von radioaktiven Stoffen praktisch ausgeschlossen werden kann. Zu diesen Präparaten gehören z.B. Uranglasknöpfe oder Auernetze.

- Uranglasknöpfe können bei der Firma LD Didactics erworben werden. Die Aktivität der Uranglasknöpfe liegt mit ca. 200 Bq unterhalb der Freigrenze. Eine Zunahme der Dosisleistung in 1m Entfernung ist nicht messbar. Selbst an der berührbaren Oberfläche lässt sich eine erhöhte Dosisleistung durch Gammastrahlung nicht einwandfrei nachweisen. Versuche zur Radioaktivität sind also mit diesem Präparat nur mit einem für Beta- und/oder Alpha-Strahlung empfindlichen Zählrohr möglich.

Natürlich sollte eine Inkorporation durch Verschlucken vermieden werden. Allerdings würde selbst in diesem unrealistischen Fall bei vollkommener Resorption des Urans im Körper lediglich eine Inkorporationsdosis (50-Jahre effektive Folgedosis) in Höhe von ca. 9  $\mu\text{Sv}$  (Erwachsener) bzw. 13  $\mu\text{Sv}$  (Jugendlicher) resultieren.

- Auernetze der Firma Mekruphy enthalten lt. Messungen des LfU in Bayern max. 2,5 kBq Th-232 und liegen damit ebenfalls unterhalb der Freigrenze. Auch hier ist in 1m Abstand keine erhöhte Dosisleistung messtechnisch nachweisbar. Direkt an der berührbaren Oberfläche beträgt die zusätzliche Dosisleistung ca. 0,07  $\mu\text{Sv/h}$  und ist damit kleiner als die Schwankungsbreite der natürlichen Strahlenexposition in Deutschland. Auch hier ist eine Inkorporation zu vermeiden und dafür zu sorgen, dass die verklebten Plastikdosen dauerhaft geschlossen bleiben.

## 5. Dosisleistung durch Neutronenquellen

Beim Umgang mit Neutronenquellen sind aufgrund der größeren Aktivität auch höhere Dosisleistungen zu erwarten, wobei die eigentliche Neutronenquelle von massivem Abschirmmaterial umgeben ist. Auch hier sind insbesondere die Hinweise aus den Bauartzulassungsscheinen zu berücksichtigen (siehe z.B. BAZ Nds 21 von PHYWE). Messungen an dieser Neutronenquelle (Ra/Be, A= 259 MBq) haben an der Oberfläche der Abschirmung eine Gamma-Ortsdosisleistung von ca. 5  $\mu\text{Sv/h}$  ergeben, die folglich vergleichbar mit der Dosisleistung bei einem Transatlantikflug ist. Die Ortsdosisleistung durch Neutronen ist aufgrund der deutlich geringeren Dosisleistungskonstante ( $\Gamma_n = 5,6 \cdot 10^{-3} \text{ (mSv m}^2\text{) / (h GBq)}$ , siehe [2]) im Vergleich zur Dosisleistung durch Gammastrahlung vernachlässigbar.

## 6. Literatur

[1] DIN ISO 2919 - Strahlenschutz – Umschlossene radioaktive Stoffe – Allgemeine Anforderungen und Klassifikation, Beuth Verlag GmbH, 10772 Berlin

[2] Vogt, H.-G.; Schulz, H.: Grundzüge des praktischen Strahlenschutzes, 6. überarbeitete Auflage, Hanser Verlag, 2011, ISBN 978-3-446-42593-4

Tabelle 1: Abschätzung der Strahlenexposition für typische Schulstrahler

| Präparat bzw. BAZ             | Nuklid        | A in kBq | $\Gamma_\gamma$ in (mSv m <sup>2</sup> ) / (h GBq) | $\dot{H}$ in 1 m Entfernung in $\mu\text{Sv/h}$ | effektive Dosis einer Schülerin in 1 m Abstand nach 90 Minuten in $\mu\text{Sv}$ |
|-------------------------------|---------------|----------|--|---|--|
| LD 559825                     | Am-241        | 3,7      | 7,30E-03   | 2,70E-05  | 0,00004  |
| BfS 01/10                     | Am-241        | 74       | 7,30E-03   | 5,40E-04  | 0,00081  |
| LD 559820Z                    | Am-241        | 330      | 7,30E-03   | 2,41E-03  | 0,00361  |
| NW 76/76                      | Am-241        | 333      | 7,30E-03   | 2,43E-03  | 0,00365  |
|                               | Am-241        | 370      | 7,30E-03   | 2,70E-03  | 0,00405  |
| LD 559855 oder Phywe 0947-54  | Co-60         | 74       | 3,54E-01   | 2,62E-02  | 0,03929  |
| NW 214/81                     | Co-60         | 167      | 3,54E-01   | 5,91E-02  | 0,08868  |
| NW 249/82                     | Co-60         | 1400     | 3,54E-01   | 4,96E-01  | 0,74340  |
| LD 559885                     | Cs-137        | 5        | 9,25E-02   | 4,63E-04  | 0,00069  |
| Nds 152/96                    | Cs-137        | 6        | 9,25E-02   | 5,55E-04  | 0,00083  |
| BfS 01/10                     | Cs-137        | 74       | 9,25E-02   | 6,85E-03  | 0,01027  |
| Nds 151/78                    | Cs-137        | 370      | 9,25E-02   | 3,42E-02  | 0,05134  |
| NW 250/82                     | Cs-137        | 3700     | 9,25E-02   | 3,42E-01  | 0,51338  |
| Nds 151/96                    | Cs-137        | 4000     | 9,25E-02   | 3,70E-01  | 0,55500  |
| Nds 18/66                     | Cs-137        | 18500    | 9,25E-02   | 1,71E+00  | 2,56688  |
| NRW 214/81                    | Kr-85         | 167      | 3,73E-04   | 6,23E-05  | 0,00009  |
| NW 200/80                     | Kr-85         | 999      | 3,73E-04   | 3,73E-04  | 0,00056  |
| LD 559865 oder Phywe 09047-52 | Na-22         | 74       | 3,33E-01   | 2,46E-02  | 0,03696  |
| NRW 214/81                    | Na-22         | 185      | 3,33E-01   | 6,16E-02  | 0,09241  |
| NW 229/81                     | Ra-226        | 3,3      | 2,98E-01   | 9,83E-04  | 0,00148  |
| Phywe 09041-00                | Ra-226        | 4        | 2,98E-01   | 1,19E-03  | 0,00179  |
| LD 559435 oder 559595         | Ra-226        | 5        | 2,98E-01   | 1,49E-03  | 0,00224  |
| Nds 101/80                    | Ra-226        | 48,1     | 2,98E-01   | 1,43E-02  | 0,02150  |
| Nds 101/87                    | Ra-226        | 60       | 2,98E-01   | 1,79E-02  | 0,02682  |
| Nds 10                        | Ra-226        | 111      | 2,98E-01   | 3,31E-02  | 0,04962  |
| NW 7/65                       | Ra-226        | 325,6    | 2,98E-01   | 9,70E-02  | 0,14554  |
| Nds 15                        | Tl-204        | 925      | 2,44E-04   | 2,26E-04  | 0,00034  |
| <b>Mischstrahler</b>          |               |          |  |   |  |
| Nds 002/99                    | Am-241        | 74       | 7,30E-03   | 5,40E-04  | 0,00081  |
|                               | Sr-90         | 74       | 3,63E-09   | 2,69E-10  | 4,03E-10   |
|                               | Na-22         | 74       | 3,33E-01   | 2,46E-02  | 0,03696  |
|                               | Cs-137        | 74       | 9,25E-02   | 6,85E-03  | 0,01027  |
|                               | Co-60         | 74       | 3,54E-01   | 2,62E-02  | 0,03929  |
|                               | <b>gesamt</b> |          |  |   | <b>5,82E-02</b>  |

| Präparat bzw. BAZ | Nuklid        | A in kBq | $\Gamma_\gamma$ in (mSv m <sup>2</sup> ) / (h GBq) | $\dot{H}$ in 1 m Entfernung in $\mu\text{Sv/h}$ | effektive Dosis einer Schülerin in 1 m Abstand nach 90 Minuten in $\mu\text{Sv}$ |
|-------------------|---------------|----------|--|---|--|
| Nds 153/79        | Cs-137        | 330      | 9,25E-02   | 3,05E-02  | 0,04579  |
|                   | Sr-90         | 4,44     | 3,63E-09   | 1,61E-11  | 2,42E-11   |
|                   | Am-241        | 4,44     | 7,30E-03   | 3,24E-05  | 0,00005  |
|                   | <b>gesamt</b> |          |  | <b>3,06E-02</b>                                 | <b>0,04584</b>   |
| BfS 01/10         | Am-241        | 4,4      | 7,30E-03   | 3,21E-05  | 0,00005  |
|                   | Sr-90         | 4,4      | 3,63E-09   | 1,60E-11  | 2,40E-11   |
|                   | Cs-137        | 74       | 9,25E-02   | 6,85E-03  | 0,01027  |
|                   | <b>gesamt</b> |          |  | <b>6,88E-03</b>                                 | <b>0,01032</b>   |