

## Thema: Spektren

Im Mittelpunkt stehen unterschiedliche Spektren. In der ersten Aufgabe sollen das sichtbare und das unsichtbare Licht je einer Leuchtdiode (LED) spektral untersucht werden. In der zweiten Aufgabe werden Emissions- und Absorptionsspektren thematisiert. In der dritten Aufgabe wird das Energiespektrum von Americium-241 betrachtet.

## Aufgabenstellung

### Aufgabe 1

Interferenzmuster verschiedener Lichtquellen sollen ausgewertet werden.

- 1.1** Das grüne Licht einer LED (LED-grün) fällt so durch ein optisches Gitter, dass ein Interferenzmuster, wie in Material 1 (M1) dargestellt, zu beobachten ist.

Beschreiben Sie anhand einer Skizze einen Aufbau, um das Schirmbild zu erhalten.

Erklären Sie die Entstehung der Interferenzmaxima und -minima, indem Sie sich vereinfachend auf die Situation bei einem Doppelspalt beschränken.

Für die Maxima eines Interferenzmusters am Gitter gilt der folgende Zusammenhang:

$$n \cdot \lambda = g \cdot \sin \left[ \tan^{-1} \left( \frac{a_n}{e} \right) \right]$$

$n$ : Ordnung des Maximums;  $\lambda$ : Wellenlänge;  
 $g$ : Gitterkonstante;  $e$ : Abstand Gitter – Schirm;  
 $a_n$ : Abstand zwischen Maximum 0. und Maximum  $n$ . Ordnung

Bestimmen Sie möglichst genau mithilfe von M1 den Wellenlängenbereich, in dem die LED-grün Licht aussendet. [9 BE]

- 1.2** Das Experiment wird durch einen Tausch der LED-grün gegen eine infrarotes Licht emittierende LED (LED-IR) abgeändert. Zur Detektion des Interferenzbildes wird anstelle des Schirms ein Lichtsensor verwendet (M2). Die Messwerte sind in M3 dargestellt.

Bestimmen Sie mithilfe eines zu zeichnenden  $d$ - $U$ -Diagramms die Wellenlänge maximaler Intensität  $\lambda_{\text{IR,max}}$  des Lichts dieser LED-IR. [6 BE]

- 1.3** Bestimmen Sie die Unsicherheit der in 1.2 ermittelten Wellenlänge  $\lambda_{\text{IR,max}}$ , indem Sie durch Einsetzen größter und kleinster Werte der verwendeten Größen ein Intervall für die Wellenlänge  $\lambda_{\text{IR,max}}$  angeben.

Hinweis: Gehen Sie davon aus, dass die Gitterkonstante  $g = (2,00 \pm 0,01) \cdot 10^{-6}$  m beträgt. [4 BE]

### Aufgabe 2

Zunächst wird das Emissionsspektrum einer Natriumdampflampe (M4) betrachtet. Im weiteren Verlauf werden weitere Emissions- und Absorptionsspektren untersucht.

- 2.1** Erläutern Sie die atomaren Vorgänge, die zu einem Emissionsspektrum führen.

Ein vereinfachter Ausschnitt eines Energieniveauschemas von Natrium-Atomen ist in M5 dargestellt.

Berechnen Sie die Wellenlängen zu den mit Pfeilen gekennzeichneten Übergängen im Energieniveauschema (M5).

Bestätigen Sie mit Ihrer Rechnung, dass der in M4 dargestellte Peak zu einem der eingezeichneten Übergänge gehört. [9 BE]

- 2.2** Nun wird Natriumdampf mit dem Licht einer Glühlampe beleuchtet. Nach Durchgang des Lichts durch den Natriumdampf erhält man ein Spektrum, wie es in M6 dargestellt ist.  
Erklären Sie den Zusammenhang zwischen M4 und M6. [4 BE]
- 2.3** In einem anderen Experiment wird eine lichtdurchlässige Platte mit dem Licht einer LED beleuchtet. M7 zeigt drei Spektren, die auf Grundlage verschiedener Lichtwege aufgenommen worden sind: Das Spektrum der LED (ohne Platte), das Spektrum des durch die Platte scheinenden Lichts (Transmission) sowie das Spektrum des Lichts vom Rand der Platte.  
Begründen Sie anhand relevanter Wellenlängenbereiche die in M7 erfolgte Zuordnung der Lichtwege zu den Spektren.  
Die Platte wird schließlich mit dem Licht der bekannten Natriumdampfampe (Spektrum siehe M4) beleuchtet.  
Nehmen Sie Stellung zu folgenden Aussagen:
- In Transmission wird sich das aufgenommene Spektrum im Vergleich zu M4 bis auf die Intensität nicht ändern.
  - Der Rand der Platte wird nicht leuchten.
- [9 BE]

### Aufgabe 3

Mit einem Halbleiterdetektor werden Energiespektren (M8) der  $\alpha$ -Strahlung eines Americium-Präparats (Am-241) in Abhängigkeit vom Abstand  $d$  des Präparats zum Detektor aufgenommen. Im Anschluss daran wird die Abhängigkeit der Zählrate vom Abstand zum Zählrohr betrachtet.

- 3.1** Beschreiben Sie die wesentlichen Veränderungen in den Spektren in M8 bei zunehmendem Abstand.  
Erläutern Sie die Lage der Peaks in den Spektren bei zunehmendem Abstand mithilfe der Wechselwirkung der  $\alpha$ -Strahlung mit Luft. [5 BE]
- 3.2** In M9 ist ein Ausschnitt einer Nuklidkarte dargestellt.  
Begründen Sie anhand der Zerfallsreihe von Am-241, dass man in den Spektren (M8) nur die Strahlung von Am-241 erkennen kann.  
Stellen Sie einen Zusammenhang zwischen den Angaben zu Am-241 in der Nuklidkarte (M9) und den Energiespektren (M8) dar. [5 BE]
- 3.3** In einem anderen Experiment wird mit einem Geiger-Müller-Zählrohr die Zählrate  $R$  der Strahlung des Am-241-Präparats in Abhängigkeit vom Abstand  $d$  des Präparats zum Zählrohr aufgenommen (M10). Für diesen Zusammenhang gilt  $R(d) = 12300 \frac{\text{mm}^2}{\text{s}} \cdot \frac{1}{d^2}$ .  
Bestätigen Sie anhand aller Messwerte in M10, dass  $R \sim \frac{1}{d^2}$  gilt.  
Im Abstand  $d = 4 \text{ mm}$  wird die Zählrate  $R = 5644 \frac{1}{\text{s}}$  gemessen. Hält man eine Postkarte zwischen Präparat und Detektor, verringert sich diese auf  $R = 761 \frac{1}{\text{s}}$ .  
Vergleichen Sie beide Messwerte mit der Zählrate, die sich nach obigem Zusammenhang im Abstand  $d = 4 \text{ mm}$  bestimmen lässt.  
Stellen Sie eine begründete Hypothese auf, die die stark unterschiedlichen Messwerte bei  $d = 4 \text{ mm}$  plausibel macht. [9 BE]

## Material

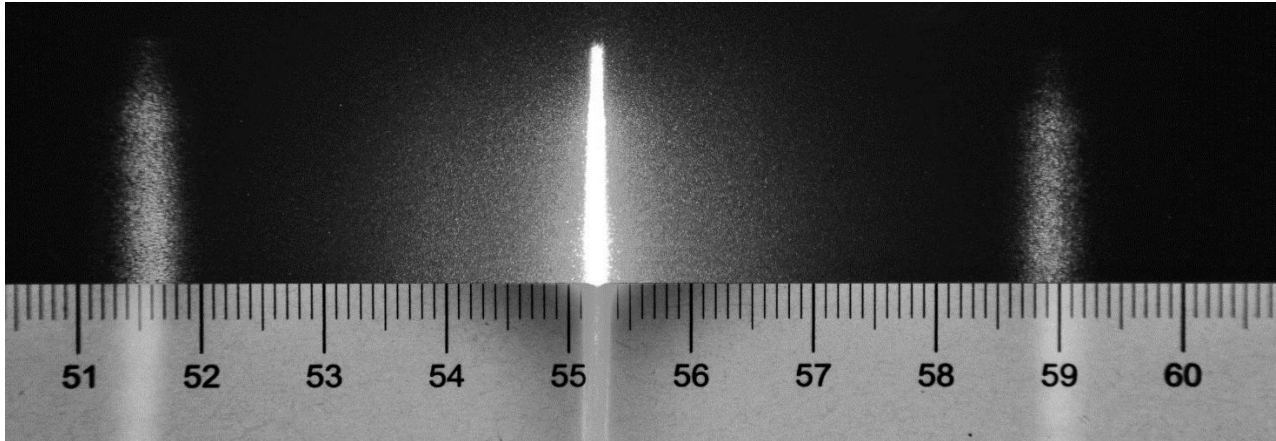
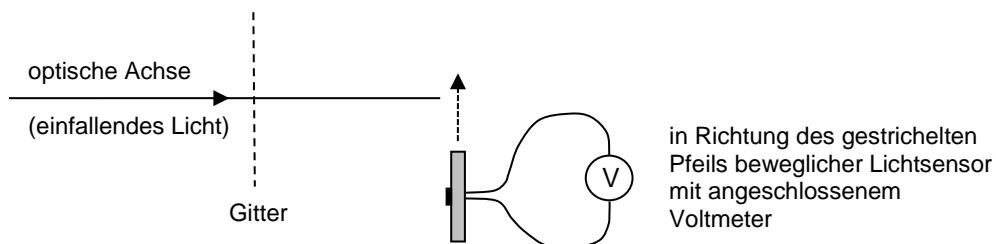
**M1:** Interferenzmuster einer LED-grün zum Experiment in Aufgabe 1.1

Foto des Schirmbildes, zusätzlich ist ein Maßband mit Zentimetereinteilung zu sehen. Der Abstand vom Gitter zum Schirm beträgt  $e = 13,7$  cm, die Gitterkonstante beträgt  $g = 2,00 \cdot 10^{-6}$  m.

**M2:** Schematische Darstellung zum abgeänderten Experiment in 1.2

Zur Messung wird der Lichtsensor senkrecht zur optischen Achse durch die Maxima 0. und 1. Ordnung bewegt. Die ausgegebene Spannung  $U$  des Lichtsensors ist proportional zur Lichtintensität. Alle Abstände des Aufbaus in 1.1 bleiben dabei unverändert.

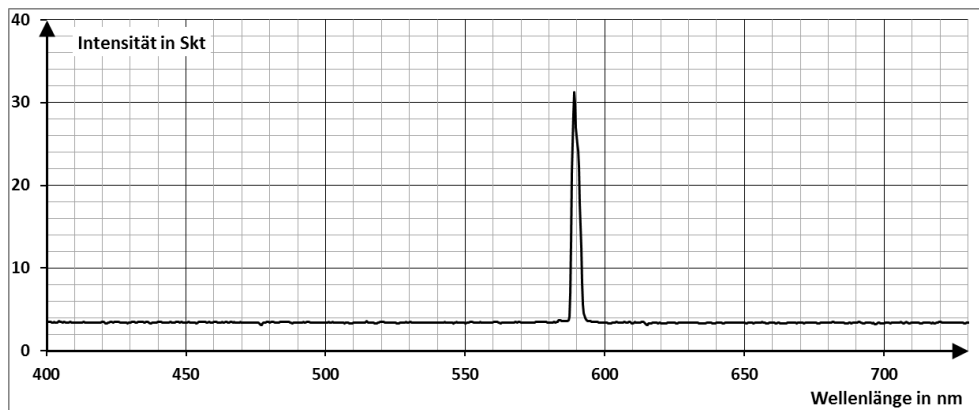
Position $d$ des Lichtsensors auf einer Skala in cm	0,0	0,3	0,8	1,3	1,6	7,3	7,5	7,7	7,8	8,4	8,5	8,7	9,0
Spannung $U$ in V	0,01	0,03	0,07	0,03	0,01	0,01	0,03	0,68	0,93	0,70	0,40	0,03	0,01

**M3:** Messwerte zum Experiment mit der LED-IR in 1.2

Die Skala beginnt bei einer willkürlich festgelegten Position 0 cm.

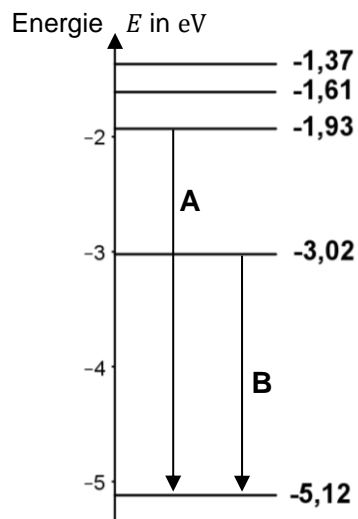
Die Spannungswerte zwischen  $d = 7,9$  cm und  $d = 8,3$  cm liegen deutlich über 1 Volt, sie müssen nicht eingezeichnet werden.

Der Abstand vom Gitter zur Sensorebene beträgt  $e = (13,7 \pm 0,3)$  cm.

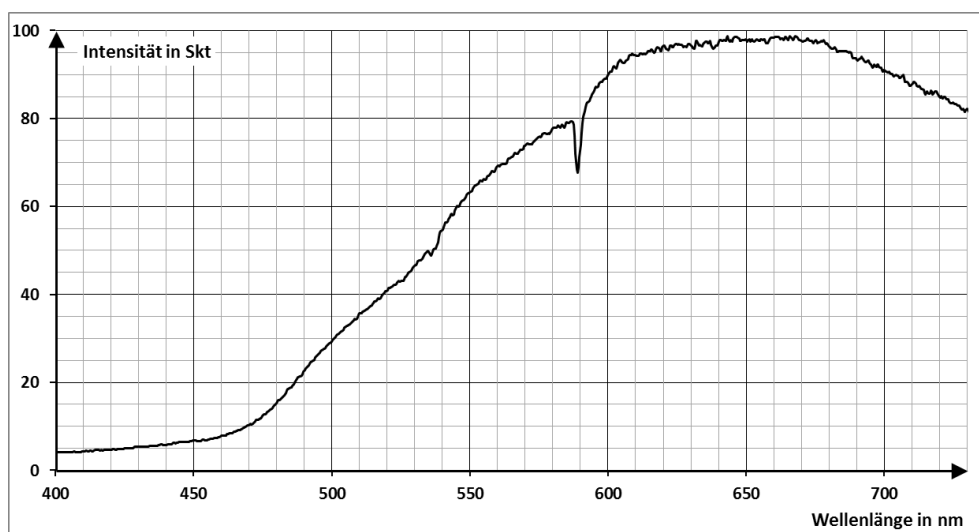


**M4:** Emissionsspektrum einer Natriumdampfampe

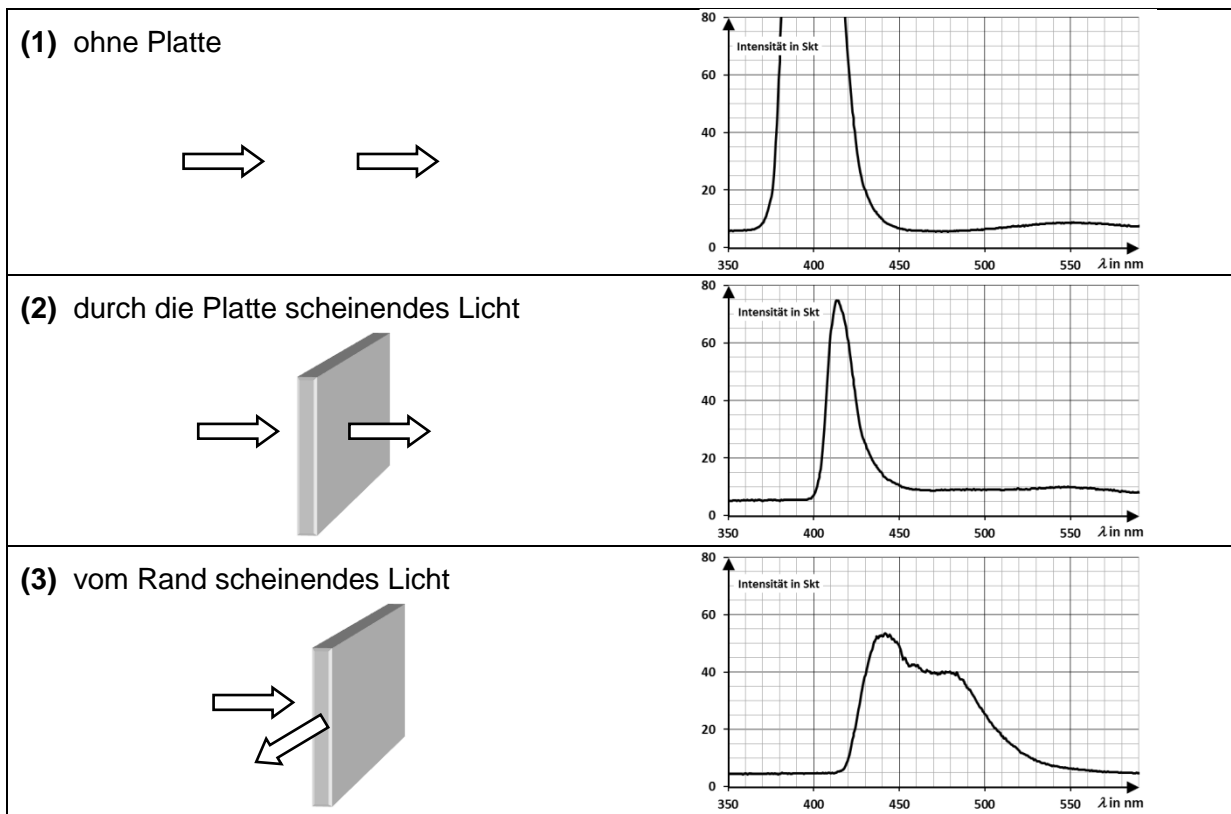
Die Intensität ist in Skalenteilen (Skt) über der Wellenlänge  $\lambda$  aufgetragen.



**M5:** Stark vereinfachter Ausschnitt eines Energieniveauschemas von Natrium-Atomen. Es sind nicht alle Niveaus abgebildet, es existieren auch weitere Niveaus weit unterhalb von  $-5,12$  eV.

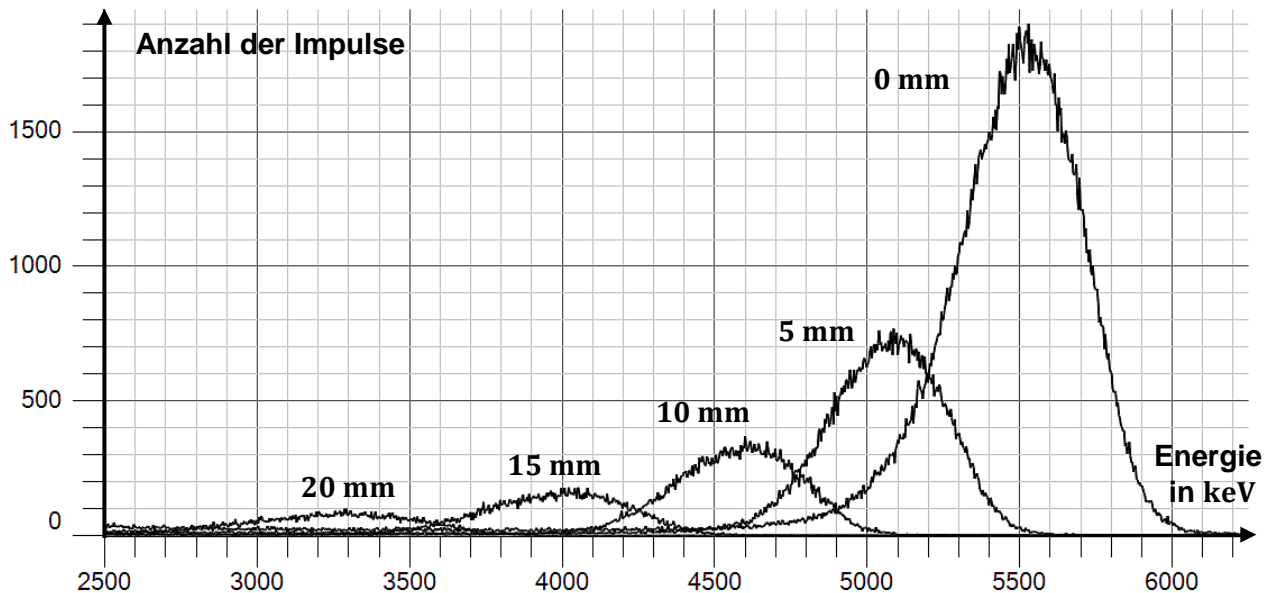


**M6:** Spektrum des durch Natriumdampf tretenden Lichts einer Glühlampe



**M7:** Lichtwege und Spektren einer LED an einer lichtdurchlässigen Platte

Die Pfeile stellen die Lichtwege zum Aufnahmegerät dar, die Pfeilbreiten sind ohne Aussage, die Skalenteile der Hochachsen sind nicht vergleichbar.



**M8:** Energiespektren der  $\alpha$ -Strahlung von Am-241 bei verschiedenen Abständen zum Detektor

Die einzelnen Diagramme wurden von rechts nach links bei zunehmendem Abstand  $d$  zwischen Präparathülle und Zählrohroberfläche gemessen. Die Messzeit war jeweils gleich. Alle Messungen wurden nicht im Vakuum aufgenommen.

$\begin{matrix} N \\ Z \end{matrix}$	139	140	141	142	143	144	145	146
95	<b>Am234</b> 2,32 min $\alpha$ :6,46	<b>Am235</b> 15 min $\beta^+$	<b>Am236</b> 3,7 min $\alpha$ :6,41;	<b>Am237</b> 73,0 min $\alpha$ :6,04; $\gamma$	<b>Am238</b> 1,63 h $\alpha$ :5,94; $\gamma$	<b>Am239</b> 11,9 h $\alpha$ :5,77; $\gamma$	<b>Am240</b> 50,8 h $\alpha$ :5,38; $\gamma$	<b>Am241</b> 432,2 a $\alpha$ :5,49; $\gamma$
94	<b>Pu233</b> 20,9 min $\alpha$ :6,31; $\gamma$	<b>Pu234</b> 8,8 h $\alpha$ :6,20; $\gamma$	<b>Pu235</b> 25,3 min $\alpha$ :5,85; $\gamma$	<b>Pu236</b> 2,86 a $\alpha$ :5,77; $\gamma$	<b>Pu237</b> 45,2 d $\alpha$ :5,33; $\gamma$	<b>Pu238</b> 87,74 a $\alpha$ :5,50; $\gamma$	<b>Pu239</b> $2,411 \cdot 10^4$ a $\alpha$ :5,16; $\gamma$	<b>Pu240</b> 6563 a $\alpha$ :5,17; $\gamma$
93	<b>Np232</b> 14,7 min $\gamma$	<b>Np233</b> 36,2 min $\alpha$ :5,54; $\gamma$	<b>Np234</b> 4,4 d $\beta^+$ ; $\gamma$	<b>Np235</b> 396,1 d $\alpha$ :5,02; $\gamma$	<b>Np236</b> $1,54 \cdot 10^5$ a $\alpha$ ; $\beta^-$ ; $\gamma$	<b>Np237</b> $2,144 \cdot 10^6$ a $\alpha$ :4,79; $\gamma$	<b>Np238</b> 2,117 d $\gamma$	<b>Np239</b> 2,355 d $\beta^-$ ; $\gamma$
92	<b>U231</b> 4,2 d $\alpha$ :5,46; $\gamma$	<b>U232</b> 68,9 a $\alpha$ :5,32; $\gamma$	<b>U233</b> $1,59 \cdot 10^5$ a $\alpha$ :4,82; $\gamma$	<b>U234</b> $2,455 \cdot 10^5$ a $\alpha$ :4,78; $\gamma$	<b>U235</b> $7,038 \cdot 10^8$ a $\alpha$ :4,40; $\gamma$	<b>U236</b> $2,342 \cdot 10^7$ a $\alpha$ :4,49; $\gamma$	<b>U237</b> 6,75 d $\beta^-$ ; $\gamma$	<b>U238</b> $4,468 \cdot 10^9$ a $\alpha$ :4,20; $\gamma$
91	<b>Pa230</b> 17,4 d $\beta^-$ ; $\gamma$	<b>Pa231</b> $3,28 \cdot 10^4$ a $\alpha$ :5,01; $\gamma$	<b>Pa232</b> 1,31 d $\beta^-$ ; $\gamma$	<b>Pa233</b> 27,0 d $\beta^-$ ; $\gamma$	<b>Pa234</b> 6,70 h $\beta^-$ ; $\gamma$	<b>Pa235</b> 24,2 min $\beta^-$ ; $\gamma$	<b>Pa236</b> 9,1 min $\beta^-$ ; $\gamma$	<b>Pa237</b> 8,7 min $\beta^-$ ; $\gamma$
90	<b>Th229</b> 7880 a $\alpha$ :4,85; $\gamma$	<b>Th230</b> $7,54 \cdot 10^4$ a $\alpha$ :4,69	<b>Th231</b> 25,5 h $\beta^-$ ; $\gamma$	<b>Th232</b> $1,41 \cdot 10^{10}$ a $\alpha$ :4,01	<b>Th233</b> 22,3 min $\beta^-$ ; $\gamma$	<b>Th234</b> 24,10 d $\beta^-$ ; $\gamma$	<b>Th235</b> 7,1 min $\beta^-$ ; $\gamma$	<b>Th236</b> 37,5 min $\beta^-$ ; $\gamma$

**M9:** Nuklidkarte, stark vereinfachter Ausschnitt

In der zweiten Zeile ist die Halbwertszeit angegeben.

Der Zahlenwert hinter  $\alpha$  gibt die Energie in MeV an.

$Z$  ist die Ordnungszahl,  $N$  die Anzahl der Neutronen.

$d$ in mm	15	20	25	30	40	60	80
$R$ in $\frac{1}{s}$	54,5	32,9	21,8	15,4	8,8	3,5	2,1

**M10:** Zusammenhang zwischen dem Abstand  $d$  des Präparats vom Zählrohr und der Zählrate  $R$ , die Nullrate ist bereits berücksichtigt

### Hilfsmittel

- Taschenrechner
- Eine von der Schule eingeführte für das Abitur zugelassene physikalische Formelsammlung
- Eine von der Schule eingeführte für das Abitur zugelassene mathematische Formelsammlung