5. Interferenz

Ziel diese Kapitel ist es, die Überlagerung von zwei Kreiswellen in einer Ebene zu verstehen, die von zwei punktförmigen Erregern (meist E_1 und E_2) ausgehen, z.B. zweier Wasserwellen, die von zwei ins Wasser geworfenen Steinen erzeugt werden.

Für alle Beispiele zur Überlagerung (=Interferenz) nehmen wir an dass..

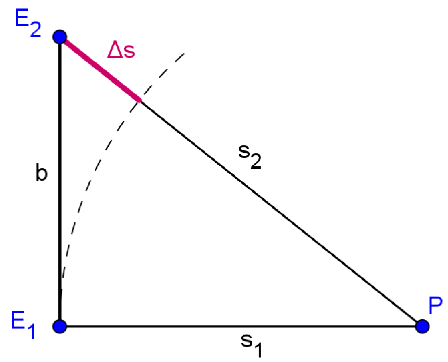
- die Wellen sich ungestört überlagern.
  Reflexionen und rücklaufende Wellen bleiben zunächst unberücksichtigt.
- die Wellen überall eine konstante Amplitude A oder $\hat{y}$ haben.
  Reibung- oder Dämfungseffekte werden vernachlässigt, ebenso wie die Verteilung der Energie einer Schwingung auf eine immer länger werdende Wellenfront.
- beide Erreger E_1 und E_2 ortsfest sind.
- E_1 und E_2 mit der selben Frequenz schwingen und deshalb auch Wellen mit der selben Wellenlänge aussenden.
- die beiden Erreger entweder phasengleich ($\Delta\varphi$=0) oder gegenphasig ($\Delta\varphi$=π/2) schwingen.
  Andere Phasendifferenzen kommen nicht vor.

5.1 Interferenzmuster in der Ebene

Mit welcher Amplitude ein ausgesuchter Punkt P der Ebene schwingt, hängt davon ab, wie die Wellen der beiden Erreger in diesem Punkt eintreffen.

- *Wellenberg trifft auf Wellenberg: Konstruktive Interferenz*
  Die beiden *einlaufenden* Wellen schwingen phasengleich ($\Delta\varphi = 0$).
  Die Amplituden A der einlaufenden Wellen addieren sich:
  Der Punkt P schwingt mit der doppelten Amplitude $2 \cdot A$.
  Eine halbe Periodendauer später treffen am Punkt P zwei Wellentäler aufeinander.
- *Wellenberg trifft auf Wellental: Destruktive Interferenz*
  Die beiden einlaufenden Wellen schwingen gegenphasig ($\Delta\varphi = \pi/2$).
  Die Amplituden A der *einlaufenden* Wellen addieren sich:
  Der Punkt P bleibt immer in Ruhe.
  Eine halbe Periodendauer später treffen Wellental und Wellenberg aufeinander.
- *Beliebige Phasenlage:*
  Berechnung dazu im Lehrbuch auf Seite 228, für uns nicht relevant.

Welche Phasenbeziehung die beiden einlaufenden Wellen haben, hängt vom Wegunterschied $\Delta s = |s_2 - s_1|$ der beiden jeweils zurückgelegten Strecken s_1 und s_2 als Vielfaches der Wellenlänge λ ab:



Aus $k = \frac{\Delta s}{\lambda}$ ergibt sich die Phasenverschiebung

$\Delta\varphi = k \cdot 2\pi$ als Phasenverschiebung im Bogenmaß bzw.

$\Delta\varphi = k \cdot 360°$ als Phasenverschiebung im Gradmaß und.

$\Delta s = k \cdot \lambda$ als räumliche Verschiebung/Gangunterschied als Vielfaches der Wellenlänge.

Für Interferenz**maxima**:

$|\Delta s| = 0;\ 1\lambda;\ 2\lambda;\ 3\lambda;\ 4\lambda;\ ...$

allgemein: $\boxed{|\Delta s| = k \cdot \lambda}$ mit $k \in N$

Für Interferenz**minima**:

$|\Delta s| = 0{,}5\lambda;\ 1{,}5\lambda;\ 2{,}5\lambda;\ 3{,}5\lambda;\ 4{,}5\lambda;\ ...$

allgemein: $\boxed{|\Delta s| = (2k-1) \cdot \frac{\lambda}{2}}$ mit $k \in N\backslash\{0\}$

Die folgende Abbildung zeigt ein momentanes Wellenbild zweier Erreger.

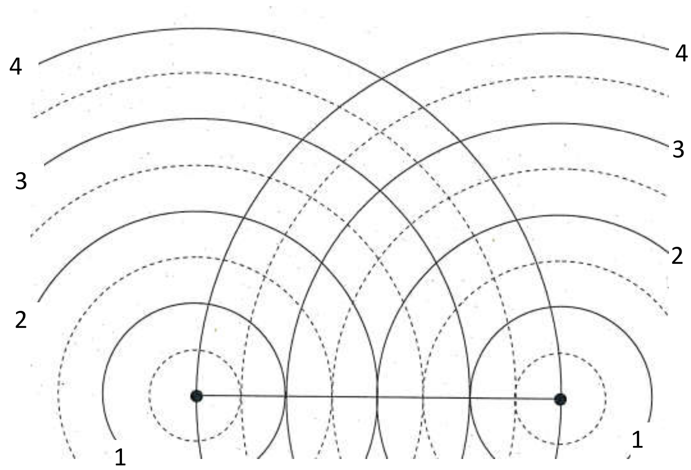
Wenn man den geometrischen Ort der Interferenzmaxima aufsucht, muss man die Stellen mit einem Gangunterschied finden, der ein ganzzahliges Vielfaches der Wellenlänge ist.

Für k = 0 ist das die Mittelsenkrechte zwischen den beiden Erregern. (Schnittpunkt der Berge 2&2, 3&3, ..) In diesen Schnittpunkten haben die schwingenden Teilchen gerade maximale positive Auslenkung, in den Schnittpunkten der dazwischen liegenden Täler gerade maximale negative Auslenkung.

Nach einer Periodendauer T sind die Wellenberge um eine Wellenlänge λ weiter gewandert: Wellenberg 3 befindet sich dann an der Stelle des jetzt dargestellten Wellenbergs 4.

Alle Teilchen auf der Mittelsenkrechten haben dann eine komplette Schwingung mit der doppelten Erreger-Amplitude vollbracht.

Die Interferenzmaxima erster Ordnung ergeben sich aus den Schnittpunkten der Berge bzw. der Täler 2&3, 3&4, ... mit $|\Delta s| = 1\lambda$, usw.



Das Interferenzminimum erster Ordnung liegt dort, wo sich ein Berg eines Erregers mit dem darauffolgenden Tal des anderen Erregers schneiden.

Der größtmögliche Gangunterschied ist immer kleiner als der Abstand b der beiden Erreger, weil sich sonst die ausgesendeten Wellen nicht mehr einholen (und damit überlagern) können:

$\boxed{\Delta s < b}$