

## Bedienungsanleitung Röntgenenergiedetektor

1. Röntgenenergiedetektor
2. Eintrittsfenster
3. USB Stecker
4. Halterung

### Beschreibung

Der Röntgenenergiedetektor ermöglicht die Aufnahme von Energiespektren an Röntgen- oder  $\gamma$ -Strahlung im Energiebereich von ca. 2 keV bis 60 keV.

Die Detektordiode, die Verstärker und das Vielkanalanalysator sind in das Detektorgehäuse integriert. Die Ergebnisse des Vielkanalanalysators werden in einen PC mittels einer USB-Verbindung übertragen. Der Detektor ist insbesondere für den Einbau in die Schulröntgengeräte geeignet.

***Wichtiger Hinweis!** Das Eintrittsfenster vom Röntgenenergiedetektor ist aus dünnem Kunststoff. Mechanischer Kontakt mit dem Fenster soll vermieden werden – Bruchgefahr!*

### Lieferumfang

- Röntgenenergiedetektor
- Halterung für Befestigung im Diamagazin
- Software CD
- Prüfspektrum Fe+Zn

### Technische Daten

Energiebereich:	ca. 2 keV bis 60 keV
Energieauflösung:	0,55 keV (Halbwertsbreite) bei Fe K $\alpha$ = 6,40 keV
Eintrittsfenster:	Kunststoff (Absorption äquivalent zu 40 $\mu$ m Graphit)
Detektor:	Si-PIN-Photodiode
Aktive Fläche des Detektors:	0,8 mm Durchmesser
Dicke des Detektors:	ca. 200 $\mu$ m
Totzeit pro Impuls:	ca. 200 $\mu$ s
Ladungsempfindlicher Verstärker:	integriert

Hauptverstärker mit Pulsformer:	integriert
Digitalsignalverarbeitung:	integriert
Anschluss:	USB
Kabellänge:	1,75 m
Abmessungen:	Länge 80 mm, Durchmesser 22 mm
Masse:	150 g

## Funktionsprinzip

Der Kern des Detektors ist eine Silizium PIN-Diode. Die Abkürzung PIN bezeichnet die Struktur der Diode – sie hat eine ziemlich dicke *intrinsische* (undotierte) Zone zwischen der p- und der n-Zone. Ihre Dicke beträgt ungefähr 200  $\mu\text{m}$ , damit ist die I-Zone ein relativ guter Absorber für Röntgenstrahlen.

Ein einfallendes Röntgenphoton wird in der Diode absorbiert und löst dabei ein schnelles Photoelektron aus. Dieses Elektron verliert seine Energie in Stößen mit Atomen im Kristall, wobei die Atome ionisiert werden und somit Elektron-Loch-Paare entstehen. Durch das angelegte elektrische Feld werden die Elektronen und die Löcher auseinander gezogen und an den Elektroden gesammelt, bevor sie rekombinieren können.

Im Silizium wird eine mittlere Energie von  $\epsilon \approx 3,8 \text{ eV}$  gebraucht, um ein Elektron-Loch-Paar zu erzeugen. Somit beträgt die an der Kathode gesammelte mittlere Ladung nach der Absorption eines *Fe Ka* Photons (mit der Energie  $E \approx 6400 \text{ eV}$ ) nur  $dq = e \cdot E / \epsilon \approx 1680$  Elektronen oder etwa  $10^{-16}$  Coulomb.

Nach der Verstärkung und Filterung dieses sehr kleinen Signals entsteht ein elektrischer Impuls mit der Amplitude, die der Energie des Röntgenphotons proportional ist. Die Impulse werden dem Vielkanalanalysator zugefügt, der sie nach ihren Höhen sortiert und eine *Impulshöhen-Verteilung (Histogramm)* erzeugt. Auf deren X-Achse stehen die Amplituden der Impulse, auf der Y-Achse wird die Anzahl der registrierten Impulse mit bestimmter Amplitude dargestellt.

Da die Amplituden der Impulse zur Energie des im

Detektor absorbierten Röntgenphotons proportional sind, stellt dieses Histogramm nach der Energiekalibrierung ein Energiespektrum der Strahlungsquelle dar. Dieses Spektrum kann mit Hilfe von der Analysesoftware MCA Lab im Rechner aufgenommen und evaluiert werden.

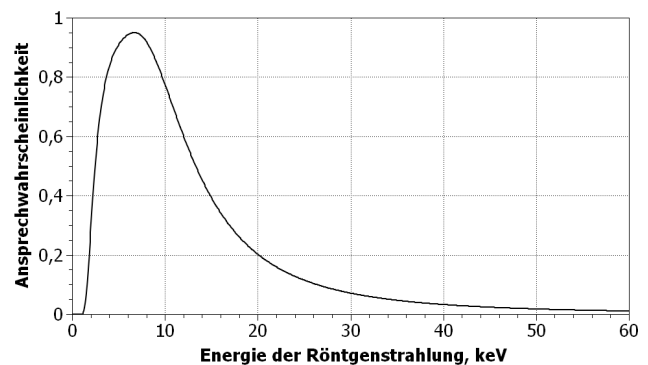
## Energieauflösung

Die Halbwertsbreite  $\Delta E$  (FWHM) eines Peaks im Energiespektrum hängt von der Energie  $E$  der Röntgenstrahlung ab:  $\Delta E \approx 2,35 \cdot \sqrt{\sigma_{el}^2 + \epsilon F E}$ , mit  $\sigma_{el} \approx 220 \text{ eV}$ ,  $F \approx 0,12$ ,  $\epsilon \approx 3,8 \text{ eV}$ . Hier ist  $\sigma_{el}$  das elektronische Rauschen des Detektorsystems,  $\epsilon$  ist die mittlere Energie der Erzeugung eines Elektron-Loch-Paares im Silizium,  $F$  ist der Fano-Faktor.

## Ansprechwahrscheinlichkeit

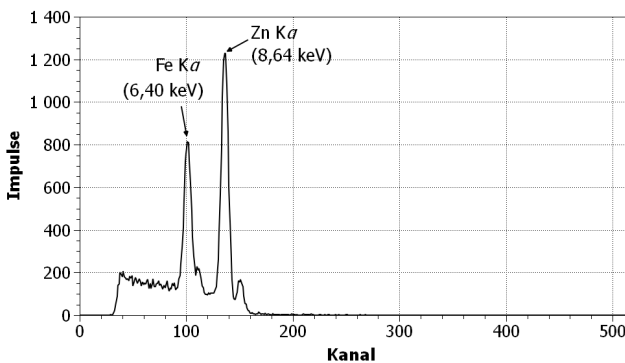
Die Ansprechwahrscheinlichkeit des Detektors ist eine Funktion der Energie, die durch die Absorption im Eintrittsfenster und durch die endliche Dicke des Detektors definiert ist. Die Absorption im Eintrittsfenster verursacht den Abfall der Ansprechwahrscheinlichkeit zu niedrigen Energien der Röntgenstrahlung. Die Kurve fällt auch zu hohen Energien ab, da Röntgenphotonen höher Energie die Detektordiode ohne nennenswerte Absorption durchdringen.

Der Peak der Ansprechwahrscheinlichkeit liegt bei ungefähr 6 keV:



## Energiekalibrierung

Die Proportionalitätskonstante zwischen der Energie der Röntgenstrahlung und dem Kanal im Histogramm kann nach der Messung des Spektrums eines bekannten Targets bestimmt werden. Dafür kann z.B. das Prüfspektrum von Fe+Zn Target (verzinkter Stahl) benutzt werden:

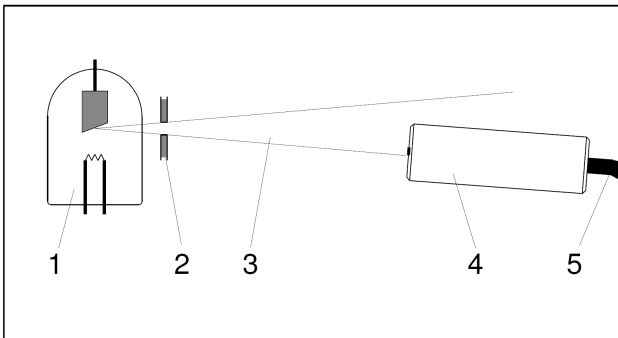


Die Proportionalitätsgerade wird aus zwei bekannten Punkten berechnet – Fe K $\alpha$  und Zn K $\alpha$ . Alternativ kann eine Fluoreszenzlinie (z.B. Zn K $\alpha$ ) und der Nullpunkt ( $E=0$  keV  $\leftrightarrow$  1. Kanal) genommen werden.

## Messaufbau

### Messung des Spektrums einer Röntgenröhre

Zur Aufnahme des Spektrums einer Röntgenröhre kann der Aufbau nach der folgenden Skizze realisiert werden.



- 1: Röntgenröhre
- 2: Kollimator / Blende
- 3: Primärer Röntgenstrahl
- 4: Röntgenenergiedetektor
- 5: Zu USB Port von PC

**Wichtiger Hinweis!** Die Intensität der Strahlung direkt in der Strahl einer Röntgenröhre kann den Röntgenenergiedetektor überlasten! Es ist empfehlenswert, den Anodenstrom der Röhre auf Minimum zu reduzieren oder / und den Detektor am Rand des Strahlungskegels zu platzieren (vgl. Skizze).

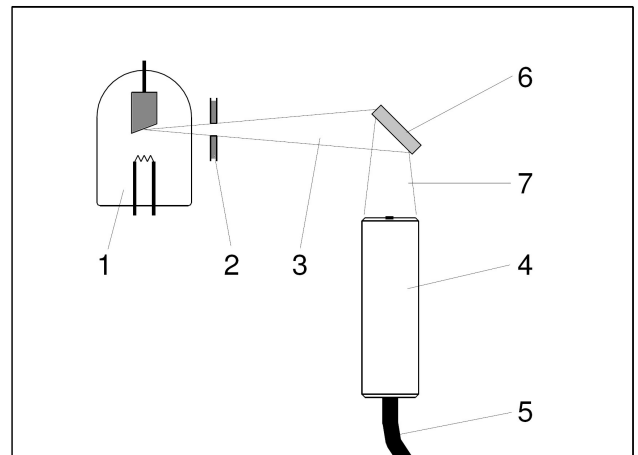
Der Röntgenenergiedetektor wird durch die intensive Strahlung nicht beschädigt.

Ein ähnlicher Aufbau wird auch für die Absorptions-

messungen benutzt. In diesem Fall wird zwischen der Röntgenröhre und dem Detektor ein dünner Absorber platziert.

### Messung der Röntgenfluoreszenz

Röntgenfluoreszenzstrahlung eines Targets wird von der Primärstrahlung einer Röntgenröhre angeregt und am Winkel zum Primärstrahl gemessen (vgl. Skizze). Der gleiche Aufbau wird auch für die Messung von elastisch und unelastisch (Compton-) gestreuter Röntgenstrahlung verwendet.



1. Röntgenröhre
2. Kollimator / Blende
3. Primärer Röntgenstrahl
4. Röntgenenergiedetektor
5. Zu USB Port von PC
6. Target
7. Fluoreszenz- und gestreute Strahlung

### Betrieb des Detektors

- Aufbau im Röntgengerät entsprechend der gewünschten Messung realisieren.
- Software MCA Lab am PC starten.
- Röntgenenergiedetektor an den USB Port des PC anschließen.
- Röntgenstrahlung einschalten.
- Spektrumaufnahme in Software starten.
- Intensität der Röntgenstrahlung ggf. nachstellen, um die optimale Zählrate für den Detektor zu erreichen – ca. 100-300 1/s.