

Medizinische Biophysik

Licht in der Medizin

4. Vorlesung
21. 09. 2022

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) Licht = elektromagnetische Welle
- b) Wellenlängenbereiche des Lichts
- c) Polarisation: linear- und zirkular polarisiertes Licht,
optische Aktivität, Doppelbrechung
- d) Beugung (Diffraction) des Lichtes
- e) Konsequenzen des Wellencharakters des Lichtes:
endliche Auflösung des Mikroskopes

II. Wellenoptik

1. Grundkenntnisse der Wellenlehre

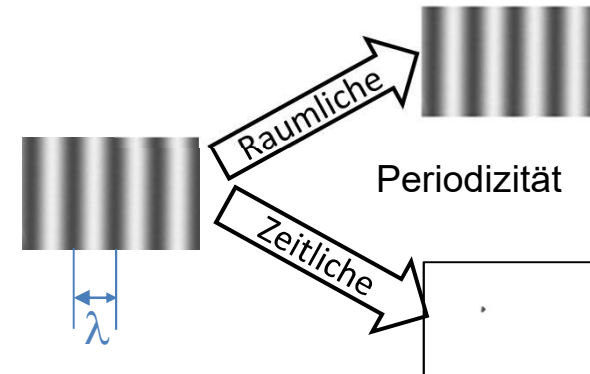
a) Welle, Wellenlänge (λ), Frequenz (f), Ausbreitungsgeschwindigkeit (c)
Transversal- und Longitudinalwellen

$$c = \lambda \cdot f$$

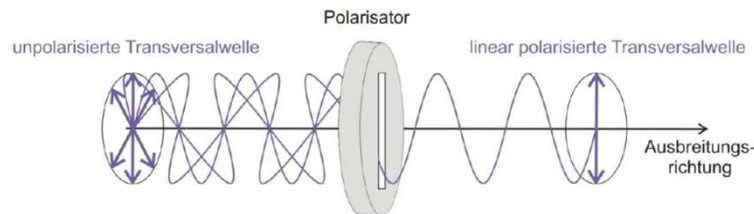
Zur Erinnerung

Welle: eine sich räumlich ausbreitende periodische Schwingung

Wellenlänge: der kleinste Abstand zweier Punkte gleicher Phase.



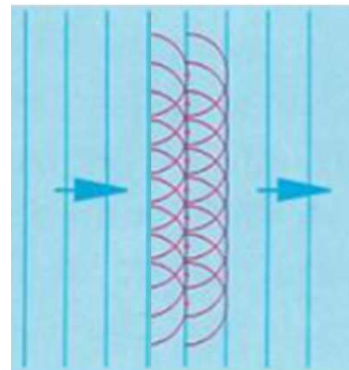
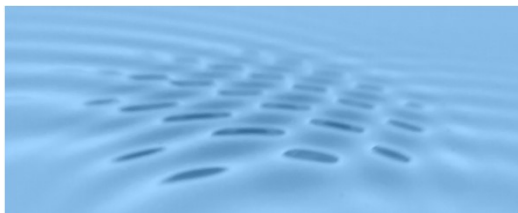
b) Lineare Polarisation



Siehe: **Vorkenntnisse**
(Skript „Physikalische Grundkenntnisse“ Kapitel 9)

c) Reflexion und Brechung an Grenzflächen

d) Interferenz



Huygensches Prinzip: Jeder Punkt einer Wellenfront kann als Ausgangspunkt von Elementarwellen angesehen werden, die sich mit gleicher Geschwindigkeit und Wellenlänge wie die ursprüngliche Welle ausbreiten.

e) Beugung, huygensssches Prinzip

2. Licht als Welle

a) Licht = elektromagnetische Welle

Lichtgeschwindigkeit im Vakuum

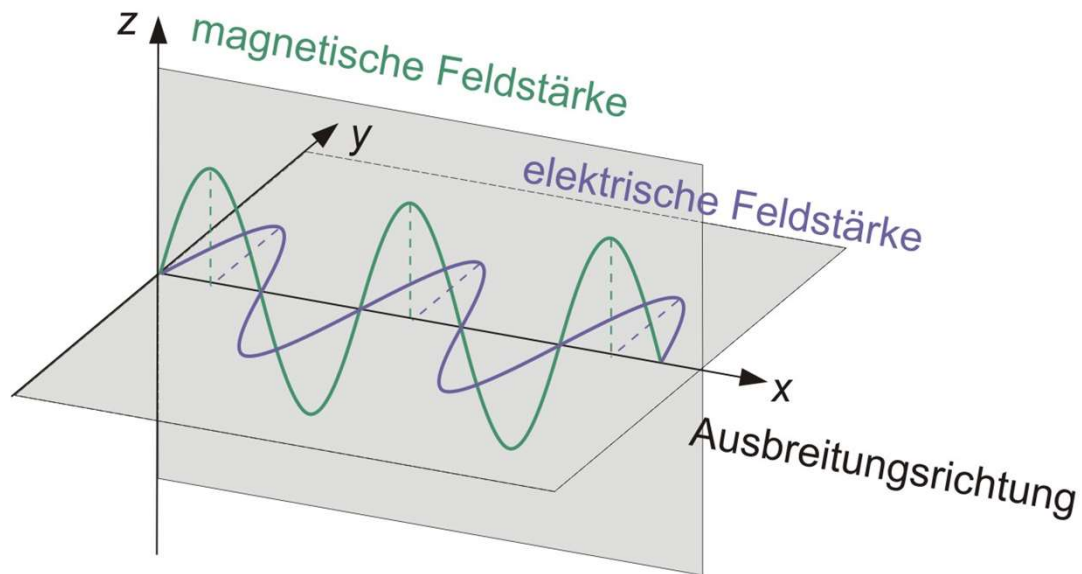
$$c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Über die Ausbreitungsgeschwindigkeit der elektromagnetischen Wellen

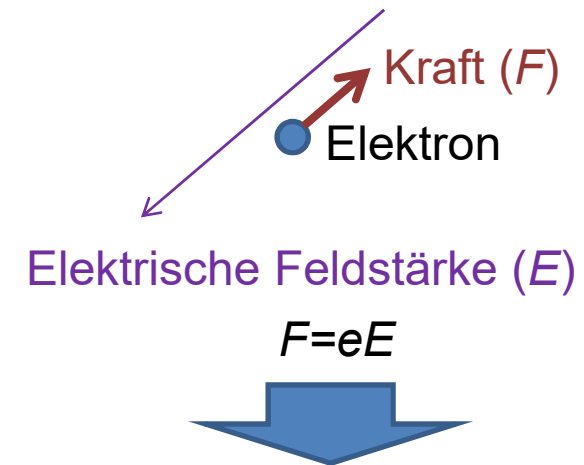
Diese Geschwindigkeit stimmt so gut mit der Lichtgeschwindigkeit überein, daß wir anscheinend **allen Grund zur Annahme haben, das Licht (sowie die Wärmestrahlung, aber auch andere Strahlungen, wenn es solche gibt) sei eine elektromagnetische Störung, die sich in Form von Wellen durch das elektromagnetische Feld, den Gesetzen des Elektromagnetismus entsprechend, fortpflanzt.**

Maxwell: A Dynamical Theory of the Electromagnetic Field (1859)

Transversalwelle



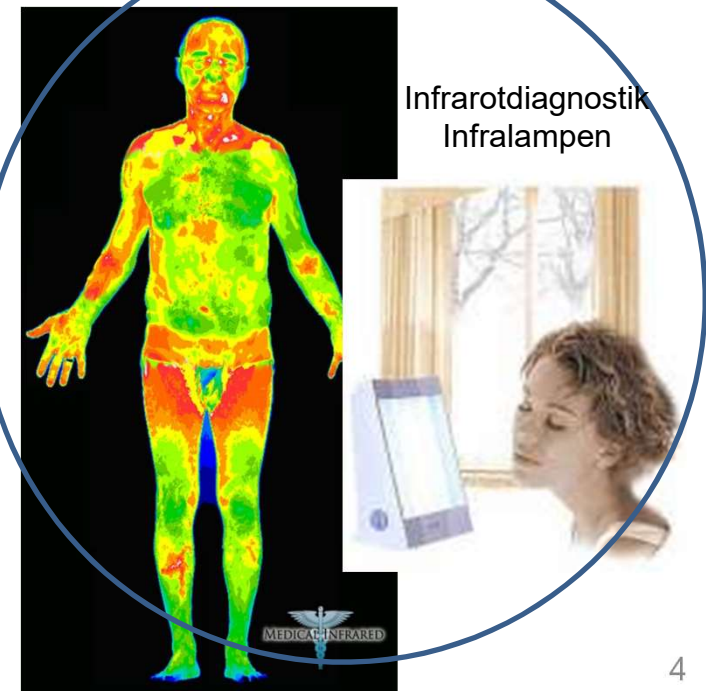
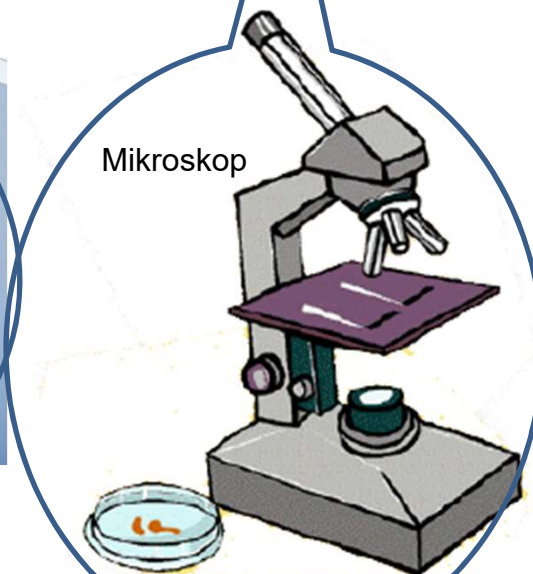
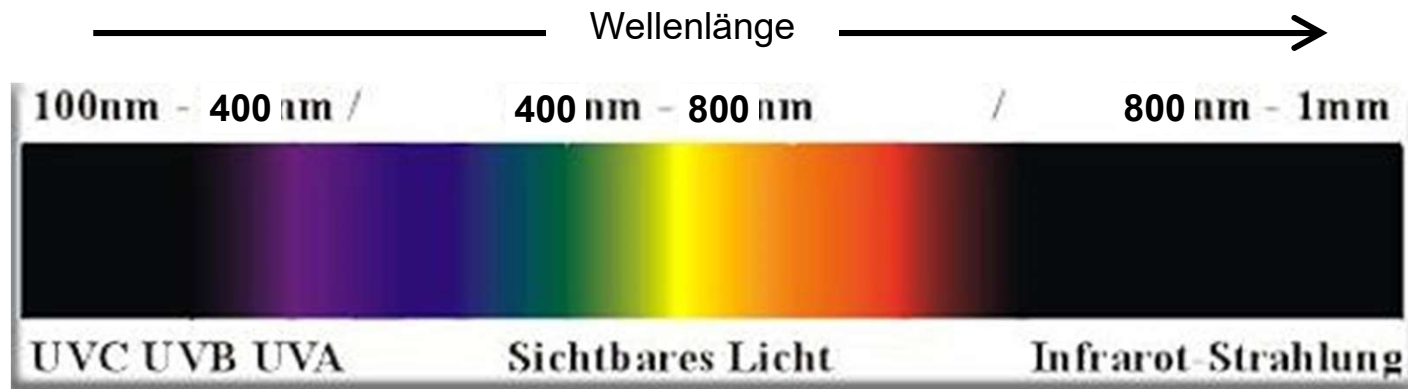
Wechselwirkung mit der Materie



Wegen der Wechselwirkung ist die Lichtgeschwindigkeit in Medium $< c_{\text{Vakuum}}$

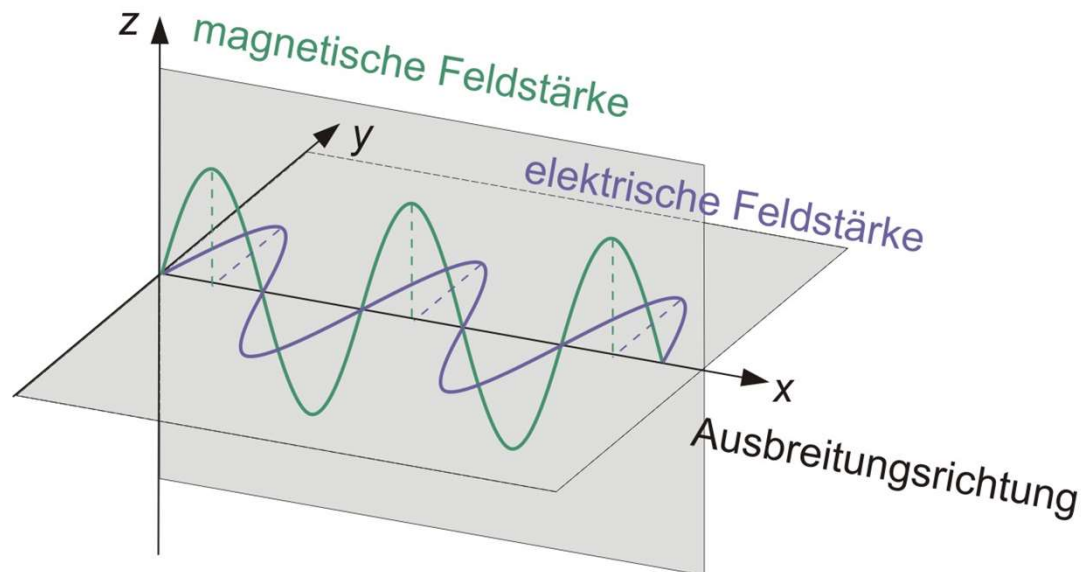
b) Wellenlängenbereiche des Lichts

$$c = \lambda \cdot f$$



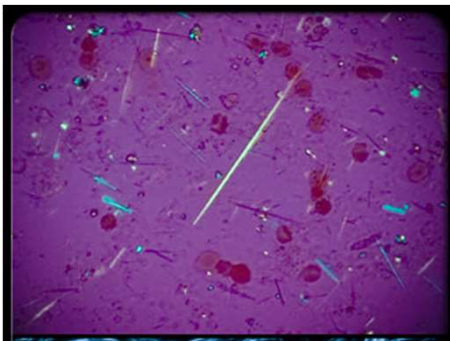
c) Polarisation

Transversalwelle \Rightarrow Polarisierbarkeit

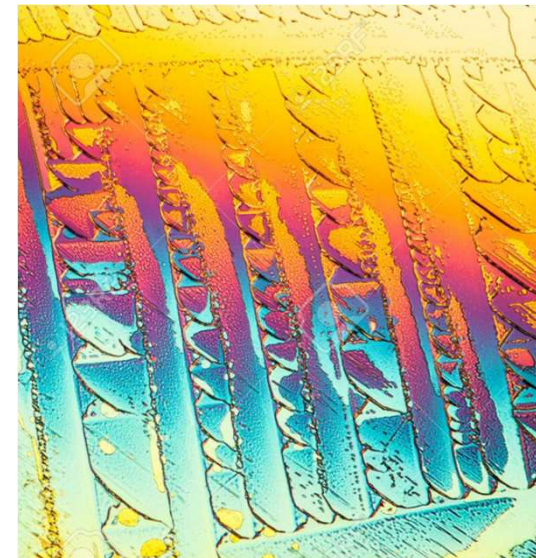


\Rightarrow Doppelbrechung

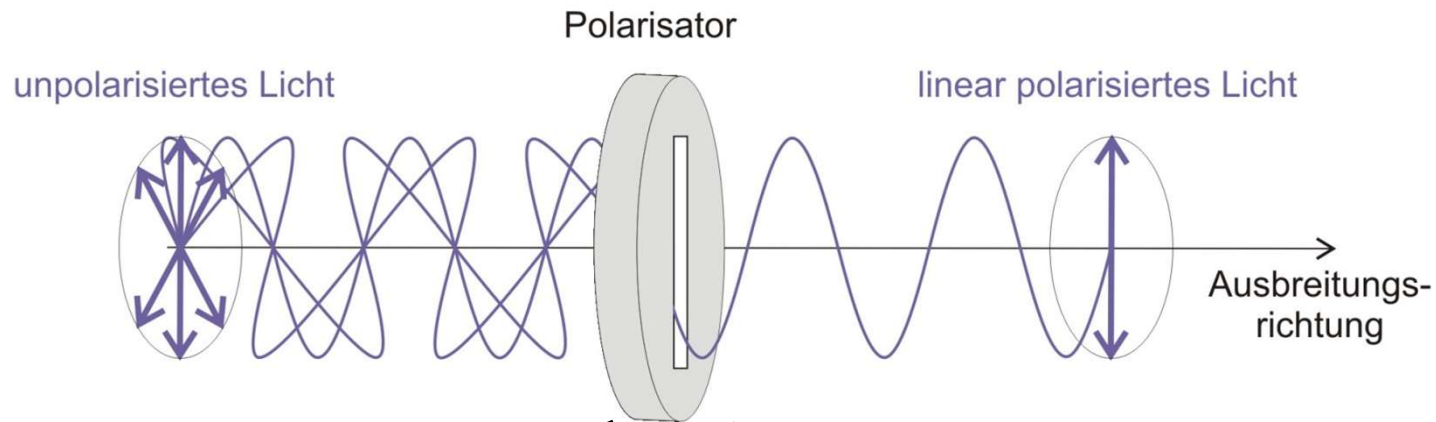
\Rightarrow Optische Aktivität



Ablagerung von Harnsäure-Kristalle
in Gicht



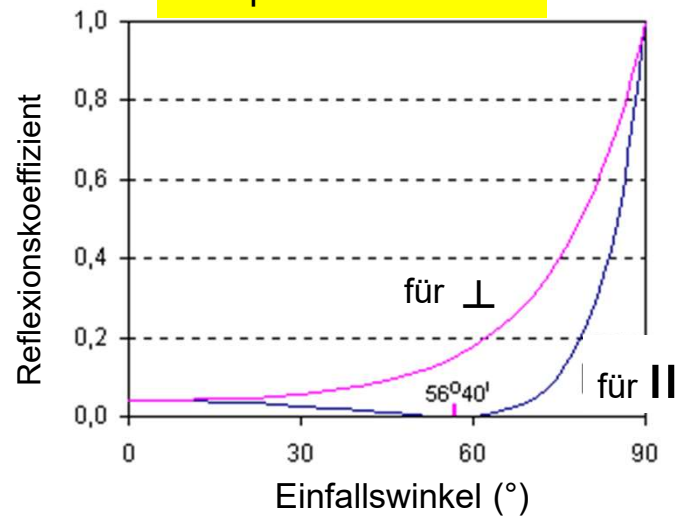
- **lineare Polarisation des Lichtes:**



Spiegel
(Reflexion)

Polarisationsfilter
(Absorption)

Beispiel: Luft → Glas





ohne Polarisator



ohne Polarisator

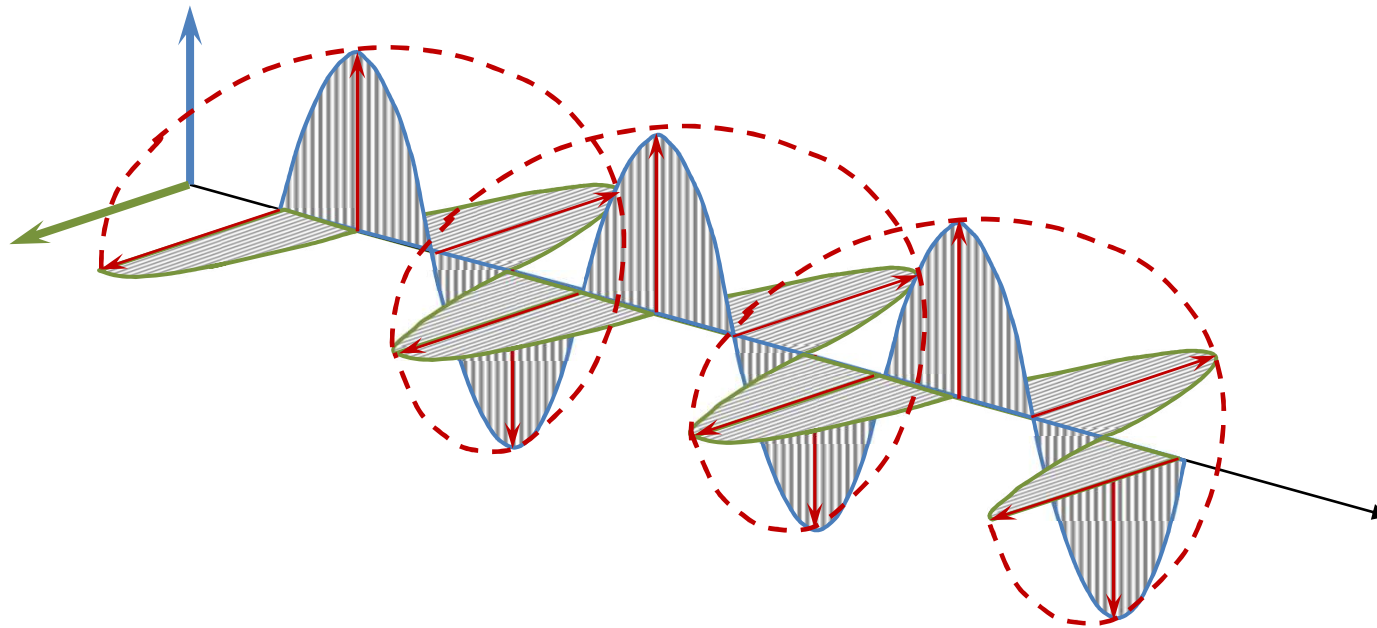


ohne Polarisator



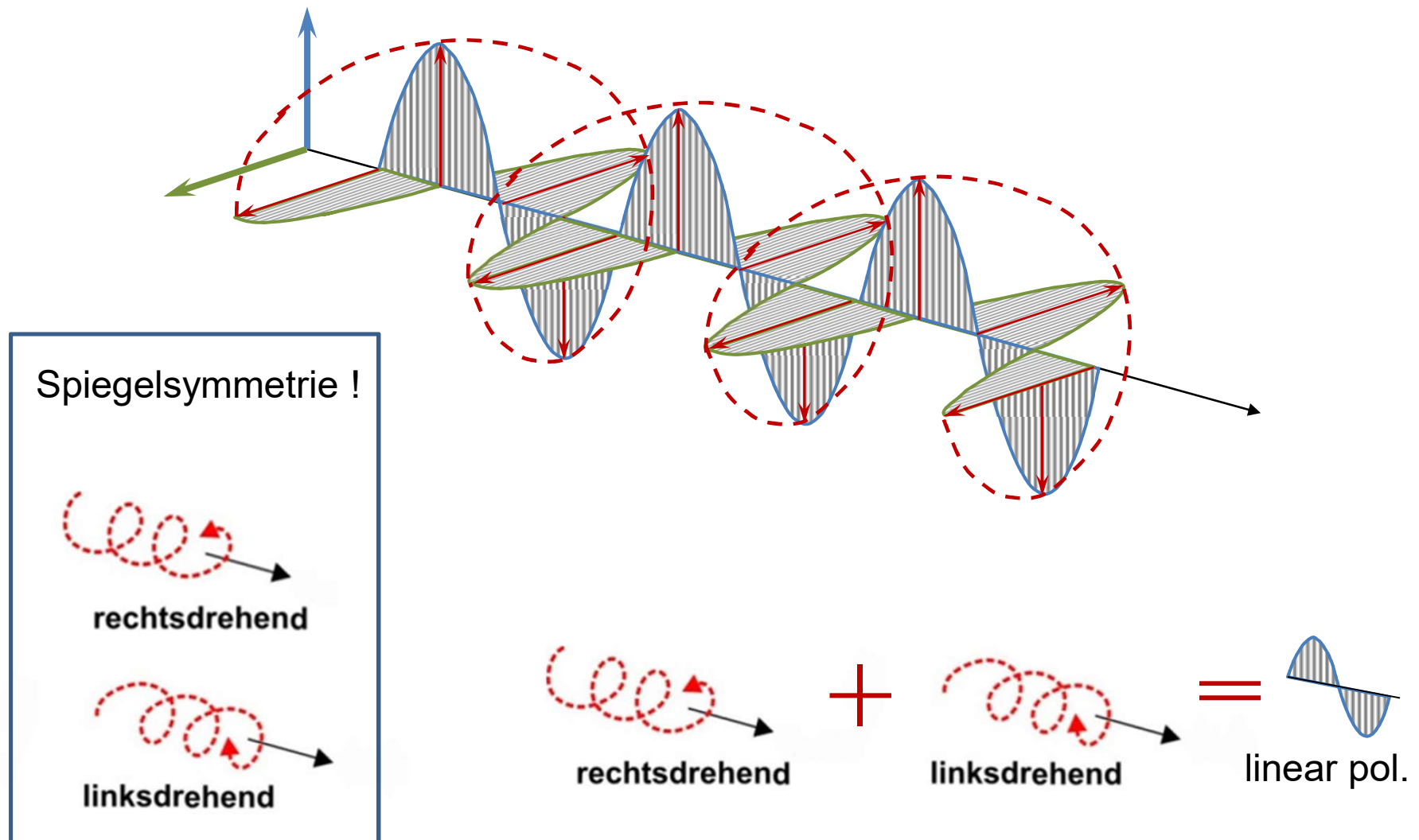
- **Zirkular polarisiertes Licht:**

Zwei linear polarisierte Komponenten ergeben zirkularpolarisiertes Licht
bei einem 90° Phasenverschiebung



- **Zirkular polarisiertes Licht:**

Zwei linear polarisierte Komponenten ergeben zirkularpolarisiertes Licht bei einer 90° Phasenverschiebung



- optische Aktivität:** Drehung der Schwingungsebene des linear polarisierten Lichtes

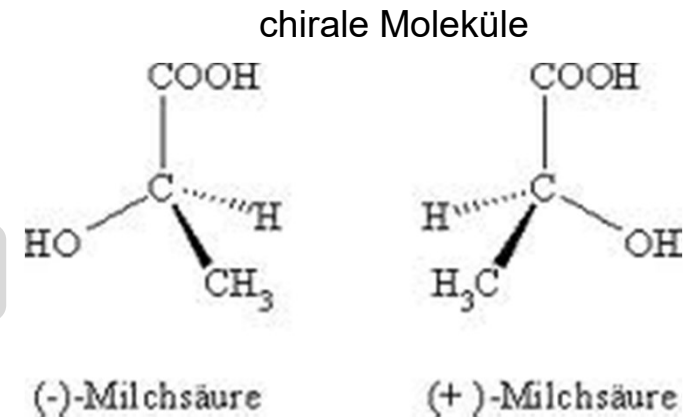
Drehwinkel (°)

Konzentration (g/cm³)

Länge der Küvette (dm)

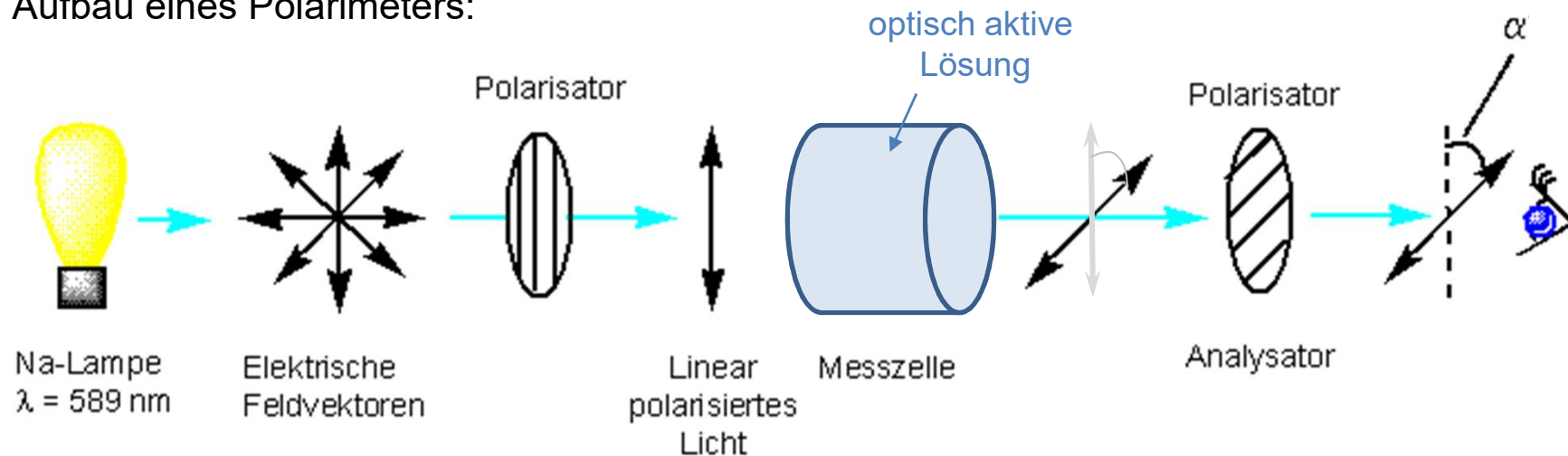
$$\alpha = [\alpha]_D^{20} \cdot c \cdot l$$

Drehwert, spezifische Drehvermögen (spez. Drehung)
(°·cm³/(g·dm)) bezogen auf 20°C und auf die D-Linie (589 nm) von Na



Anwendung: Polarimetrie - Konzentrationsbestimmung

Aufbau eines Polarimeters:



- **Doppelbrechung:**

Anisotropie

zB: Kristalle,
Polymere,
Muskelgewebe

Ausgewählte Richtung:
Optische Achse

Vereinfacht:

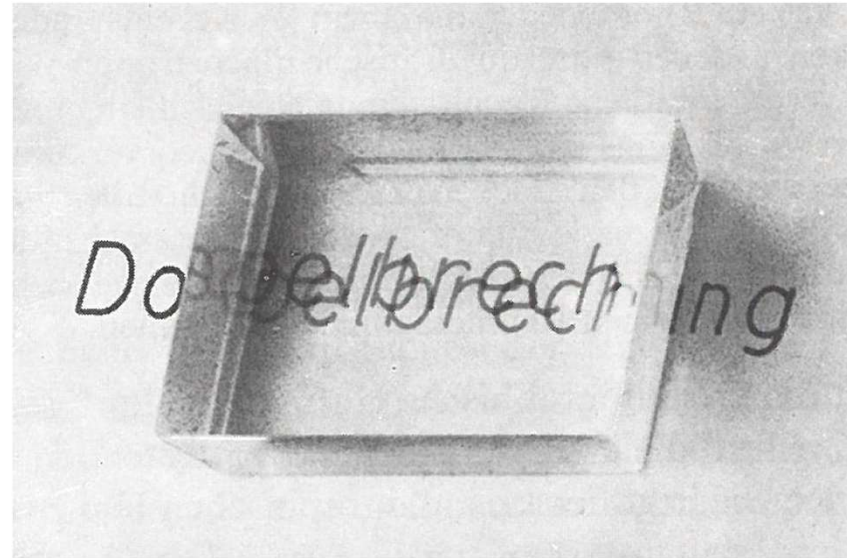
Ordentlicher Strahl:

⊥ auf optische Achse polarisiert

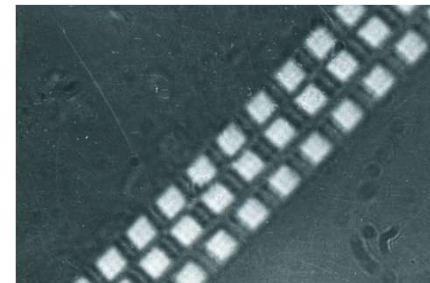
Außerordentlicher Strahl:

|| zur optische Achse polarisiert

Ordentliche und außerordentliche Strahlen haben unterschiedliche Ausbreitungsgeschwindigkeiten, d.h. unterschiedliche Brechzahlen.



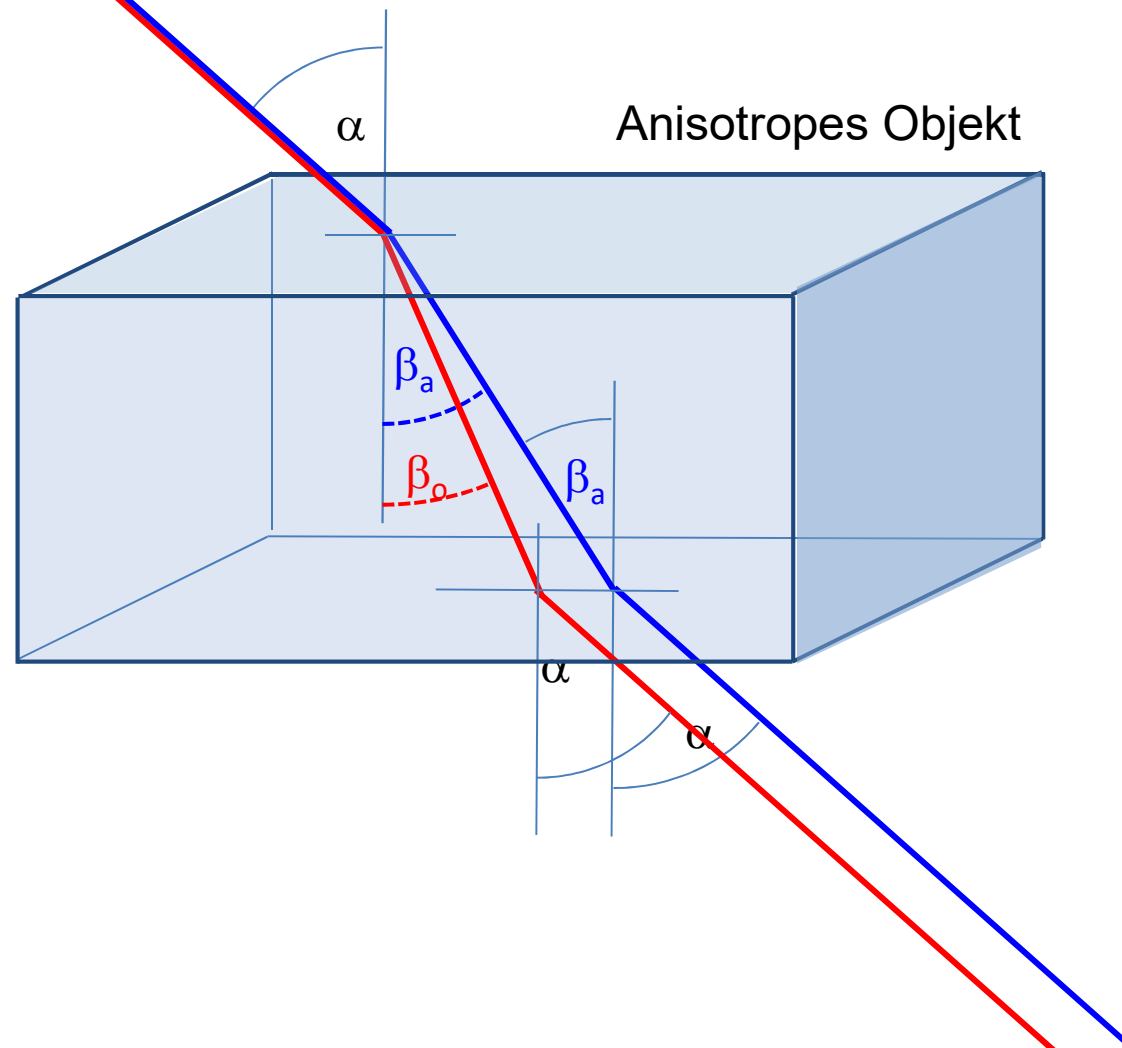
Doppelbrechung eines Kalkspatkristals



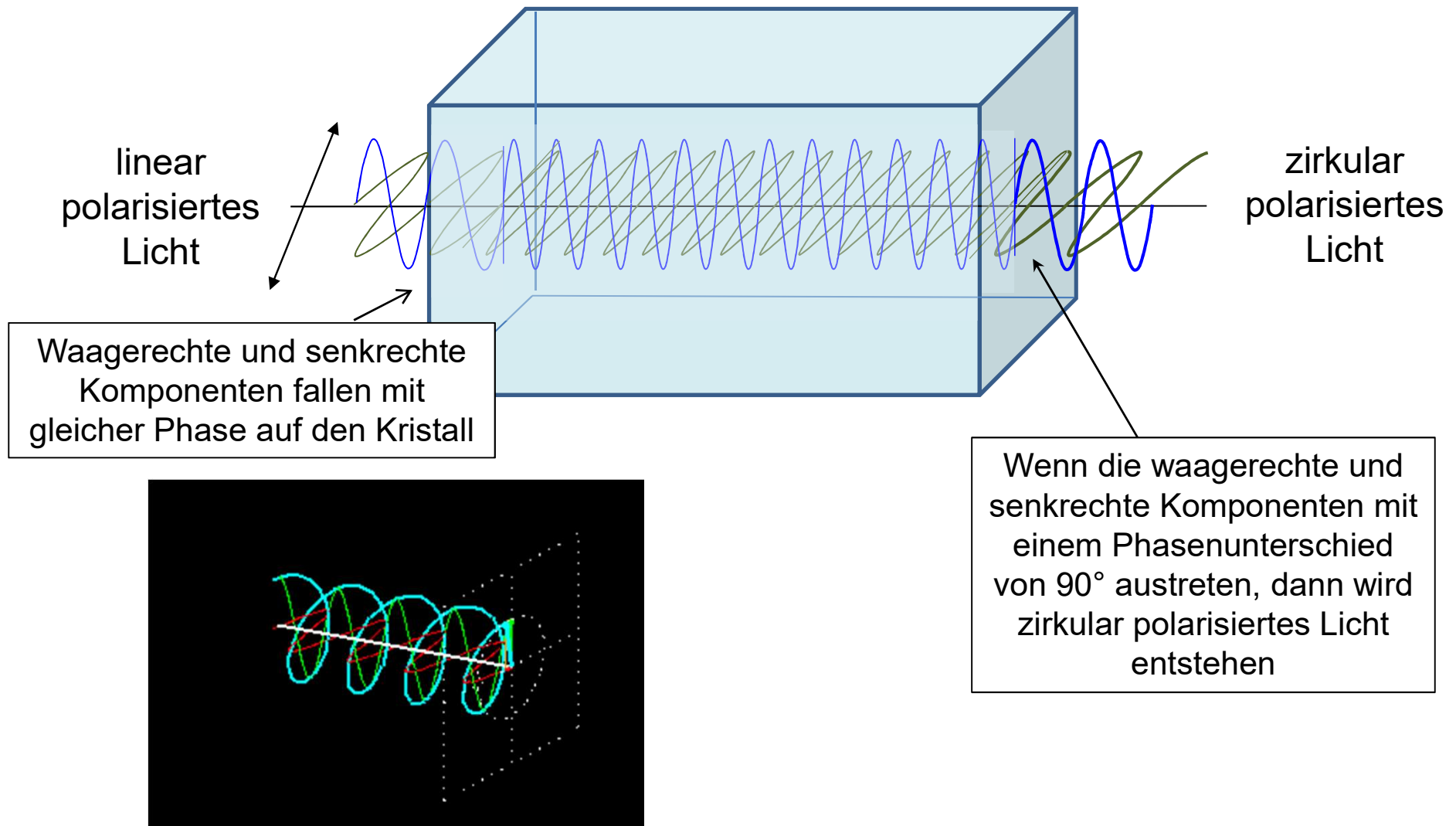
Doppelbrechung:
leicht ausgedehnter Muskel
des Flügels einer Biene
(in einem Polarisationsmikroskop)

- Doppelbrechung:
außerordentlicher Strahl

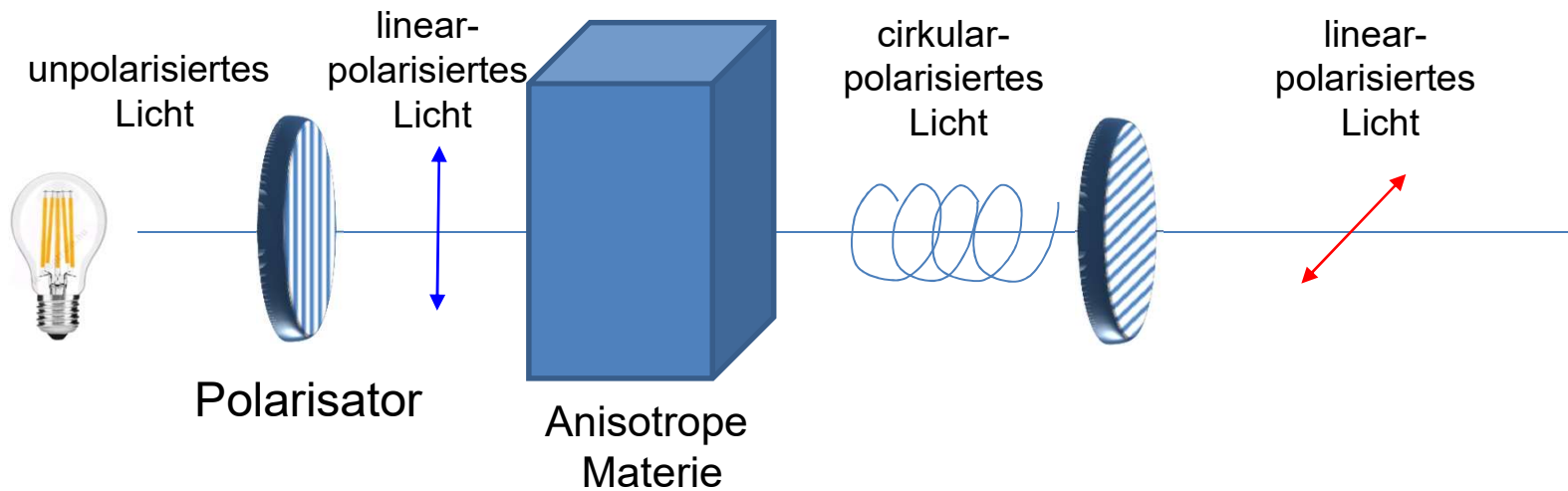
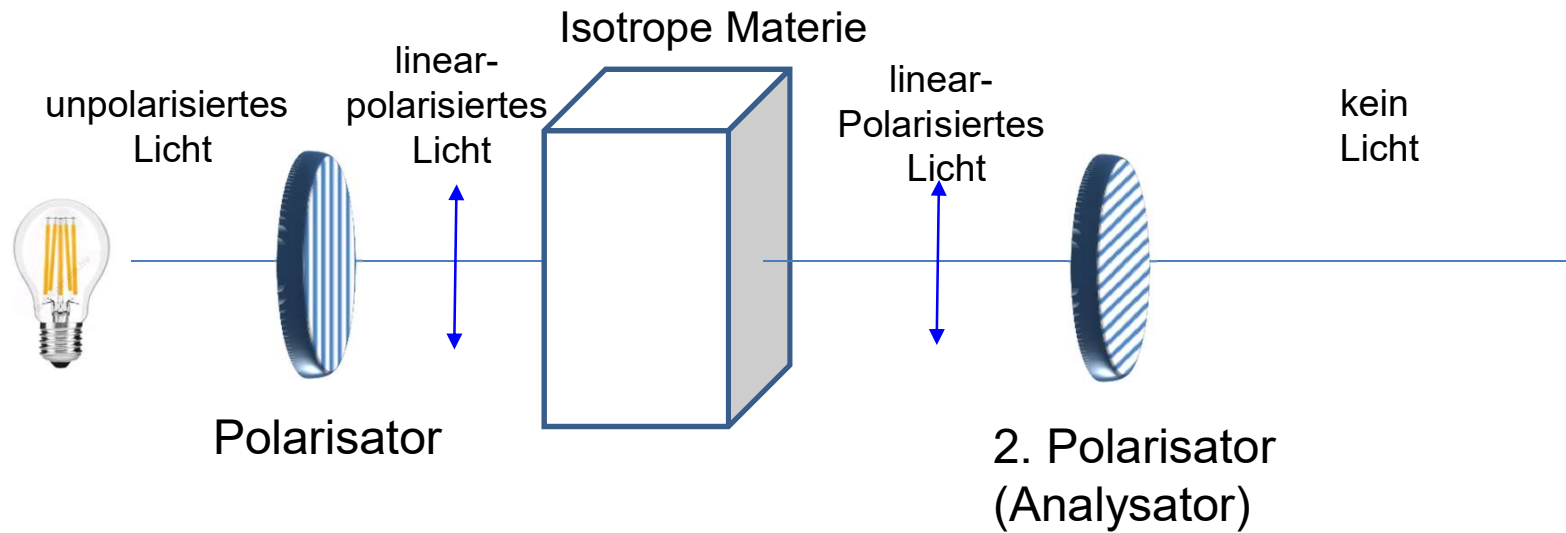
ordentlicher Strahl



- **Doppelbrechung:**
Ein Spezialfall, wenn nur die Geschwindigkeiten sind unterschiedlich:
Entstehung des zirkularpolarisierten Lichtes.



s. weitere Animationen hier: https://cddemo.szilab.org/index_de.html



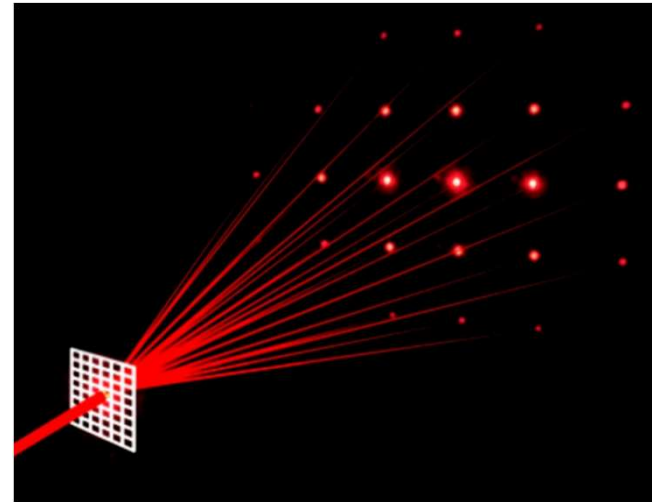
Durch gekreuzten Polarisatoren sieht man nur die anisotrope Objekte! (s. Polarisationsmikroskop)

- Zusammenfassung und Vergleich der optischen Aktivität und Doppelbrechung:

	Doppelbrechung	Optische Aktivität
Eigenschaft der Materie	Geordneter Struktur Anisotropie	Spiegelsymmetrische Moleküle
Ursache	Unterschiedliche n für ordentliche und ausserordentliche Lichtstrahlen (beide Linearpolarisiert)	Unterschiedliche Brechzahl für rechts und links zirkularpolarisierte Lichtkomponente.
Beleuchtung	Lin. pol. Licht	Lin. pol. Licht
Nach der Probe	Zirkular (oder elliptisch polarisiertes) Licht	Lin. pol Licht mit gedrehter Polarisationsebene.
Zur Beobachtung notwendiger Lichtweg	μm	dm

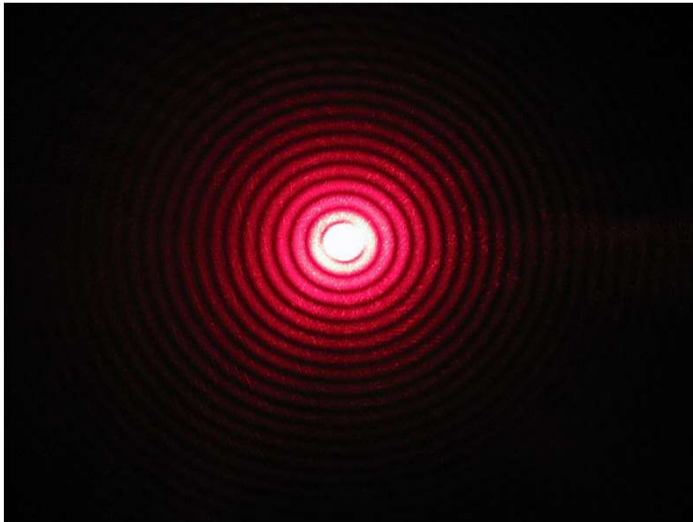
d) Beugung (Diffraction) des Lichtes

Beweis für den
Wellencharakter
des Lichts

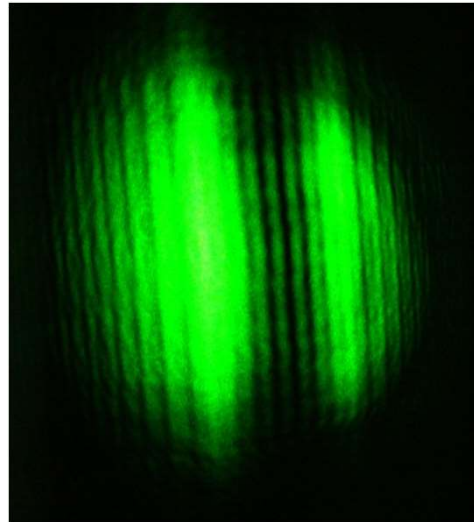


Beugung eines Laserstrahls an einem
zweidimensionalen optischen Gitter

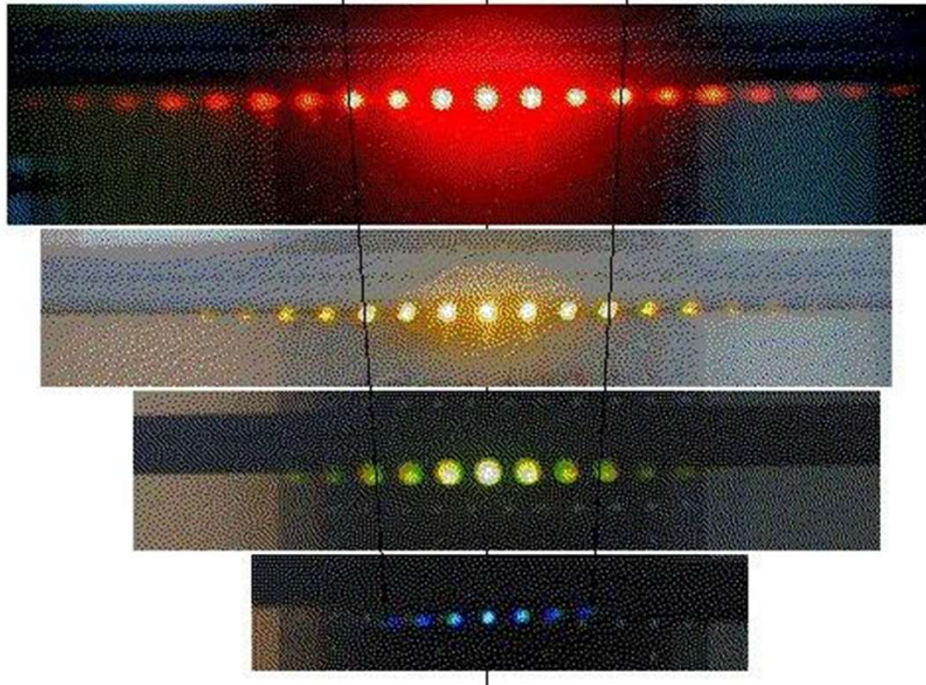
Beugung eines Laserstrahls
an einem Loch



Beugung eines Laserstrahls
an einem Haar



Beugung von Laserstrahlen unterschiedlicher Wellenlänge an einem optischen Gitter



Beugung ist Wellenlängeabhängig!

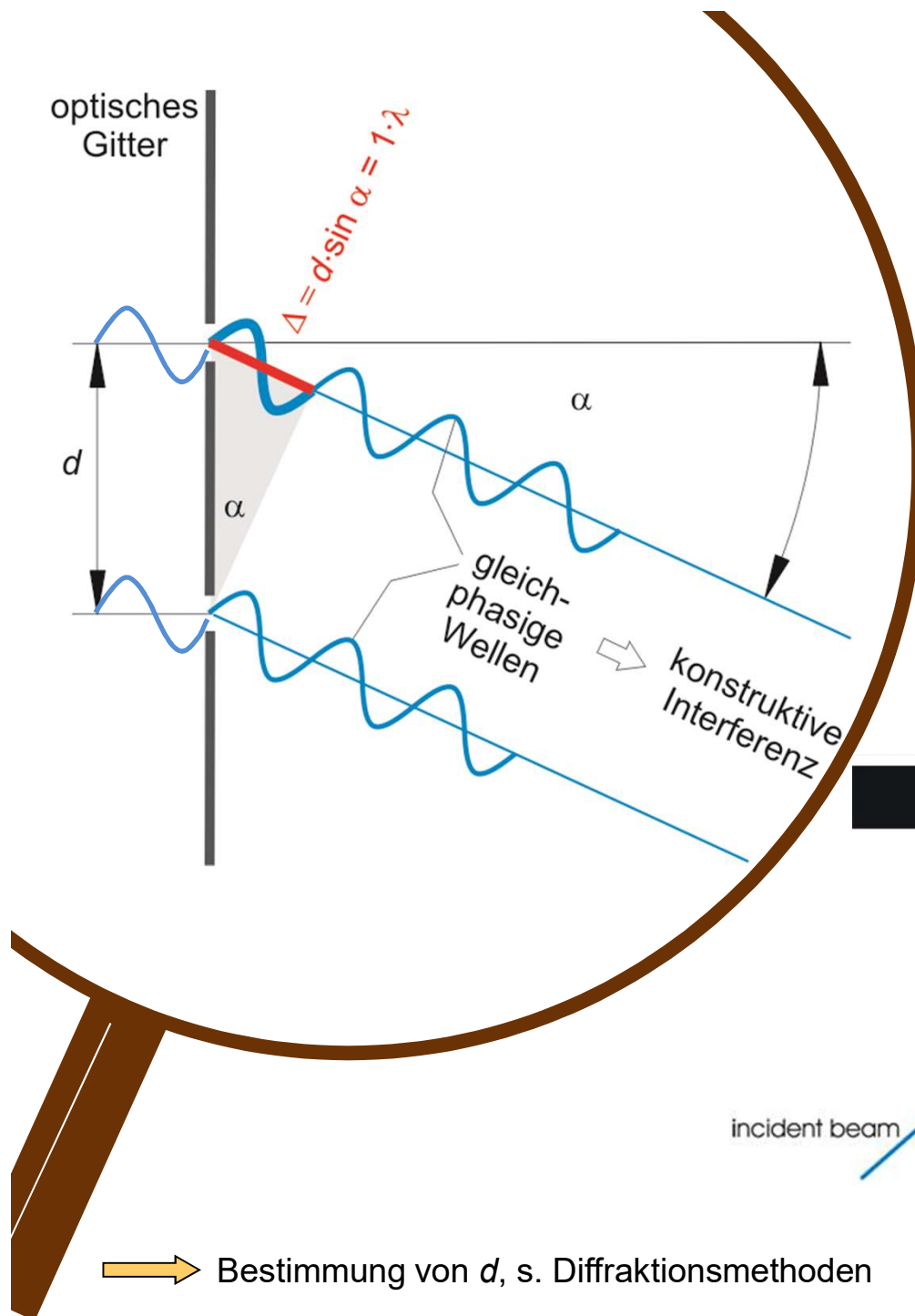
Beugung von weißem Licht an einem optischen Gitter



Hauptmaximum

Nebenmaximum
1-ter Ordnung

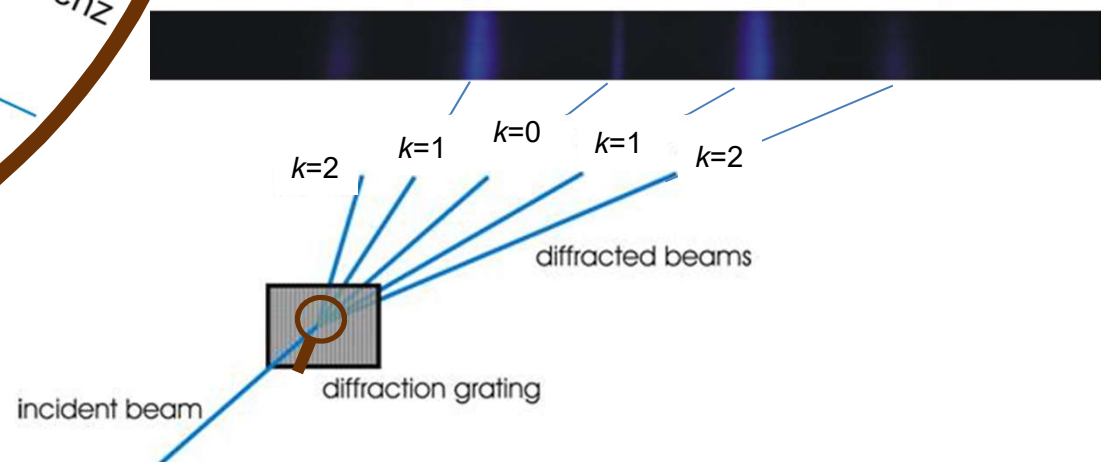
Nebenmaximum
2-ter Ordnung



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

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

→ Bestimmung von λ



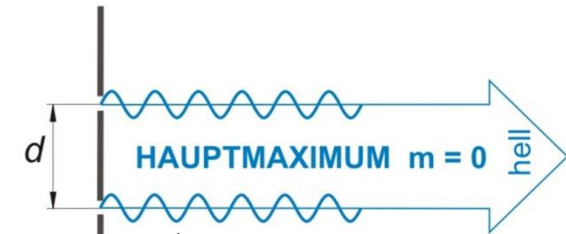
→ Bestimmung von d , s. Diffraktionsmethoden

- Beugung an einem optischen Gitter

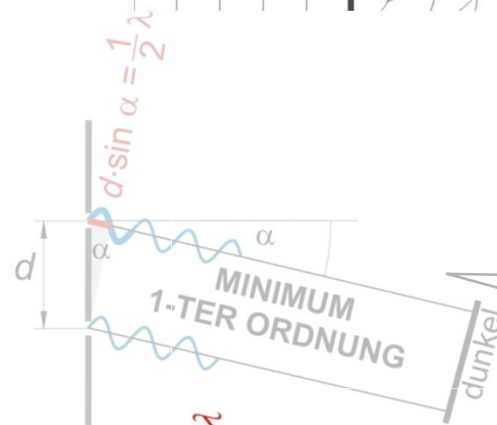
(s. Abbildung am Titelblatt des Themas Spezialmikroskope im Praktikumsbuch!)

OPTISCHES
GITTER

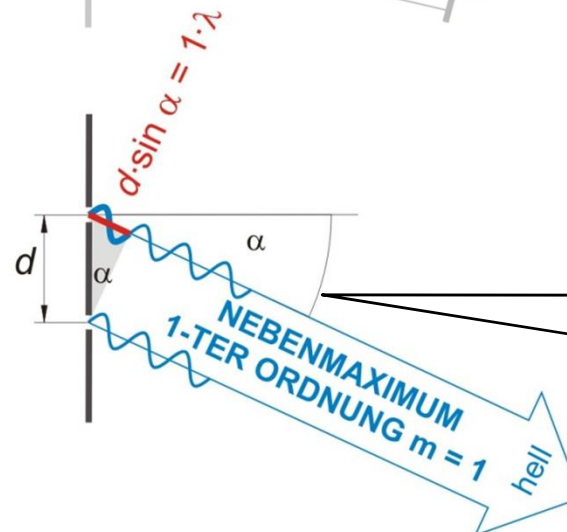
Gitterkonstante = d



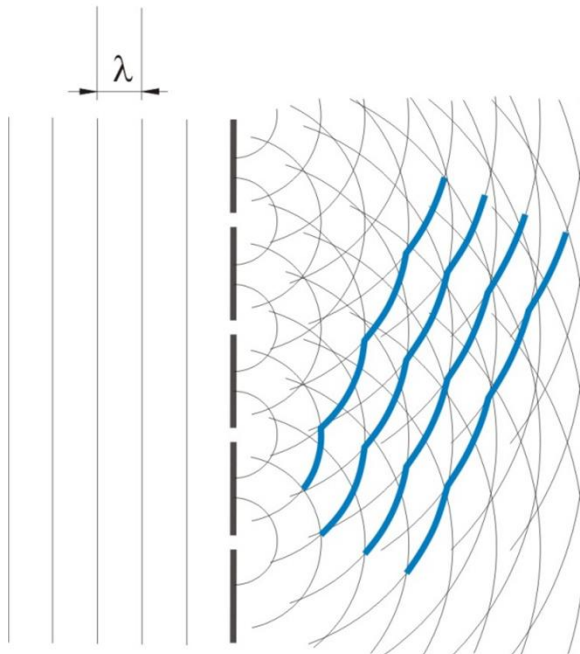
Elementarwellen in gleicher Phase \Rightarrow positive Interferenz



Elementarwellen in entgegengesetzter Phase \Rightarrow negative Interferenz

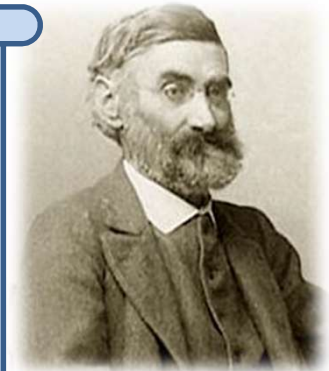


Elementarwellen in gleicher Phase \Rightarrow positive Interferenz



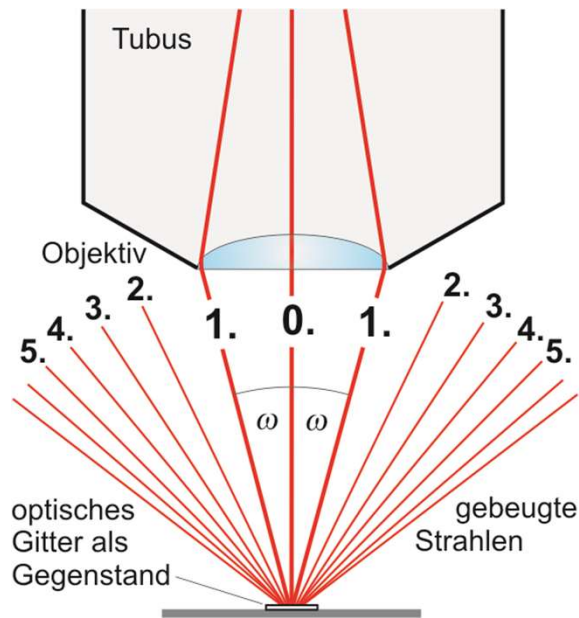
e) Konsequenzen des Wellencharakters des Lichtes – endliche Auflösung der optischen Instrumenten und des Auges

Abbesches Prinzip: Im Mikroskop erhält man nur dann ein Bild, wenn von den am Objekt gebeugten Strahlen außer dem Hauptmaximum mindestens die Beugungsstrahlen erster Ordnung in den Tubus gelangen und auch an der Bildentstehung teilnehmen



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

■ Auflösungsgrenze des Lichtmikroskops (δ):



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

Wellenlänge des verwendeten Lichts

Brechzahl des Materials zwischen dem Präparat und der Objektivlinse

Halböffnungswinkel der Objektivlinse

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

Hausaufgaben: Aufgabensammlung

2.31, 32, 38-39



Polarsations-
mikroskopische
Aufnahmen

