

Animation „Huygens'sches Prinzip – Beugung am Einfachspalt“

Inhalt und Lehrplan

- Einzelinhalt: „die Beugung am Einfachspalt mit dem Huygens'schen Prinzip qualitativ erklären und den Einfluss der Spaltbreite beschreiben“ (ph-12-t.2.7).
- Interaktive Simulation (eine HTML-Datei, Schriften eingebettet, keine externen Abrufe), hell/dunkel, Handy, Regler ≥ 44 px.
- Beispiele: Wellenwanne ($\lambda = 2,0$ cm, $b = 1,5$ cm), breiter Spalt ($\lambda = 1,2$ cm, $b = 10$ cm), Hafeneinfahrt ($\lambda = 60$ m, $b = 80$ m), Schall an der Tür (500 Hz, $\lambda \approx 0,69$ m bei $c = 343$ m/s, $b = 0,90$ m).
- Erklärmodus „Schritt für Schritt“: ebene Welle $\rightarrow$ Elementarwellen $\rightarrow$ Überlagerung mit Einhüllender $\rightarrow$ Spaltbreite verändert sich selbst.

Physikalisches Modell

- Huygens: Punkte im Spalt (Abstand $\leq \lambda/8$) sind gleichphasige Zentren von Kreiswellen gleicher Amplitude; Superposition $y(P, t) = \sum A/\sqrt{r_j} \cdot \sin(\omega t - k x_s - k r_j)$, $k = 2\pi/\lambda$ (Amplitude $\propto 1/\sqrt{r}$ für Kreiswellen in der Ebene, $r \geq \lambda/4$).
- Zeitunabhängiger Teil $C(P) = \sum e^{-ik r_j}/\sqrt{r_j}$ wird je Einstellung einmal gerechnet; Ansicht „Amplitude“ zeigt $|C|$.
- Qualitativ (Lehrplan): Spalt schmal im Vergleich zu $\lambda \rightarrow$ nahezu Kreiswelle; breit $\rightarrow$ nahezu geradlinig mit Beugung an den Rändern. Entscheidend ist b/λ .

Nachrechnung (NumPy, referenz.py)

b/λ	P (in λ)	$ C $	Phase	Zentren
0.25	(3 0)	9.1258e-2	-0.0109	3
0.25	(5 4)	5.7572e-2	-2.5338	3
1	(6 -2)	5.0709e-2	-2.0718	9
2.5	(8 3)	8.0331e-3	-2.7089	21
6	(10 0)	3.3658e-2	-0.8796	49
6	(7 6)	2.8643e-3	0.7149	49
8	(4 -1.5)	1.6498e-2	-0.9275	65

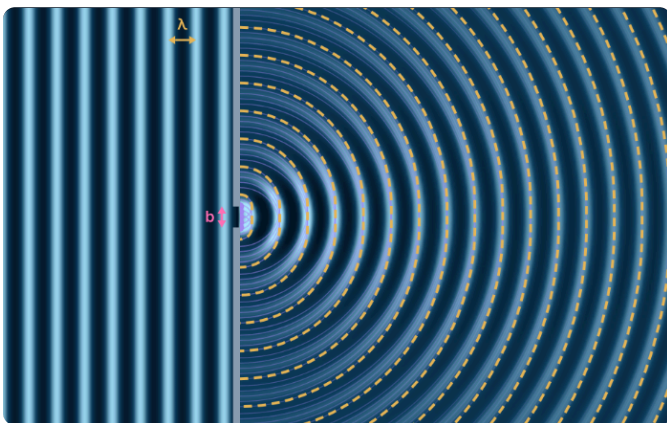
Grenzfälle (Amplitude unter Winkel / geradeaus, Abstand 8λ): $b = 0,25\lambda$ unter 60° : **0.85** (fast Kreiswelle) · $b = 6\lambda$ unter 45° : **0.12** (fast geradlinig) · Tür ($b/\lambda = 1,30$) bei $\sin \theta = \lambda/b$ (12λ Abstand): **0.09** (Minimum, Amplitudenbild zeigt dunkle Richtungen bei $\approx \pm 50^\circ$).

Automatische Prüfung (pruefen.mjs)

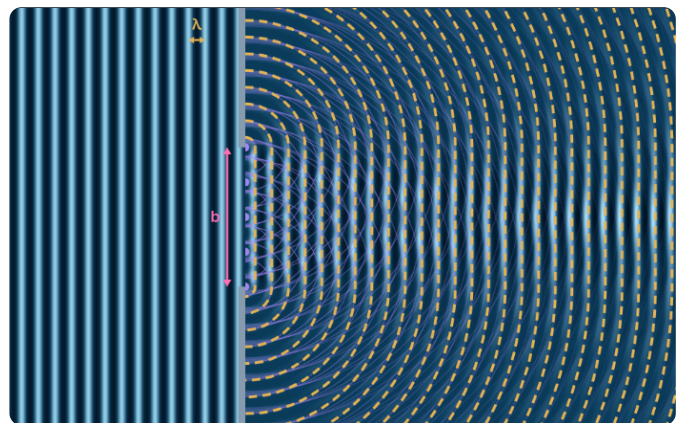
- ✓ $b=0.25\lambda$, $P(3\lambda|0\lambda)$: $|C|$ und Phase = NumPy (3 Zentren)
- ✓ $b=0.25\lambda$, $P(5\lambda|4\lambda)$: $|C|$ und Phase = NumPy (3 Zentren)
- ✓ $b=1\lambda$, $P(6\lambda|-2\lambda)$: $|C|$ und Phase = NumPy (9 Zentren)
- ✓ $b=2.5\lambda$, $P(8\lambda|3\lambda)$: $|C|$ und Phase = NumPy (21 Zentren)
- ✓ $b=6\lambda$, $P(10\lambda|0\lambda)$: $|C|$ und Phase = NumPy (49 Zentren)

- ✓ $b=6\lambda$, $P(7\lambda|6\lambda)$: $|C|$ und Phase = NumPy (49 Zentren)
- ✓ $b=8\lambda$, $P(4\lambda|-1.5\lambda)$: $|C|$ und Phase = NumPy (65 Zentren)
- ✓ schmaler Spalt ($0,25\lambda$): unter 60° noch 0.85 der Amplitude geradeaus – fast Kreiswelle
- ✓ breiter Spalt (6λ): unter 45° nur 0.12 – fast geradlinig
- ✓ wanne: $b = 1,5\text{ cm}$, $\lambda = 2,0\text{ cm}$, $b/\lambda = 0,75 \rightarrow „b \lesssim \lambda$: Hinter dem Spalt entsteht nahezu eine K...
- ✓ breit: $b = 10,0\text{ cm}$, $\lambda = 1,2\text{ cm}$, $b/\lambda = 8,33 \rightarrow „b \gg \lambda$: fast geradlinige Ausbreitung mit Schatt...
- ✓ hafen: $b = 80\text{ m}$, $\lambda = 60\text{ m}$, $b/\lambda = 1,33 \rightarrow „b$ liegt in der Größenordnung von λ : deutliche ...
- ✓ tuer: $b = 0,90\text{ m}$, $\lambda = 0,69\text{ m}$, $b/\lambda = 1,30 \rightarrow „b$ liegt in der Größenordnung von λ : deutliche ...
- ✓ Regler b ganz rechts: 12,0 cm
- ✓ Regler λ ganz rechts: 4,0 cm
- ✓ Schritt 1: „1 · Die ebene Welle: Von links läuft eine ebene We...
- ✓ Schritt 2: „2 · Elementarwellen: Erreicht die Welle den Spalt,...
- ✓ Schritt 3: „3 · Überlagerung: Die Elementarwellen überlagern s...
- ✓ Schritt 4: „4 · Spaltbreite: Jetzt verändert sich die Spaltbre...
- ✓ Schrittmodus beendet
- ✓ keine Konsolenfehler, keine externen Abrufe (Desktop)
- ✓ desktop light: kein waagrechtter Bildlauf
- ✓ desktop light: alle Bedienelemente $\geq 44\text{ px}$
- ✓ desktop light: Konsole sauber
- ✓ desktop dark: kein waagrechtter Bildlauf
- ✓ desktop dark: alle Bedienelemente $\geq 44\text{ px}$
- ✓ desktop dark: Konsole sauber
- ✓ iphone light: kein waagrechtter Bildlauf
- ✓ iphone light: alle Bedienelemente $\geq 44\text{ px}$
- ✓ iphone light: Konsole sauber
- ✓ iphone dark: kein waagrechtter Bildlauf
- ✓ iphone dark: alle Bedienelemente $\geq 44\text{ px}$
- ✓ iphone dark: Konsole sauber
- ✓ Rand: nichts ragt über den Innenabstand (14 Breiten $\times$ 4 Beispiele)
- ✓ alle Prüfungen bestanden

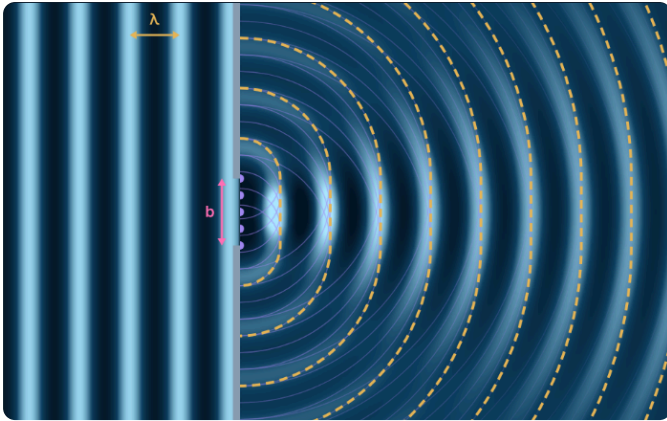
Bildschirmfotos



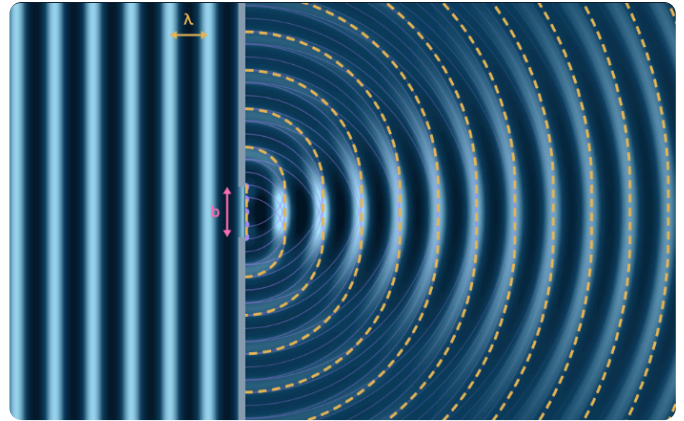
Beispiel wanne



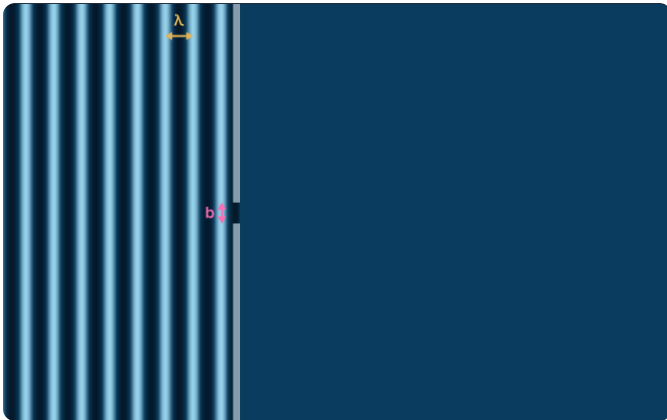
Beispiel breit



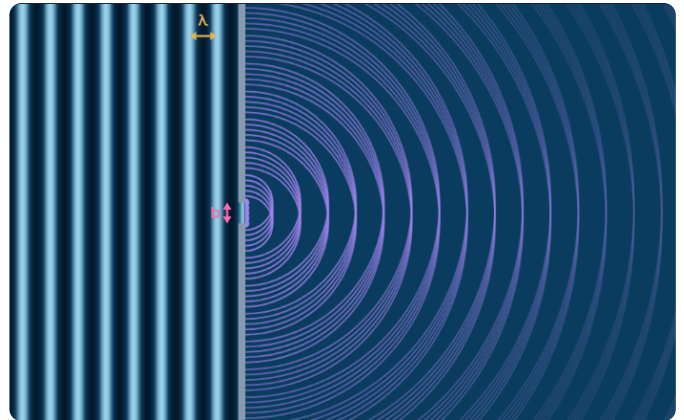
Beispiel hafen



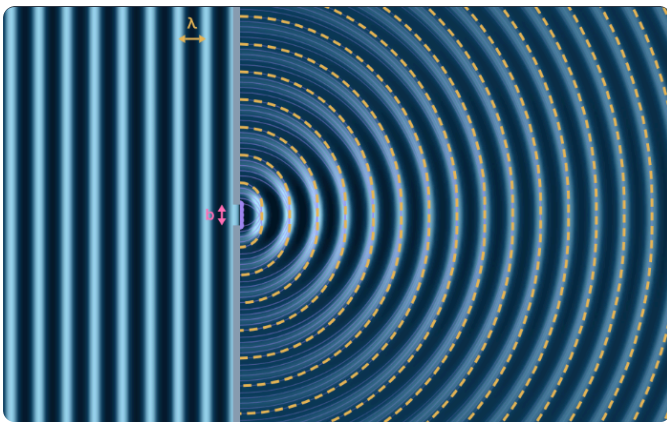
Beispiel tuer



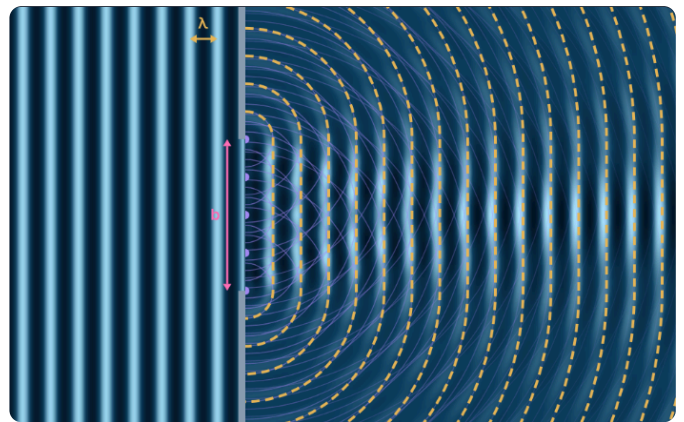
Schritt 1



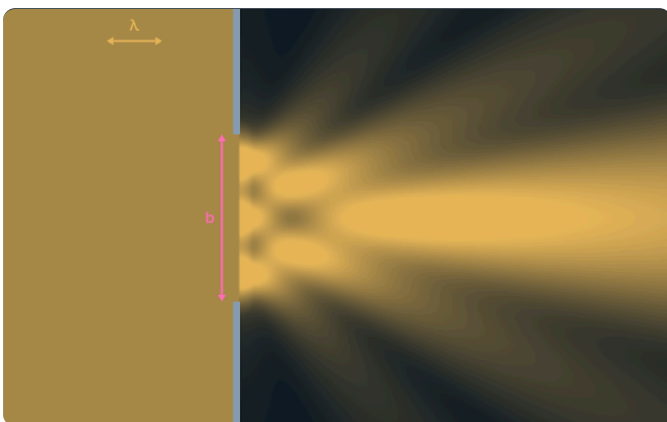
Schritt 2



Schritt 3



Schritt 4



Ansicht Amplitude

Hinweise

- Darstellung der Zeit verlangsamt (Periodendauer der Anzeige 1,4 s); bei Schall (500 Hz) ausdrücklich angegeben.
- Reflexion an der Wand und Dämpfung sind nicht dargestellt (Modell nur für die Welle hinter dem Spalt).
- Die Einhüllende (gold) ist die geometrische Huygens-Konstruktion; das Wellenfeld darunter ist die echte Überlagerung.