

PHYWE Systeme GmbH & Co. KG  
Robert-Bosch-Breite 10  
D-37079 Göttingen

Telefon +49 (0) 551 604-0  
Fax +49 (0) 551 604-107  
E-mail info@phywe.de



## Betriebsanleitung



Das Gerät entspricht den zutreffenden EG-Rahmenrichtlinien

Abb. 1: 09058-36 XR 4.0 X-ray Röntgenenergiedetektor (XRED)

## INHALTSVERZEICHNIS

- 1 SICHERHEITSHINWEISE**
- 2 ZWECK UND EIGENSCHAFTEN**
- 3 FUNKTION UND VERWENDUNG**
- 4 HANDHABUNG**
- 5 BETRIEBSHINWEISE**
- 6 TECHNISCHE DATEN**
- 7 LIEFERUMFANG**
- 8 GARANTIEHINWEIS**
- 9 ENTSORGUNG**

## 1 SICHERHEITSHINWEISE



Achtung!

- Vor Inbetriebnahme des Gerätes ist die Betriebsanleitung sorgfältig und vollständig zu lesen. Sie schützen sich und vermeiden Schäden an Ihrem Gerät.
- Das Gerät nicht in Betrieb nehmen, wenn Beschädigungen am Gerät sichtbar sind.
- Das Gerät ist nur zum Betrieb in trockenen Räumen, die kein Explosionsrisiko aufweisen, vorgesehen.
- Das Gerät darf nicht Feuchtigkeit, Flüssigkeiten oder Schmutz ausgesetzt werden.
- Das Eintrittsfenster vom Röntgenenergiedetektor ist aus dünnem Kunststoff. Mechanischen Kontakt mit dem Fenster soll vermieden werden – Bruchgefahr!
- Der Detektor darf nicht dem direkten unabgeschwächten Röntgenstrahl ausgesetzt werden. Eine zu große Strahlungsexposition kann die Detektordiode dauerhaft schädigen.
- Keine anderen Geräte als die vorgesehenen an das Gerät anschließen

## 2 ZWECK UND EIGENSCHAFTEN

Der Röntgenenergiedetektor ermöglicht die Aufnahme von Energiespektraten 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.

### 3 FUNKTION UND VERWENDUNG

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 µm, 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 auseinandergezogen und an den Elektroden gesammelt, bevor sie rekombinieren können. Im Silizium wird eine mittlere Energie von  $\epsilon \approx 3,8$  eV gebraucht, um ein Elektron-Loch-Paar zu erzeugen. Somit beträgt die an der Kathode gesammelte mittlere Ladung nach der Absorption eines Fe K $\alpha$  Photons (mit der Energie  $E \approx 6400$  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 Hohen sortiert und eine Impulshohen-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

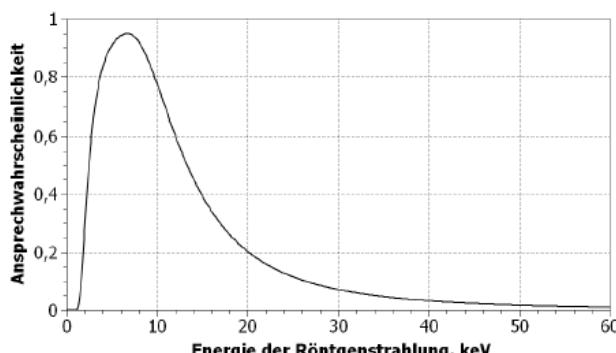
Die Halbwertsbreite  $\Delta E$  (FWHM) eines Peaks im Energiespektrum hängt von der Energie  $E$  der Röntgenstrahlung ab:

$$\Delta E \approx 2,35 \cdot \sqrt{\sigma_{el}^2 + \epsilon F E}$$

mit  $\sigma_{el} \approx 220$  eV,  $F \approx 0,12$ ,  $\Delta \approx 3,8$  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.

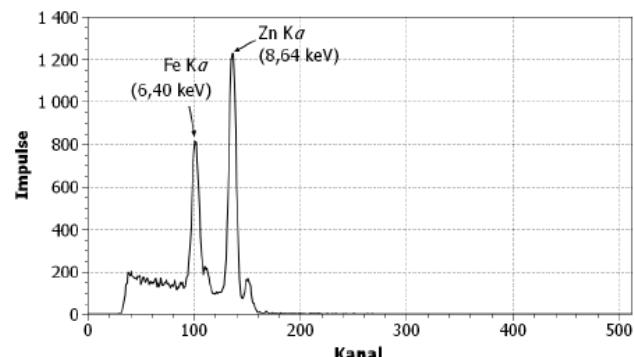
#### Ansprechwahrscheinlichkeit

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 hoher 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:

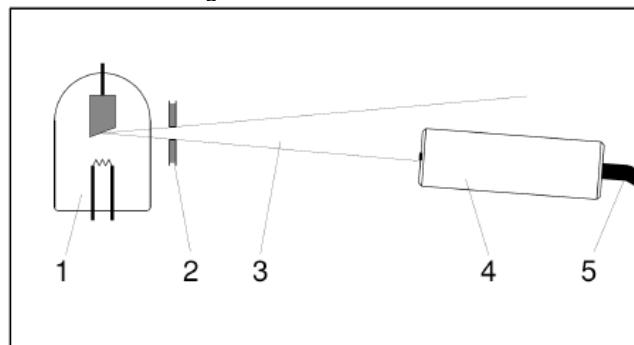


Die Proportionalitätsgerade wird aus zwei bekannten Punkten berechnet – Fe K $\alpha$  und Zn K $\alpha$ . Alternativ kann eine Fluoreszenzlinie (z.B. Zn K $\alpha$ ) und der Nullpunkt ( $E = 0$  keV  $\leftrightarrow$  1. Kanal) genommen werden.

### 4 HANDHABUNG

#### 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



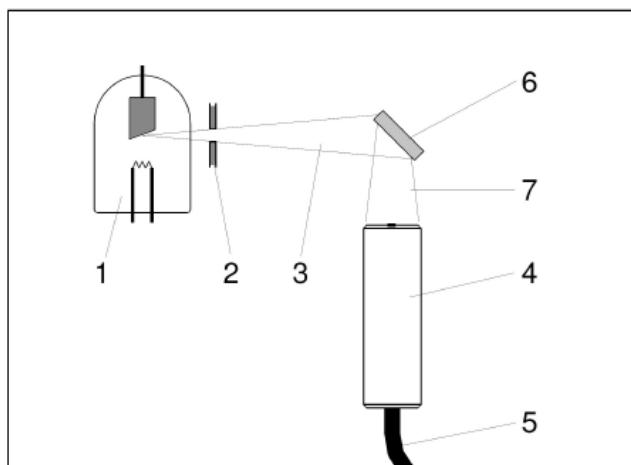
Achtung!

Die Intensität der Strahlung direkt in dem 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 Absorptionsmessungen 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- 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.
- Spektrum Aufnahme in Software starten.
- Intensität der Röntgenstrahlung ggf. nachstellen, um die optimale Zählrate für den Detektor zu erreichen – ca. 100-300 1/s.

## 5 BETRIEBSHINWEISE



Das vorliegende Qualitätsgerät erfüllt die technischen Anforderungen, die in den aktuellen Richtlinien der Europäischen Gemeinschaft zusammengefasst sind. Die Produkteigenschaften berechtigen zur CE-Kennzeichnung.

Der Betrieb dieses Gerätes ist nur unter fachkundiger Aufsicht in einer beherrschten elektromagnetischen Umgebung von Forschungs-, Lehr- und Ausbildungsstätten (Schulen, Universitäten, Instituten und Laboratorien) erlaubt.

Dies bedeutet, dass in einer solchen Umgebung Sendefunk-einrichtungen, wie z. B. Mobiltelefone nicht in unmittelbarer Nachbarschaft verwendet werden dürfen. Die einzelnen ange-schlossenen Leitungen dürfen nicht länger als 2 m sein.

Durch elektrostatische Aufladungen o. ä. elektromagnetische Phänomene (HF, Burst, indirekte Blitzentladungen usw.) kann das Gerät beeinflusst werden, sodass es nicht mehr innerhalb der spezifizierten Daten arbeitet. Folgende Maßnahmen vermindern bzw. beseitigen den störenden Einfluss: Teppichboden meiden; für Potentialausgleich sorgen; Experimentieren auf einer leitfähigen, geerdeten Unterlage, Verwen-

dung von Abschirmungen, abgeschirmte Kabel. Hochfrequenzsender (Funkgeräte)

## 6 TECHNISCHE DATEN

Energiebereich:	ca. 2 keV bis 60 keV
Energieauflösung: breite)	0,55 keV (Halbwerts- bei Fe $K\alpha = 6,40$ keV
Eintrittsfenster:	Kunststoff
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
Anschluss:	USB
Kabellänge:	1,75 m
Abmessungen:	Länge 80 mm, Durchmesser: 22 mm
Masse:	150 g

## 7 LIEFERUMFANG

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

## 8 GARANTIEHINWEIS

Für das von uns gelieferte Gerät übernehmen wir innerhalb der EU eine Garantie von 24 Monaten, außerhalb der EU von 12 Monaten. Von der Garantie ausgenommen sind: Schäden, die auf Nichtbeachtung der Bedienungsanleitung, unsachgemäße Behandlung oder natürlichen Verschleiß zurückzuführen sind.

Der Hersteller kann nur dann als verantwortlich für Funktion und sicherheitstechnische Eigenschaften des Gerätes betrachtet werden, wenn Instandhaltung, Instandsetzung und Änderungen daran von ihm selbst oder durch von ihm ausdrücklich hierfür ermächtigte Stellen ausgeführt werden.

## 9 ENTSORGUNG

Die Verpackung besteht überwiegend aus umweltverträglichen Materialien, die den örtlichen Recyclingstellen zugeführt werden sollten.



Dieses Produkt gehört nicht in die normale Müllentsorgung (Hausmüll). Soll dieses Gerät entsorgt werden, so senden Sie es bitte zur fachgerechten Entsorgung an die untenstehende Adresse.

PHYWE Systeme GmbH & Co. KG  
Abteilung Kundendienst  
Robert-Bosch-Breite 10  
D-37079 Göttingen

Telefon +49 (0) 551 604-0  
Fax +49 (0) 551 604-107