

# 22 Bragg-Reflexion

Ph12 Lernbereich 3: Elektromagnetische Wellen

Die Schülerinnen und Schüler **erklären Beobachtungen zur Bragg-Reflexion in einem Modellversuch mit Mikrowellen oder Ultraschall.**

**Voraussetzung:** AB19 „Interferenz am Doppelspalt“  
Elektromagnetisches Spektrum (Kapitel 13.3 im Buch)

## Bragg-Reflexion

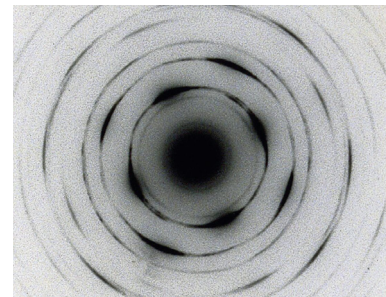
Bereits 1912 entdeckte Max von Laue (1879 – 1960), dass Röntgenstrahlung an Kristallen gebeugt wird und dadurch Interferenzmuster entstehen (vgl. B1) – wofür er 1914 den Nobelpreis erhielt. Durch diese Entdeckung konnte schließlich die Wellennatur der Röntgenstrahlung bestätigt werden. William Lawrence Bragg (1890 – 1971) und sein Vater William Henry Bragg (1862 – 1942) stellten – ebenfalls 1912 – eine Theorie zur Erklärung des Phänomens auf, wofür sie 1915 ebenfalls den Nobelpreis erhielten. Diese Theorie wird im Folgenden näher betrachtet.

### Mathematische Betrachtung

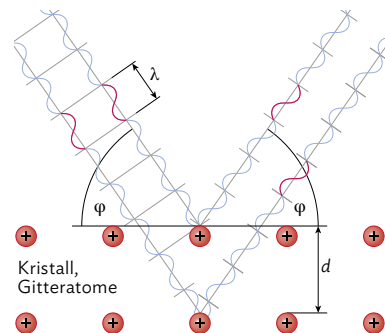
Um das Beugungsphänomen zu veranschaulichen, betrachten wir einen Kristall, dessen Gitteratome in einem festen Muster angeordnet sind. Den Kristall teilen wir dabei in Ebenen auf: Alle Ebenen sind identisch; zwei benachbarte Ebenen haben den Abstand  $d$  zueinander, vgl. B2. Die Gitteratome symbolisieren wir durch Punkte. Wenn nun die Röntgenstrahlung auf den Kristall trifft, kann sie ihn ein Stück weit durchdringen, bis sie auf eines der Gitteratome trifft und dann reflektiert wird. In B2 ist die Situation dargestellt, in der zwei parallele Strahlen auf ein Gitteratom zweier benachbarter Gitterebenen treffen. Sie werden dort dann jeweils im gleichen Winkel  $\varphi$  reflektiert (dem sogenannten Glanzwinkel). Wenn die beiden Strahlen den Kristall dann wieder verlassen, verlaufen sie somit weiterhin parallel zueinander. Ihre Phasenbeziehung hat sich allerdings geändert: Der zweite der betrachteten Strahlen hat eine längere Strecke im Kristall zurückgelegt als der erste, es entsteht also ein Gangunterschied  $\Delta s$ . Im Wellenbild betrachtet haben sich die Wellenberge und -täler der beiden einfallenden Wellen also nun, abhängig vom Gangunterschied, verschoben. Das kann dann dazu führen, dass zwei Strahlen, die vorher in Phase waren, sich nun plötzlich auslöschen.

Betrachten wir den Gangunterschied genauer: In B3 ist die geometrische Betrachtung bei der Reflexion an den beiden Gitteratomen etwas erweitert. Der untere Strahl muss im Vergleich zum oberen zusätzlich zweimal die Strecke  $d \cdot \sin(\varphi)$  zurücklegen, der Gangunterschied beträgt also:

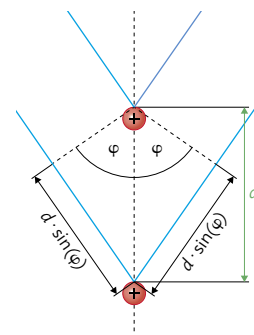
$$\Delta s = 2 \cdot d \cdot \sin(\varphi)$$



**B1** Interferenzmuster durch Beugung von Röntgenstrahlung am Kristall.



**B2** Geometrische Betrachtung bei der Bragg-Reflexion.



**B3** Weitere geometrische Betrachtung bei der Bragg-Reflexion.

## 22 Bragg-Reflexion

Die weiteren Betrachtungen sind analog zu den bisherigen Interferenzerscheinungen und es folgt die sogenannte *Bragg-Bedingung*:

Beim Interferenzmuster der Bragg-Reflexion kann man dann **Maxima** sehen, wenn der Gangunterschied ein Vielfaches der Wellenlänge beträgt:

$$\Delta s = k \cdot \lambda = 2 \cdot d \cdot \sin(\varphi) \quad \text{mit } k = 0, 1, 2, \dots$$

### Anwendungen

Die Erkenntnisse aus der Bragg-Reflexion können dafür genutzt werden, um die innere Struktur von Kristallen zu untersuchen. Da die Maxima nur unter ganz bestimmten Winkeln auftreten, kann bei bekannter Wellenlänge der Strahlung der Abstand  $d$  der Gitterebenen bestimmt werden und so Rückschlüsse auf die innere Struktur des Kristalls gezogen werden.

Auf der Grundlage dieser Methode wurde 1953 unter anderem von James Watson ein Verfahren entwickelt, mit dem die Entdeckung der DNA-Struktur möglich gemacht wurde.

Auch heutzutage wird die Bragg-Reflexion in vielen Experimenten ausgenutzt, zum Beispiel, um mit darauf basierenden Filtern gewünschte diskrete Wellenlängen bei Laser- und Röntgenstrahlen in einem Monochromator aus einem breiteren Spektrum zu erzeugen.

### Modellversuch mit Mikrowellen

Die Beobachtungen zur Bragg-Reflexion können auch im folgenden Modellversuch mit Mikrowellen gemacht werden. Der grundsätzliche Aufbau ist in B4 dargestellt.

Als Modell für den Kristall werden Gitterstäbe parallel zueinander im festen Abstand  $d$  zu den jeweiligen direkten Nachbarn auf einer Platte montiert. Statt der Stäbe können zum Beispiel auch Stricknadeln aus Metall oder ein steifer Draht verwendet werden. Das Kristallmodell wird auf eine Drehplatte gestellt, an der man auch den Einfallswinkel  $\varphi$  des Senders zur Platte des Modells ablesen kann.

Als Sender wird ein Mikrowellensender verwendet. Der Empfänger wird auf der gegenüberliegenden Seite so positioniert, dass er im gleichen Winkel  $\varphi$  zum Kristallmodell steht wie der Sender.

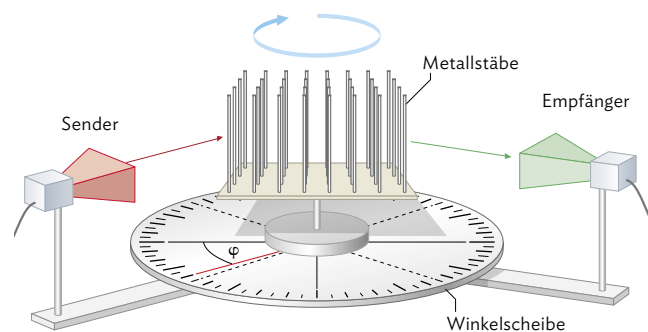
Je nach Abstrahlcharakteristik kann zur Vermeidung eines Störsignals, das auf direktem Weg vom Sender zum Empfänger gelangen könnte, eine Metallplatte auf der Einfallsebene eingebracht werden. Die Fokussierung der Mikrowellen-Strahlung gelingt mithilfe von Wachslinsen.

Beim Experiment wird dann der Winkel  $\varphi$  variiert und die Intensität der Mikrowellenstrahlung am Empfänger gemessen.

Mögliche Variante: Als Kristallmodell kann auch ein Styroporblock verwendet werden, in dem schichtweise kleine Aluminiumkugeln (z. B. aus Aluminiumfolie) in regelmäßigen Abständen eingesetzt werden.

### Beispieldurchführung

Das Experiment wird mit Mikrowellen der Wellenlänge  $\lambda = 2,8 \text{ cm}$  durchgeführt und der Abstand der Stäbe beträgt  $d = 4,0 \text{ cm}$ . Bei der Variation des Winkels  $\varphi$  wird festgestellt, dass die am Empfänger gemessene Mikrowellenstrahlung für die Winkel  $\varphi_1 = 20,5^\circ$  und  $\varphi_2 = 44,0^\circ$  jeweils den maximalen Wert erreicht.



B4 | Versuchsaufbau des Modellversuchs.

## Arbeitsauftrag

1 |

- a) Prüfen Sie bei der beispielhaften Durchführung des Modellversuchs mit Mikrowellen oben, ob damit die Beobachtungen zur Bragg-Reflexion bestätigt werden.
- b) Führen Sie den Modellversuch ebenfalls durch und werten Sie ihn aus. Gehen Sie dabei wie folgt vor:
  - Erstellen Sie das Kristallmodell oder nutzen Sie ein Modell, das Ihre Lehrkraft Ihnen zur Verfügung stellt.
  - Messen Sie den Abstand der Gitterstäbe. Gehen Sie dabei möglichst präzise vor.
  - Variieren Sie den Winkel  $\varphi$  und notieren Sie sich den zugehörigen Messwert am Empfänger.
  - Bestimmen Sie auf die Art die Winkel, unter denen Interferenzmaxima auftreten.
  - Berechnen Sie daraus die Wellenlänge der Mikrowellenstrahlung. Ermitteln Sie dabei auch die zugehörige Messunsicherheit.
  - Überprüfen Sie, ob der berechnete Wert der Wellenlänge im Rahmen der Messunsicherheit mit den Herstellerangaben übereinstimmt.
  - Beurteilen Sie, ob der durchgeführte Versuch die theoretischen Überlegungen zur Bragg-Reflexion bestätigt.

- 2 | Einem KI-Tool wird die folgende Anfrage gestellt: „Erstelle einen Text zum Modellversuch der Bragg-Reflexion für die Zielgruppe von 18-Jährigen Oberstufenschülern am Gymnasium.“ Die Antwort darauf sieht wie folgt aus:

**Der Versuch mit Gitterstäben****Materialien**

Für unseren Modellversuch mit Gitterstäben benötigen wir folgende Materialien:

- Lichtquelle (z. B. einen Laserpointer)
- Mehrere Metallstäbe oder dünne Stäbe (z. B. aus Aluminium oder Kupfer)
- Stativ oder eine Halterung, um die Stäbe in einer Gitteranordnung zu fixieren
- Schirm, Blatt Papier oder Leinwand, um die reflektierten Lichtmuster zu beobachten

**Durchführung**

1. **Gitter anordnen:** Stelle die Metallstäbe parallel zueinander und in einem regelmäßigen Abstand auf. Der Abstand zwischen den Stäben sollte klein genug sein, um die Welleninterferenz zu demonstrieren.
  2. **Lichtquelle positionieren:** Platziere den Laserpointer so, dass der Lichtstrahl schräg auf die Metallstäbe trifft. Der Einfallswinkel sollte so gewählt werden, dass du die Reflexion gut beobachten kannst.
  3. **Beobachtungen machen:** Schalte den Laser ein und beobachte, wie das Licht von den Gitterstäben reflektiert wird. Du solltest Muster auf dem Blatt Papier oder der Leinwand sehen, die durch die Interferenz der reflektierten Lichtstrahlen entstehen.
  4. **Wellenmuster analysieren:** Mache Notizen über die Position der Lichtflecken und deren Abstände.
- a) Beurteilen Sie den vorgeschlagenen Versuch auf seine Durchführbarkeit. Schätzen Sie anhand einer Skizze die Größenordnungen von Gitterabstand, Wellenlänge und Abständen der Interferenzmaxima ab.
  - b) Führen Sie den Versuch aus, soweit er durchführbar ist. Überprüfen Sie mithilfe der Bragg-Bedingung, ob auftretende Lichtmuster auf die Bragg-Reflexion zurückzuführen sind.  
**Achtung:** Beachten Sie die Sicherheitsvorkehrungen bei Experimenten mit Lasern. Niemals direkt in das Laserlicht oder in Reflexionen blicken! Stets eine Schutzbrille tragen!

- 3 | Berechnen Sie mithilfe der Bragg-Bedingung die Glanzwinkel  $\varphi$ , unter denen die Maxima 1., 2. und 3. Ordnung auftreten, wenn Röntgenstrahlung der Wellenlänge  $0,1 \text{ nm}$  auf einen NaCl-Kristall mit einem Gitterebenen-Abstand von  $d = 2,5 \cdot 10^{-10} \text{ m}$  trifft.