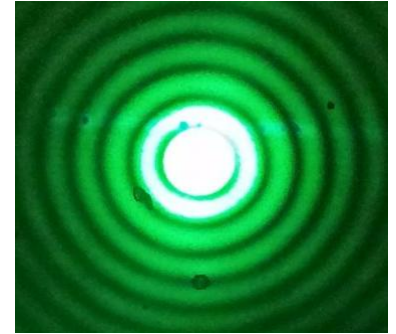


Nun wird der Spalt durch eine Lochblende ersetzt.  
**Notiere deine Beobachtungen.**

## 1.10 Interferenz am Auge

### Interferenz an der Lochblende



Das Interferenzmuster entsteht ähnlich wie beim Einfachspalt, allerdings mit einem Korrekturfaktor. Da die Herleitung davon allerdings extrem kompliziert ist, wird dieser hier nur angegeben.

Minimum 1. Ordnung:



### Interferenz am Auge

*Neben dem Auge treten Interferenzerscheinungen auch bei optischen Instrumenten wie Mikroskopen auf. Daher ist bei Mikroskopen eine beliebig starke Vergrößerung nicht möglich.*

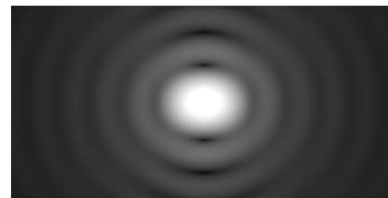
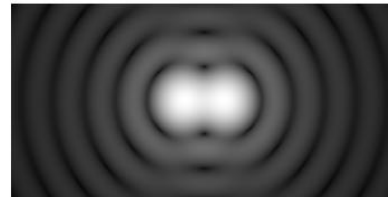
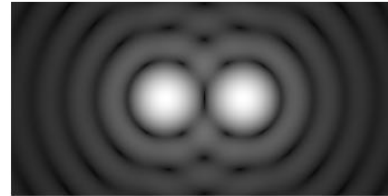
Die Pupille ist physikalisch gesehen nichts anderes als ..... . Daher treten Interferenzerscheinungen auch im Auge auf. Gegenstandspunkte werden also auf der Netzhaut nicht auf ..... , sondern auf ..... abgebildet. Dies begrenzt das ..... des Auges.

*Es braucht ein Entscheidungskriterium, wann zwei Beugungsscheibchen noch getrennt voneinander wahrgenommen werden können. Rayleigh hat dafür ein sehr einfaches und praktikables Kriterium aufgestellt, das auch in der Realität sehr gute Ergebnisse liefert.*

### Auflösungsgrenze nach Rayleigh

Das Rayleigh-Kriterium liefert eine praktikable Bedingung dafür, dass zwei Punkte, die auf Beugungsscheibchen abgebildet werden, noch getrennt voneinander wahrgenommen werden können.

Die Abbildung zeigt jeweils die Beugungsscheibchen zweier Bildpunkte auf der Netzhaut:



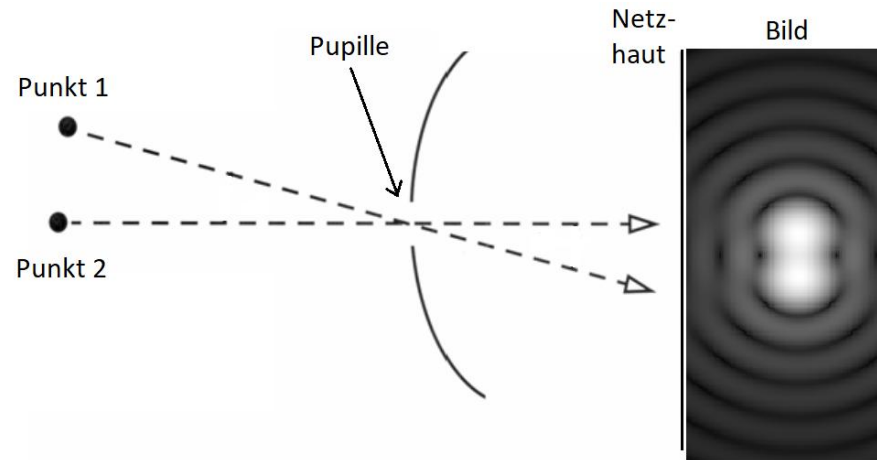
**Rayleigh-Kriterium:** Zwei Punkte sind gerade noch getrennt voneinander wahrnehmbar, wenn das Hauptmaximum des einen Beugungsscheibchens in das 1. Minimum des anderen Beugungsscheibchens fällt. In diesem Fall gilt:

Das Auflösungsvermögen des Auges wird nicht nur von der Sehzellendichte, sondern auch von der Größe der Beugungsscheibchen auf der Netzhaut begrenzt.

**Trage die entsprechenden Größen des menschlichen Auges ein. Berechne mithilfe von Rayleigh, in welchem Abstand zwei Beugungsscheibchen auf der Netzhaut gerade noch getrennt voneinander wahrgenommen werden können. Vergleiche dies mit der Sehzellendichte aus Kapitel 1.7**

### Auflösungsvermögen des Auges

Um die Begrenzung des Auflösungsvermögens des Auges durch Beugungserscheinungen zu bestimmen, betrachten wir zwei Punkte, die gerade noch getrennt voneinander wahrgenommen werden können.



Abstand Pupille – Netzhaut:

Pupillendurchmesser Tageslicht:

Licht mittlerer Wellenlänge:

Reicht das Auflösungsvermögen des Auges nicht aus, kann man zu optischen Geräten greifen. In der 8. Klasse hast du bereits die Lupe und das (Licht-)Mikroskop kennengelernt. Doch auch bei einem Mikroskop sind keine beliebig starken Vergrößerungen möglich. Hierbei spielt wieder das Rayleigh'sche Auflösungskriterium eine Rolle.

LOUIS DE BROGLIE stellte 1924 die Theorie auf, dass Elektronen neben Teilcheneigenschaften auch Welleneigenschaften besitzen. Dies wurde 1927 von THOMSON und DAVISSON unabhängig voneinander experimentell bestätigt. De Broglie, Thomson und Davisson erhielten den Nobelpreis für Physik.

1931 bauten ERNST RUSKA und MAX KNOLL das erste TEM. Ruska erhielt dafür 1986 den Nobelpreis für Physik.

Mit dem Rasterkraftmikroskop lassen sich Bilder mit atomarer Auflösung anfertigen. Es wurde 1985 unter anderem vom deutschen Physiker GERD BINNIG entwickelt. 1986 erhielt er den Nobelpreis für Physik, allerdings für die Entwicklung des Rastertunnelmikroskops.

## **\*Ausblick: Auflösungsvermögen von Mikroskopen**

- **Lichtmikroskop:**

Ein Lichtmikroskop besteht aus zwei Linsen. Da die Linsen gleichzeitig Lochblenden sind, entstehen Beugungsscheibchen, die das Auflösungsvermögen begrenzen. Weil das Rayleigh'sche Auflösungskriterium von der Wellenlänge  $\lambda$  des verwendeten Lichts abhängt und das Lichtmikroskop nur mit sichtbarem Licht funktioniert, lassen sich nur Punkte getrennt voneinander betrachten, die einen Abstand von mindestens 200 nm haben. Damit ist es beispielsweise möglich, Zellen zu untersuchen. Einzelne Atome oder Moleküle hingegen können nicht sichtbar gemacht werden.

- **Materiewellen:**

Eine Verbesserung der Auflösung kann nur erreicht werden, wenn die verwendete Wellenlänge kleiner ist als die des sichtbaren Lichts. Hier kommt die Quantenphysik ins Spiel. Quantenobjekte (z.B. Elektronen) verhalten sich bei ihrer Ausbreitung wie Wellen und bei der Wechselwirkung mit Materie wie Teilchen. Damit besitzt auch jedes Elektron, das sich bewegt, eine Wellenlänge. Diese ist umso kleiner, je größer die Geschwindigkeit des Elektrons ist. Dabei werden Wellenlängen erreicht, die mehrere Größenordnungen kleiner sind als die des sichtbaren Lichts.

- **Elektronenmikroskop (TEM):**

Der prinzipielle Aufbau eines Transmissionselektronenmikroskops (TEM) ist identisch mit dem Aufbau eines Lichtmikroskops. Die Glaslinsen sind durch magnetische Linsen ersetzt (stromdurchflossene Spulen erzeugen ein inhomogenes Magnetfeld, am Rand stärker als in der Mitte), im Mikroskop ist Vakuum und das Objekt ist in eine ultradünne Scheibe geschnitten (10-100nm). Da die Abbildungsqualität von magnetischen Linsen schlechter ist als von Glaslinsen, begrenzt dies aktuell das Auflösungsvermögen. Derzeit liegt die Grenze bei 0,1 nm, was etwa einem Atomdurchmesser entspricht.

- **Rasterkraftmikroskop:**

Mit einer sehr scharfen Spitze (im Idealfall ein Atom) wird die Probenoberfläche abgetastet. Zwischen Spitze und Probe wirken Kräfte (z.B. Van-der-Waals-Kräfte), die umso kleiner sind, je größer der Abstand zwischen Spitze und Probe ist. Die Kräfte sorgen für eine Auslenkung der Spitze, welche z.B. über einen Laser detektiert werden kann. Ein Computer setzt diese Informationen zu einem Abbild der Oberfläche zusammen.

