

II. Wellenoptik

1. Grundkenntnisse der Wellenlehre

- Welle, Wellenlänge (λ), Frequenz (f), Ausbreitungsgeschwindigkeit (c), Transversal- und Longitudinalwellen
- Lineare Polarisation
- Reflexion und Brechung an Grenzflächen
- Interferenz
- Beugung, Huygenssches Prinzip

2. Licht als Welle

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

III. Teilchencharakter des Lichtes

- Lichtelektrischer Effekt (Photoeffekt)
- Photon, Photonenenergie

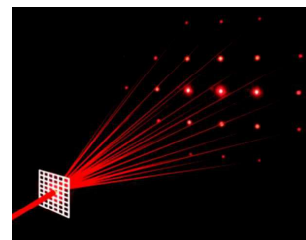
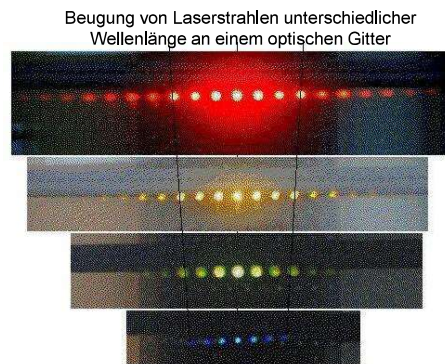
IV. Energietransport im Licht (in Strahlungen)

- Größen zur Beschreibung des Energietransports
- Strahlungsquellen mit verschiedener Geometrie

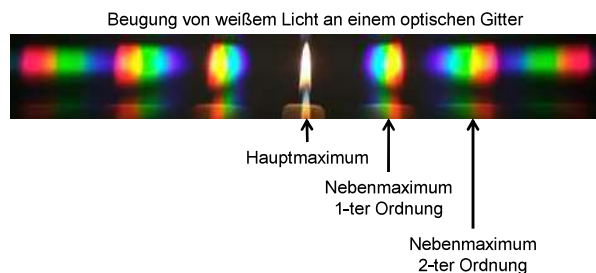
V. Lichtemission

1. Emissionsspektrometrie

- Emissionsspektrum
- Messung des Emissionsspektrums – Aufbau eines Spektrometers
- Monochromator
- Lichtdetektor



Beugung eines Laserstrahls an einem zweidimensionalen optischen Gitter



1

II. Wellenoptik

1. Grundkenntnisse der Wellenlehre

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

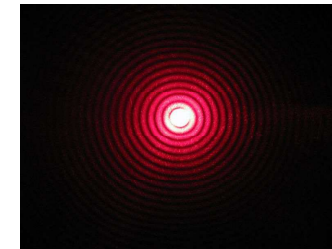
Vorkenntnisse
(s. Skript „Physikalische
Grundkenntnisse“ Kapitel 9)

2. Licht als Welle

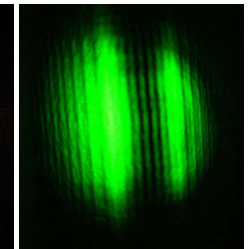
a) Beugung (Diffraktion) des Lichtes

Beweis für den
Wellencharakter
des Lichtes

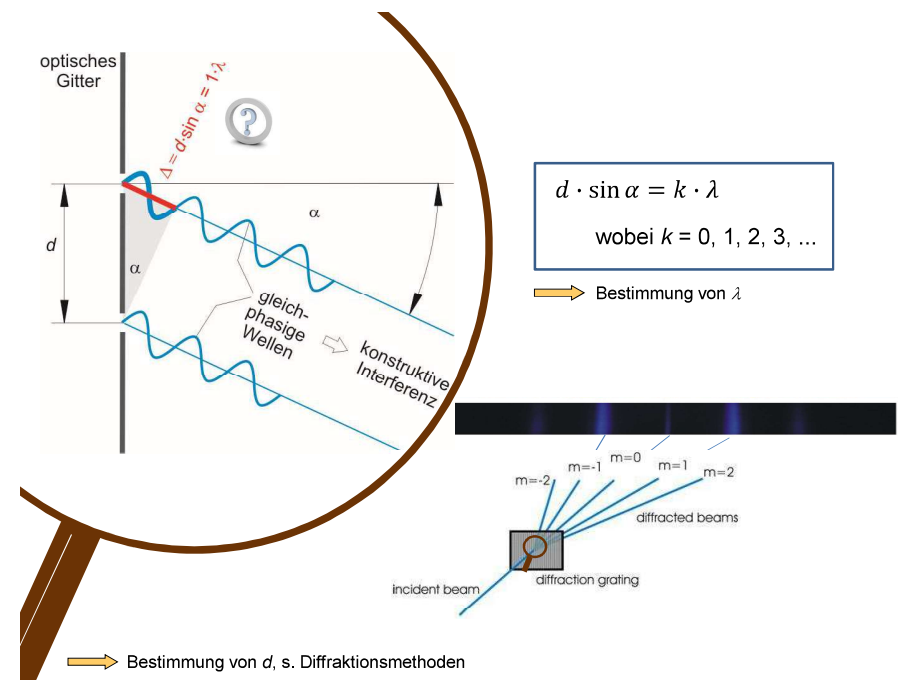
Beugung eines Laserstrahls
an einem Loch



Beugung eines Laserstrahls
an einem Haar



2

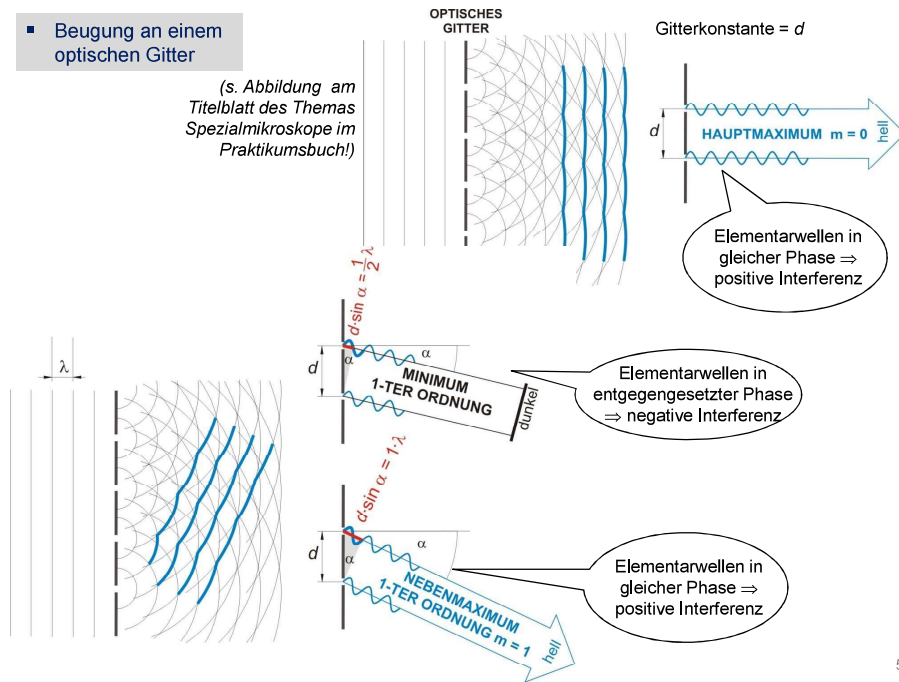


3

4

Beugung an einem optischen Gitter

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



5

c) Licht = elektromagnetische Welle

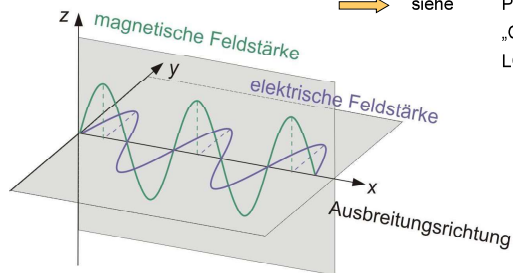
Lichtgeschwindigkeit im Vakuum
 $c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Über die Ausbreitungsgeschwindigkeit der elektromagnetischen Wellen
Diese Geschwindigkeit stimmt so gut mit der Lichtgeschwindigkeit überein, daß wir anscheinend allen Grund zur Annahme haben, das Licht (sowie die Wärmestrahlung, aber auch andere Strahlungen, wenn es solche gibt) sei eine elektromagnetische Störung, die sich in Form von Wellen durch das elektromagnetische Feld, den Gesetzen des Elektromagnetismus entsprechend, fortpflanzt.
Maxwell: A Dynamical Theory of the Electromagnetic Field (1859)

Transversalwelle \Rightarrow Polarisierbarkeit

siehe

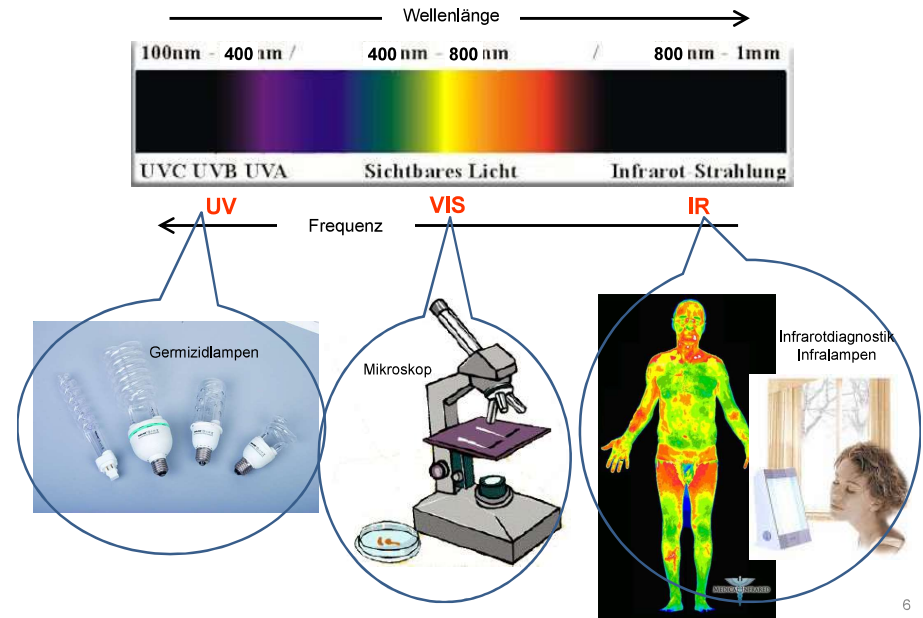
Polarisationsmikroskop,
„Optische Aktivität - Polarimeter“ im Praktikum,
LCD, ...



7

b) Wellenlängenbereiche des Lichts

$$c = \lambda \cdot f$$



6

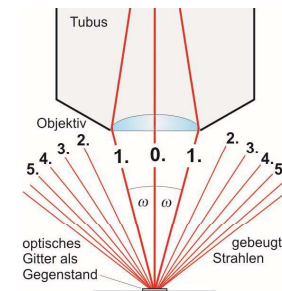
d) Konsequenzen des Wellencharakters des Lichtes – endliche Auflösung der optischen Instrumenten

Airy-Scheibe

„So präzise eine Linse auch geschliffen sei, infolge der Wellennatur des Lichtes tritt an der Eintrittsöffnung der Linse **Diffraction** 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.“

Ernst Karl Abbe
(1840-1905)
Mitbegründer der Zeiss-Werke

Auflösungsgrenze des Lichtmikroskops (δ):



Wellenlänge des verwendeten Lichts

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

Brechzahl des Materials zwischen dem Präparat und der Objektivlinse

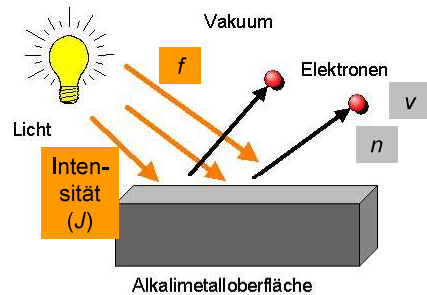
Halböffnungswinkel der Objektivlinse

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

8

III. Teilchencharakter des Lichtes

a) Lichtelektrischer Effekt (Photoeffekt)



$$c = \lambda \cdot f$$

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)

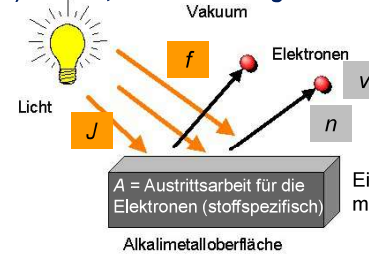
Beobachtungen:

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

9

b) Photon, Photonenenergie



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

$$\varepsilon = h \cdot f$$

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

Ein Photon tritt in Wechselwirkung mit einem Elektron!

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

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

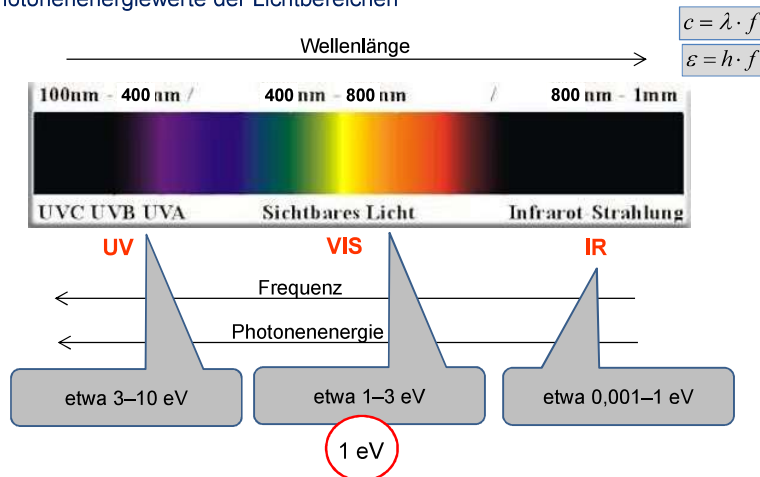
$$f_{\min} < f \Rightarrow A < h \cdot f = \varepsilon \Rightarrow \text{Elektron wird ausgelöst}$$

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

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

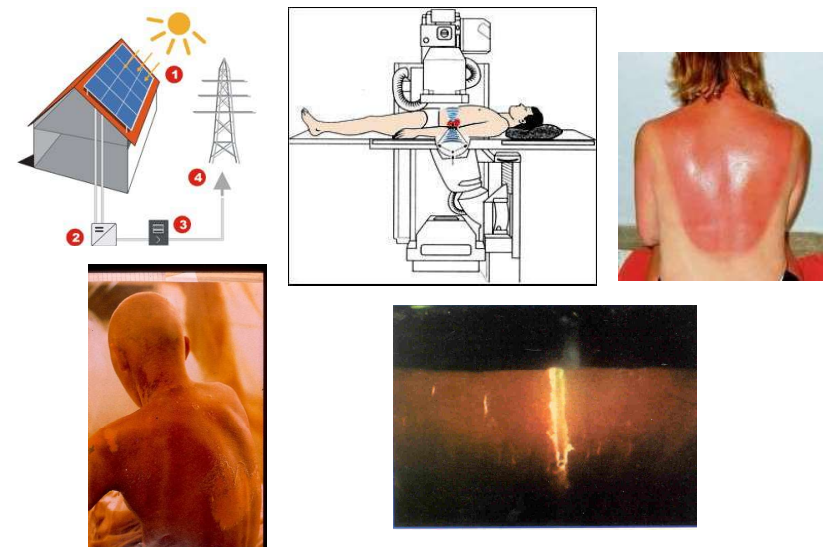
10

■ Photonenenergiewerte der Lichtbereiche



11

IV. Energietransport im Licht (in Strahlungen)



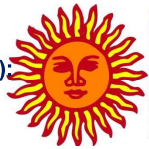
12

a) Größen zur Beschreibung des Energietransports:

„Teilnehmer“ der Strahlungsvorgänge

Strahlungsleistung (P):

$$P = \frac{\Delta E}{\Delta t} \quad (\text{W})$$



Strahlenquelle



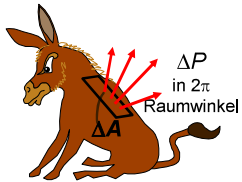
Strahlung



bestrahlter Körper

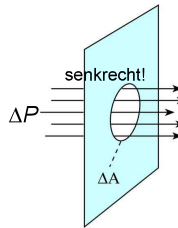
Spezifische Ausstrahlung (M):

$$M = \frac{\Delta P}{\Delta A} \quad \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right)$$



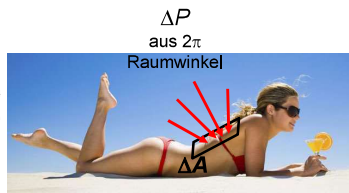
Strahlungsintensität (J):

$$J = \frac{\Delta P}{\Delta A} \quad \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right)$$



Bestrahlungsstärke (E):

$$E = \frac{\Delta P}{\Delta A} \quad \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right)$$



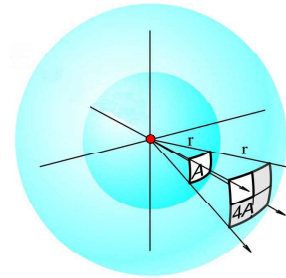
13

■ Zusammenhang zwischen J und E : ?



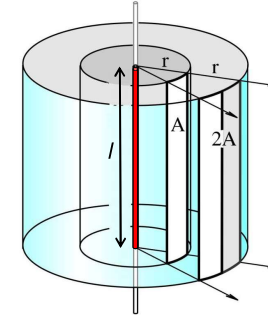
b) Strahlungsquellen mit verschiedener Geometrie:

Punktstrahler

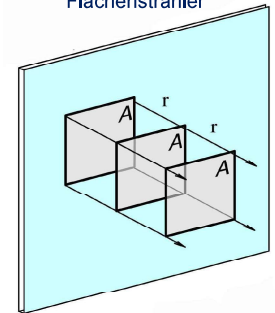


$J(r)$?

Linienstrahler



Flächenstrahler

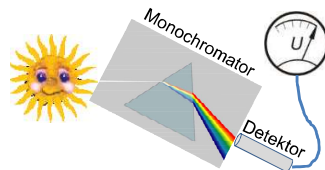


14

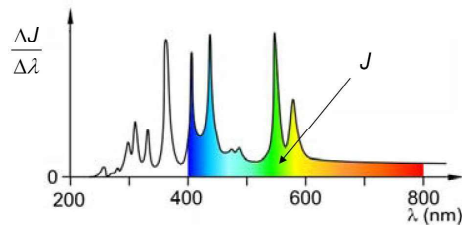
V. Lichtemission

1. Emissionsspektrometrie

Analyse des emittierten (ausgestrahlten) Lichts



a) Emissionsspektrum

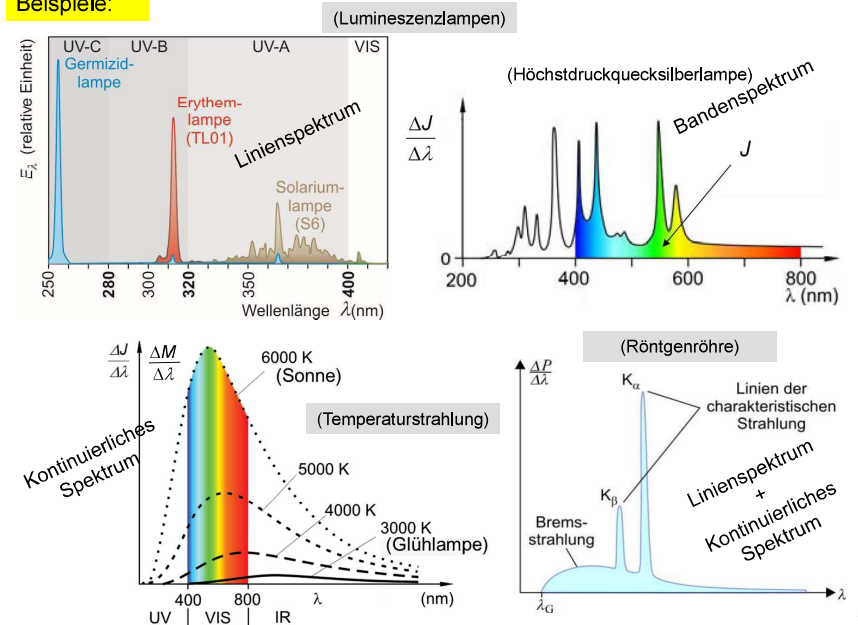


Spektrumtypen:

- Linienspektrum
- Bandenspektrum
- Kontinuierliches Spektrum

15

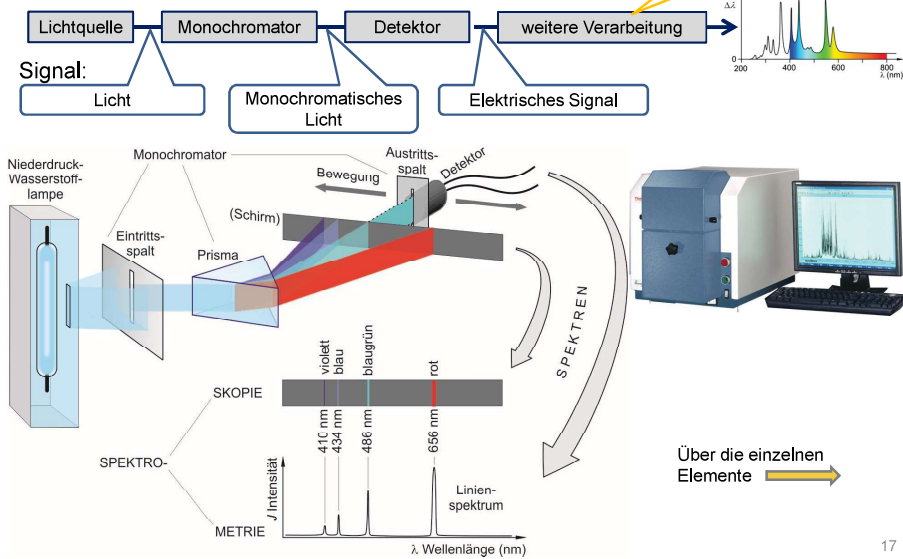
Beispiele:



16

b) Messung des Emissionsspektrums

Aufbau eines Emissionsspektrometers:



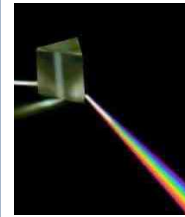
17

c) Monochromator

Prisma

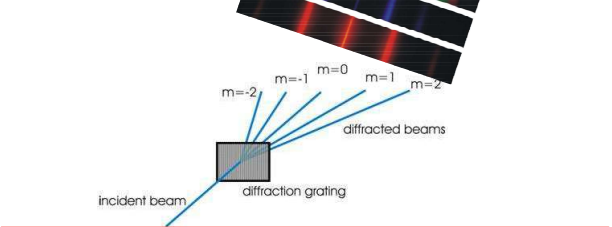
Funktionsprinzip:

Dispersion



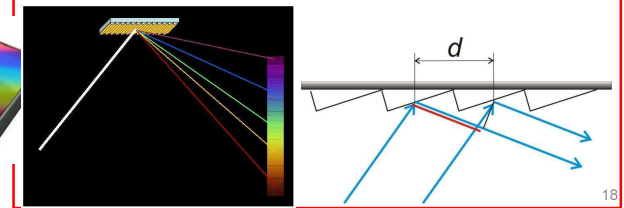
Diffraktionsgitter

— Transmissionsgitter



Reflexionsgitter

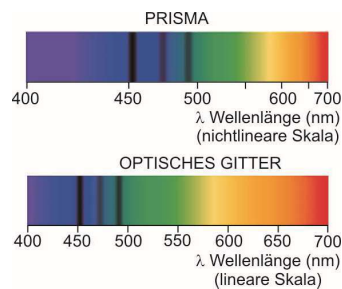
Funktionsprinzip: Interferenz



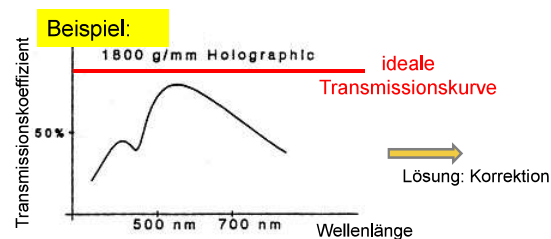
18

Technische Probleme bei den Monochromatoren:

Wellenlängenskala



Transmissionskurve (Frequenzgang)



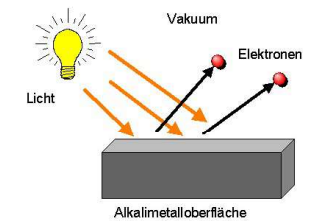
19

d) Lichtdetektor

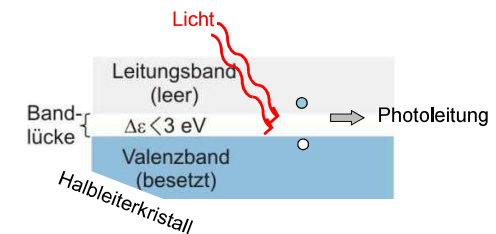
Photomultiplier (PM)

(Sekundärelektronenvervielfacher – SEV):

Prinzip:
äußerer
lichtelektrischer
Effekt

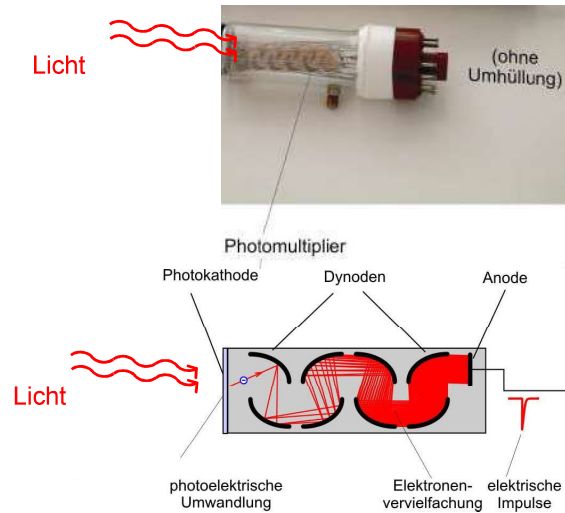


Photodiode:



20

Photomultiplier (PM) (Sekundärelektronenvervielfacher – SEV):



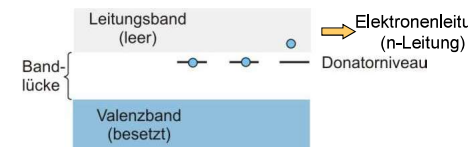
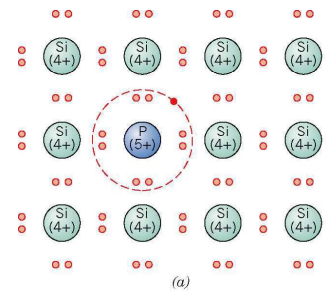
21

Dotierte Halbleiter

n-Halbleiter

z. B. + P

$_{15}\text{P}: 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^3$



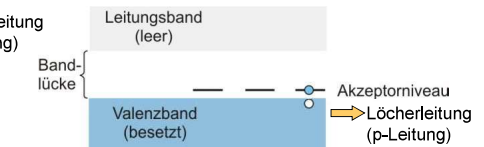
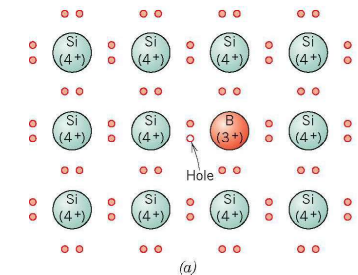
Grundkristall z.B. Si

$_{14}\text{Si}: 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^2$

p-Halbleiter

z. B. + B

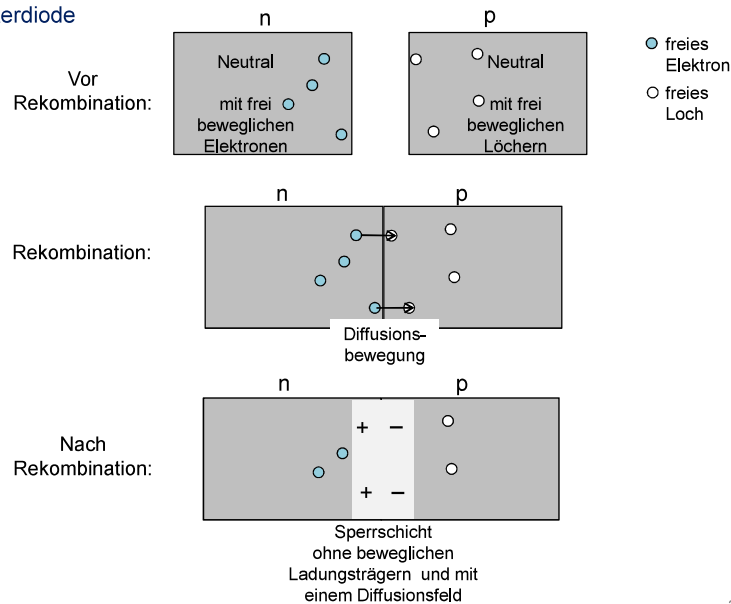
$_{5}\text{B}: 1s^2 2s^2 2p^1$



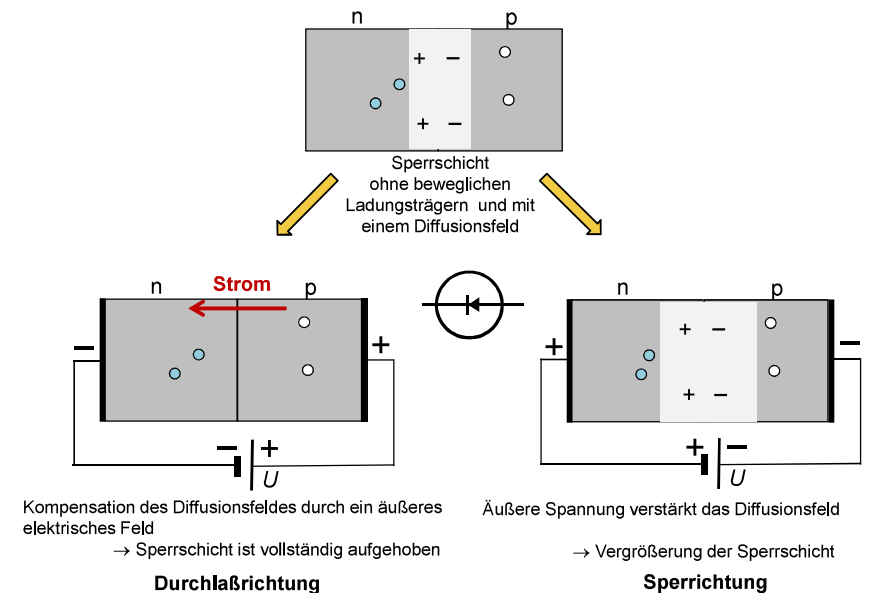
22

Anwendungen der dotierten Halbleiter

Halbleiterdiode

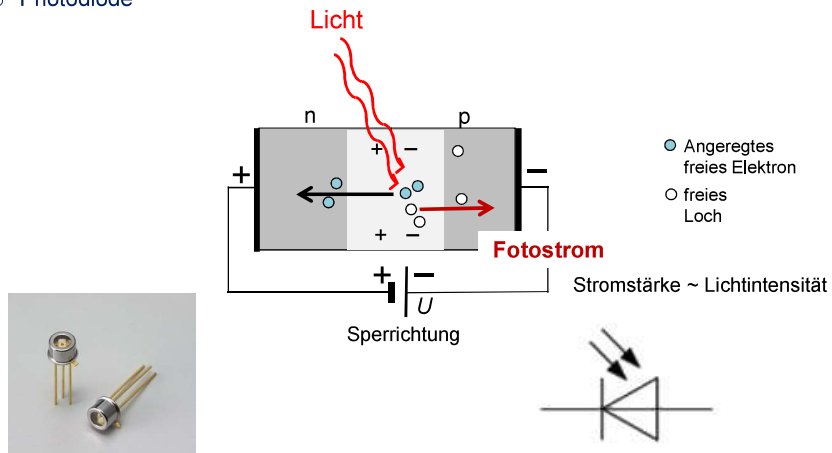


23



24

Photodiode

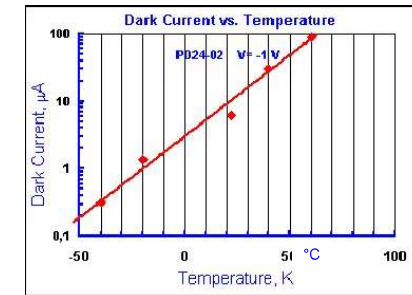


(Es gibt auch lichtemittierende Dioden → siehe Leuchtdioden, LED)

25

Technische Probleme bei den Lichtdetektoren:

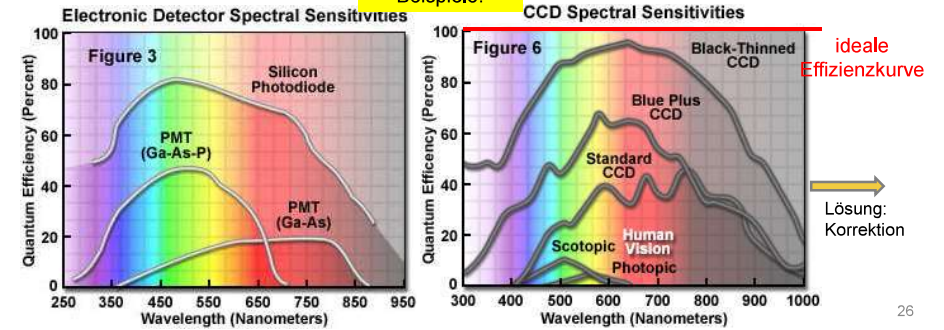
- Dunkelstrom/Rauschen



Lösung:
Abkühlen

- Effizienzkurve (Empfindlichkeitskurve)

Beispiele:



26

Hausaufgaben: Aufgabensammlung

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

