

Physik für Studierende der Medizin im 1. Fachsemester

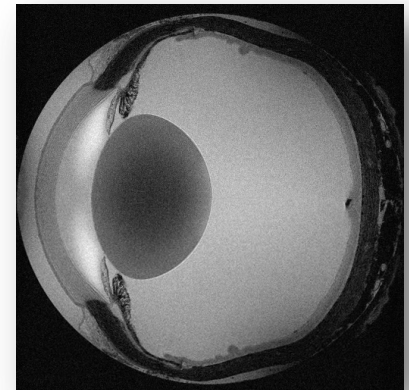
(PFMF-V); 09410100

Dienstag mit Freitag 8.15-9.00

Optik Teil 4 Am 20.05.2021



Dr. Simon Moser
Lehrstuhl für Exp. Physik IV,
Universität Würzburg
simon.moser@physik.uni-wuerzburg.de



Optische Instrumente

Allgemeine Wirkungsweise der optischen Instrumente:

1) „Erfahrung“

- Von weiter **entfernten Gegenständen** lassen sich keine Einzelheiten erkennen.
- **Kleine Gegenstände**, auch wenn sie beliebig nahe an das Auge herangebracht werden, lassen sich nur undeutlich erkennen (begrenzte Akkomodationsfähigkeit).

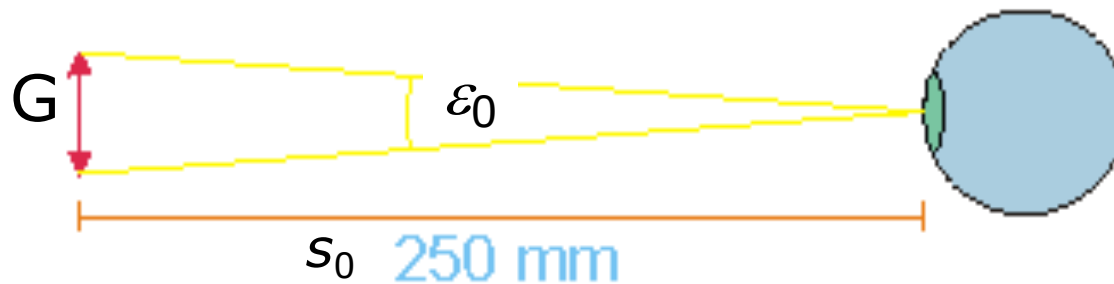
2) „Aufgabe der opt. Instrumente (Lupe, Mikroskop, Fernrohr)“

- Von **entfernten** oder zu **kleinen** Gegenständen deutliche Bilder in der deutlichen Sehweite und unter hinreichend großem Sehwinkel zu erzeugen.

Deutliche Sehweite / Sehwinkel

Deutliche Sehweite beim Durchschnittsmenschen, d.h. die Weite bei der noch (ohne Anstrengung) akkomodiert werden kann:
 $s_0 = 25 \text{ cm}$.

Sehwinkel und konventionelle Sehweite



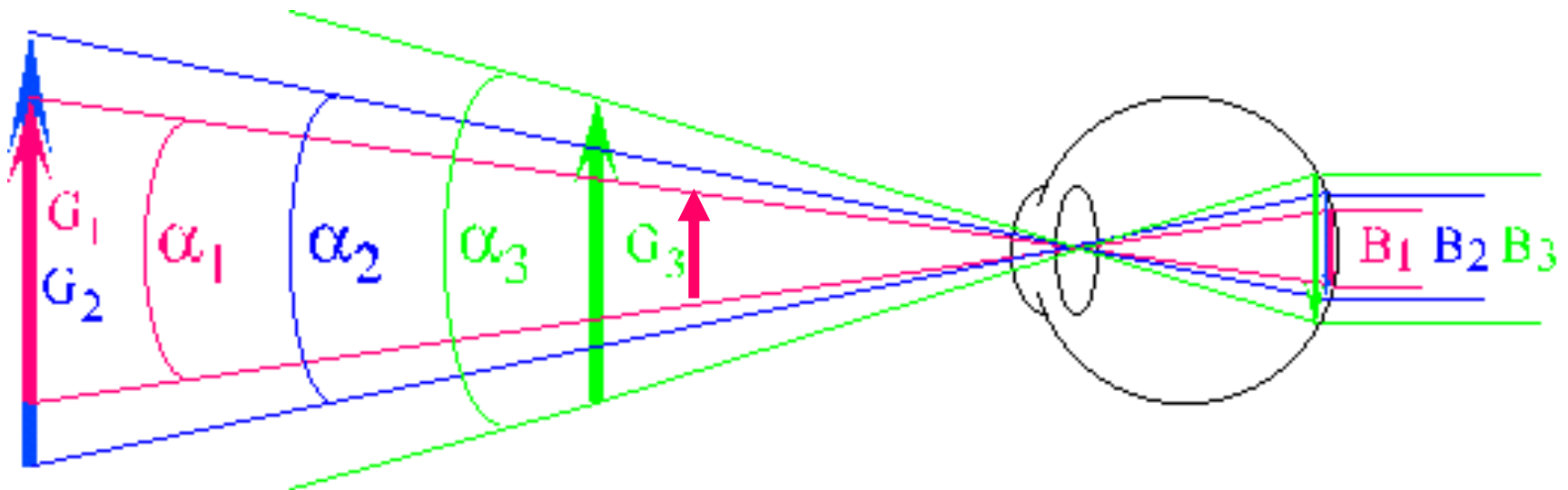
$\varepsilon_0 = \text{Sehwinkel}$

- Ohne optisches Gerät ist der Sehwinkel gegeben durch:

$$\varepsilon_0 = \frac{G}{s_0}$$

Deutliche Sehweite / Sehwinkel

Da von der Größe des Sehwinkels die Größe des auf der Netzhaut entworfenen Bildes abhängt, haben in verschiedener Entfernung vom Auge befindliche Gegenstände die gleiche scheinbare Größe, wenn sie unter dem gleichen Sehwinkel erscheinen.



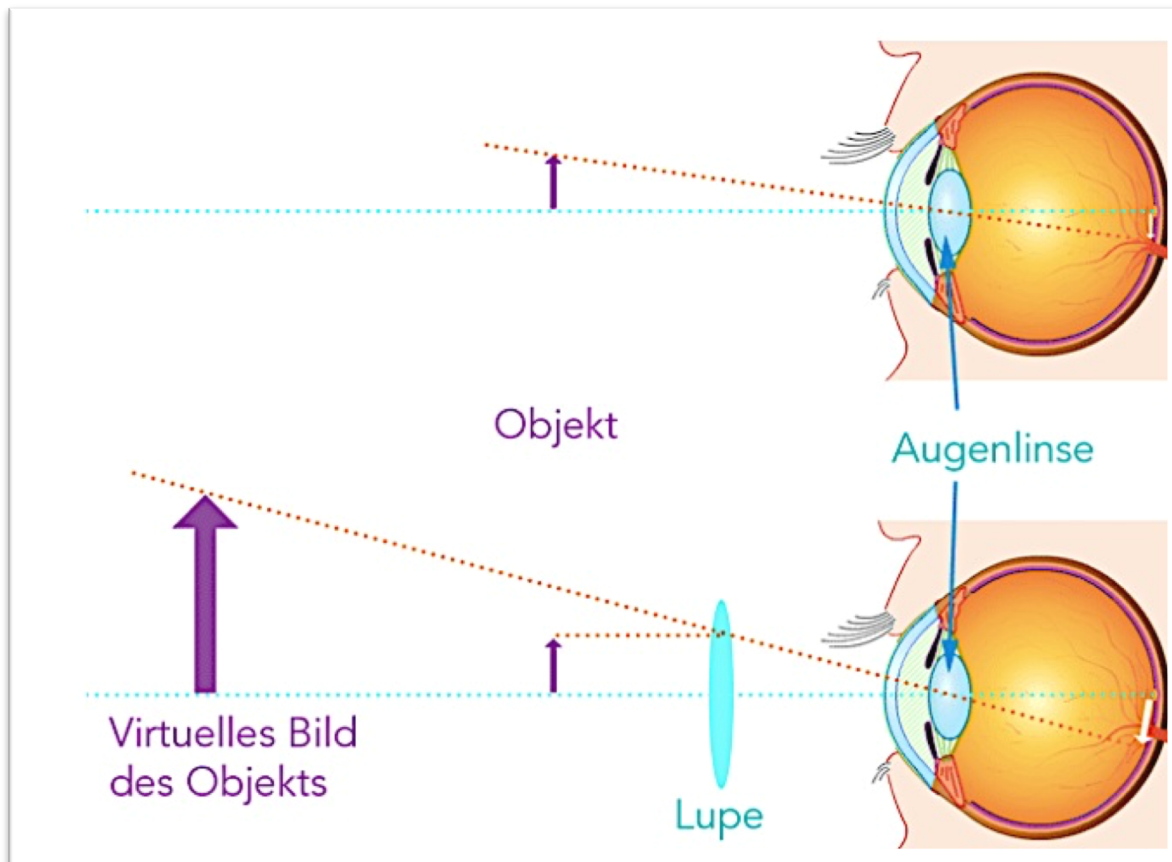
Vergrößerung

Die Vergrößerung V eines optischen Instruments definiert man als das Verhältnis von Sehwinkel mit Instrument ε zum Sehwinkel ohne Instrument ε_0 :

Vergrößerung

$$V = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0}$$

Lupe & Sehwinkel



Ohne Lupe:

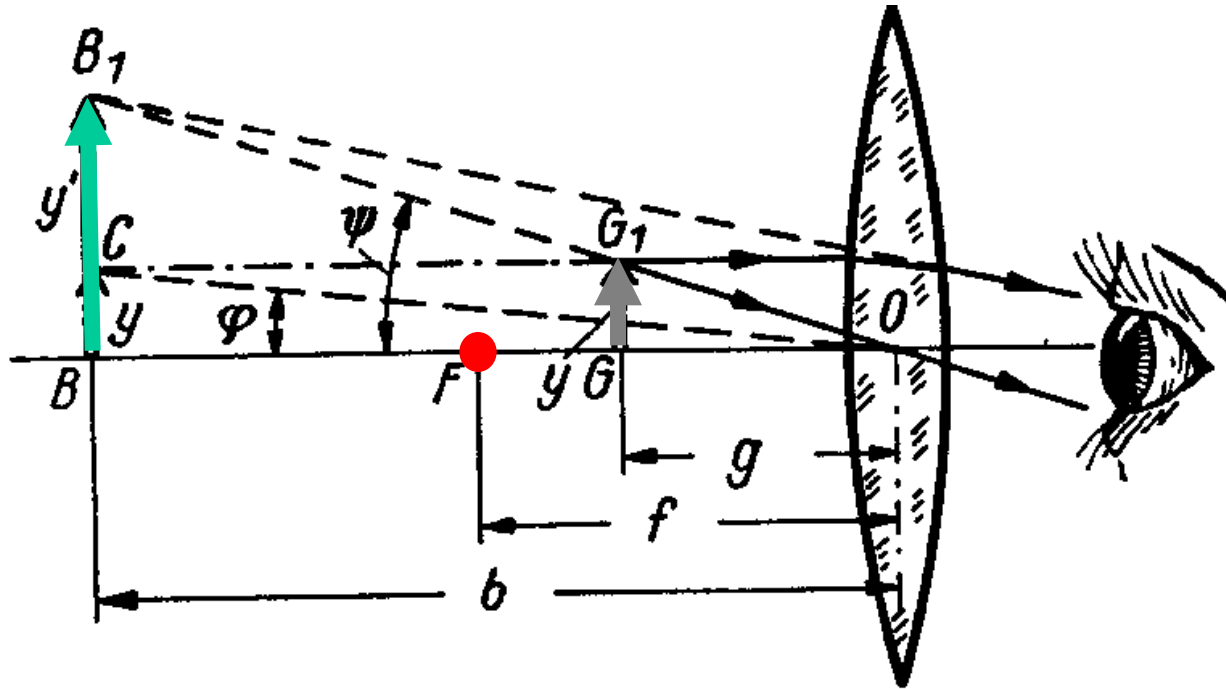
$$\varepsilon_0 = \frac{G}{s_0}$$

Mit Lupe:

$$\varepsilon = \frac{G}{f}$$

Befindet sich der Gegenstand innerhalb der Brennweite f , so erhält man ein virtuelles, aufrechtes und vergrößertes Bild

Lupe & Sehwinkel



Ohne Lupe:

$$\varepsilon_0 = \frac{G}{s_0}$$

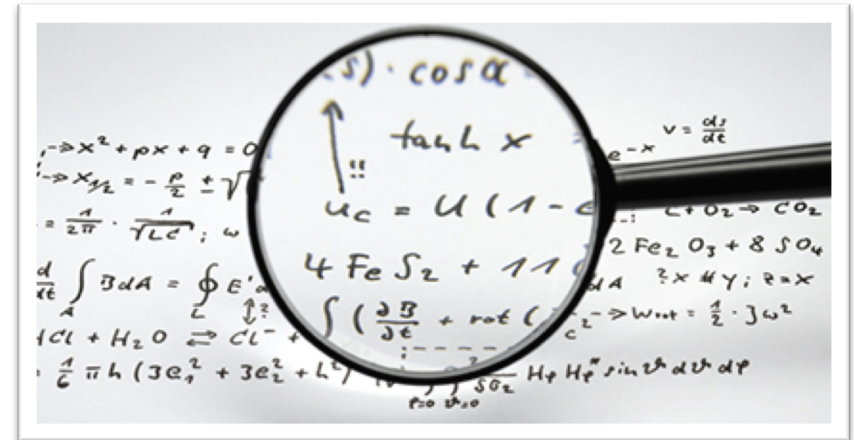
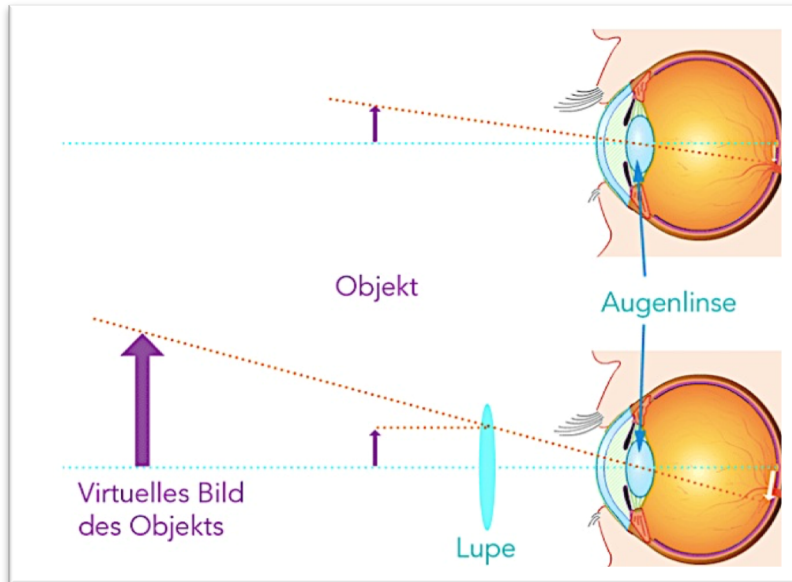
Mit Lupe:

$$\varepsilon = \frac{G}{f}$$

Befindet sich der Gegenstand innerhalb der Brennweite f , so erhält man ein virtuelles, aufrechtes und vergrößertes Bild

Lupe & Sehwinkel

Die Vergrößerung einer Lupe definiert man als das Verhältnis von Sehwinkel mit Lupe zu Sehwinkel ohne Lupe:



Vergrößerung V :

$$V = s_0 / f$$

s_0 = deutliche Sehweite (25 cm)
 f = Brennweite der Linse in cm

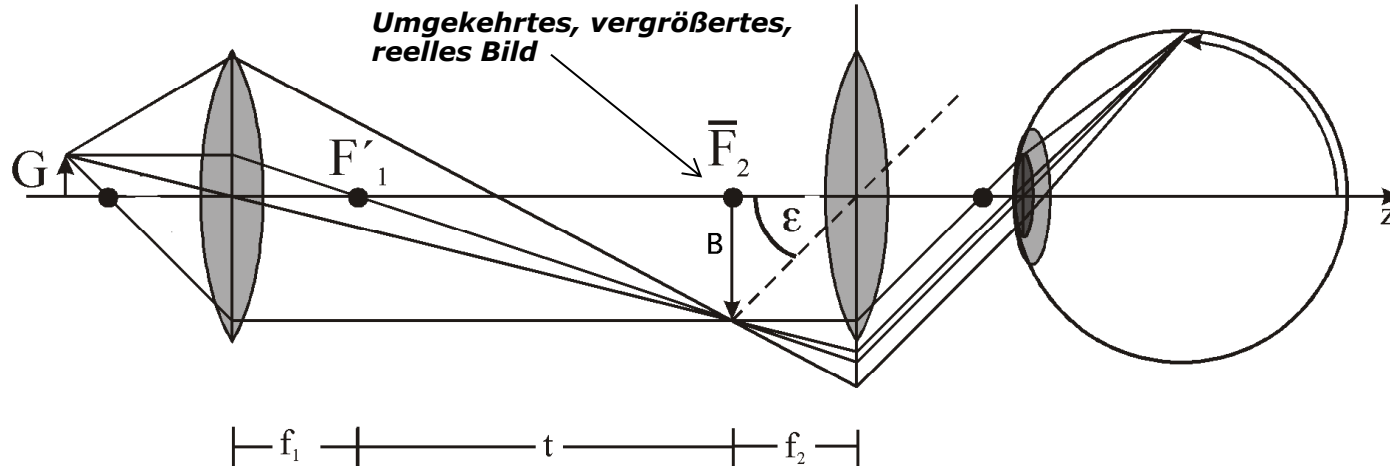
Um eine starke Vergrößerung zu erhalten,
 muß die Brennweite hinreichend klein sein!
 (LSG: $f \sim r$)

Ortsauflösung beim unbewaffneten Auge: 0.1 mm

Strahlengang beim Mikroskop

Objektiv

Okular = Lupe

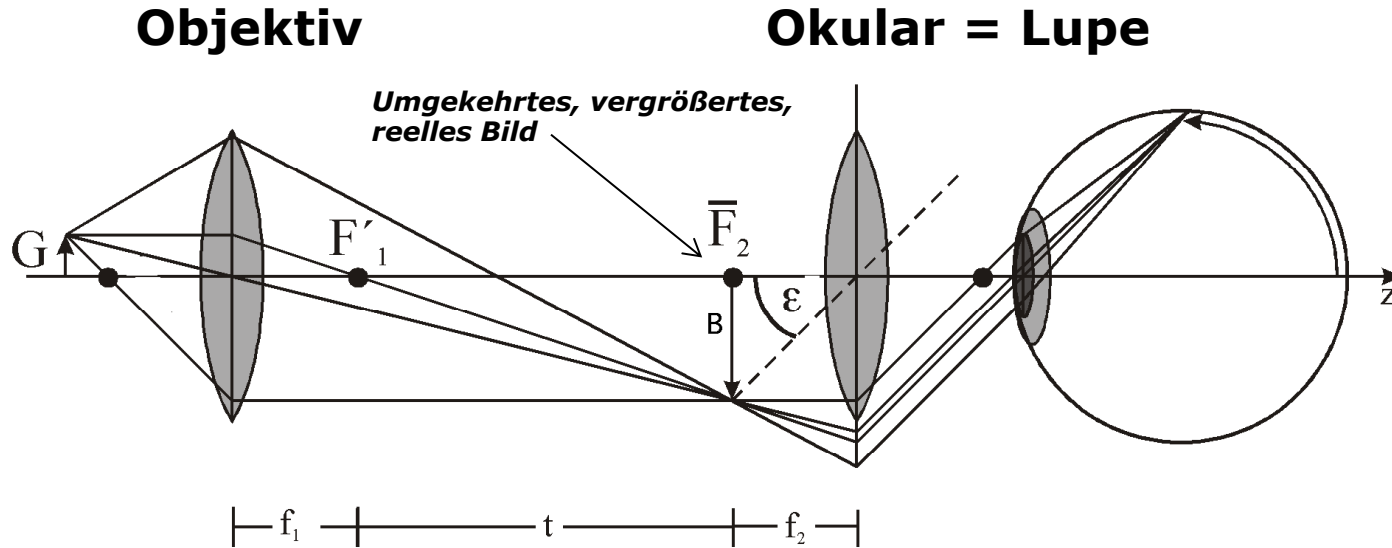


Das **Objektiv** entwirft ein reelles, umgekehrtes und vergrößertes **Zwischenbild** von **G** im Abstand t (**optische Tubuslänge**).

Das **Okular** wird als Lupe benutzt und erzeugt damit ein virtuelles, aufrechtes und vergrößertes Bild dieses **Zwischenbildes**.

Scharfstellen: Abstand Objektiv-Gegenstand wird so eingestellt, dass das Zwischenbild genau in der Brennebene des Okulars entsteht und damit mit entspanntem Auge (siehe Lupe) scharf zu sehen ist.

Strahlengang beim Mikroskop



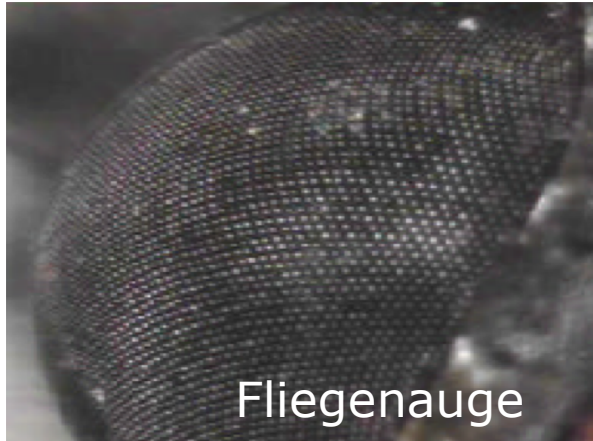
t = optische Tubuslänge
 = Abstand der Brennpunkte beider Linsen

Vergrößerung V :

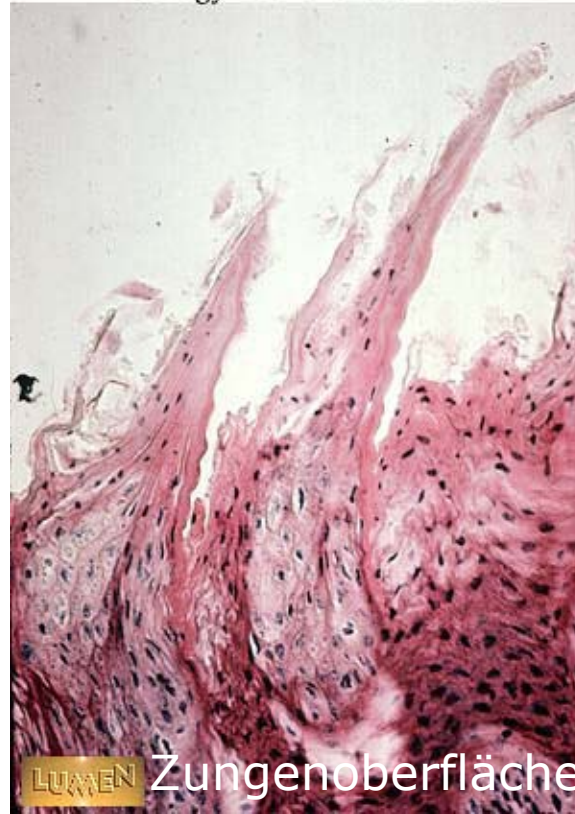
$$V = s_0 \cdot t_{\text{opt}} / (f_{\text{obj}} \cdot f_{\text{ok}})$$

$$= V_{\text{ok}} \cdot V_{\text{obj}}$$

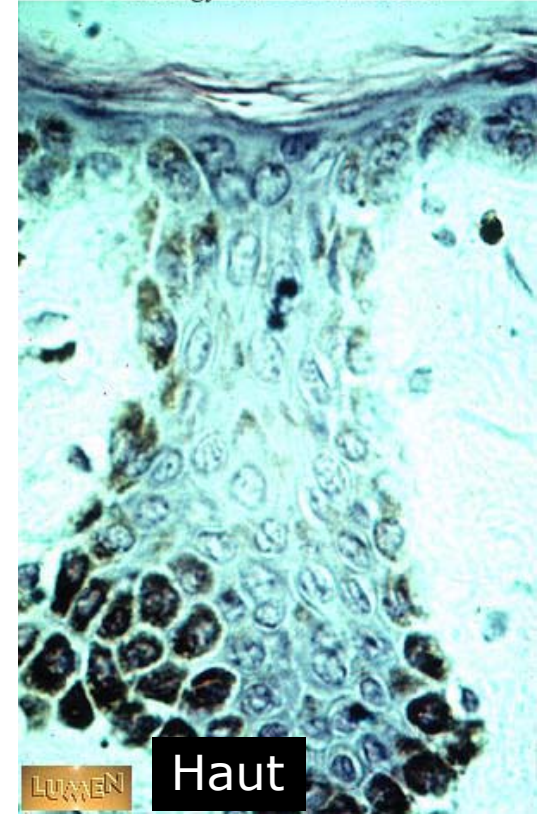
Anwendungen des Mikroskops



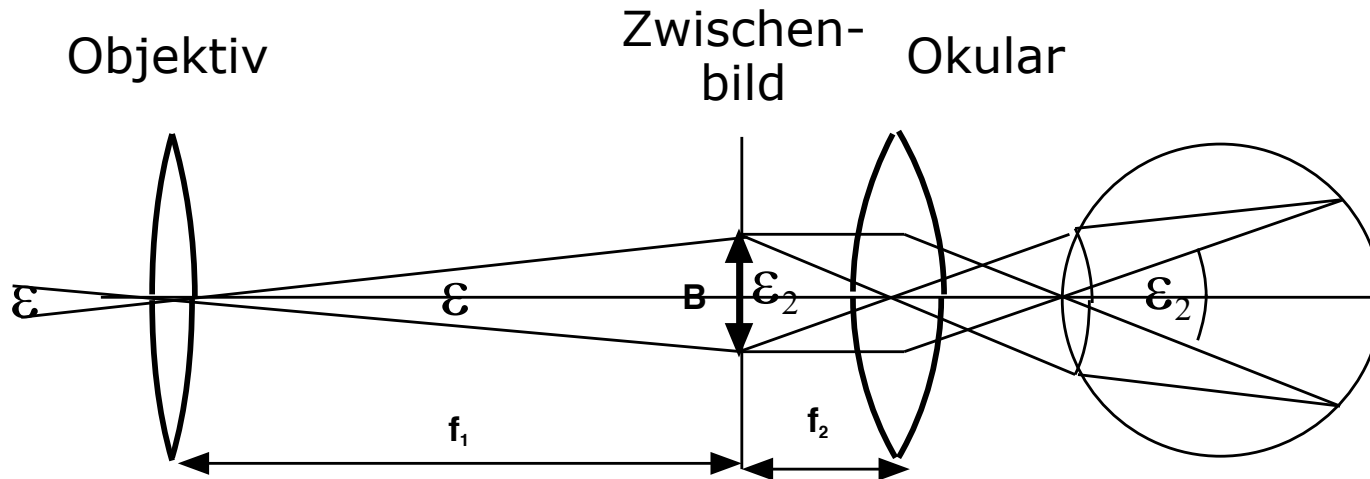
Histology Lab Part 13: Slide 30



Histology Lab Part 13: Slide 7



Astronomisches Fernrohr (Kepler)



Objektiv: lange Brennweite, erzeugt reelles, umgekehrtes & verkleinertes Bild

Vergrößerung V :

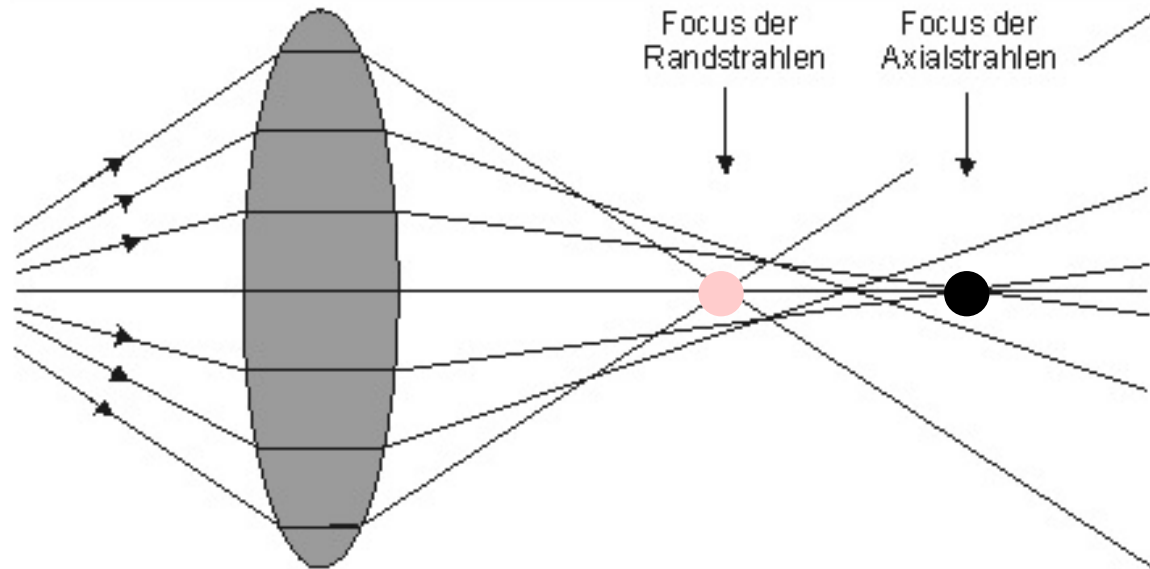
$$V = -f_1/f_2$$

Zweck des Objektivs ist es nur, den Gegenstand so abzubilden, dass das nun nahe liegende Bild mit dem Okular beobachtet werden kann.

Okular (Lupe): kurze Brennweite

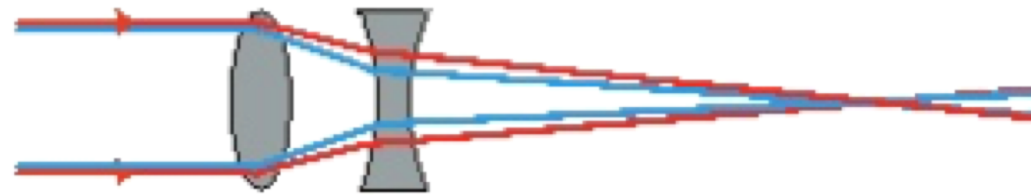
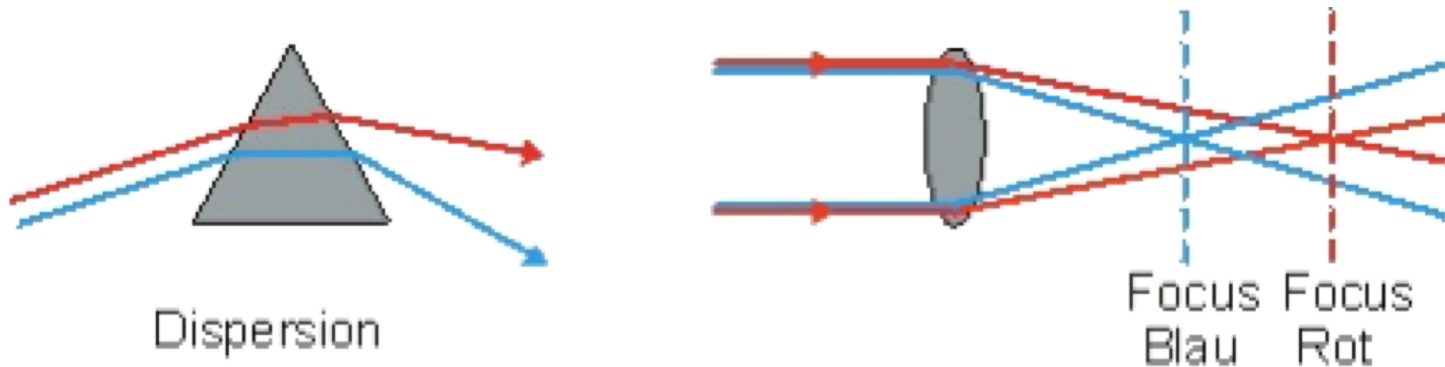
Sphärische Aberration

Randstrahlen werden stärker gebrochen als Mittenstrahlen.



Chromatische Aberration

Dispersion, Frequenzabhängigkeit des Brechungsindex



Achromatisches Linsensystem

Kombination zweier Linsen unterschiedlicher Dispersion

Grenzen der Ortsauflösung

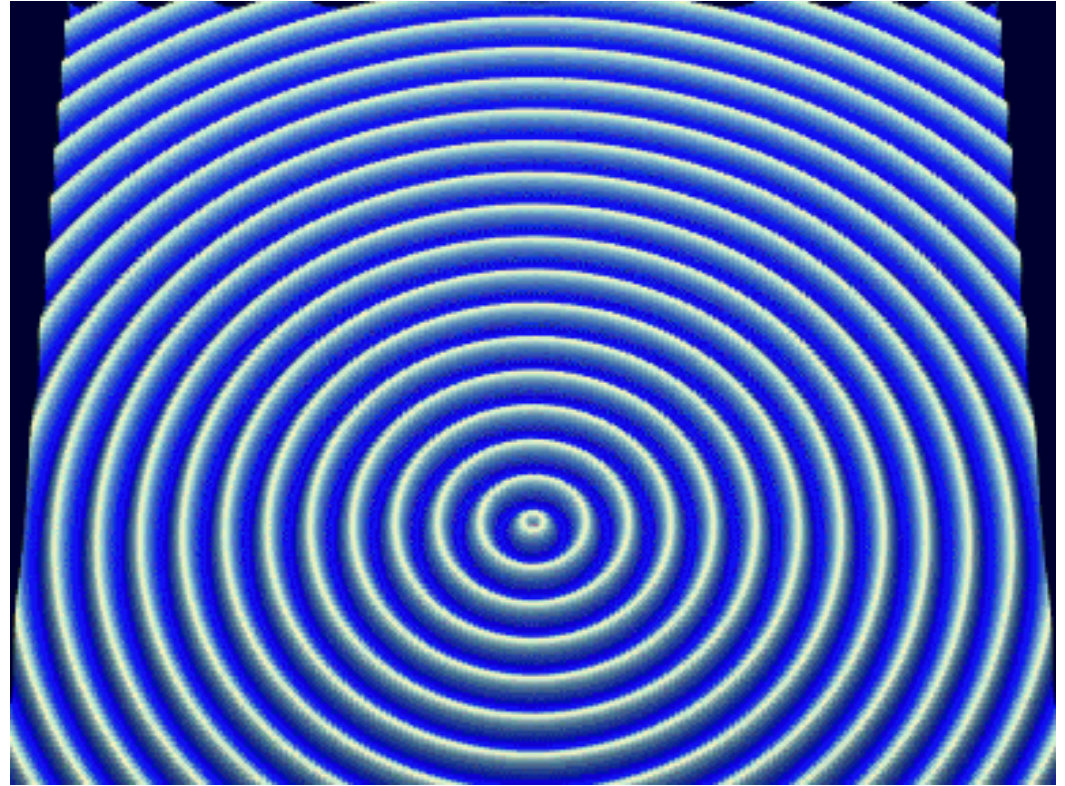
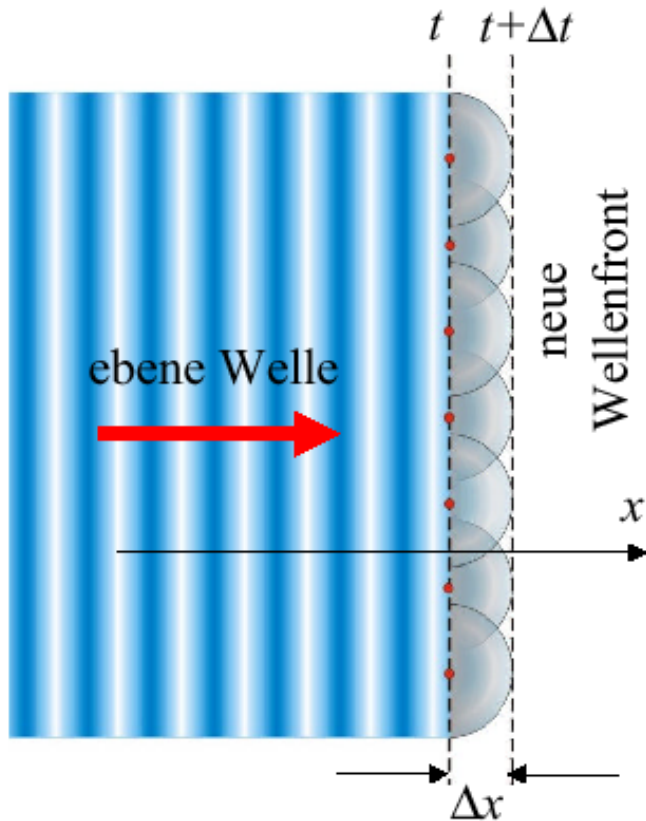
„Wellenoptik“

- Typische Abmessung d des abzubildenden Systems ist **klein** gegen die **Wellenlänge λ des Lichts**.
- Wellencharakter des Lichts führt zu Erscheinungen wie Beugung und Interferenz.
- Gilt für alle Wellenformen: Wasserwellen, Schallwellen, ...

Grenzen der Auflösung

- Ideales Linsensystem liefert exaktes Abbild (beliebige Vergrößerung) der Probe.
- „Unendliche hohe Auflösung“ unerreichbar: **BEUGUNG**
- Lichtmikroskopie: Auflösungsvermögen bis $1 \mu\text{m}$, unter günstigen Bedingungen (kurzwelliges Licht, Immersionsobjektive mit hoher Apertur) bis $0,2 \mu\text{m}$.

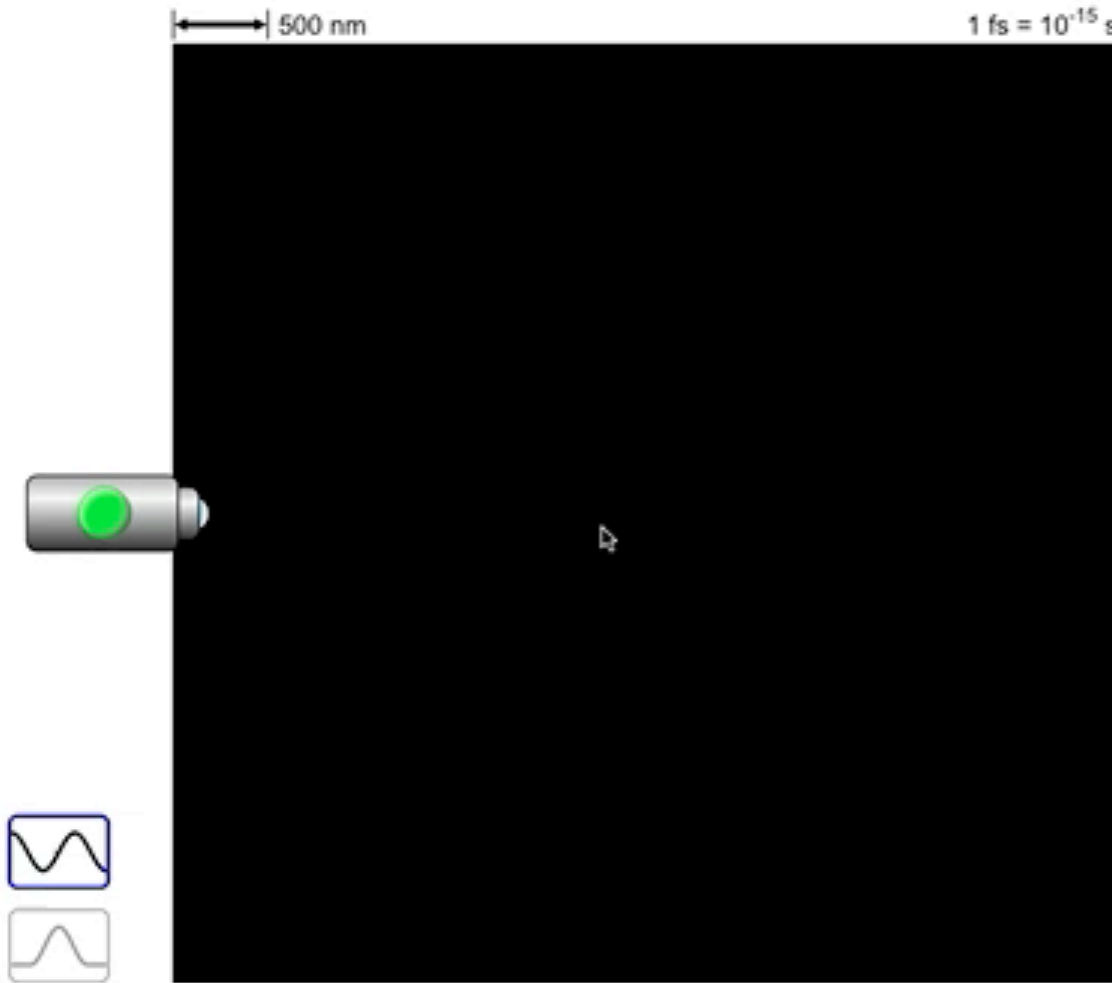
Ausbreitung des Lichts



Huygensches Prinzip: Jeder Punkt einer Wellenfront ist Ausgangspunkt einer neuen kugelförmigen Elementarwelle, die die gleiche Ausbreitungsgeschwindigkeit und Frequenz wie die ursprüngliche Wellenfront hat. Die Einhüllende aller Elementarwellen ergibt die Wellenfront zu einem späteren Zeitpunkt.

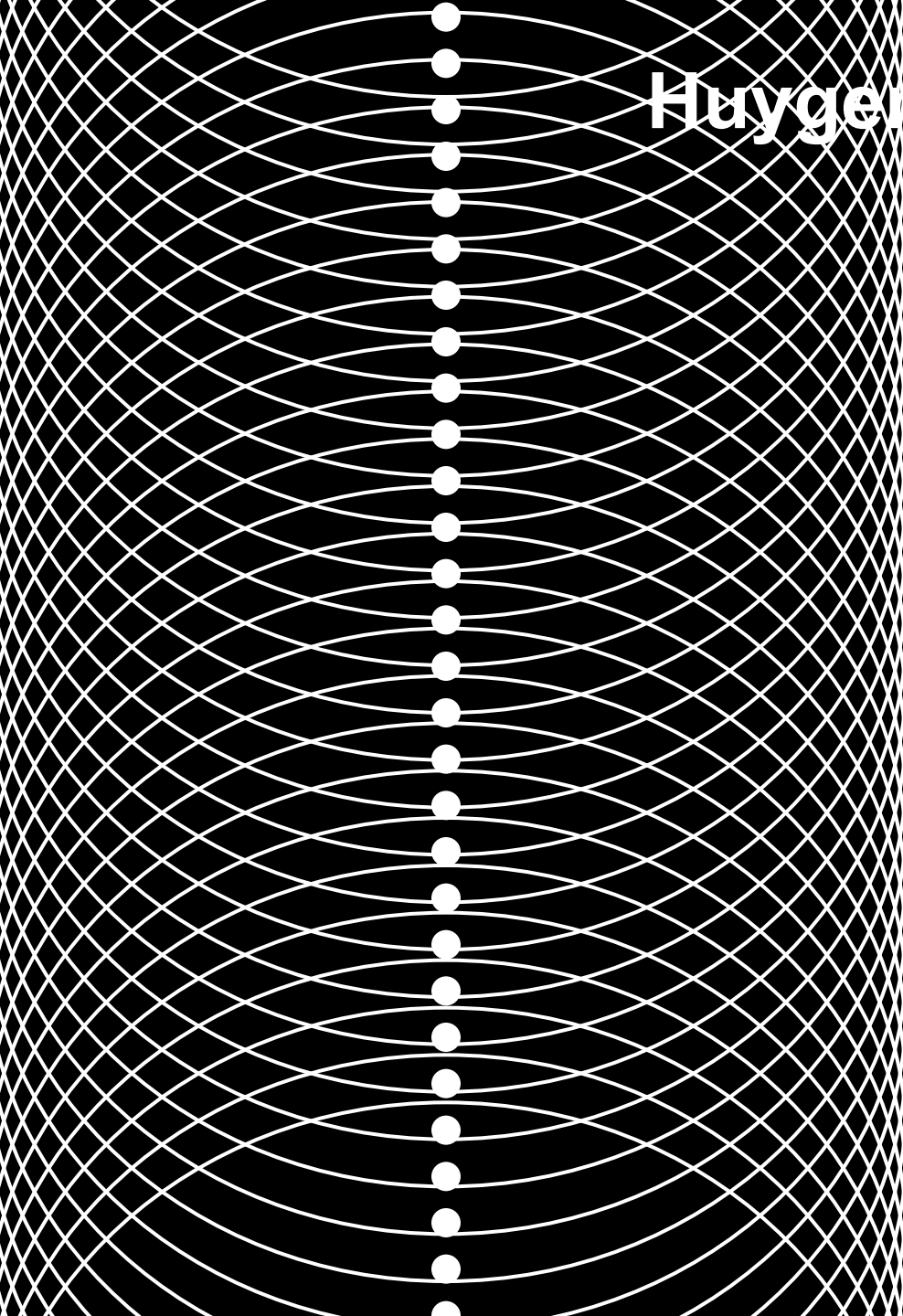
Ausbreitung des Lichts

Punktförmige Lichtquelle



The control panel is located on the right side of the simulation. It includes a top row with three icons: a yellow and blue circular icon, a blue box with '0.00 s' and a play button, and a white box with a blue border and a play button. Below this is a 'Frequenz' (Frequency) control with a rainbow-colored slider and a green vertical marker. Underneath is an 'Amplitude' control with a scale from 0 to max and a blue slider. At the bottom, there are three icons: a grey arrow icon, a yellow speaker icon, and a grey pencil icon. At the very bottom, there are two checkboxes: Grafik and Bildschirm.

Huygensches Prinzip



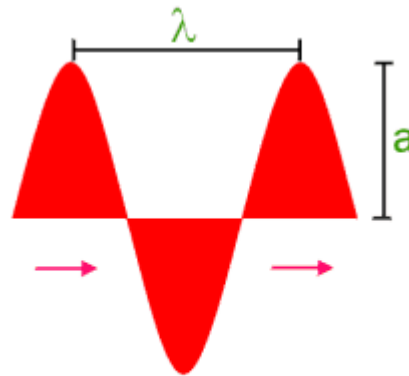
Kohärenz



Kohärenz

Lichtwellen, die die folgende Kriterien erfüllen, werden als **kohärent** bezeichnet:

- gleiche Wellenlänge
- Wellen schwingen in der gleichen Ebene
- Wellen wirken zum gleichen Zeitpunkt am gleichen räumlichen Ort
- Nur Lichtwellen, die das Kriterium der Kohärenz erfüllen, sind in der Lage zu interferieren



λ : Wellenlänge des Lichts

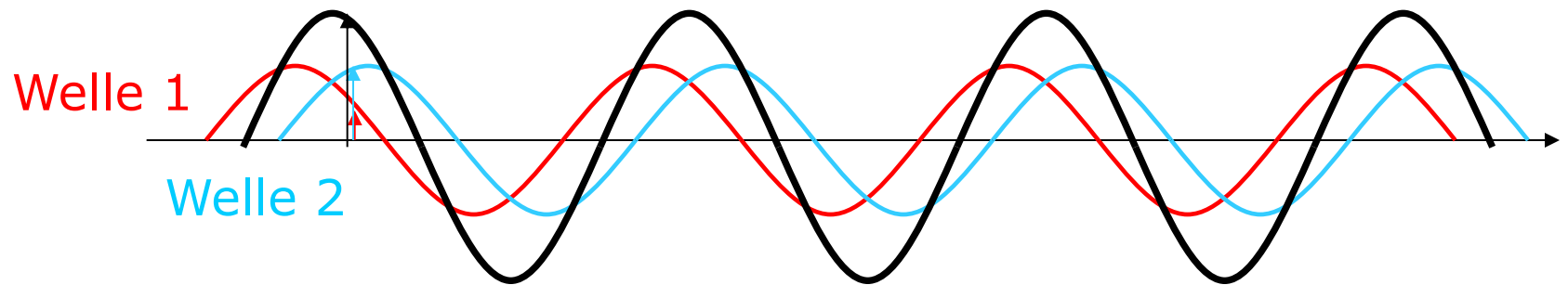
a : Amplitude der Lichtwelle

Interferenz

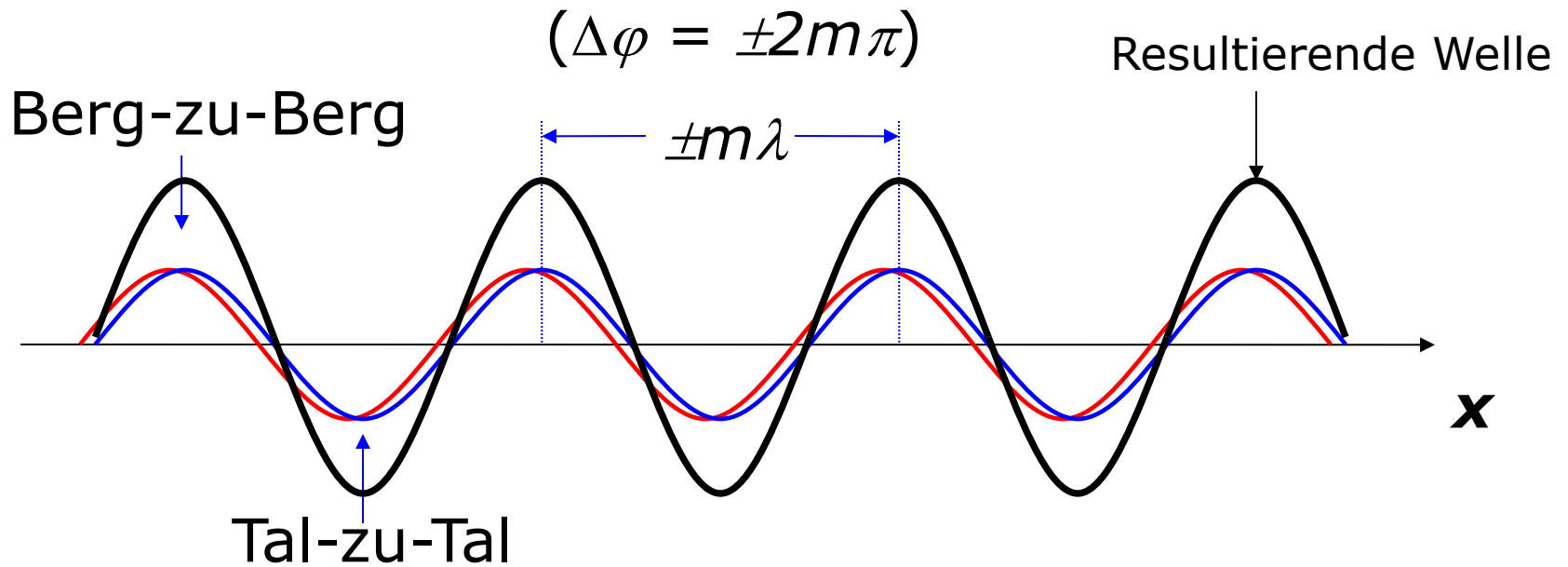
- ① Aufeinandertreffen zweier oder mehrerer Wellensysteme gleicher Wellenlänge mit **ungestörter Überlagerung**
- ② Das resultierende Wellenfeld ergibt sich durch **Superposition** der primären Felder
- ③ Eine Welle wird durch Amplitude, Wellenlänge und Phase charakterisiert. Die Helligkeit (Amplitude) und die Farbe (Wellenlänge) sind wahrnehmbar
- ④ Die Phase ist zunächst nicht wahrnehmbar und wird erst bei der Überlagerung zweier Lichtwellen in der **Interferenzerscheinung** deutlich

Prinzip der linearen Superposition

Resultierende Welle

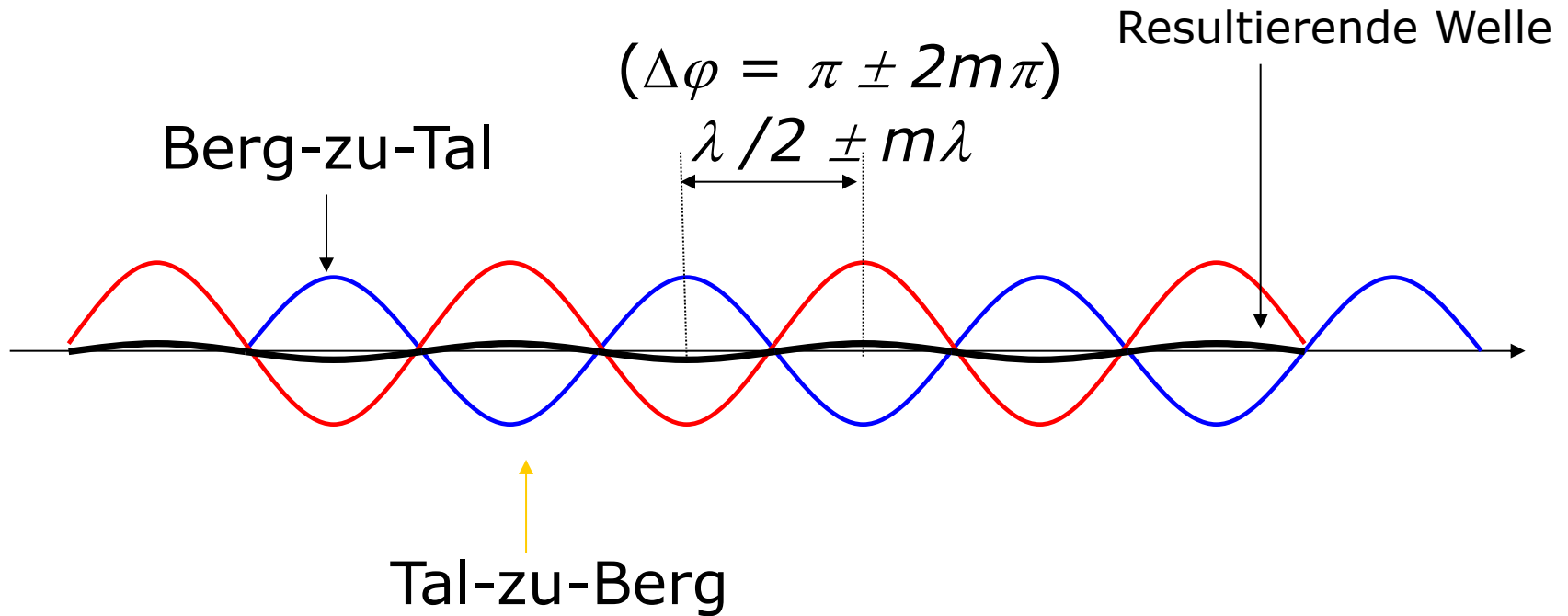


Konstruktive Interferenz



Wellen in Phase \longrightarrow konstruktive Interferenz

Destruktive Interferenz



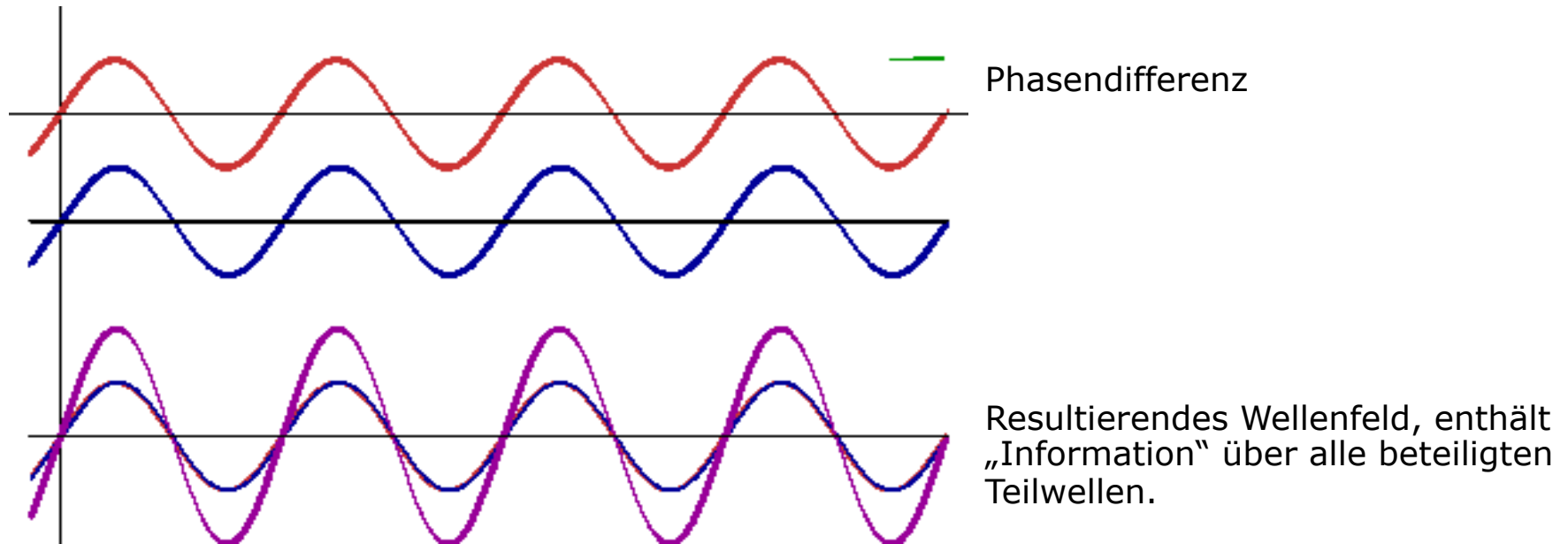
Wellen außer Phase \longrightarrow destruktive Interferenz

Superposition von Wellen

- Mehrere Wellen sollen sich überlagern, ohne sich dabei gegenseitig zu beeinflussen, d.h. sich in ihrer Ausbreitung nicht stören.

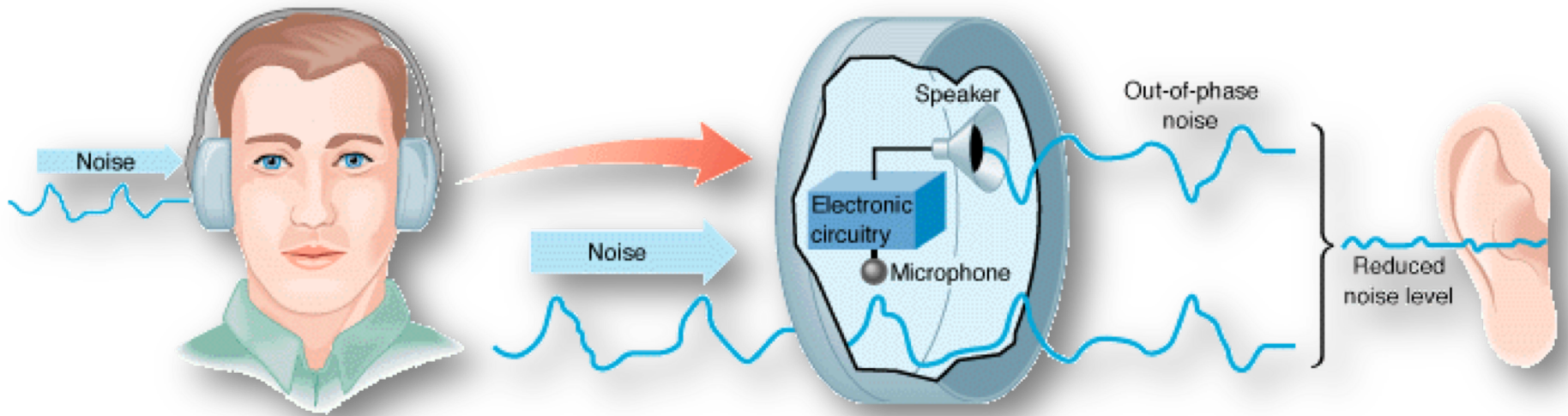
Prinzip der ungestörten Superposition

- D.h. es addieren sich an jedem Ort die Amplituden der einzelnen Wellen.
- Die Wellen sollen die **gleiche Wellenlänge** haben und kohärent sein, d.h. die Wellen besitzen eine feste Phasenbeziehung zueinander.



Überlagerung kohärenter Wellen gleicher Wellenlänge → **Interferenz.**

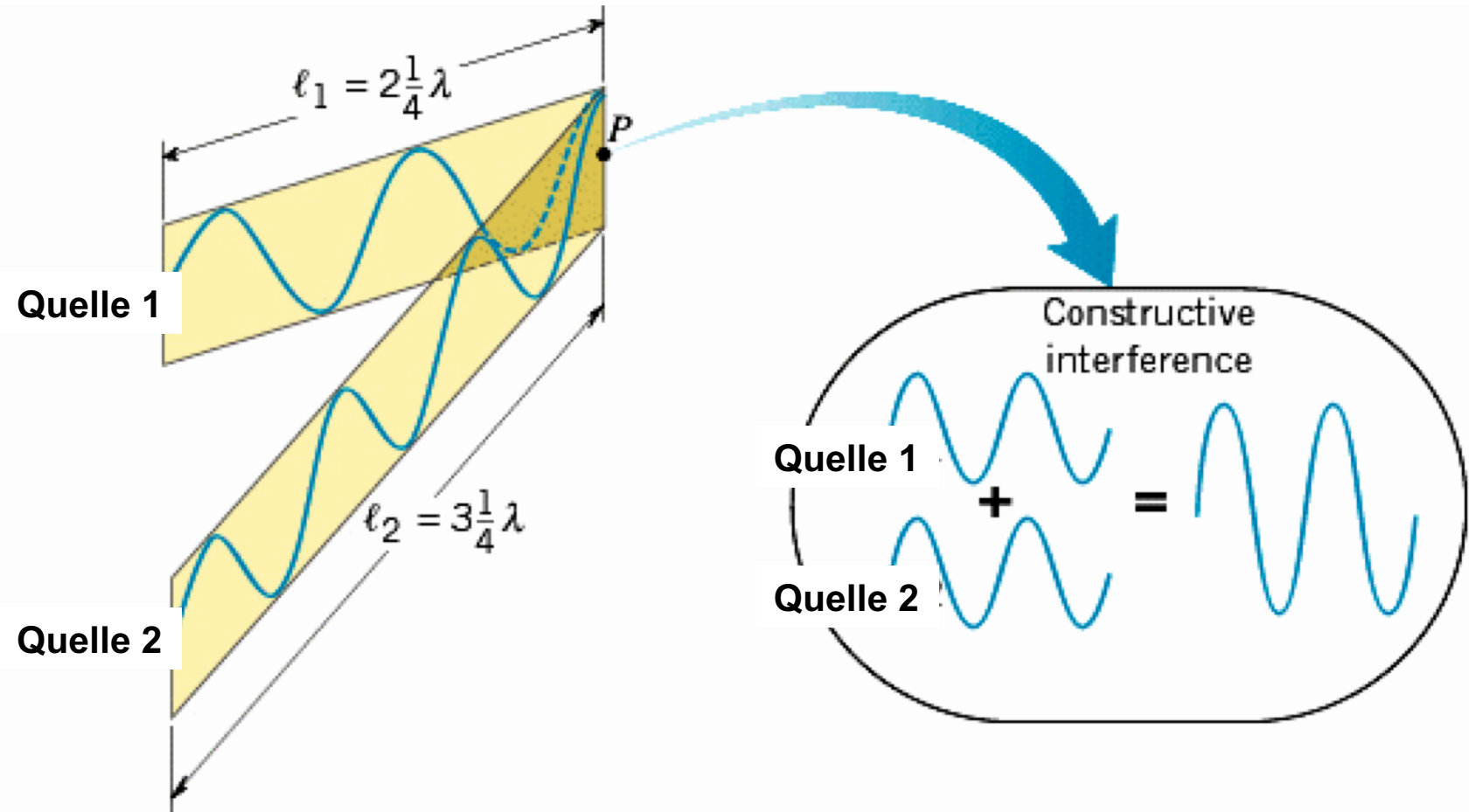
Destruktive Interferenz



Kopfhörer mit aktiver Geräuschreduktion beruhen auf dem Prinzip der destruktiven Interferenz („Anti-Schall“).

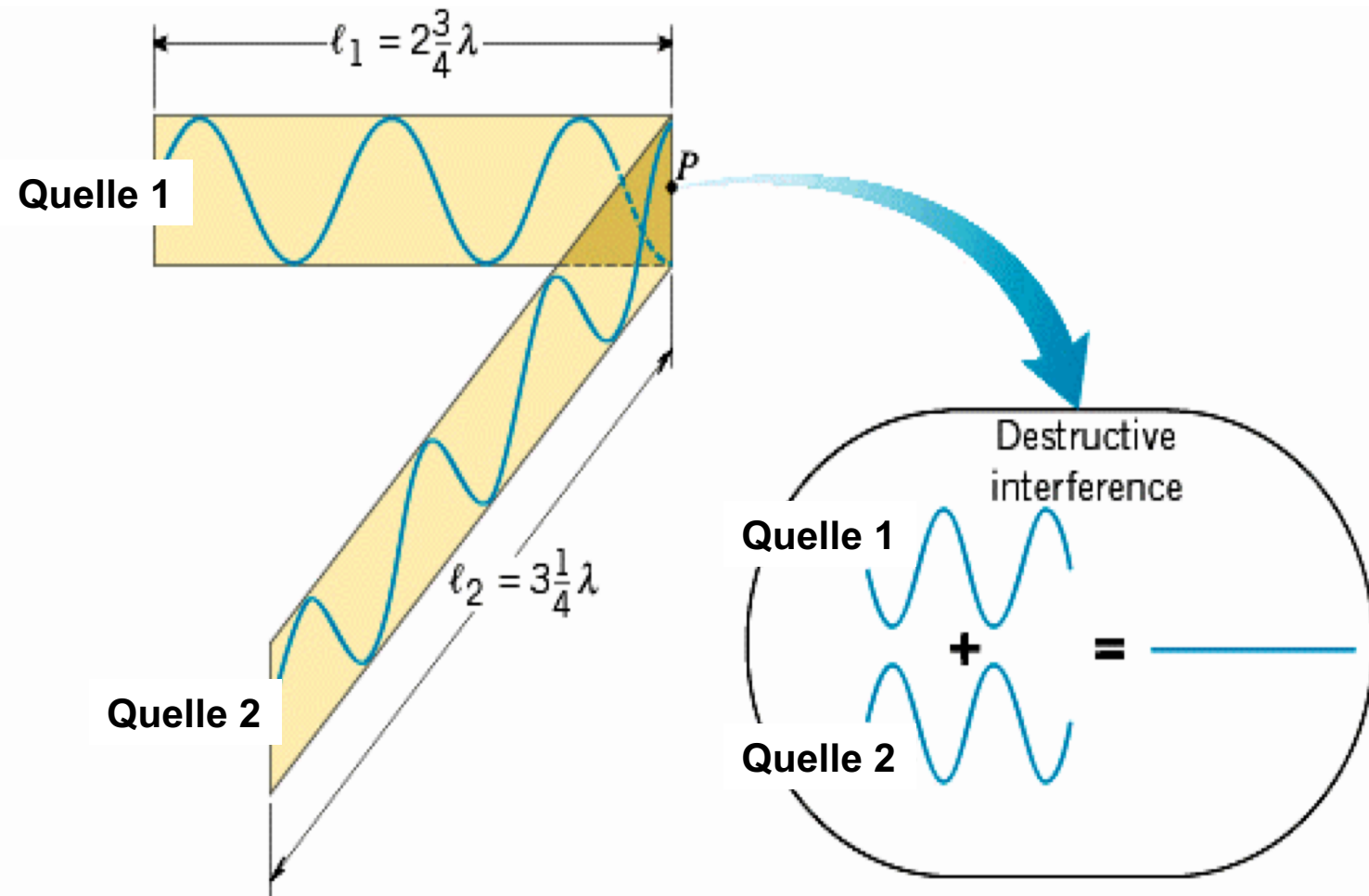
Konstruktive Interferenz

Maxima



Destruktive Interferenz

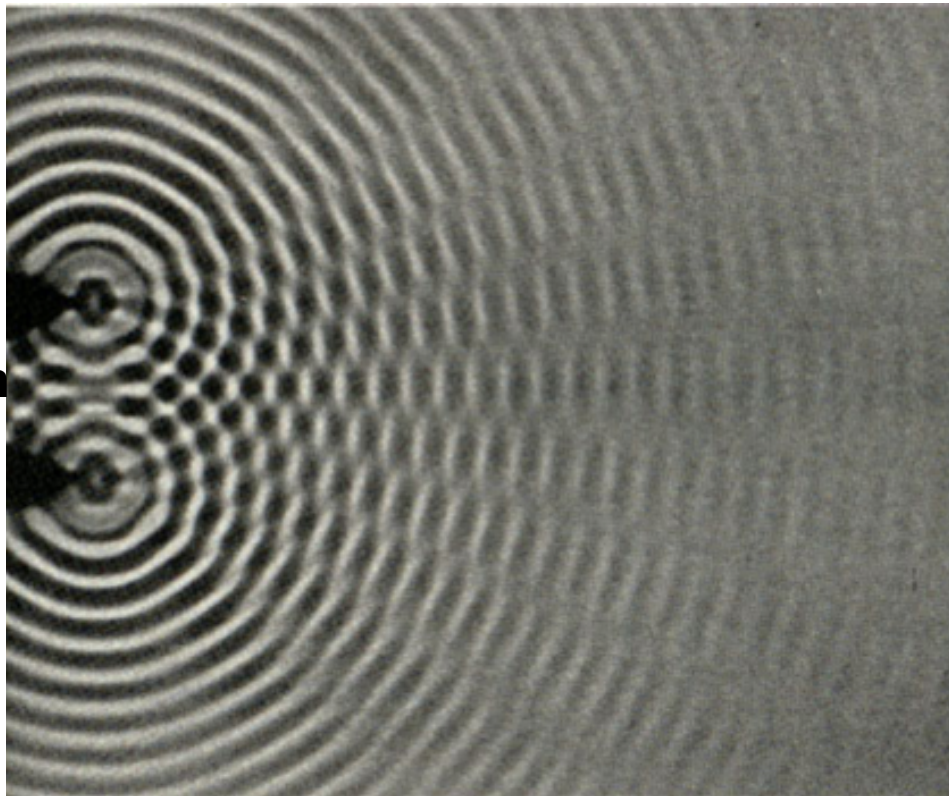
Minima



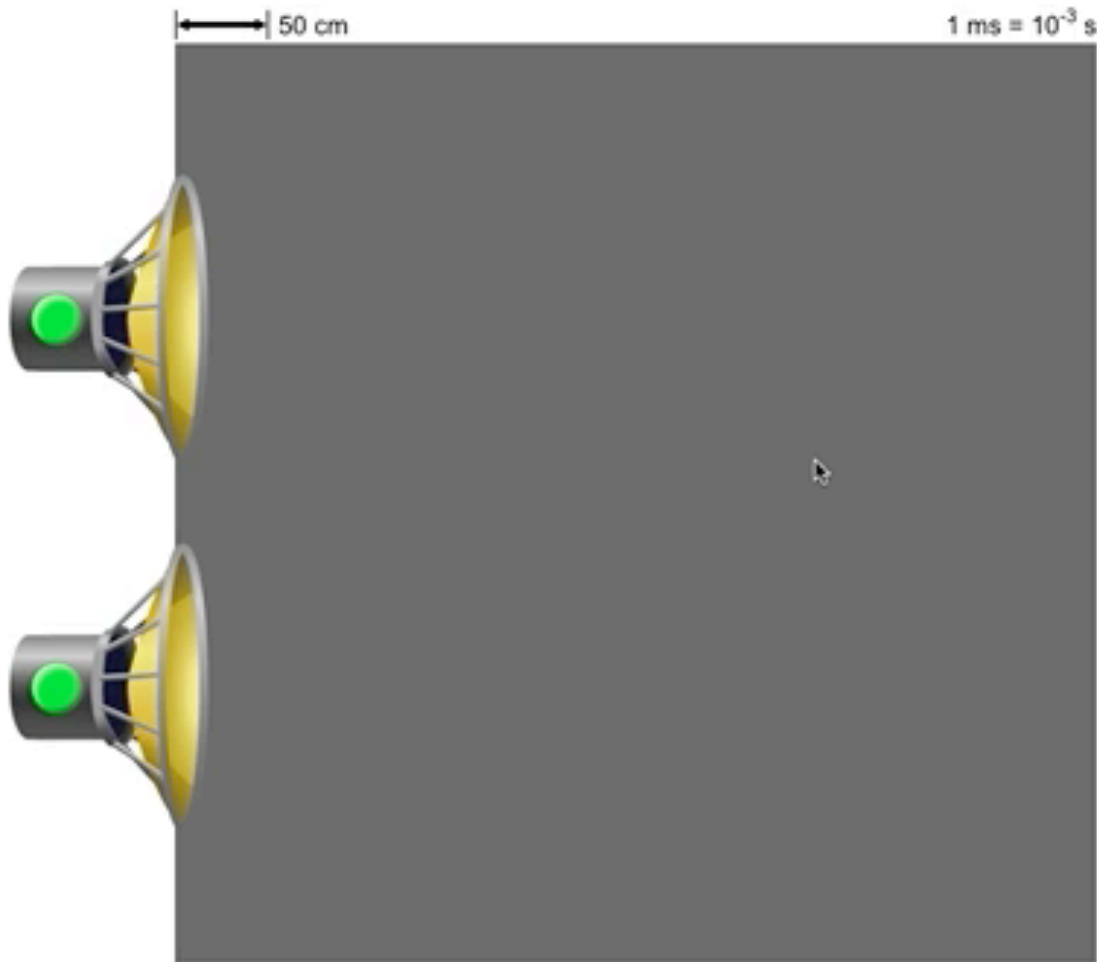
Superpositionsprinzip

Konstruktive & destruktive Überlagerung von Wellen

Bsp.:
Wasserwellen



Superpositionsprinzip



0.00

Frequenz

min max

Amplitude

0 max

Abstand

100 200 cm 400

Grafik

Wellen

Teilchen

Beide

The control panel includes a play button with a timer set to 0.00, a graph icon, and three radio buttons for visualization: 'Wellen' (selected), 'Teilchen', and 'Beide'. It also features three icons for different simulation modes: a curved arrow, a speaker, and a piston.

Beugung

Beugung ist die Ablenkung von Wellen um Hindernisse oder Öffnungs­ränder.

Beugung

Definition:

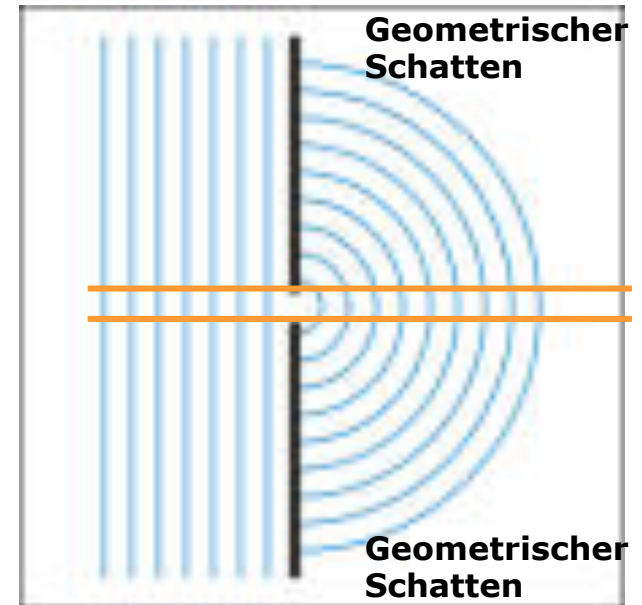
Diejenigen Gebiete des Raums, die eine Welle bei geradliniger Ausbreitung hinter einem Hindernis nicht erreichen kann, heißen **Gebiete des geometrischen Schattens**.

Definition:

Unter **Beugung** versteht man die Wellenausbreitung hinter einem Hindernis, dessen Ausdehnung von gleicher Größenordnung oder kleiner ist als die Wellenlänge.

Ergebnis der Beugung:

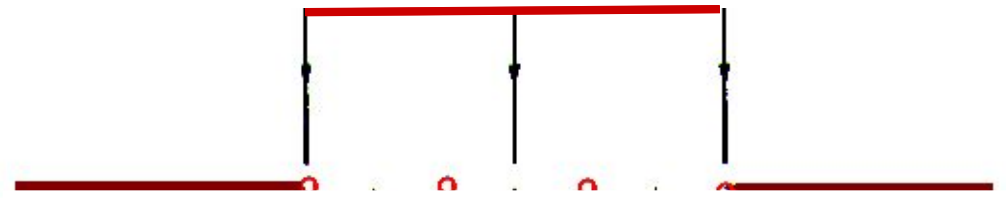
Man beobachtet die Welle auch im Gebiet des geometrischen Schattens!



Beugung

Beugung: Wellenflächen werden durch Hindernisse unterbrochen. Die an den Enden entstehenden Elementarwellen bewirken, dass Wellen auch in *geometrische Schattengebiete* eindringen.

Abweichung von der geradlinigen Ausbreitung in den **geometrischen Schattenraum**.

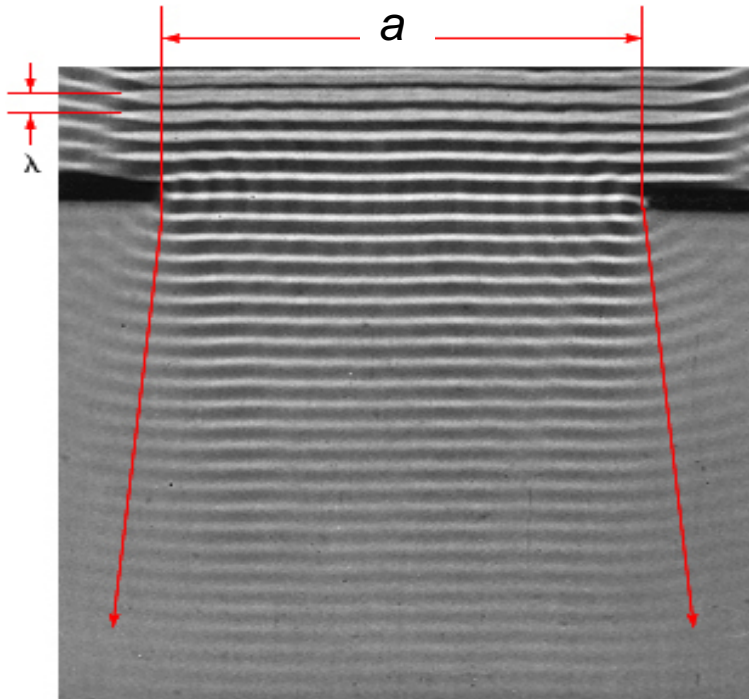


Huygensches Prinzip

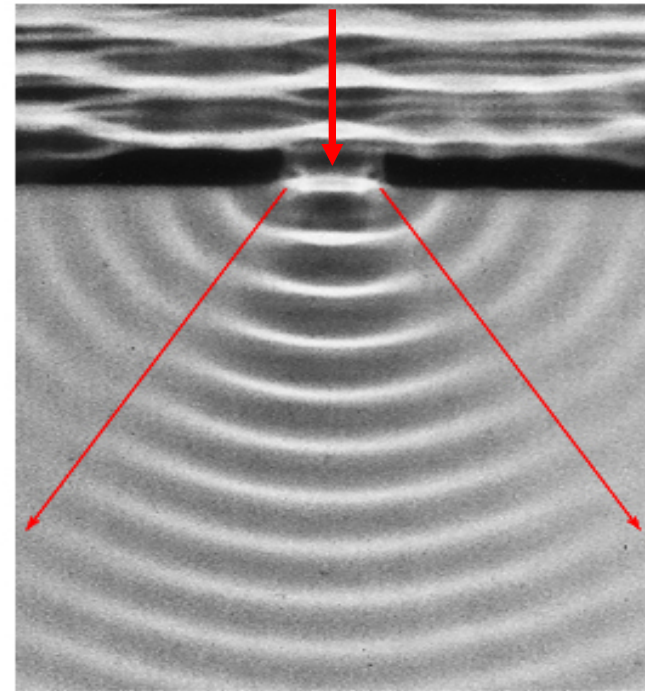
A vertical dotted line consisting of 25 white circular dots arranged in a straight column on the left side of the slide.

Huygensches Prinzip

Wann gibt es Beugung?



$$\lambda \ll a$$



$$\lambda \sim a$$

WICHTIG: Beugungseffekte treten immer auf, aber nur dann merklich, wenn die Größe der Hindernisse oder Öffnungen vergleichbar mit der Dimension der Wellenlänge ist.