

# Wellen-Teilchen-Dualismus in der Mikrowelt



# Die wichtigste Entdeckung des 19. Jahrhunderts: Licht ist eine elektromagnetische Welle

Man konnte in vielen optischen Experimenten zeigen, dass sich Licht analog zu mechanischen Wellen verhält

→ **Stärkung des „Mechanischen Weltbildes“ der klassischen Physik**

## **Schlüsselbeobachtungen für das Wellenbild**

- Beugungsscheibchen der Sterne in Teleskopen
- Abhängigkeit des Auflösungsvermögen von Lichtmikroskopen von der Wellenlänge
- Lichtbrechung und Reflexion analog Wasserwellen
- Interferenzerscheinungen an dünnen Schichten (Ölfleckeffect)
- Aberration des Lichtes (Bradley, Relativbewegung zum „Äther“)
- Endlichkeit der Lichtgeschwindigkeit, Verringerung der Lichtgeschwindigkeit in Medien
- Newtonsche Ringe, Interferenz am Doppelspalt (Thomas Young (1773-1829))
- Doppelbrechung des Lichts an Kalkspatkristallen – Licht ist eine Transversalwelle

**Problem:** Was ist das Trägermedium der Lichtwellen und was sind seine Eigenschaften

## Schlüsselbeobachtungen für das Teilchenbild (nicht nur Licht)

- Unter Vernachlässigung von Beugungs- und Interferenzeffekten lässt sich die Ausbreitung von Licht mittels „Lichtstrahlen“ beschreiben („Strahlenoptik“)
- Materie ist „körnig“ – Avogadro'sches Gesetz (in gleichen Volumina befinden sich unabhängig von der Stoffart bei gleichem Druck und gleicher Temperatur gleich viele Gaspartikel)
- Elektrische Ladungen sind „körnig“ – Elementarladung (Robert Millikan)
- Elektrodynamisch lässt sich einem Elektron ein „Radius“ zuordnen
- Atomkerne verhalten sich wie punktförmige Streuzentren (Ernest Rutherford)
- Der Photoeffekt lässt sich nur im Teilchenbild erklären
- Die Compton-Streuung lässt sich nicht mit dem Wellenbild, jedoch mit dem Teilchenbild (elastischer Stoß) erklären

Vom theoretischen Standpunkt aus lässt sich die gesamte klassische Thermodynamik auf die Bewegung einer riesigen Zahl von „Teilchen“ zurückführen (Ludwig Boltzmann)

Das nur in der Mikrophysik vorkommende Phänomen, dass je nach dem, was untersucht wird, Quantenobjekte Wellen- oder Teilcheneigenschaften zeigen, bezeichnet man als

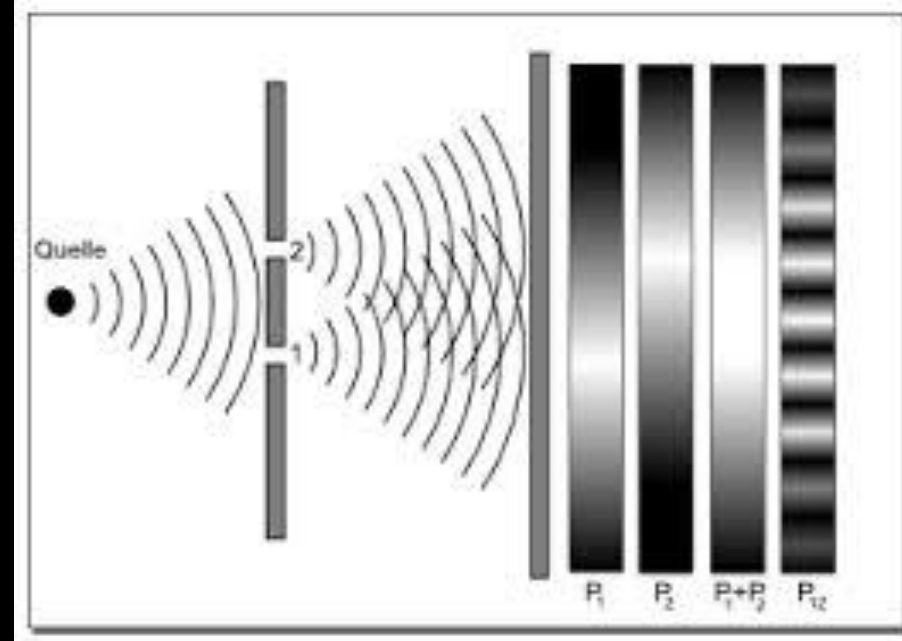
**Welle-Teilchen-Dualismus**



# Das Doppelspaltexperiment

Zum ersten Mal 1801 durchgeführt von Thomas Young (1773-1829)

**Problem:** Interferenz kann nur auftreten, wenn von beiden Spalten interferenzfähige (kohärente) Wellenzüge ausgehen.

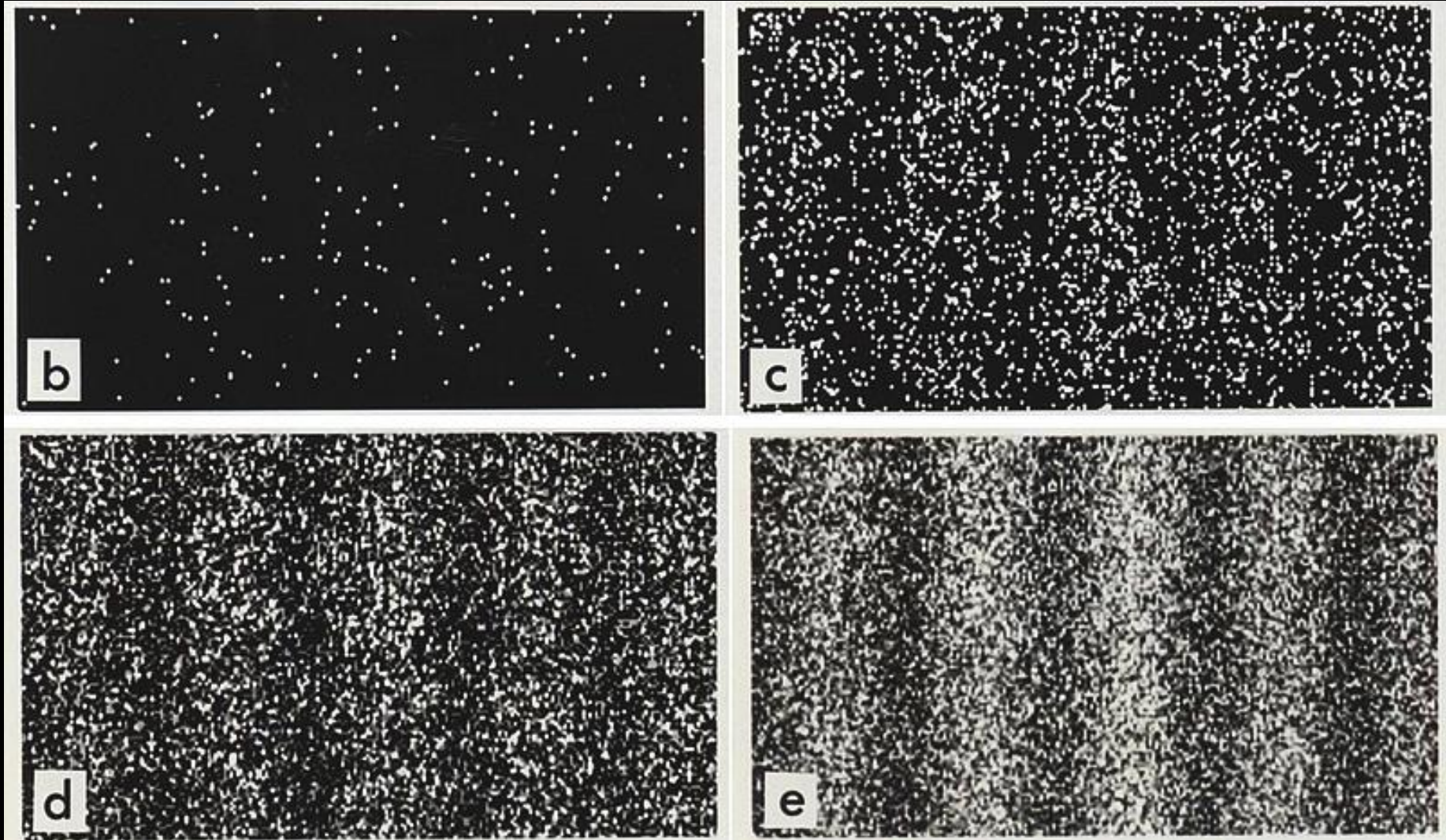


- Man kann aber die Lichtintensität soweit erniedrigen, dass sich in einem bestimmten Zeitraum immer nur ein Photon in der Experimentieranordnung befindet. Der Ort, auf dem es auf dem Schirm aufschlägt, ist „zufällig“ und kann exakt („Aufblitzen“) bestimmt werden.
- Werden über einen sehr langen Zeitraum die Orte des „Aufblitzens“ auf dem Schirm registriert, erhält man aber eine Art klassisches Interferenzmuster.

**Deutung:** Das Photon muss sich irgendwie vor dem Doppelspalt in zwei „halbe“ Photonen aufspalten, damit sie interferieren können. Danach „vereinigen“ sie sich wieder und schlagen als einzelnes Photon auf dem Schirm auf.

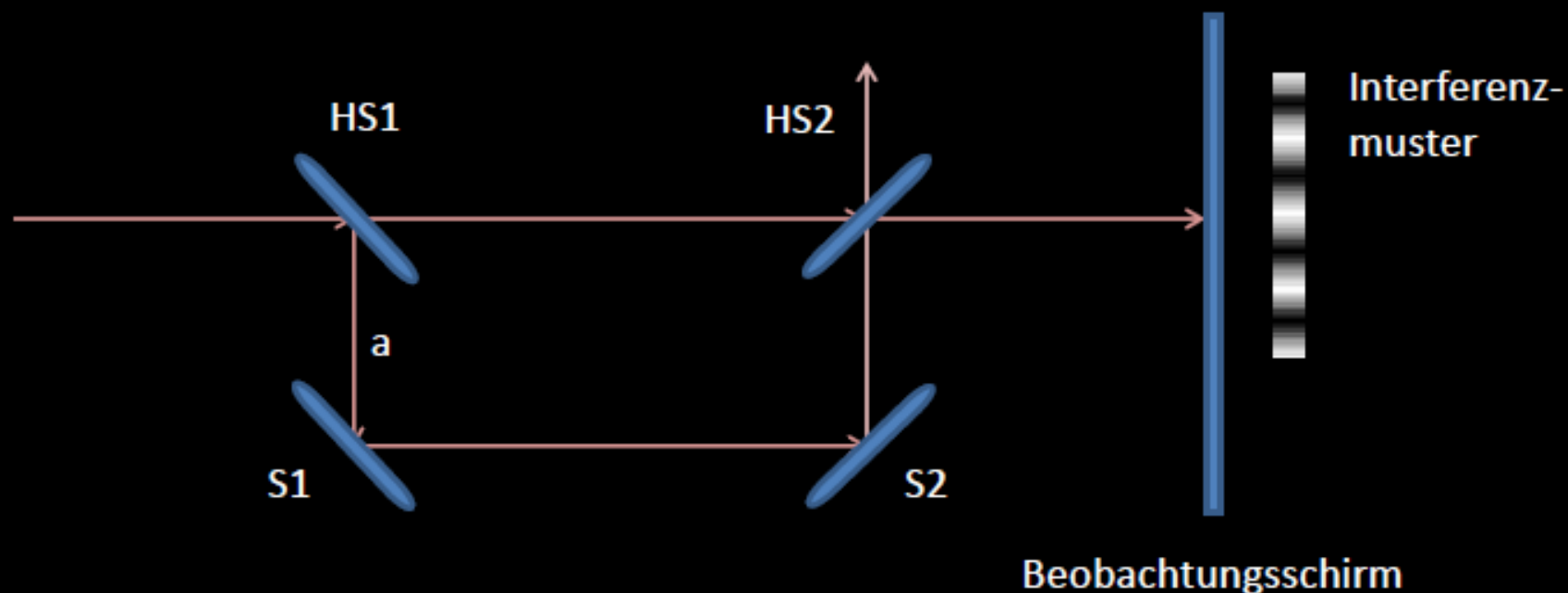
→ **Experimentelle Überprüfung:** Dirac'scher Spiegelversuch

# Entstehung des Interferenzmusters aus unabhängigen Einzelteilchen



Überprüfung, ob „Photonen“ nun Teilchen oder Wellen sind ...

## Der Dirac'sche Spiegelversuch

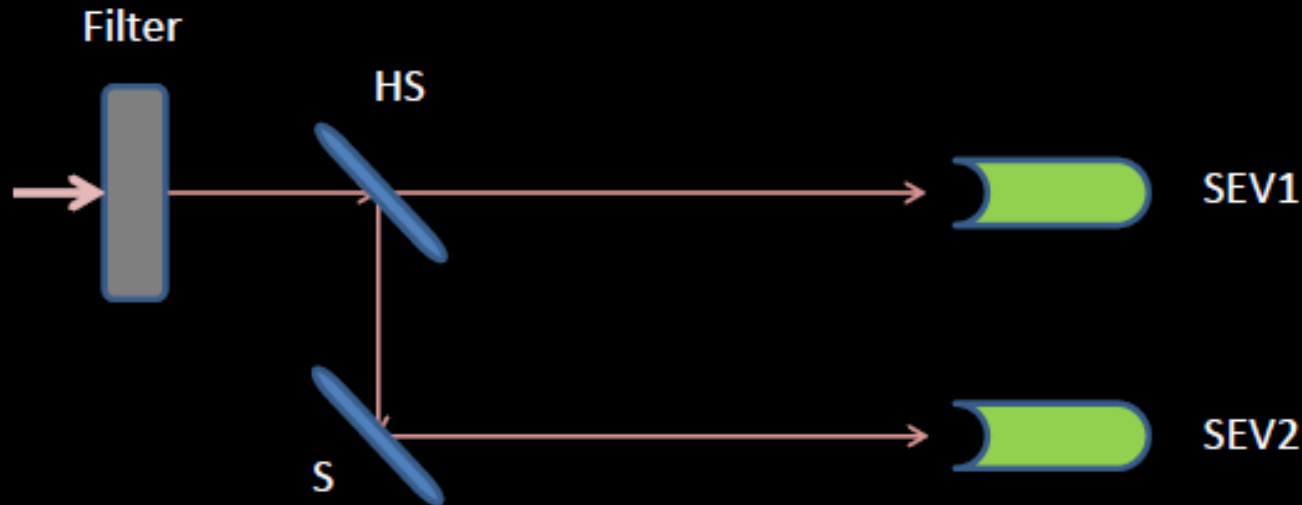


HS = halbdurchlässiger Spiegel

S = Spiegel

a = Gangunterschied

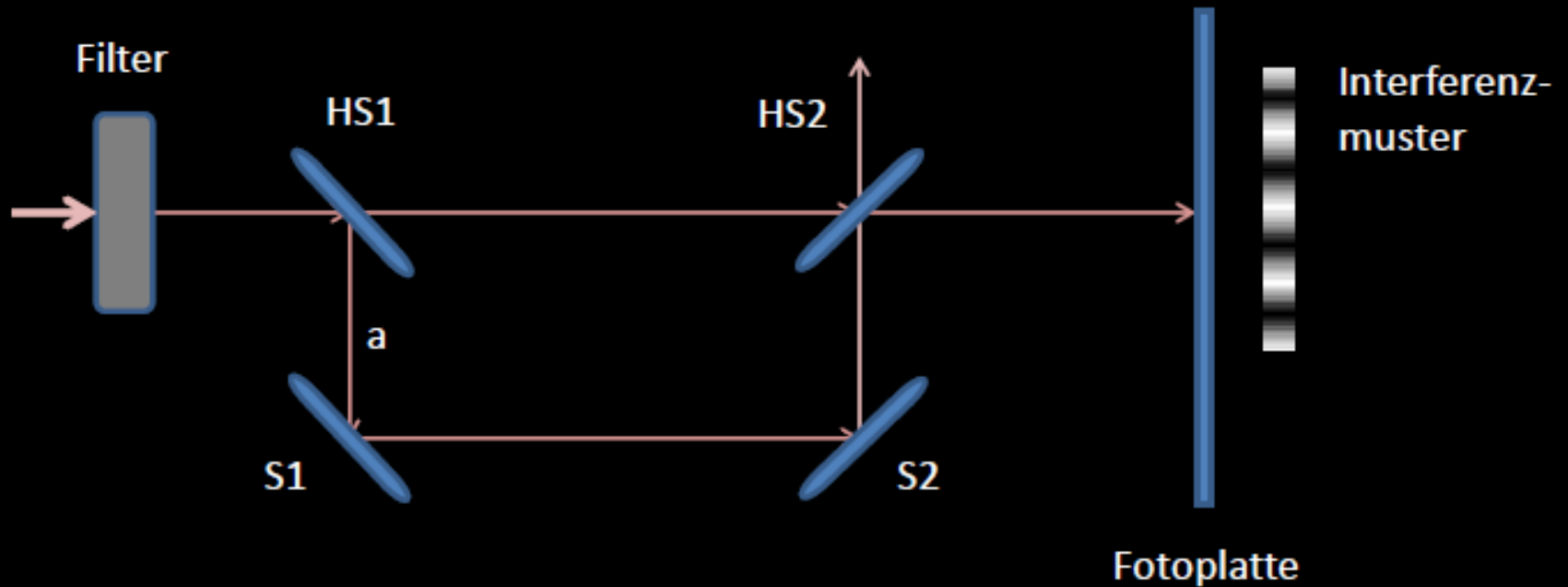
Intensität soweit verringern, daß immer nur ein Photon alle paar Sekunden den Interferometer durchlaufen kann



**Erwartung:** Ein Photon teilt sich am halbdurchlässigen Spiegel HS und man beobachtet an jedem SEV das Eintreffen eines „halben“ Photons

**Resultat:** Es spricht pro Photon entweder nur der eine oder der andere SEV an, wobei jeweils immer ein „ganzes“ Photon registriert wird

Intensität soweit verringern, daß immer nur ein Photon alle paar Sekunden den Interferometer durchlaufen kann



HS = halbdurchlässiger Spiegel

S = Spiegel

a = Gangunterschied

**Folgerung:** Es ist prinzipiell unmöglich, Interferenzen zu beobachten und gleichzeitig festzustellen, welchen Weg das Photon genommen hat.

Ob Licht als Welle oder als Teilchen wahrgenommen wird, hängt entscheidend von den Versuchsumständen ab.