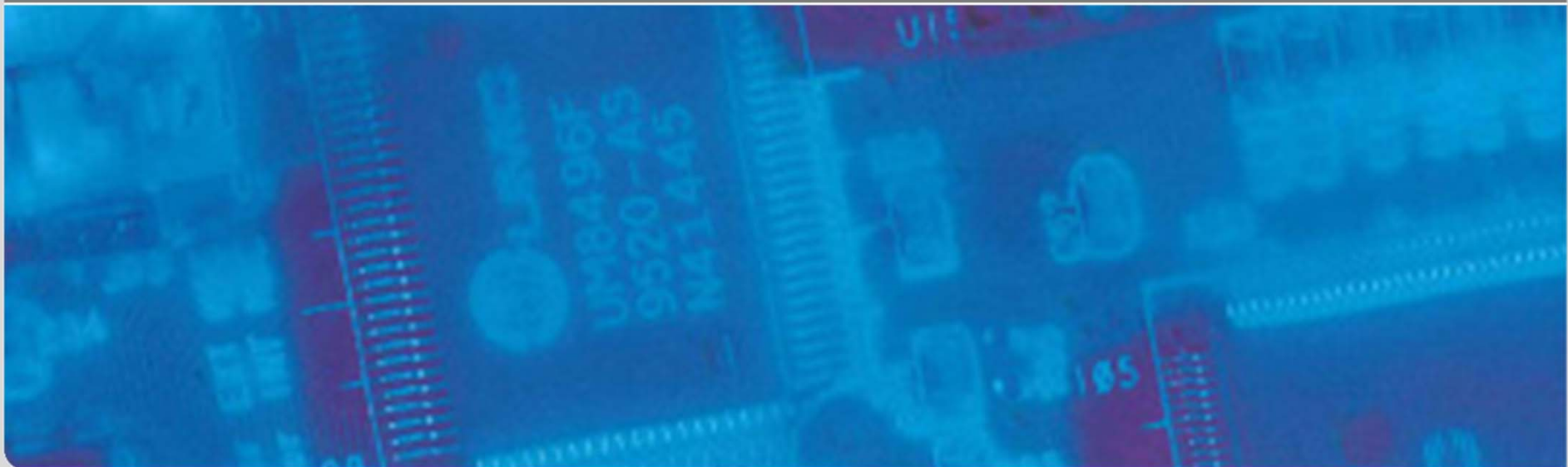


Integrierte Intelligente Sensoren Sommersemester 2012

27.06.2012

Wilhelm Stork

Institut für Technik der Informationsverarbeitung (ITIV)





Referent: **Dr. Martin Izzard**
 Vice President and Director of Texas Instruments R&D Labs



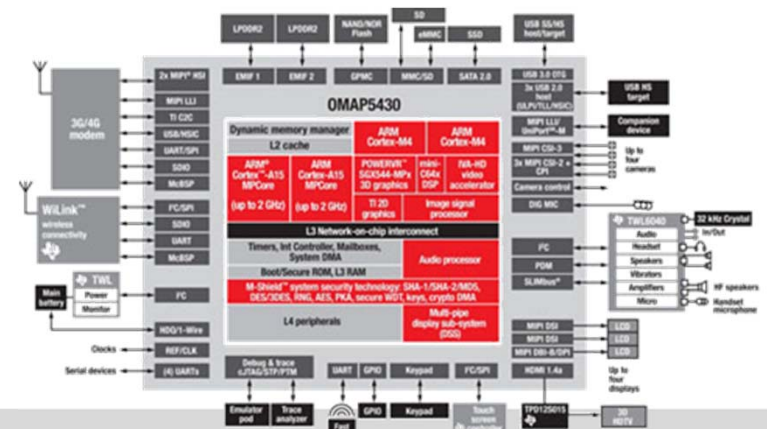
Title: **"Research and Innovation at Texas Instruments"**
 Overview of the most important research activities
 and the organization of research laboratories at TI



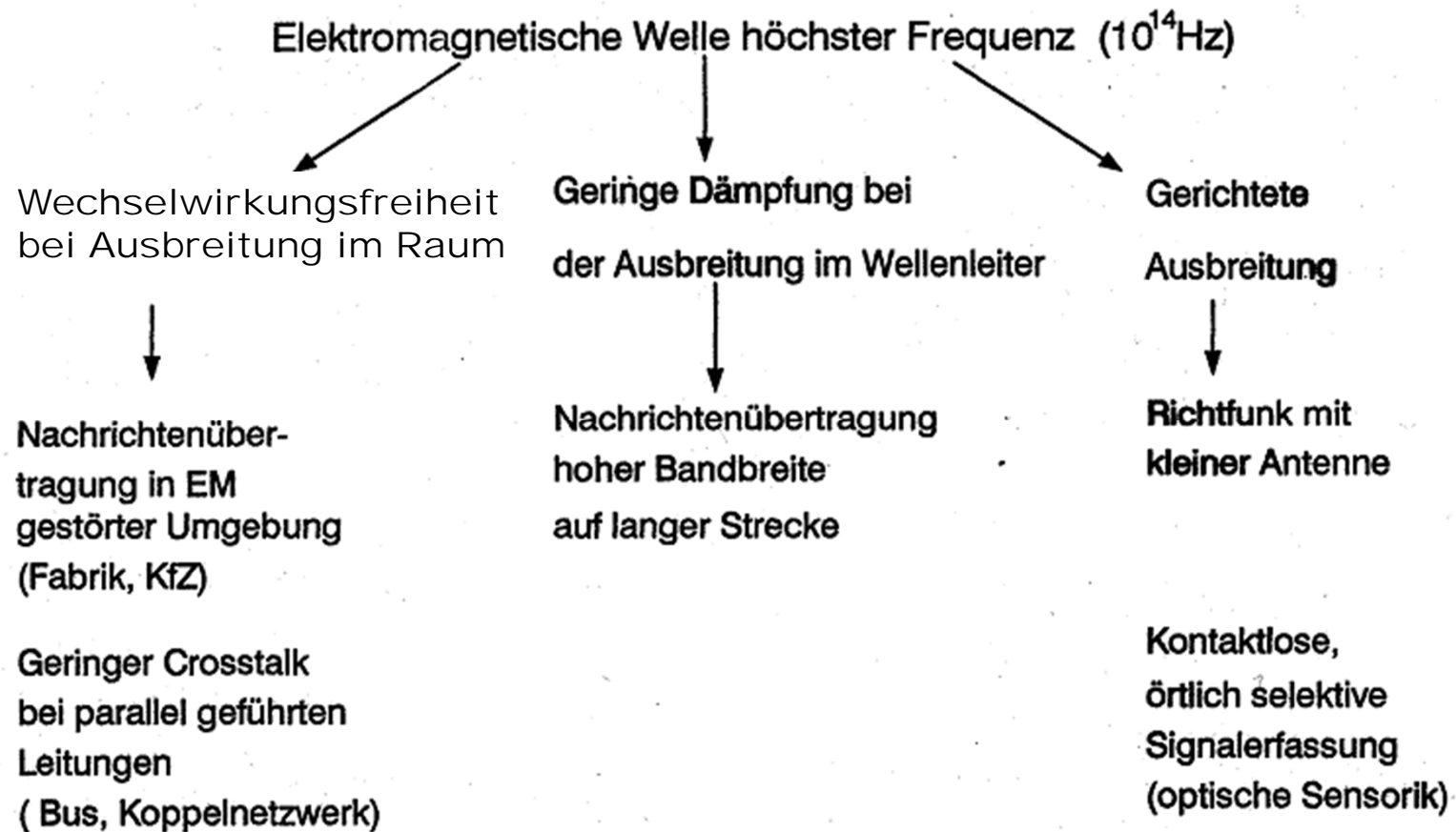
am **Mittwoch, 13.06.2012, um 14:00 Uhr**



Ort: **NTI-Hörsaal (Engesserstraße 5, Geb. 30.10)**



Informationsträger Licht



Optische Sensoren

Klassische Anwendungen

- Landvermessung (Theodolit)
- Spektralphotometrie zur chemischen Analyse

Moderne Anwendungen

- Landvermessung (Theodolit, elektronisch unterstützt)
- Spektralsensoren als Massenprodukt in der Umweltanalytik
- Abstands-, Lage-, Positions-, Beschleunigungs-, Geschwindigkeits-, Drehratensensoren, etc.

Vorteile

- Berührungslos
- Punktuell

Optische Abstandsmessung

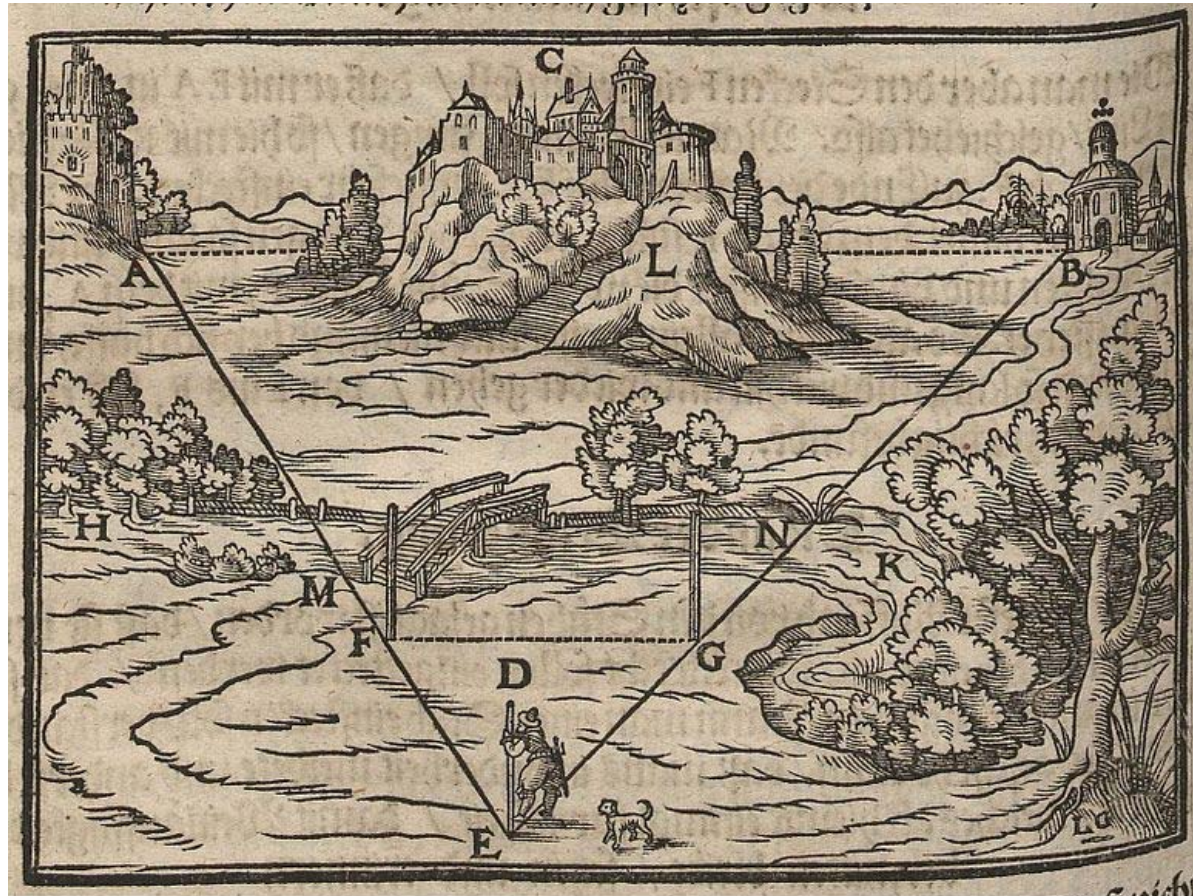
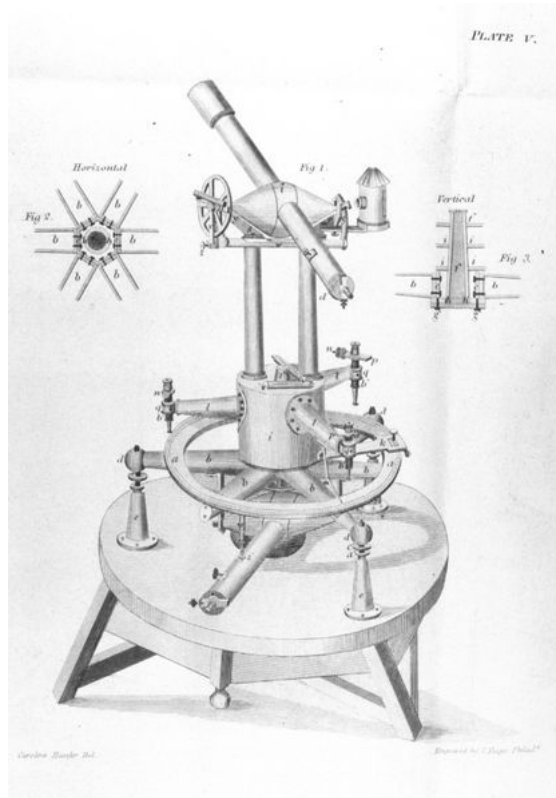
- Lange Distanzen (1m und mehr), geringe Präzision
 - Triangulation an Selbstleuchtern bzw. von der Sonne beleuchteten Objekten
 - Laufzeitmessung: Kurze Laserpulse hoher Leistung
 - Laserradar: Phasenmessung an moduliertem Laserstrahl
(Geschwindigkeitsmessung möglich →
Geschwindigkeitskontrolle)

- Mittlere Distanzen (mm – m), mittlere Präzision
 - Lasertriangulation

- Kurze Distanzen, hohe Präzision
 - Autofokusverfahren
 - Interferometer

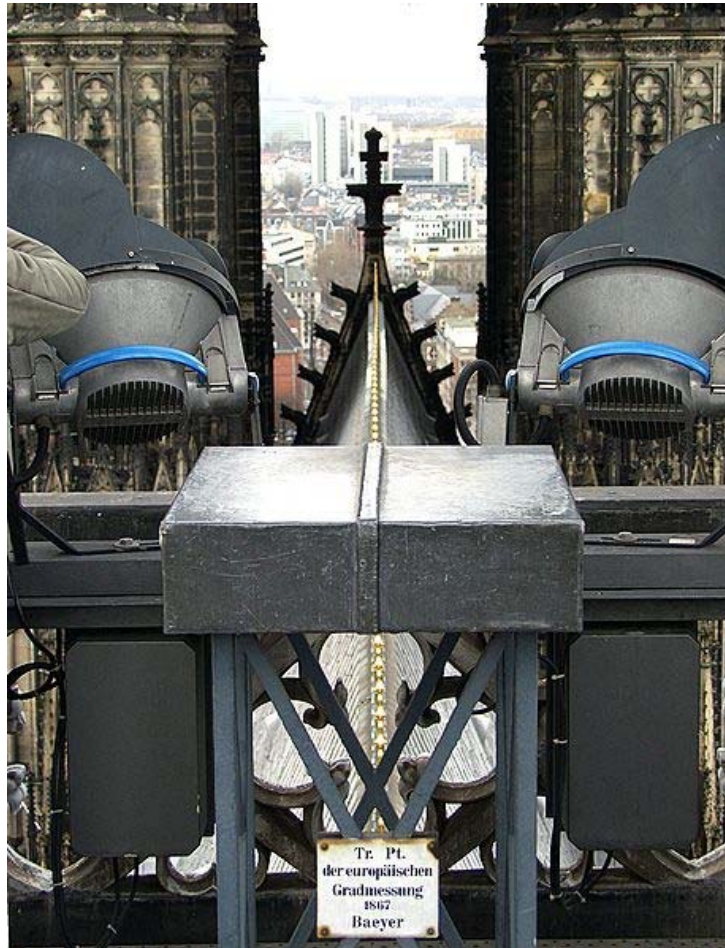
Triangulation in der Landvermessung (ab. ca. 1770 Vermessung Deutschlands)

■ Geodäsie - Winkelmessung



Historische Abbildung zur Vermessung eines Geländes
mit Hilfe eines Dreieck (1667) Wikipedia

Triangulationspunkte - Dreiecksnetz



Triangulationspunkt im Vierungsturm des Kölner Doms. Hier verlief im 19. Jahrhundert der Nullmeridian für Deutschland.

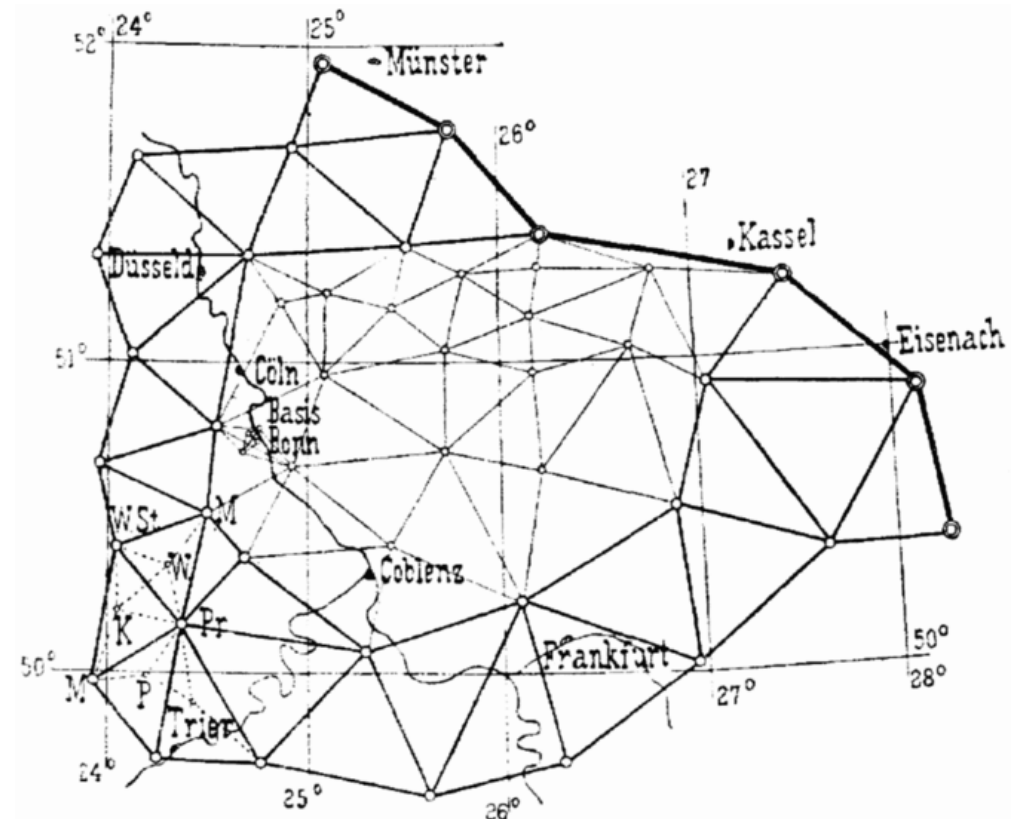
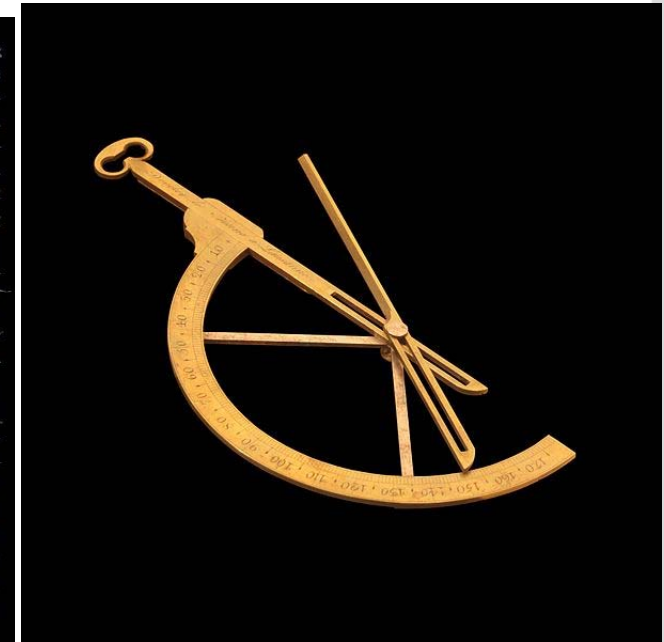


Fig. 4. Die rheinisch-hessische Kette und das nieder-rheinische Dreiecksnetz.

Winkelmessung-Sextanten-Theodoliten



- Sextant – Banknote
- Theodolit Briefmarke
- Feinmechanische Gradeinteilung

Theodoliten (Leica)



	TCRM1101plus	TCRM1102plus	TCRM1103plus	TCRM1105plus
Winkel- messung	1.5", 0.5 mgon	2", 0.6 mgon	3", 1.0 mgon	5", 1.5 mgon
Distanz- messung	3mm ± 2ppm (ohne Reflektor) 2mm ± 2ppm (mit Reflektor)			
Messzeit	3 s (ohne Reflektor bis zu 30m) 1 s (mit Reflektor)			
Reichweite*	Entfernung – Reflektor	3 km (Rundprisma)		
		1.5 km (360 degree prisma)		
	Entfernung – reflektorlos	80m (ohne Reflektor)		
		5 km (Rundprisma)		
Entfernung – XRange reflektorlos	200m (ohne Reflektor)			
	7.5 km (Rundprisma)			
Integrierte Programme	Orientierung und Höhenübertragung, Bogenschnitt, Spannmass, Absteckung			
Registrierung	PCMCIA SRAM/FLASH, RS232 Schnittstelle für externen Anschluss			
Vergrößerung	30 x			
Lot	Optisch: 2x Laser: in Alhidade, dreht mit Instrument, Genauigkeit ± 0.8mm bei 1.5 m			



	TC2003/TCA2003
Genauigkeit Hz, V	0.5" (0.15 mgon)
Genauigkeit (Dist.)	1mm + 1ppm
Reichweite*	2.5km / 3.5km
Vergrößerung	30 x
Kürzestes Zielweite	1.7 m

Abstandssensoren - Triangulationssensoren

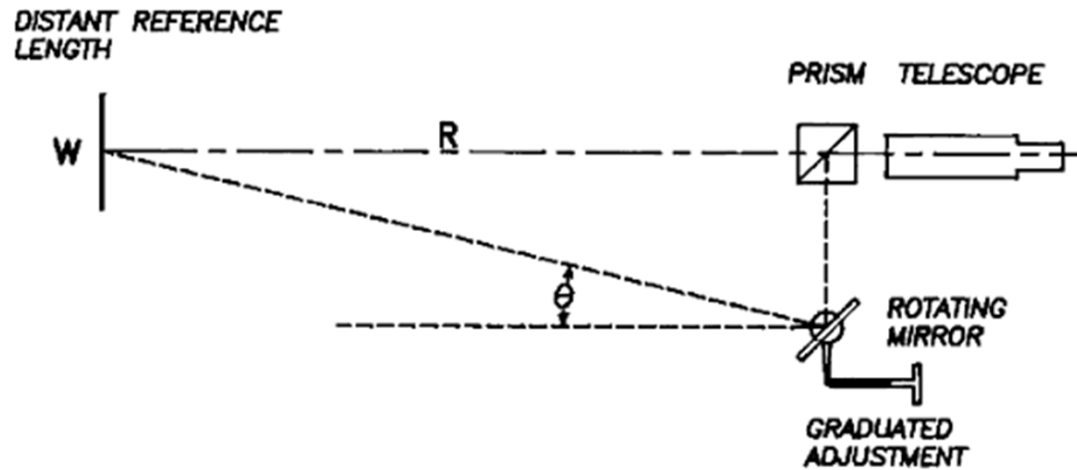
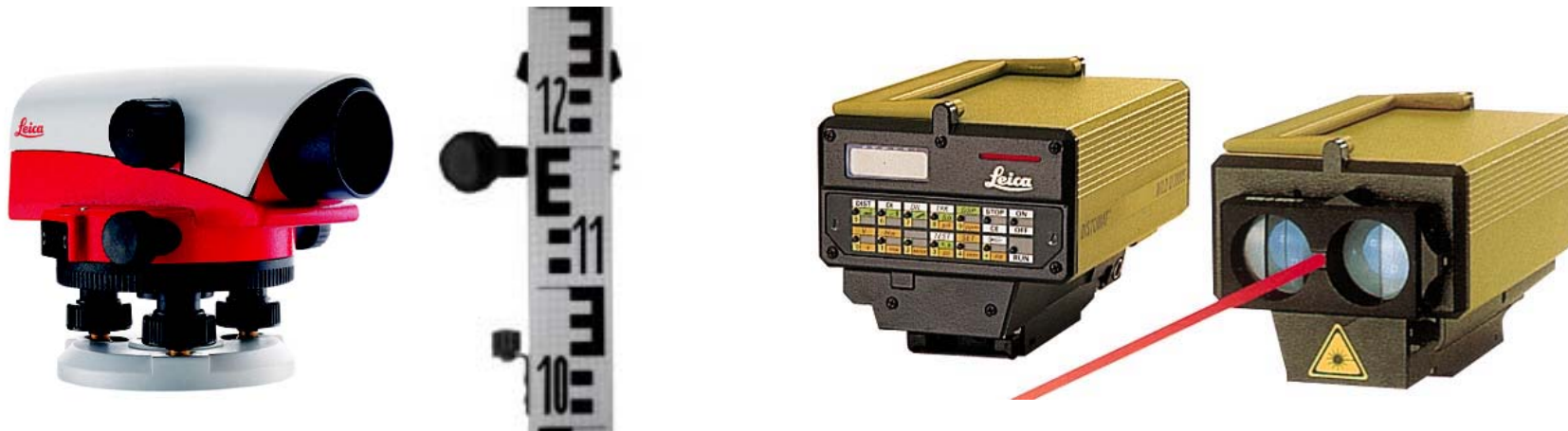


FIGURE 1 Stadia range meter. (From Patrick, 1969.)



Abstandssensoren - Triangulationssensoren

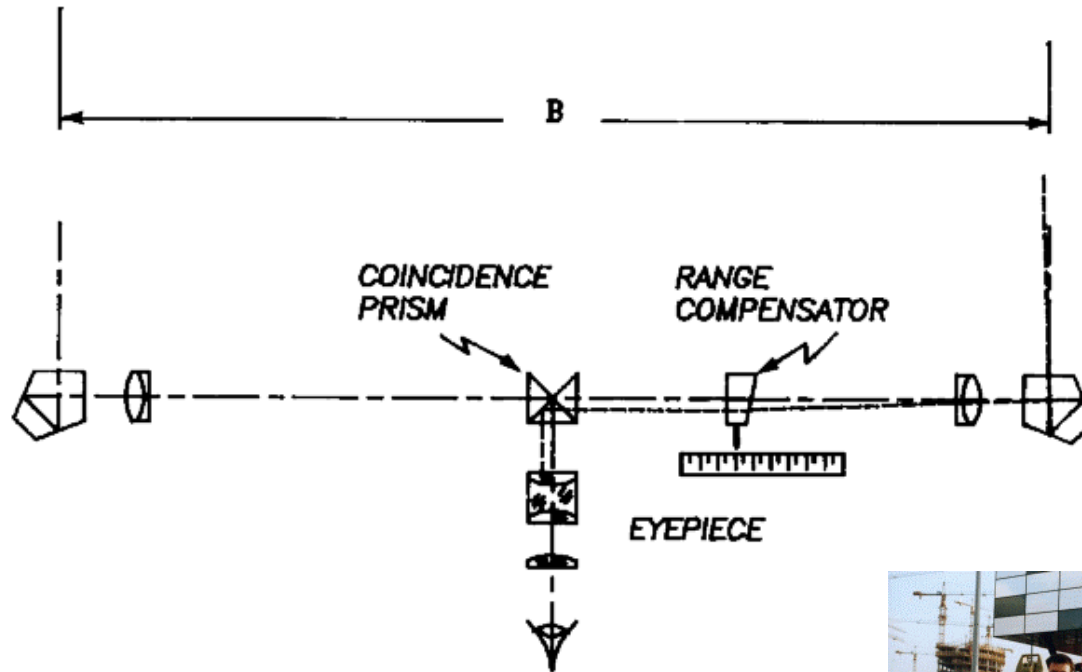
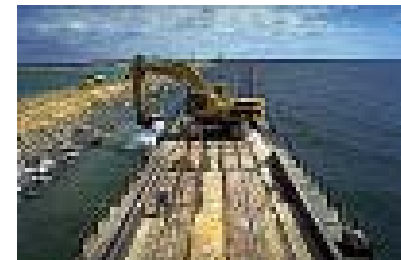
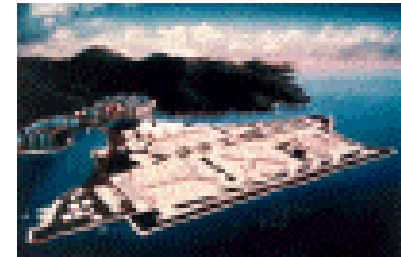


FIGURE 2 A range finder.

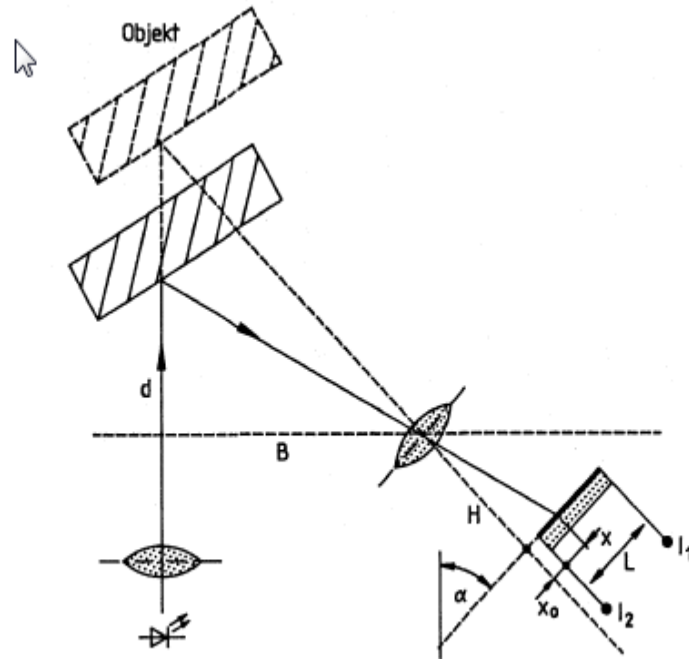


Entfernungsmesser mit im Gerät realisierter Referenzlänge (Theodolith)

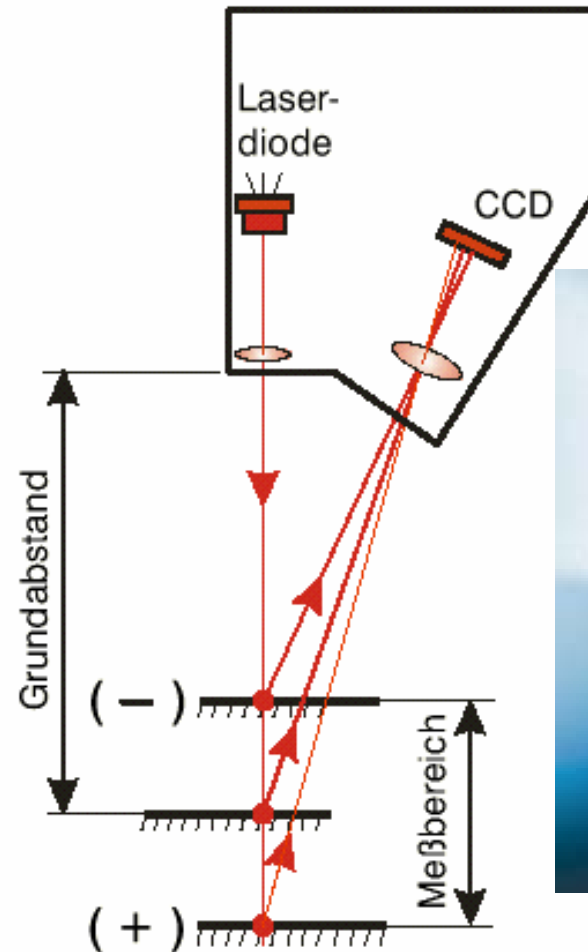
Überlagerung zweier gleicher Bilddetails mit prismatischer Winkelablenkung (Triangulation)

Genauigkeit: $\Delta R = R^2 \cdot \Delta \theta / B$ $\Delta \theta \approx 3 \cdot 10^{-5}$, $B \approx 0.2 \Rightarrow \Delta R$ bei $R=100$ m ≈ 1 m

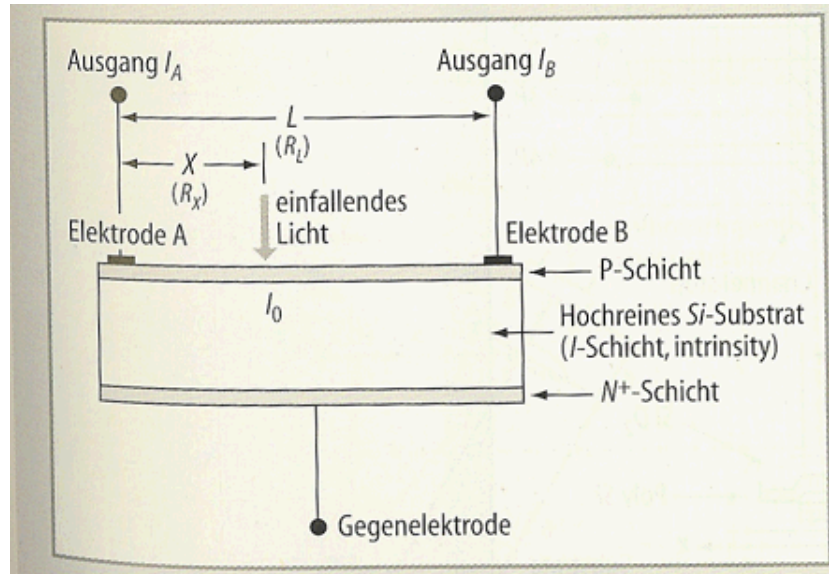
Lasertriangulationslasersensor



$$d = B \cdot \frac{H \cdot \tan(\alpha) - (x + x_0)}{H + \tan(\alpha) \cdot (x + x_0)}$$



PSD - Position Sensitive Device



Empfindlichkeit bei 940 nm ca. 0.6 A/Watt

Positionsauflösung: $\sim 10^{-4}$

Bandbreite: ca. 50 MHz

Größe: 1 x 3 bis 1 x 37 mm²

Tiefenauflösung bis zu 1 μ m

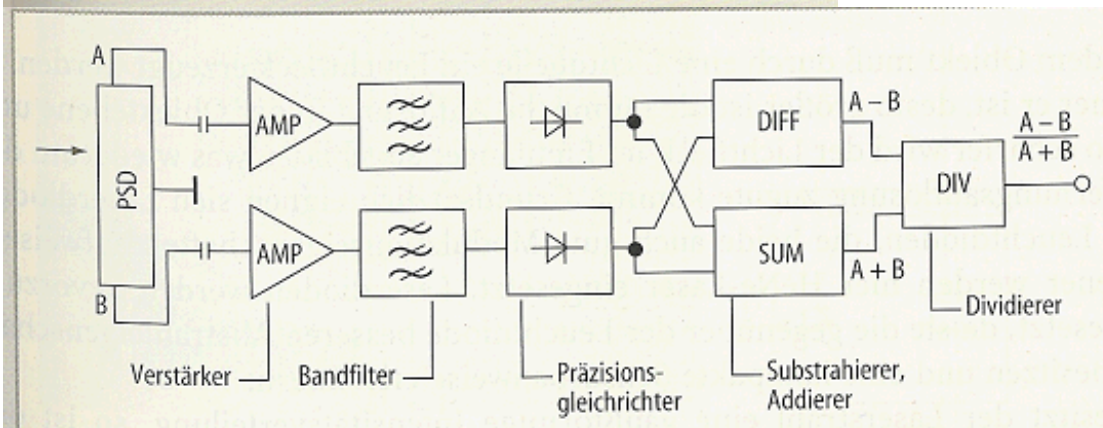


Abb. 10-75 AC-Auswertekonzept für PSD's in Triangulationssensoren

CCD Chips

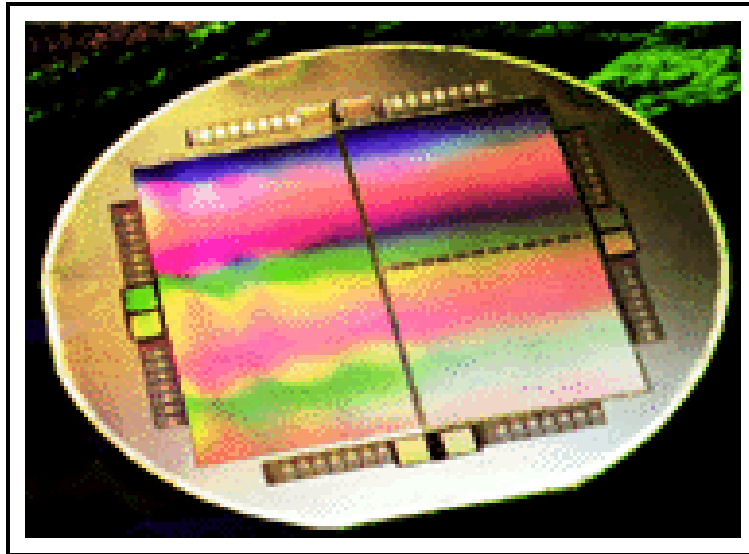
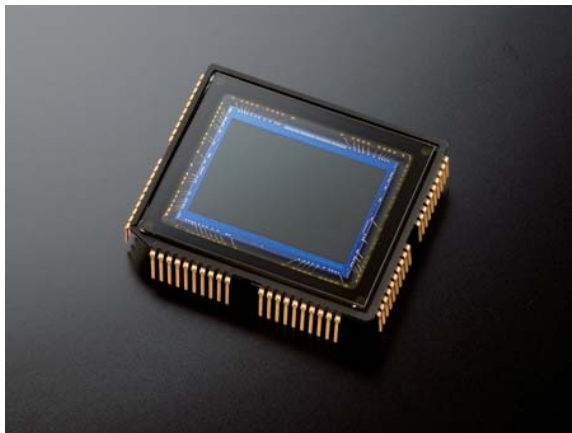


Photo 2.2Kx4K and 2Kx2K
CCD Imagers on a Wafer



SCIENCEPHOTOLIBRARY

CCD

Anatomy of a Charge Coupled Device (CCD)

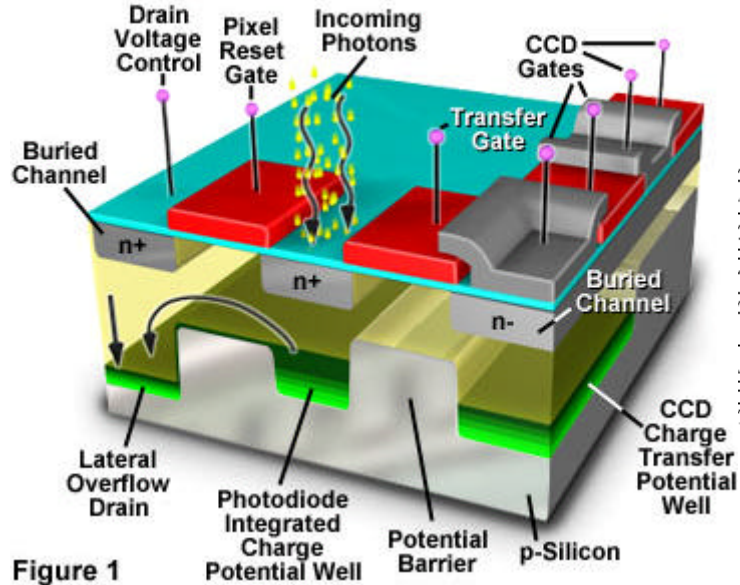


Figure 1

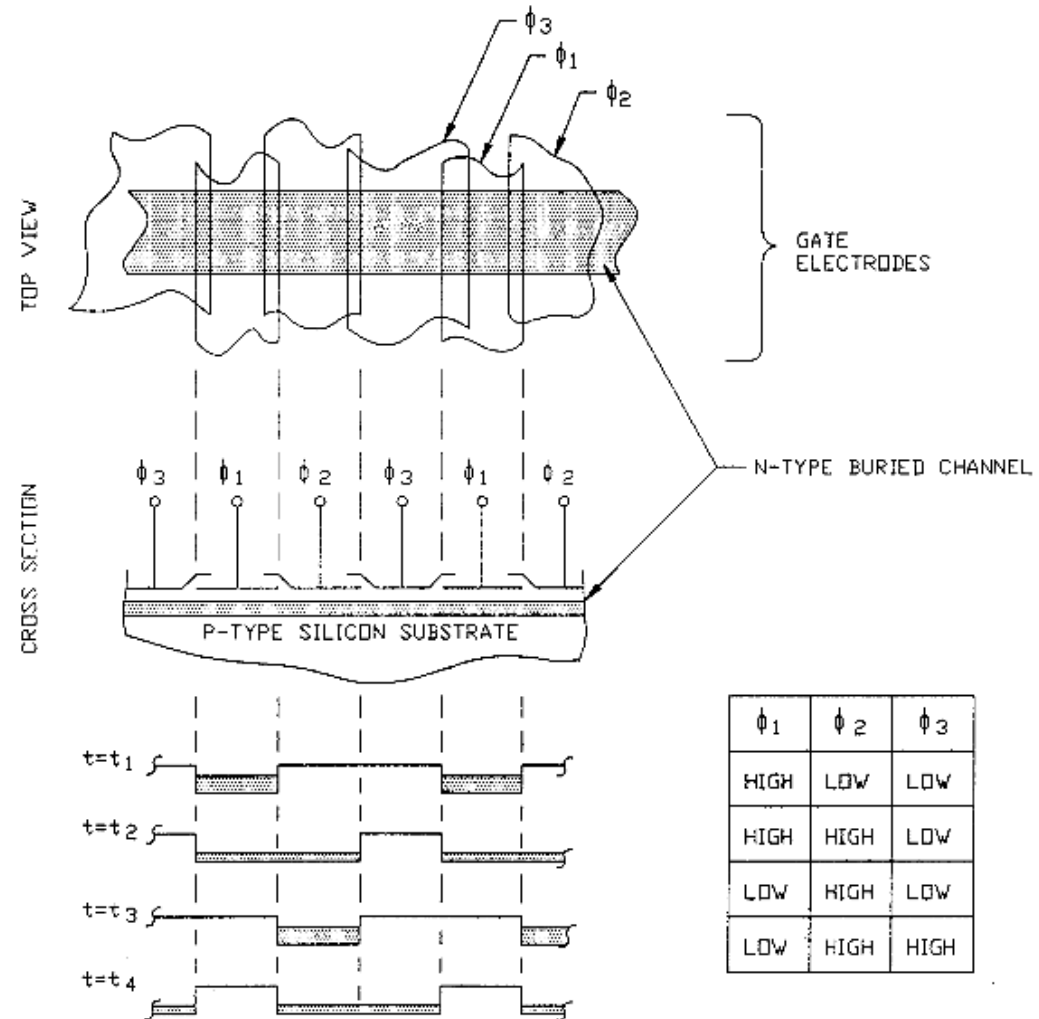
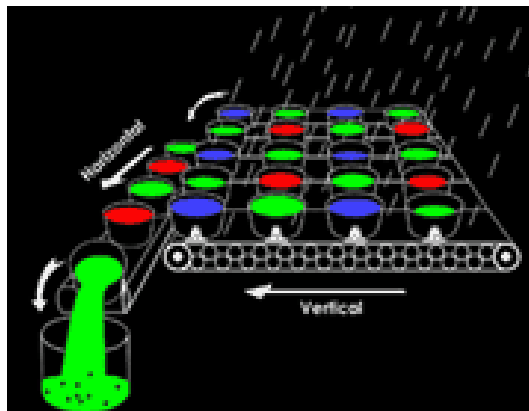


Figure 2. CCD Structure and Operation

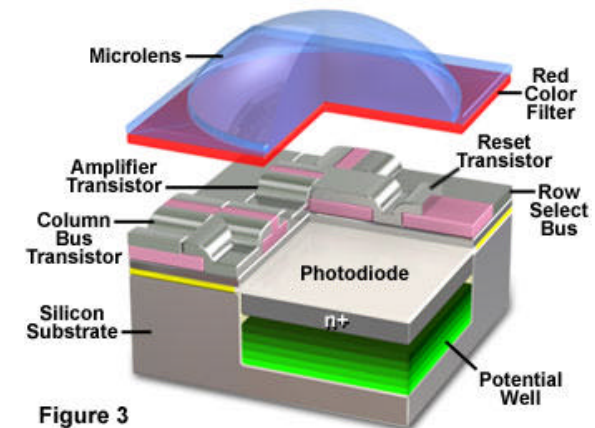
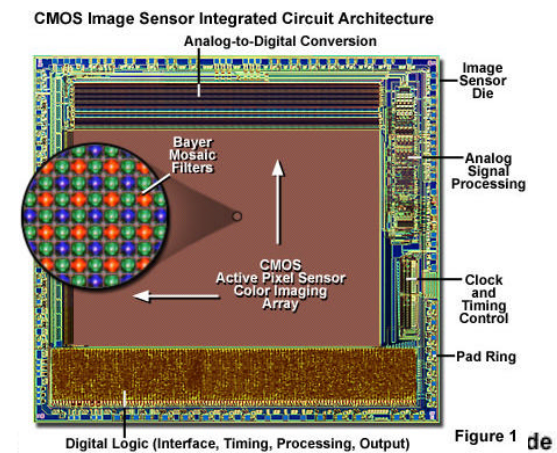
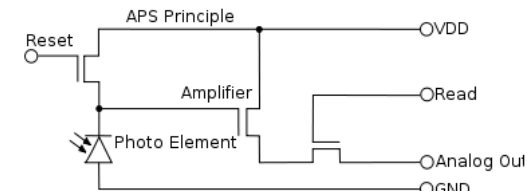
Vergleich PSD - CCD

	PSD	CCD
Ortsauflösung	++	+
Bandbreite	++	+
Inhomogene Lichtverteilung	-	++
Preis	++	-

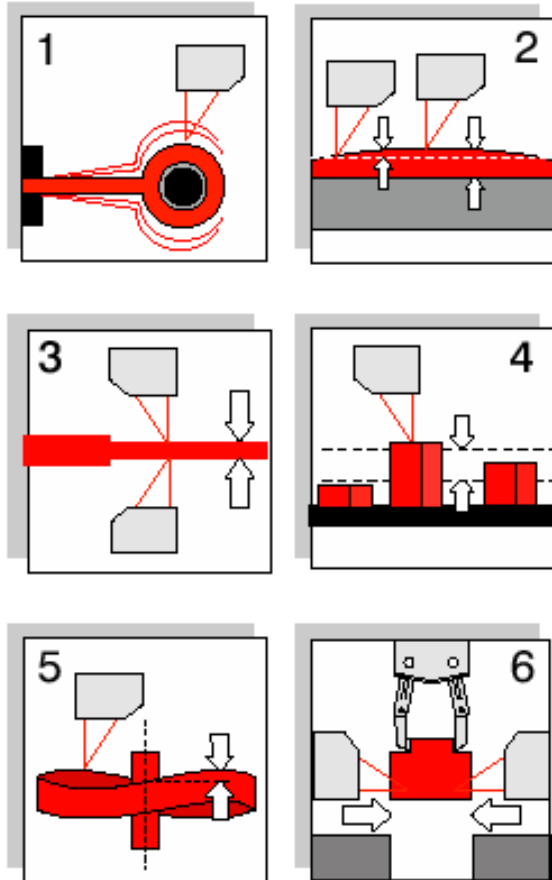
CCD-Systeme arbeiten digital, deshalb können intelligentere Schwerpunktbildung-Algorithmen eingesetzt werden.

CMOS Bildsensor

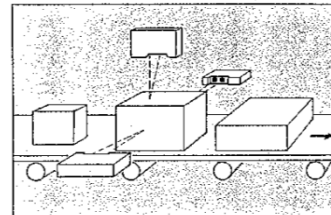
- Photodiode in Sperrrichtung
- MOSFET Verstärker
- Am Beginn des Belichtungsvorgangs wird die Spannung über der Photodiode durch den Reset Transistor auf definierten Wert gesetzt.
- Während der Belichtung wird die Sperrschichtkapazität der Diode durch den Photostrom entladen.
- Vorteile:
 - Geringere Spannung
 - Höhere Bildwiederholrate
- Nachteil:
 - Geringere Flächenausnutzung
-> Rauschen
 - -> hohe Integrationsdichte nötig



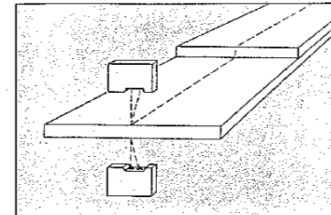
Anwendungsbeispiele für Triangulationslasersensoren



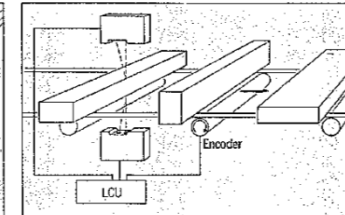
Anwendungsbeispiele



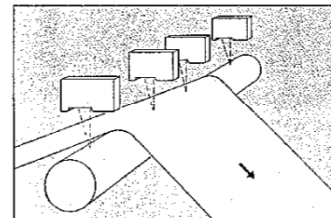
Breite, Höhe, Sortierung, Klassifizierung



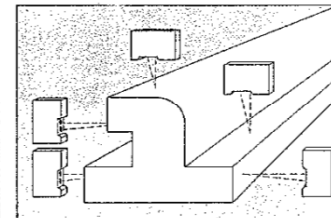
Dicke, Doppellage-Erkennung, Doppelung, Faltung
Längsprofil



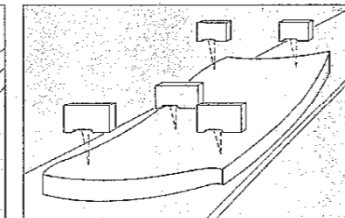
Dicke und Breite



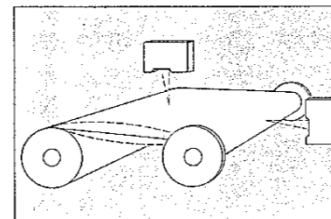
Dickenmessung gegen Rolle, Rollenschlag-
Kompensation, Erfassung Material-Keilform



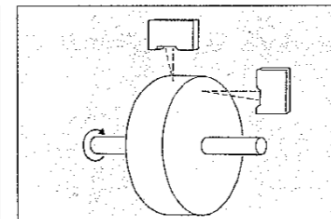
Maßhaltigkeit, Online-Messung nach dem
Formkaliber



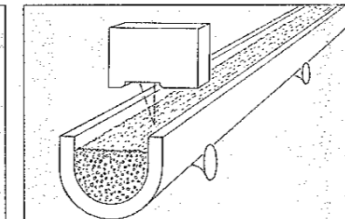
Ebenheit, Planlage, Dicke



Durchhang, Schwingung, Auslenkung,
Wickelradius

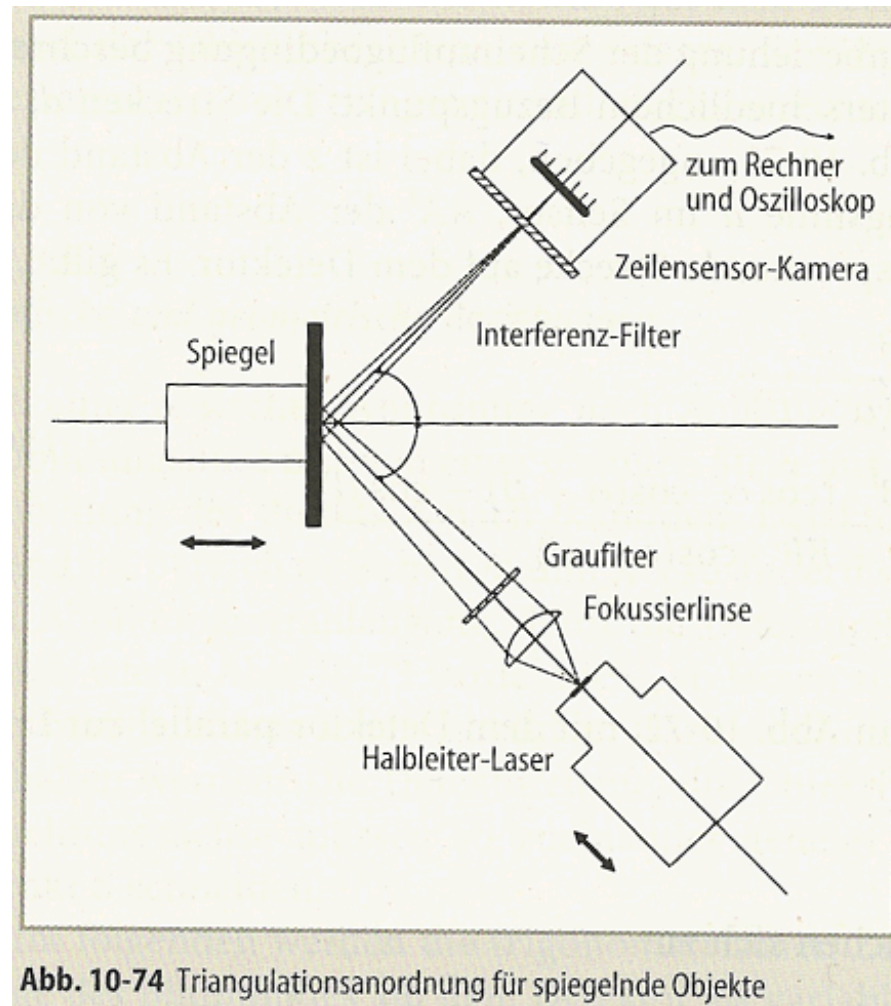


Rundlauf, Schlag, Zentrierung, Ovalität



Füllstand, Niveau, Materialmenge, Füllgrad

Triangulation bei spiegelnden Objekten



Scheinflugbedingung bei Triangulation

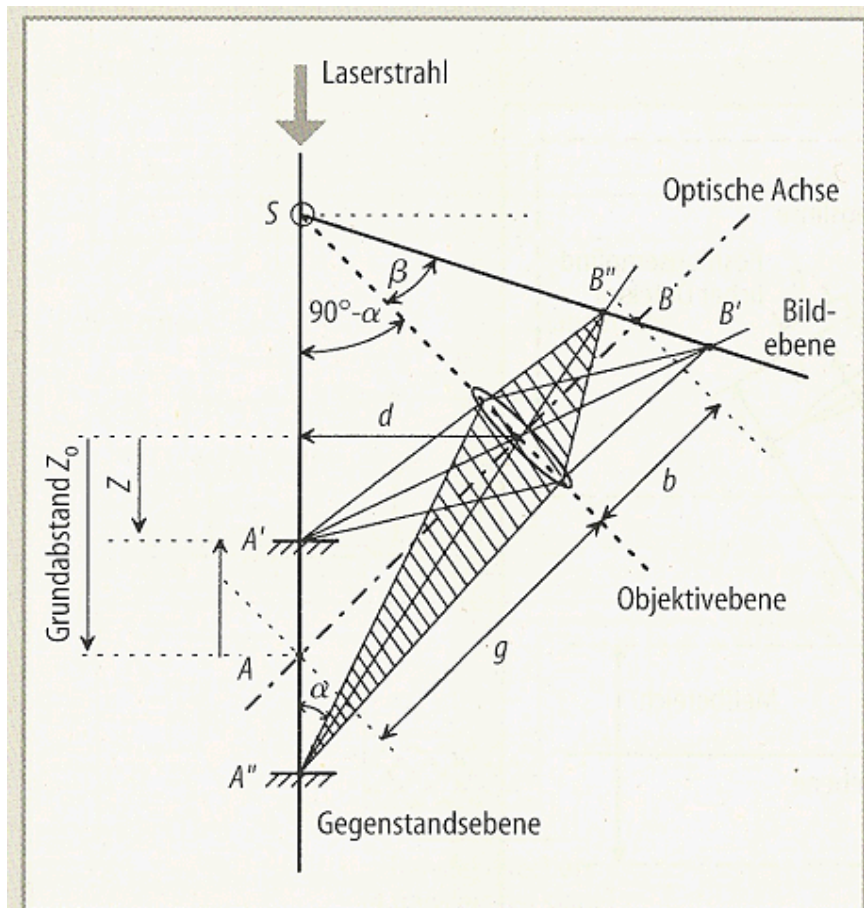


Abb. 10-73 Schärfenkorrektur durch Verkippen der Bildebene (Scheinflugkorrektur)

Änderung des
Abbildungsmaßstabes
bei Abstandsvariation

$$\text{Abbildungsgleichung: } \frac{1}{f} = \frac{1}{g} + \frac{1}{b}$$

Wackelbild

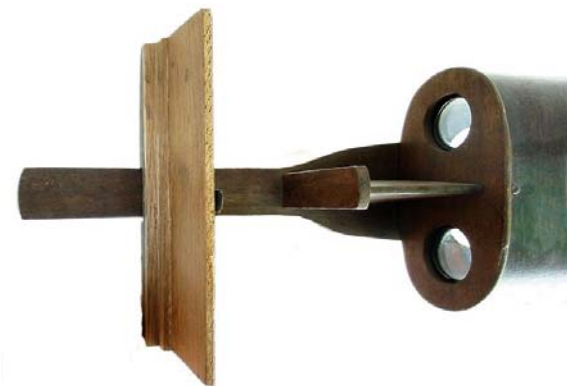


Historische Stereo Kameras



Kamerwerk
Dresden 50er
Jahre

Nimslo USA
1980



Stereo Bild betrachter Wien 1915

Rangefinder

■ Stereoskopie (3D-Triangulation)

Parameter	Wert
Messbereich	1...25m
Messgenauigkeit (geschätzt)	+/- 0.1...1m
Messzeit	10 – 100ms
Preis	500...20000€



Quelle:
Sony

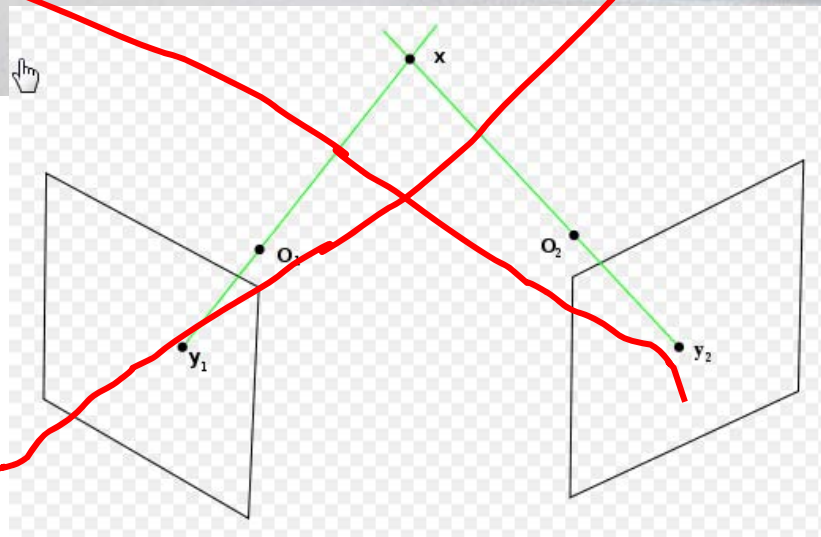
■ PMD-Kamera (3D)

Parameter	Wert
Messbereich	0.3...7m
Messgenauigkeit (schaltbar)	+/- 3mm
Messzeit	25ms
Preis	> 1000€



Quelle:
PMDTec

Keine Triangulation in der Kinect



Abstandsmessung mit Laserpulsen

Laserpulse: 1 ns – 20ps

Leistung: ~ 100 Watt

Auflösung: ~ cm

$c = 3 \times 10^8 \text{ m/s} \Rightarrow$

Zeitauflösung: ~ 20 – 100 ps

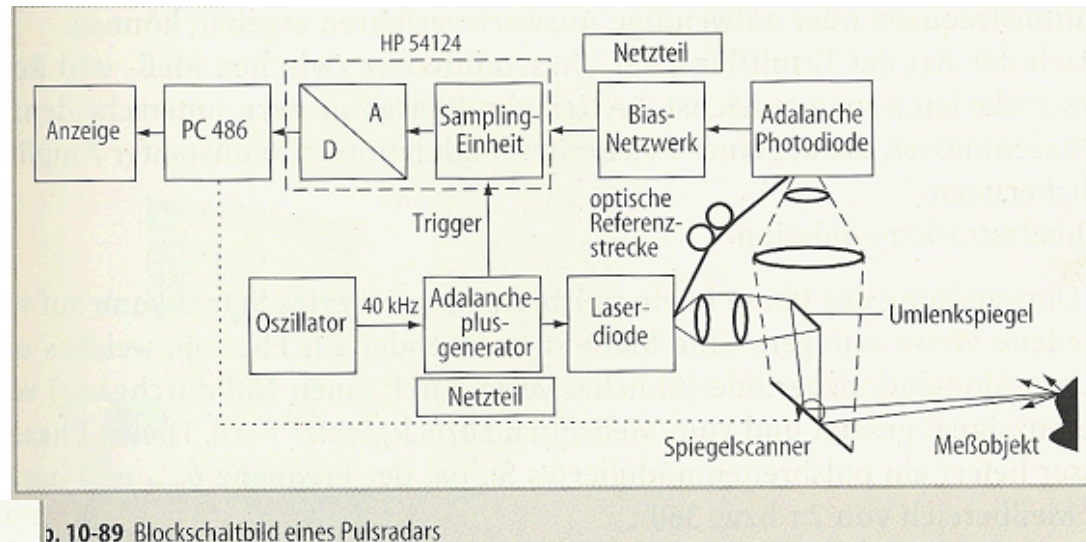


Abb. 10-89 Blockschaltbild eines Pulsradars

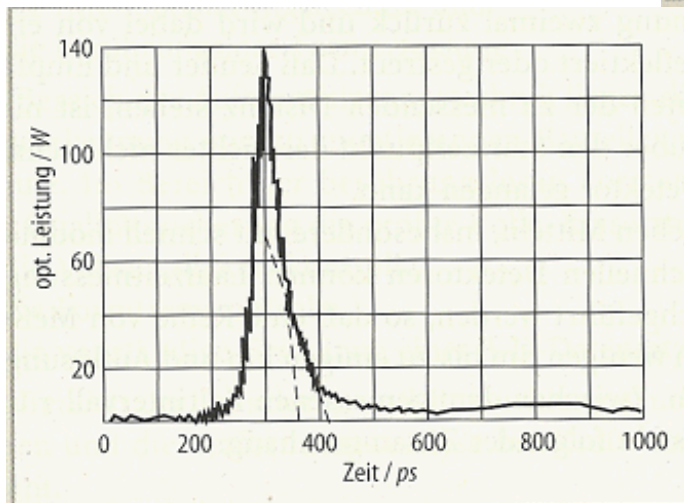
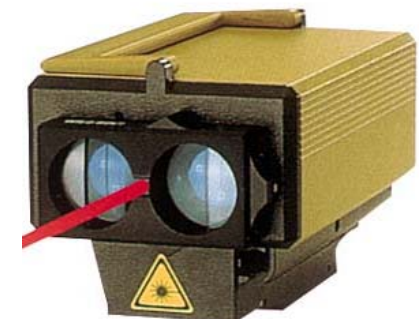
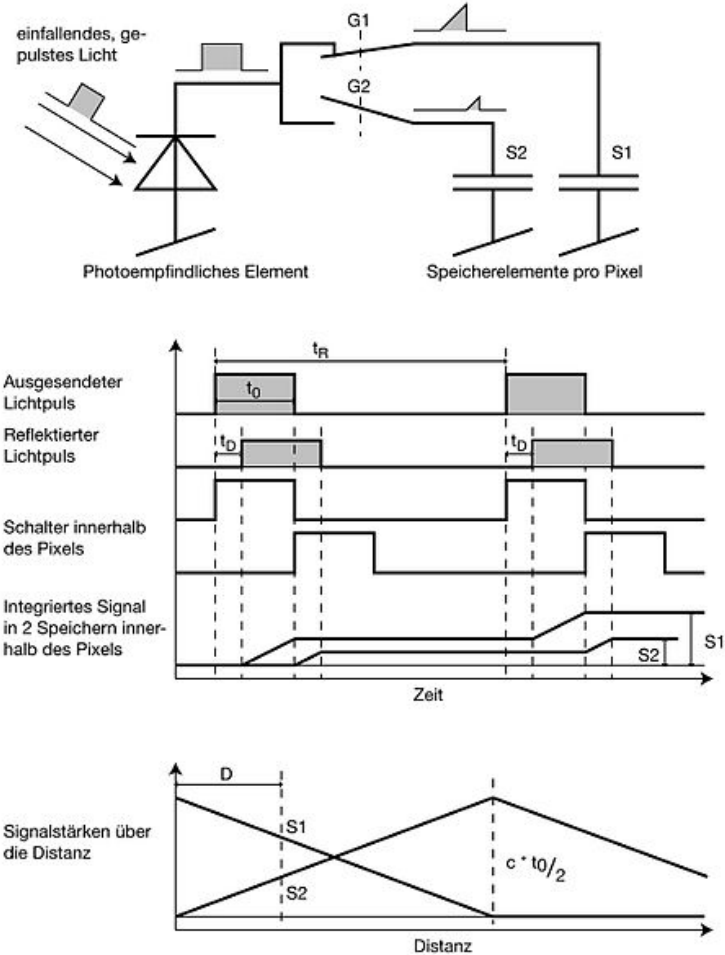


Abb. 10-88 Laserpuls einer Einzelchip-Laserdiode, Pulsbreite ca. 30 ns



TOF Kameras



Jedes Pixel hat einen schnellen Schalter zwischen zwei Kondensatoren

Sehr starke gepulste Beleuchtung

3D Bild TOF Kamera



Laserradar

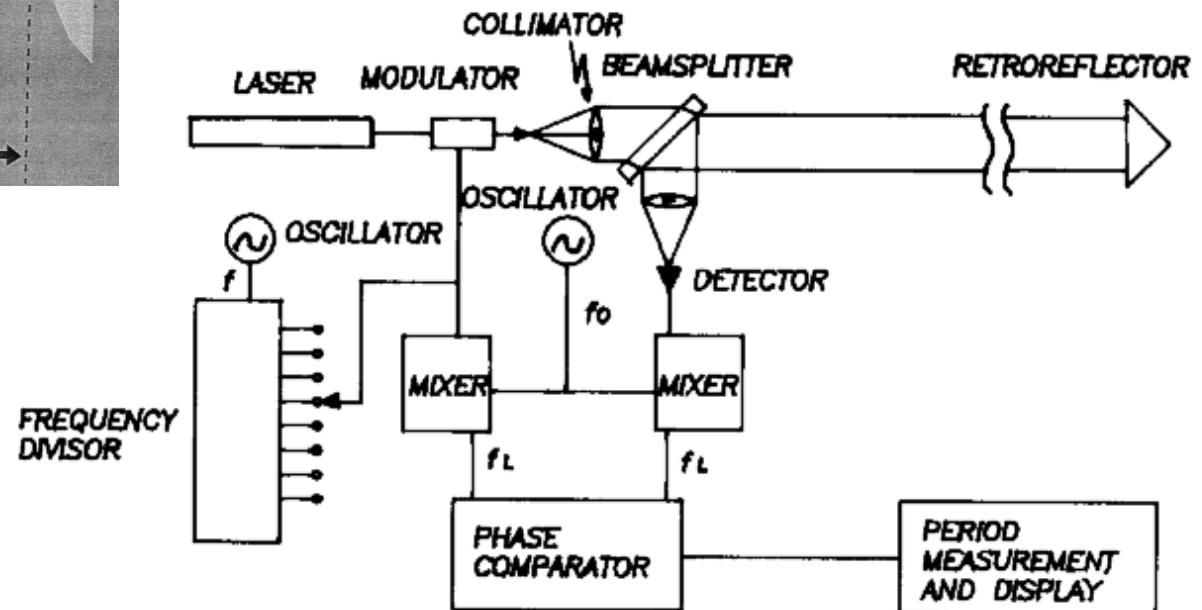
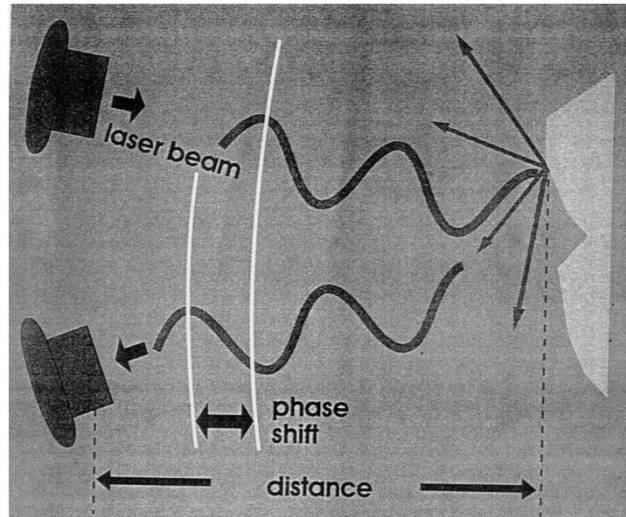


FIGURE 4 A wave modulation distance meter.

Systemüberblick – Phasenmessprinzip

■ Phasenverschiebung

$$\Delta\varphi = 2\pi \left(f \cdot \frac{2D}{c} + n \right)$$

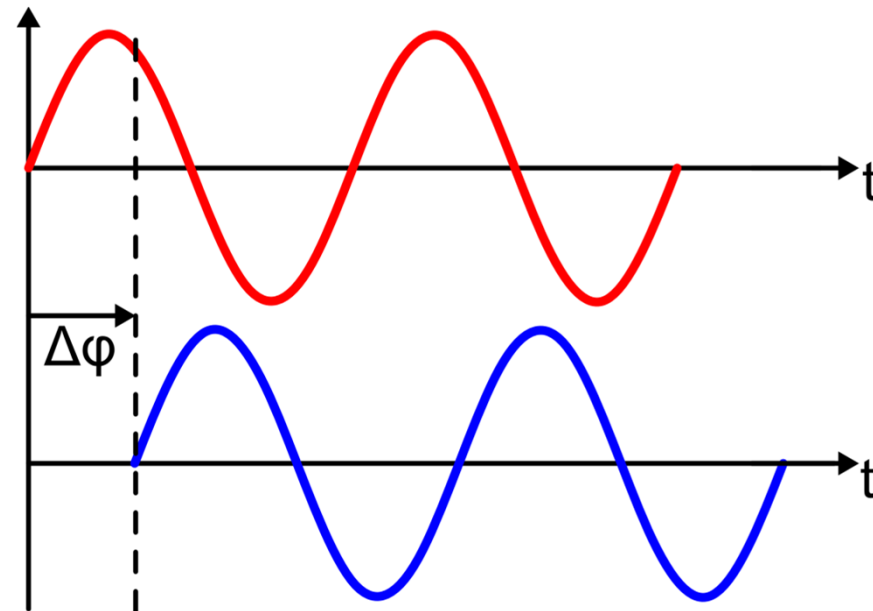
■ Eindeutigkeitsbereich

$$D_{\max} = \frac{c}{2f}$$

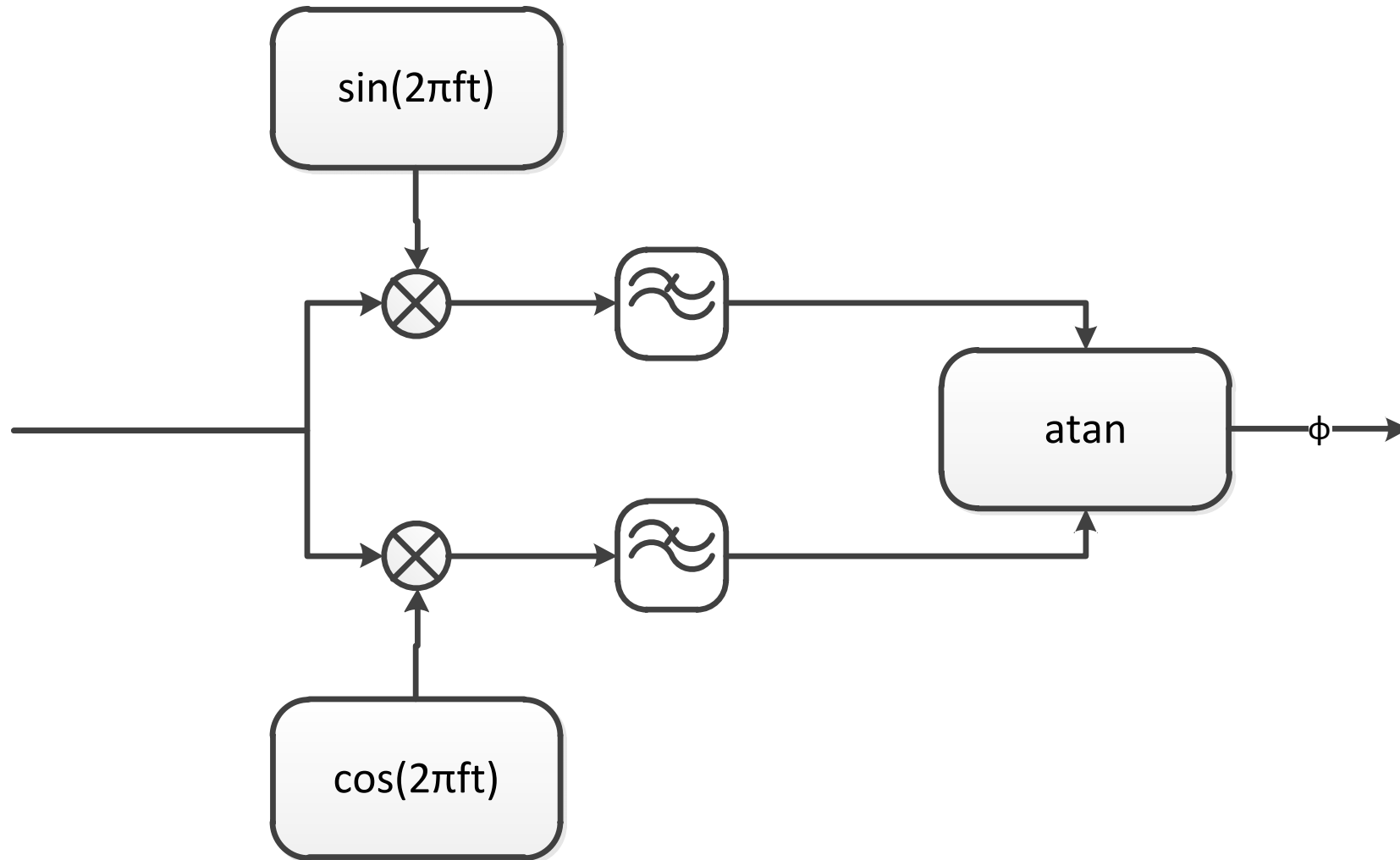
$$f_1 = 5\text{MHz} \rightarrow D_{\max} = 30\text{m}; \quad f_2 = 100\text{MHz} \rightarrow D_{\max} = 1.5\text{m}$$

■ Phasenauflösung

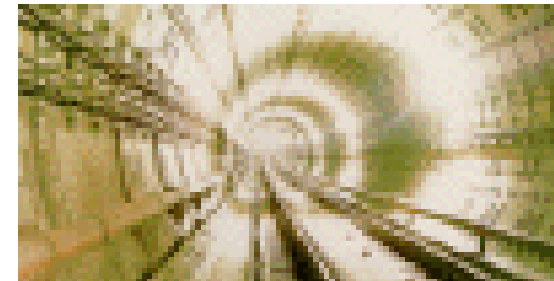
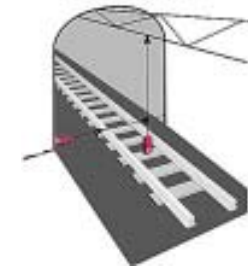
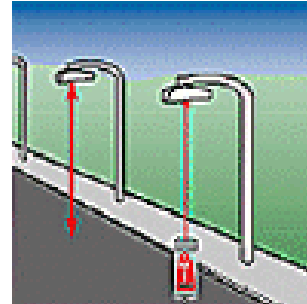
$$d\varphi = 2\pi \cdot \frac{dD}{D_{\max}} = 2\pi \cdot \frac{2\text{cm}}{30\text{m}} = 2\pi \cdot \frac{1\text{mm}}{1.5\text{m}} \cong 4\text{mrad}$$



Messprinzip – IQ-Demodulator

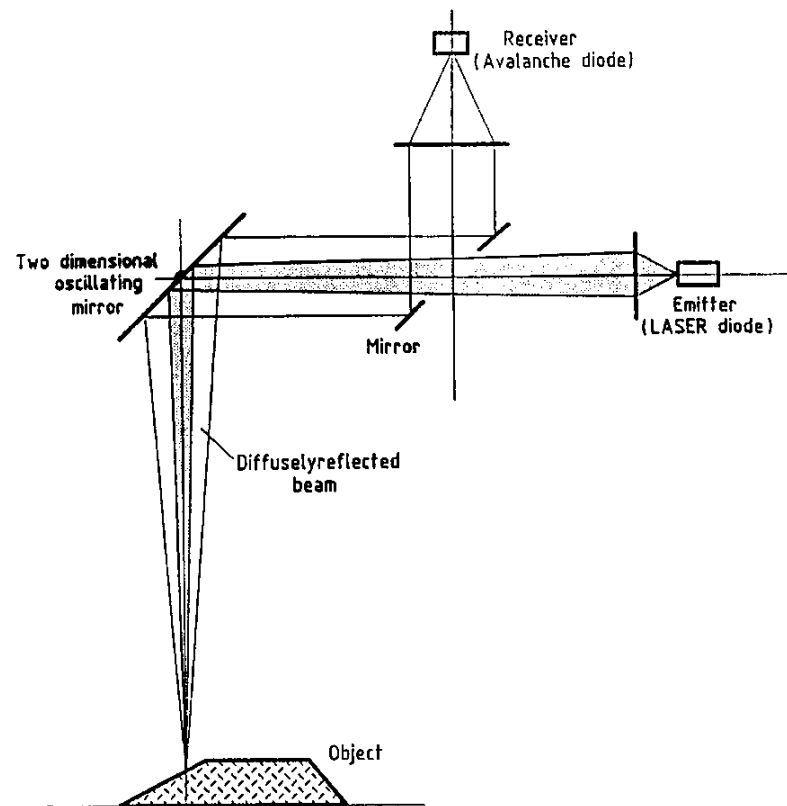


Laserradar

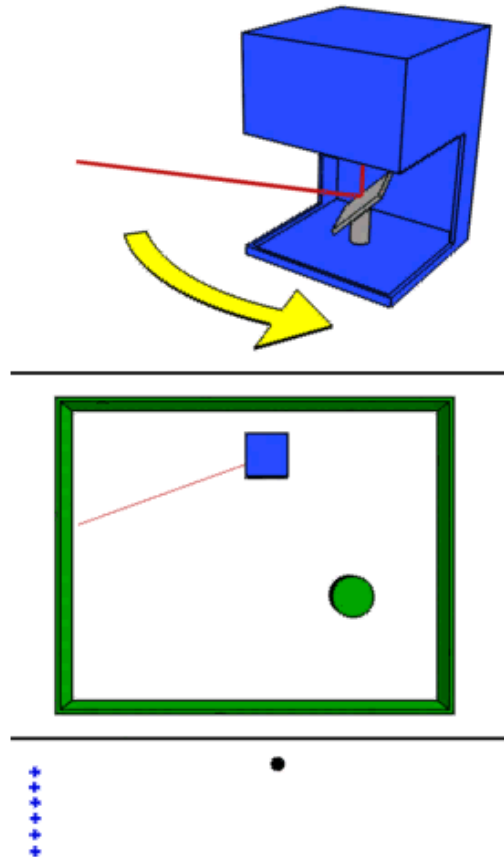


Automatische Deformationsmessungen in einem Tunnel

Laserradar mit Feld für 3D Messung



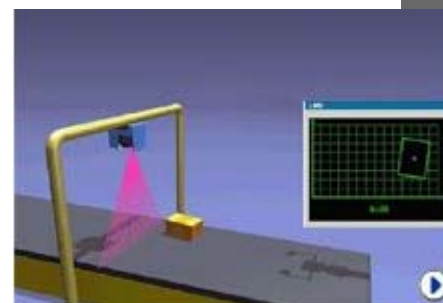
Laserradar mit Drehspiegel



Faro 3D Scanner mit ITIV Signalverarbeitung



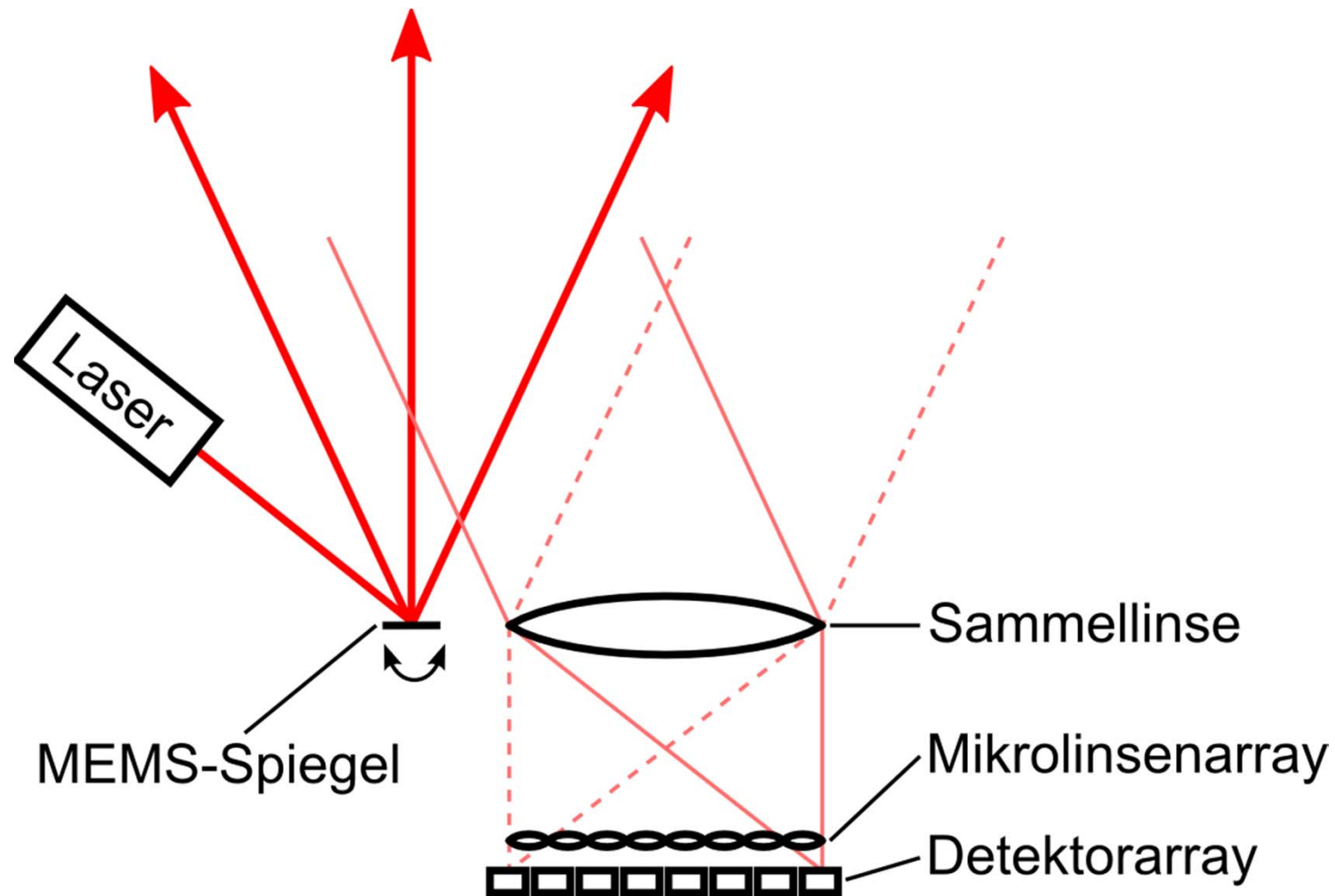
Sick Laser Scanner



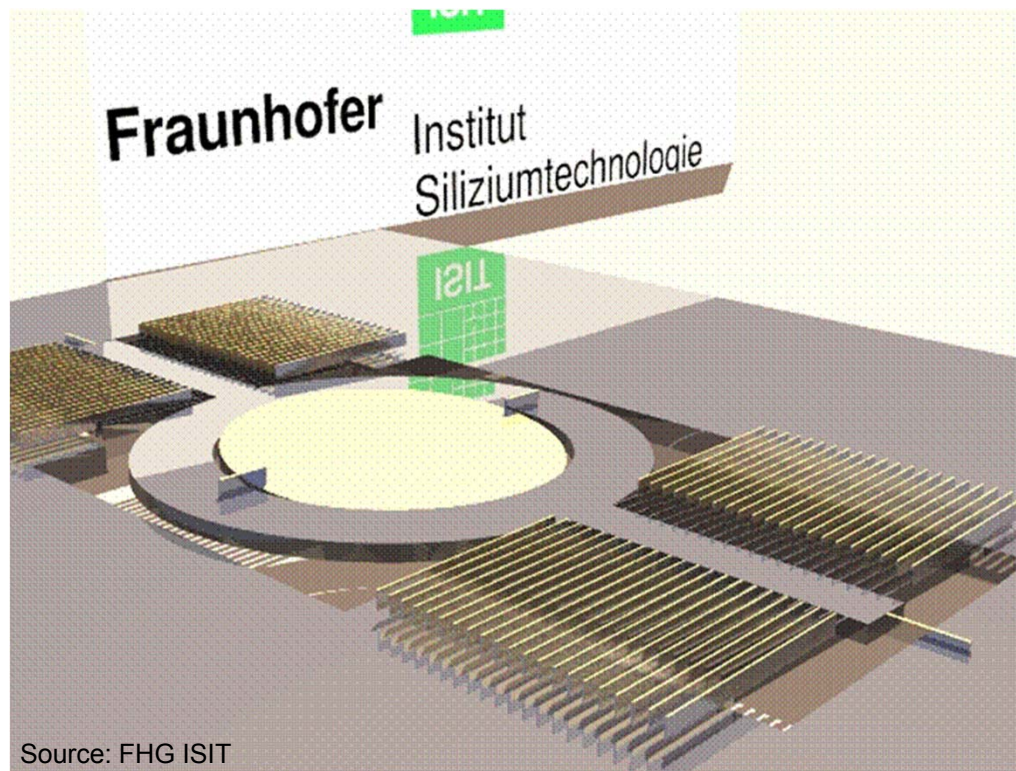
Fahrerlose Transportsysteme



Systemüberblick – Optischer Aufbau Sari



Stand der Technik – Scannende MEMS Mikrospiegel

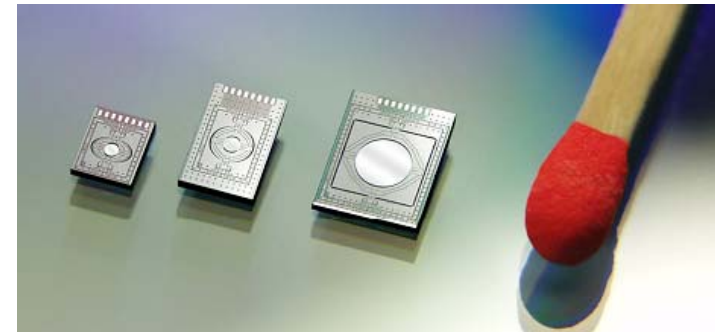
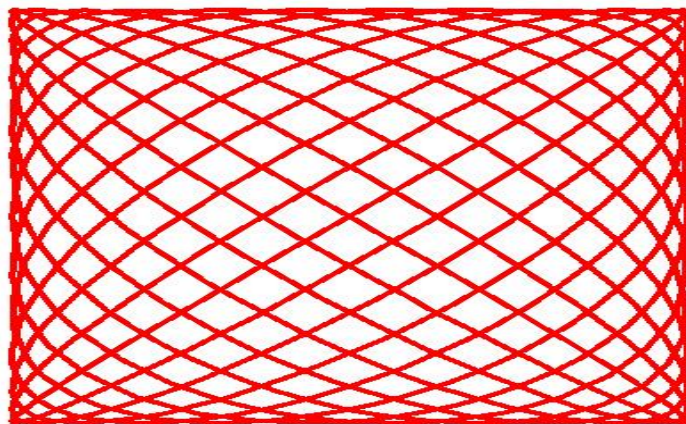


- 2-Achsen Scan
- $f_{\text{res}} \approx 20 \text{ kHz}$
- Spiegelgröße: $\varnothing \approx 1 \text{ mm}$
- Hohe Stoßfestigkeit ($> 2000g$)
- Electro-statisches Antriebsprinzip

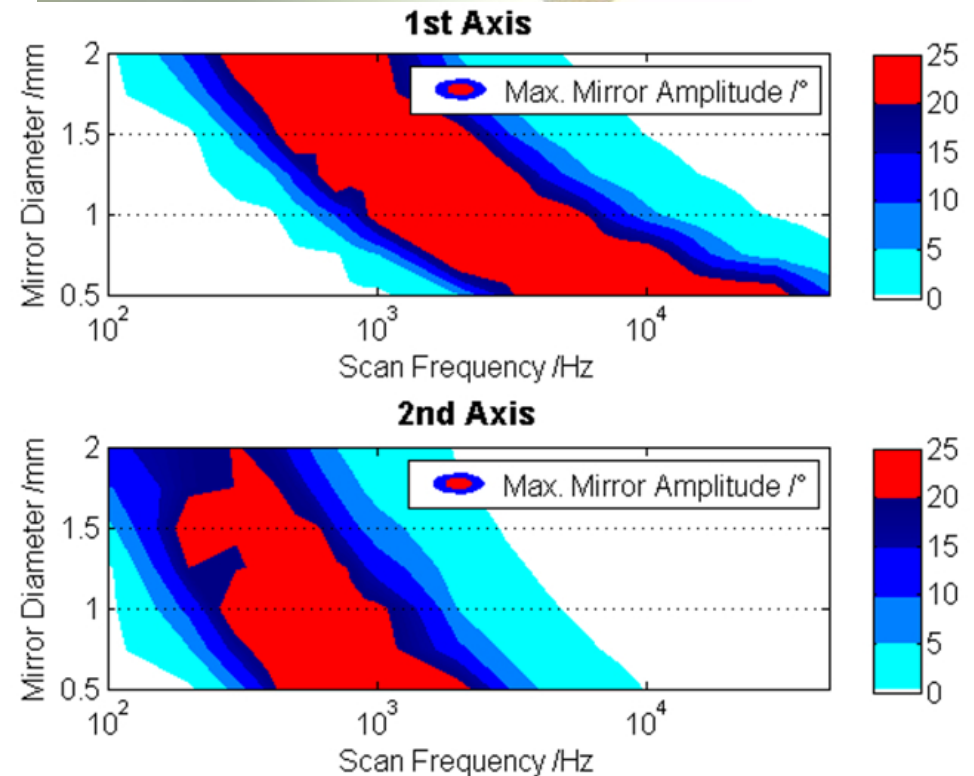
Stand der Technik – Elektrostatische Mikrospiegel

Parameter	Wertbereich
Spannung	0...100V
Resonanzfrequenz	0.1...40kHz
Max. Auslenkwinkel	+/-60°
Durchmesser	0.5...3mm

- Resonanzfrequenzen voneinander abhängig

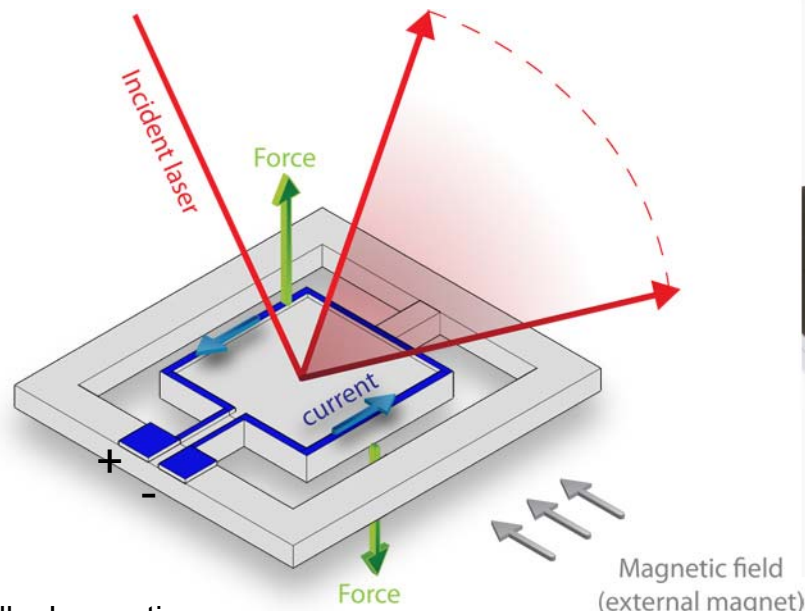
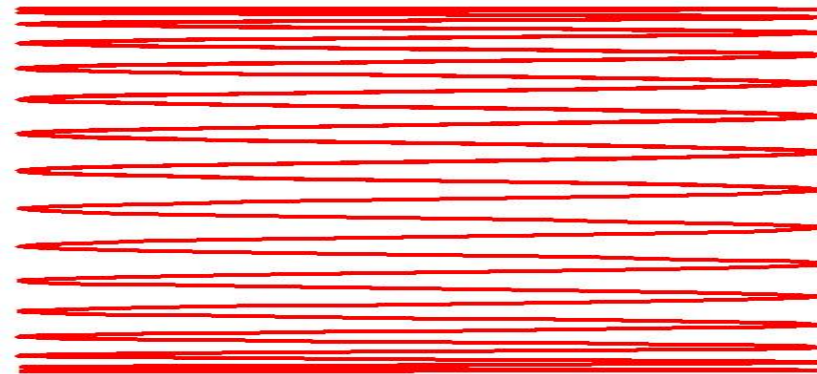


Quelle:
Fraunhofer
IPMS

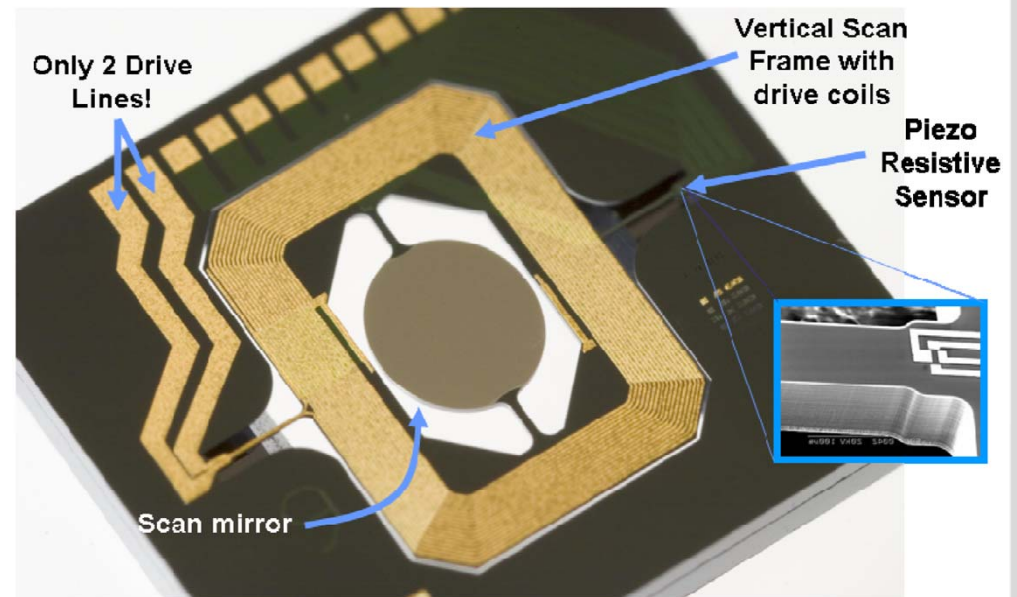


Stand der Technik – Elektrodynamische Mikrospiegel

Parameter	Wertbereich
Spannung	0...5V
Resonanzfrequenz	1...25kHz
Max. Auslenkwinkel	+/-17.5°
Durchmesser (typ.)	1mm



Quelle: Lemoptix

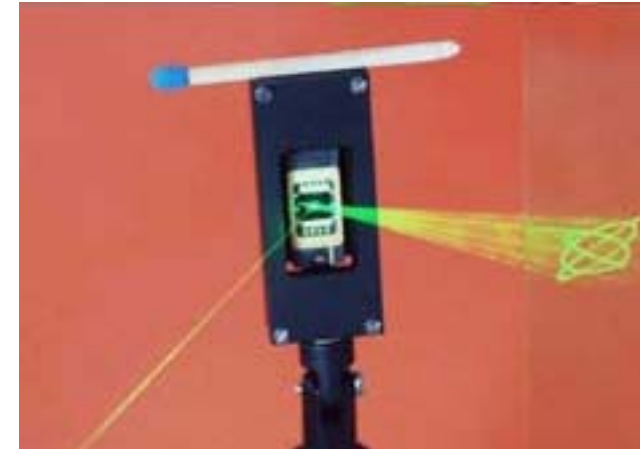


Quelle: Microvision

Stand der Technik – Mikrospiegel im Vergleich



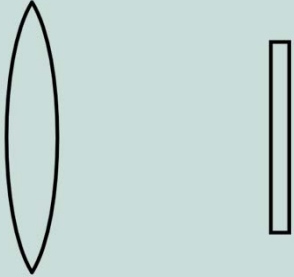


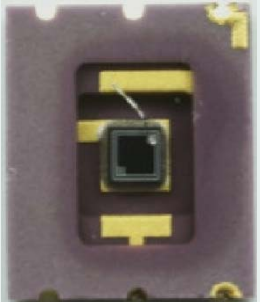
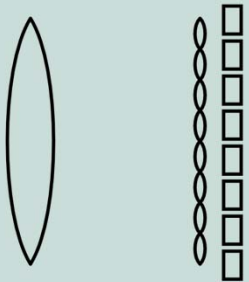
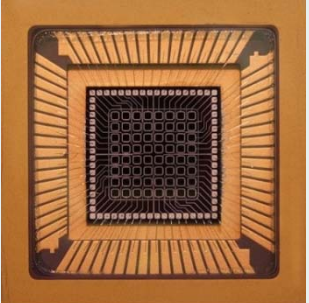
Source: Microvision, Inc.



Source: FHG IPMS

	Elektro-dynamisch		Elektro-statisch	
Anregung	Elektro-magnetisch		Elektro-statisch	
2-Achsen-Scan	Ja (noch nicht erhältlich)	-	Ja	+
Scanwinkel	+/- 17.5°	-	+/- 60°	+
Anz. Hersteller	2 (Vertrieb nur 1)	-	> 5	+
Spannung	0...5V	+	0...100V	-
Scantrajektorie	Zeilenscan	+	Lissajous-Figur	-

Mögliche Detektor-Konzepte

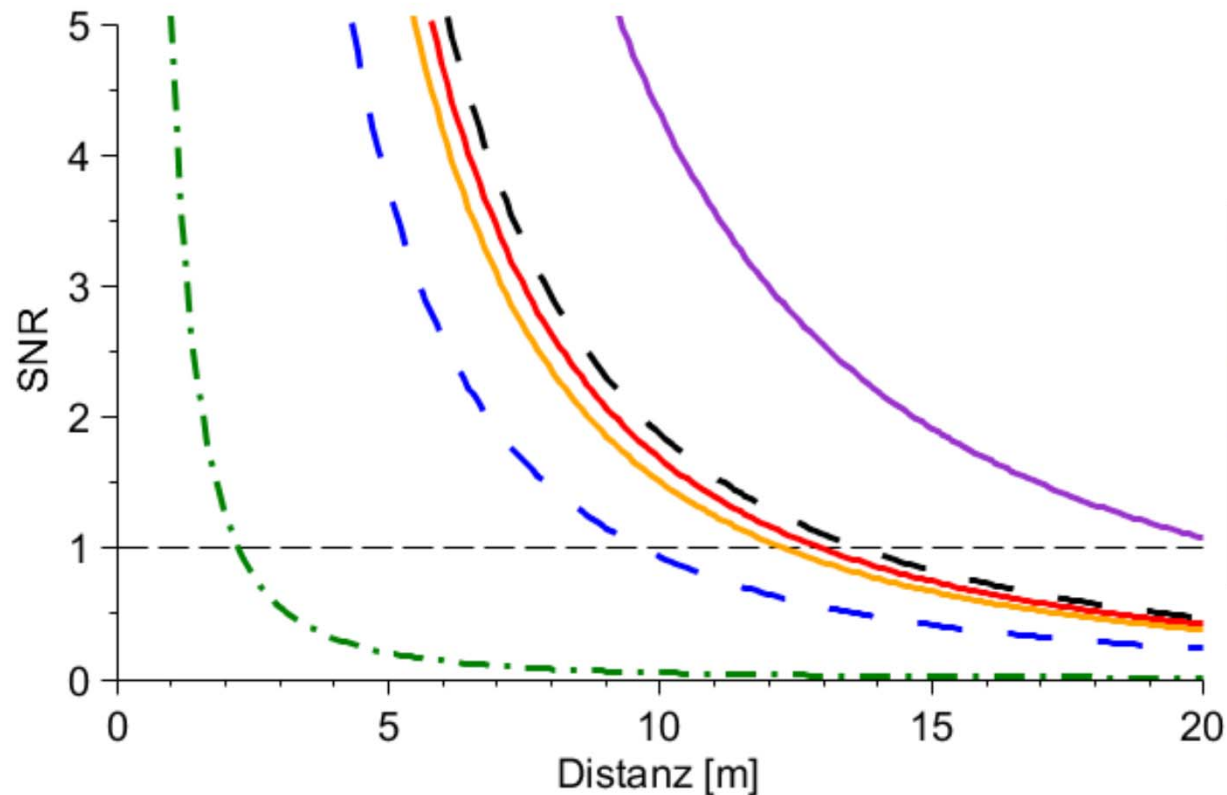
Detektorkonzept	Aufbau	Verwendeter Detektor
1. Einzeldetektor		<ul style="list-style-type: none"> • Avalanche Photodiode <ul style="list-style-type: none"> • Akt. Fl.: $\varnothing = 3\text{mm}$ • $f_{\text{Cutoff}} = 80\text{ MHz}$ • $\text{NEP} \approx 0.4\text{pW/Hz}^{1/2}$ 
2. Insektenauge		<ul style="list-style-type: none"> • Array aus PIN-PD <ul style="list-style-type: none"> • Akt. Fl.: $1 \times 1\text{mm}$ • $f_{\text{Cutoff}} = 350\text{ MHz}$ • $\text{NEP} \approx 0.35\mu\text{W/Hz}^{1/2}$ 
3. Hybrid		<ul style="list-style-type: none"> • APD-Array (8x8) <ul style="list-style-type: none"> • Akt. Fl.: $200 \times 200\mu\text{m}$ • $f_{\text{Cutoff}} = 175\text{ MHz}$ • $\text{NEP} \approx 0.3\text{pW/Hz}^{1/2}$ 

SNR-Abschätzung – Detektorrauschen

Parameter	Wert
Laserleistung P_S	300mW
Reflexionsgrad ρ_{Fl}	10%
Anzahl Detektoren (Hybrid)	9x9

$$P_R = \frac{\rho_{Fl} d_L^2}{4D^2} \cdot P_S$$

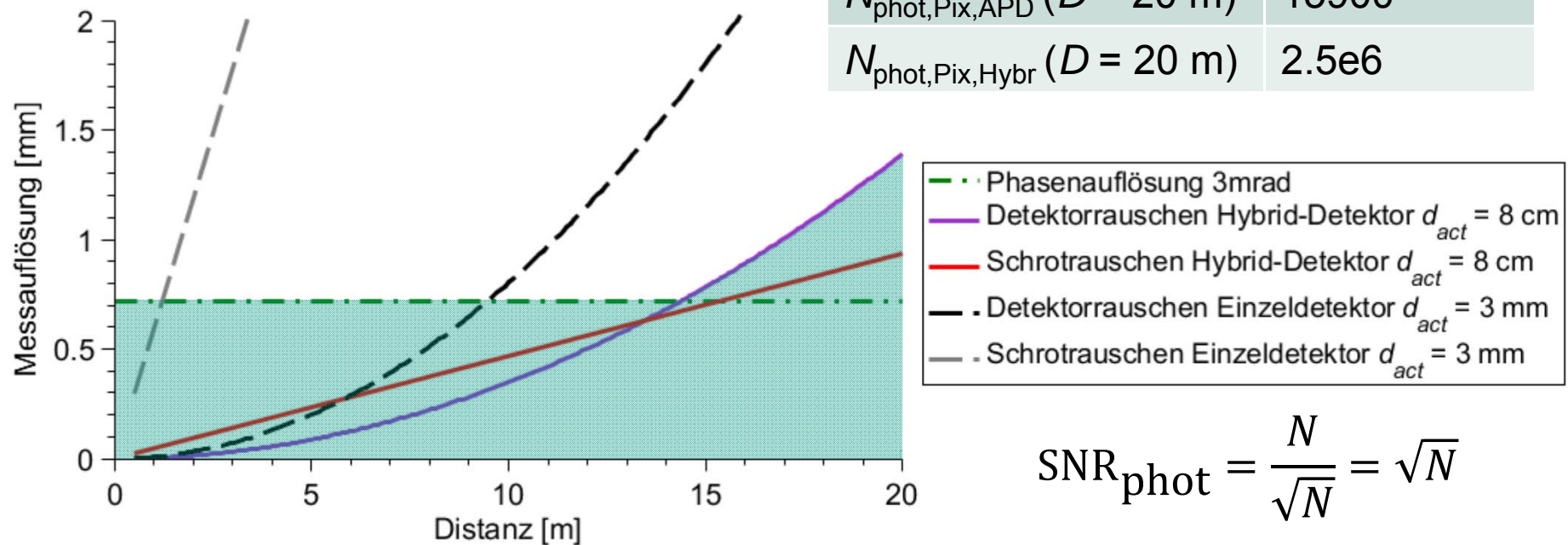
$$\text{SNR}_{\text{det}} = \frac{P_R}{NEP}$$



Erreichbare Messauflösung – Schrotrauschen

- Einzeldetektor durch Schrotrauschen begrenzt
- Hybrid-Detektor durch Detektorrauschen begrenzt

Parameter	Wert
Auflösung (Pixel)	100x100
f_{fast}	1 kHz
f_{slow}	30 Hz
T_{Pix}	1.5 μ s
$N_{phot,Pix,APD} (D = 20 \text{ m})$	15900
$N_{phot,Pix,Hybr} (D = 20 \text{ m})$	2.5e6



$$SNR_{phot} = \frac{N}{\sqrt{N}} = \sqrt{N}$$