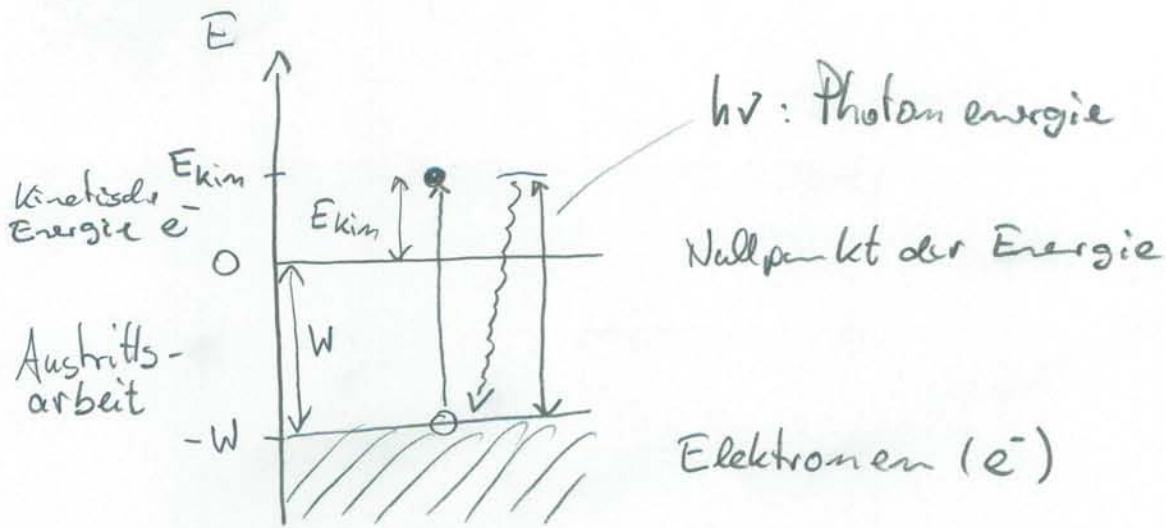


Fotoeffekt



Energie des Photons

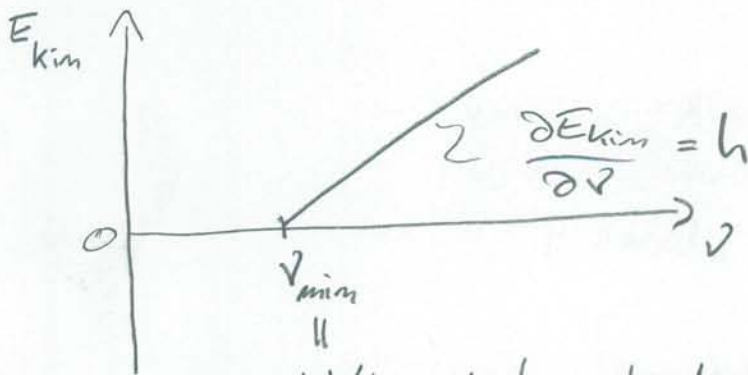
$$E_\nu = h\nu$$

mit $h = 6.6 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$

beim Fotoeffekt

$$h\nu = W + E_{kin}$$

mit $E_{kin} = eU_{max}$

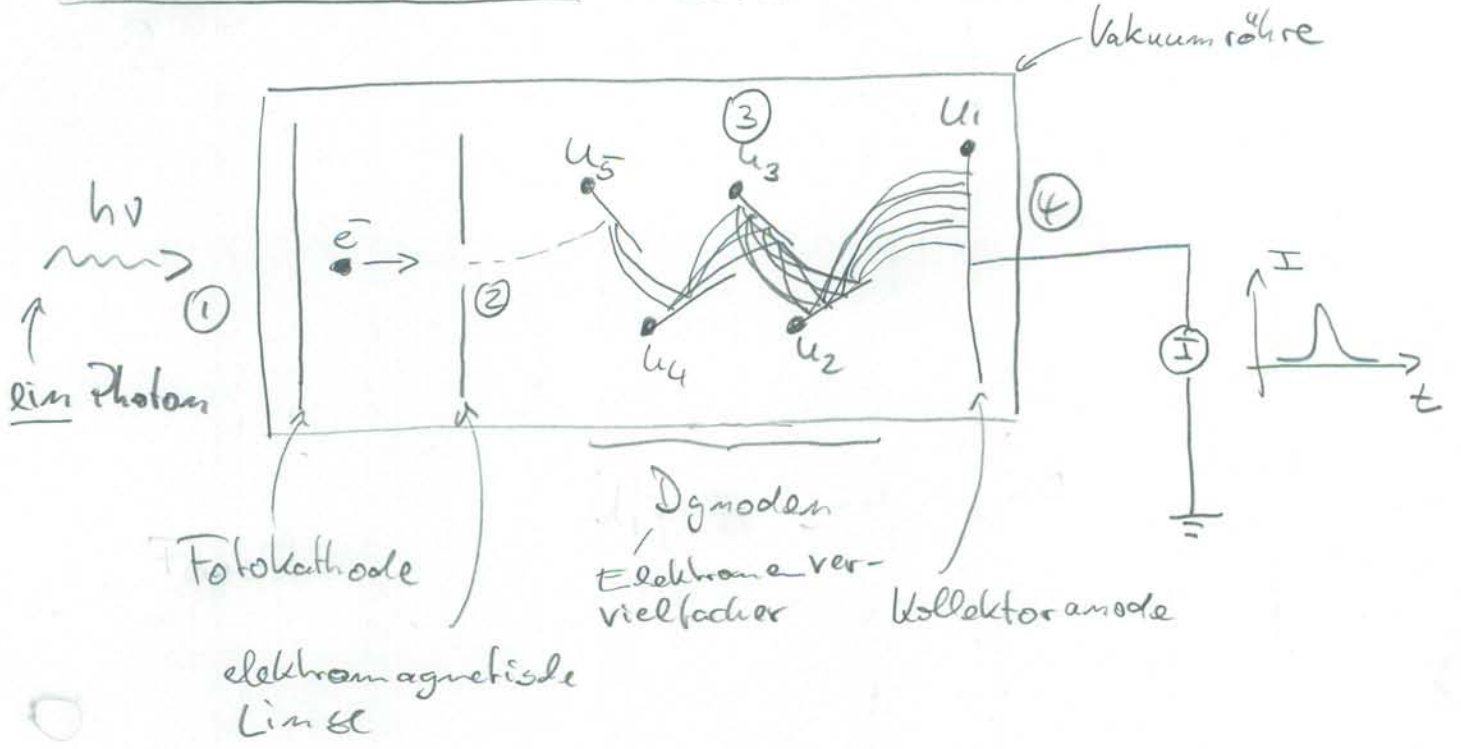


bestimmt Austrittsarbeit
 \Rightarrow charakteristisch für spez. Metalle

Frage:

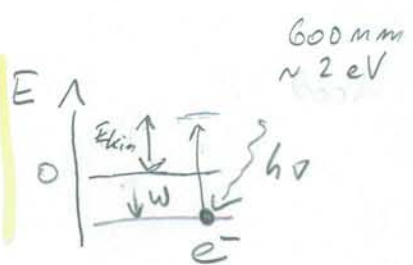
Wie würden Sie ein Experiment zum Fotoeffekt durchführen, bei dem nur ein einzelnes e^- aus der Oberfläche des Metalls ausgelöst und detektiert werden soll?

Der Photonen-Zähler : Detektion einzelner Photonen (1)



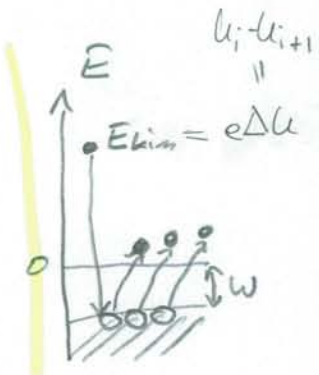
Funktionsweise:

- ① Photon erzeugt e^- durch **Fotoeffekt**
- ② e^- wird auf Dynoden fokussiert mit Elektronenlinse
- ③ positive Spannung $U_5 > 0$ beschleunigt e^- auf $E_{kin} = eU_5 \gg W$



Zeige Photonen-Zähler Exp.

- W : Austrittsarbeit der Dynode
- Erzeugung von **Sekundärelektronen**
- Kaskade von Dynoden mit $U_1 > U_2 > U_3 > U_4 > U_5$ vervielfacht Elektronenzahl auf messbares Niveau



④ Auffangen der Sekundärelektronen in Kollektoranode und Messung des Strompulses erzeugt durch ein einzelnes Photon.

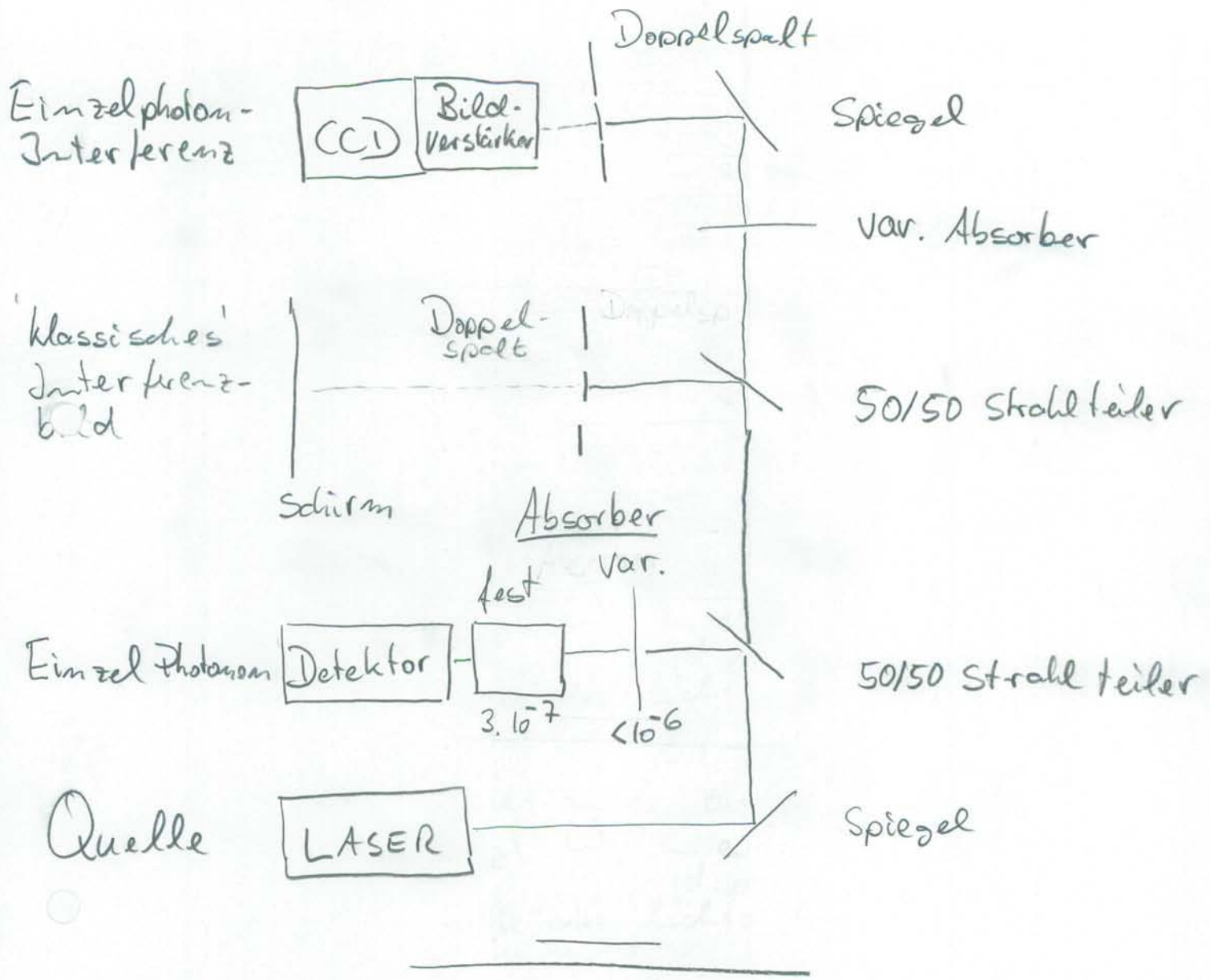
→ Anwendungen: **Photodetektoren, äquivalente Realisierung in Halbleiter elektronik**

Interferenz einzelner Photonen am Doppelspalt

(2)

- Wellen- und Teilchen eigenschaften von Photonen widersprechen sich nicht.
- Im geeigneten Experimenten kann man beide Eigenschaften gleichzeitig beobachten.
- Hier Nachweis:
 - der Interferenz von vielen Photonen am Doppelspalt
 - einzelner Photonen mit Photonenzähler
 - Interferenz einzelner Photonen am Doppelspalt
- Wichtige Aspekte des Aufbaus
 - Lichtquelle: LASER mit $P = 5 \text{ mW}$
 $\lambda \sim 500 \text{ nm}$
 $\Rightarrow 1,2 \times 10^{16}$ Photonen pro sec.
 - Absorber $\Rightarrow 10^{-12}$ Absorptionskoeffizient
 - Doppelspalt
 - Ortsauflösender Einzelphotonendetektor
(Bildverstärker + CCD-Kamera)

Aufbau Vorlesungsexperiment: Interferenz einzelner Photonen am Doppelspalt



Bisher:

- Licht zeigt Welleneigenschaften.
- Die Energie des Lichts ist quantisiert.

Neu:

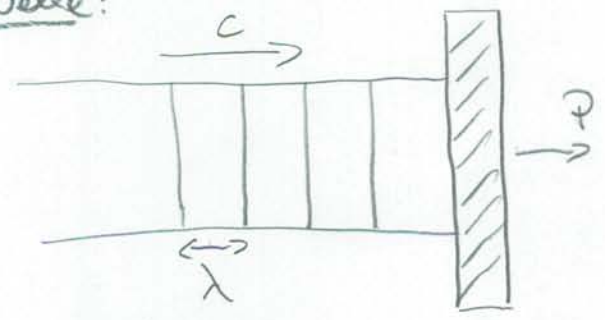
- Trägt Licht auch einen Impuls?

Kann Licht einen Spiegel auf den es trifft in Bewegung versetzen?	Wird beim Stoß zwischen Licht und Spiegel Impuls übertragen?
---	--

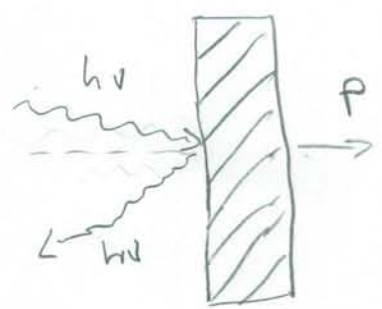
Strahlungsdruck und der Impuls des Photons

- Impulsübertrag durch Absorption oder Reflexion von elektromagnetischer Strahlung an einem Körper, verursacht sog. Strahlungsdruck.

Welle:



Teilchen:



monochromatische Welle mit Wellenlänge λ ($\nu = \frac{c}{\lambda}$) und Ausbreitungsgeschwindigkeit c .

- Impulsübertrag P auf Körper aus klassischer Elektrodynamik (Maxwell)

$$P = \frac{U}{c}$$

bei Absorption

Zusammenhang wird in Übungsreihe 2 berechnet.

$$P = \frac{2U}{c}$$

bei Reflexion

U : Energie der absorbierten oder reflektierten Strahlung

⇒ doppelter Impulsübertrag bei Reflexion

- Energiequantisierung der elektromagnetischen Welle $U = n h \nu$.

$$P = n \frac{h \nu}{c}$$

$$P = 2n \frac{h \nu}{c}$$

- Impuls eines Photons

$$p_{\nu} = \frac{h\nu}{c}$$

- Der Strahlungsdruck: (Absorption)

kl.:
$$p_{\text{rad}} = \frac{F}{A} = \frac{\dot{p}}{A} = \frac{\dot{U}}{Ac} = \frac{I}{c} = w$$

↑
Impulsübertrag (Maxwell)

F: Kraft auf Körper

A: Fläche des Körpers

$P = \dot{U}$: absorbierte Strahlungsleistung

$I = \frac{P}{A}$: absorbierte Intensität

$w = \frac{I}{c}$: Energiedichte der absorbierten Strahlung

$$w = \epsilon_0 E^2 = \rho h\nu$$

mit Photondichte ρ
Anzahl Photonen

qm.:
$$p_{\text{rad}} = \frac{1}{A} \frac{dp}{dt} = \frac{1}{A} \rho_{\nu} \frac{d(\rho_{\nu} A c dt)}{dt} = \rho_{\nu} c = w$$

↑
Impuls pro Photon

$\stackrel{!}{=} \rho h\nu$

$\Rightarrow p_{\nu} = \frac{h\nu}{c}$

ρ : Photonen-Dichte (Anzahl pro Volumen)

Frage: Lässt sich der Impuls eines einzelnen Photons messen?