

PHYSIK

# Musterlösung

---

[Wellen]

**Gruppe: Arbnor, Clemens, Dustin & Henrik**

**02.03.2015**

# INHALTSVERZEICHNIS

---

<b>1. Abituraufgabe: Gitter</b> .....	2
Aufgabe 1.1 .....	2
Aufgabe 1.2 .....	3
Aufgabe 2.1 .....	4
Aufgabe 2.2 .....	6
Aufgabe 2.3 .....	6
<b>2. Abituraufgabe: Ultraschall</b> .....	7
Aufgabe 2.1 .....	7
Aufgabe 2.2 .....	8
Aufgabe 2.3 .....	9
<b>3. Abituraufgabe: Bragg-Reflexion</b> .....	10
Aufgabe 2.1 .....	10
Aufgabe 2.2 .....	11
Aufgabe 2.3 .....	12
Aufgabe 2.4 .....	13

- Abituraufgabe:
  - Wellen A (Ultraschall)
  - Wellen B (Bragg-Reflexion)
  - Wellen C (Gitter)
  
- Basics:
  - Schwingungen +Wellen
  - Licht

# 1. ABITURAUFGABE: GITTER

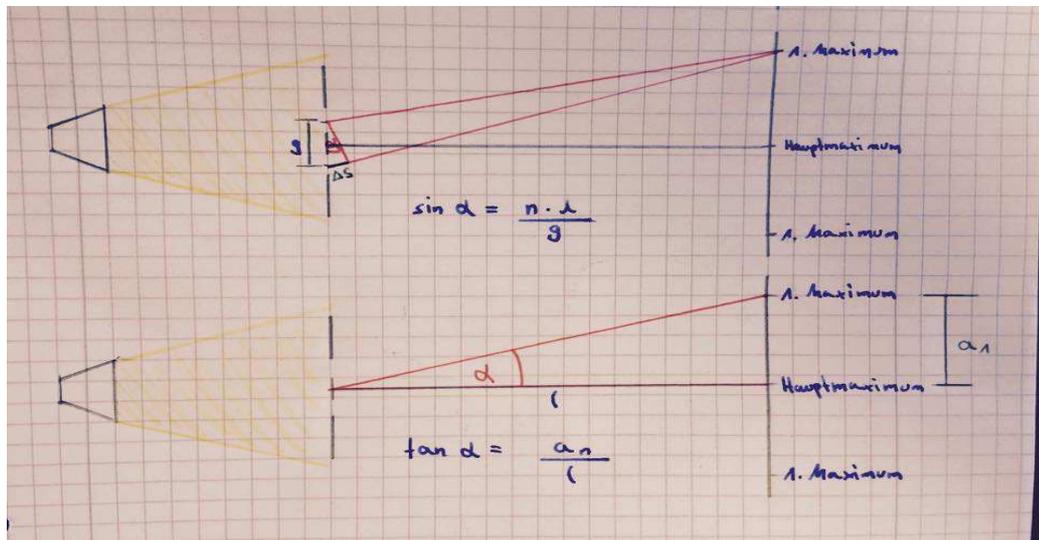
## AUFGABE 1.1



Die Lichtquelle sendet helles ausgedehntes Licht in Richtung des optischen Gitters aus. Durch die Linse wird das ausgesendete Licht zu einem Lichtstrahl gesammelt. Dieser Lichtstrahl trifft auf die Blende. An der Blende kommt nur ein schmales Lichtbündel hindurch, sodass kein Licht außerhalb dieses Lichtbündels auftritt. Die Lichtwellen sind alle in eine Richtung ausgerichtet und treffen auf das optische Gitter. Ein optisches Gitter, auch Beugungsgitter genannt, ist eine Reihe von Spalten mit gleicher Spaltbreite und gleichem Abstand zueinander. Man bezeichnet es deshalb auch als Mehrfachspalt. Das Licht, die Lichtwellen treffen auf das Gitter mit der Gitterkonstante  $g$ . An den einzelnen Spalten entstehen Elementarwellen. Das Licht wird also wie am Einzelspalt gebeugt. Es kommt zur Interferenz und man kann dabei entstehende Muster auf einem Schirm abbilden. Licht welches aus einer Mischung verschiedener Farben besteht (z.B weißes Licht) wird in seine einzelnen Farben aufgefächert. (Beispiel: CD)

Auf dem Schirm wird dann ein kontinuierliches Spektrum oder ein Linienspektrum projiziert.

## AUFGABE 1.2



Ein Interferenzmaxima bezeichnet die Stellen auf dem Schirm an dem Licht ankommt, also wenn die Wellen der Spalte konstruktiv interferieren. Dieser Fall tritt ein, wenn der Gangunterschied "Delta"  $s$  zwischen den einzelnen Strahlen gleich einem Vielfachen der Wellenlänge ist.

$$\text{"Delta"} s = k \cdot \lambda$$

Man spricht für  $k=0$  vom Maximum 0. Ordnung. Für  $k=1$  kommt es zum Maximum 1. Ordnung

Mithilfe dieser beiden geeigneten Zeichnungen erhält man die im Material 1 angegebenen Gleichungen. Das Licht welches auf das Beugungsgitter auftrifft, wird vergleichbar zum Doppelspaltexperiment gebeugt, sodass diese Zeichnungen als Erläuterung benutzt werden können.

Bei den Formeln handelt es sich um den Sinus- und Tangenssatz. Bei beiden wird ein rechtwinkliges Dreieck eingezeichnet.

Bei Zeichnung 1 wird der Winkel Alpha zum 1. Maximum mithilfe des Sinussatzes berechnet. Dabei ist die Gegenkathete ( $n \cdot \lambda$ ) und die Hypotenuse ( $g$ ) gegeben.

Mit dieser Gleichung wird oft die Wellenlänge ausgerechnet. Dabei ist  $n$  die Anzahl des Maximums.

Bei Zeichnung 2 wird wieder der Winkel Alpha zum 1. Maximum mithilfe des Tangenssatzes berechnet. Dabei ist die Gegenkathete ( $a_n$ ) und die Ankathete ( $l$  bzw.  $e$ ) gegeben.

(Oft wird erwartet, dass mit Hilfe des Tangenssatzes Alpha berechnet wird. Dieses Alpha setzt man in den Sinussatz ein und berechnet je nach dem entweder  $n$ , "Lambda" oder  $g$ .

AUFGABE 2.1

Rechnung 2.1:

Für  $\alpha < 10$  gilt  $\Rightarrow \sin \alpha = \tan \alpha$

$$\frac{n \cdot \lambda_1}{g} = \frac{a_n}{l} \quad | \cdot l$$

$$\frac{n \cdot \lambda_1 \cdot l}{g} = a_n$$

$$\frac{1 \cdot 4,92 \cdot 10^{-7} \cdot 1,2 \text{ m}}{\frac{1}{600} \cdot 10^{-3} \text{ m}} = a_n$$

$$\underline{\underline{0,35 \text{ m}}} = a_n$$

$$\frac{n \cdot \lambda_2 \cdot l}{g} = a_n$$

$$\frac{1 \cdot 5,88 \cdot 10^{-7} \cdot 1,2 \text{ m}}{\frac{1}{600} \cdot 10^{-3} \text{ m}} = a_n$$

$$\underline{\underline{0,42 \text{ m}}} = a_n$$

$$\Delta s = 0,42 \text{ m} - 0,35 \text{ m} = \underline{\underline{0,07 \text{ m}}}$$

$$g = \frac{1}{600} \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$n = 1$$

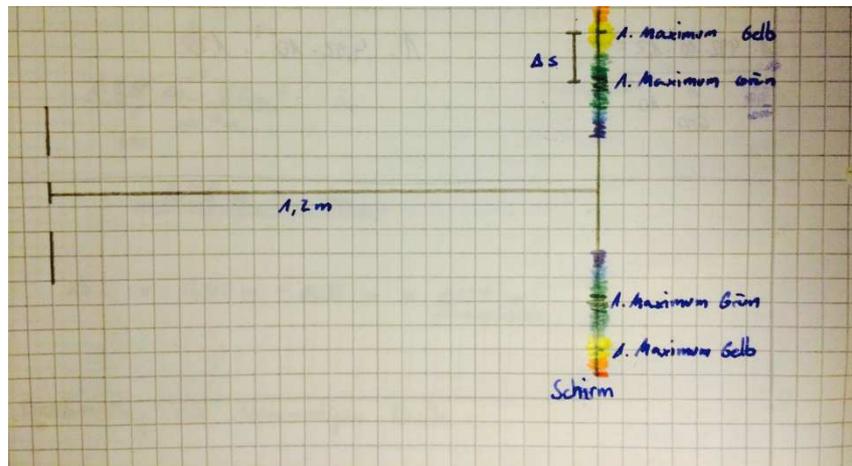
$$l = 1,2 \text{ m}$$

$$\lambda_1 = 4,92 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

$$\lambda_2 = 5,88 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

$$a_n = ?$$

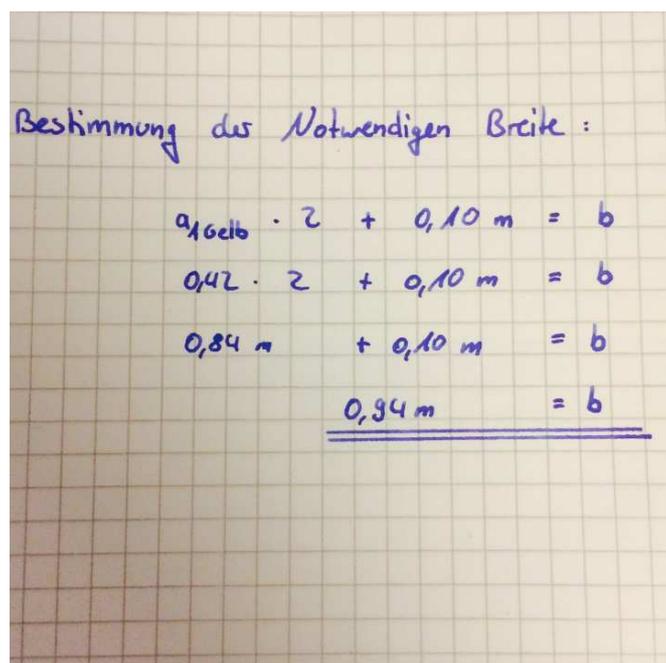
Die Zeichnung zeigt dem Zusammenhang zwischen dem Sinus- und Tangenssatz. Es gilt für ein  $\alpha < 10^\circ$ :  $\sin \alpha = \tan \alpha$



Die gelbe Linie ist 0,07 m (7 cm) von der Grünen Linie im Spektrum entfernt.

Das Licht der He-Spektrallampe besteht aus verschiedenen Farben. Durch die Beugung des Lichts am optischen Gitter wird das Licht aufgefächert. Es kommt zur Darstellung verschiedener Farben auf dem Schirm. Diese Farben besitzen je nach ihrer Wellenlänge ihr spezifisches 1. Maximum. Wie in der Zeichnung dargestellt fächert sich das Licht der He-Lampe von blau (kleinste Wellenlänge) zu Rot (größte Wellenlänge) auf dem Schirm auf und man kann die einzelnen Maxima eindeutig erkennen. Je größer die Wellenlänge ist, desto weiter ist das 1. Maximum vom 0. Hauptmaxima entfernt.

Bestimmung der notwendigen Breite des Schirms:



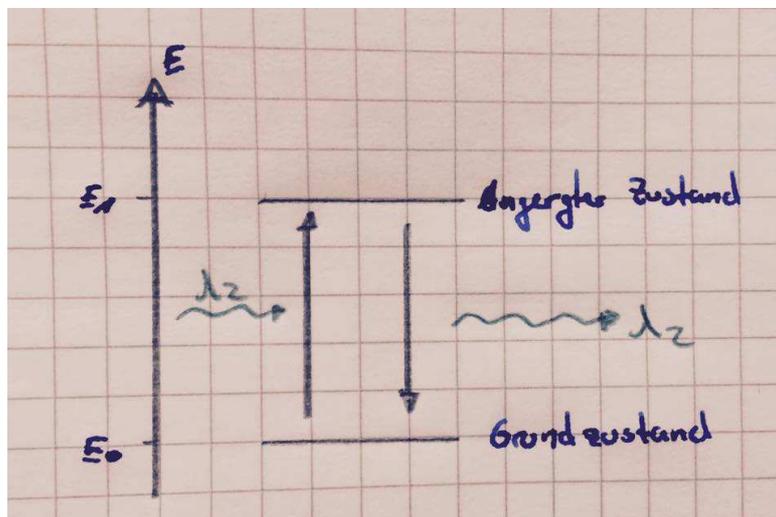
## AUFGABE 2.2

$$\begin{aligned}
 \sin(\alpha) &= \tan(\alpha) \\
 \frac{n \cdot \lambda}{g} &= \frac{a}{l} \cdot g & \left. \begin{array}{l} g = \frac{1}{600} \cdot 10^{-3} \text{ m} \\ n = 1 \\ l = 1,2 \text{ m} \\ a = 52,5 \text{ cm} \end{array} \right\} \\
 \lambda &= \frac{a}{l} \cdot g \\
 \lambda &= \frac{0,525 \text{ m}}{1,2 \text{ m}} \cdot \frac{1}{600} \cdot 10^{-3} \text{ m} \\
 \lambda &= 7,29 \cdot 10^{-7} \text{ m}
 \end{aligned}$$

Die Wellenlänge die zu diesem Maximum gehört liegt im Bereich des sichtbaren Lichtes und ist rot. Das Spektrum des roten Lichtes fängt bei einer Wellenlänge von 690 nm an und hört bei einer Wellenlänge von 770 nm auf. Das bedeutet, dass bei dem Abstand von 52,5 cm vom Maximum 0. Ordnung ein kräftiger Rotton sichtbar ist.

## AUFGABE 2.3

Dieser Effekt tritt ein, weil jeder Stoff Licht mit derselben Wellenlänge absorbiert mit der er auch Licht emittiert. Das bedeutet, dass der grüne Farbstoff den Grünanteil aus der He-Lampe herausfiltert/absorbiert. Das Licht trifft auf den Behälter mit der grünen Flüssigkeit. Durch Stoßanregung werden die Atome der Flüssigkeit auf ein höheres Energieniveau gehoben. Diese gehen durch spontane Emission wieder in ihren Grundzustand über. Dabei emittieren sie Licht mit derselben Wellenlänge mit der sie Licht absorbieren. Dabei spricht man von der Resonanzfluoreszenz (eingestrahlte Wellenlänge = emittierte Wellenlänge) Das Licht wird in alle Richtungen emittiert. Es breitet sich im Raum kugelförmig aus und nur noch ein Bruchteil des grünen Lichtes erreicht den Schirm. Es scheint so, als würde das Grün in dem Spektrum auf dem Schirm fehlen.



## 2. ABITURAUFGABE: ULTRASCHALL

---

### AUFGABE 2.1

---

Obwohl aus beiden Empfängern Ultraschallwellen gleichphasig mit derselben Frequenz und Amplitude ausgesendet werden, kann der Empfänger Minima und Maxima messen. Um die Entstehung erläutern zu können, muss zunächst die Entstehung von Beispielsweise einem Maximum erfolgen. Für das Auftreten eines Maximums muss ein Wellental auf ein Wellental, bzw. Ein Wellenberg auf einen Wellenberg trifft. Die beiden Wellen verstärken (interferieren) sich. Dies wird als konstruktive Interferenz bezeichnet. (n gibt den Gangunterschied an; Bsp.: 2. Maxima n=2)

$$\Delta s = g \cdot \sin(\alpha)$$
$$\sin(\alpha) = \frac{n \cdot \lambda}{g}$$

(n gibt den Gangunterschied an; Bsp.: 2. Maxima n=2)

- " $\Delta s$ " ist der Gangunterschied
- " $\lambda$ " ist die Wellenlänge
- "n" ist die Ordnung des Maxima
- "g" ist der Spaltabstand / Gitterkonstante
- " $\alpha$ " ist der Winkel

Bestätigung anhand der Abb. 4, dass die Wellenlänge ca. 1,3cm beträgt:  
zu beachten: Maßstab 2,2cm:10cm!

Für das 1. Maxima: Strecke zwischen

S1 zu 1. Ordnung: 17,04cm

S2 zu 1. Ordnung: 15,68cm

Differenz: 17,04cm-15,68cm=1,36cm

S1 zu 2. Ordnung: 19,09cm

S2 zu 2. Ordnung: 16,36cm

Differenz: (19,09cm-16,36cm)/2=1,36cm

S1 zu 3. Ordnung: 23,86cm

S2 zu 3. Ordnung: 19,77cm

Differenz: (23,86cm-19,77cm)/3=1,36cm

Hinweis: es wird jeweils durch 2, bzw. durch 3 geteilt, da es sich um die 2./3. Ordnung handelt.

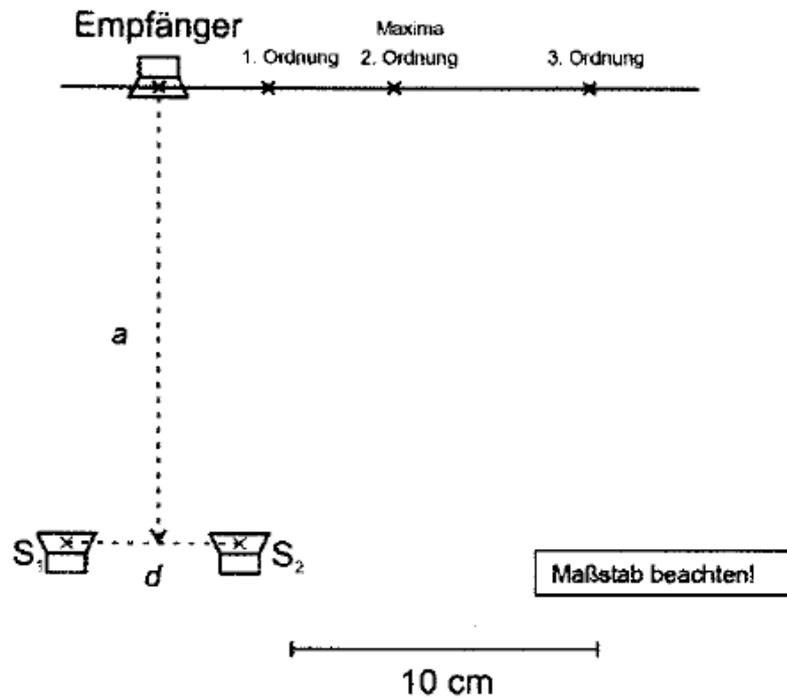


Abb. 4: Maßstäbliche Zeichnung einschließlich der Lage der Maxima 1. bis 3. Ordnung

→  $\lambda = \text{ca. } 1,3\text{cm}$  → Die Wellenlänge liegt im Bereich von ca. 1,3cm!

## AUFGABE 2.2

(Mit der oben genannten Formel soll der  $\lambda$ -Wert für  $n=3$  rechnerisch bestätigt werden.)

$a = 42,5^\circ$  (Ergibt sich aus Abb. 4)

$g = 5,9\text{cm} = 5,9 \cdot 10^{-2}$

$n = 3$

$\sin(42,5^\circ) = \frac{3 \cdot \lambda}{5,9 \cdot 10^{-2}\text{m}}$  | solve im CAS nach  $\lambda$

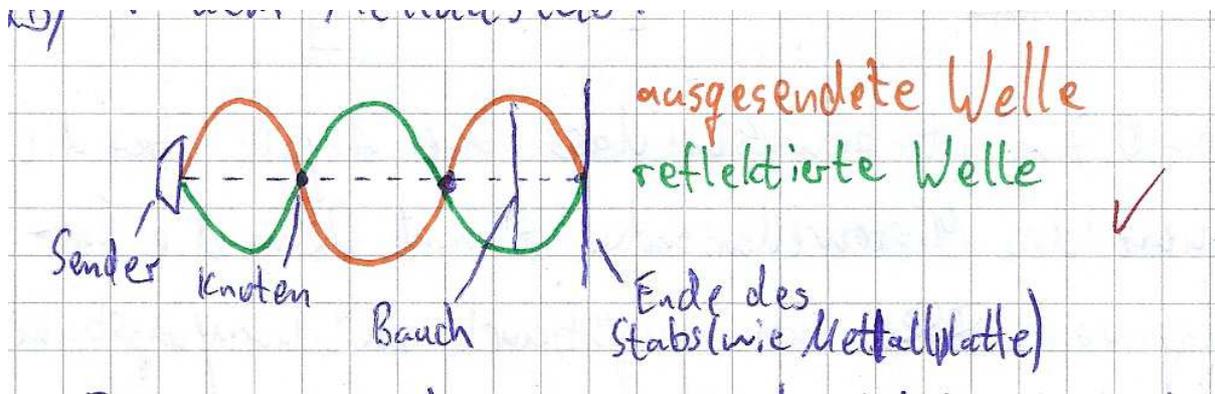
= 0,0133m

→ Im Vergleich mit dem  $\lambda$ -Wert aus 2.1 ist die Wellenlänge  $\lambda = 0,0133\text{m}$  fast identisch und fällt in den Bereich von 1,3cm.

### AUFGABE 2.3

Ein Mikrowellensender sendet eine Welle in Richtung einer Metallplatte aus. An dieser wird die Mikrowelle mit einem Gangunterschied von  $\lambda/2$  reflektiert. Die reflektierte Welle trifft nun auf ihrem „Rückweg“ auf die ausgesendete Welle. Auf Grund des Gangunterschieds von  $\lambda/2$  bilden sich Wellenbäuche und Wellenknoten. Die Energie der Welle ist hier gespeichert. Wenn nun ein Empfänger zwischen Sender und Metallplatte verschoben wird, so wird dieser sowohl eine Intensität von 0, bis zu einem bestimmten Maximum in Abhängigkeit seiner Position messen. Im Wellenknoten beträgt die Energie 0 und im Wellenbauch ist sie besonders groß.

Der Abstand zwischen Maximum zu Knoten ist  $\lambda/4$ , somit lässt sich von Knoten zu Knoten  $\lambda/2$  bestimmen.

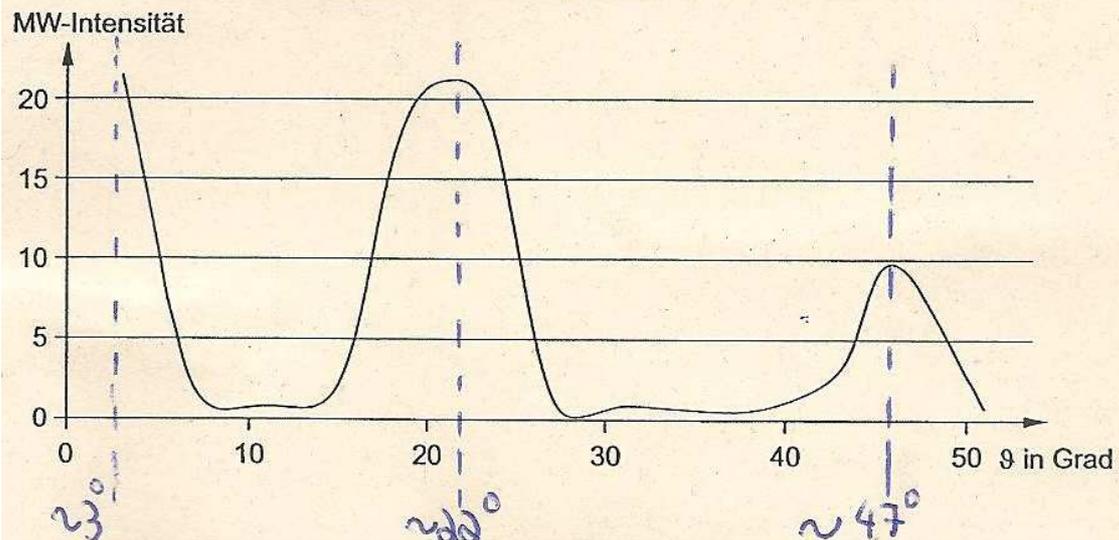


Wenn sich S1 und S2 mit einem Abstand von  $(n \cdot \lambda)/2$  gegenüber stehen, so senden beide zur gleichen Zeit eine Ultraschallwelle aus. Ein ganzzahliges vielfaches von der halben Wellenlänge ist also Mindestvoraussetzung, damit immer zwei Knotenpunkte als Endpunkte existieren. Eine „stehende Welle“ wird erzeugt.

### 3. ABITURAUFGABE: BRAGG-REFLEXION

#### AUFGABE 2.1

Abb. 6: Mikrowellen-Intensität in Abhängigkeit vom Winkel  $\vartheta$



2.1  $n \cdot \lambda = d \cdot \sin \vartheta$   $n = \text{Anzahl der Maxima} \rightarrow n\text{-te Maxima}$   
 $\lambda = \text{Wellenlänge}$   
 $d = \text{Netzebenenabstand}$   
 $\vartheta = \text{Winkel zwischen Empfänger und Netzebenen}$

gesucht: Netzebenenabstand  $d$

gegeben:  $\lambda = 0,0285 \text{ m}$

Maxima:  $n=1$   $22^\circ$   $\rightarrow 3^\circ$  nur scheinbares Maximum,  
 $n=2$   $47^\circ$  da hier Empfänger und Sender

Rechnung:

$$d = \frac{n \cdot \lambda}{2 \cdot \sin \vartheta}$$

$$\frac{1 \cdot 0,0285 \text{ m}}{2 \cdot \sin 22^\circ} = 0,038 \text{ m}$$

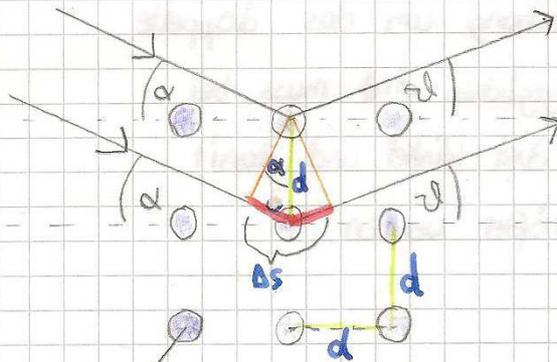
$$\frac{2 \cdot 0,0285 \text{ m}}{2 \cdot \sin 47^\circ} = 0,039 \text{ m}$$

Mittelwert bilden:  $\frac{0,038 + 0,039}{2} = 0,0385 \text{ m}$

Antwort: Der Netzebenenabstand beträgt ungefähr  $0,0385 \text{ m}$  also knapp  $4 \text{ cm}$ !

AUFGABE 2.2

2,2



$\Delta s$  = Gangunterschied  
 $d$  = Netzebenenabstand

Metallkugeln vom Modellkristall

Der Einfallswinkel  $\alpha$  und Reflexionswinkel  $2\alpha$  sind gleich groß. Die Strahlung fällt parallel in das Kristallgitter ein, so dass bei der Reflexion am unterem Gitterpunkt ein gleich großer Weg-Unterschied vor und nach der Reflexion, im Vergleich zum oberen Gitterpunkt, entsteht. Die orangene, grüne und rote Linie bildet dabei in der Skizze ein rechtwinkliges Dreieck. Daraus ergibt sich:

$$\sin \alpha = \frac{\frac{1}{2} \Delta s}{d} \quad \frac{1}{2} \Delta s = d \cdot \sin \alpha$$

$$\Delta s = 2d \cdot \sin \alpha$$

Ist der Wegunterschied ein ganzzahliges Vielfaches der Wellenlänge kann eine konstruktive Interferenz entstehen.

Bedingung konstruktive Interferenz:  $\Delta s = k \cdot \lambda$

Somit gilt für das  $n$ -te Maxima:

$$n \cdot \lambda = 2d \cdot \sin \alpha$$

## Begründung des größeren Winkels beim zweiten Maximum

Bei dem zweiten Maximum ( $n=2$ ) wird die linke Seite der Bragg-Gleichung um das doppelte größer. Damit dies ausgeglichen wird muss bei einem konstanten  $d$  der Winkel und damit auch der Sinuswert größer werden.

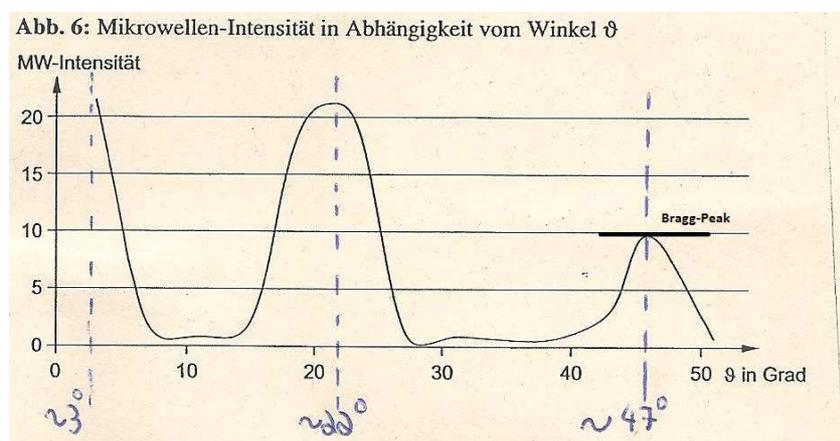
## AUFGABE 2.3

Die Verwendung einer nicht monochromatischen (= verschiedene Wellenlängen) Mikrowellenstrahlung kann die Zuordnung der Maxima auf verschiedene Weise erschweren:

- Bei dicht zusammenliegenden Wellenlängen kann es dazu führen, dass die „Bragg-Peaks“<sup>1</sup> (Energieverluste) so eng nebeneinander liegen, dass man sie nicht mehr trennen kann. Somit könnte man kaum beide Wellenlängen bestimmen, sondern eher einen Mittelwert.

<sup>1</sup> Beim Durchgang durch Materie ionisieren schnelle, geladene Teilchen die Atome oder Moleküle, auf die sie treffen. Dabei verlieren sie schrittweise Energie. Meistens steigt der Energieverlust pro Wegeinheit an.

Kurz vor dem Ende des Weges durchläuft der Energieverlust ein Maximum (Bragg-Peak), und fällt dann abrupt auf (fast) Null ab.

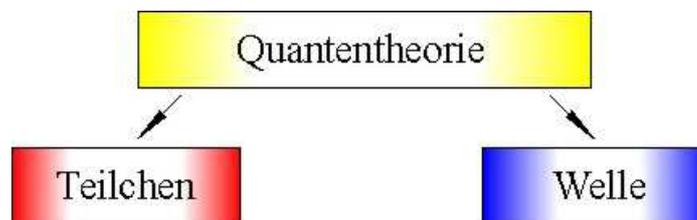


- Liegen die Wellenlängen etwas weiter auseinander, so kann es zu Überlagerungen kommen wodurch Energieverluste bzw. der Verlust der Intensität nicht genau zugeordnet werden kann. Die Zuordnung einer Bragg-Peak zu einer kurz-oder langwelligen Welle wird erschwert.
- Bei ungünstigen Wellenverhältnissen kann es sein das Bragg-Peaks verschluckt werden, indem sie zusammenfallen. Dadurch würde beim Spektrum eine Lücke entstehen.

## AUFGABE 2.4

---

Bei der quantentheoretischen Erklärung des Doppelspaltexperiments mit Licht (hier: Mikrowellenstrahlung) werden Eigenschaften des Teilchen- und Wellenmodells deutlich. Dies bezeichnet man als „Welle - Teilchen – Dualismus“:



Teilchenansatz: Teilchen werden auf einen Doppelspalt geschossen, beide Spalte werden beobachtet. Quanten passieren nacheinander den linken oder den rechten Spalt → Nacheinander entstehen zwei Streifen auf dem Schirm.

Wellenansatz: Die Aufenthalts-Wahrscheinlichkeit jedes Teilchens wird als Welle beschrieben. Die Teilchen verteilen sich nach einer stochastischen Welle (konstruktive und destruktive Interferenz) auf dem Schirm → Interferenzmuster (Maxima und Minima).

Wellenfunktionen zeigen wellen-typische Eigenschaften der Interferenz, sprich nach Passieren durch den Doppelspalt kommt es zur konstruktiven oder destruktiven Interferenz, welches sich am Schirm in Form eines Interferenzmusters deutlich macht. Gleichzeitig kommen aber auch die Eigenschaften des Teilchenmodells hinzu, nach welchem das Interferenzmuster sich zeitlich nacheinander zusammensetzen lässt indem man die Intensität genügend weit Absenkt. Dies lässt sich nur durch das Photonenmodell erklären, nach dem einzelne Photonen den Doppelspalt nacheinander passieren. Das gesamte Interferenzmuster gibt dann die Wahrscheinlichkeitsverteilung für die Auftrefforte wieder.