

ARBEITSKREIS BAYERISCHER PHYSIKDIDAKTIKER

# BEITRAG AUS DER REIHE:

Werner B. Schneider (Hrsg.)

## Wege in der Physikdidaktik

Band 3

Rückblick und Perspektive

ISBN 3 - 7896 - 0513 - 1

Verlag Palm & Enke, Erlangen 1993

### Anmerkung:

Die Bände 1 bis 5 sind (Ausnahme Band 5) im Buchhandel vergriffen.  
Die einzelnen Beiträge stehen jedoch auf der Homepage

<http://www.solstice.de>

zum freien Herunterladen zur Verfügung.

Das Copyright liegt bei den Autoren und Herausgebern.

Zum privaten Gebrauch dürfen die Beiträge unter Angabe der Quelle  
genutzt werden. Auf der Homepage

[www.solstice.de](http://www.solstice.de)

werden noch weitere Materialien zur Verfügung gestellt.

## Mikrowelleninterferenz an einem leitenden Spiegel

Der Lloydsche Spiegelversuch ist eine Interferenzanordnung (s. Abb. 1) mit der bekannten Doppelspaltgeometrie. Die zur Interferenz gelangenden Wellen gehen vom Sender S und dessen Spiegelbild S' aus.

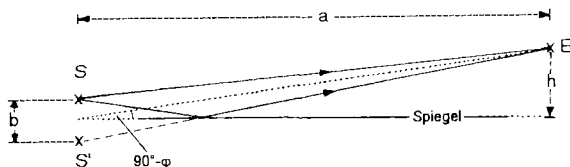


Abb. 1: Interferenzversuch nach Lloyd

Für das Interferenzergebnis spielt der Phasensprung bei der Reflexion eine wichtige Rolle. Wie sich aus den Fresnelschen Gleichungen ergibt, ist die Größe des Phasensprungs vom Einfallswinkel  $\varphi$  sowie von der Polarisationsrichtung abhängig, so daß zwischen  $\delta_{\parallel}$  bei Polarisation parallel zur Einfallsebene und  $\delta_{\perp}$  bei Polarisation senkrecht zur Einfallsebene unterschieden werden muß. Was die Übergänge zwischen zwei Nichtleitern und auch die Verhältnisse an einer Grenzfläche Nichtleiter  $\rightarrow$  Leiter im Bereich der Metalloptik anbelangt, wird man durch die Fachliteratur gut informiert [1 - 3]. In voller Allgemeinheit werden die bei der Reflexion elektromagnetischer Wellen an einer ebenen Leiterfläche auftretenden Phasensprünge von Stratton [4] behandelt. Die von der Leitfähigkeit verursachte Dämpfung der gebrochenen Wellen an der Grenzfläche Nichtleiter  $\rightarrow$  Leiter geht durch einen imaginären Anteil am Brechungsindex in die Fresnelschen Gleichungen ein. Stratton zeigt, wie  $\delta_{\parallel}$  und  $\delta_{\perp}$  von der Frequenz  $\nu$ , den Dielektrizitätskonstanten und magnetischen Permeabilitäten des Nichtleiters und des Leiters sowie der spezifischen Leitfähigkeit  $\sigma$  des Leiters beeinflusst werden, wobei diese Materialgrößen ihrerseits als frequenzabhängig aufzufassen sind. In Anbetracht seiner Ergebnisse schreibt Stratton:

„...the complexity of what appeared at first to be the simplest of problems - the reflection of a plane wave from a plane surface - is truly amazing”

Generell gilt, daß bei  $\delta_{\perp}$  bei senkrechtem Einfall einen Wert  $\pi + \alpha$  hat und bis  $\varphi = 90^{\circ}$  auf  $\pi$  zurückgeht, während  $\delta_{\parallel}$  bei  $\varphi = 0^{\circ}$  mit dem Wert  $\alpha$  beginnt und bis  $\varphi = 90^{\circ}$  auf  $\pi$  anwächst. Als Beispiel sind für die Grenzfläche Luft  $\rightarrow$  Salzwasser ( $\sigma = 4 \Omega^{-1} \text{m}^{-1}$ ) und  $\nu = 300 \text{ Mhz}$  ( $\lambda = 1 \text{ m}$ ) Strattons Resultate in Abb. 2 graphisch dargestellt. Die relative Phasendifferenz  $\delta = \delta_{\perp} - \delta_{\parallel}$  besitzt genau beim sogenannten Haupteinfallswinkel  $\Phi$  wo der Reflexionskoeffizient der Parallelkomponente ein lokales Minimum durchläuft, den Wert  $1/2 \pi$ . Für die Metalle als sehr gute Leiter erhält man bei hinreichend langen Wellen

( $\lambda \geq 10 \mu\text{m}$ )  $\alpha \ll \pi$  und  $\Phi$  nahe bei  $90^\circ$ . Beispielsweise ergeben sich für Aluminium ( $\sigma = 3,54 \Omega^{-1}\text{m}^{-1}$ ) bei  $\nu = 300 \text{ MHz}$  die Werte  $\alpha = 3 \cdot 10^{-5}$  und  $\Phi = 89,999^\circ$ . So ist  $\delta_{\perp} \approx \pi$  unabhängig vom Einfallswinkel, und  $\delta_{\parallel}$  steigt ganz nahe bei  $\varphi = 90^\circ$  sehr steil von ungefähr 0 auf  $\pi$  an.

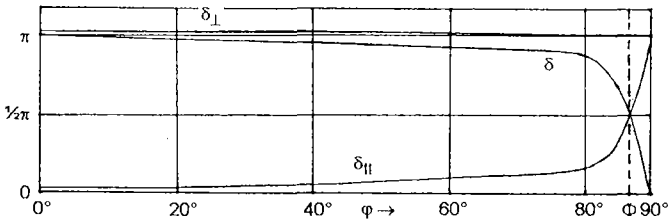


Abb. 2 Phasensprung an der Grenzfläche Luft  $\rightarrow$  Salzwasser ( $\sigma = 4 \Omega^{-1}\text{m}^{-1}$ ) in Abhängigkeit vom Einfallswinkel  $\varphi$  und von der Polarisation der einfallenden Welle (für  $\nu = 300 \text{ MHz}$  berechnet nach [4])

Für den Gangunterschied  $\Delta s$  der beiden beim Spiegelversuch von Lloyd im Punkt E (s. Abb. 1) interferierenden Teilwellen gilt demnach unter diesen Voraussetzungen in sehr guter Näherung

$$\Delta s = b \sin(90^\circ - \varphi) + \begin{cases} \lambda/2 & \text{für } \vec{E}_{\perp} \\ 0 & \text{für } \vec{E}_{\parallel} \end{cases}$$

Deshalb werden die Maxima für senkrechte Polarisation mit den Minima für parallele Polarisation zusammentreffen und umgekehrt. Mit einer Mikrowellenapparatur, zum Beispiel dem Phywe-Klystronsender ( $\nu = 9,45 \text{ GHz}$ ) und der zugehörigen Empfangsdiode, läßt sich dies eindrucksvoll demonstrieren. Als Spiegel rollt man auf dem Experimentiertisch einige Meter gewöhnliche Aluminium-Haushaltsfolie aus. Der Sender S wird in circa 10 cm Höhe über dem Tisch so montiert, daß die abgestrahlte Welle ein Polarisationsazimut von  $45^\circ$  gegen die Einfallsebene hat. Der Sendetrichter wird leicht zur Tischfläche hin geneigt. Die Empfangsdiode E muß zum Nachweis von  $\vec{E}_{\perp}$  beziehungsweise  $\vec{E}_{\parallel}$  drehbar sowie in der Höhe verschiebbar angebracht werden. Am überzeugendsten wirkt es, wenn die Maxima und Minima akustisch aufgesucht werden. Schließlich wird man noch den Gegenversuch durchführen, indem man die Alu-Folie entfernt, so daß die Resopal-Tischplatte die Funktion des Spiegels übernimmt. Nun treffen, wie es für einen Isolator als Reflektor ( $\delta_{\perp} \approx \delta_{\parallel}$  für  $\varphi$  nahe bei  $90^\circ$ ) zu erwarten ist, die Interferenzmaxima ebenso wie die Interferenzminima für beide Polarisationsrichtungen zusammen.

## Literatur

- [1] Born, M., Optik (2. Aufl.), Berlin/Heidelberg 1965
- [2] Fleischmann, R., Einführung in die Physik, Weinheim 1973
- [3] Pohl, R.W., Einführung in die Physik - 3. Teil: Optik/Atomphysik (12. Aufl.), Berlin/Heidelberg 1967
- [4] Stratton, J.A., Electromagnetic Theory, New York/London 1941