

Medizinische Biophysik

Licht in der Medizin. Eigenschaften des Lichts,
Emissionsspektrometrie

5. Vorlesung
11. 10. 2017

II. Wellenoptik

1. Grundkenntnisse der Wellenlehre
 - a) Welle, Wellenlänge (λ), Frequenz (f), Ausbreitungsgeschwindigkeit (c), Transversal- und Longitudinalwellen
 - b) Lineare Polarisation
 - c) Reflexion und Brechung an Grenzflächen
 - d) Interferenz
 - e) Beugung, Huygenssches Prinzip

2. Licht als Welle

- a) Beugung (Diffraktion) des Lichtes
- b) Wellenlängenbereiche des Lichtes
- c) Licht = elektromagnetische Welle
- d) Konsequenzen des Wellencharakters des Lichtes – endliche Auflösung der optischen Instrumenten

III. Teilchencharakter des Lichtes

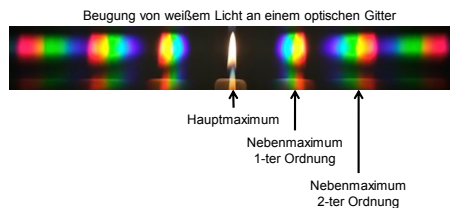
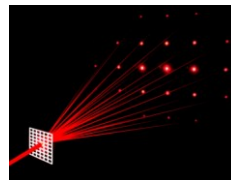
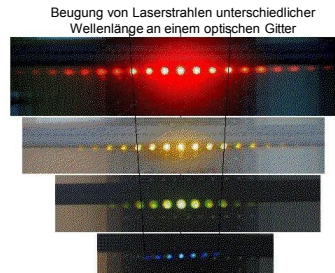
- a) Lichtelektrischer Effekt (Photoeffekt)
- b) Photon, Photonenenergie

IV. Energietransport im Licht (in Strahlungen)

- a) Größen zur Beschreibung des Energietransports
- b) Strahlungsquellen mit verschiedener Geometrie

V. Lichtemission

1. Emissionsspektrometrie
 - a) Emissionsspektrum
 - b) Messung des Emissionsspektrums – Aufbau eines Spektrometers
 - c) Monochromator
 - d) Lichtdetektor



II. Wellenoptik

1. Grundkenntnisse der Wellenlehre

- a) Welle, Wellenlänge (λ), Frequenz (f), Ausbreitungsgeschwindigkeit (c) $c = \lambda \cdot f$
Transversal- und Longitudinalwellen
- b) Lineare Polarisation
- c) Reflexion und Brechung an Grenzflächen
- d) Interferenz
- e) Beugung, Huygenssches Prinzip

Vorkenntnisse
(s. Skript „Physikalische
Grundkenntnisse“ Kapitel 9)

2. Licht als Welle

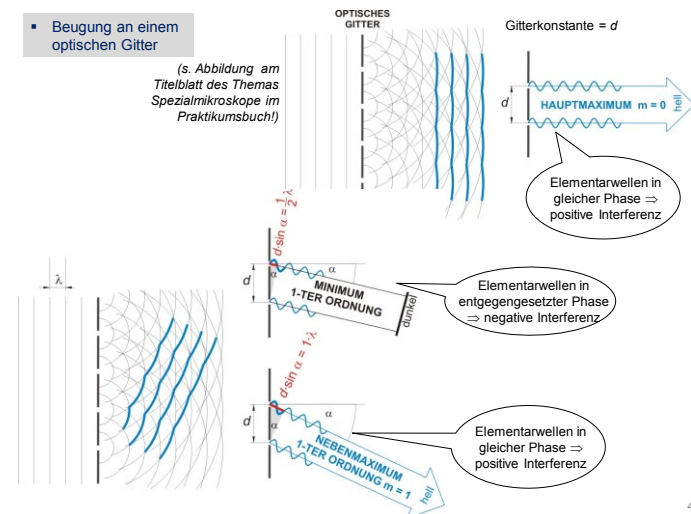
a) Beugung (Diffraktion) des Lichtes

Beweis für den
Wellencharakter
des Lichtes



Beugung an einem optischen Gitter

(s. Abbildung am
Titelblatt des Themas
Spezialmikroskope im
Praktikumsbuch!)

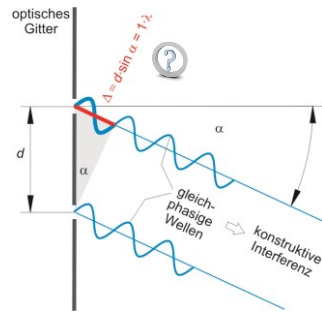


1

2

3

4



$$d \cdot \sin \alpha = k \cdot \lambda$$

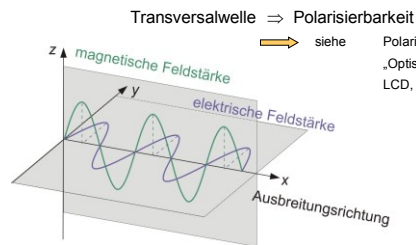
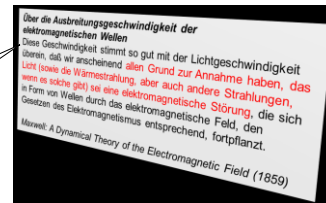
wobei $k = 0, 1, 2, 3, \dots$

→ Bestimmung von λ

→ Bestimmung von d , s. Diffraktionsmethoden

c) Licht = elektromagnetische Welle

Lichtgeschwindigkeit im Vakuum
 $c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$



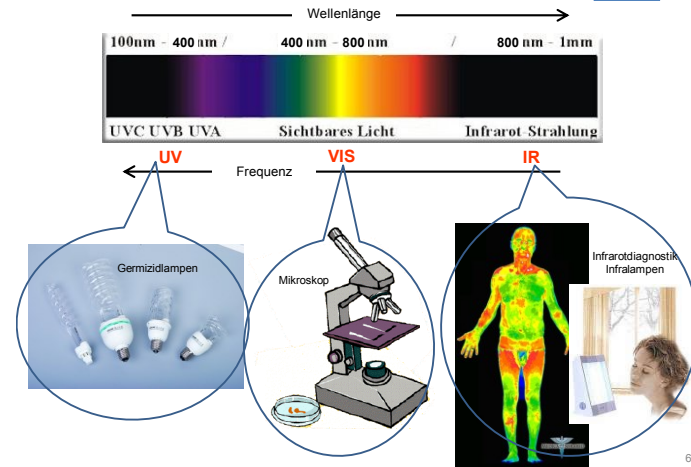
→ siehe Polarisationsmikroskop, „Optische Aktivität - Polarimeter“ im Praktikum, LCD, ...



7

b) Wellenlängenbereiche des Lichts

$$c = \lambda \cdot f$$



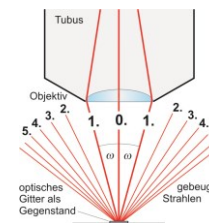
6

d) Konsequenzen des Wellencharakters des Lichtes – endliche Auflösung der optischen Instrumenten

„So präzise eine Linse auch geschliffen sei, infolge der Wellennatur des Lichtes tritt an der Eintrittsoffnung der Linse **Diffraktion** auf: demzufolge erhält man von einer punktförmigen Lichtquelle statt eines punktförmigen Bildes eine kleine leuchtende Scheibe. **Dieses Phänomen verhindert das Studium beliebig feiner Strukturen**, weil diese Scheiben einander überlappen.“



▪ Auflösungsgrenze des Lichtmikroskops (δ):



$$\delta = 0,61 \frac{\lambda}{n \sin \omega}$$

Brechzahl des Materials zwischen dem Präparat und der Objektlinse

Wellenlänge des verwendeten Lichts

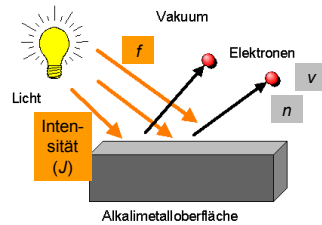
Halböffnungswinkel der Objektlinse

▪ Auflösungsvermögen des Lichtmikroskops (f): $f = \frac{1}{\delta}$

8

III. Teilchencharakter des Lichtes

a) Lichtelektrischer Effekt (Photoeffekt)



Man variiert:

- die Frequenz (f) des Lichtes
- die Intensität (J) des Lichtes

Man beobachtet:

- die Zahl der ausgelösten Elektronen (n)
- die Geschwindigkeit der Elektronen (v)

Beobachtungen:

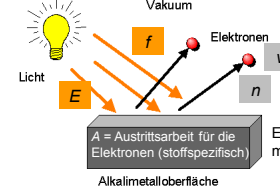
Es gibt eine minimale Frequenz (f_{\min}), für welche

- $f < f_{\min} \Rightarrow n = 0$, egal wie groß J ist;
- $f_{\min} \leq f \Rightarrow$ Elektronen werden ausgelöst
 - n wächst mit wachsender J
 - v wächst mit wachsender f

$$c = \lambda \cdot f$$

9

b) Photon, Photonenenergie



Es gibt eine minimale Frequenz (f_{\min}), für welche

- $f < f_{\min} \Rightarrow n = 0$, egal wie groß E ist;
- $f_{\min} \leq f \Rightarrow$ Elektronen werden ausgelöst
 - n wächst mit wachsender E
 - v wächst mit wachsender f

$$\varepsilon = h \cdot f$$

Plancksche Konstante
 $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$

Ein Photon tritt in Wechselwirkung mit einem Elektron!

$$h \cdot f_{\min} = \varepsilon_{\min} = A$$

$$f < f_{\min} \Rightarrow h \cdot f = \varepsilon < A \Rightarrow \text{Kein Elektron wird ausgelöst}$$

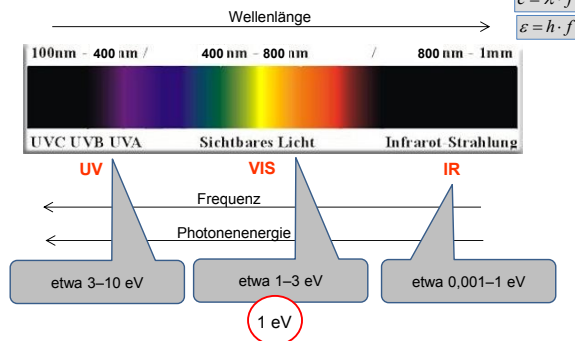
$$f_{\min} < f \Rightarrow A < h \cdot f = \varepsilon \Rightarrow \text{Elektron wird ausgelöst}$$

$$\text{Energieerhaltungssatz für den Photoeffekt: } \varepsilon = A + \frac{1}{2} m_{\text{Elektron}} v_{\text{Elektron}}^2$$

Bei zunehmender Intensität (mehr Photonen) werden mehr Elektronen ausgelöst.
Bei zunehmender Frequenz wird die kinetische Energie und v des Elektrons größer.

10

Photonenenergiewerte der Lichtbereiche

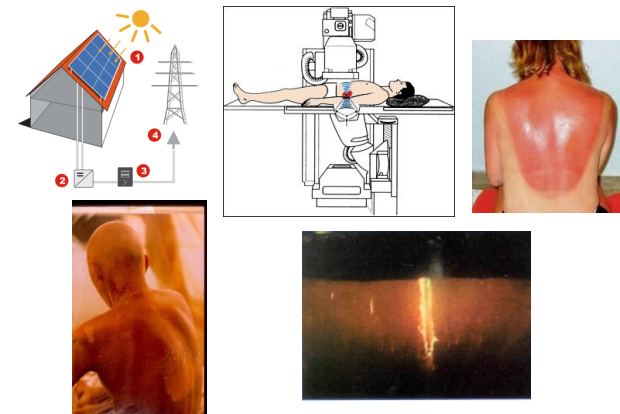


$$c = \lambda \cdot f$$

$$\varepsilon = h \cdot f$$

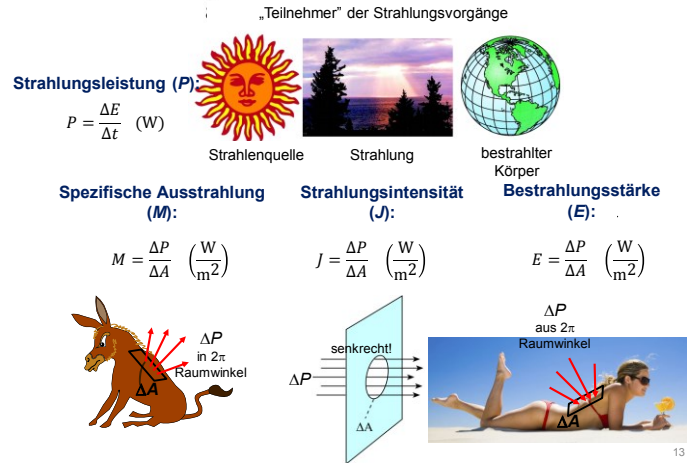
11

IV. Energietransport im Licht (in Strahlungen)

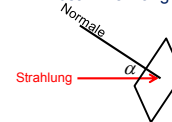


12

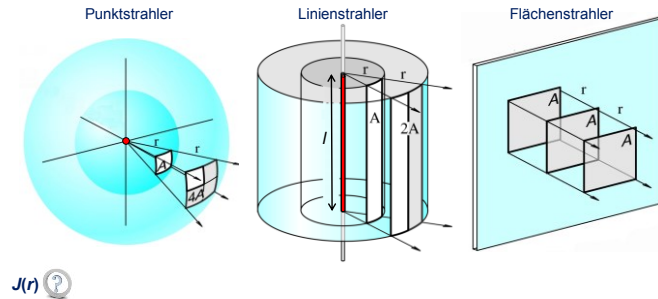
a) Größen zur Beschreibung des Energietransports:



▪ Zusammenhang zwischen J und E : ?



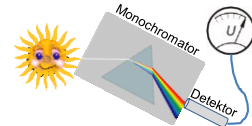
b) Strahlungsquellen mit verschiedener Geometrie:



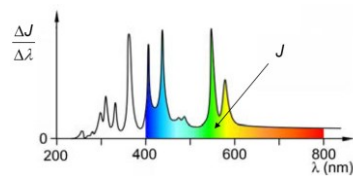
V. Lichtemission

1. Emissionsspektrometrie

Analyse des emittierten (ausgestrahlten) Lichts



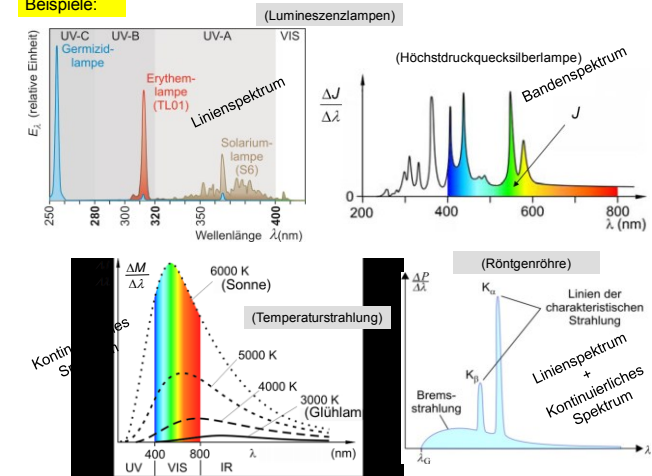
a) Emissionsspektrum



Spektrumtypen:

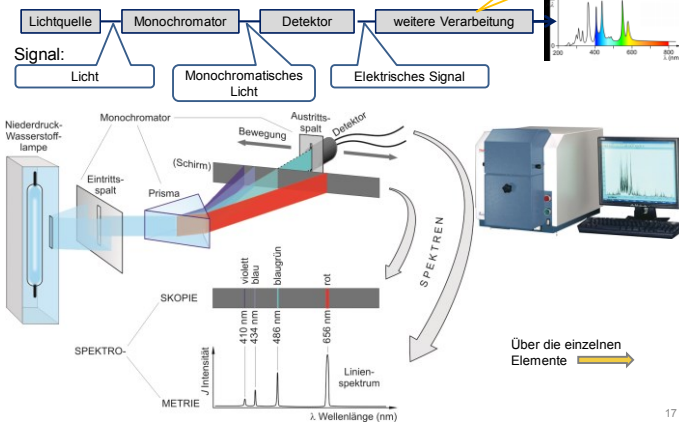
- Linienspektrum
- Bandenspektrum
- Kontinuierliches Spektrum

Beispiele:



b) Messung des Emissionsspektrums

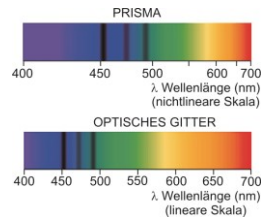
Aufbau eines Emissionsspektrometers:



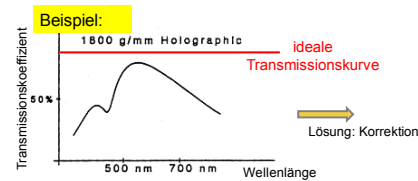
17

Technische Probleme bei den Monochromatoren:

- Wellenlängeskala



- Transmissionskurve (Frequenzgang)



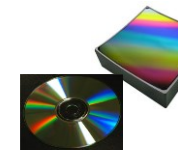
19

c) Monochromator

- Prisma

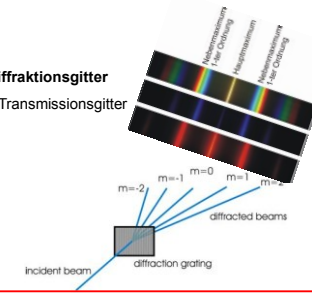
Funktionsprinzip:

Dispersion



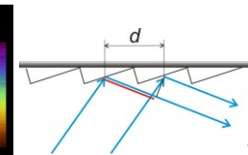
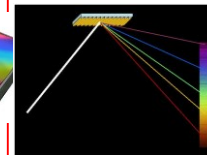
- Diffraktionsgitter

— Transmissionsgitter



- Reflexionsgitter

Funktionsprinzip: Interferenz

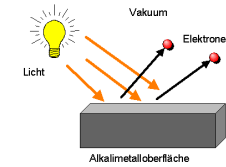


18

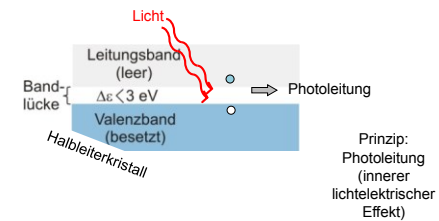
d) Lichtdetektor

- Photomultiplier (PM) (Sekundärelektronenvervielfacher – SEV):

Prinzip: äußerer lichtelektrischer Effekt

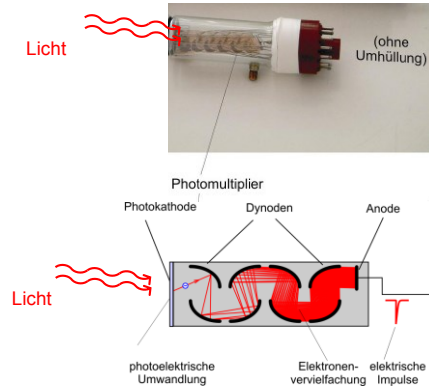


- Photodiode:

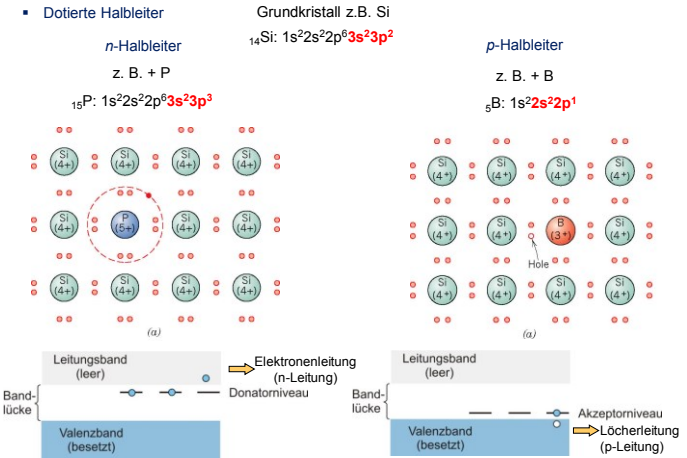


20

Photomultiplier (PM)
(Sekundärelektronenvervielfacher – SEV):



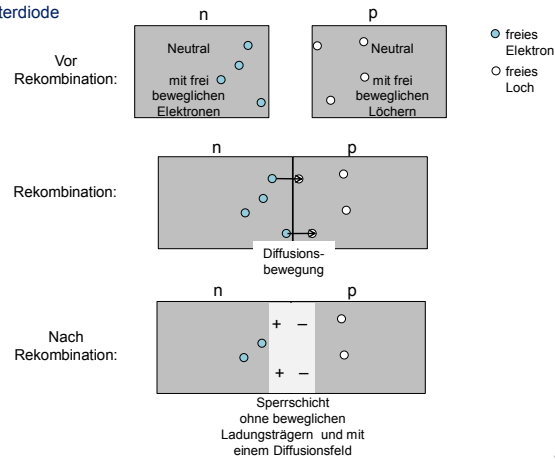
21



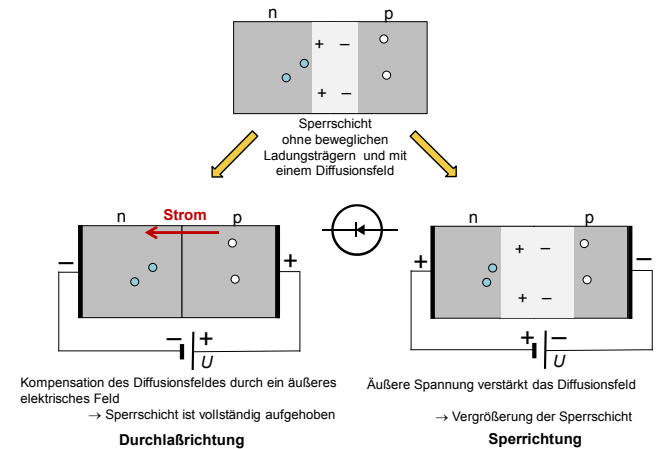
22

▪ Anwendungen der dotierten Halbleiter

○ Halbleiterdiode

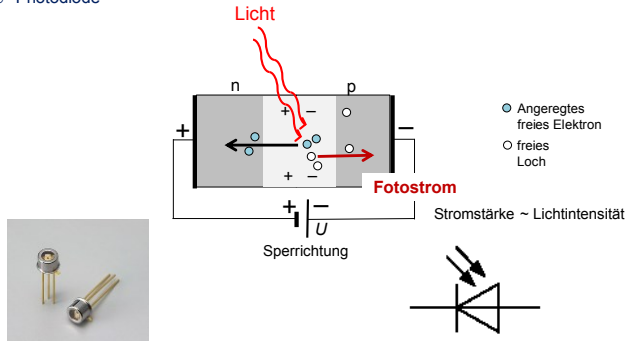


23



24

o Photodiode

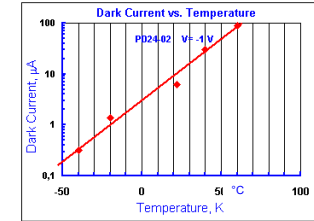


(Es gibt auch lichtemittierende Dioden → siehe Leuchtdioden, LED)

25

Technische Probleme bei den Lichtdetektoren:

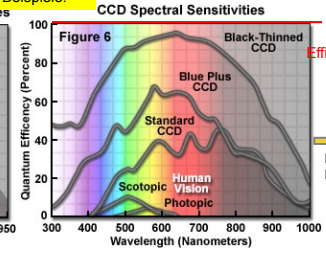
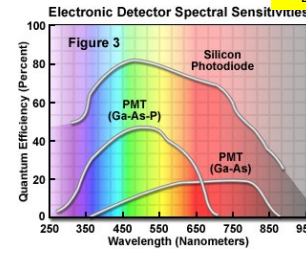
- Dunkelstrom/Rauschen



→ Lösung: Abkühlen

- Effizienzkurve (Empfindlichkeitskurve)

Beispiele:



→ ideale Effizienzkurve

→ Lösung: Korrektur

26

Hausaufgaben: Aufgabensammlung

2.1, 3-5, 7, 8, 31, 32, 38-40, 42, 45



27