

# Optische Systeme (11. Vorlesung)

---

Martina Gerken  
15.01.2007

## Didaktik

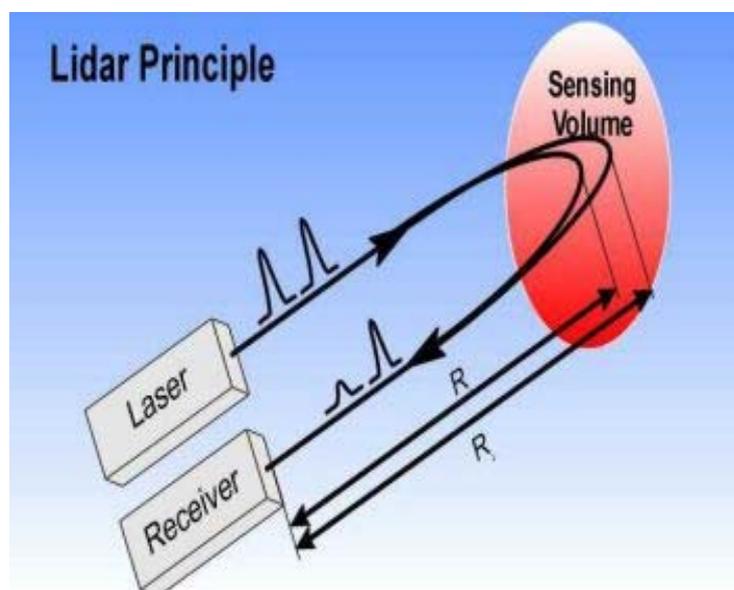
---

- Merksatz: Wir lernen langfristg
  - 20 % von dem, was wir hören
  - 30 % von dem, was wir sehen
  - 50-60 % von dem, was wir sehen und hören
  - 80-90 % von dem, was wir selbst gemacht haben
- Ziel der Gruppenarbeiten ist es
  - selbst etwas zu machen
  - meist ergeben sich dann wichtige Fragen/Probleme
  - Fertigwerden steht nicht im Vordergrund
- Ich freue mich über Feedback zu den verschiedenen Übungen!
- Dient als Übung für Assessment-Center
  - auch dort muss gewisses Arbeitspensum unter Zeitdruck erledigt werden

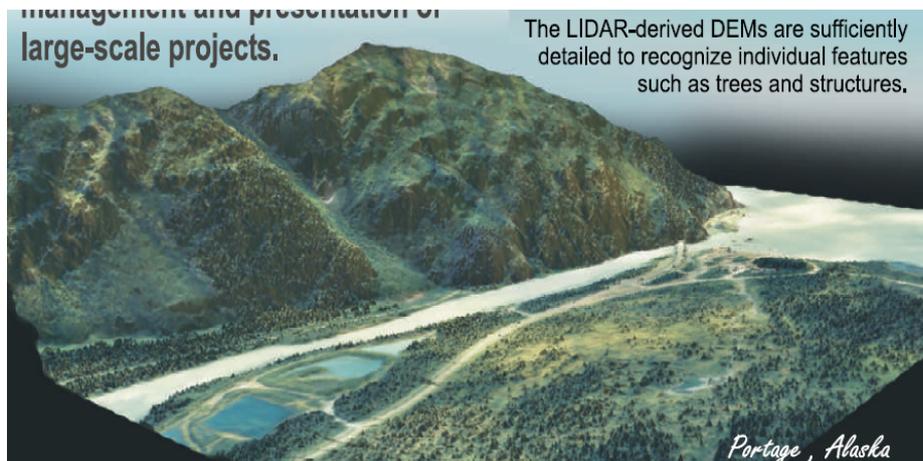
1. Grundlagen der Wellenoptik
2. Abbildende optische Systeme
3. Optische Messtechnik
  - 3.1 Spektroskopie
  - 3.2 Materialcharakterisierung
  - 3.3 Interferometrische Entfernungsmessung
  - 3.4 Einschub: Planplatten, Reflexionsprismen, Strahlteiler
  - 3.5 Entfernungsmessung über Triangulation
  - 3.6 Laufzeit-Entfernungsmesser
  - 3.7 Fokussierentfernungsmesser
  - 3.8 Winkelmessung
  - 3.9 Optische Mäuse
4. Biomedizinische optische Systeme
5. Optische Materialbearbeitung
6. Optische Datenspeicherung
7. Optische Informationstechnik
8. Mikro- und Nanooptische Systeme

## LIDAR (Light Detection and Ranging)

- Vgl. Radar:
  - Elektromagnetische Welle wird abgestrahlt und das reflektierte Signal detektiert und analysiert.



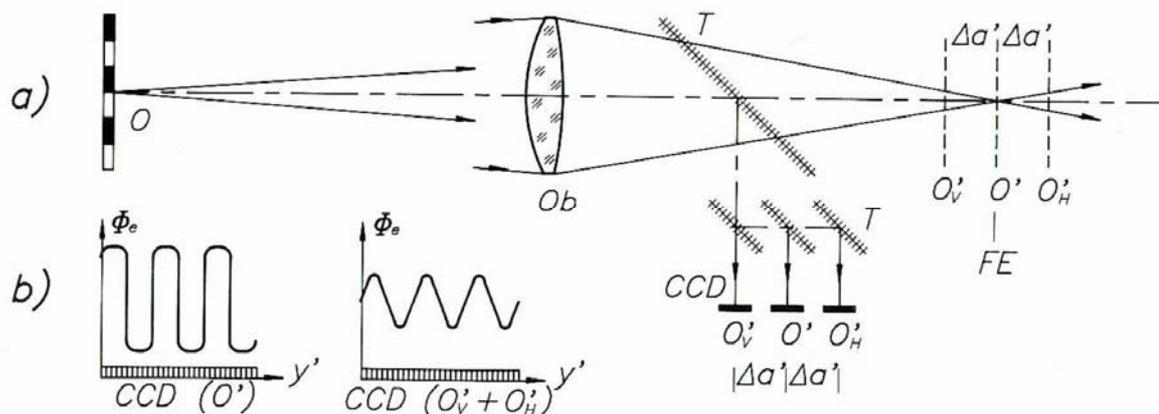
- Koordinatenbestimmung durch Laufzeitmessung
- Chemische Analyse (Schadstoffgehalt in der Atmosphäre) durch Laufzeitmessung und spektrale Messung (von Raman-Streuung)
- Dynamik von Gasströmungen durch Laufzeitmessungen und Dopplerverschiebung



Lasers	Q-switched Nd-YAG with 320mJ at 1064nm (additional wavelengths: 532nm and 355nm); 30Hz repetition rate; 8ns pulse; 1.8 mrad beam divergence; BigSky laser model CFR 400
Telescope	25.4 cm (10 in) diameter, Cassegrain f/10, 5mrad FOV (Meade LX50)
Detector	IR-enhanced Si avalanche photodiode (Analog Modules)
Digitizer	12-bit 100MHz, dual channel (Signatec PDA 12)
Scanning system	Azimuth rotary stage (180:1), stepper motors & encoders, elevation right angle reducer (100:1), i.e. from 90° to -10°, AT6400 controller (Compumotor)
Maximum range resolution	1.5m
Data acquisition	Pentium 133 MHz laptop

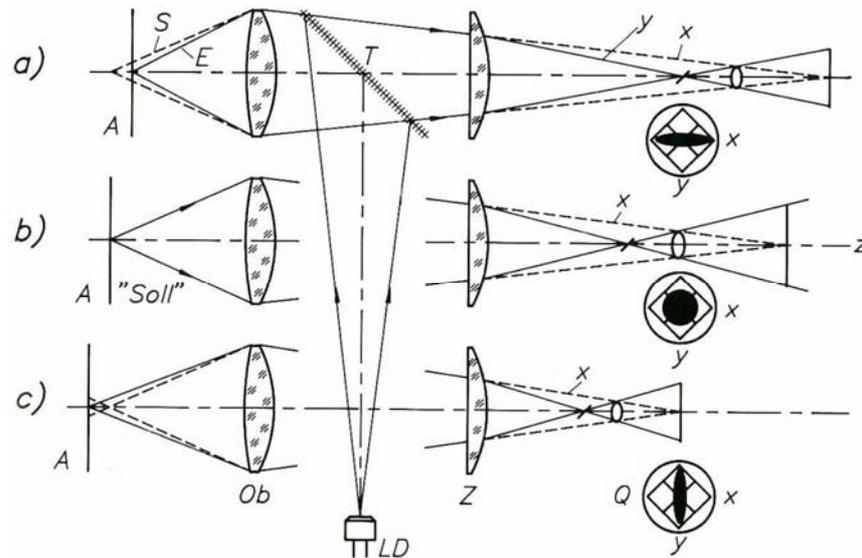
1. Grundlagen der Wellenoptik
2. Abbildende optische Systeme
3. Optische Messtechnik
  - 3.1 Spektroskopie
  - 3.2 Materialcharakterisierung
  - 3.3 Interferometrische Entfernungsmessung
  - 3.4 Einschub: Planplatten, Reflexionsprismen, Strahlteiler
  - 3.5 Entfernungsmessung über Triangulation
  - 3.6 Laufzeit-Entfernungsmesser
  - 3.7 Fokussierentfernungsmesser
  - 3.8 Optische Mäuse
4. Biomedizinische optische Systeme
5. Optische Materialbearbeitung
6. Optische Datenspeicherung
7. Optische Informationstechnik
8. Mikro- und Nanooptische Systeme

- Veränderung von Objektiv-Okular-Abstand bis Abbildung fokussiert
- Ablesen der Entfernung an Objektivskala
- Auch Kontrastmessung genannt, da Bildkontrast im Fokus maximal
- Autofokus einer Digitalkamera funktioniert über Kontrastmessung
  - Prozessor der Kamera errechnet Frequenzverteilung im Bild
  - Je größer der Anteil der hohen Frequenzen, desto schärfer das Bild
  - Mehrere Aufnahmen mit unterschiedlicher Fokussierung notwendig, um eine Verbesserung oder Verschlechterung der Bildschärfe und die Richtung der nötigen Fokussierung zu ermitteln.



## Autofokus durch astigmatische Abbildung

- Beleuchtungsfleck A wird durch Objektiv und Zylinderlinse astigmatisch auf Quadrantendiode abgebildet
- Bei richtiger Fokussierung (Soll-Abstand) sind Signale der beiden x-Dioden und der beiden y-Dioden identisch
- Fokus-Nachführung ergibt sich aus Differenzsignal
  - Verwendung in CD- und DVD-Spielern



Quelle: Naumann/Schröder, *Bauelemente der Optik*, 1992

## Inhalte der Vorlesung

1. Grundlagen der Wellenoptik
2. Abbildende optische Systeme
3. Optische Messtechnik
  - 3.1 Spektroskopie
  - 3.2 Materialcharakterisierung
  - 3.3 Interferometrische Entfernungsmessung
  - 3.4 Einschub: Planplatten, Reflexionsprismen, Strahlteiler
  - 3.5 Entfernungsmessung über Triangulation
  - 3.6 Laufzeit-Entfernungsmesser
  - 3.7 Fokussierentfernungsmesser
  - 3.8 **Winkelmessung**
  - 3.9 Optische Mäuse
4. Biomedizinische optische Systeme
5. Optische Materialbearbeitung
6. Optische Datenspeicherung
7. Optische Informationstechnik
8. Mikro- und Nanooptische Systeme

- Kollimator: Projektor, der Strichplatte mit beleuchteter Marke nach Unendlich abbildet
- Fernrohr mit Marke zur Auswertung benutzt
- Richtungsdifferenzen werden empfindlich angezeigt
- Messanordnung ist unempfindlich gegen Fluchtungsdifferenzen (Parallelversetzung)

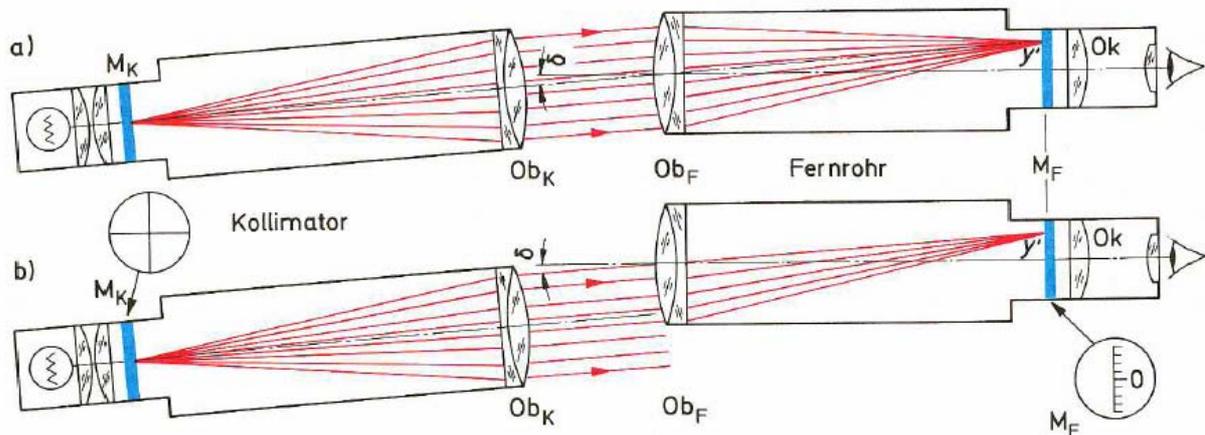
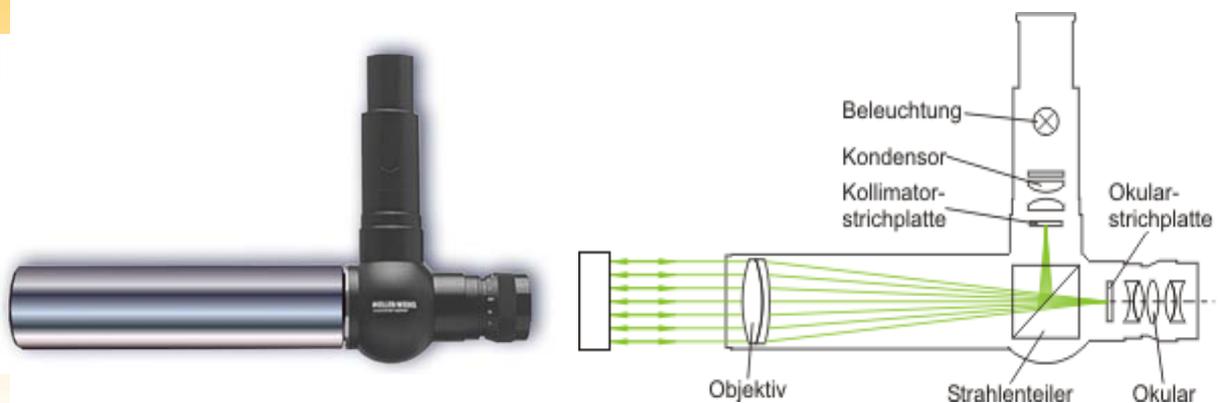


Bild 6.33. Zusammenwirken von Kollimator und Fernrohr. a) Richtungsdifferenz, b) zusätzliche Parallelversetzung.  $M_K$  Kollimatormarke,  $M_F$  Fernrohrmarke

Quelle: Schröder, *Technische Optik*, 1990

- Kollimator und Fernrohr in einem Messgerät vereinigt
  - Okularstrichplatte (Fernrohrstrichplatte) und Kollimatorstrichplatte befinden sich in der Brennebene des Autokollimatorobjektives



Quelle: [www.moeller-wedel-optical.com](http://www.moeller-wedel-optical.com)

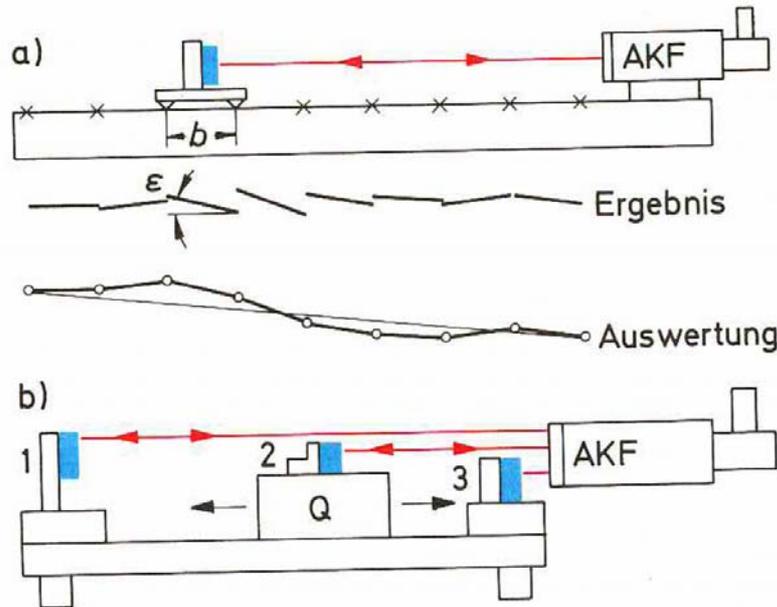


Bild 6.36. a) Ermittlung des Profils einer Führungsbahn. b) veränderliche Durchbiegung einer Bahn. Der schwere Schlitten  $Q$  wird verschoben

Quelle: Schröder, Technische Optik, 1990

- Präzisionsinstrumente zur Ausrichtung von Objekten entlang einer Fluchtlinie („Fluchtgeraden“)
- Fluchtfernrohr fokussiert Zielmarken, um so deren laterale Abweichung in Bezug auf Referenzlinie zu bestimmen
  - Messanordnung gegenüber Drehung unempfindlich

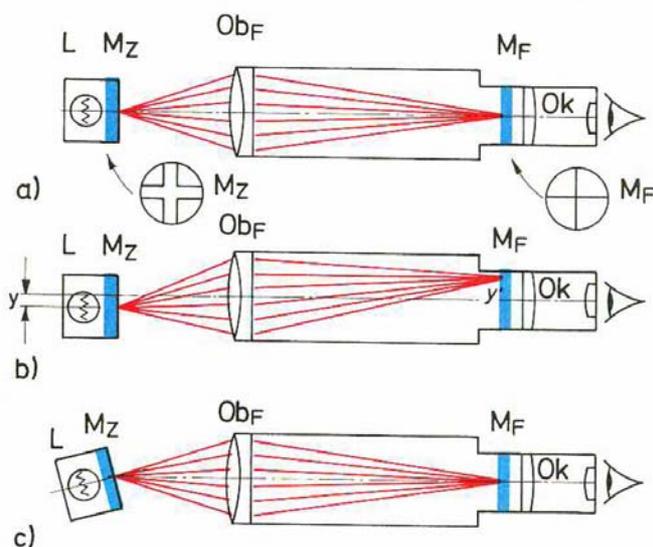
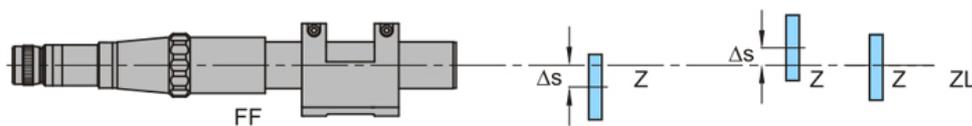


Bild 6.37. Zusammenwirken von Fluchtfernrohr und Zielmarke. a) Zielmarke  $M_Z$  in Fernrohr-Zielachse, b) Zielmarke seitlich verschoben, c) Zielmarke gegenüber a) gedreht: keine Änderung

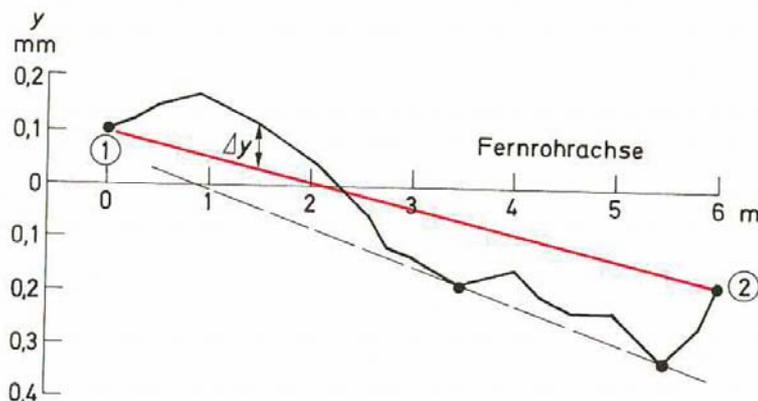
Quelle: Schröder, Technische Optik, 1990

## Beispiel: Auswertung Fluchtbahnvermessung



FF Fluchtfernrohr  
 Z Zielmarke  
 ZL Ziellinie  
 $\Delta s$  Abweichung von Ziellinie

Quelle: www.moeller-wedel-optical.com



Quelle: Schröder, Technische Optik, 1990

## Ausrichten der Fernrohrachse

- Vor Verwendung muss Fernrohrachse meist parallel zu Führungsbahn etc. ausgerichtet werden – Vorgehen siehe Bild
- Bei Benutzung eines Justierlasers identisches Vorgehen mit zwei Irisblenden

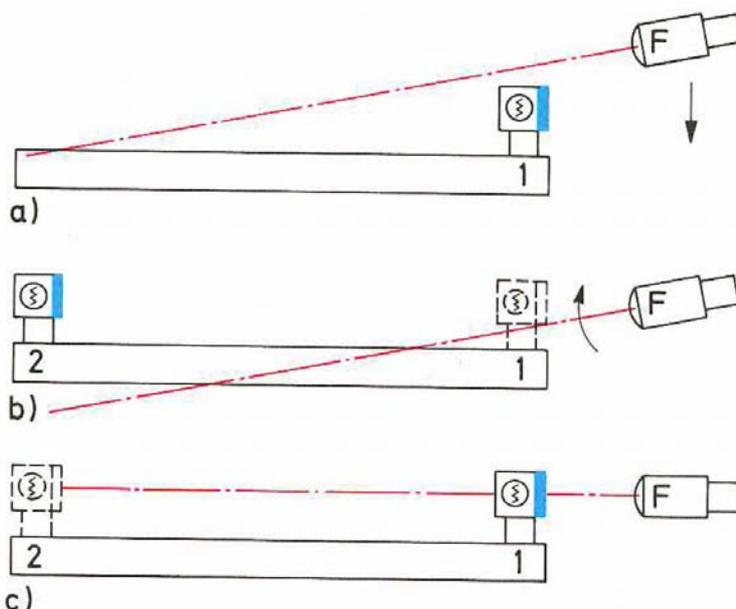
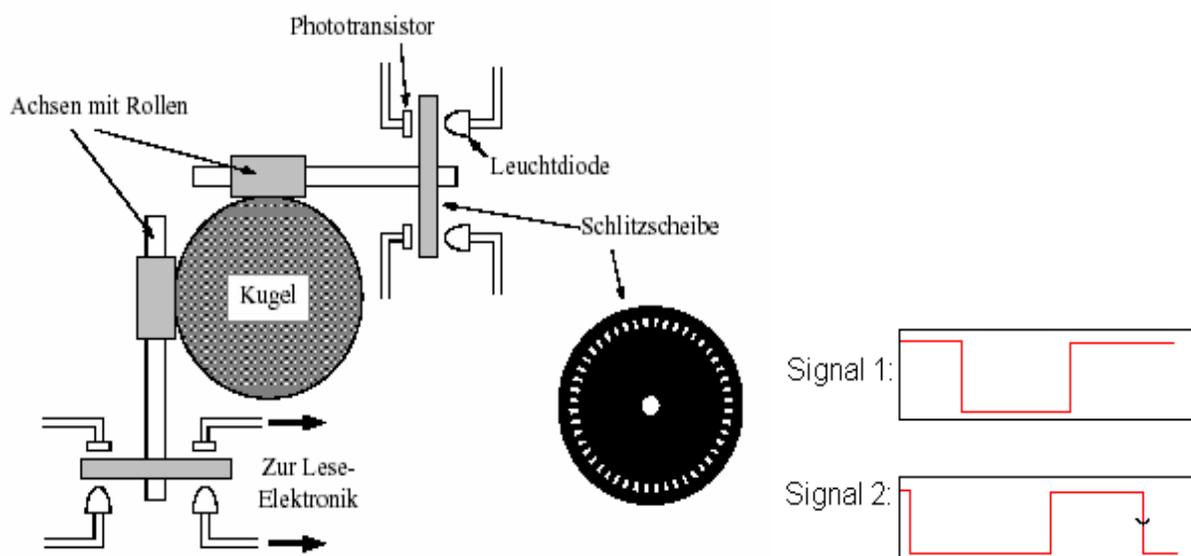


Bild 6.42. Parallelrichten der Fernrohrachse zu einer Führungsbahn. a) Verschieben auf Zielmarke vorn, b) Schwenken auf Zielmarke hinten, c) Fernrohrachse eingerichtet

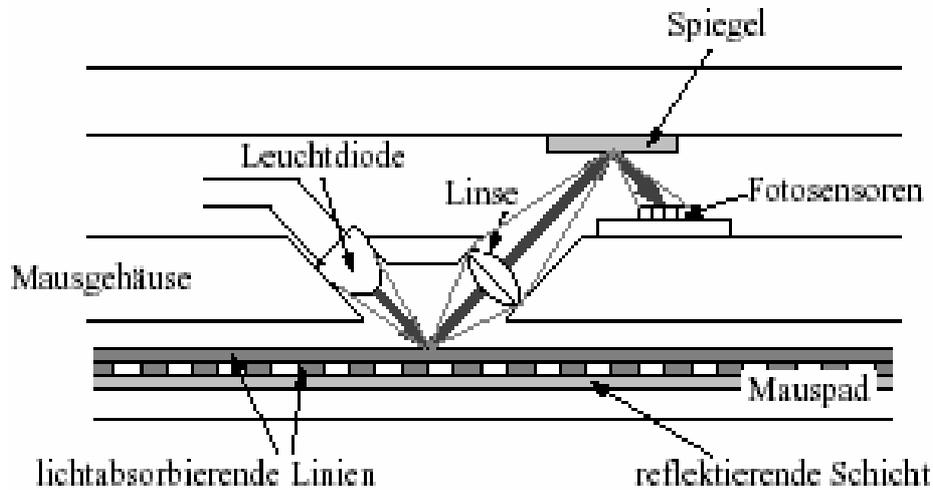
Quelle: Schröder, Technische Optik, 1990

1. Grundlagen der Wellenoptik
2. Abbildende optische Systeme
3. Optische Messtechnik
  - 3.1 Spektroskopie
  - 3.2 Materialcharakterisierung
  - 3.3 Interferometrische Entfernungsmessung
  - 3.4 Einschub: Planplatten, Reflexionsprismen, Strahlteiler
  - 3.5 Entfernungsmessung über Triangulation
  - 3.6 Laufzeit-Entfernungsmesser
  - 3.7 Fokussierentfernungsmesser
  - 3.8 Winkelmessung
  - 3.9 Optische Mäuse
4. Biomedizinische optische Systeme
5. Optische Materialbearbeitung
6. Optische Datenspeicherung
7. Optische Informationstechnik
8. Mikro- und Nanooptische Systeme

- Richtung erhält man aus zeitlicher Folge beider Signale

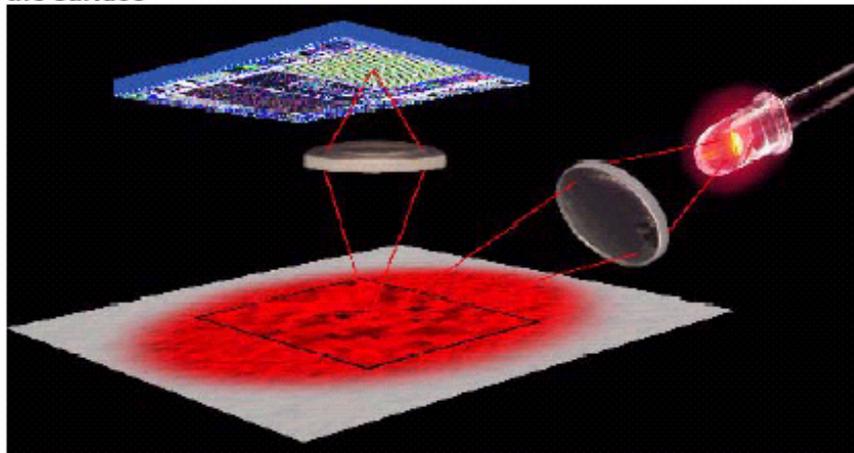


- Spezielles Muster auf dem Mauspad sorgt für eine modulierte Reflexion bei Verschiebung

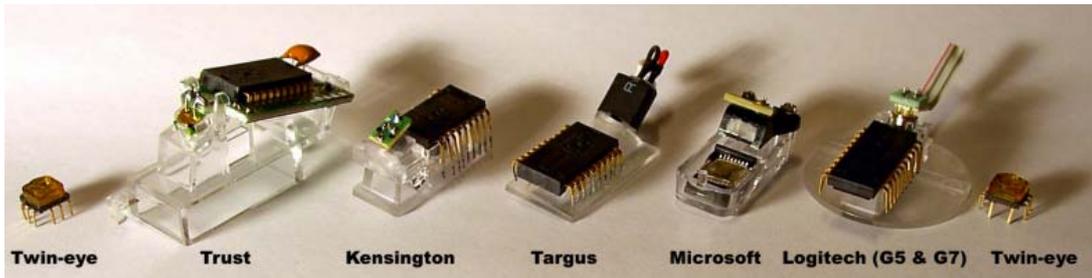


- Bild wird gescannt (wie in der Digitalkamera) und Verschiebungen errechnet

*Figure 2: An optical mouse works by reading a reflected light beam on the surface*



- Gesamtaufnahme



Quelle: <http://www.mstarmetro.net/~rlovens/OpticalMouse/>

- Beispielbild von unten

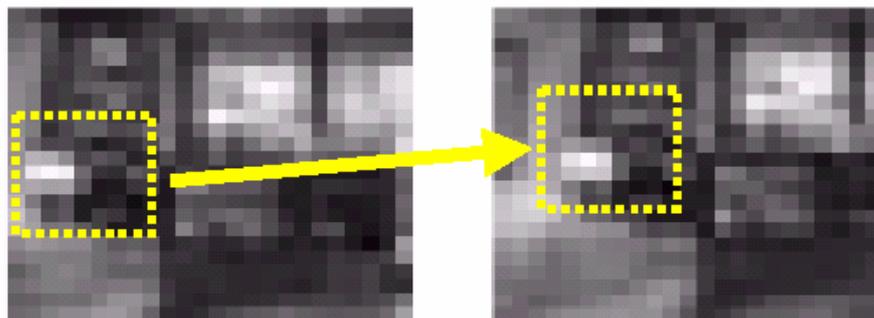


Quelle: <http://www.howstuffworks.com>

- Beleuchtung mit einem IR-Laser
- Bildaufnahme mit Kamera
- Speckle-Interpretation zur Bewegungsauswertung



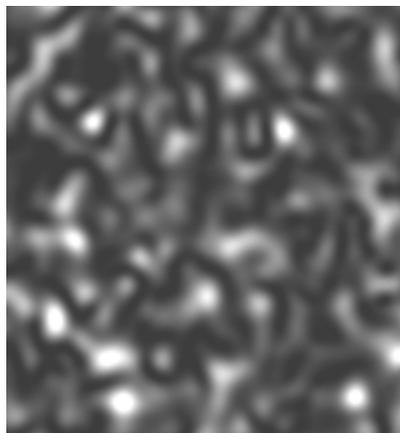
Figure 3: Interpreting differences in image fingerprints can be translated to movement of the mouse



Quelle: [http://www.logitech.com/lang/pdf/laser\\_techbrief-04.pdf](http://www.logitech.com/lang/pdf/laser_techbrief-04.pdf)

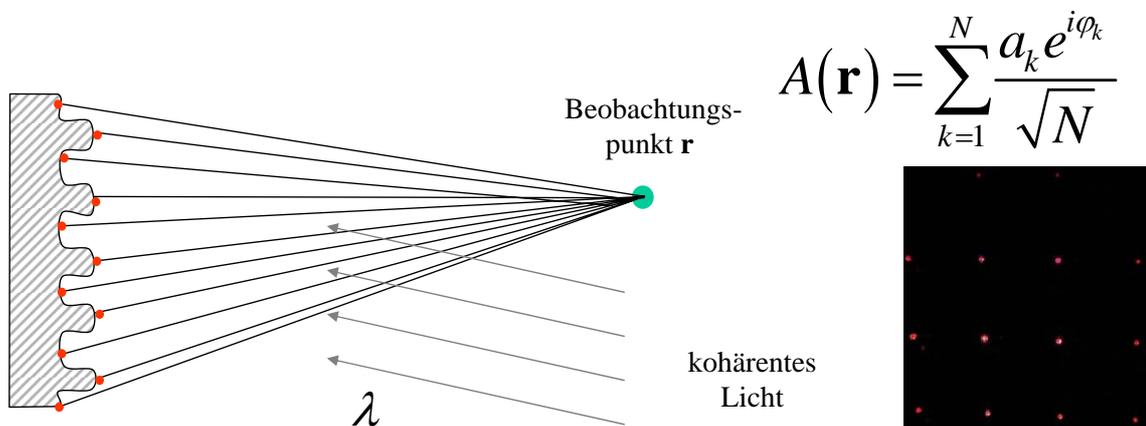
## Was sind Speckle?

- Speckle (Laserlicht-Granulationen) entstehen bei Reflexion bzw. Transmission von kohärentem Licht an rauen Oberflächen bzw. verteilten Streupartikeln

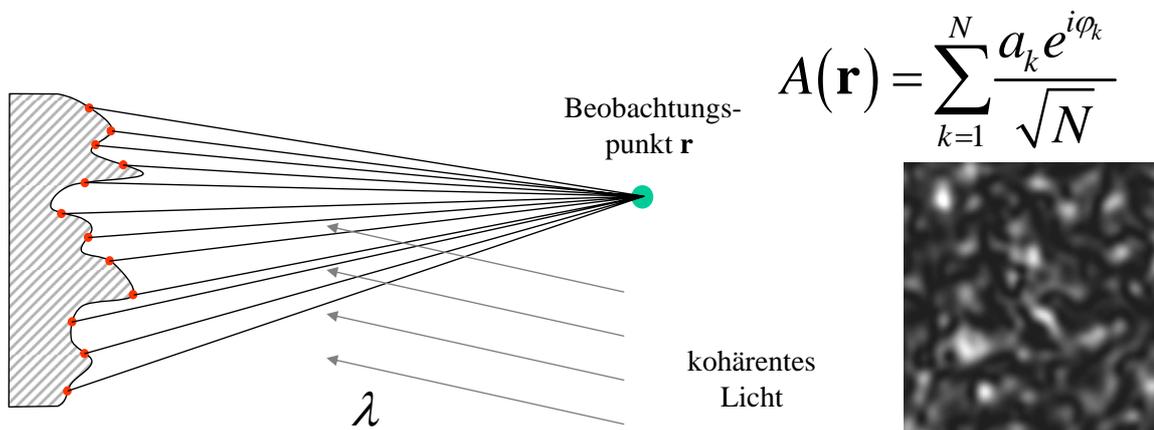


## Erinnerung: Beugung am Gitter

- Interferenzeffekt an einer sehr großen Zahl  $N$  von Streuzentren  $k$ , die  **feste Phasendifferenzen**   $\varphi_k$  zwischen  $0..2\pi$  erzeugen
- Jedes Streuzentrum ist Ausgangspunkt einer Kugelwelle, die sich im Beobachtungspunkt überlagern

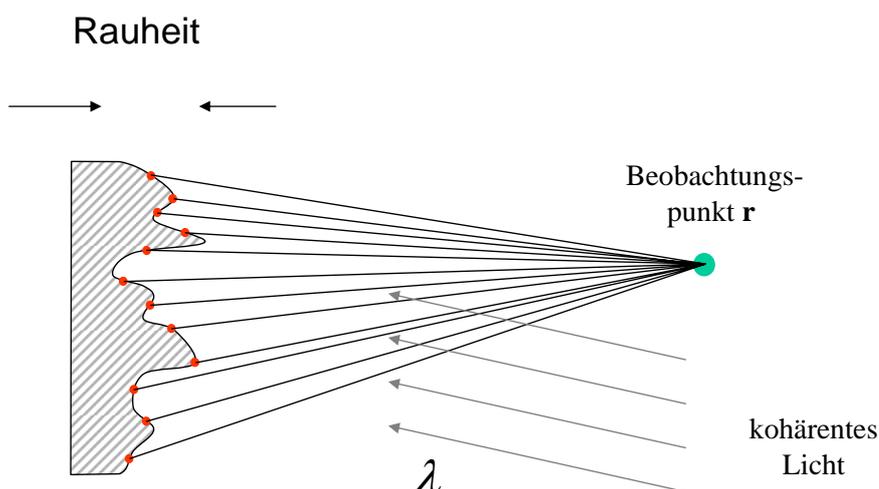


- Interferenzeffekt an einer sehr großen Zahl  $N$  von Streuzentren  $k$ , die zufällige Phasendifferenzen  $\varphi_k$  zwischen  $0..2\pi$  erzeugen
- Jedes Streuzentrum ist Ausgangspunkt einer Kugelwelle, die sich im Beobachtungspunkt überlagern



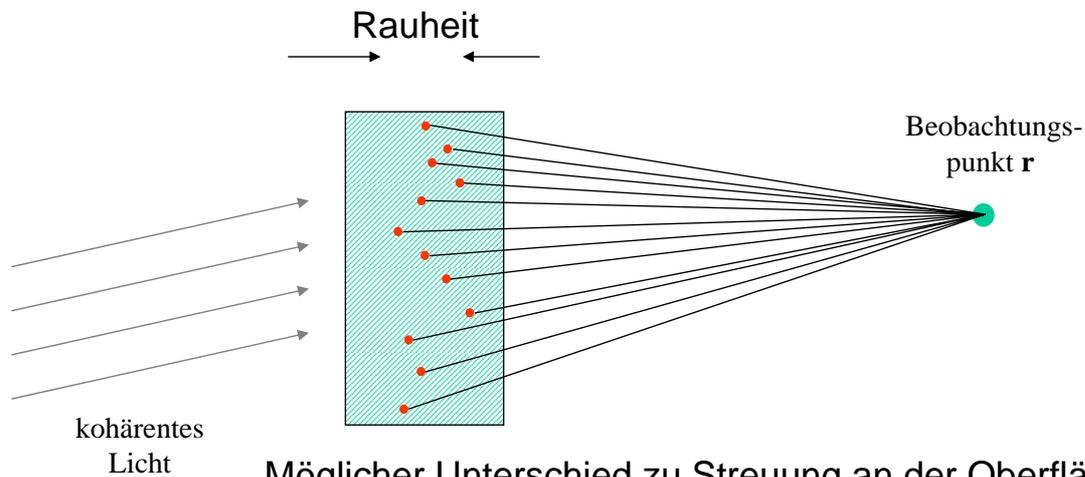
## Beschaffenheit der Oberfläche

Speckle treten auf, wenn die Rauheit der Oberfläche größer ist als die Wellenlänge



### Beschaffenheit von Streupartikeln

Speckle treten in Transmission auf, wenn Streupartikel im Volumen verteilt sind im Abstand größer als die Wellenlänge



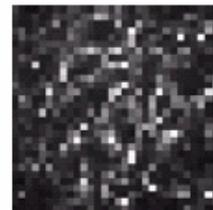
Möglicher Unterschied zu Streuung an der Oberfläche:  
 Vielfachreflexion (random walk) macht effektive Rauheit größer als Dicke der Schicht

Figure 4: Laser uncovers surface features not detected by LED.

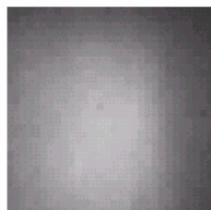
Glossy packaging (LED)



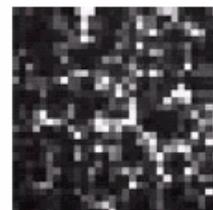
Glossy packaging (Laser)



Whiteboard (LED)



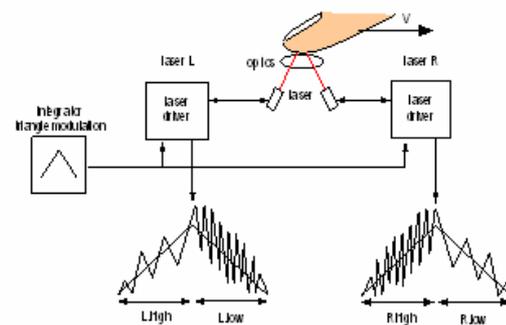
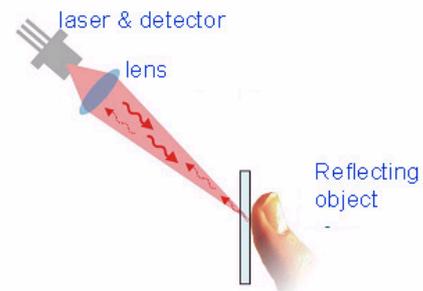
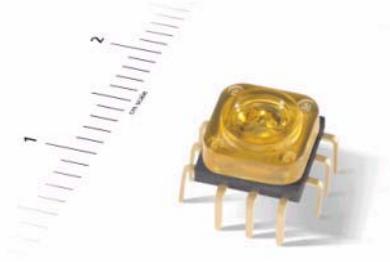
Whiteboard (Laser)



- Mehr zu Sensorik mit Lasern in der Vorlesung "Lasermesstechnik"

## Lasermouse (sehr neu – seit November 2004)

- Andere Laser-Eigenschaften können ebenfalls benutzt werden
  - z.B. Philips Twin-Eye Laser Sensor: Eingabegerät basierend auf Laserdopplereffekt



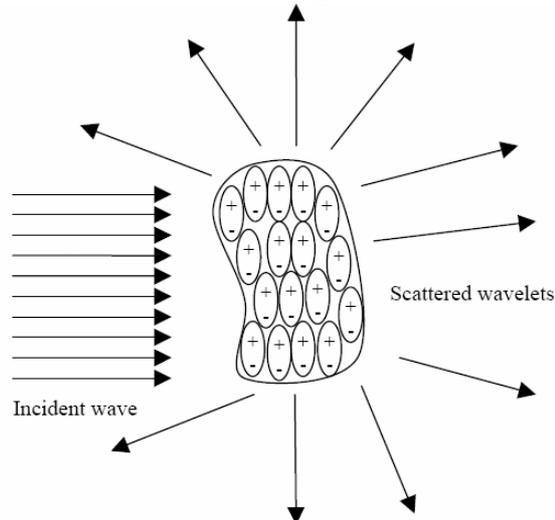
Quelle: <http://www.business-sites.philips.com/lasersensors/about/article-15031.html>

## Inhalte der Vorlesung

1. Grundlagen der Wellenoptik
2. Abbildende optische Systeme
3. Optische Messtechnik
4. Biomedizinische optische Systeme
5. Optische Materialbearbeitung
6. Optische Datenspeicherung
7. Optische Informationstechnik
8. Mikro- und Nanooptische Systeme

## Streuung und Absorption

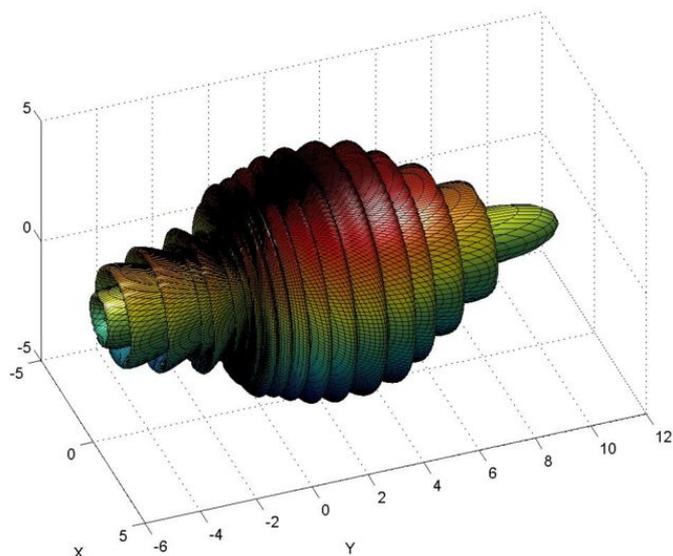
- **Streuung spielt eine wichtige Rolle in der optischen Biomedizintechnik**
  - Zellen in der Größenordnung der Lichtwellenlänge sind
  - Gewebe stark streuend
- **Elektromagnetische Welle regt Ladungen zu Schwingung an**
- **Streuung: Beschleunigte Ladungen senden wiederum elektromagnetische Wellen aus**
- **Absorption: Teil einfallender Leistung wird in Wärmeenergie umgewandelt**



## Streustrahlung

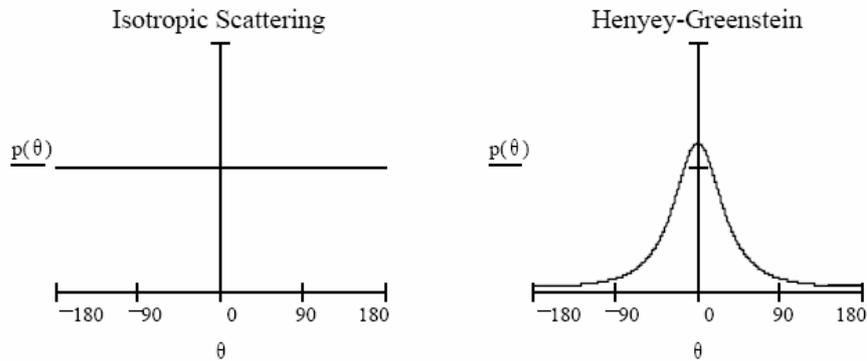
- **Phasenbeziehung der gestreuten Strahlung abhängig von geometrischen Faktoren wie Teilchengröße und -form**
- **Gesamtstreuwellen aus Superposition der einzelnen Streuwellen**
- **Nur für wenige Arten von Streupartikeln existiert analytische Lösung**
  - Mie-Streuung: Homogene Kugel beleuchtet mit ebener Welle

3D Darstellung der Mie-Streuung von rotem Licht (633nm) an einem Partikel mit 2  $\mu\text{m}$  Durchmesser (Partikel befindet sich in der Mitte bei  $x=0$   $y=0$   $z=0$ ; Licht wird von links eingestrahlt).



# Phasenfunktion

- Für kleine Streuzentren im Vergleich zur Wellenlänge, sind Sekundärwellen näherungsweise in Phase (isotrope Phasenfunktion)

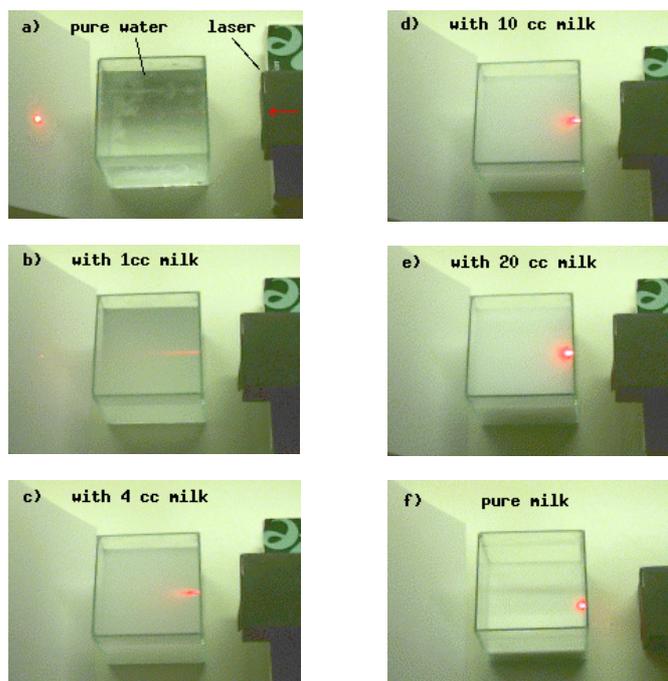


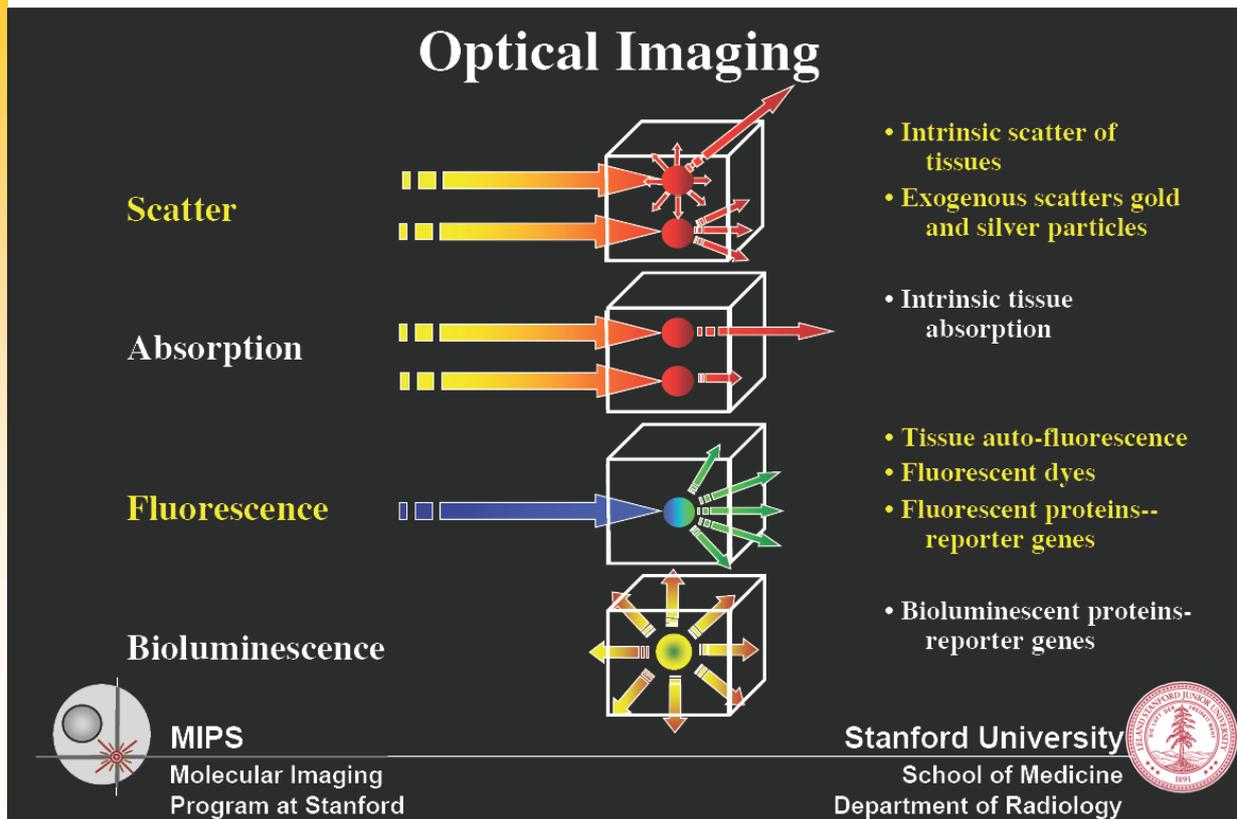
- Für größere Streuzentren Bereiche konstruktiver und destruktiver Interferenz
- Näherungsweise Beschreibung über Henyey-Greenstein-Formel

$$p(\theta) = \frac{\mu_s}{\mu_s + \mu_a} * (1 - g^2) * (1 + g^2 - 2 * g * \cos \theta)^{-3/2}$$

- $\theta$  Scattering angle
- $\mu_a$  Absorption coefficient [1/cm]
- $\mu_s$  Scattering coefficient [1/cm]
- $g$  Asymmetry parameter (average cosine of the scattering angle)

# Lichtausbreitung in Milch





Quelle: C. Contag, <http://mips.stanford.edu>

- Mikroskopie für die Struktur- und Funktionsanalyse *in vivo*.
- Durch Farbstoffe oder Quantenpunkte (QD) kann der Kontrast erhöht werden.

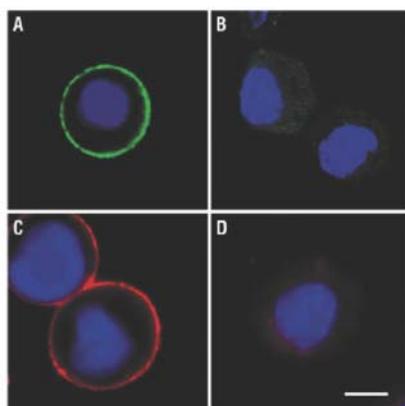


Fig. 1: Detection of cancer marker Her2 with QD-IgG. (A, C) Fixed breast cancer SK-BR-3 cells were incubated with monoclonal anti-Her2 antibody and goat anti-mouse IgG conjugated to QDs. Her2 was clearly labeled with (A) QD 535-IgG and (C) QD 630-IgG (B, D). When cells were incubated with normal mouse IgG and QD-IgG, there were no detectable or very weak nonspecific signals on the cell surface. The nuclei were counterstained with Hoechst 33342 (blue). Scale bar, 10 μm.

X Wu et al., Nature Biotech. online Dec. 2, 2002

### QD markers

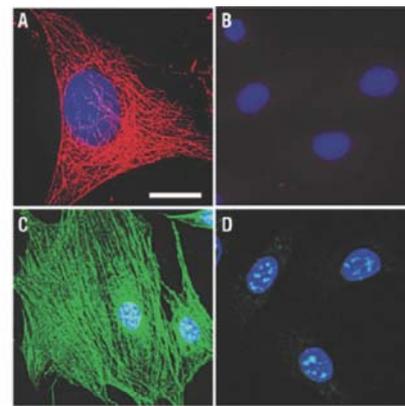
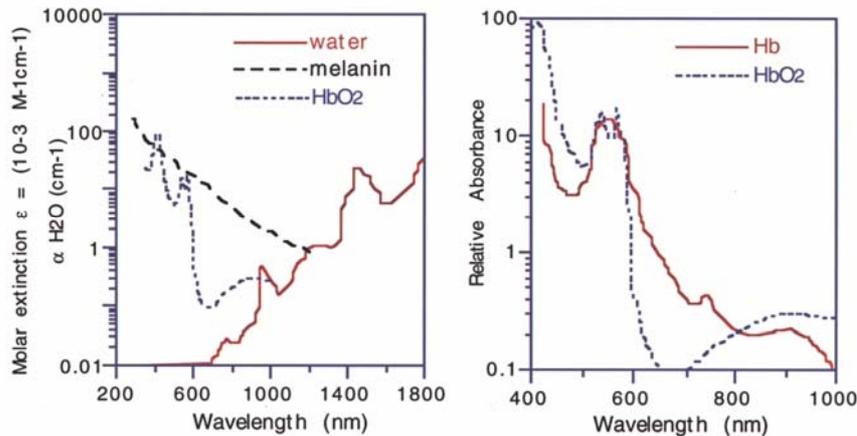


Fig. 3: Staining of cytoskeleton fibers in 3T3 mouse fibroblast cells with QD-streptavidin. (A) Microtubules were labeled with monoclonal anti-tubulin antibody, biotinylated anti-mouse IgG and QD 630-streptavidin (red). (B) Control for (A) without primary antibody. (C) Actin filaments were stained with biotinylated phalloidin and QD 535-streptavidin (green). (D) Control for (C) without biotin-phalloidin. The nuclei were counterstained with Hoechst 33342 blue dye. Scale bar, 10 μm for (A), 24 μm for (B) through (D).

## Sensorik: Beispiel Pulsoxymetrie

- Absorptions- und Streukoeffizienten sind abhängig von der Wellenlänge.
- Dies kann z.B. zur Blutsauerstoffmessung verwendet werden
  - 2 LEDs zur relativen Absorptionsmessung bei ca. 660 nm und ca. 940 nm
  - Keine absolute Kalibrierung notwendig

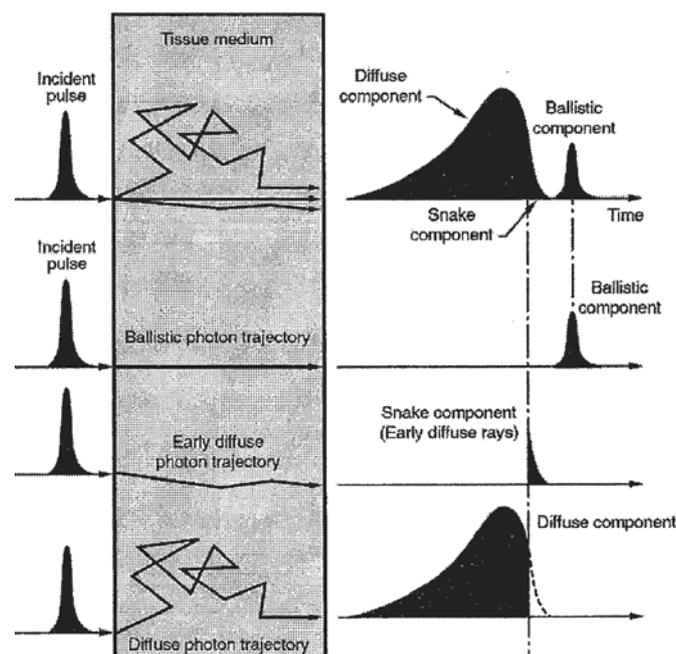


Healthdyne Technologies fingertip oximeter

Quelle: B. J. Tromberg, Neoplasia, 1, 26 (2000).

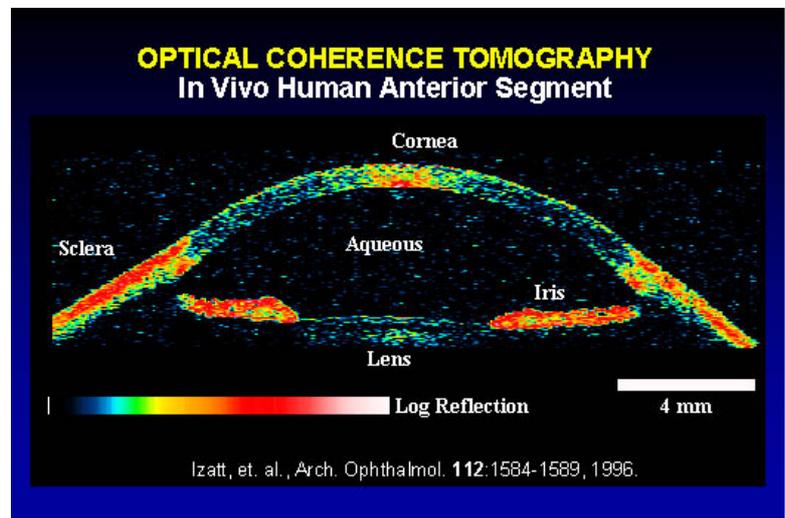
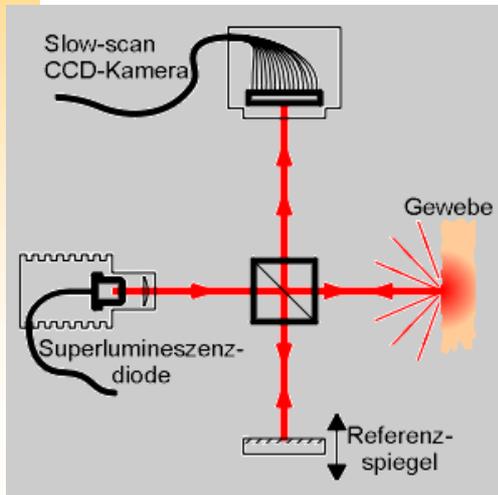
## Zeit- / Frequenz aufgelöste Messungen

- Durch zeit- oder frequenz aufgelöste Messungen kann zusätzliche Information gewonnen werden.



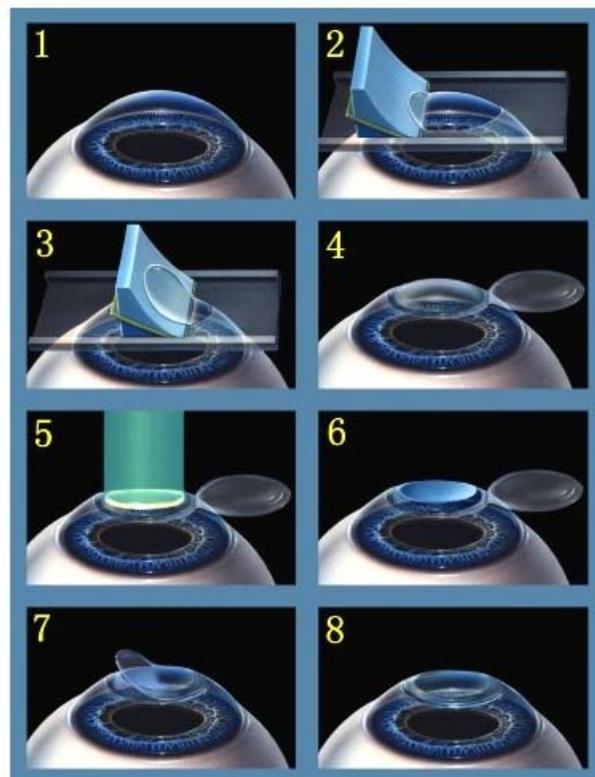
Quelle: T. Vo-Dinh, Biomedical Photonics Handbook

- OCT ist ein nichtinvasives, bildgebendes Verfahren zur Erzeugung tomographische Schnittbilder durch die Überlagerung teilkohärenter Lichtstrahlen.
- Aufgrund der Streuung wird nicht direkt die Tiefe, sondern die von Photonen zurückgelegte Weglänge gemessen.
- Auflösung: OCT 10-30µm, Kernspintomographie 1mm, Ultraschall 200µm



Quelle: [www.uni-ulm.de/ilm/bildgeb.htm](http://www.uni-ulm.de/ilm/bildgeb.htm)

- **LASer In-situ Keratomileusis**



Quelle: [www.eyeclinicpc.com](http://www.eyeclinicpc.com)

## Weitere Beispiele

---

- Die Biotechnologie verfolgt das Ziel, Organismen, Zellen oder deren Moleküle für Produkte und Dienstleistungen zu nutzen.
- Beispiele für den Einsatz von optischen Technologien in der Biotechnologie sind:
  - Laserpinzetten für die Manipulation von Zellen und Organismen
  - Photo-Bioreaktoren zur Kultivierung von phototrophen Organismen
  - Mikro- und Nanotiterplatten, Hochdurchsatz-Analyse
  - Integrierte Biosensoren
  - ...
- Beispiele für den Einsatz von optischen Technologien in der Medizintechnik sind:
  - Nichtinvasive Diagnostik
  - Bildgebende Verfahren
  - Laserskalpell
  - ...

## Fragensammlung

---

- Was ist ein Reflexionsprisma?
- Skizzieren und erläutern Sie drei verschiedene Strahlteiler!
- Was ist ein Polwürfel?
- Nennen Sie drei Verfahren zur optischen Entfernungsmessung!
- Skizzieren Sie einen Entfernungsmesser basierend auf Triangulation?
- Für welche Entfernungen sind Laufzeiteffekte nutzbar?
- Wie funktioniert LIDAR?
- Was ist ein Autokollimator?
- Wie funktioniert eine optische Maus?
- Was sind Speckle?
- Wann treten Speckle auf?
- Was ist Streuung?
- Warum ist Gewebe stark streuend?
- Wie funktioniert ein Pulsoximeter?
- Wie kann ich durch zeitaufgelöste Messungen in streuenden Medien zusätzliche Informationen gewinnen?
- Wie funktioniert optische Kohärenztomographie?