

Corporate Technology

Workshop “Drahtlose Sensornetze (WSN)”

Sensorik für WSN:

Optische Verfahren

- Was sind optische Verfahren/optische Sensoren?
- Optoelektronische Elemente
- Beispielhafte Messprinzipien & Anwendungsfelder
- Besonderheiten bzgl. WSN
- Beispiele optischer Sensoren mit drahtloser Übertragung
- Zusammenfassung

Dr. Claudio Laloni

Siemens AG, Corporate Research & Technology

Electronics, Energy & Environment

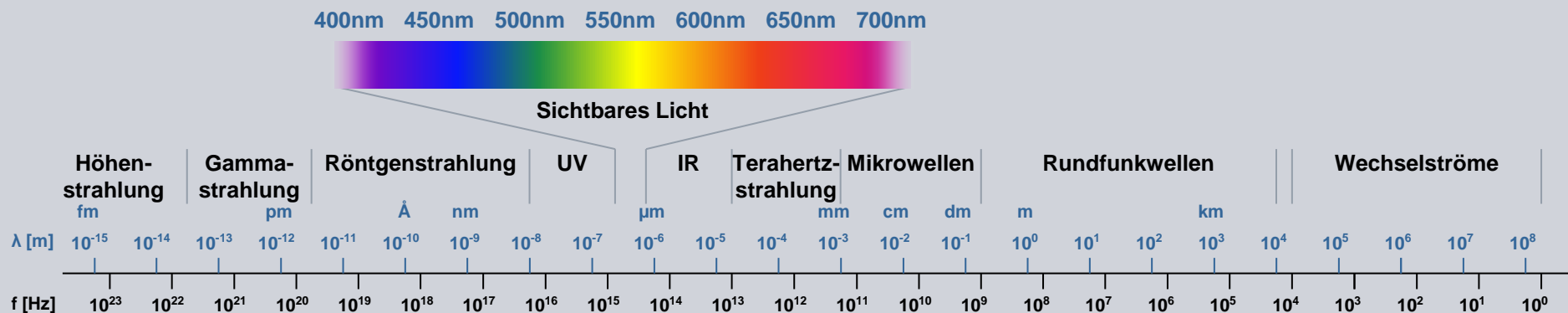
Global Technology Field Nondestructive Evaluation (CT T EEE – GTF NDE)

© Siemens AG 2009. All rights reserved.

Optoelektronische Sensoren

Definition: optische (optoelektronische; opto-elektrische) Sensoren

- Elemente, die optische Strahlung in elektrisch auswertbare Signale umwandeln (quantenmechanische Effekte von Licht, innerer/äußerer Fotoeffekt)
- Applikationen/Vorrichtungen die ein solches Bauteil integriert haben.
- optische Strahlung = sichtbares Licht sowie unsichtbares Infrarotlicht (IR) und ultraviolette Strahlung (UV)



Optoelektronische/Optoelektrische Sensoren

Erfasste Parameter des Strahlung:

- Lichtstärke (Helligkeit) – räumlich & spektral gemittelte Strahlung
- Energie, Wellenlänge (Farbe)
- Geometrische Intensitätsverteilung (örtliche Auflösung)
- Zeitlicher Intensitätsverlauf (Phasenlage, zeitliche Auflösung)
- Spektrale Zusammensetzung

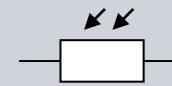
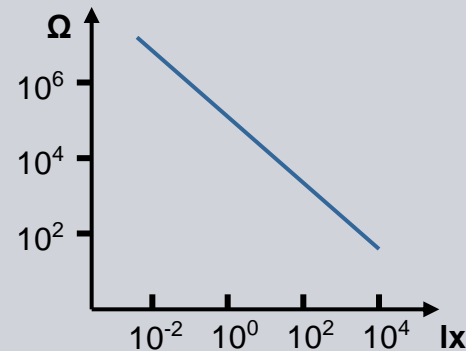
Vor-/Nachteile optischer Verfahren

- + Berührungslos (Rückwirkungsfrei)
- + Verschleißfrei und Wartungsarm
- + Schnell
- Optische Bedingungen müssen erfüllt sein
- Verschmutzungsgefahr (insbesondere der Optik)
- Temperaturbeständigkeit (Elektronik, Halbleiter)

Optoelektronische Sensorelemente (I)

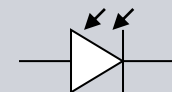
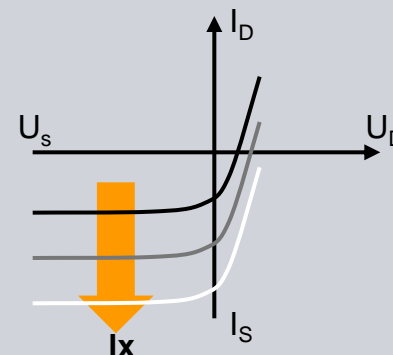
Fotowiderstand (Light Dependent Resistor)

- Halbleiter mit lichtabhängigem Widerstand
- Hohe Empfindlichkeit, weiter Messbereich
- Schmales Spektrum (Materialabhängig)
- Temperaturabhängig
- Großflächige Ausführungen möglich
- Langsame Reaktion (mehrere ms)



Fotodiode

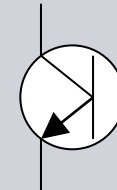
- In Sperrrichtung betriebene Diode
- Lichtzugängiger pn Übergang
- Schnelle Reaktion (ns - μ s)



Optoelektronische Sensorelemente (II)

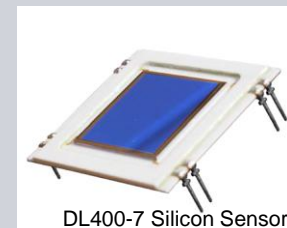
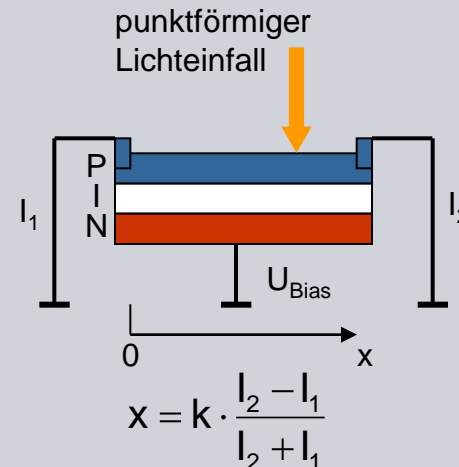
Fototransistor

- Arbeitsweise wie bipolarer Transistor
- Lichtzugang für Kollektor-Basis Strecke (Fotodiode)
- Steuerung der Basis über einfallendes Licht
- Höhere Empfindlichkeit als Fotodiode
- Träger als Fotodiode



PSD (Position Sensitive Device)

- PIN Diode
- Hohe Empfindlichkeit
- Schnelle Reaktion
- Temperaturstabil
- 1D/2D Ausführungen
- Optischer Positionssensor (analoges Positionssignal)



Optoelektronische Sensorelemente (III)

CCD Bildsensoren

- Pixel = Photodiode mit Kapazität zur Ladungsspeicherung
- Ladung proportional zu Lichtintensität und Belichtungszeit
- Hohe Lichtempfindlichkeit
- Auslesen der Ladungen nach ‚Eimerkettenprinzip‘

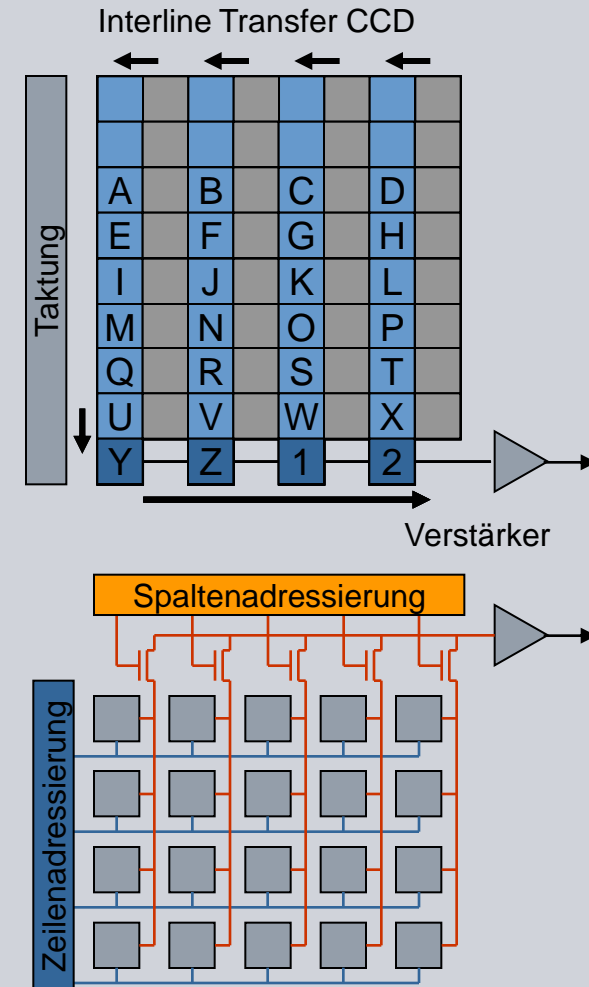


CMOS Bildsensoren (Active Pixel Sensor)

- Pixel besteht aus Photodiode und mehreren Transistoren
- Umwandlung der Ladung in Spannung erfolgt im Pixel
- Direkte Adressierung der Pixel
- kleinerer Füllfaktor → geringere Empfindlichkeit
- Hohe Bildraten möglich
- Geringerer Energiebedarf (ca. 10% von CCD)
- Sensor & Auswertelogik auf einem Chip (System on a Chip)

CCD/CMOS Bildsensoren

- Linear (Zeile) oder arrayförmig (Matrix) angeordnete Pixel
- Hohe Bildpunktanzahl (Auflösung)
einige 100 Pixel – 100 MPixel (DALSA)
- Farbempfindlichkeit durch Farbfilter vor den Bildpunkten (Bayer Filter)

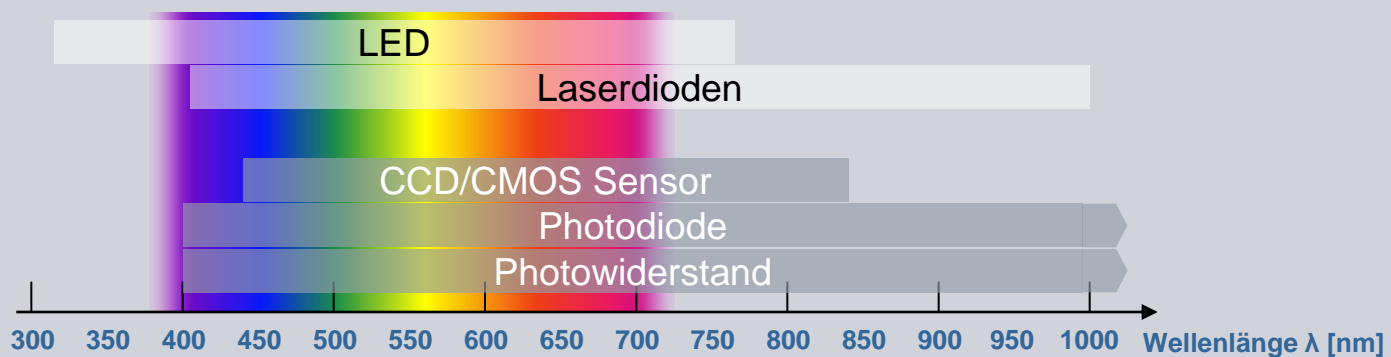


Passiv

- Detektion einfallender Strahlung (nur Empfänger)
- Intensitätsmessungen, Spektrale Messungen
- CCD/CMOS Zeilen/Arrays → Digitale Bildverarbeitung/Bildauswertung

Aktiv

- Sender – Empfängeranordnung
- Empfänger: optoelektronisches Element
- Sender: aktive Strahlungserzeugung mit Lichtquelle, z.B.
 - kontinuierlich, gepulst, modulierte Amplitude
 - polychrom, monochrom, durchstimmbar (modulierte Frequenz)



→ Vergleich zwischen gesendetem und empfangenem Signal (Licht)

Reflexion

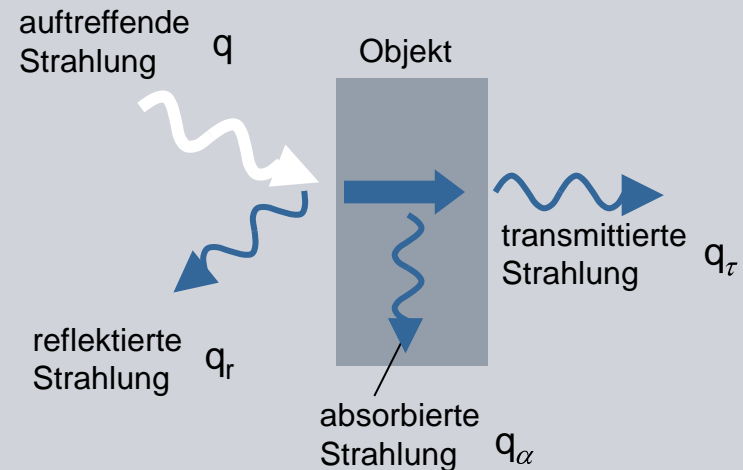
- an Grenzfläche (Brechzahländerung) zurückgeworfener Strahlungsanteil
- gerichtete Reflexion \leftrightarrow diffuse Reflexion
- Totalreflexion \leftrightarrow partielle Reflexion

Absorption

- an Grenzfläche eintretender Strahlungsanteil
- Richtungsänderung (Brechung)
- Geschwindigkeitsänderung

Transmission

- Strahlungsanteil der Objekt komplett durchdringt



$$\rho = \frac{q_r}{q} = \frac{\text{reflektierte Strahlung}}{\text{auftreffende Strahlung}}$$

$$\alpha = \frac{q_\alpha}{q} = \frac{\text{absorbierte Strahlung}}{\text{auftreffende Strahlung}}$$

$$\tau = \frac{q_\tau}{q} = \frac{\text{transmittierte Strahlung}}{\text{auftreffende Strahlung}}$$

$$\rho + \alpha + \tau = 1$$

Messprinzip Lichtschranke/Taster

Lichtschranken

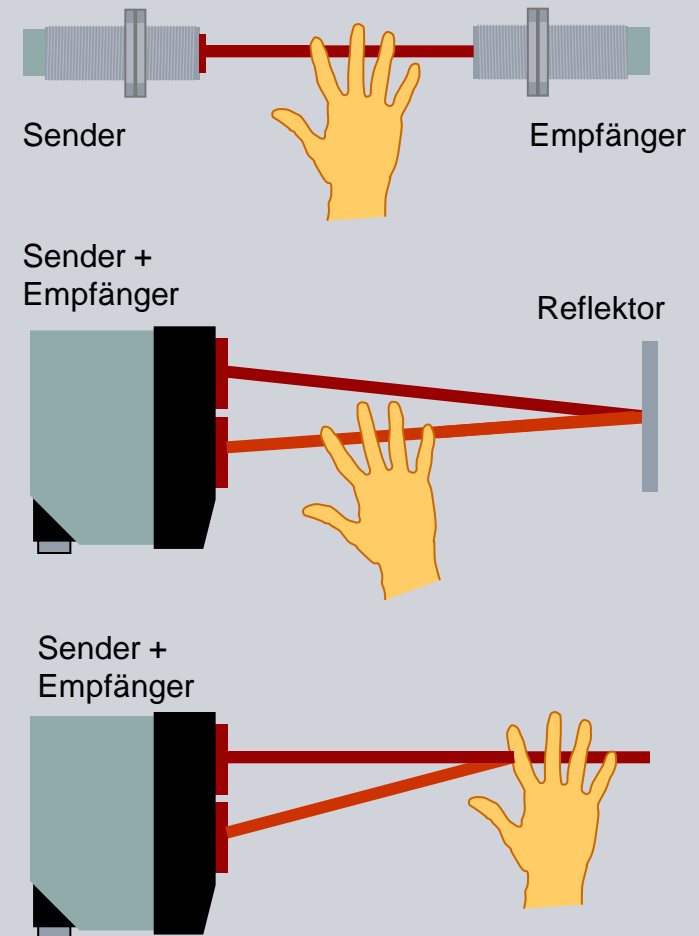
- Sender/Empfänger getrennt
- Sehr robust/große Entfernungen
- (nahezu) Unabhängig von Objekteigenschaften
- i.d.R. Infrarotlicht (Unsichtbarkeit, Robustheit)

Reflexlichtschranken

- Sender/Empfänger in einem Gehäuse (einfache Montage)
- Verwendung von Polarisationsfiltern bei glänzenden Objekten

Reflextaster

- Detektion des vom Objekt reflektierten Lichts
- Abhängig von Objekteigenschaften (Reflexionsgrad, Form, Farbe, ...)

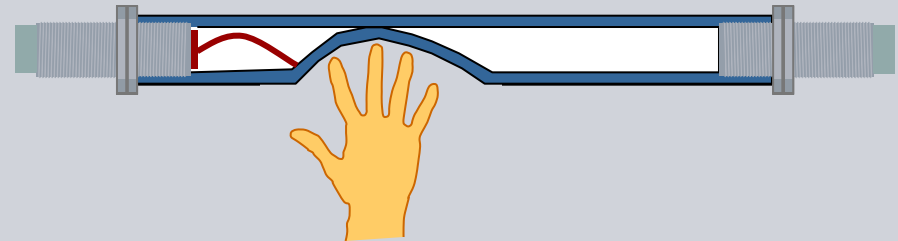


Lichtschanke/Taster

Anwendungen

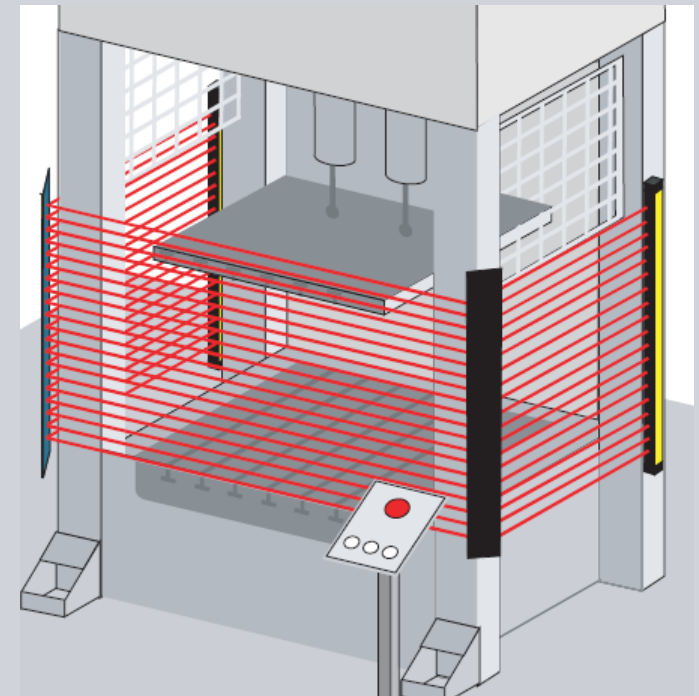
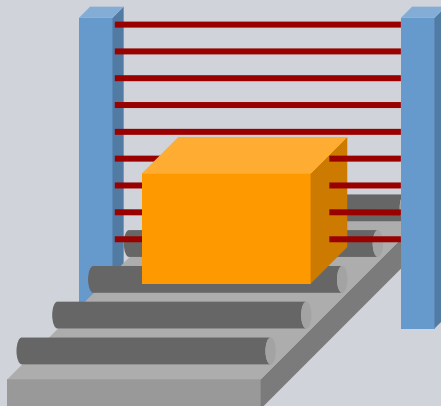
Schaltleisen

- Lichtreflexion innerhalb eines Gummiprofils
- Druck auf das Profil unterbricht Sichtverbindung
- Quetschkantensicherung



Lichtgitter

- Arrayförmige Anordnung von Lichtschranken
- Großflächige Überwachung insbes. bei Kombination mit Umlenkspiegeln
- Einfache Größenbestimmung (z.B. Transportgüter auf Förderband)



Lichtschanke/Taster

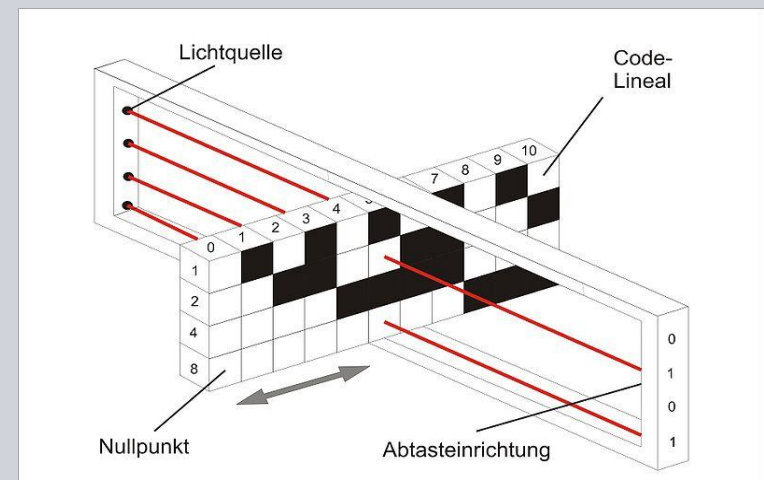
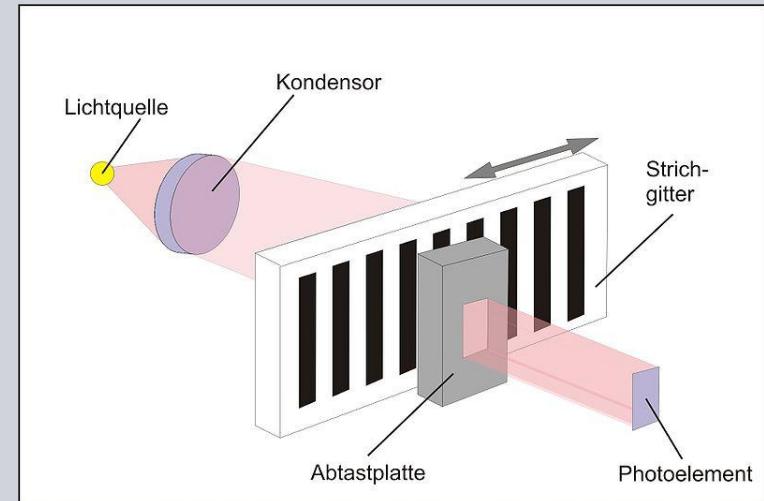
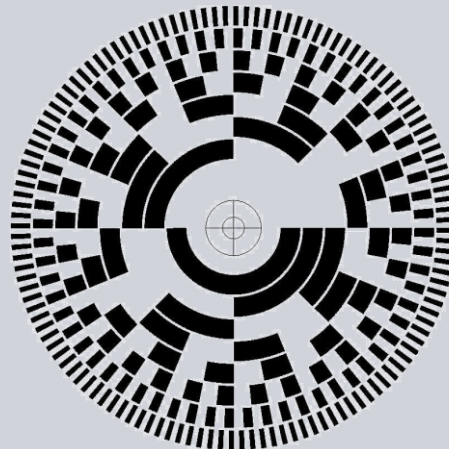
Anwendungen

Inkrementalgeber

- Messung von Lageänderungen, z.B. Wegmessungen/Winkelmessungen
- Durchlichtprinzip/Auflichtprinzip
- Zählung von Impulsen
→ Lageänderung
- Auswertung von Phasenlagen
→ Richtungsinformation
- Kombination mit Zeitmessung
→ Geschwindigkeits-, Frequenz- und Drehzahlmessung

Absolutwertgeber

- Mehrkanalige Anordnung zur Kodierung absoluter Positionen



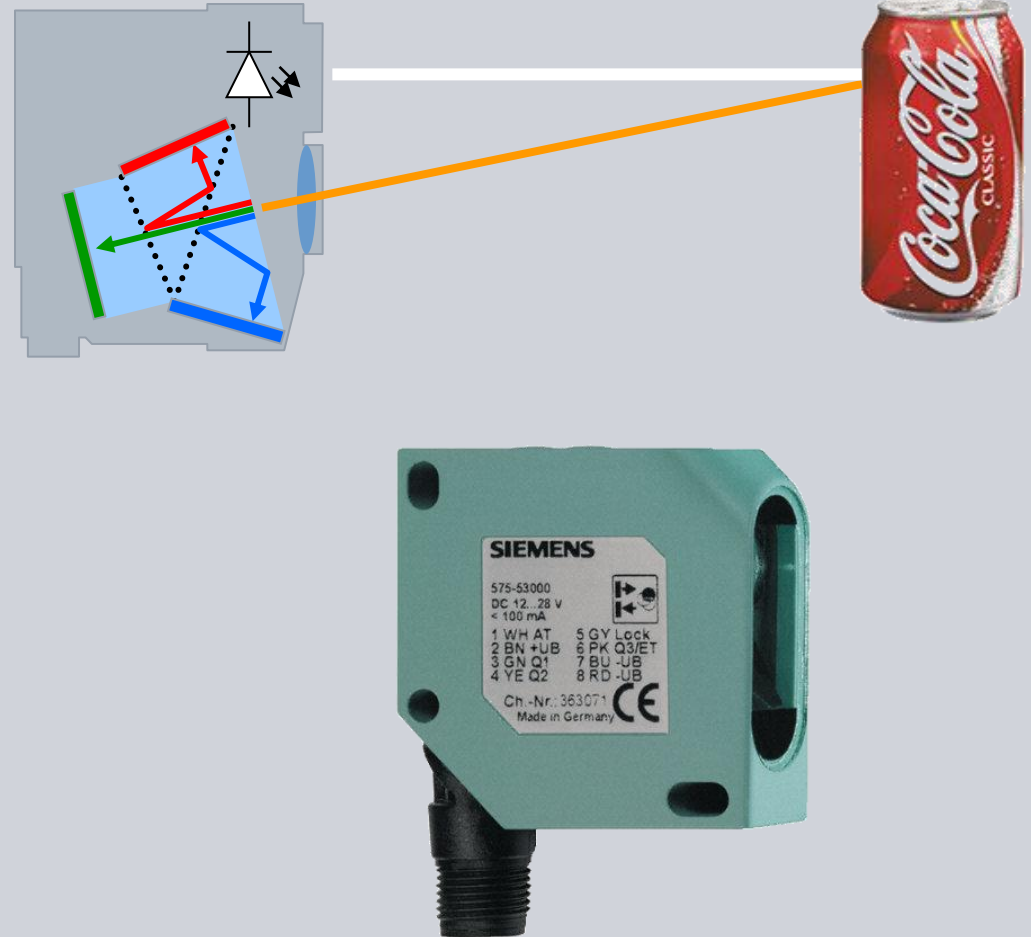
Bildnachweis: commons.wikimedia.org

© Siemens AG 2009. All rights reserved.

Messprinzip Mehrbereichs Intensitätsmessung

Farbmessung

- Beleuchtung des Objektes mit weißem Licht
- Weißlicht LED oder Kombination aus 3 LED's (rot/grün/blau)
- Messung der rot/grün/blau Farbanteile des vom Objekt Reflektierten Lichtes mit 3 Fotodioden
- Typisch: Vergleich mit zuvor gespeicherten Referenzwerten (,Teach In')
- Qualitätskontrolle (Farbqualität), Verpackungen, Lackierungen, Sortiervorgänge farbiger Objekte



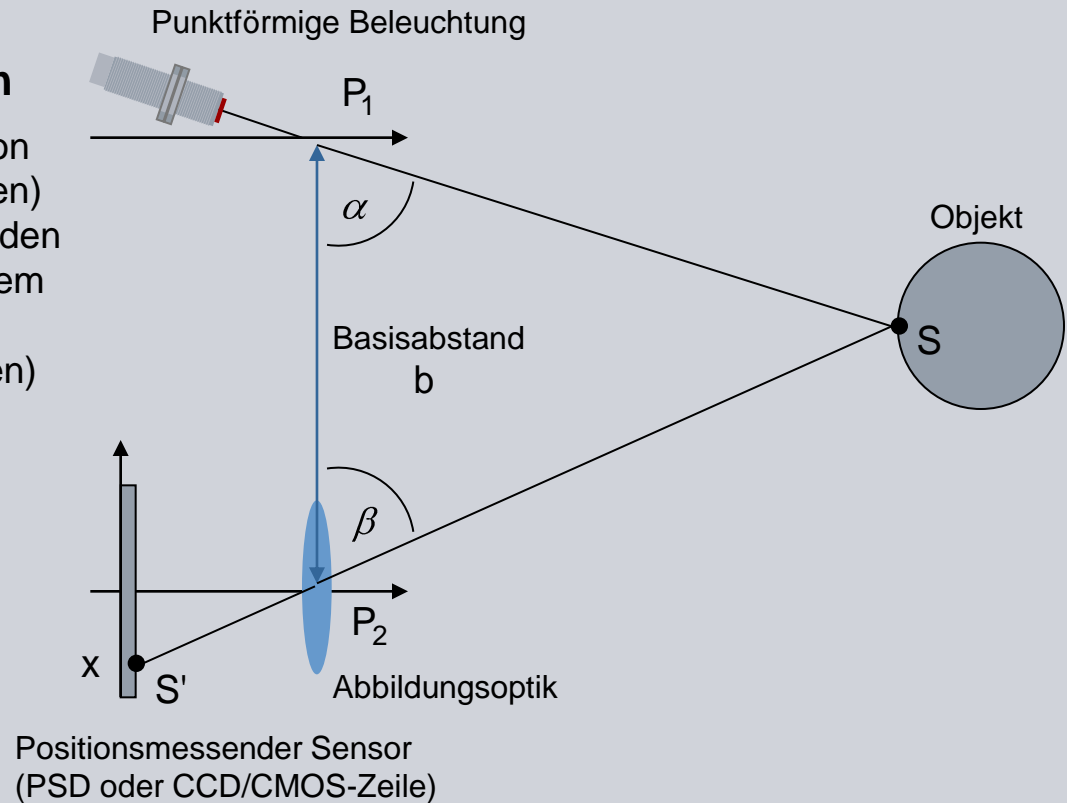
Messprinzip Triangulation

Distanzmessung mit Triangulation

- Beobachtung eines Objektpunktes S von zwei Orten P_1 und P_2 (auf einer Geraden)
- Berechnung des Abstandes von S aus den Beobachtungswinkeln α und β sowie dem Basisabstand b mittel Trigonometrie (Schnittpunkt der Beobachtungsgeraden)

optische Triangulation

- Punktförmige Beleuchtung auf P_1 mit Beleuchtungswinkel α
- Positionsmessender Sensor auf P_2
- Berechnung des Beobachtungswinkels β aus der Position des Abbildes S' von Punkt S

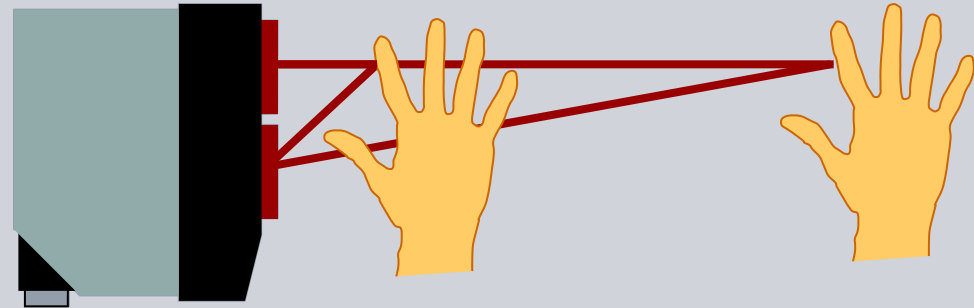


Optische Triangulation

Anwendungen

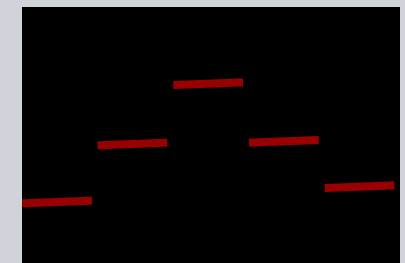
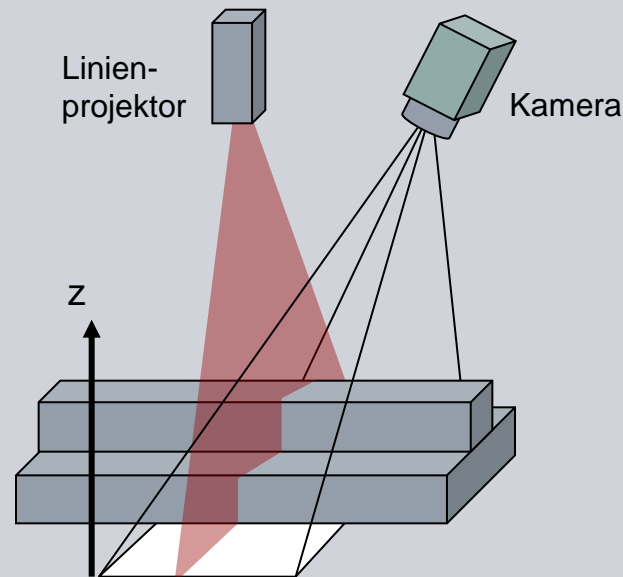
Reflextaster mit Vorder- und/oder Hintergrundausbldung

- Beleuchtung mit punktförmigen Laserstrahl
- Abbildung auf PSD (oder CCD/CMOS Zeile)
- punktförmige Entfernungsmessung



Profilmessung (2D Form)

- Beleuchtung mit projizierter Lichtebe (Linienprojektion)
- Aufnahme mit CCD/CMOS Bildsensor
- Profilberechnung aus Verformung der projizierten Linie
- Bandprozesse (bewegte Objekte)
→ 3D Formerfassung



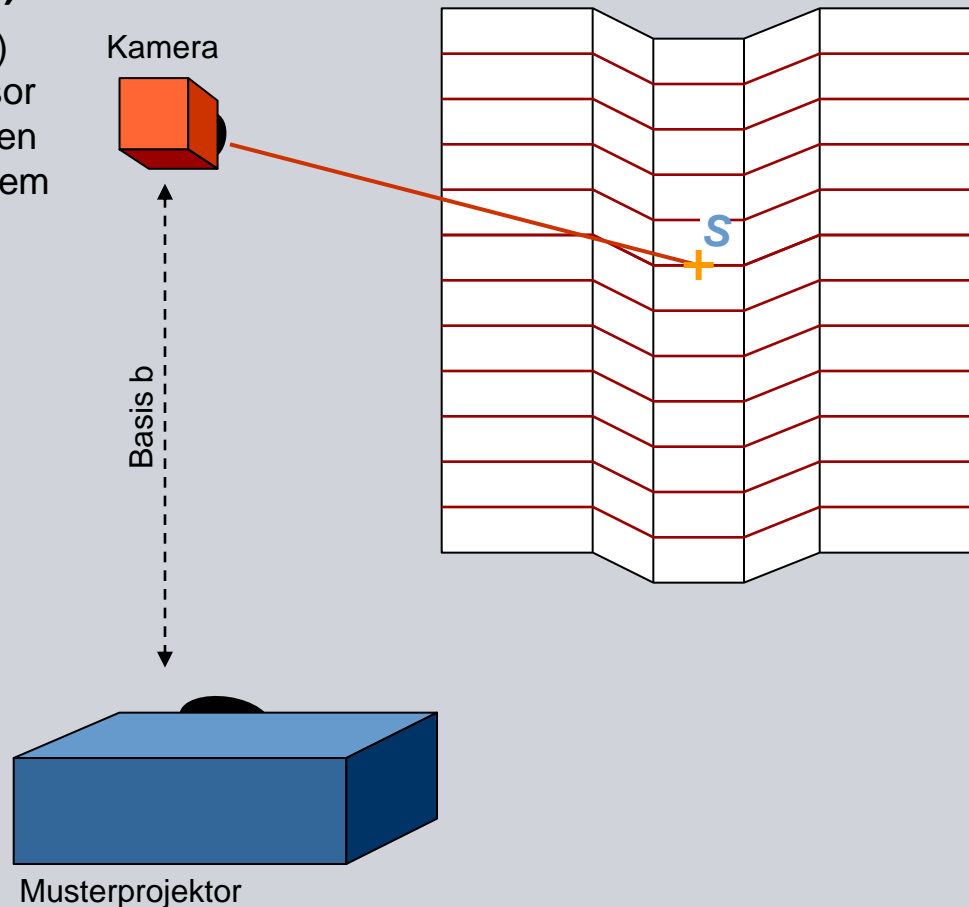
Kamerabild

Optische Triangulation

3D Formerfassung

Oberflächenmessung (3D Form)

- Musterprojektion (Streifenprojektion)
- Aufnahme mit CCD/CMOS Bildsensor
- Auswertung der Streifenverformungen
- Hauptproblem: Korrespondenzproblem
→ Kodierung der Linien erforderlich

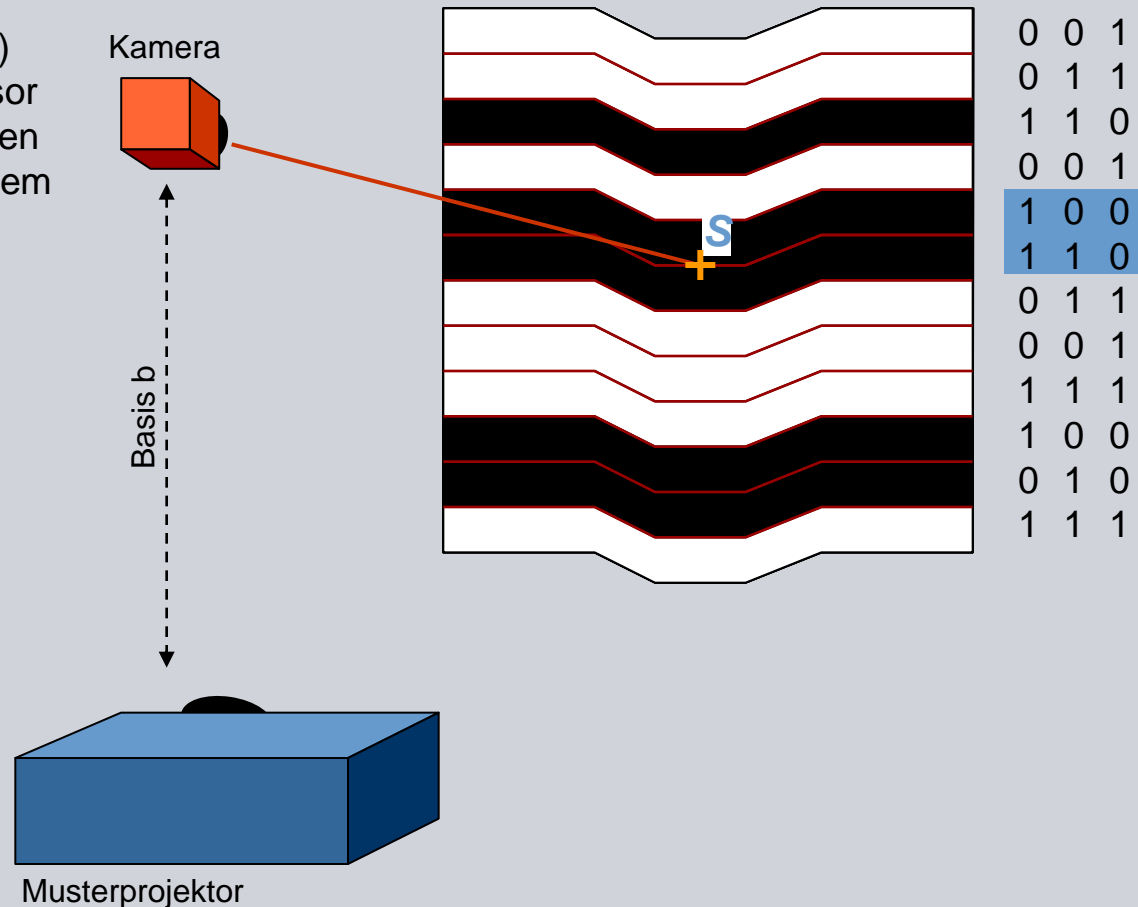


Optische Triangulation

3D Formerfassung

3D Formvermessung

- Musterprojektion (Streifenprojektion)
- Aufnahme mit CCD/CMOS Bildsensor
- Auswertung der Streifenverformungen
- Hauptproblem: Korrespondenzproblem
 - Kodierung der Linien erforderlich
 - zeitliche Kodierung (Grey-Code)

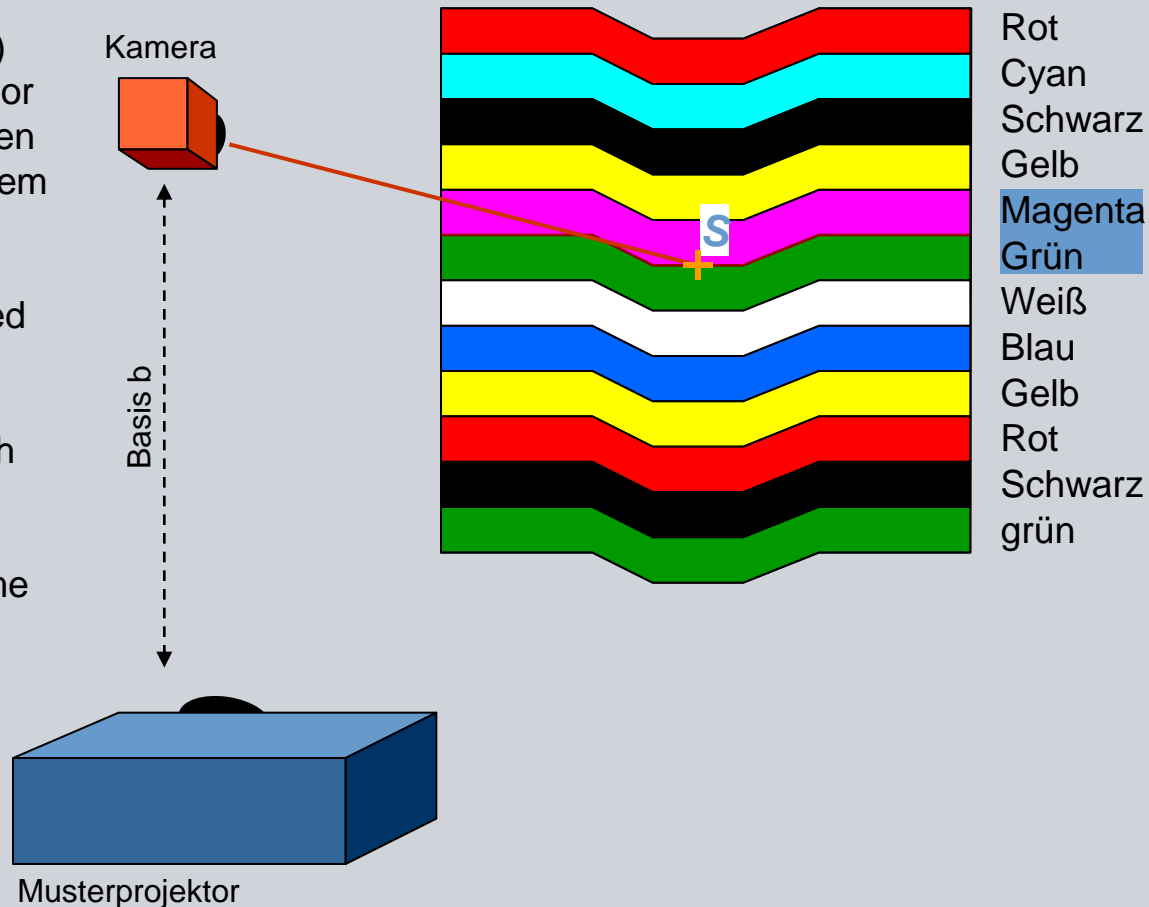


Optische Triangulation

3D Formerfassung

3D Formvermessung

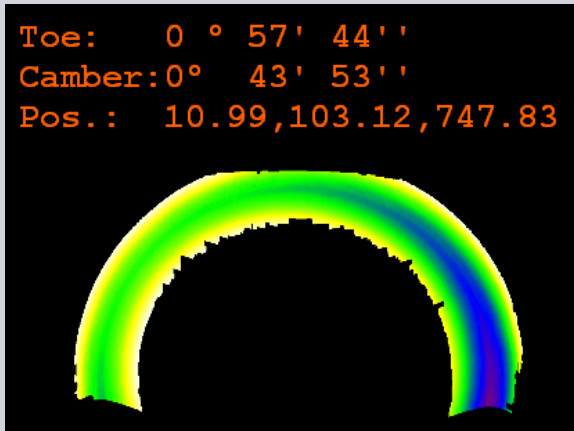
- Musterprojektion (Streifenprojektion)
- Aufnahme mit CCD/CMOS Bildsensor
- Auswertung der Streifenverformungen
- Hauptproblem: Korrespondenzproblem
 - Kodierung der Linien erforderlich
 - zeitliche Kodierung (Grey-Code)
 - räumliche Kodierung (Color Coded Triangulation)
- Genauigkeiten bis in den μm Bereich (Abhängig von Arbeitsraumgröße)
- Arbeitsraum begrenzt durch Musterprojektion (Intensitätsabnahme quadratisch!)
- Passive Methode ‚Stereo-Sehen‘



Optische Triangulation

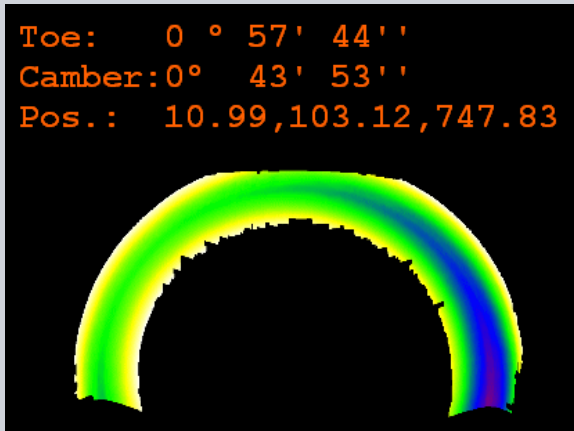
Beispielanwendungen

SIEMENS



Optische Triangulation

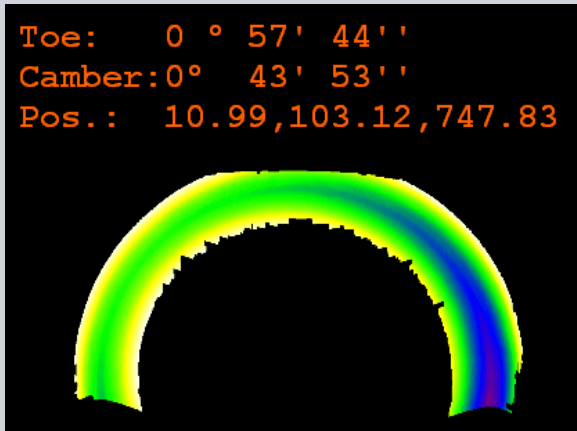
Beispielanwendungen



Optische Triangulation

Beispielanwendungen

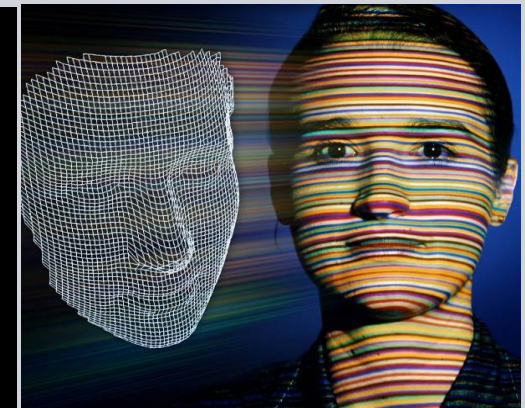
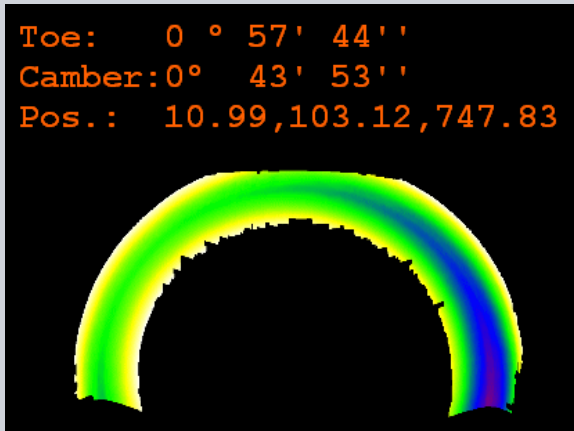
SIEMENS



Optische Triangulation

Beispielanwendungen

SIEMENS

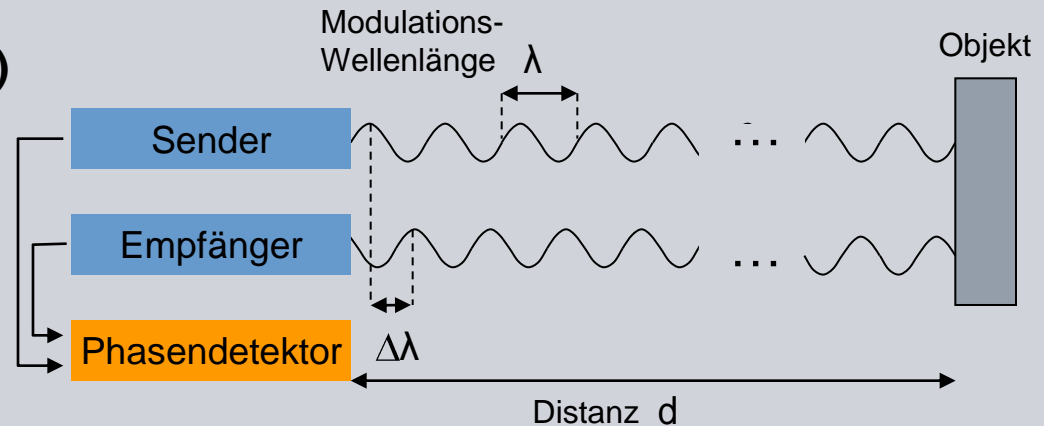


© Siemens AG 2009. All rights reserved.

Messprinzip Lichtlaufzeit

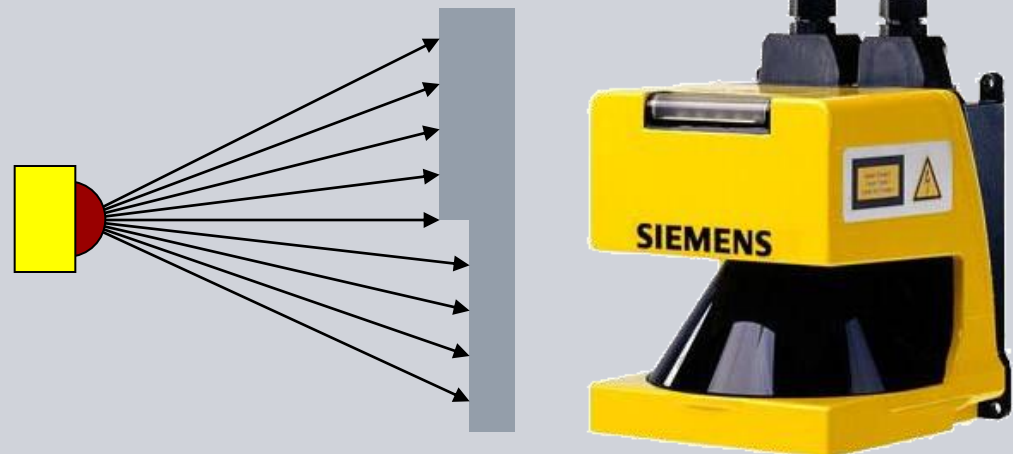
Distanzmessung (Moduliertes Licht)

- Messung der Phasenlage zwischen gesendetem/empfangenem Lasersignal (Phasenverschiebung)
- Entfernungsmessung nur Eindeutig für Entfernungen $d < 0,5 \lambda$
- Absolutmessung durch Verwendung mehrerer verschiedener Modulationswellenlängen



Laserscanner (2D Profilmessung)

- Zeitlich und örtlich sequentielle Messung durch sukzessive punktweise Abtastung (Ablenkspiegel)
- Mechanisch bewegliche Komponenten!



Messprinzip Lichtlaufzeit

3D Formerfassung

- Sensor mit 204 x 204 Bildpunkten
- unsichtbare IR Beleuchtung
- bis zu 25 Bilder/sec
- Arbeitsbereich 0,3 – 7 m
- Kritischer Punkt: Ausleuchtung des Arbeitsraumes/Fremdlicht

Kamera



Beleuchtung



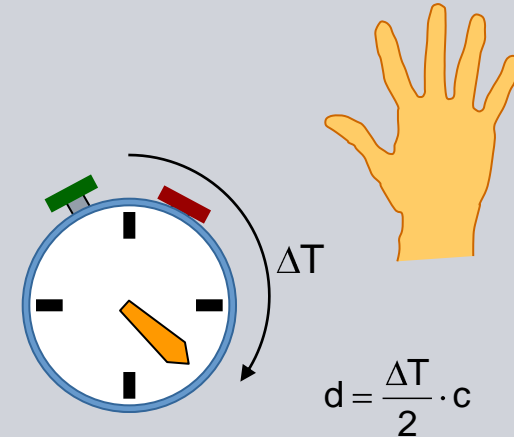
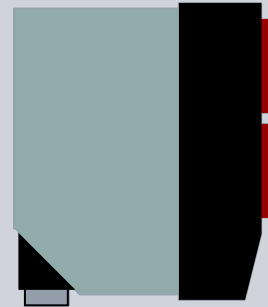
Bildnachweis: PMDTechnologies GmbH

© Siemens AG 2009. All rights reserved.

Messprinzip Lichtlaufzeit

Distanzmessung (Pulsverfahren)

- Messung der Objektentfernung über die Laufzeit des vom Sender ausgesendeten und vom Objekt reflektierten Lichts
- Kritischer Punkt: exakte Zeitmessung
 $1 \text{ cm} \approx 33,3 \text{ ps}$ (pico sekunden)!
 → Multiple Double Short Time Integration (MDSI)
- keine mechanisch beweglichen Komponenten
- Genauigkeit im cm-Bereich
- Messbereich ca. 1m – 50m
- Robust gegen Umgebungslicht
- Kritischer Punkt (auch hier):
 Ausleuchtung des Arbeitsraumes

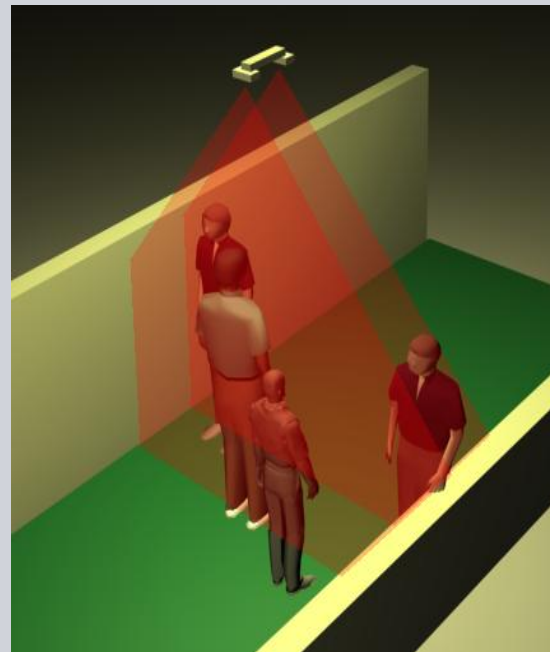
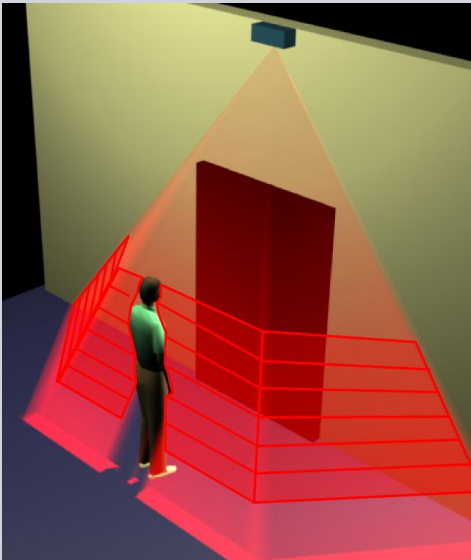
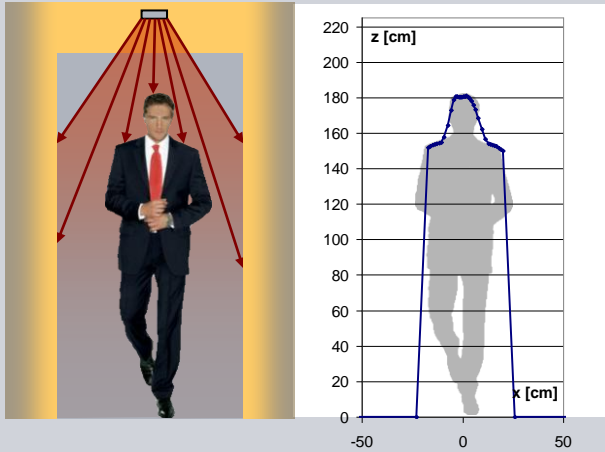


Lichtlaufzeit

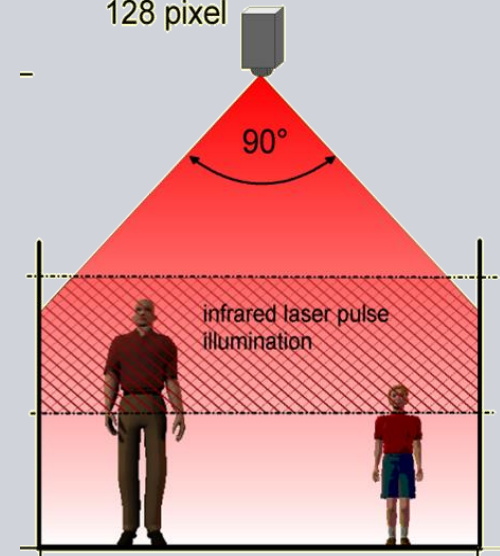
Beispielanwendungen

3D CMOS
Zeilensensor

3D-Profil



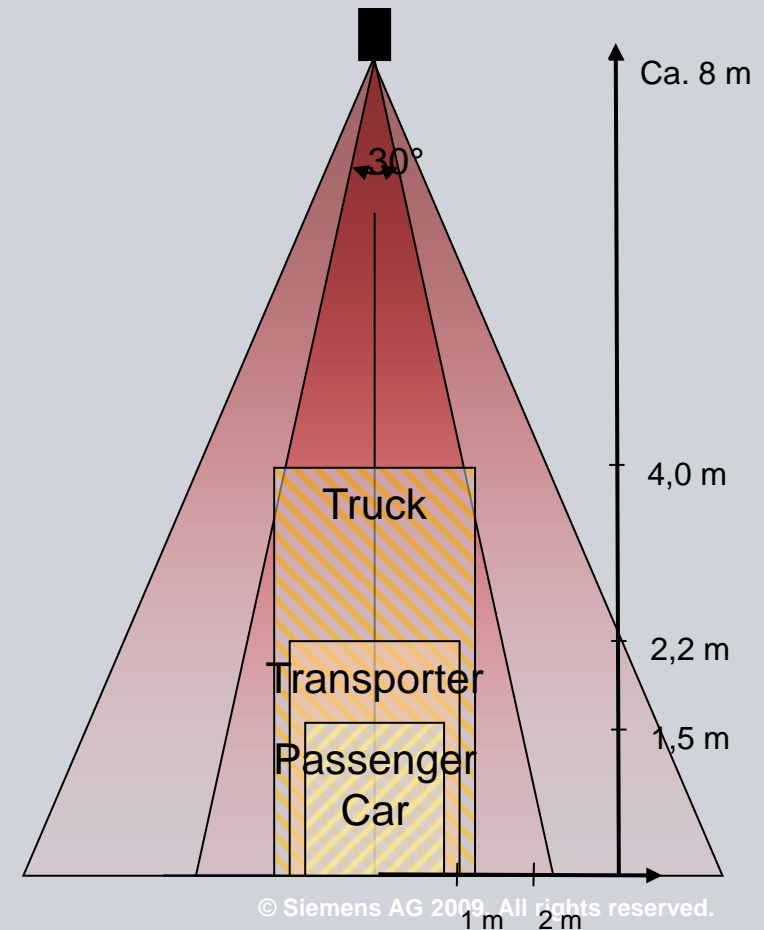
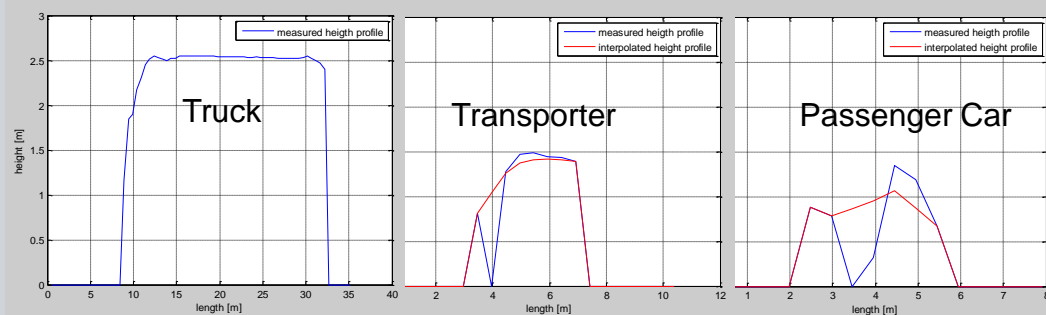
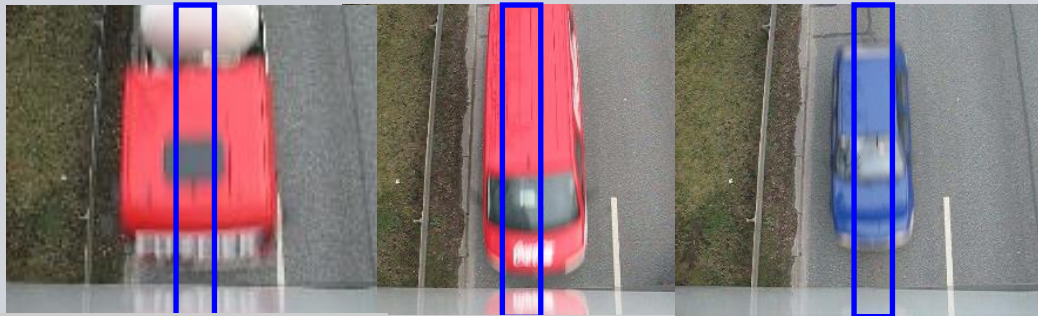
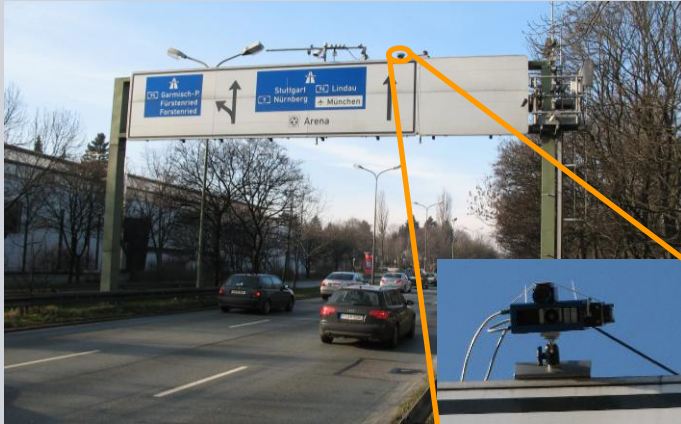
3D-CMOS line sensor
128 pixel



Zählung von Personen

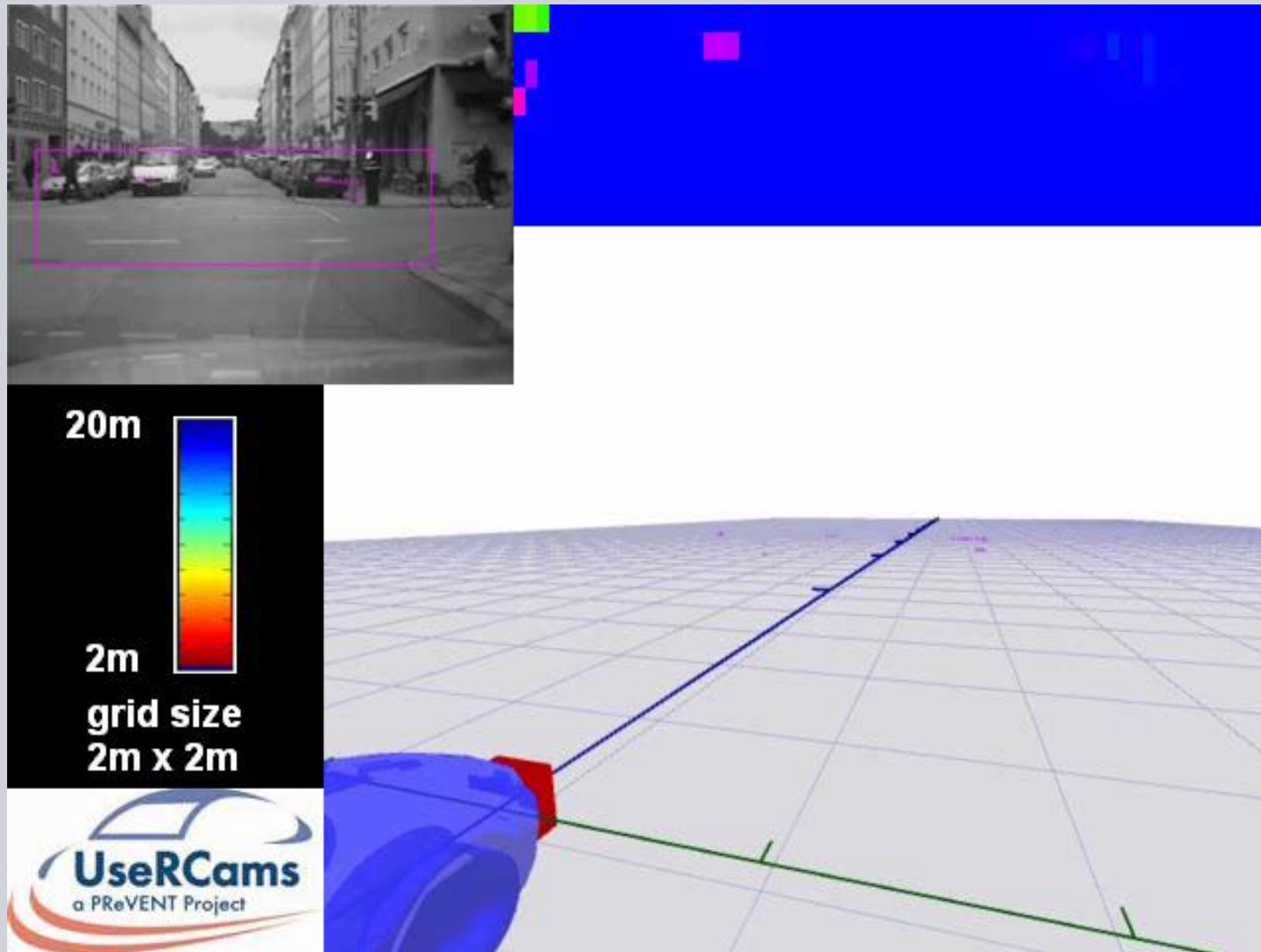
Lichtlaufzeit

Beispielanwendungen



Lichtlaufzeit

Beispielanwendungen



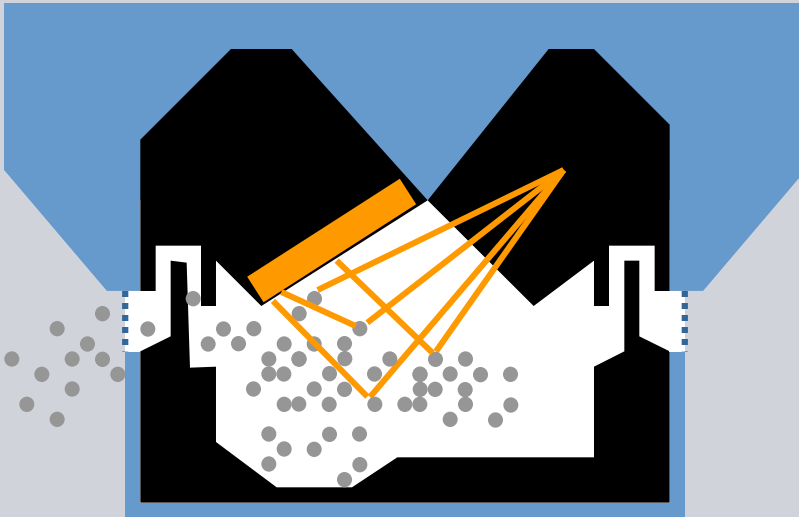
Besonderheiten bzgl. WSN

Besondere Aspekte bei Sensoren mit Drahtloser Übertragung

- Energieversorgung
 - Batteriebetrieb
 - Energieoptimierter Aufbau/Betrieb
 - ‚Energy Harvesting‘ (Piezoelektrisch, Thermoelektrisch)
 - Solarzellen
- Signal-/Datenübertragung
 - Limitierte Bandbreite
 - frühzeitige Datenreduzierung/Vorverarbeitung
 - Komprimierung
- Datensicherheit
 - Integrität der übertragenen Daten
 - Verfügbarkeit (Übertragungsstörungen/Verzögerungen)
 - Vertraulichkeit

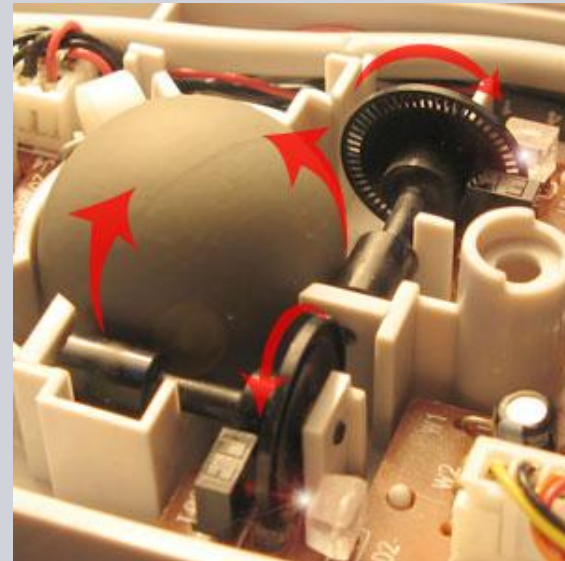
Beispiele für Drahtlose optische Sensoren (Sensornetze)

Optischer Rauchmelder



- Drahtlose Vernetzung der Rauchmelder

Computer Maus



- Verwendung von 2 optischen Inkrementalgebern (Rollmaus)
- Bilderfassung (ca. 30x30 Bildpunkte) der aktiv beleuchteten Unterlage
- Auswertung der Bildverschiebungen (optischer Fluss)



Zusammenfassung

Optische Verfahren

- basieren auf wenigen optoelektrischen Grundelementen
- messen zunächst elementare physikalische Eigenschaften des Lichtes
- sind mit geeigneten aktiven/passiven Messverfahren extrem vielseitig einsetzbar
- haben bzgl. WSN die gleiche/ähnliche ‚Anforderungen/Probleme‘

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!