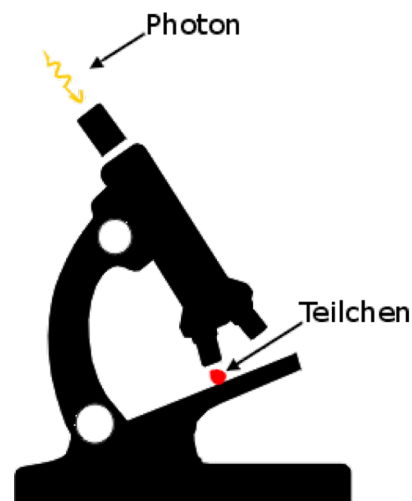
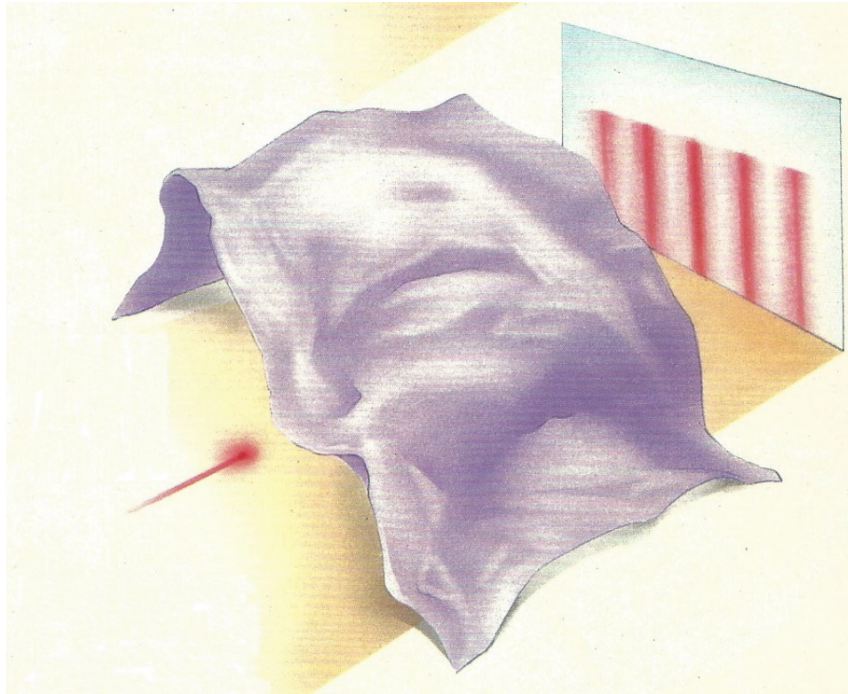


Beobachtung von Mikroobjekten

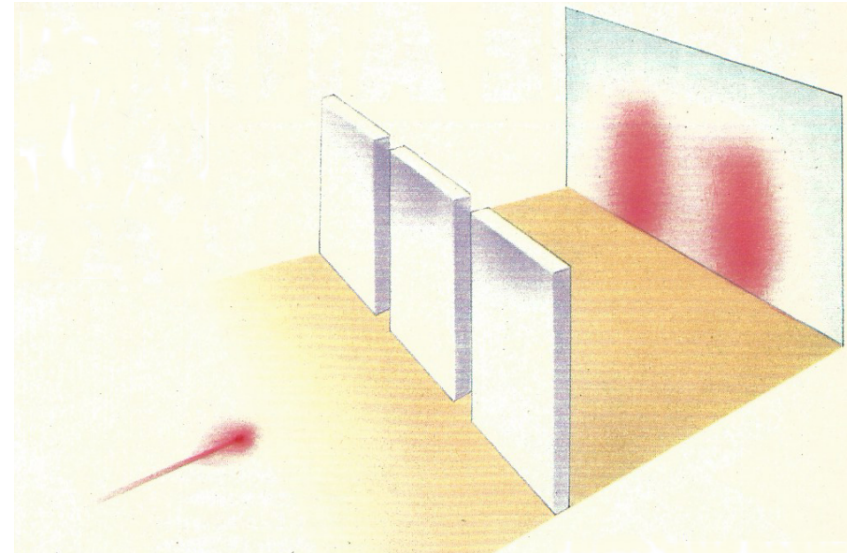


Will man konkrete Aussagen zu einzelnen Mikroobjekten (Quanten) gewinnen muss man diese beobachten.



Unbeobachtet verhalten Sie sich wie Wellen

► *Interferenz*



Beobachte man Mikroobjekte verhalten sie sich wie Teilchen

► *klassische Auftrefforte*

Messung an Mikroobjekten:

Jede Messung bedeutet einen Eingriff in die Versuchsanordnung.

Die Mikroobjekte werden „beobachtet“.

Die Messung beeinflusst (verfälscht) das Beobachtungsergebnis.

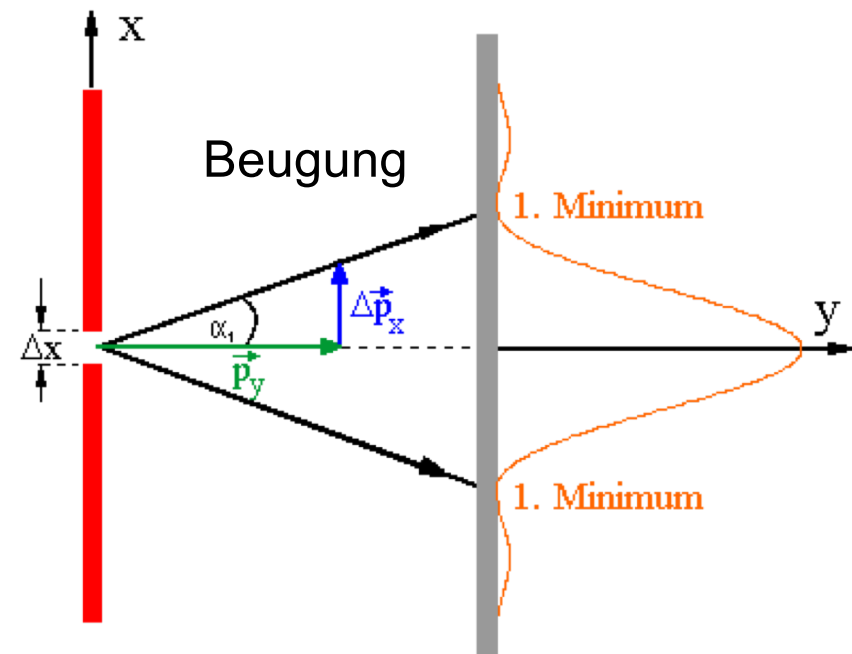
Untersuchungen an einem Einzelspalt:

Der **Ort** des Quants wird durch die Spaltöffnung bestimmt.

Seine Ortsgenauigkeit entspricht der Breite Δx des Spaltes

Die Bewegung des Quants wird durch den **Impuls** in Bewegungsrichtung p_y beschrieben

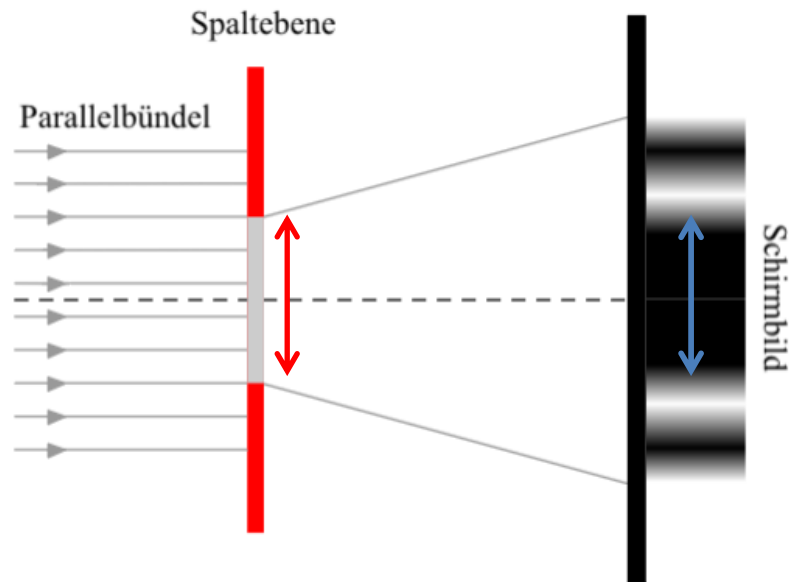
Die seitliche Ablenkung des Quants beschreibt die Impulsänderung Δp_x .



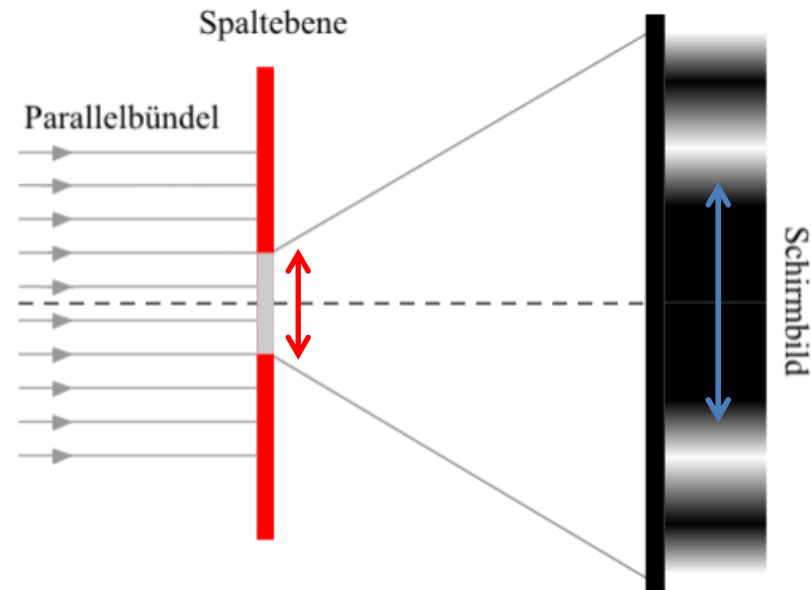
... um Ort und Impuls genauer zu bestimmen kann die Spaltbreite verringert werden...

Beobachtung:

breiter Spalt



schmaler Spalt



- ▶ Je schmaler der Spalt (genauerer der Ort x), desto ungenauer der Impuls p (seitliche Ablenkung).

Werner Heisenberg (Nobelpreis 1932)

Der Ort \mathbf{x} und der Impuls \mathbf{p} eines Mikroobjektes (Quants) können nicht gleichzeitig genau bestimmt werden.



► Heisenbergsche Unschärferelation
(Unbestimmtheitsrelation)

Für die Ortsabweichung Δx bzw. Impulsabweichung Δp gilt:

$$\Delta x \cdot \Delta p \geq \frac{h}{4 \cdot \pi} \approx h$$

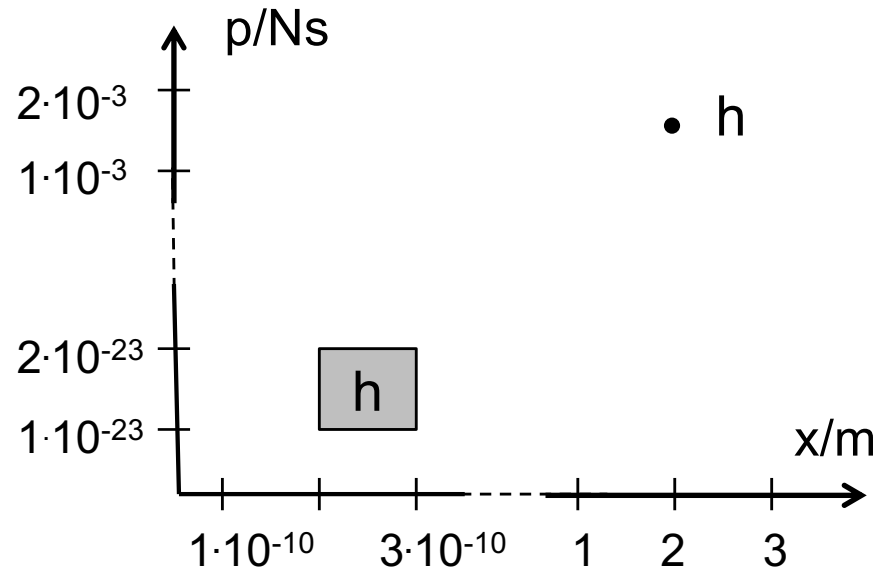
(Orts-Impuls-Unschärfe)

Im Mikrokosmos ist keine Vorausberechenbarkeit möglich.

Für Einzelprozesse ist das klassische kausale Prinzip nicht anwendbar.

Es können nur Wahrscheinlichkeitsaussagen getroffen werden.

Unschärferelation im Mikro- und Makrokosmos:



Die Fläche $\Delta p \cdot \Delta x$ entspricht der Unschärfe

Die Unschärferelation hat in der klassischen Physik (Makrokosmos) keine Bedeutung.

Mit der Gleichung $p = \frac{h \cdot f}{c}$ für Lichtquanten kann eine Energie-Zeit-Unschärfe abgeleitet werden:

$$\Delta t \cdot \Delta W \geq \frac{h}{4\pi} \approx h$$

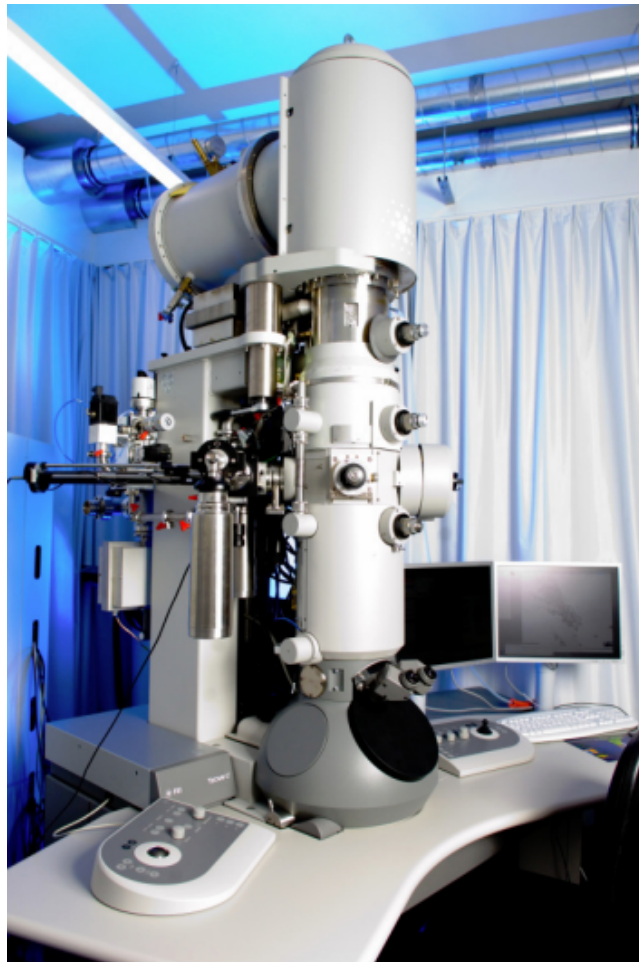
Aus $W = h \cdot f$ ergibt sich:

Jeder Lichtquant besitzt durch die Zeitmessung Δt bestimmte Energie- und Frequenzunschärfe Δf .

Die Grenzen der Beobachtbarkeit wird durch die Wellenlängen des „beobachtenden Lichtes“ bestimmt und liegt bei $\lambda/2$.

Lichtmikroskope: - maximal 1500-fache Vergrößerung
- Auflösung 200nm

Feinere Strukturen können mit kürzen Wellenlängen beobachtet werden.

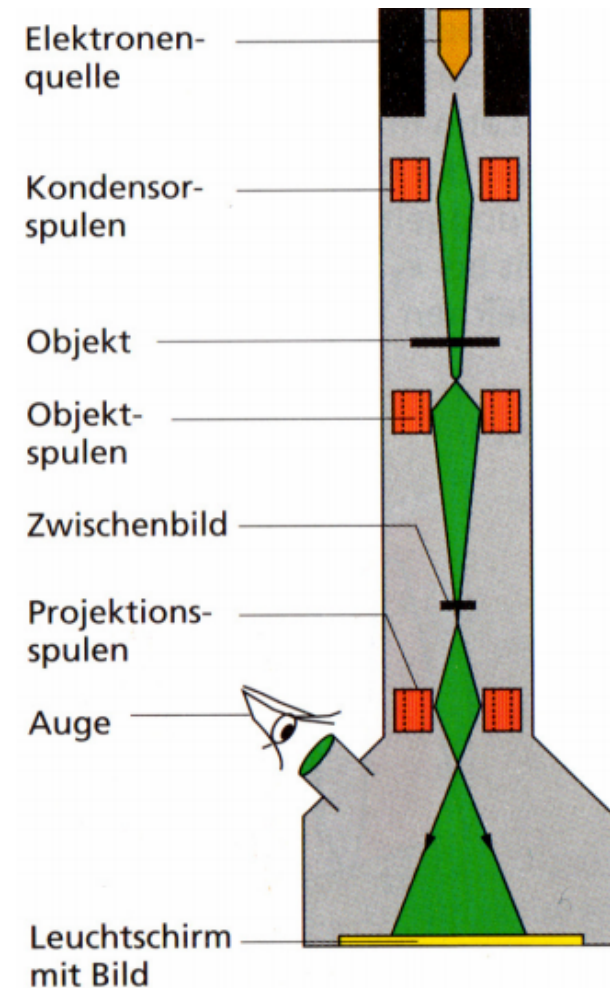


Elektronen- mikroskop

„Beobachtung“
erfolgt durch
Materiewellen
von Elektronen

Die Fokussierung
erfolgt mit
magnetischen
Linsen

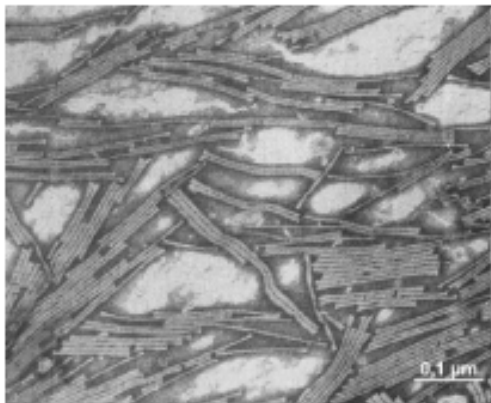
**Auflösungen
bis 0,1nm !**



Arten von Elektronenmikroskopen:

Transmissions- Elektronenmikroskop **TEM**

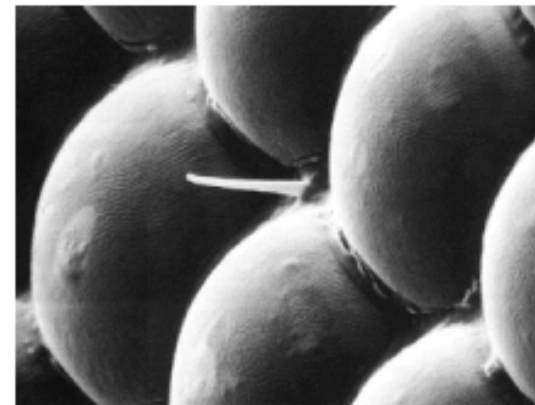
- Durchstrahlung der Proben
- Herstellung extrem dünner Proben
- Verwendung nur im Vakuum
- keine lebenden Strukturen untersuchbar
- Strahlenschäden an der Probe
- sehr gute Auflösung (0,1nm)
- Vergrößerung in weiten Bereichen veränderbar
- hohe Tiefenschärfe



Tabakvirus

Raster- Elektronenmikroskop **REM**

- Elektronenstrahl tastet das Objekt ab
- Sekundärelektronen erzeugen Bild
- Bilddarstellung aus Helligkeitswerten
- geeignet zur Beobachtung massiver Proben
- Proben müssen elektrisch leitend gemacht werden (Metallüberzug)
- Auflösung bis 1nm
- 3D-Darstellung möglich



Facettenauge einer Essigfliege (5000x)