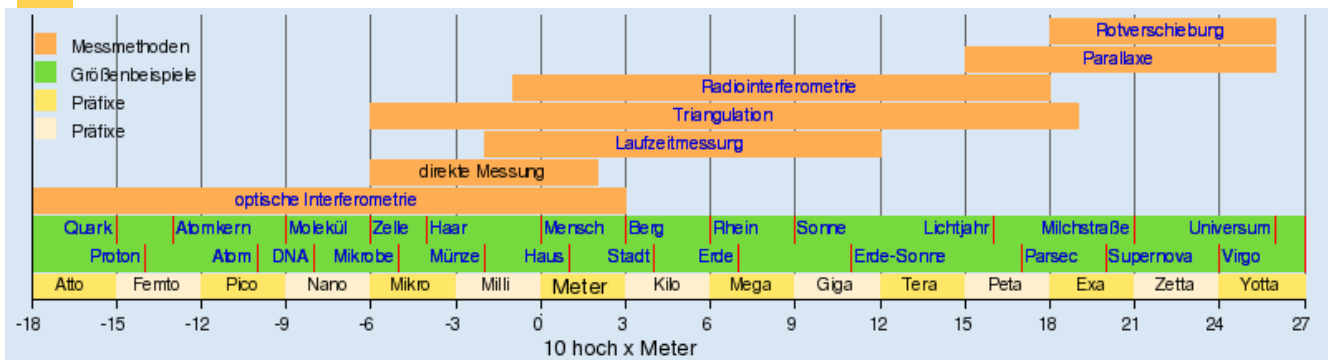


Optische Systeme (10. Vorlesung)

Martina Gerken
08.01.2007

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



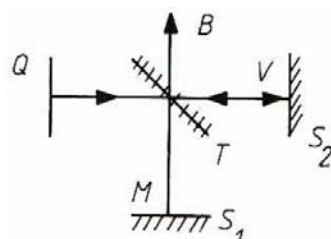
- **Optische Methoden**
 - optische Interferometrie
 - optische Triangulation
 - optische Laufzeitmessung

Quelle: <http://de.wikipedia.org/wiki/Entfernungsmessung>

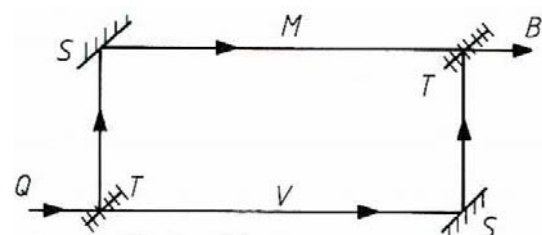
- **Interferometer**
 - Lichtstrahl wird in mindestens zwei Lichtbündel aufgeteilt
 - Lichtbündel durchlaufen unterschiedliche optische Wege
 - Lichtbündel werden am Ausgang wieder zusammengeführt
- **Bei kohärenter Überlagerung Interferenzmuster (Interferenzstreifen oder -ringe) beobachtbar**
 - Muster wird durch Differenz der optischen Wege bestimmt, die die einzelnen Strahlen bis zur Vereinigung zurückgelegt haben.
- **Präzisionsmessungen über Auswertung von optischen Interferenzen**
- **Beispiele für Interferometer**



Fabry-Perot



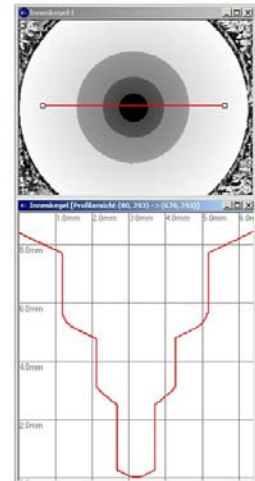
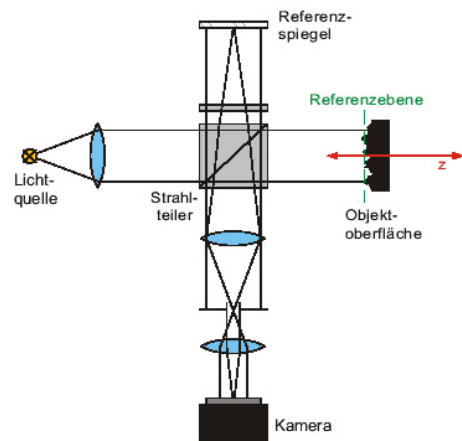
Michelson



Mach-Zehnder

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

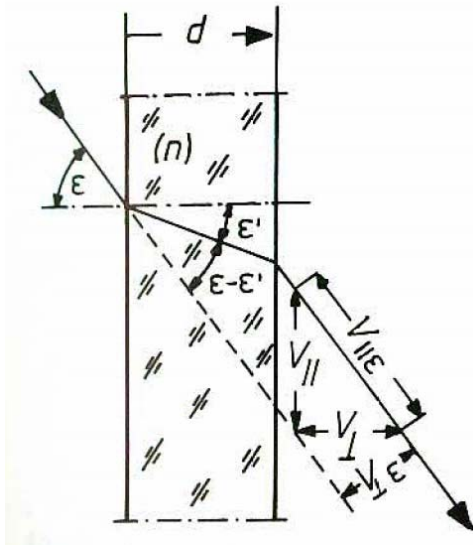
- Interferenz breitbandigen Lichts (Weißlicht) ausgenutzt
 - Breitbandiges Licht hat kurze Kohärenzlänge
 - Interferenzphänomene nur sichtbar, wenn die Weglänge in beiden Armen des Interferometers bis auf die Kohärenzlänge ($\sim\lambda$) gleich
 - Messkopf wird in z-Richtung verfahren und Objekt abgescannt
- „Tiefenbild“ des Objektes mit einer sehr geringen Messunsicherheit generiert
 - Aufbau muss sehr stabil sein



Quelle: www.3d-shape.com

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

- Begrenzt durch zwei planen, parallelen Flächen
- Erzeugt Strahlversatz in Abhängigkeit vom Einfallswinkel ϵ



$$v_{\perp\epsilon} = d \frac{\sin(\epsilon - \epsilon')}{\cos \epsilon'} \quad \text{für } \epsilon \approx 0^\circ \approx \epsilon d \frac{n-1}{n}$$

- Senkrecht zum Strahl
- Längs des Strahls, tangential (in der Versetzungsebene)

$$v_{\parallel\epsilon\tau} = \frac{d}{\sin \epsilon} \left(\tan \epsilon - \tan \epsilon' \cdot \frac{\cos^2 \epsilon}{\cos^2 \epsilon'} \right)$$

- Längs des Strahls, sagittal (senkrecht zur Versetzungsebene)

$$v_{\parallel\epsilon\sigma} = \frac{d}{\sin \epsilon} (\tan \epsilon - \tan \epsilon')$$

Quelle: Naumann/Schröder, Bauelemente der Optik, 1992

- Verwendet als Fenster, Filter, Träger für Teiler- und Spiegelschichten
- Planplattenmikrometer: Plattendrehung in Plattenverschiebung umsetzen

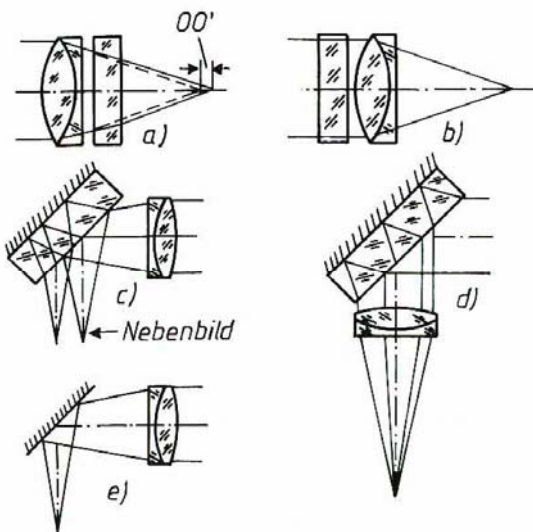
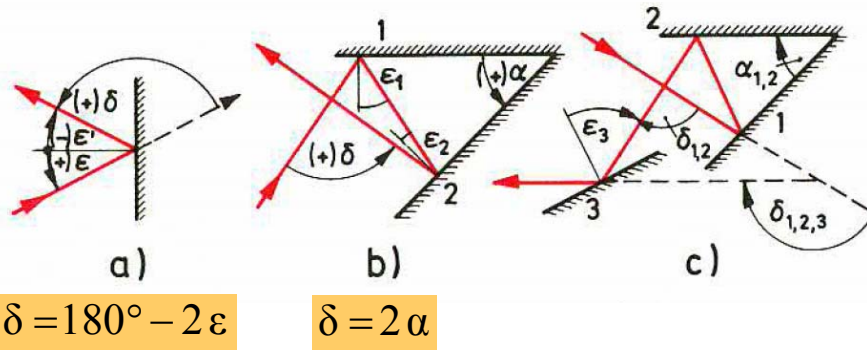


Bild 5.6.2 Wirkung von Planplatten

a) in konvergentem Strahlengang Öffnungsfehler und Bildversetzung; b) im telezentrischen Strahlengang keine Störung; c) Rückflächenspiegel in konvergentem Strahlengang gibt Nebenbilder; d) im telezentrischen Strahlengang störungsfrei; e) im konvergenten Strahlengang erforderlich

Astigmatismus, Farbfehler und Nebenbilder!!

- Reflektierende Planflächen benutzt für
 - Richtungsänderung (Ablenkung)
 - Parallelversetzung
 - Änderung der Bildlage (Drehung oder Klappung)
- Spiegel meist komplanar (haben gemeinsame Einfallsebene)
- z.B. Spiegelsystem für Richtungsänderung



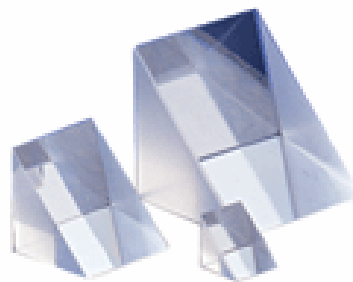
$$\delta = 180^\circ - 2\varepsilon$$

$$\delta = 2\alpha$$

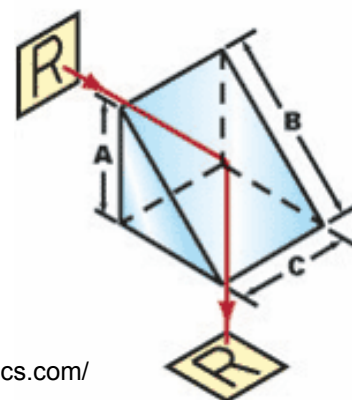
- Merksatz: Bei gerader Anzahl komplanarer Spiegelungen ist die Gesamtablenkung unabhängig vom Einfallswinkel
- **Planspiegel müssen sorgfältig justiert und stabil montiert sein!**

Quelle: Schröder, *Technische Optik*, 1990

- Reflexionsprismen sind Glaskörper mit angeschliffenen Planflächen
 - z.B. Halbwürfelprisma



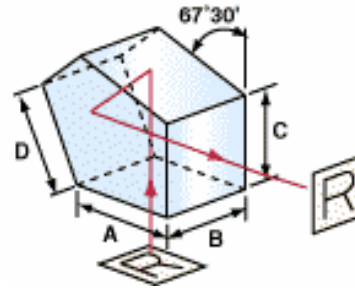
Quelle: www.edmundoptics.com/



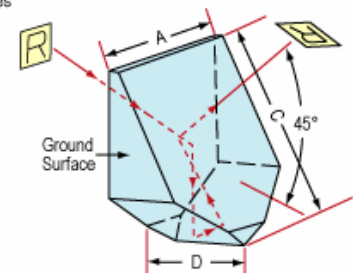
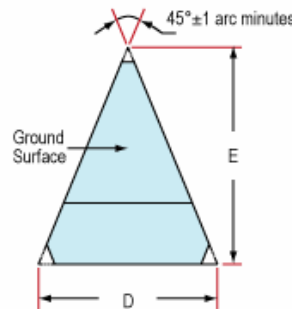
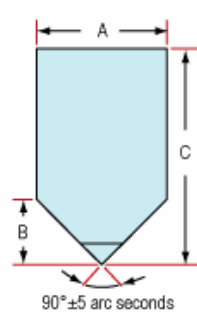
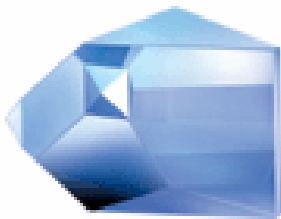
- Systeme durch Verkitten bzw. Montage mit Luftabstand zusammengebaut
- In Sensoren meist günstiger als Spiegelsysteme
 - Winkel inherent unveränderlich
 - Einsparung von Halterungen und Justierung
 - Einsparung der Metallbeschichtung durch Totalreflexion
 - Kompakter durch Faltung des Strahlverlaufs
 - Nachteil: Wirkung als dicke Planplatte

Beispiele für Reflexionsprismen

- **Pentagonprisma**
 - 90° Strahlablenkung unabhängig vom Einfallswinkel
 - Bildorientierung bleibt erhalten



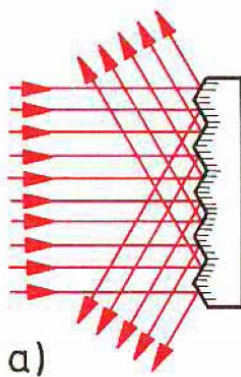
- **Schmidt-Prisma**
 - 45° Strahlablenkung
 - vollständige Bildumkehr



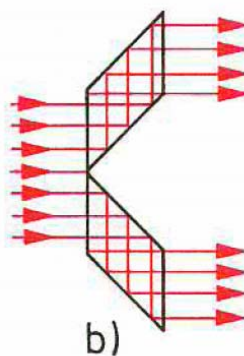
Quelle: www.edmundoptics.com/

Geometrische Strahlenteiler

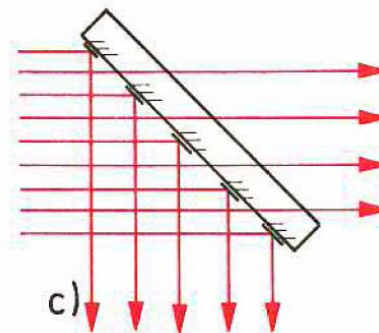
- **Teilen des Bündelquerschnitts in zwei oder mehr Teilbereiche ("Aperturteilung")**
 - Apertur darf nicht in zu kleine Teilbereiche aufgespalten werden, da ansonsten Beugungseffekte die Auflösung verringern



a) Furchenspiegel



b) Rhomboidprismen

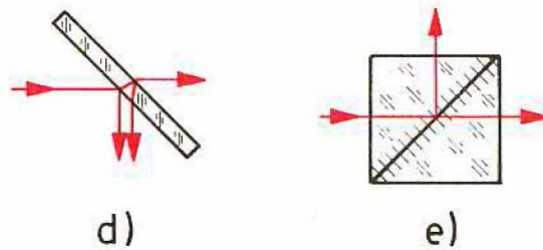


c) Streifenförmige/Punktförmige Verspiegelung

Quelle: Schröder, *Technische Optik*, 1990

Physikalische Strahlenteiler

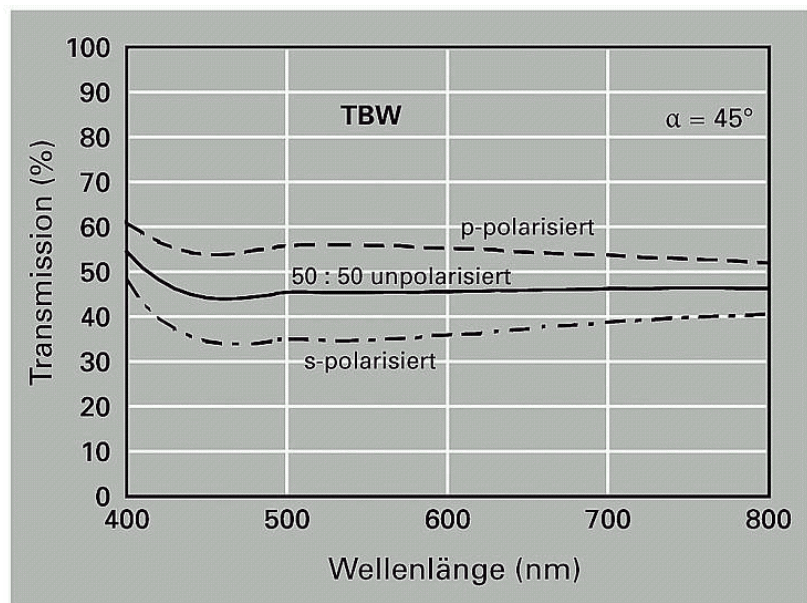
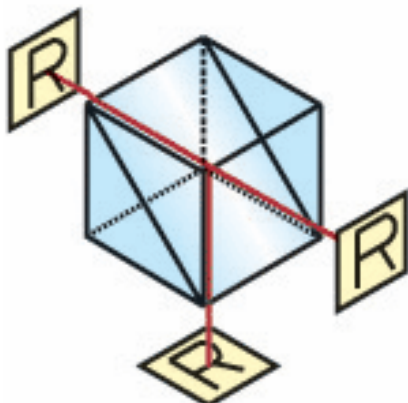
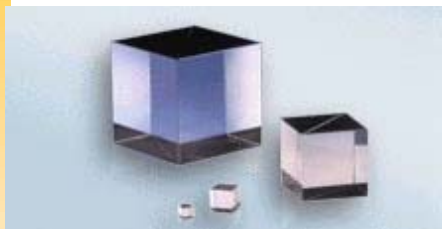
- **Aufteilung durch teildurchlässige Spiegelfläche**
 - Ausnutzung der Fresnel Reflexion
 - Dielektrische Mehrschichten (Interferenzfilter) für verlustarme Aufteilung
- **Beide Teilstrahlen haben ursprüngliche Apertur**
 - Auflösungsvermögen bleibt erhalten
- **Ausführung als**
 - Strahlteilerplatte
 - Strahlteilerwürfel
 - Folienteiler (sehr dünne gespannte Kunststoffolie, keine Störung durch Planplattenwirkung, aber mechanisch instabil/schwingend)



Quelle: Schröder, *Technische Optik*, 1990

Beispiel: Strahlteilerwürfel

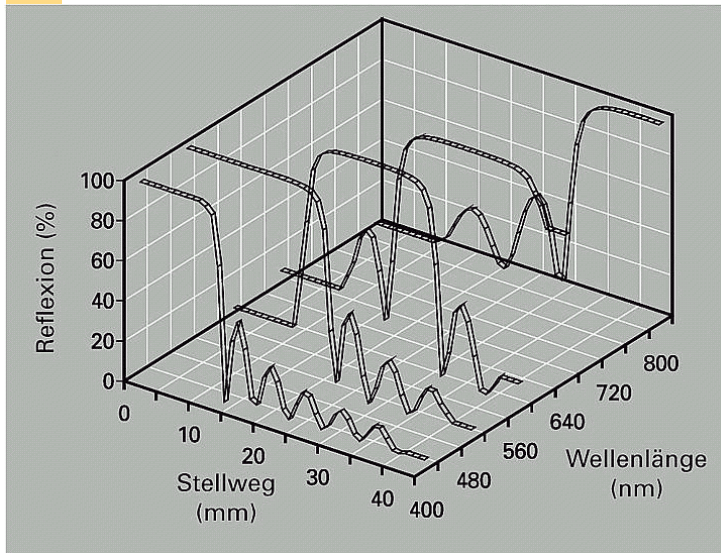
- **Verkittete Prismen mit Interferenzfilter auf der Hypotenuse**
 - Wellenlängenabhängigkeit durch Filter



Quellen: www.linos.com/ , www.edmundoptics.com

Beispiel: Variable Strahlteilerplatte

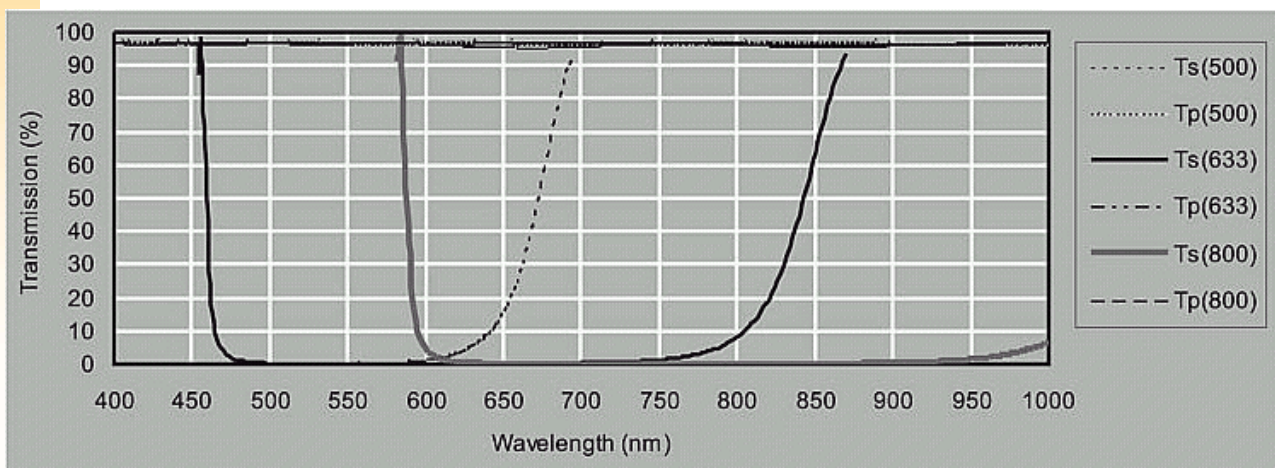
- Keilförmig aufgedampfte dielektrische Schichten
- Reflexion bzw. Transmission abhängig vom Ort auf der Strahlteilerplatte (Stellweg)



Quelle: www.linos.com/

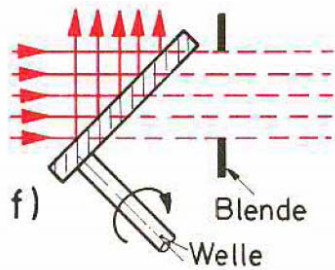
Beispiel: Polwürfel

- Teilungsverhältnis wird durch Polarisationswinkel des eintretenden Lichts bestimmt
- Funktion nur in eingeschränktem Wellenlängenbereich, z.B.
 - 450-550 nm: $\lambda_0 = 500$ nm
 - 550-700 nm: $\lambda_0 = 633$ nm
 - 700-900 nm: $\lambda_0 = 800$ nm

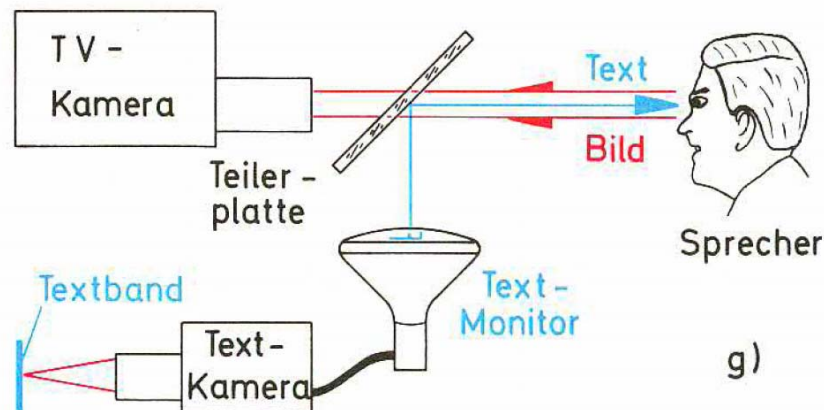


Quellen: www.linos.com

- Strahl wird durch schwingende oder rotierende Blende abwechselnd abgelenkt und durchgelassen



- Anwendungsbeispiel einer Teilerplatte

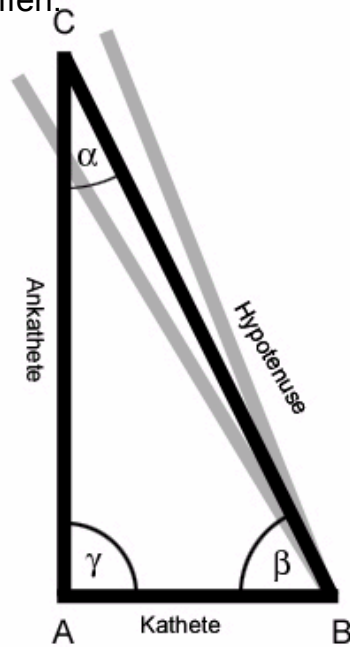


Quelle: Schröder, *Technische Optik*, 1990

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

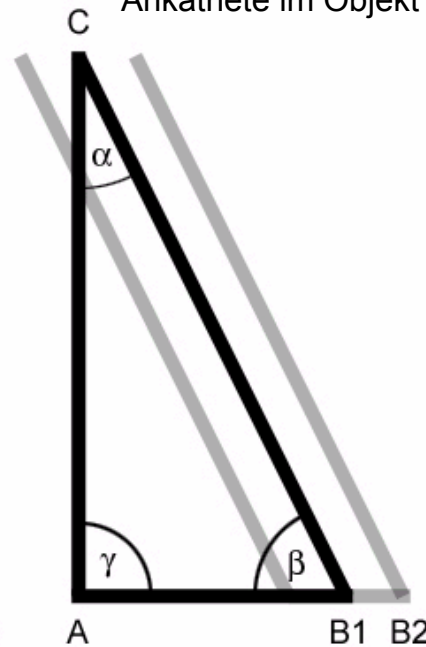
• **Basistentfernungsmesser**

- Kathete (Basis) vorgegeben
- Winkel β verändert bis sich Hypotenuse und Ankathete im Objekt treffen.

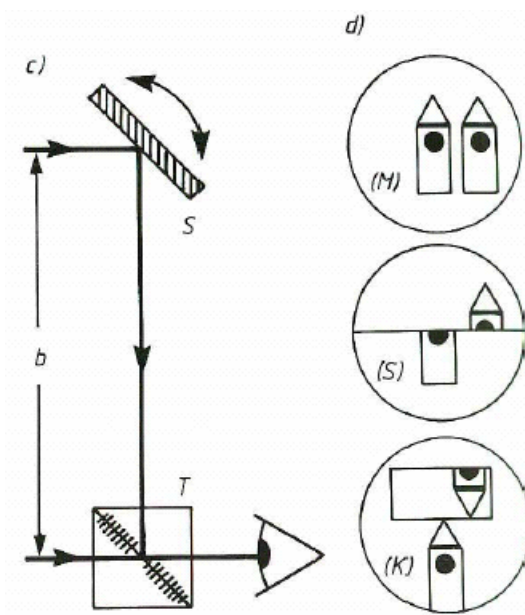


• **Winkelfernungsmesser**

- Winkel β vorgegeben
- Länge der Kathete verändert, bis sich Hypotenuse und Ankathete im Objekt treffen.



Quelle: <http://www.epsonrd1.de>



• **Mischbild**

- Fokussiert, wenn Bild und Geisterbild deckungsgleich

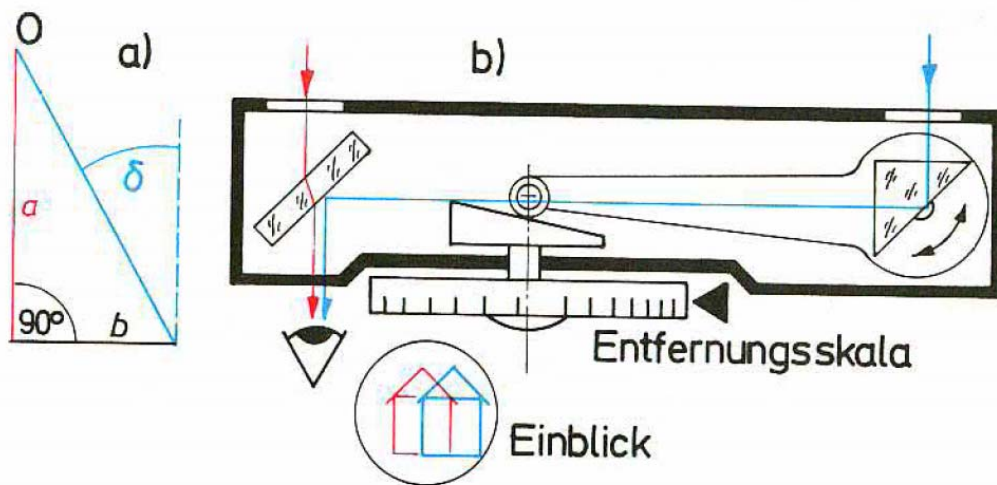
• **Schnittbild**

- Fokussiert, wenn Bildhälften ohne Versatz

• **Kehrbild**

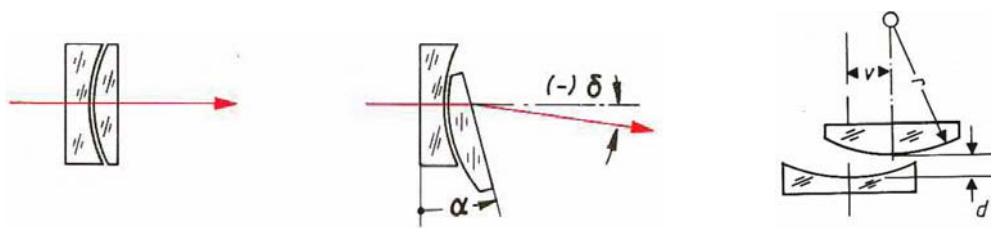
- Fokussiert, wenn Kehrbild ohne Versatz

- Winkeländerung über Prismendrehung erreicht
 - Hebelübersetzung zur genaueren Winkelbestimmung

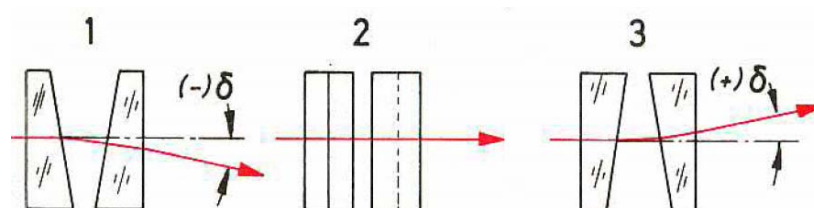


Quelle: Schröder, *Technische Optik*, 1990

- “Optische Übersetzung” mit Prismenkeilen erzeugt bei großer Schwenkung bzw. Drehung nur kleine Strahlwinkeländerung
- Planplattenmikrometer
- Drehen/Verschieben von Planlinsepaar

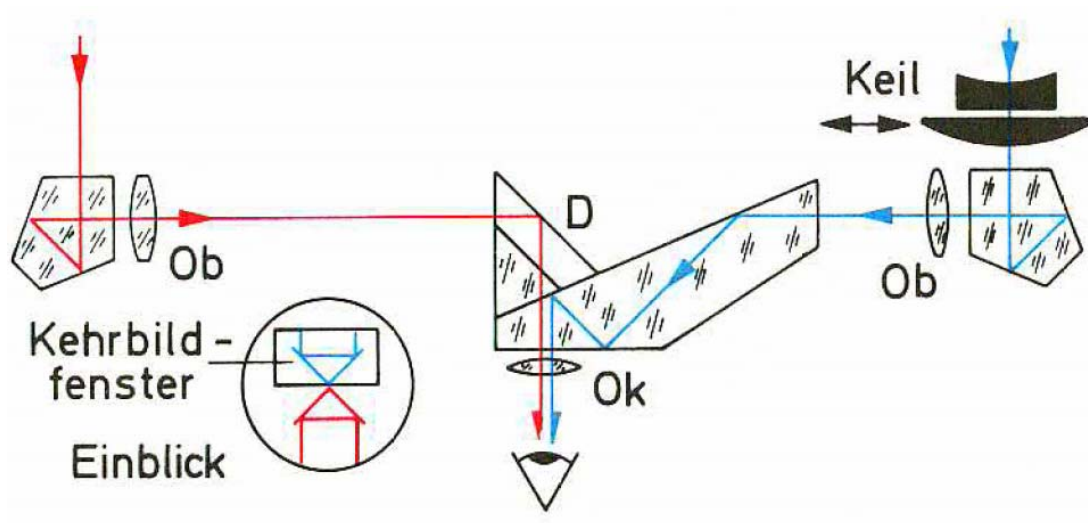


- Drehkeilpaar



Quelle: Schröder, *Technische Optik*, 1990;
Naumann/Schröder, *Bauelemente der Optik*, 1992

- Winkeländerung über Linsenversatz
- Bildtrennung durch Prismensystem



Quelle: Schröder, *Technische Optik*, 1990

- Mischbildindikator

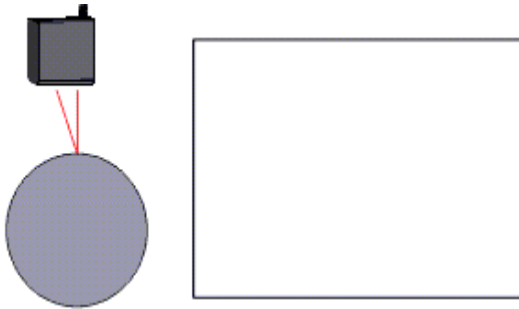


- Schnittbildindikator

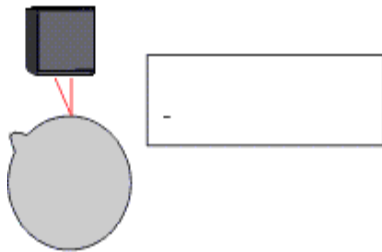


Quelle: <http://www.epsonrd1.de>

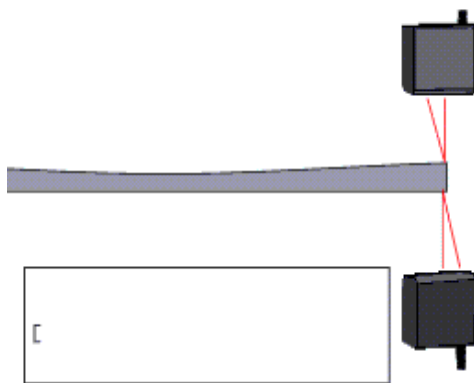
Kontrolle der Rotationsachse eines Körpers



Kontrolle von Unwuchten eines Körpers

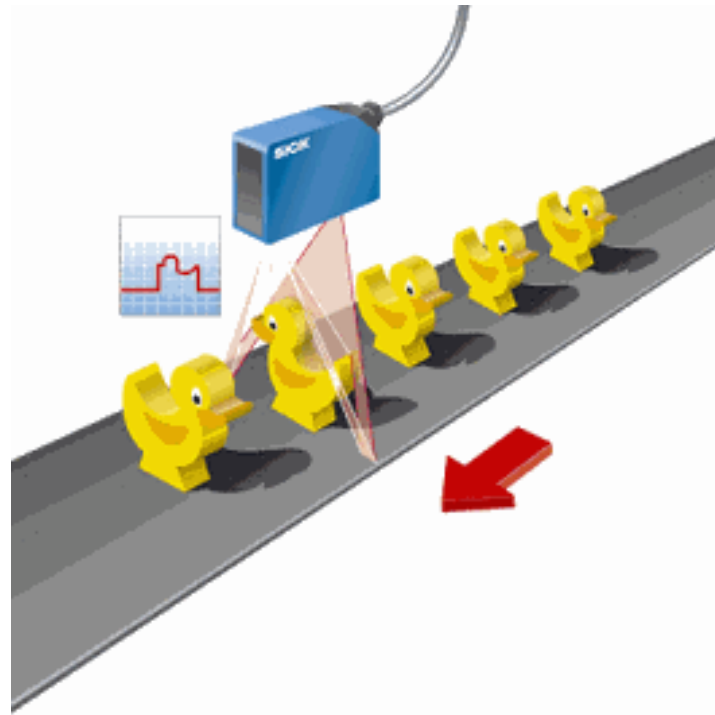


Messung der Schichtdicke



Essentiell für Automatisierung

- Laserlinie in definiertem Winkel über Tastobjekt gelegt
- Laserlinie wird auf Empfänger-Kamera als Kontur abgebildet, die dem Höhenprofil entspricht

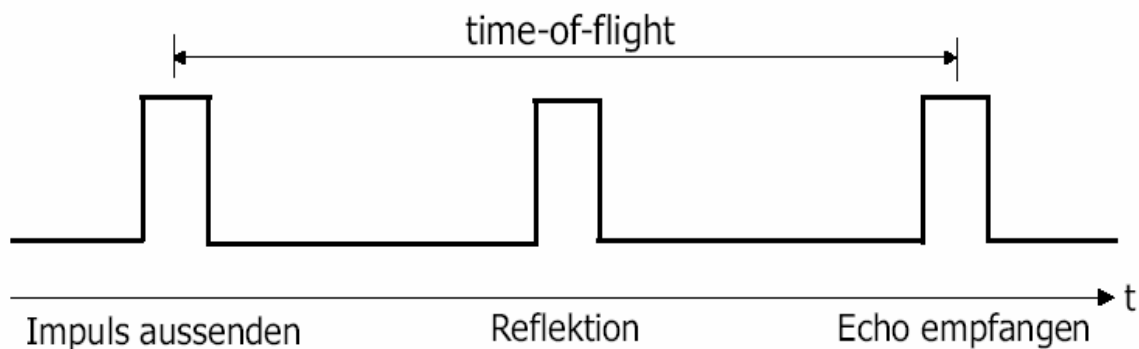


Quelle: <http://www.sick.de>

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

Laufzeit-Entfernungsmesser

- Aussenden eines Laserpulses und Bestimmung der Zeitdifferenz bis zum Empfang des Reflexionspulses
- Berechnung der Strecke aus Ausbreitungsgeschwindigkeit



- Problem: Licht ist schnell
 - Laufzeit für eine Strecke von 1 m ist 3 ns
- Kurze Laserpulse und schnelle Elektronik notwendig

Gruppenarbeit

- Ihre Firma möchte einen elektronischen Entfernungsmesser ins Produktprogramm aufnehmen und Ihr Team soll einen ersten Vorschlag erarbeiten
- Entwickeln Sie im Team je einen Vorschlag für einen Triangulations- und einen Laufzeit-Entfernungsmesser.
 - Erstellen Sie ein Schema des Aufbaus!
 - Spezifizieren Sie die Komponenten!
 - Nennen Sie den Messbereich!
 - Schätzen Sie die Messgenauigkeit ab!
- Diskutieren Sie, welcher Ihrer Vorschläge vielversprechender ist und stellen Sie diesen mit Hilfe einer Overhead-Folie dem Management vor!