

# Angewandte Optik

Vorlesung im Sommersemester 2021

**Prof. Dr. Gerhard Birkl**

ATOME - PHOTONEN - QUANTEN

Institut für Angewandte Physik

Raum: S2/15 126 - Telefon: 16-20410 - email: [gerhard.birkl@physik.tu-darmstadt.de](mailto:gerhard.birkl@physik.tu-darmstadt.de)

[www.iap.tu-darmstadt.de/apq/teaching/](http://www.iap.tu-darmstadt.de/apq/teaching/)

# Folien zur Vorlesung

**werden unter der moodle-Seite  
zur Vorlesung zur Verfügung gestellt.**

**Weitere Informationen finden Sie auch unter  
[www.iap.tu-darmstadt.de/apq/teaching/](http://www.iap.tu-darmstadt.de/apq/teaching/)**

Die abgelegten pdf-Dateien enthalten die Folien der Vorlesung *Angewandte Optik* im Sommersemester 2021. Sie dürfen ausschließlich von den Studierenden der Vorlesung für den internen Gebrauch an der TU Darmstadt zur Nacharbeitung der Vorlesungsinhalte verwendet werden und dürfen weder vervielfältigt noch in irgendeiner Form veröffentlicht werden.

Quellenangabe: Die verwendeten Abbildungen sind teilweise aus den zur Nacharbeitung empfohlenen Büchern entnommen. Die Rechte liegen bei den entsprechenden Autoren und Verlagen.

# Inhalt

Grundlagen, Prinzipien, Realisierung und  
Anwendung von optischen und  
optoelektronischen Systemen für die Erzeugung,  
Übertragung und Verarbeitung von Licht und  
optischen Signalen

# Übersicht

- Prinzipien der Optik - Ausbreitung von Licht im Vakuum und in dielektrischen Medien
- Wellenleiter  
Glasfasern, Integrierte Wellenleiterstrukturen
- Lichtquellen  
LED, Festkörperlaser, Halbleiterlaser
- Detektoren  
Photodioden, CCD, Photomultiplier

Bestimmung von komplexeren räumlichen Lösungen der Wellengleichung (Moden des el.mag. Feldes):  $\vec{\hat{E}} = \vec{\hat{E}}(x, y, z)$

Helmholtz-Gleichung:

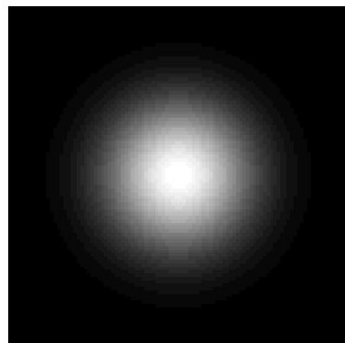
zeitunabhängige Wellengleichung für  $\vec{E}$ :

$$\Delta \vec{E} + n^2 k^2 \vec{E} = 0$$

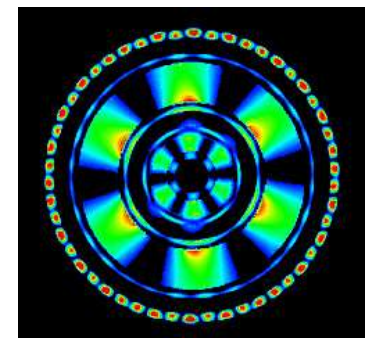
im Vakuum

$$\Delta \vec{E} + k^2 \vec{E} = 0$$

Beispiele: Gaußscher Strahl



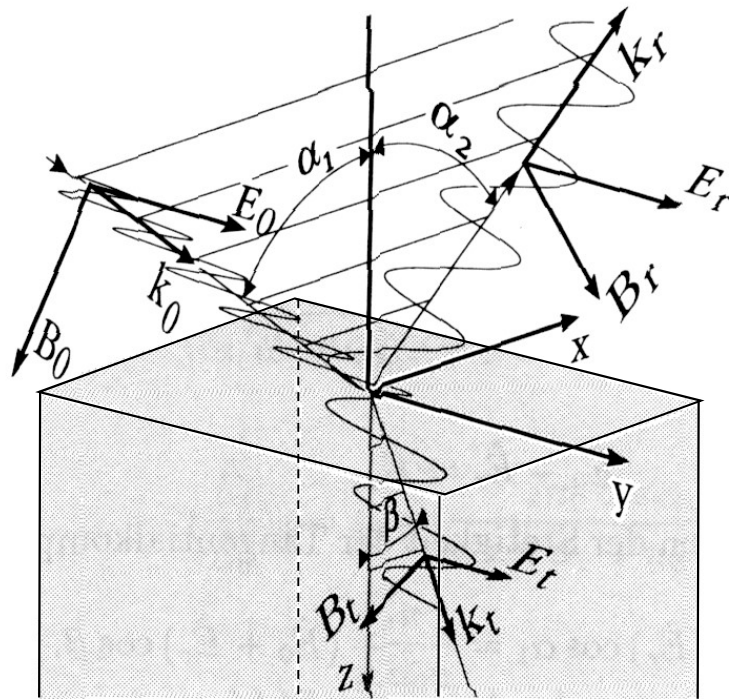
Moden in Wellenleitern  
und Glasfasern



## 1.3 Wellenausbreitung an optischen Grenzflächen

### Fresnel'sche Formeln

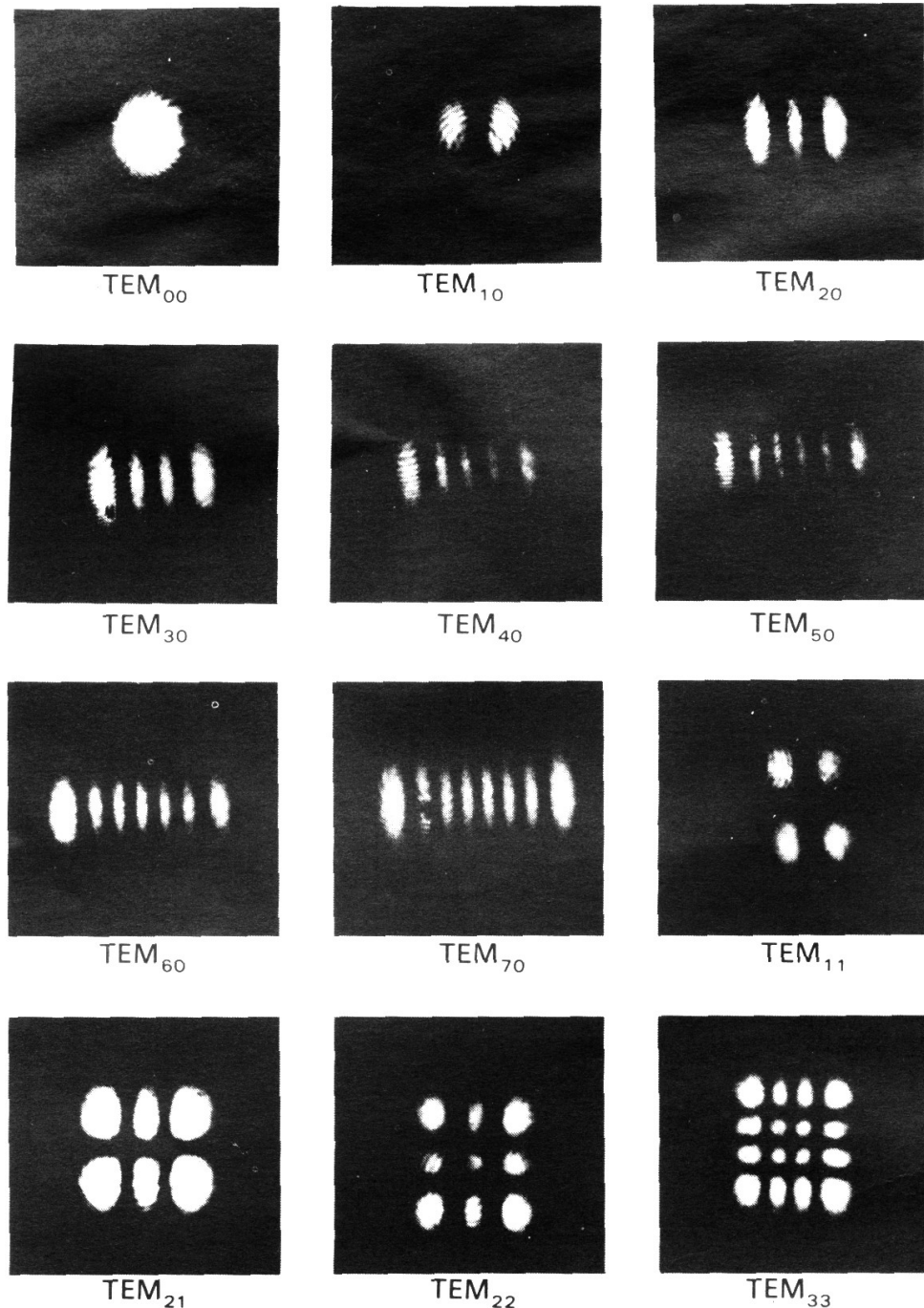
Aufspaltung einer einfallenden Welle (Index 0) in einen reflektierten (Index r) und einen transmittierten Anteil (Index t) an einer optischen Grenzfläche.



Notation und Schema

# Verallgemeinerung: Hermite-Gaußsche Strahlen (TEM- Moden)

Lösungen der Paraxialen  
Helmholtz-Gleichung mit  
Wellenfrontkrümmung und  
radialer Divergenz identisch  
zu Gauß-Strahl, jedoch mit  
abweichender radialen  
Intensitätsverteilung



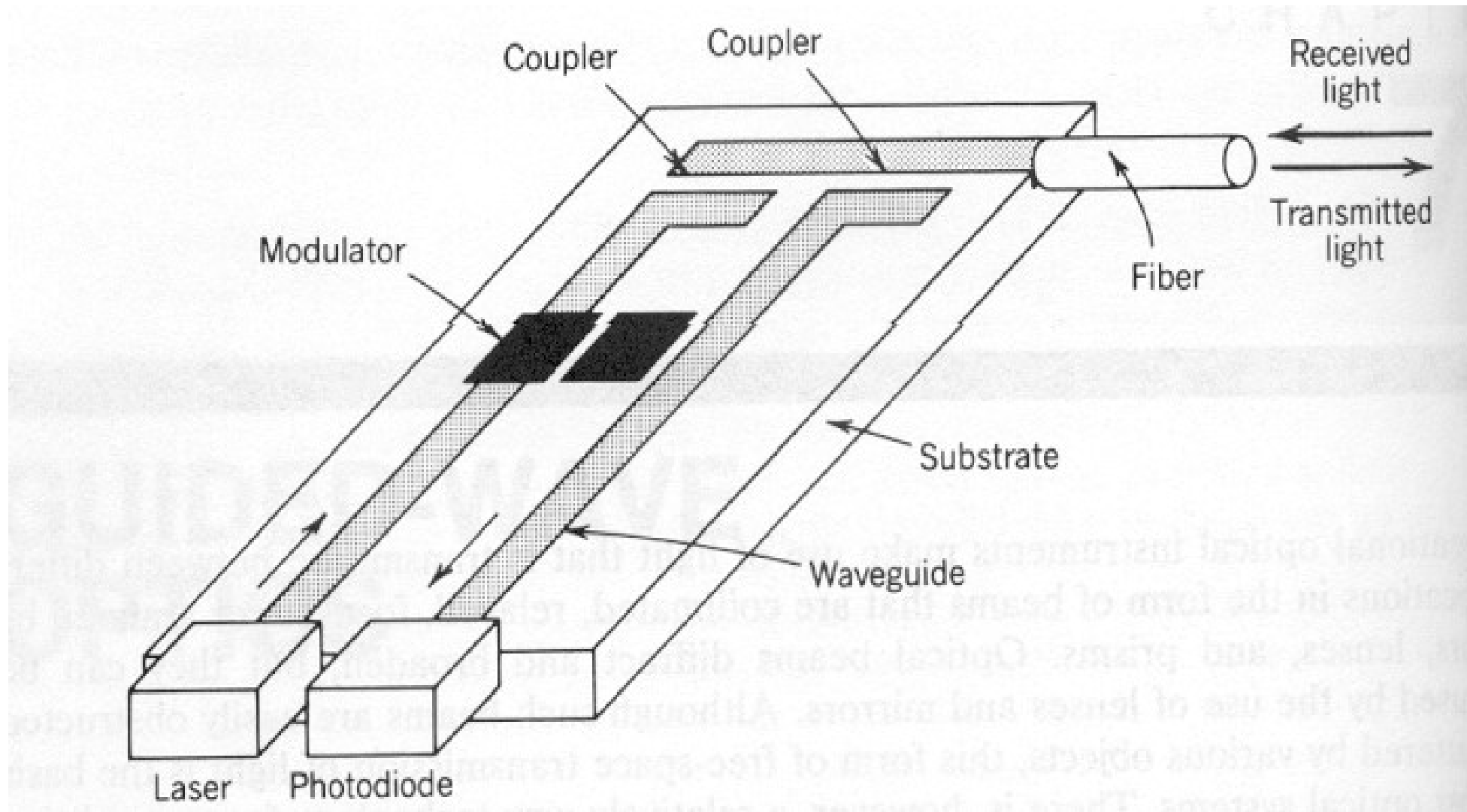
Some low-order optical-beam modes. *Source:* Reference 9.

# Übersicht

- Prinzipien der Optik - Ausbreitung von Licht im Vakuum und in dielektrischen Medien
- Wellenleiter  
  Glasfasern, Integrierte Wellenleiterstrukturen
- Lichtquellen  
  LED, Festkörperlaser, Halbleiterlaser
- Detektoren  
  Photodioden, CCD, Photomultiplier

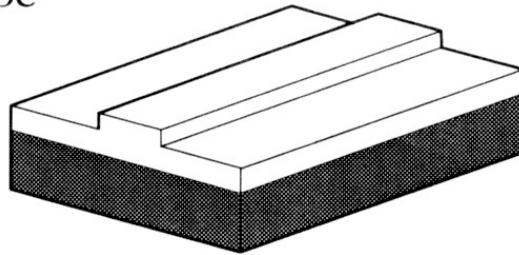


# Komponenten eines integrierten optischen Systems

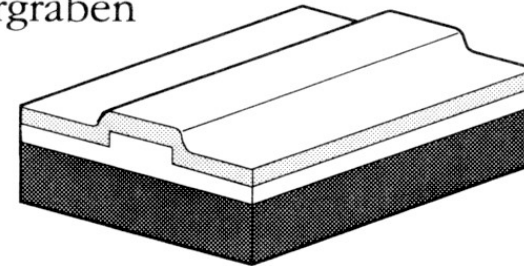


# Realisierungen von Streifenwellenleitern

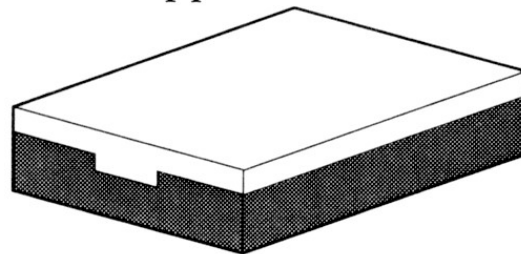
Rippe



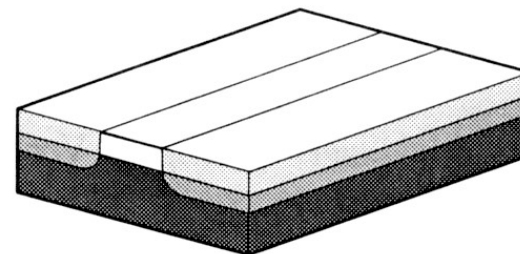
vergraben



invertierte Rippe



Diffusion



## 1.7 Wellenleitung in Optischen Fasern

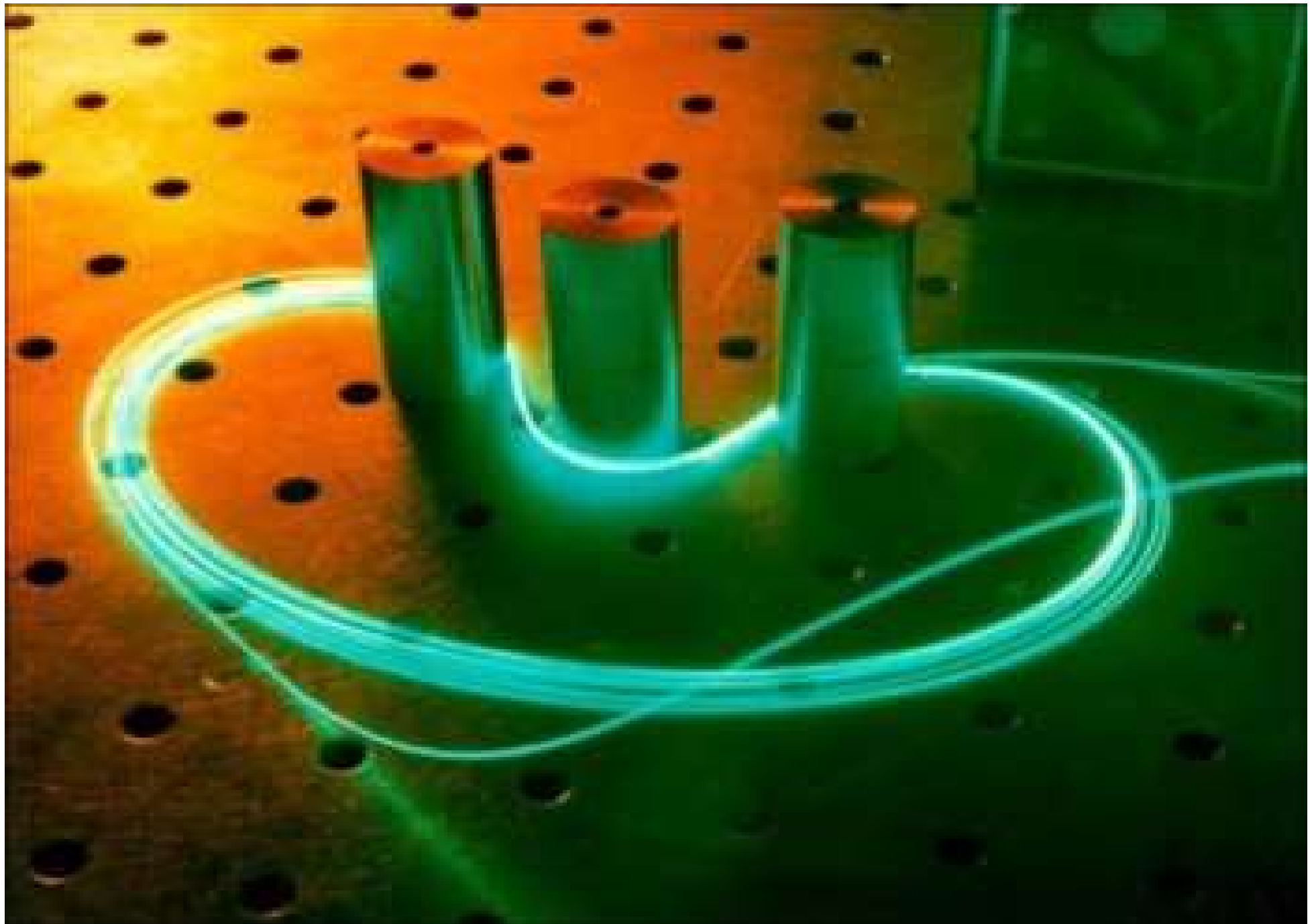


# Übersicht

- Prinzipien der Optik - Ausbreitung von Licht im Vakuum und in dielektrischen Medien
- Wellenleiter  
Glasfasern, Integrierte Wellenleiterstrukturen
- Lichtquellen  
LED, Festkörperlaser, Halbleiterlaser
- Detektoren  
Photodioden, CCD, Photomultiplier

Einzel-  
Moden-  
Laserdioden

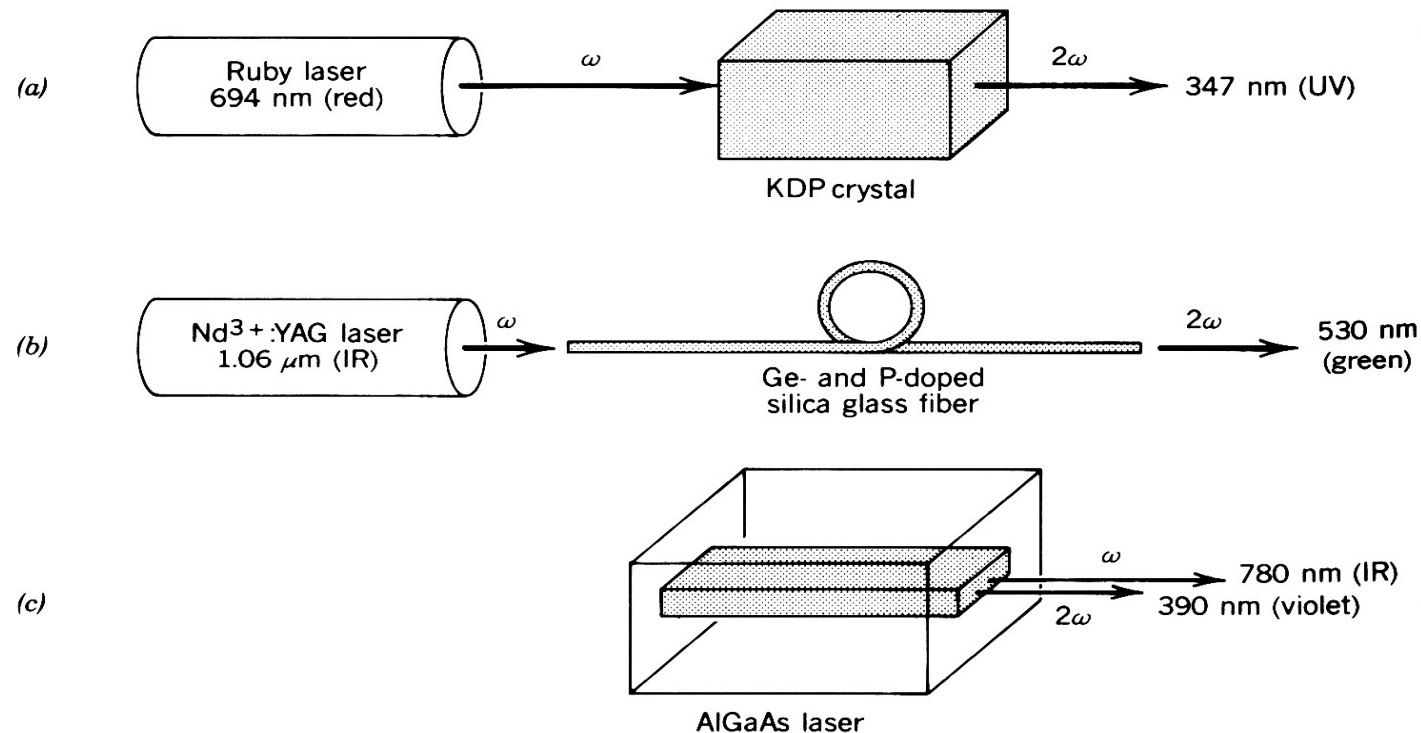




## Nichtlineare Optik: z.B. Frequenzverdopplung

Der Quellterm  $\mathbf{S} = -\mu_0 \frac{\partial^2 \mathbf{P}_{NL}}{\partial t^2}$  enthält Komponenten der doppelten Frequenz  $2\omega$

⇒ Das abgestrahlte Lichtfeld enthält ebenfalls Komponenten der Frequenz  $2\omega$   
 Intensität dieser Komponente ist proportional zum Quadrat der Intensität der einlaufenden Welle



## Beispiel für Frequenzverdopplung

Frequenzverdopplter  
Nd:YAG-Laser:

Fundamentale Wellenlänge:  $1.06 \mu\text{m}$

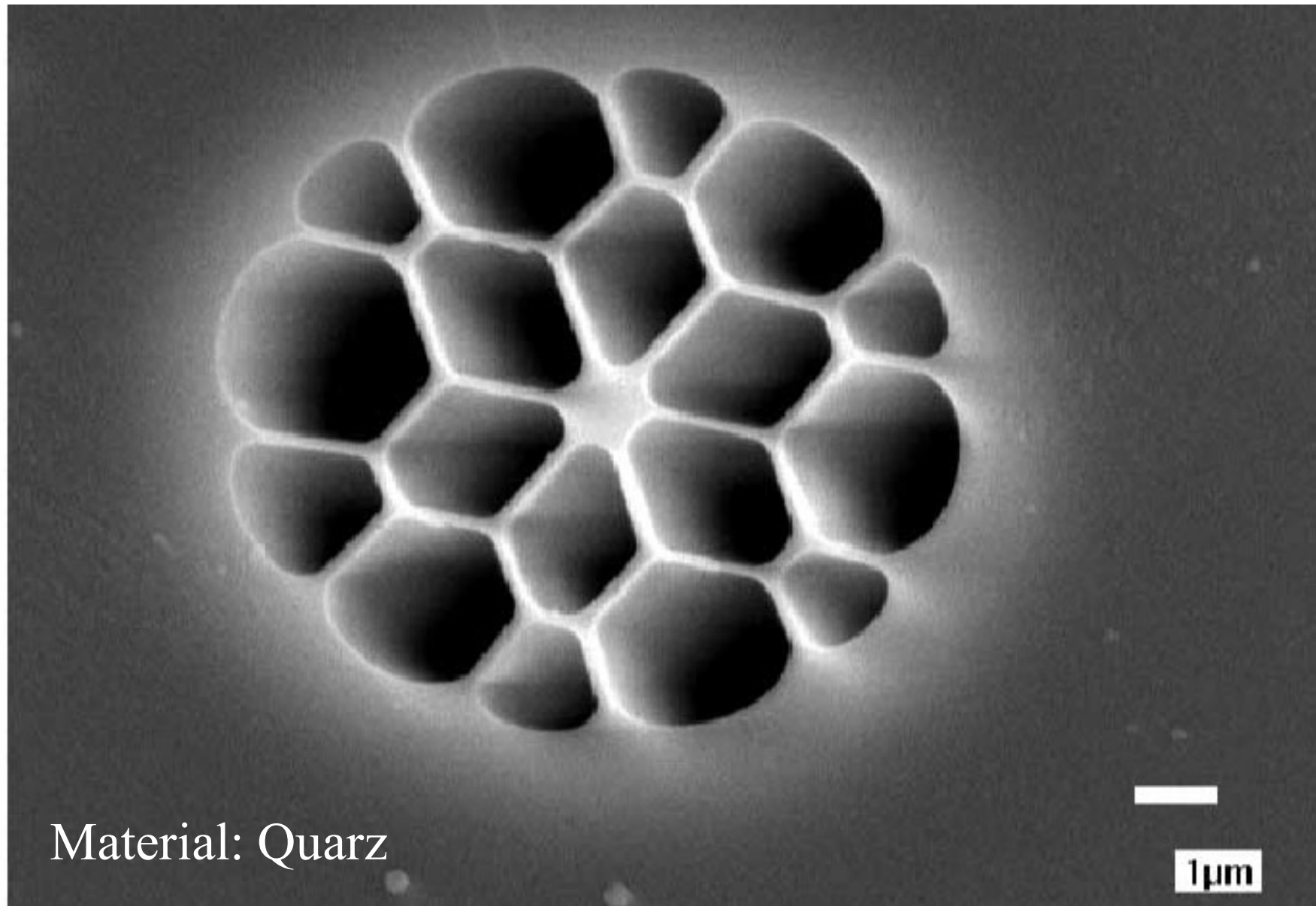
Frequenzverdoppelte Wellenlänge:  
 $532 \text{ nm}$

„Intracavity“-Verdopplung in nicht-linearem Kristall





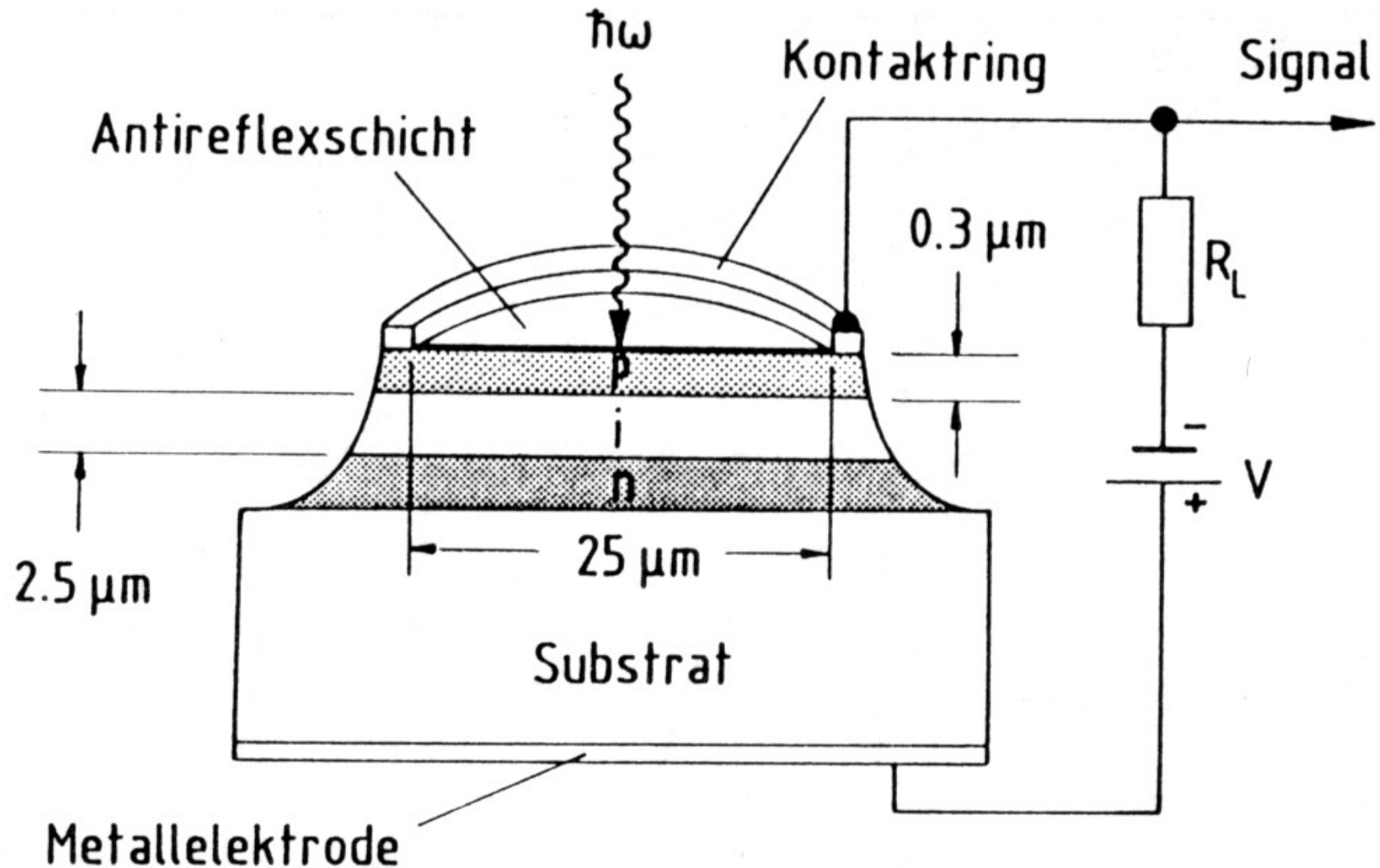
## Nichtlineares optisches Medium: Mikrostrukturfaser



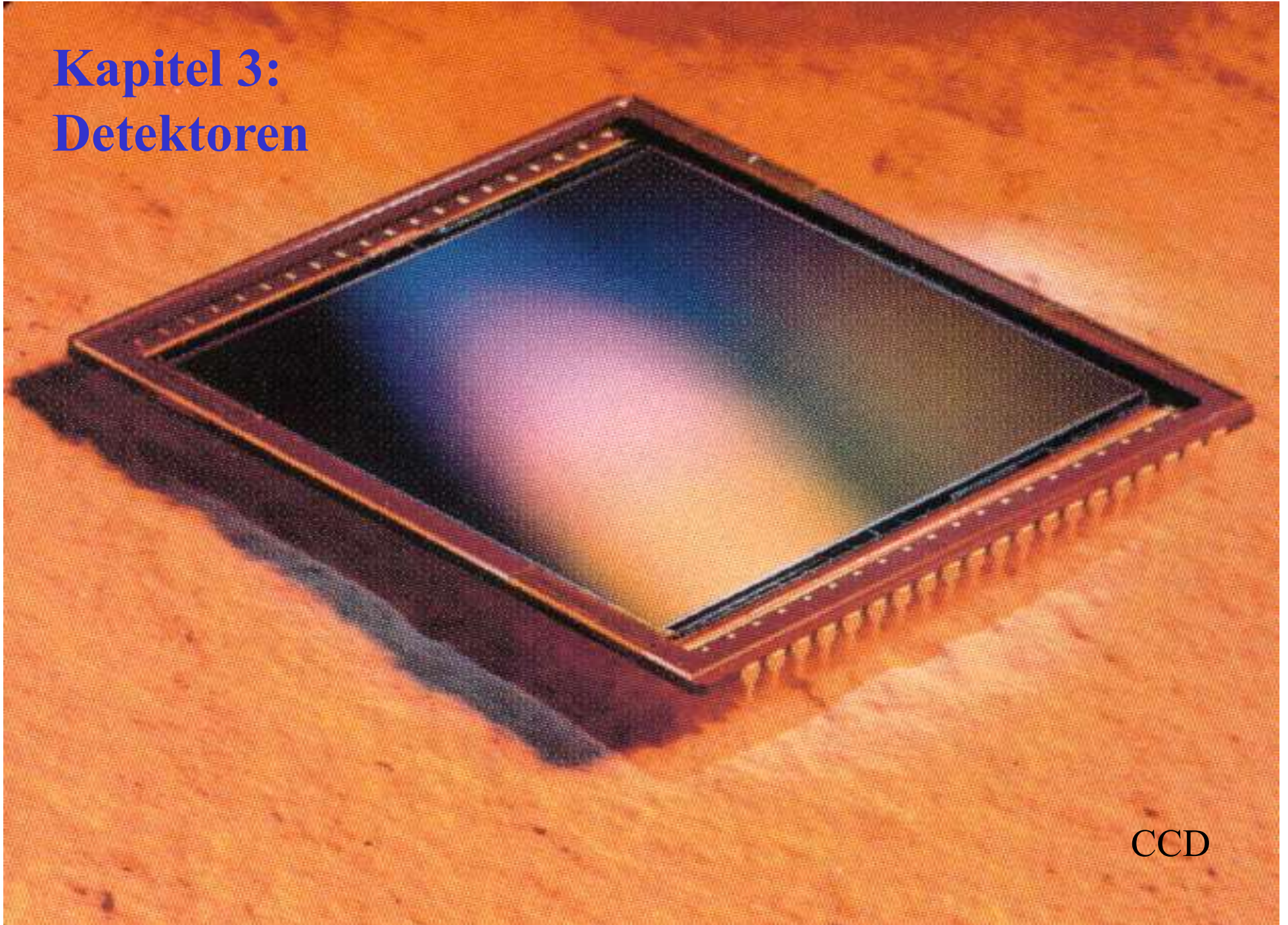
# Übersicht

- Prinzipien der Optik - Ausbreitung von Licht im Vakuum und in dielektrischen Medien
- Wellenleiter  
    Glasfasern, Integrierte Wellenleiterstrukturen
- Lichtquellen  
    LED, Festkörperlaser, Halbleiterlaser
- Detektoren  
    Photodioden, CCD, Photomultiplier

## Typischer Aufbau von PIN-Photodioden



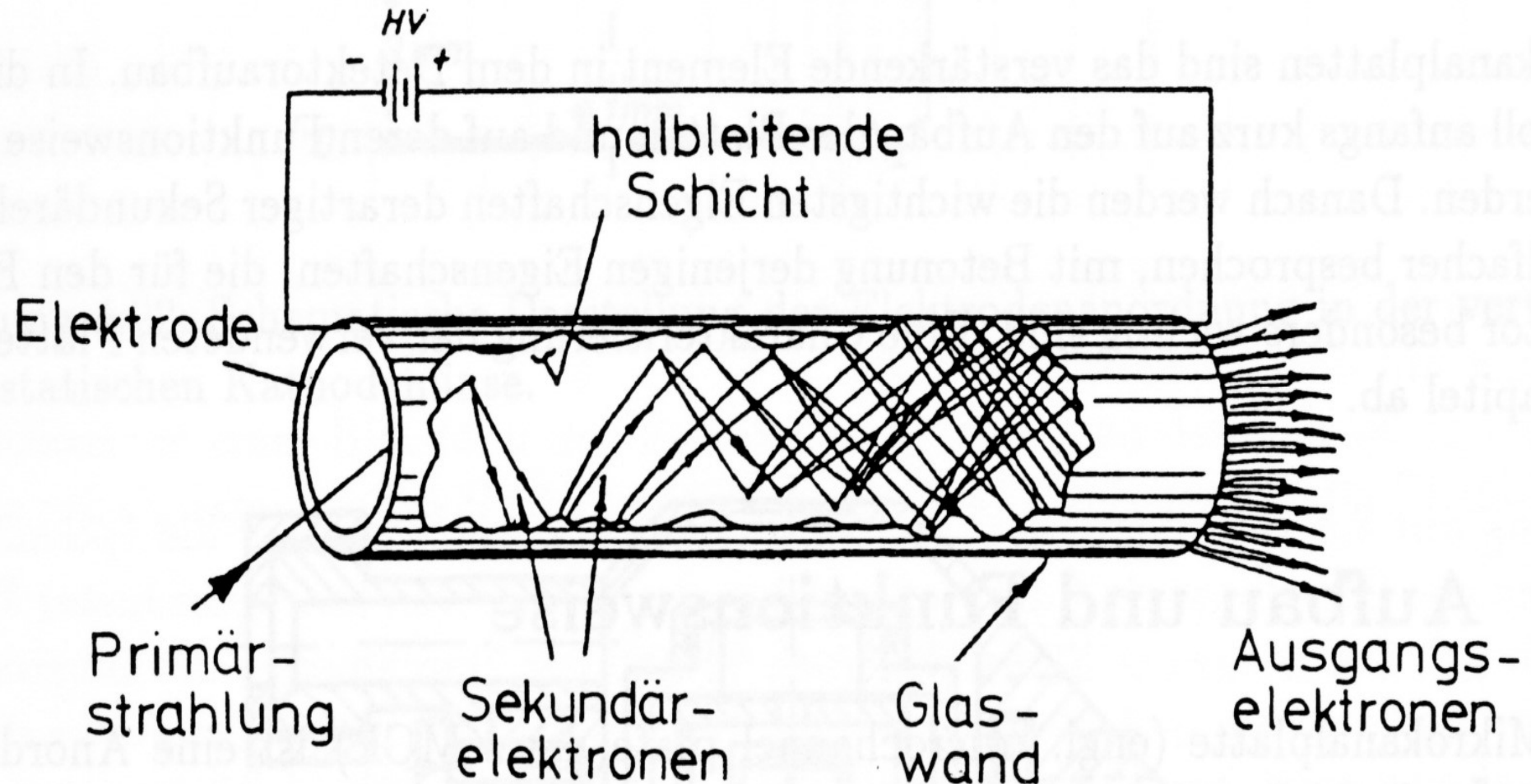
# Kapitel 3: Detektoren



CCD

## Funktionsprinzip eines Vielkanalplatten-Vervielfachers

Kapillaren sind mit elektronenemittierendem Material beschichtet und fungieren als kontinuierliche Dynoden für Photonen-Vervielfachung



# Übersicht

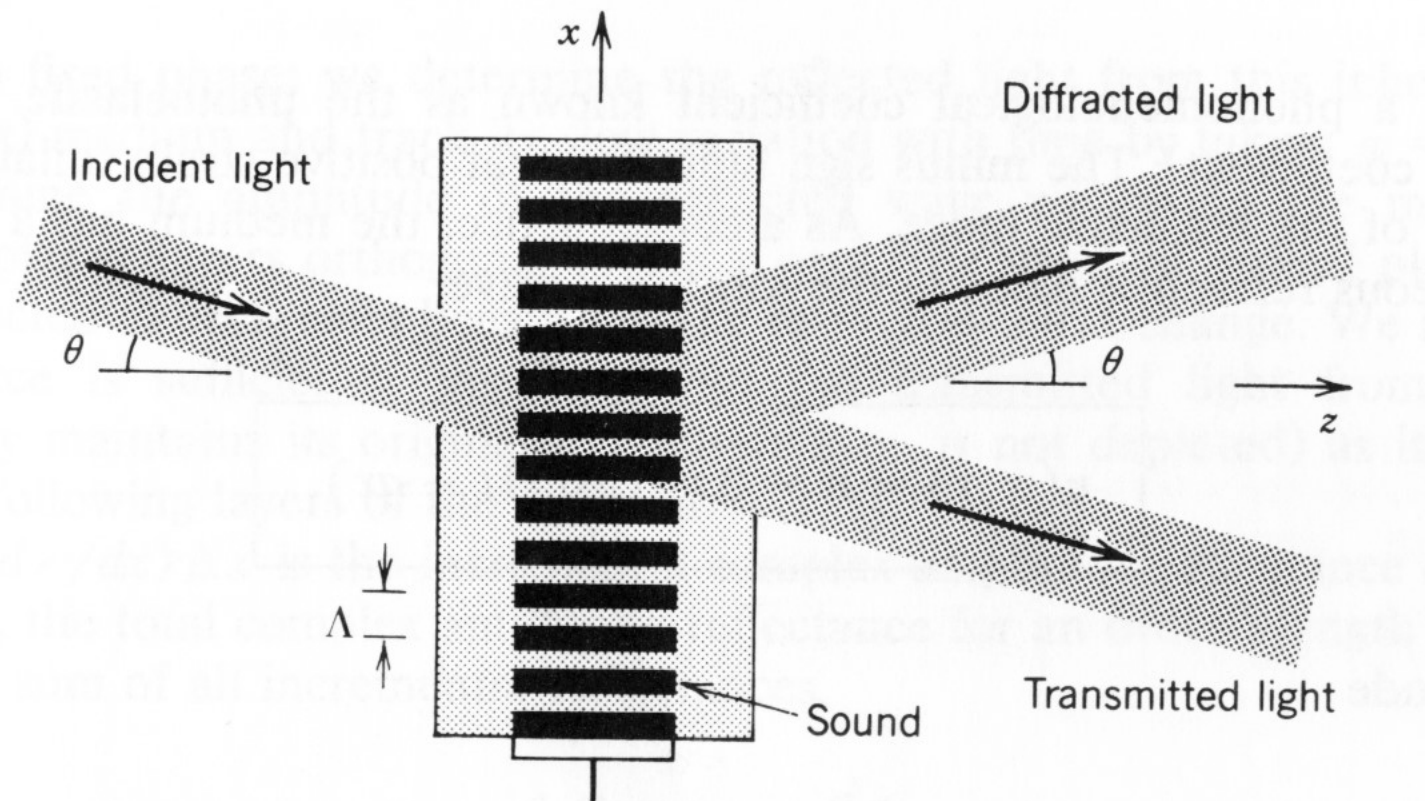
- Methoden der Manipulation von Licht  
Akustooptischer Effekt, Elektrooptischer Effekt
- Realisierungen von Modulatoren und Schaltern
- Mikrooptische Systeme
- Anwendungen der Photonik  
Optische Daten-Kommunikation, Sensorik, ...

## Funktionsweise des Akustooptischen Effekts: Bragg-Beugung

- Brechungsindexmodulation erzeugt plan-parallele Ebenen im Abstand  $\Lambda$ , von denen die Lichtwellen teilweise reflektiert werden.
- Konstruktive Interferenz dieser Teilwellen für Einfallswinkel  $\theta$ , die die **Bragg-Bedingung** erfüllen:

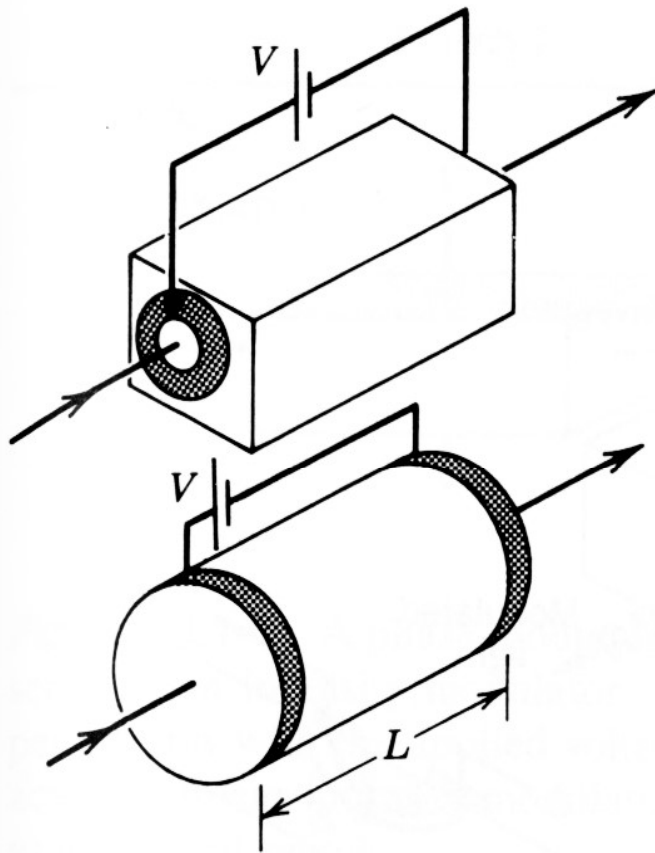
$$\sin \theta_B = \lambda / 2\Lambda$$

$\lambda$  = optische  
Wellen-  
länge im  
Medium



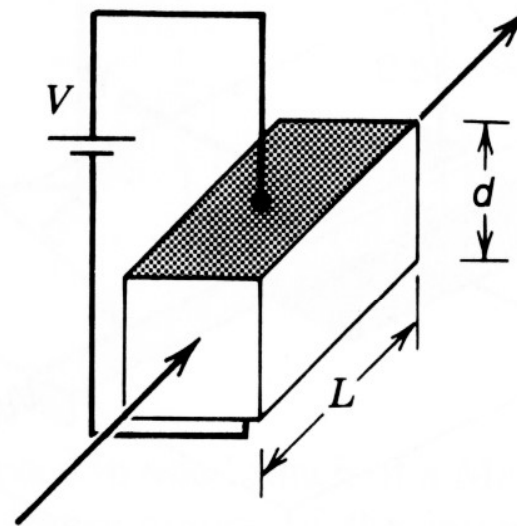
# Elektrooptische Modulatoren und Schalter

Longitudinaler  
Modulator



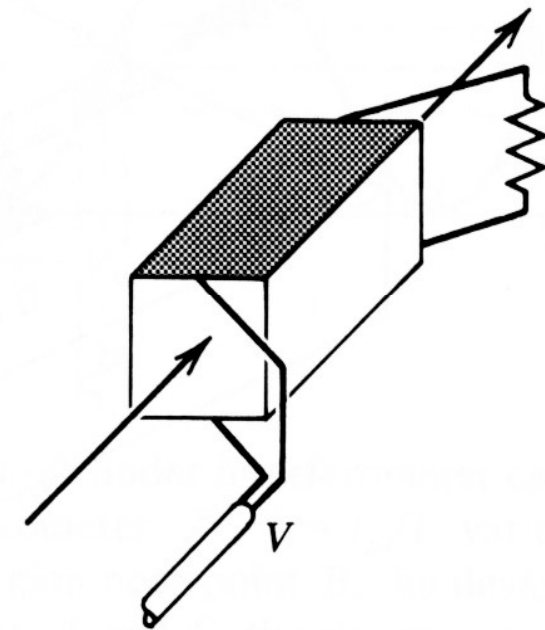
(a)

Transversaler  
Modulator



(b)

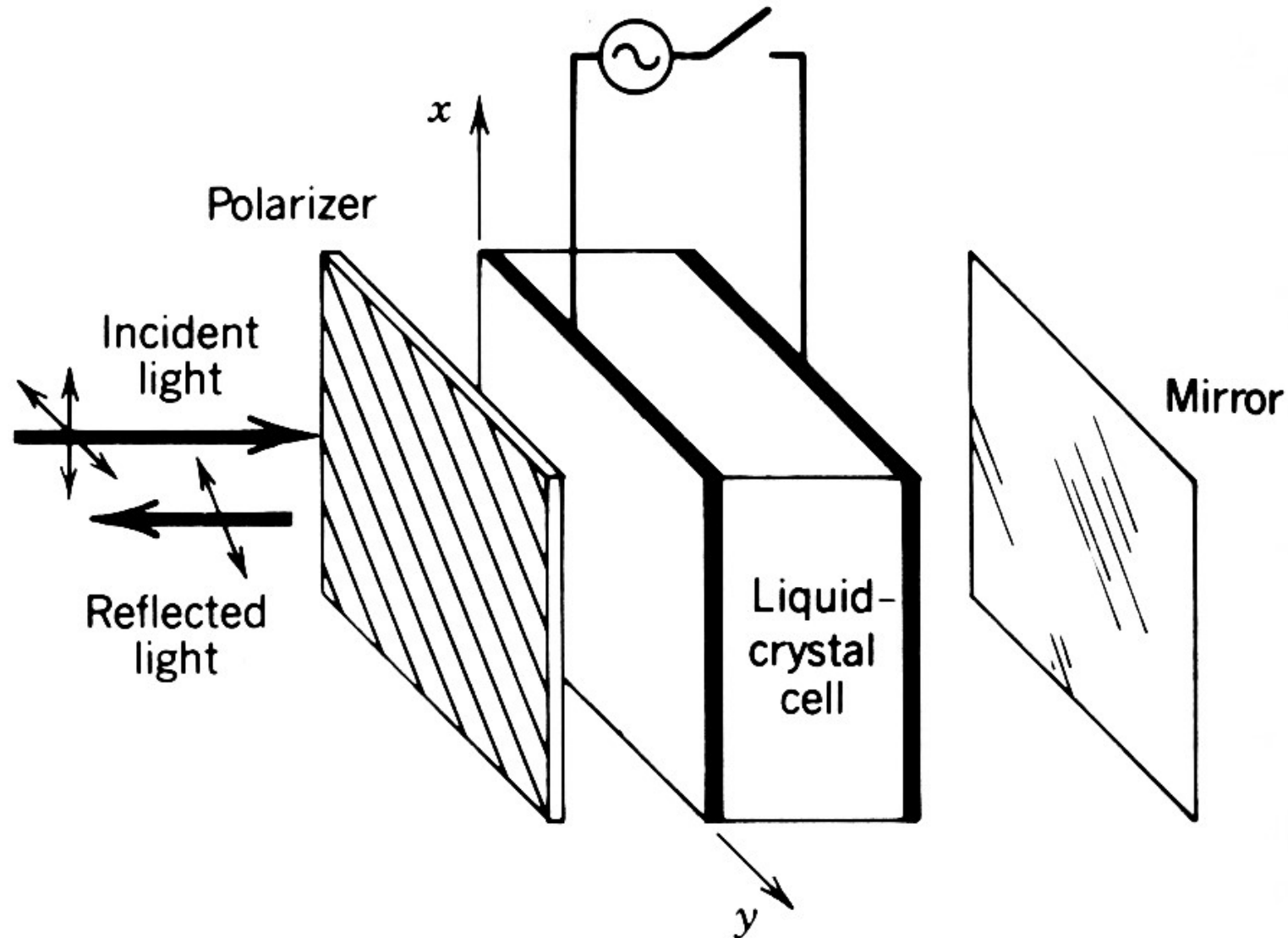
Laufwellen-  
modulator



(c)



# Aufbau eines Flüssigkristall-Intensitätsmodulators

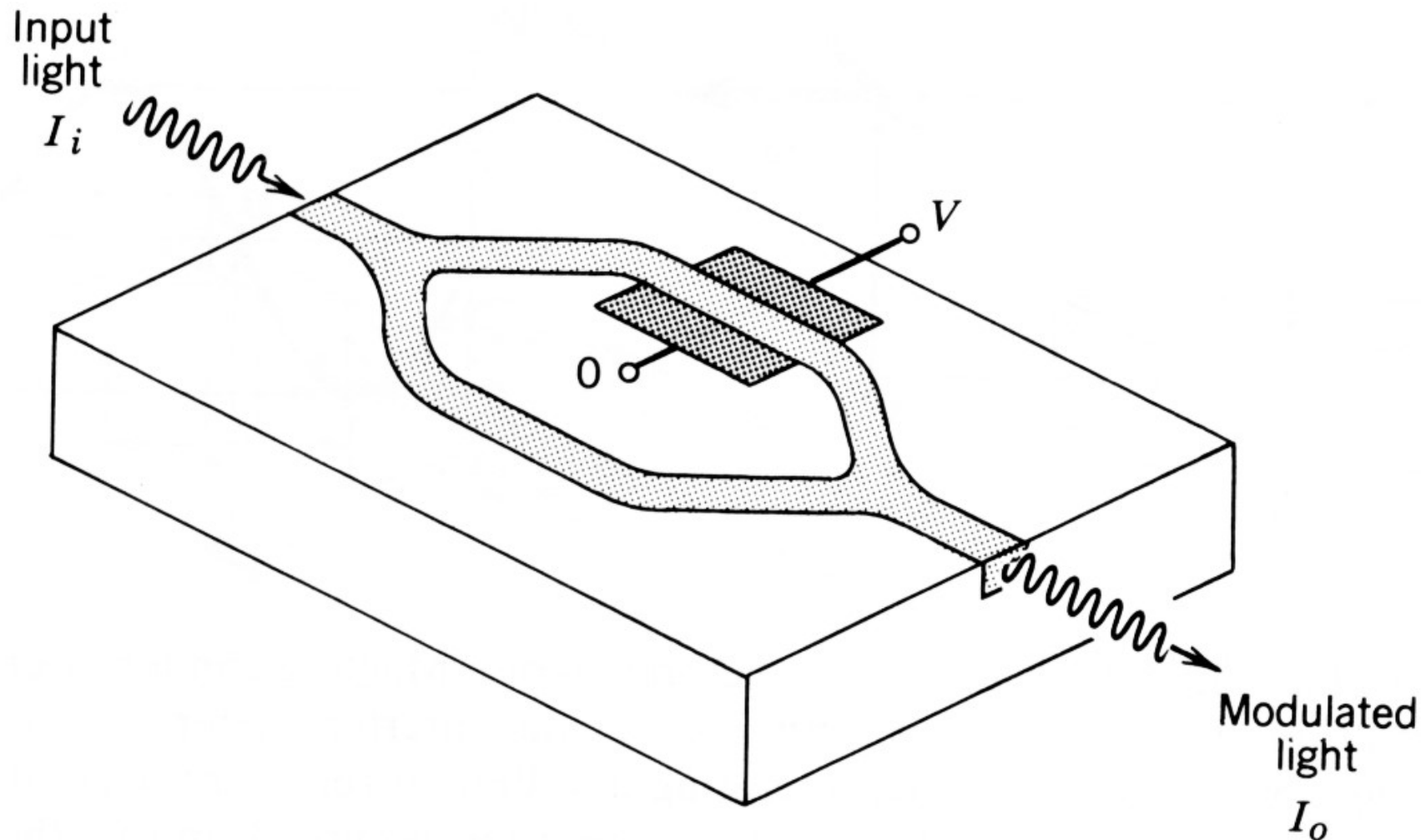


# Übersicht

- Methoden der Manipulation von Licht  
Akustooptischer Effekt, Elektrooptischer Effekt
- Realisierungen von Modulatoren und Schaltern
- Mikrooptische Systeme
- Anwendungen der Photonik  
Optische Daten-Kommunikation, Sensorik, ...

# Intensitätsmodulator aus integriert-optischem Interferometer

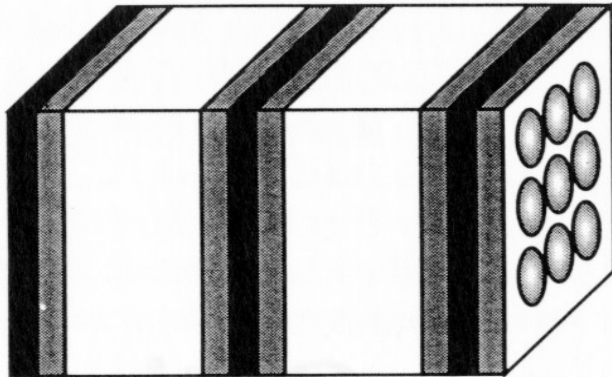
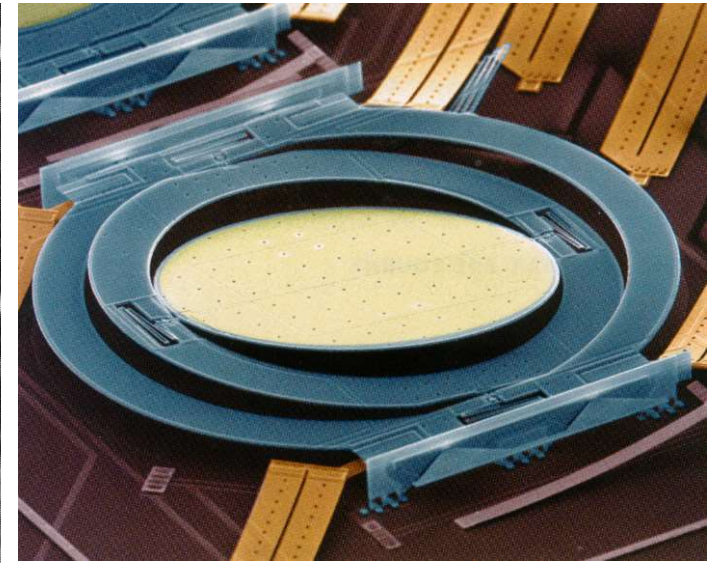
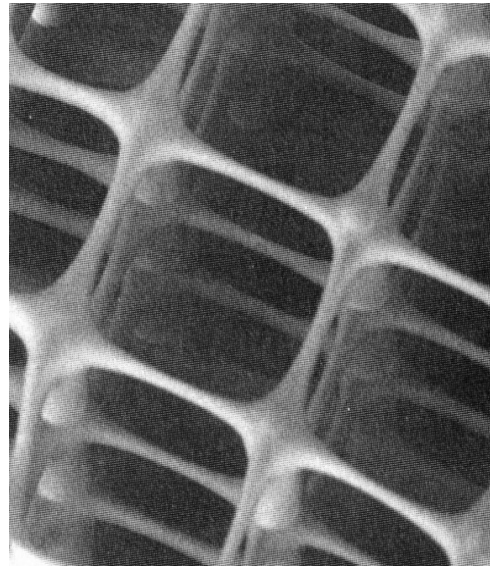
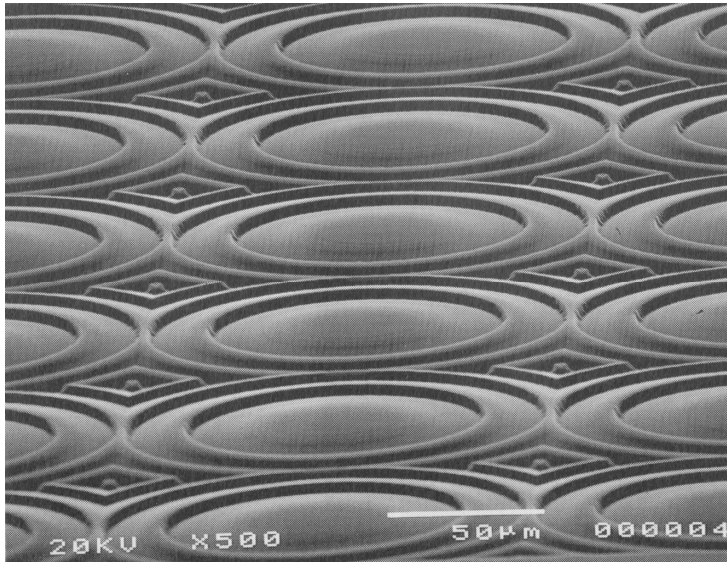
Modulationsfrequenz: bis zu 25 GHz



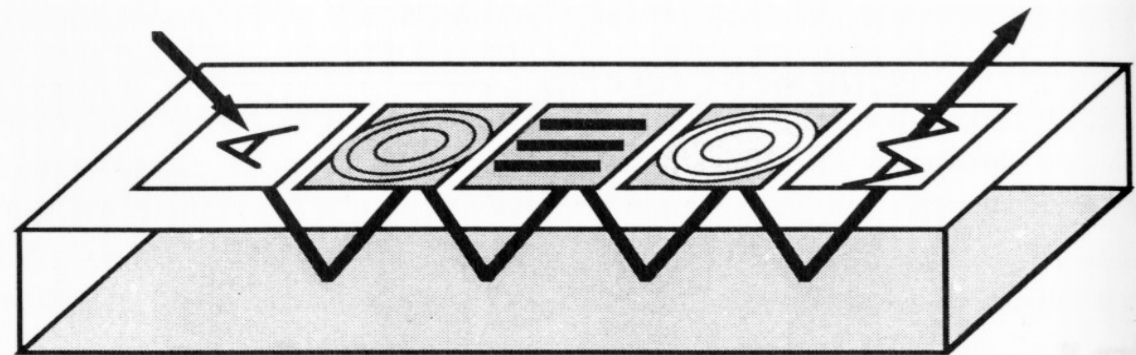
# Übersicht

- Methoden der Manipulation von Licht  
Akustooptischer Effekt, Elektrooptischer Effekt
- Realisierungen von Modulatoren und Schaltern
- Mikrooptische Systeme
- Anwendungen der Photonik  
Optische Daten-Kommunikation, Sensorik, ...

# Beispiele für mikrooptische Komponenten

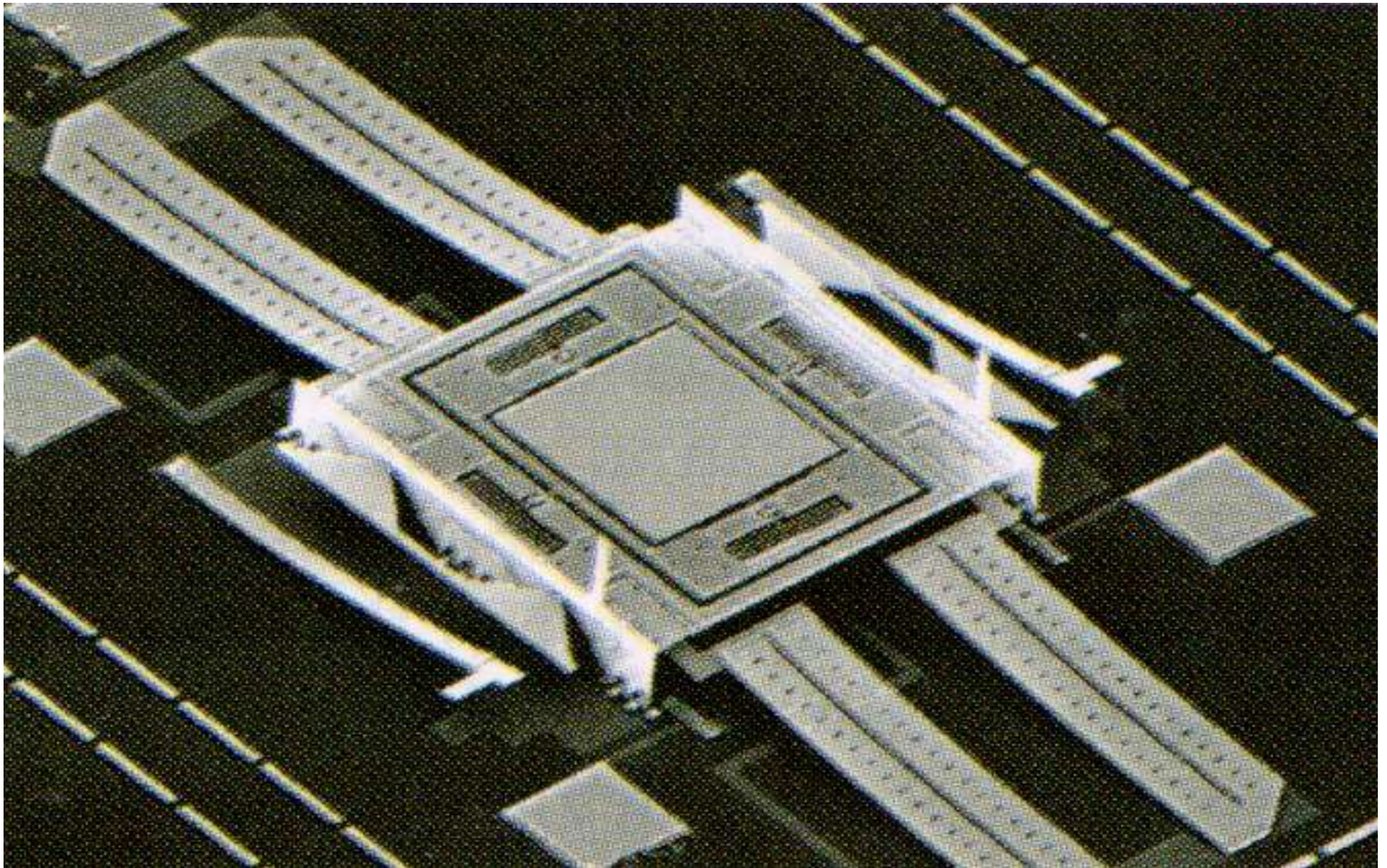


*stacked*

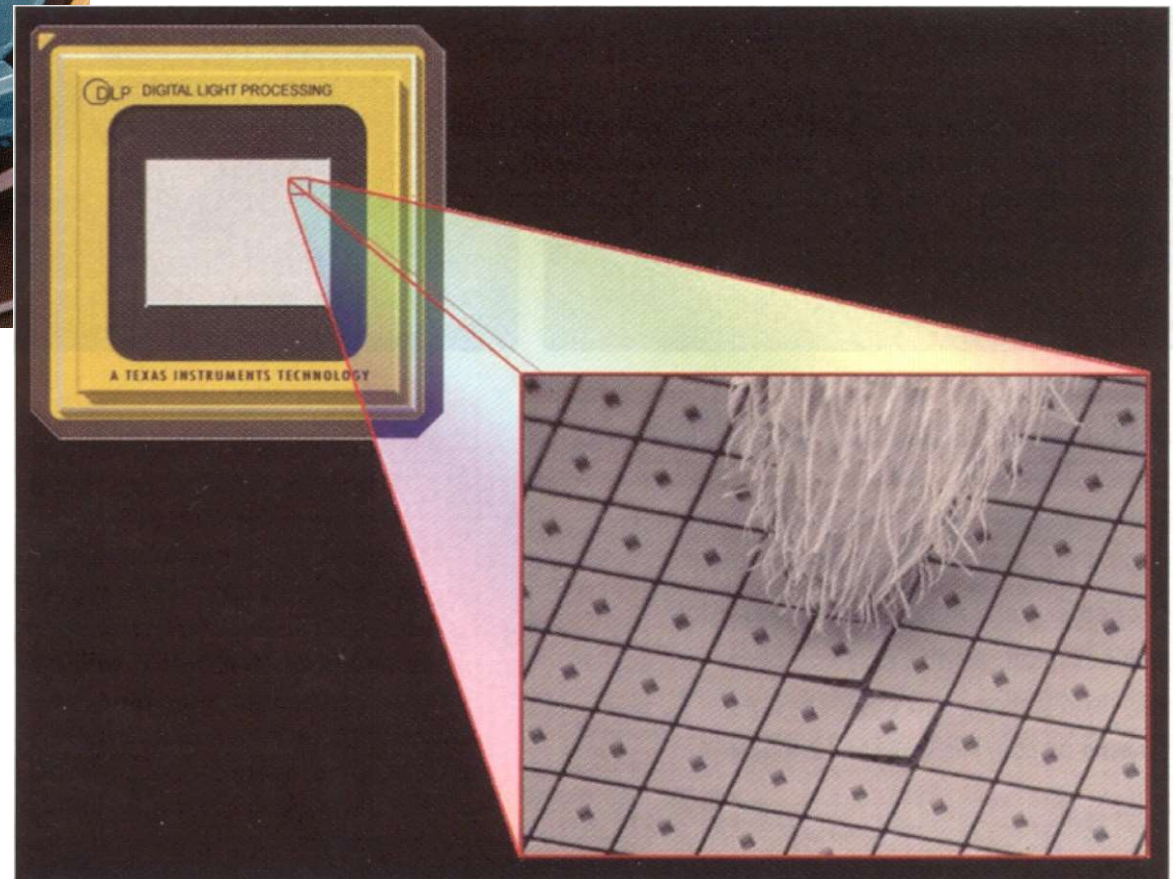
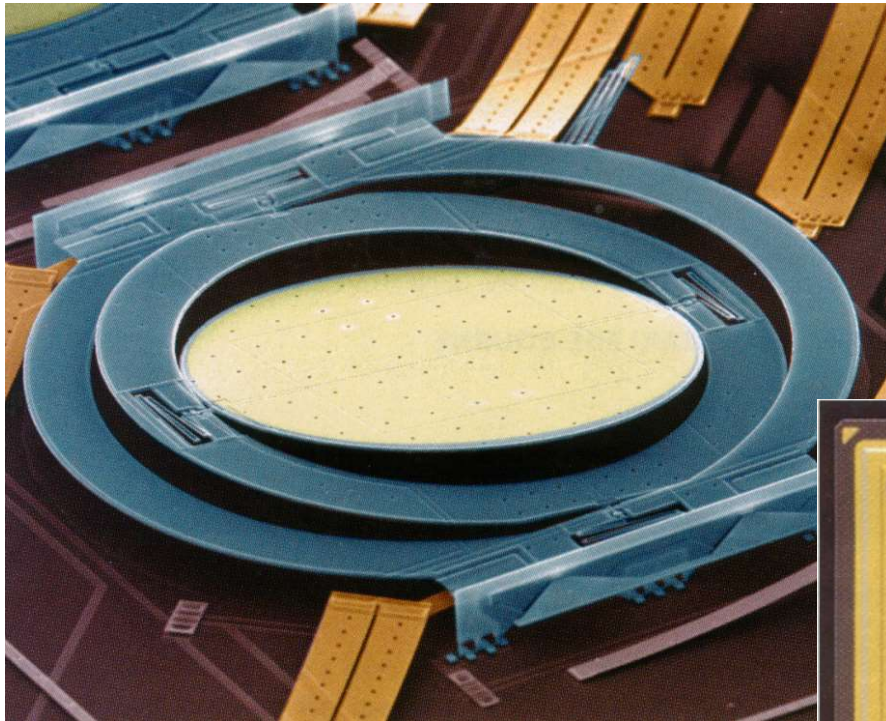


*planar*

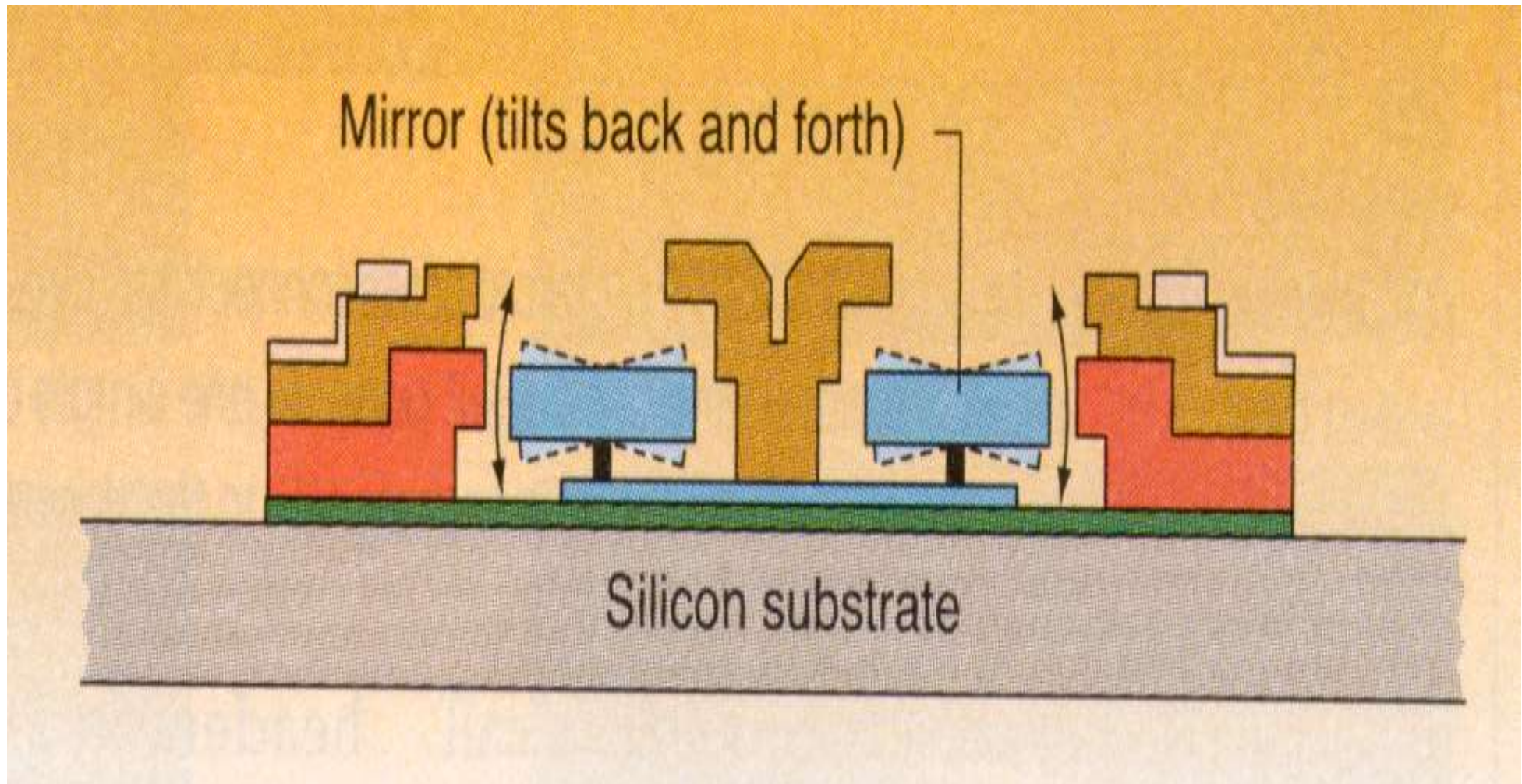
## Mikrostrukturierter Verschiebetisch



# Mikro-Kippspiegel



# Funktionsweise von Mikro-Kippspiegeln





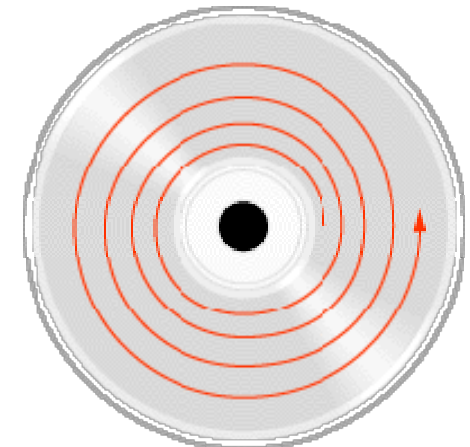
# Übersicht

- Methoden der Manipulation von Licht  
Akustooptischer Effekt, Elektrooptischer Effekt
- Realisierungen von Modulatoren und Schaltern
- Mikrooptische Systeme
- Anwendungen der Photonik  
Optische Daten-Kommunikation, Sensorik, ...

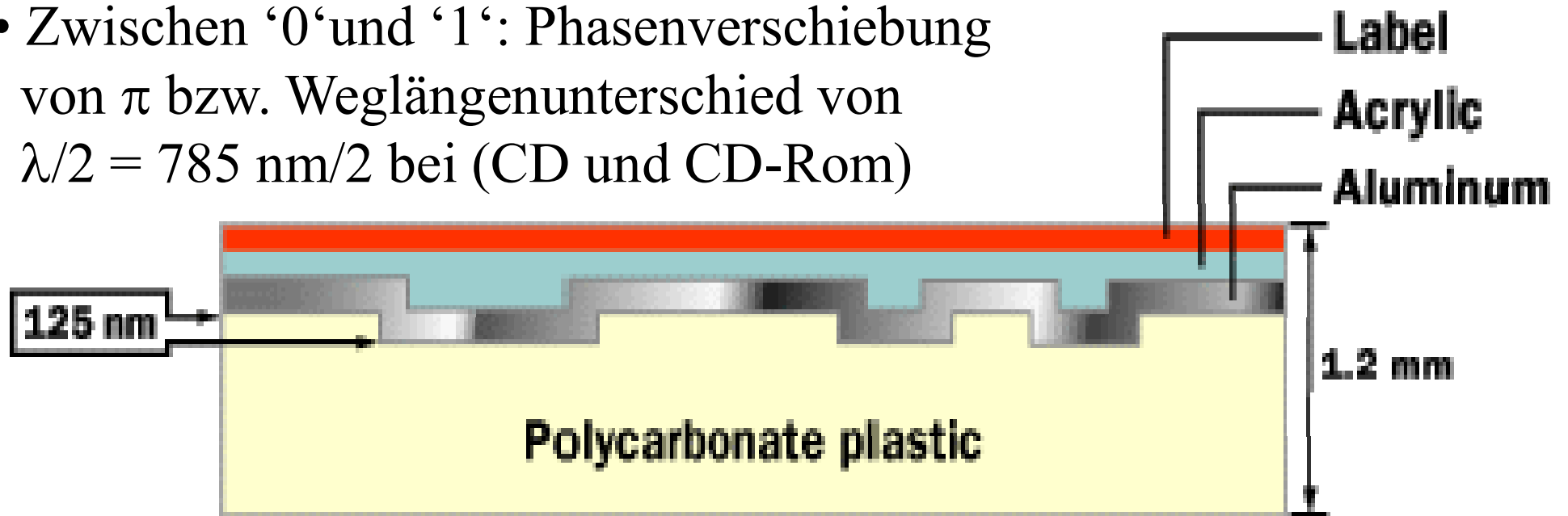
## 7.2 Datenspeicher (CD, CD-Rom und DVD)

### Prinzip der Datenspeicherung:

- Digitale Kodierung der Information
- Interferometrisches Auslesen durch Reflexion eines Laserstrahls an spiegelnder Oberfläche
- Zwischen '0' und '1': Phasenverschiebung von  $\pi$  bzw. Weglängenunterschied von  $\lambda/2 = 785 \text{ nm}/2$  bei (CD und CD-Rom)



©2000 How Stuff Works

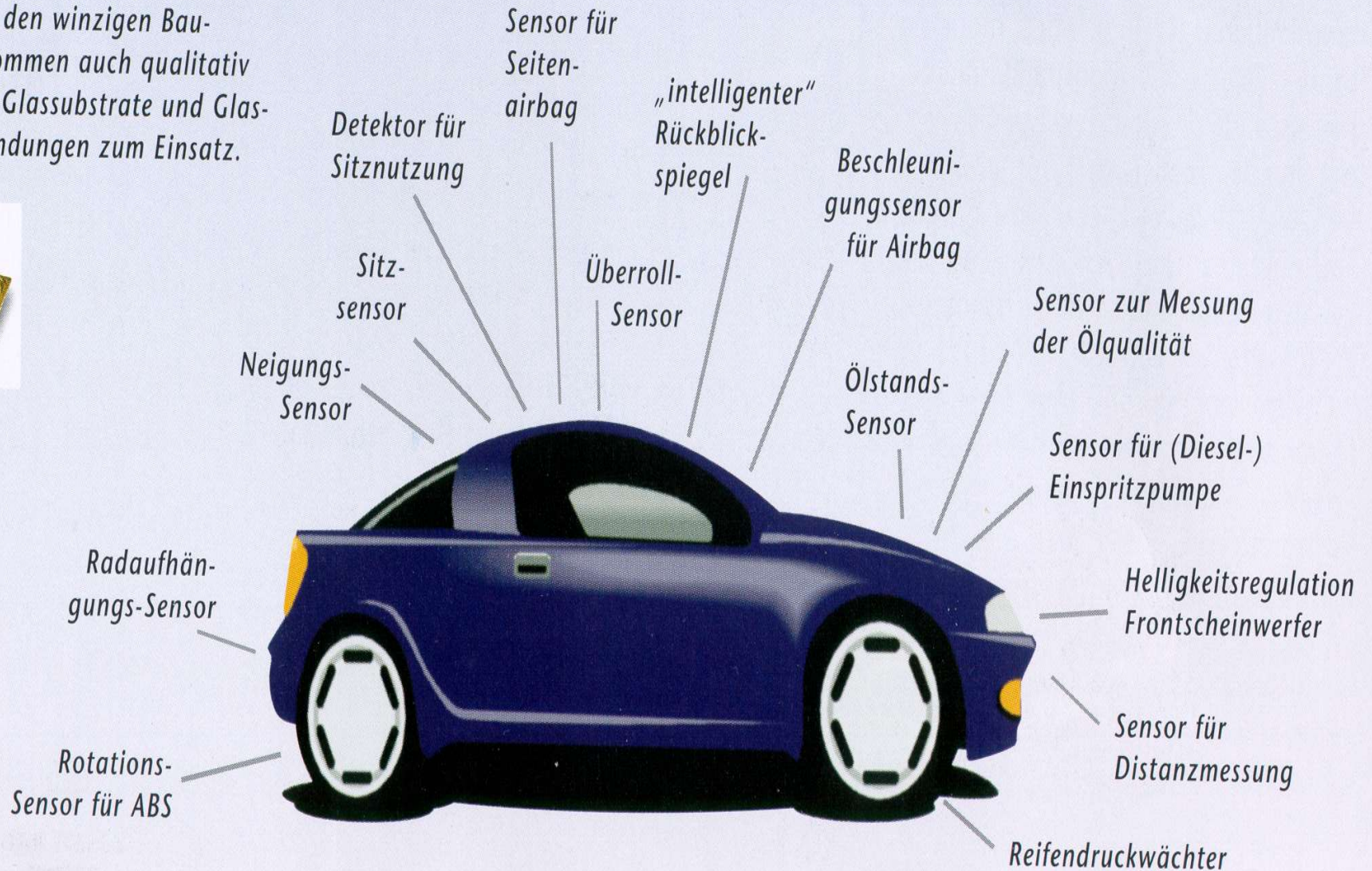
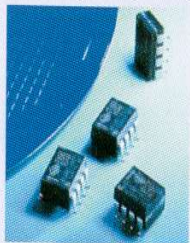


©2000 How Stuff Works

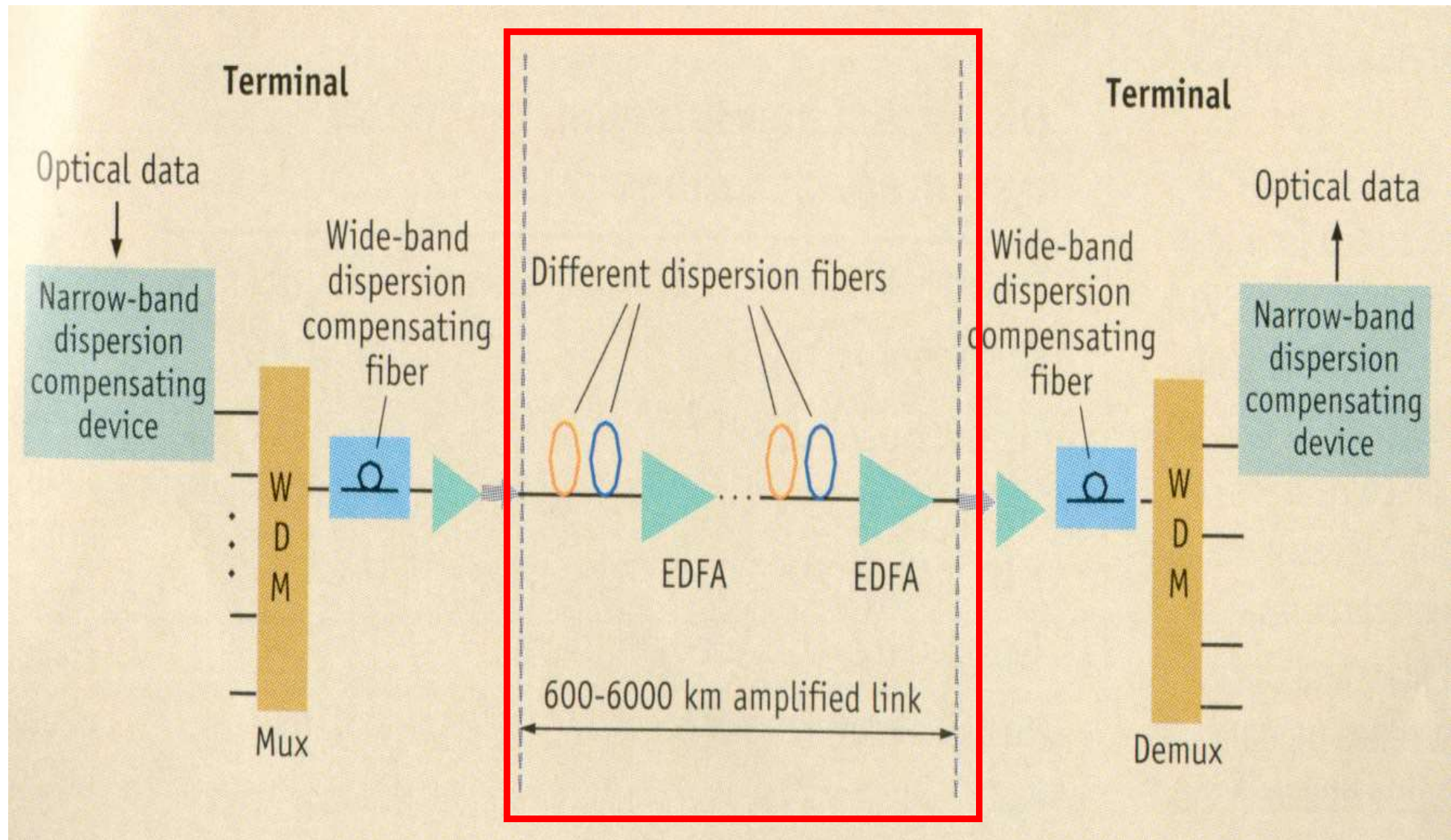
# Beispiel: Photonische Sensoren im Automobilbau

Das bei Schott Jenaer Glas GmbH

Sensoren für mehr Sicherheit und Komfort. Bei den winzigen Bauelementen kommen auch qualitativ hochwertige Glassubstrate und Glas-Metall-Verbindungen zum Einsatz.



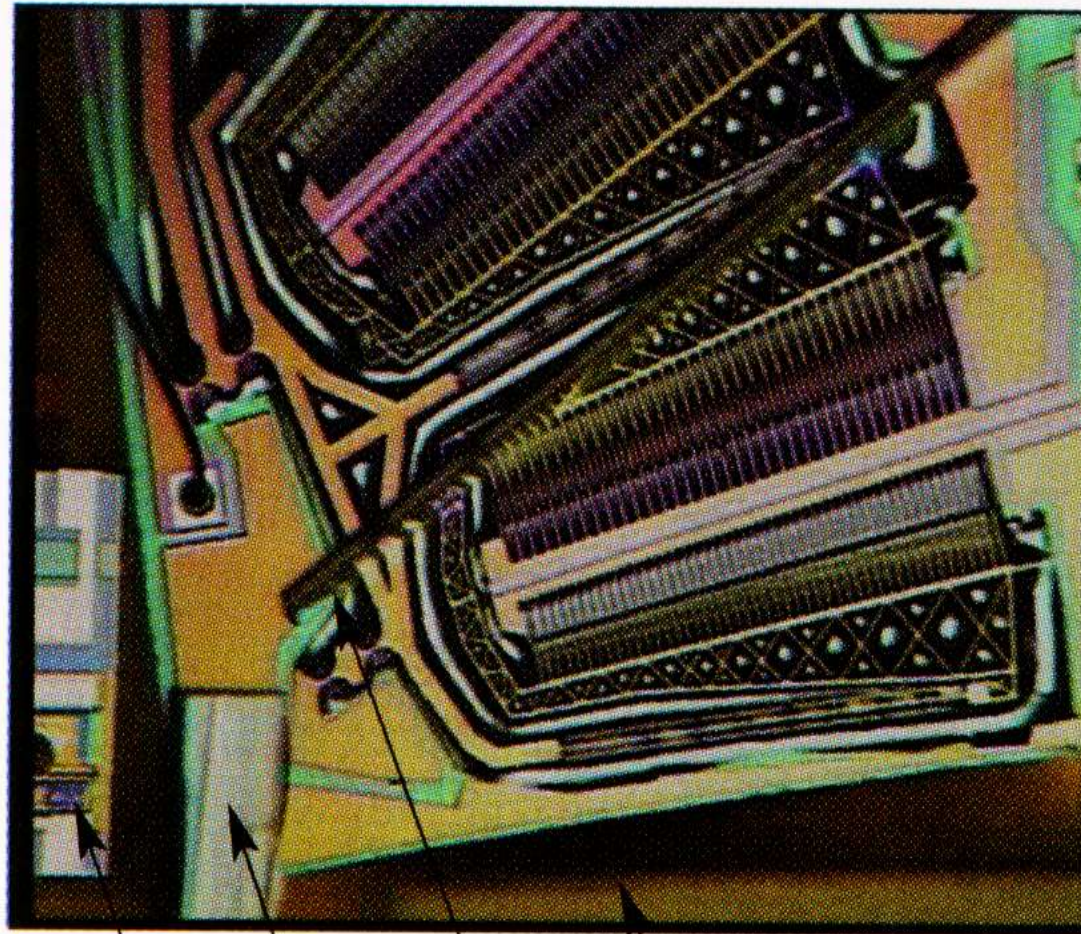
# Dispersionsverringeringung durch Kombination von Fasern mit unterschiedlichen Dispersionseigenschaften



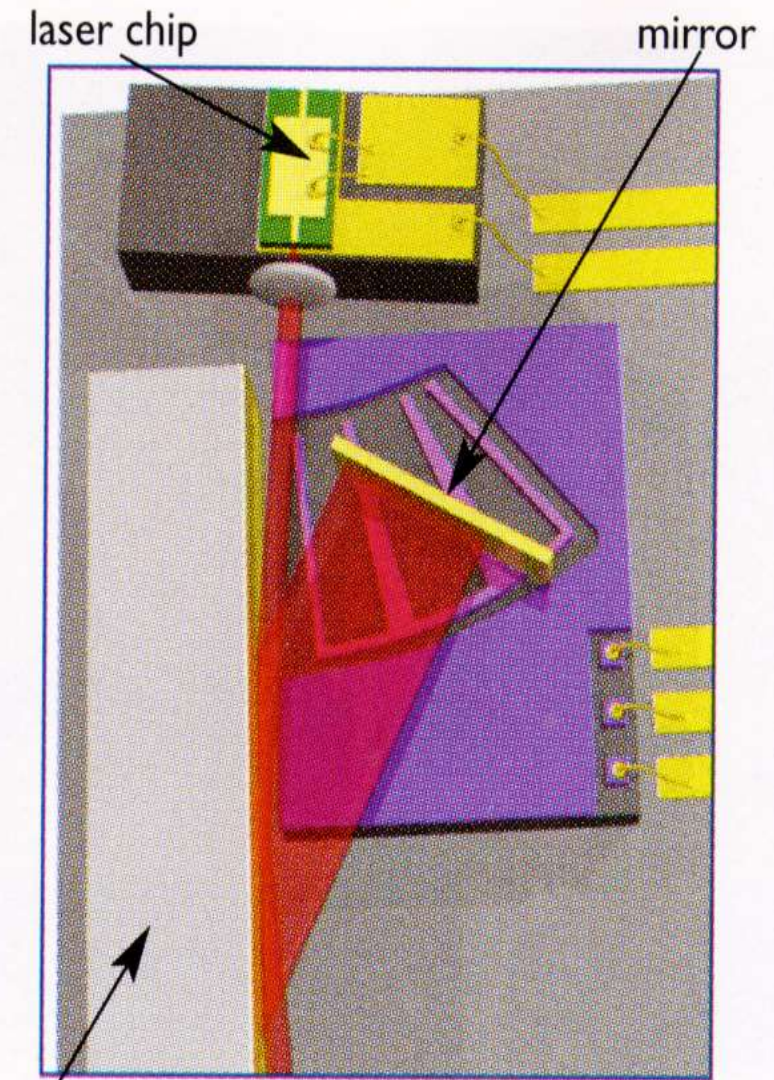
## Zwischenverstärker (Repeater)



# Wellenlängenstabilisierung von Diodenlasern



laser chip   lens   mirror   grating



grating

# LEDs als Beleuchtung: Große Bandbreite möglicher Bauformen



# Literatur

- J. Jahns ,*Photonik*‘

De Gruyter Oldenbourg, 2000 (Reprint 2014), ca. € 110,-  
- Online zugänglich über die ULB -

- B. Saleh, M. Teich ,*Grundlagen der Photonik*‘

Wiley-VCH, 2008, ca. € 93,- - Volltext über ULB -

- A. Yariv, P. Yeh ,*Photonics*‘

International / Paperback Edition, ca. € 40,-

Nicht: Oxford University Press, 2006, ca. \$ 185,-