

Inhalt

1. Einführung
2. Grundlagen der Kinematik
3. Kinematik mobiler radgetriebener Roboter
- 4. Sensorik**
5. Kinematik stationärer Roboter
6. Aufbau stationärer Roboter
7. Aktorik

Inhalt

4 Sensorik

4.1 Interne Sensorik	186
4.2 Sensorik zu Positionsbestimmung stationärer Roboter	198
4.3 Externe Sensorik	204
4.4 Navigation	217
4.5 Lokalisierung mobiler Roboter	219
4.6 Funklokalisierung	224
4.7 Koppelnavigation	237

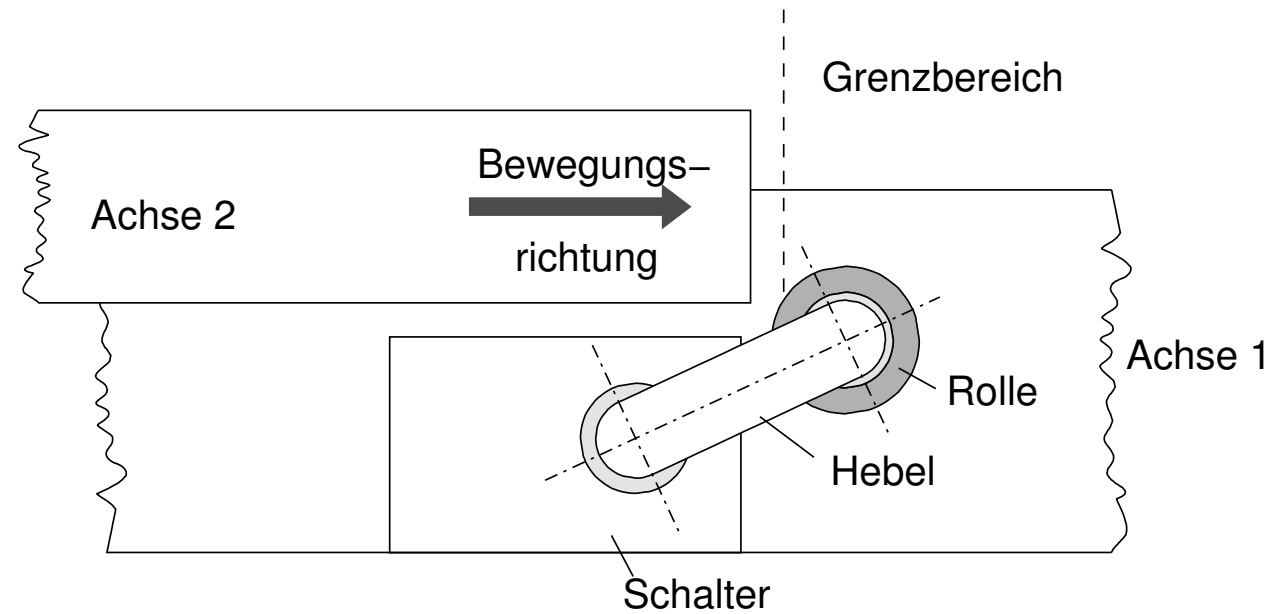
Interne Sensorik

Diese Sensoren liefern Messwerte zu den *inneren* Zuständen eines betrachteten mechatronischen Systems. Ein Bezug zur Außenwelt wird allenfalls indirekt hergestellt (z. B. wenn der Zustand relativ zur Außenwelt definiert ist, wie bei der Geschwindigkeit).

Beispiele sind:

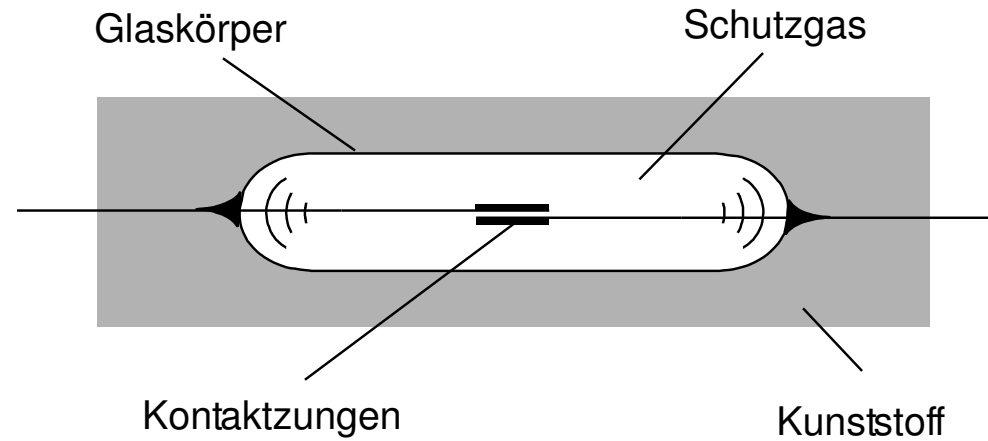
- Drehgeschwindigkeit eines Rades
- Steuerwinkel eines Seitenruders
- Beschleunigung eines Körpers

Rollenhebelschalter



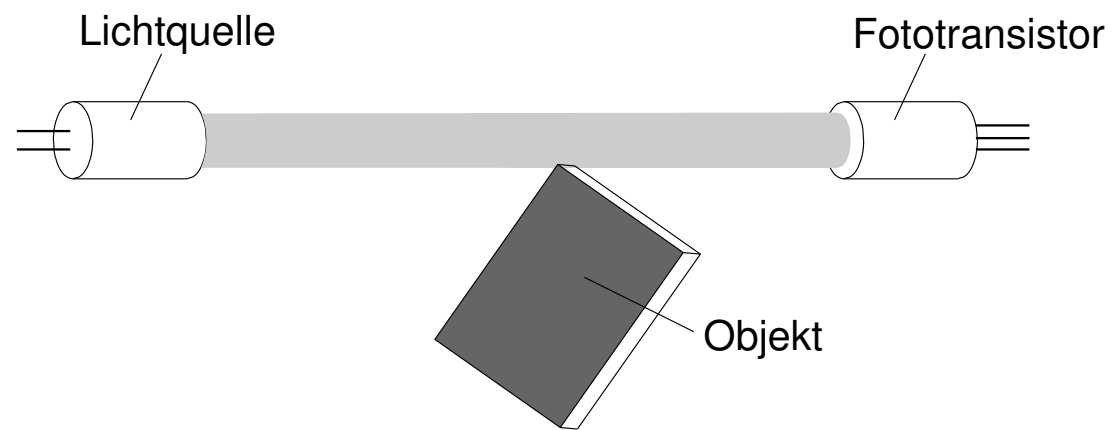
Anwendung: Überwachung der Endlagen, Notabschaltung, etc.

Magnetischer Endschalter (Reed-Kontakt)

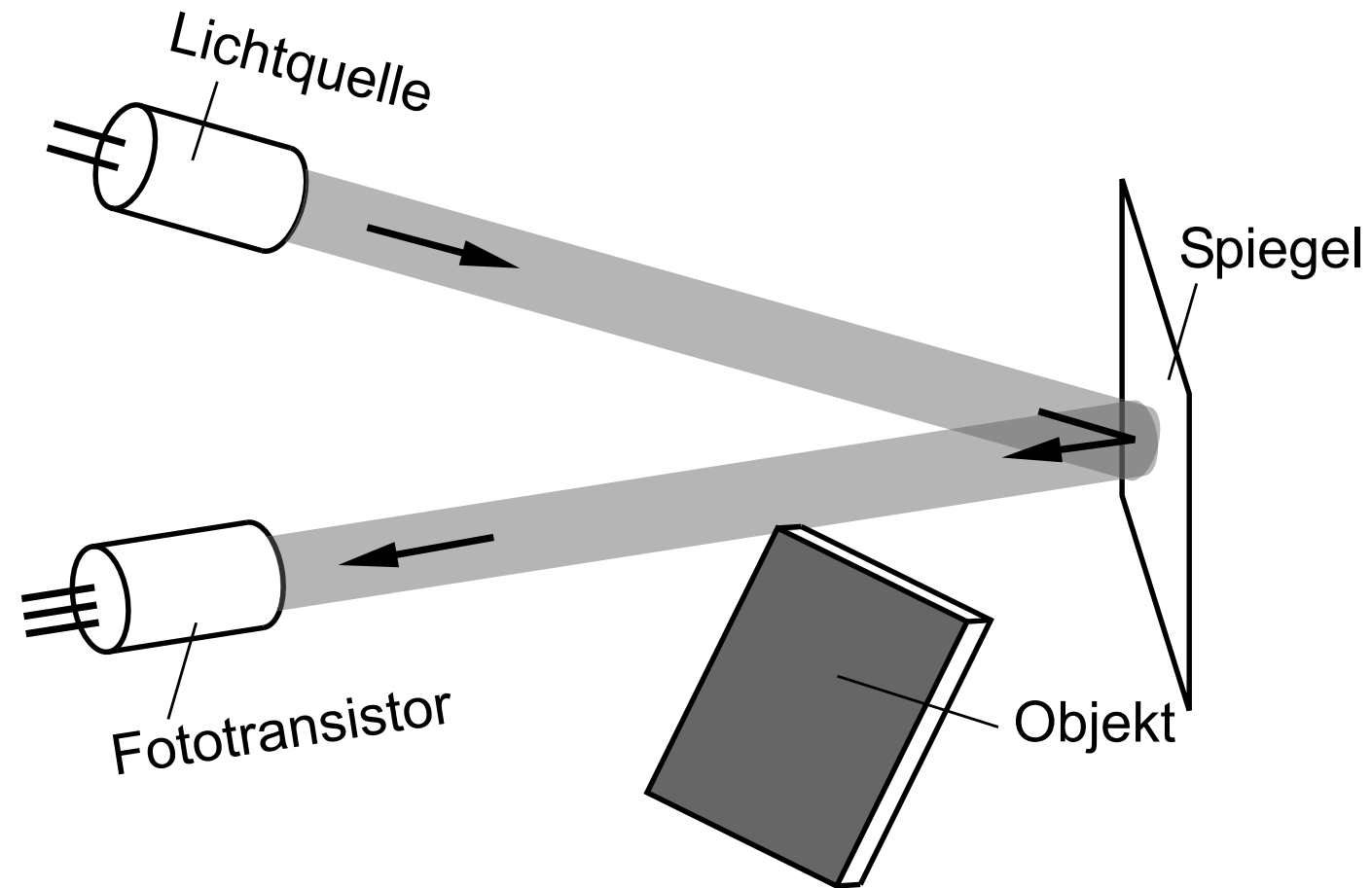


Schaltet über Magnetfeld, keine Krafteinwirkung notwendig

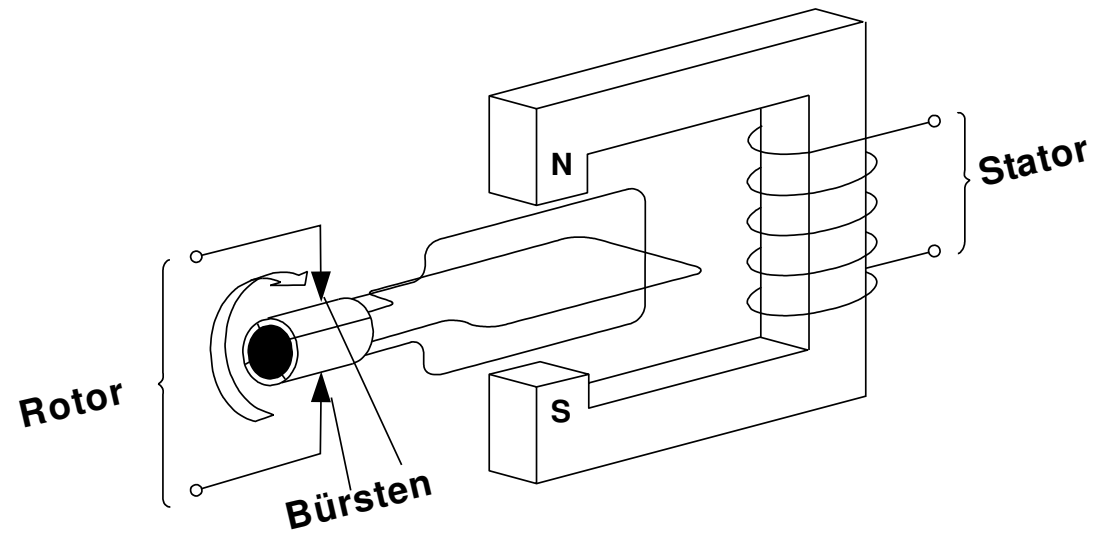
Lichtschranke



Reflexionsschalter



Tachogenerator zur Drehzahlmessung



Direkte Messung der Beschleunigung

Wird eine Masse m mit $a(t)$ beschleunigt, wirkt auf diese die Kraft $F(t)$:

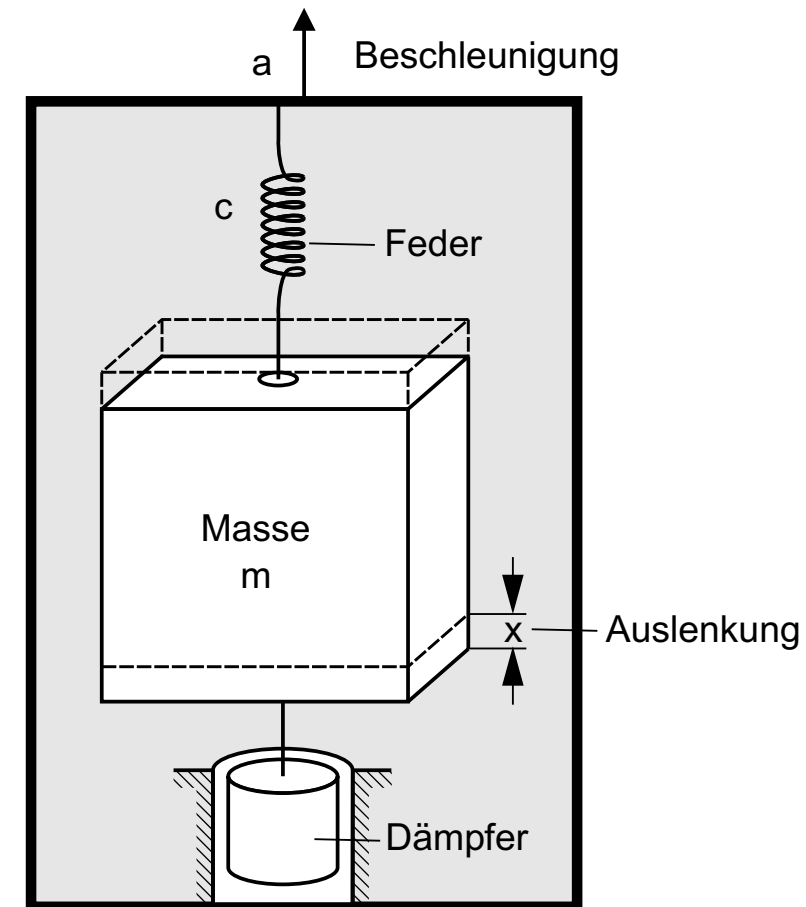
$$F(t) = m \cdot a(t)$$

Ist die Masse mittels Feder aufgehängt, wird die Masse um den Weg $x(t)$ ausgelenkt

$$x(t) = \frac{1}{c} \cdot F(t) = \frac{m}{c} \cdot a(t)$$

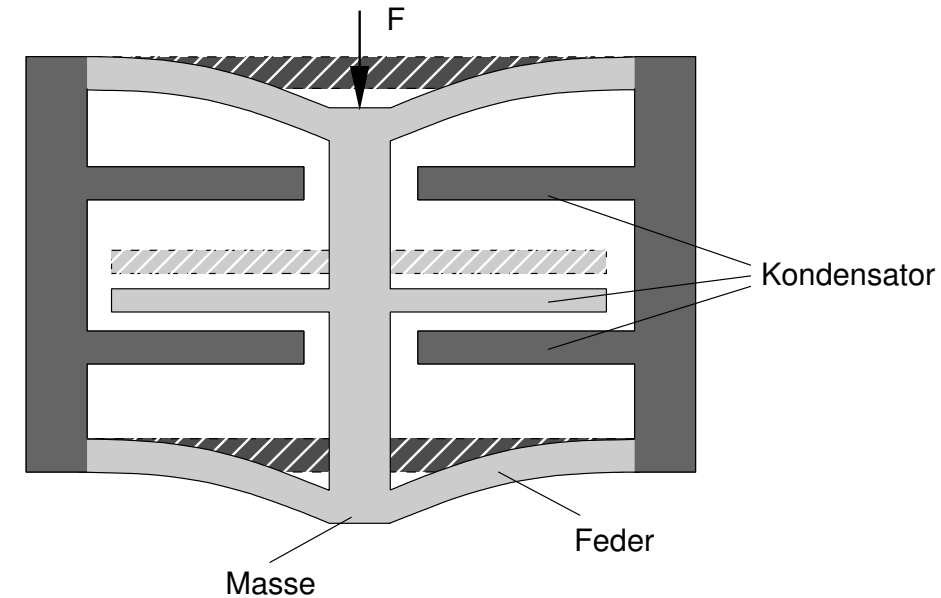
Diese Auslenkung kann mit verschiedenen Verfahren gemessen werden.

Ein Masse-Feder-System ist im Allgemeinen schwingungsfähig, die Dämpfung λ sorgt für ein Abklingen möglicher Schwingungen.



Kapazitiver Beschleunigungsaufnehmer

Die Kondensatorplatten befinden sich am Rahmen des Sensors und an der seismischen Masse. Wird die Masse auf Grund der Beschleunigung gegenüber dem Rahmen ausgelenkt, so verringert sich der Plattenabstand zwischen einem Teil der Platten, und er erhöht sich bei den anderen Platten. Diese Abstandsänderung bewirkt eine Änderung der Kapazität.

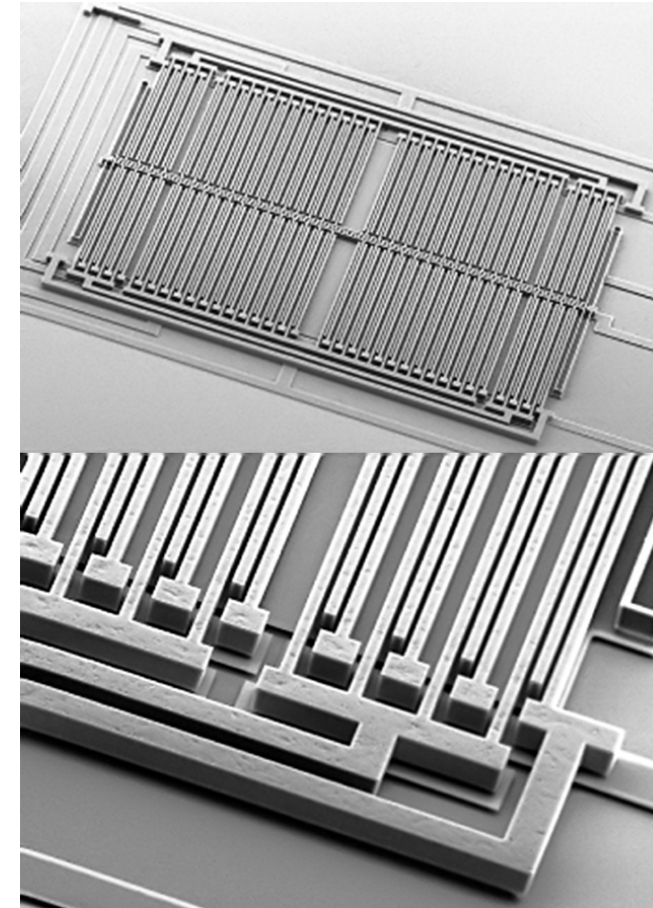


Die Beschleunigung ist proportional zur Kapazitätsdifferenz:

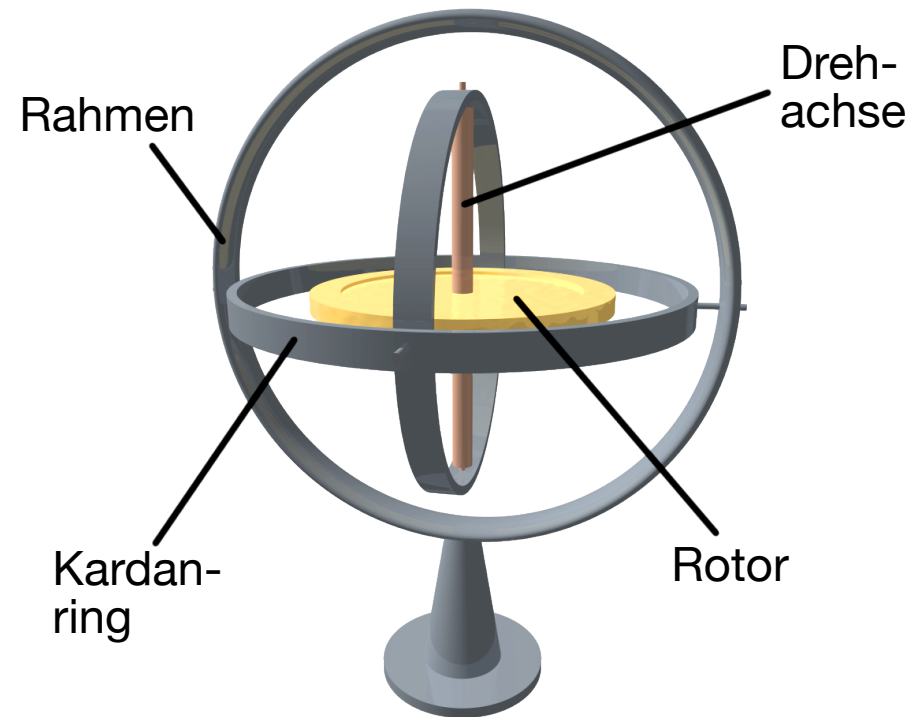
$$a(t) = \frac{c \cdot d}{m} \cdot \frac{C_2(t) - C_1(t)}{C_1(t) + C_2(t)} \quad d \text{ ist der Durchmesser der Platten}$$

Mikrobeschleunigungsmesser in Silizium

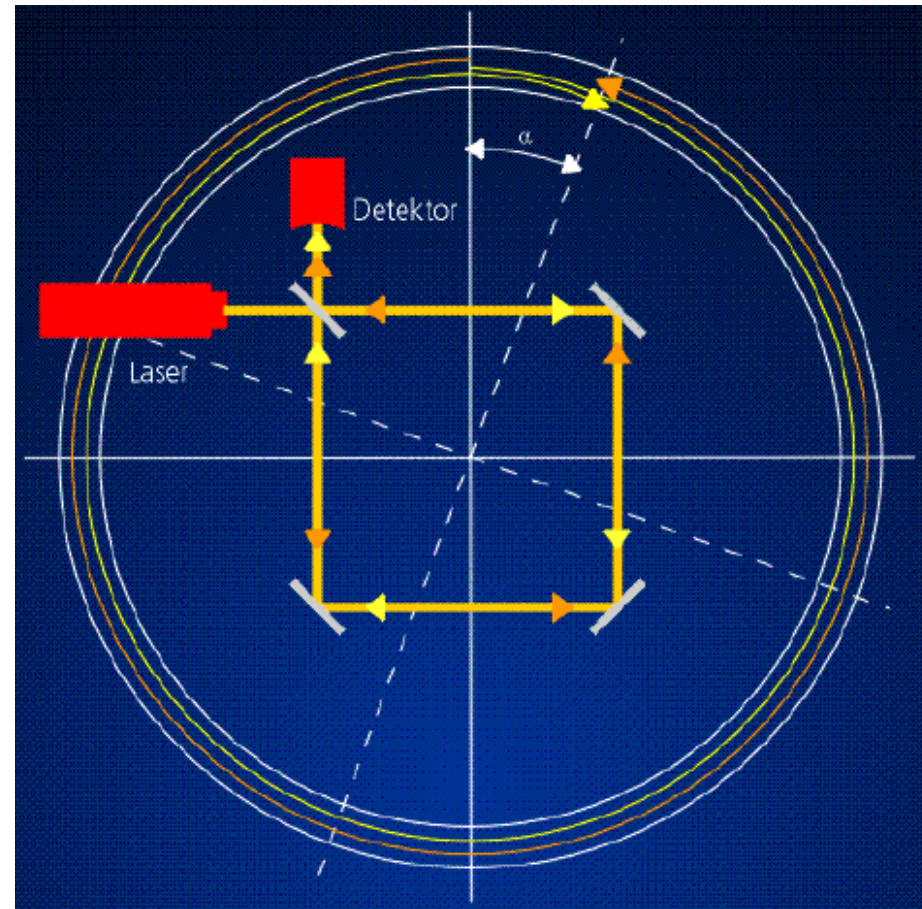
- Mikroelektro-mechanischen Systeme (Micro-Electro-Mechanical System, MEMS) werden auch als Mikrosystemtechnik (Micro Systems Technology, MST) bezeichnet.
- Feder-Masse-System
- Messen der Kapazitätsänderung
- Herstellung in Silizium auf einem Chip
- Kostengünstig und klein



Mechanisches Gyroskop und künstlicher Horizont

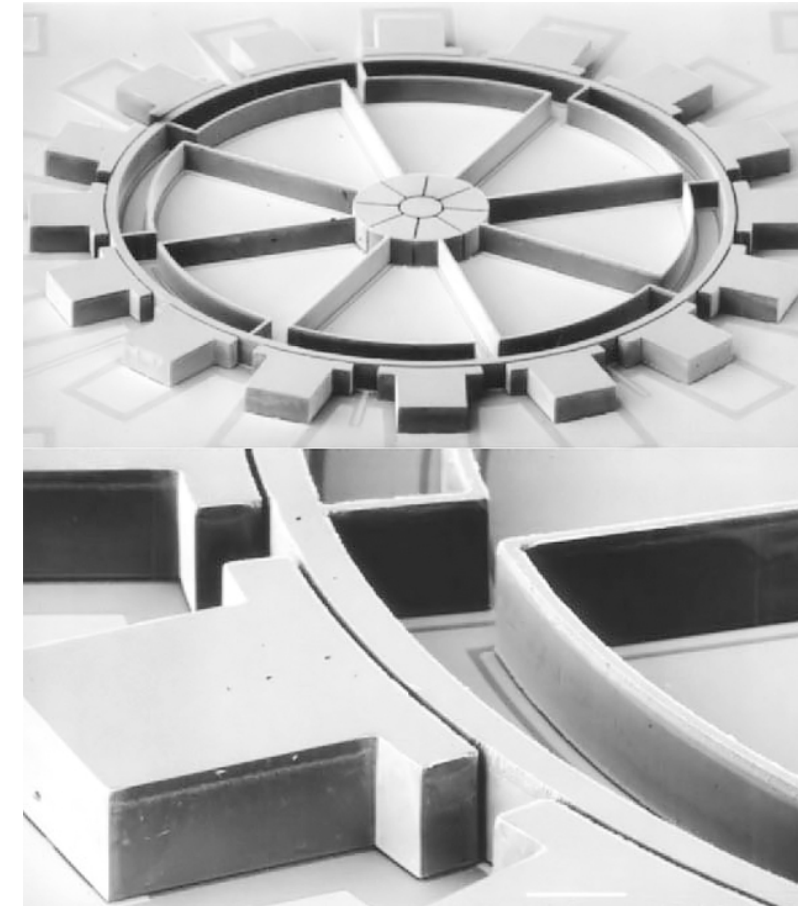


Rotationsmessungen mit einem Lasergyroskop



Implementierung eines Gyroskops in Silizium

- Vibratory Rate Gyroscopes messen über kapazitive Wandler den Wechsel des Schwingungsmodus der vibrierenden Elemente und damit die verursachende Drehbewegung.
- Die Abbildung zeigt einen freigestellten Ring, der über 8 gewinkelte Federn an der zentralen Nabe aufgehängt ist. Dieser Ring kann nicht frei drehen, allerdings kann er über Elektroden mittels elektrischer Felder in Vibration versetzt werden.
- Kombination eines 3D-Gyroskops mit einem 3D-Beschleunigungsmesser wird als 6 DOF Motion Sensor bezeichnet.



Positionmessung

Unter Position wird hier die relative Stellung eines Teilsystems in Bezug auf ein anderes Teilsystem verstanden. Dies ist z. B. die Stellung eines Rades bei einem mobilen Roboter oder die Stellung eines Gelenks bei einem stationären Roboter.

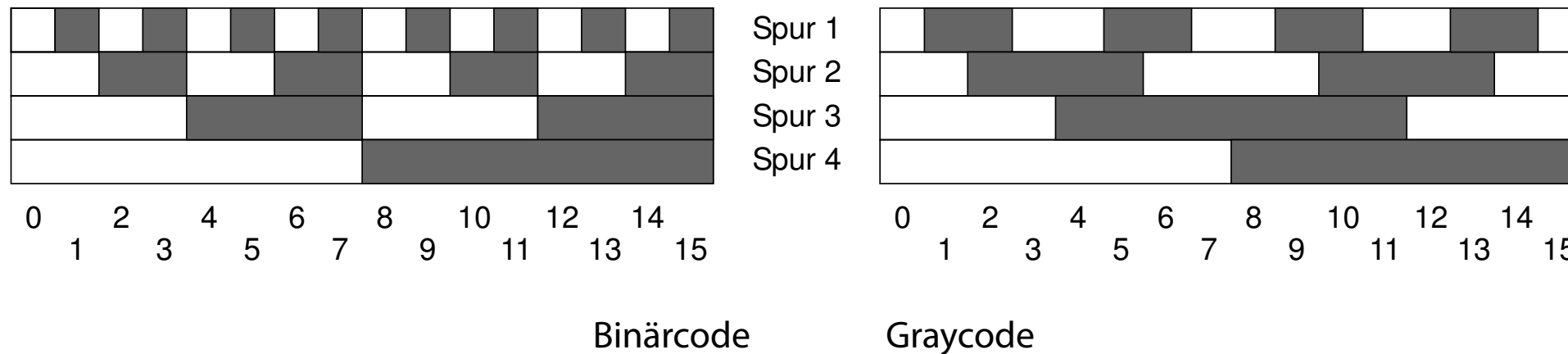
Beispiele für die hier behandelten Positionen sind:

- Knickwinkel eines Roboterarms
- Radstellung an einem Fahrzeug
- Ausfahrlänge eines Teleskoparms

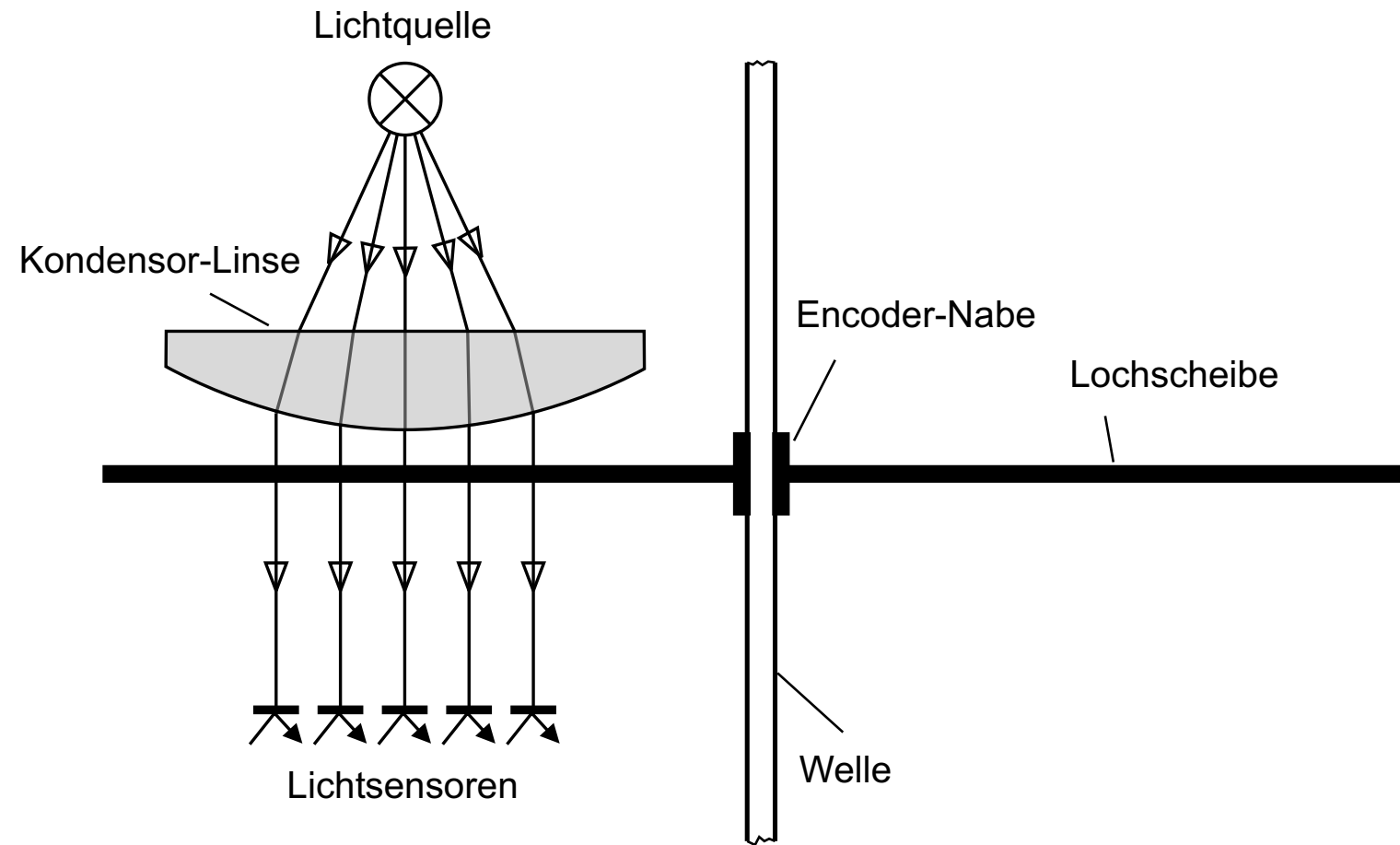
Optische Lagemessung mit Absolutwertgebern

Absolutwertgeber (*Absolute Encoder*) geben die Lageinformation als digitalen Zahlenwert, der über dem gesamten Auflösungsbereich eindeutig ist, aus. Es ist daher keine anfängliche Referenzfahrt, wie z. B. bei Inkrementalgebern, notwendig.

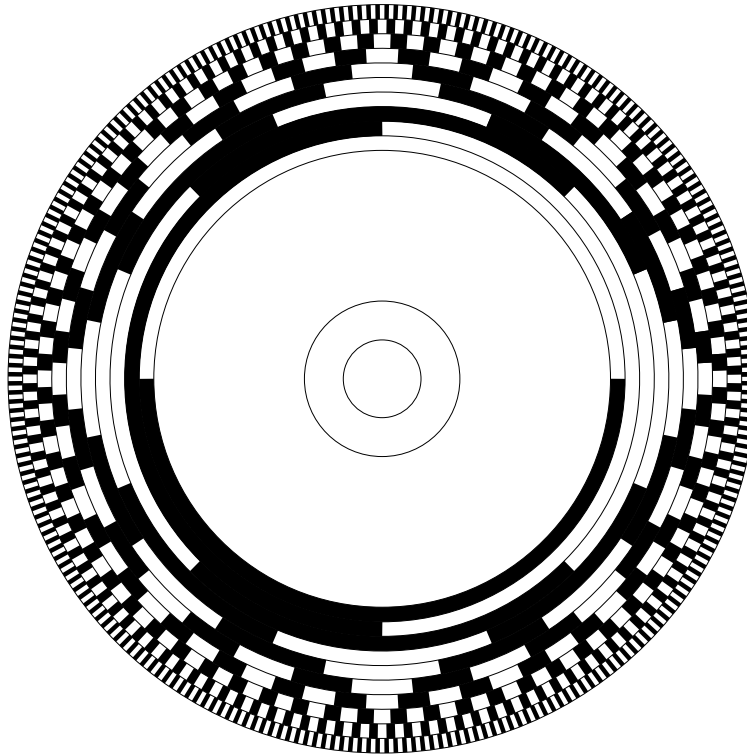
Bei den optischen Absolutwertgebern wird eine innenliegende Codescheibe optisch erfasst.



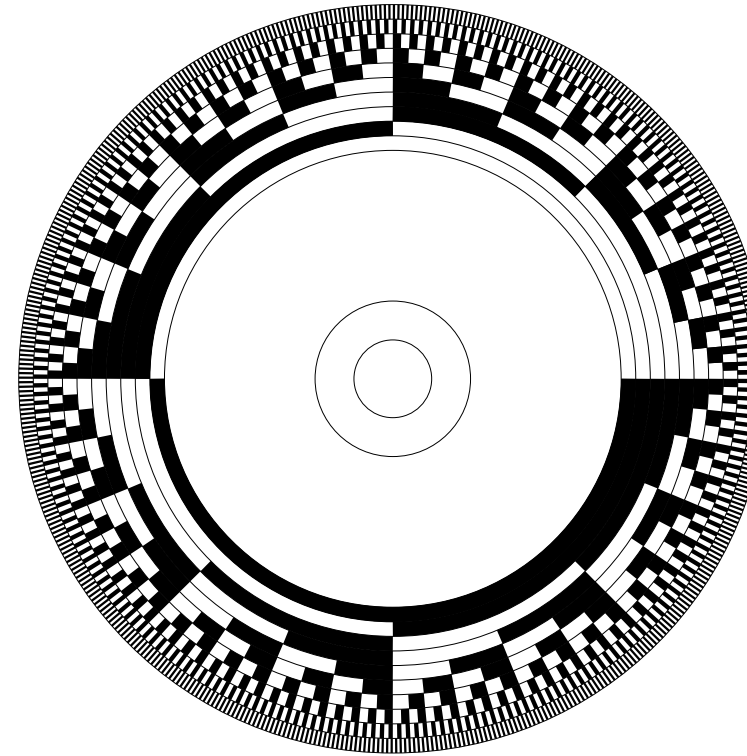
Aufbau eines optischen Absolutwertgebers



Codescheiben eines optischen Absolutwertgebers



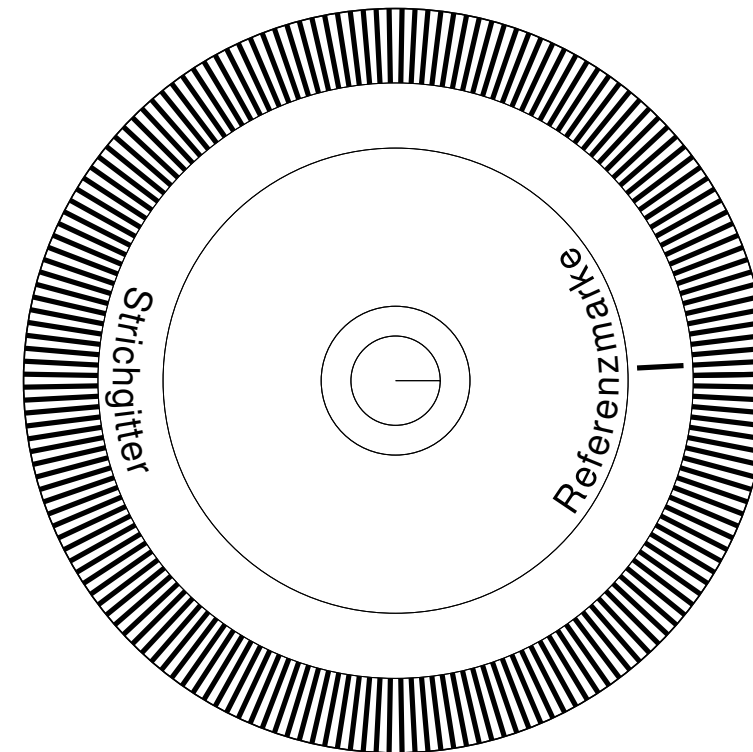
Graycode



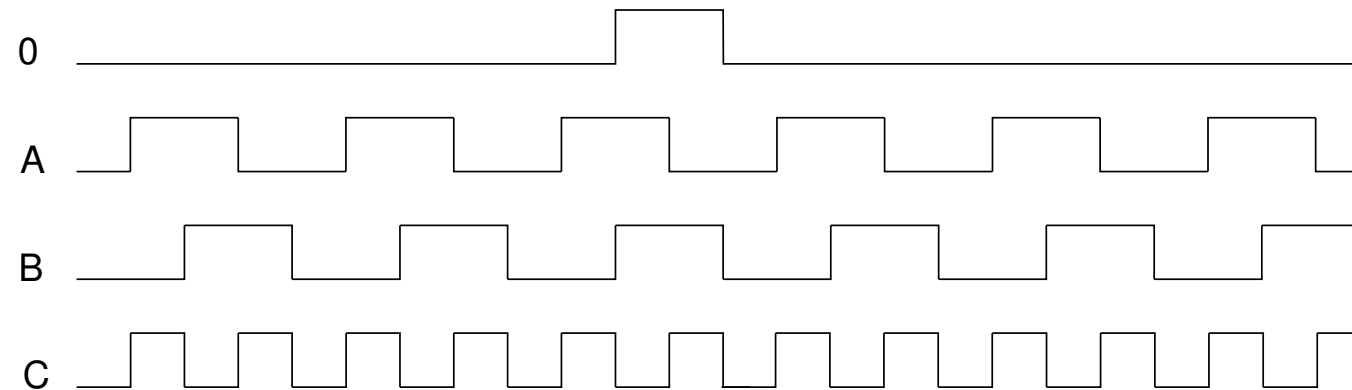
natürlicher Binärcode

Optische Lagemessung mit Inkrementalgebern

- Inkrementalgeber (*Incremental Encoder*) erfassen Lageänderungen (linear oder rotierend) inkrementell.
- Die Position wird durch Richtungsbestimmung und Zählung ermittelt.
- Nach einem Spannungsausfall ist die absolute Position nicht mehr bekannt. Zur absoluten Positionsbestimmung wird nach dem Einschalten eine sogenannte Referenzfahrt auf einen absoluten Positionssensor durchgeführt. Manche Inkrementalgeber besitzen eine Referenzmarke (Index) auf einem dritten Kanal.



Versetzte Abtastung eines inkrementellen Gebers



A und B sind die um 90° verschobenen Zählimpulse und 0 ist das Indexsignal. Werden die Spuren A und B mit der XOR-Funktion verknüpft, so ergibt sich die als C dargestellte verdoppelte Auflösung. Werden die Flanken ausgewertet, kann eine Vervierfachung der Scheibenauflösung erreicht werden.

Eine weitere Erhöhung der Auflösung (bis zum 20fachen) kann durch die Auswertung der sinusförmigen Rohsignale erzielt werden.

Externe Sensoren

Externe Sensoren stellen einen Bezug zur Außenwelt des Roboters her.

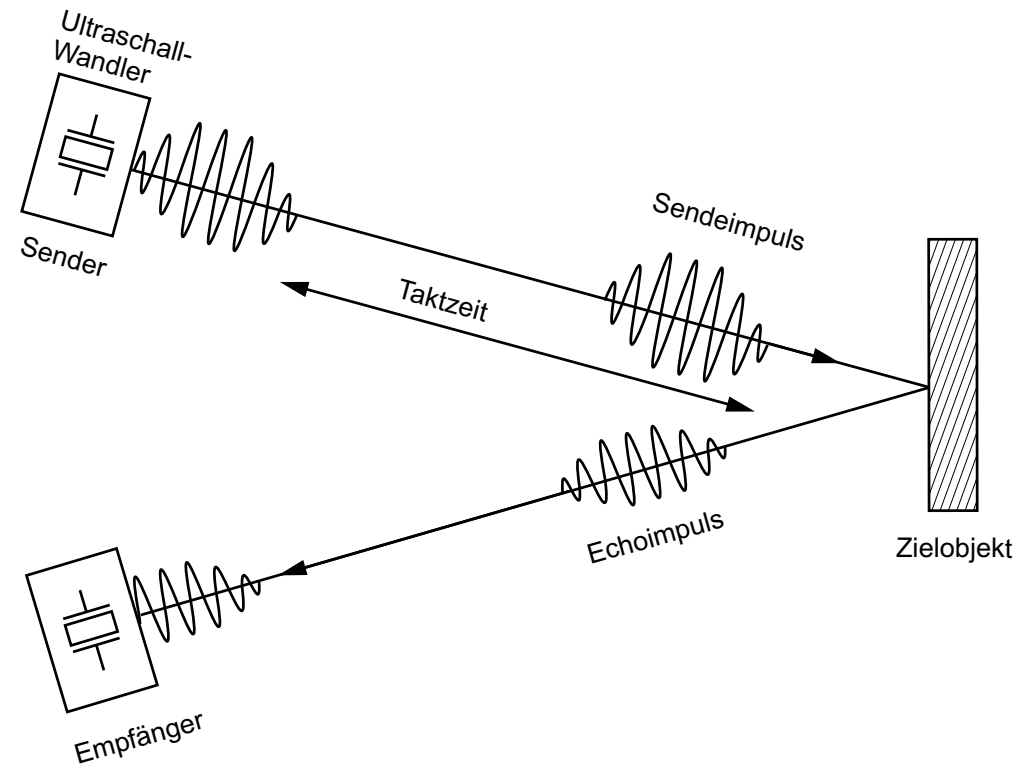
Dazu gehört z. B.:

- Die relativen Lage von Gegenstände (z. B. Hindernissen) in Bezug zum Roboter
- Der Abstand des Roboters zu bekannten Objekten (z. B. Landmarken) in der Umgebung
- Die Geschwindigkeit des Roboters in Bezug auf ein globales Koordinatensystem
- Die absolute Ortsbestimmung des Roboters in einem globalen Koordinatensystem

Abstandssensorik (*Ranging*)

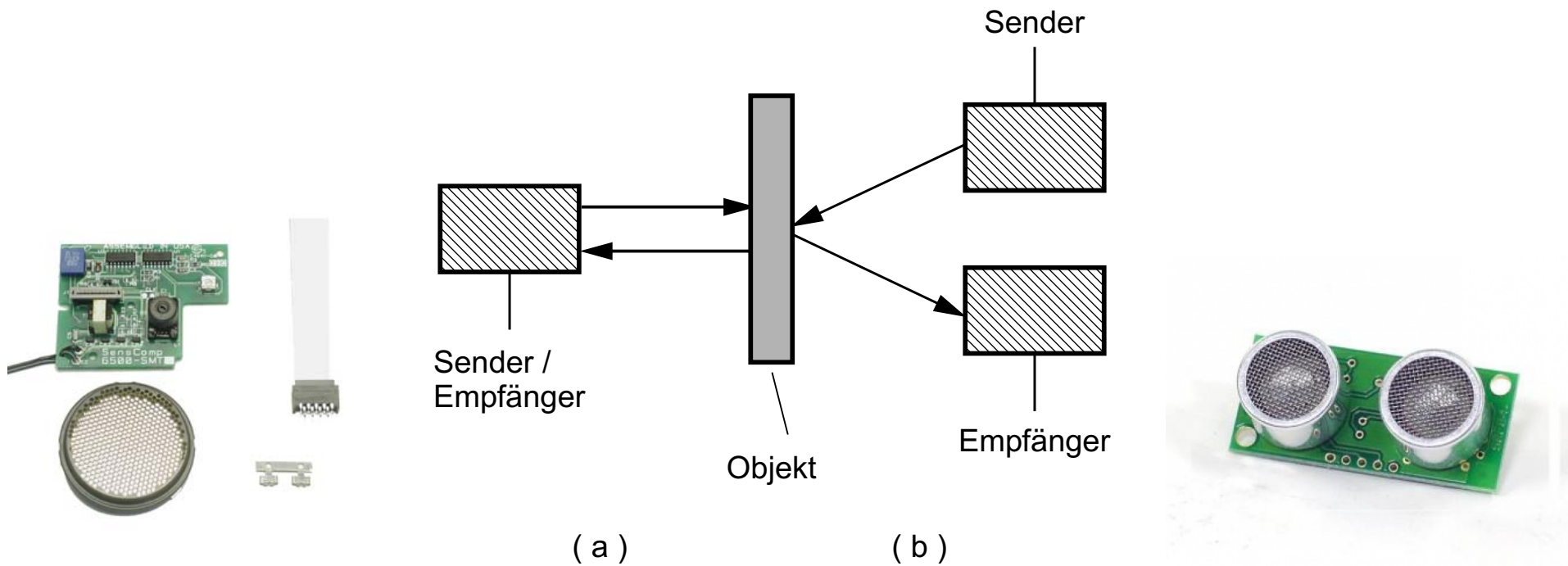
- Abstandssensorik ist Basis für viele Lokalisierungslösungen
- Beispiele:
 - Ultraschall-Sensoren
 - Laser-Sensoren
 - Funk-Abstandsmessung
- Grundgleichung: $d = c \cdot t$
 - d : Abstand (meist *Round-Trip*)
 - c : Ausbreitungsgeschwindigkeit
 - t : Zeit (*Time of Flight (TOF)*)

Ultraschall-Sensor

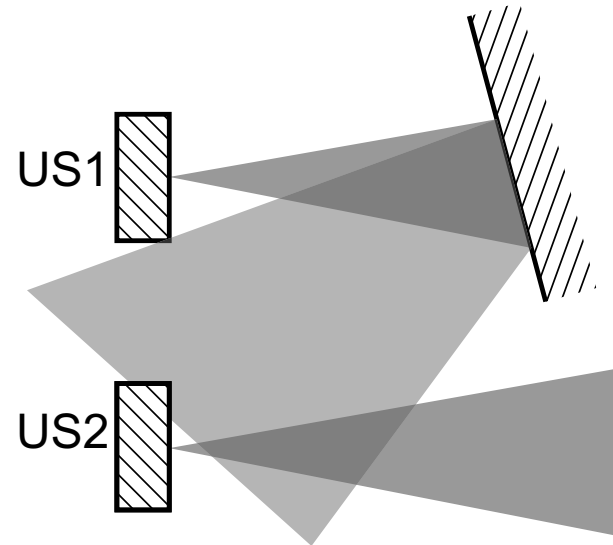


Schallgeschwindigkeit etwa $0,3 \text{ m/ms} \Rightarrow 3 \text{ m}$ entspricht etwa einer Laufzeit von 10 ms ,
 $343,2 \text{ m/s}$ bei trockener Luft von 20°C

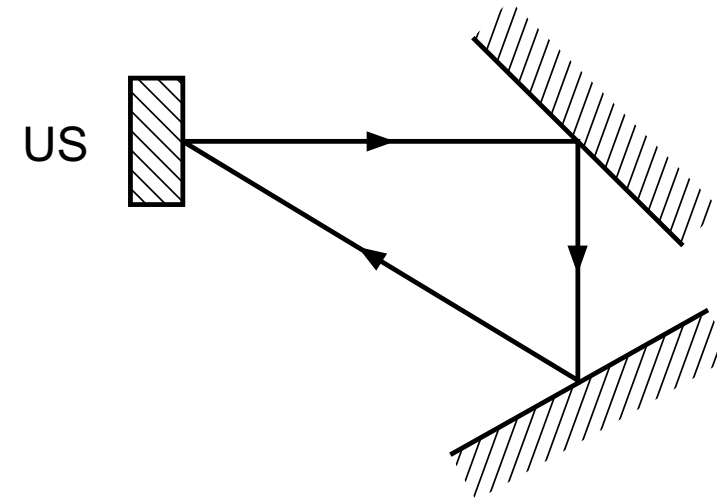
Bauformen: (a) Transceiver und (b) Transmitter/Receiver



Störungen durch (a) Übersprechen und (b) Reflexionen



(a)

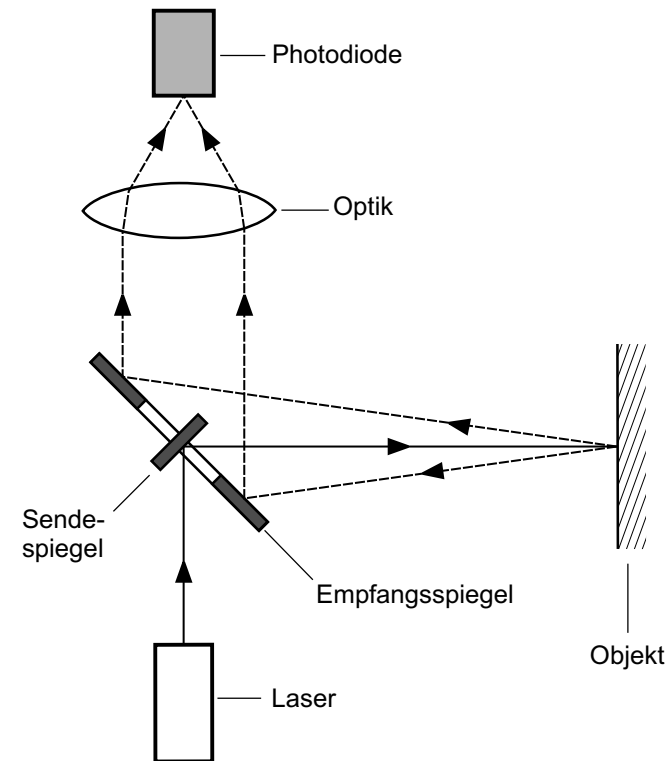


(b)

Messung mit elektromagnetischen Wellen (direkte Laufzeitmessungen)

- Geschwindigkeit elektromagnetischer Wellen etwa $0,3 \text{ m/ns}$ (Lichtgeschwindigkeit)
- $\Rightarrow 10^6$ fach schneller als Schallgeschwindigkeit
- 3 m entspricht etwa einer Laufzeit von 10 ns

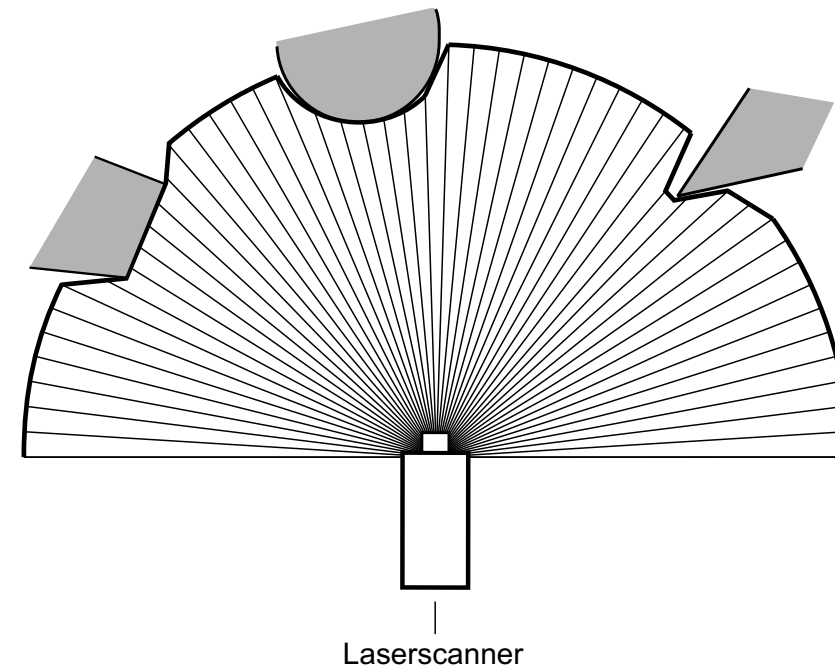
Laserscanner



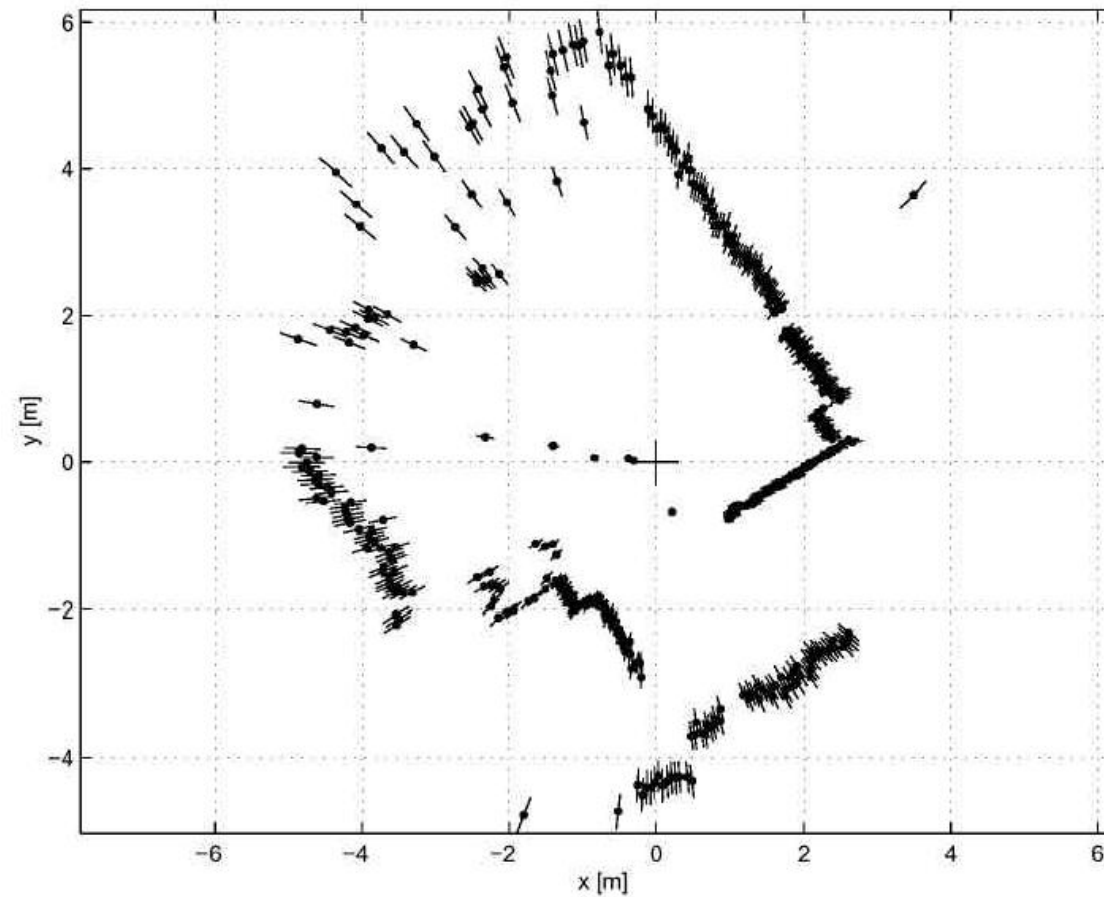
Wirkungsprinzip: Laser wird über drehbaren Spiegel gepulst gesendet

2D Laserscann einer Umgebung

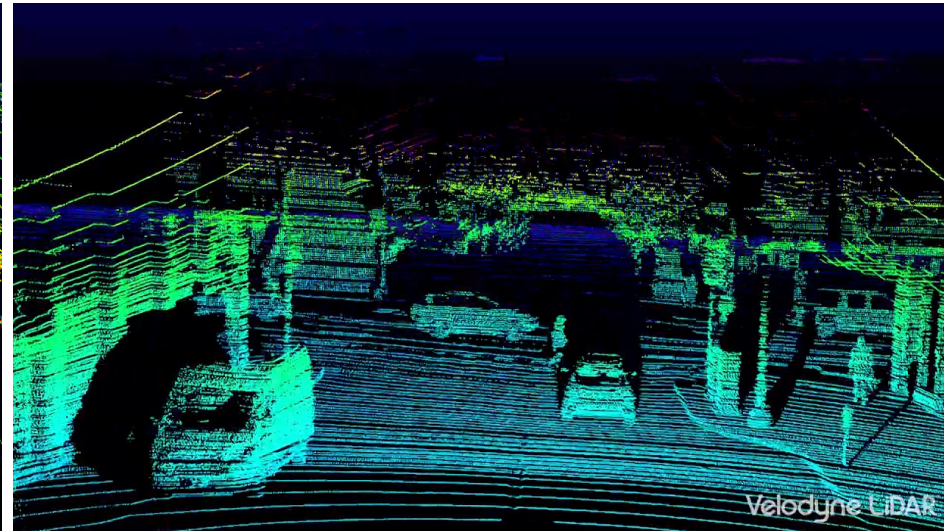
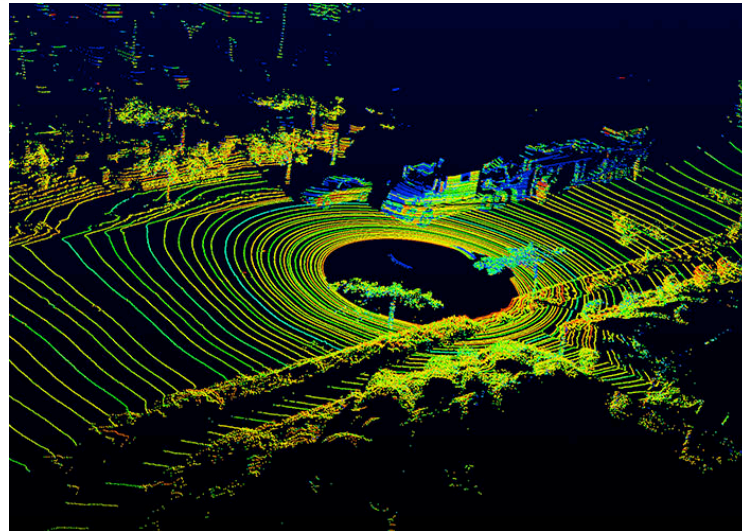
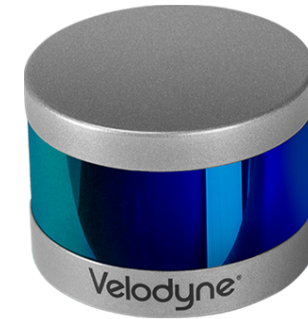
- Um eine Fläche vermessen zu können, wird der Laserstrahl gepulst ausgestrahlt und pro Impuls um einen bestimmten Winkel weiter gedreht.
- Dieser Drehwinkel, der auch die Winkelauflösung des Sensors darstellt, wird sinnvollerweise ebenso groß gewählt wie die Auffächerung des Laserstrahls, damit sichergestellt ist, dass selbst kleine Objekte nicht übersehen werden.



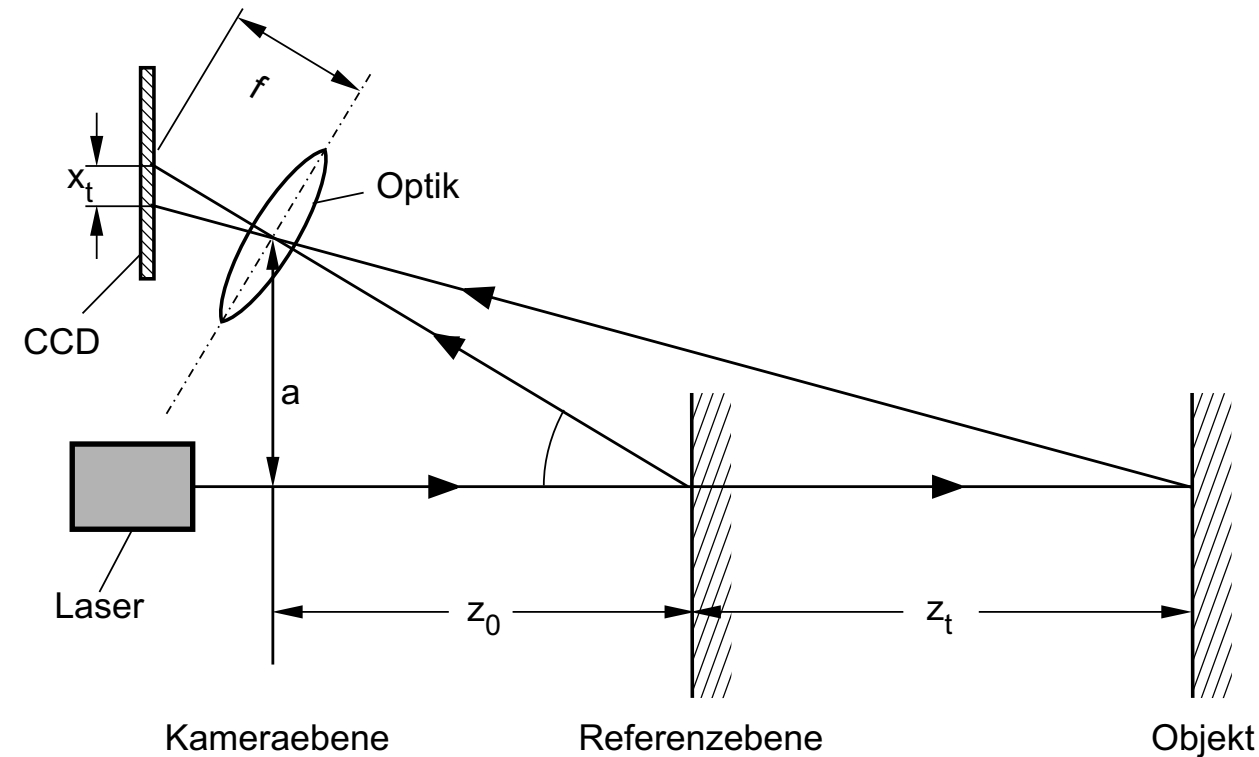
2D Laserscann einer realen Umgebung (360°)



3D Laserscanner

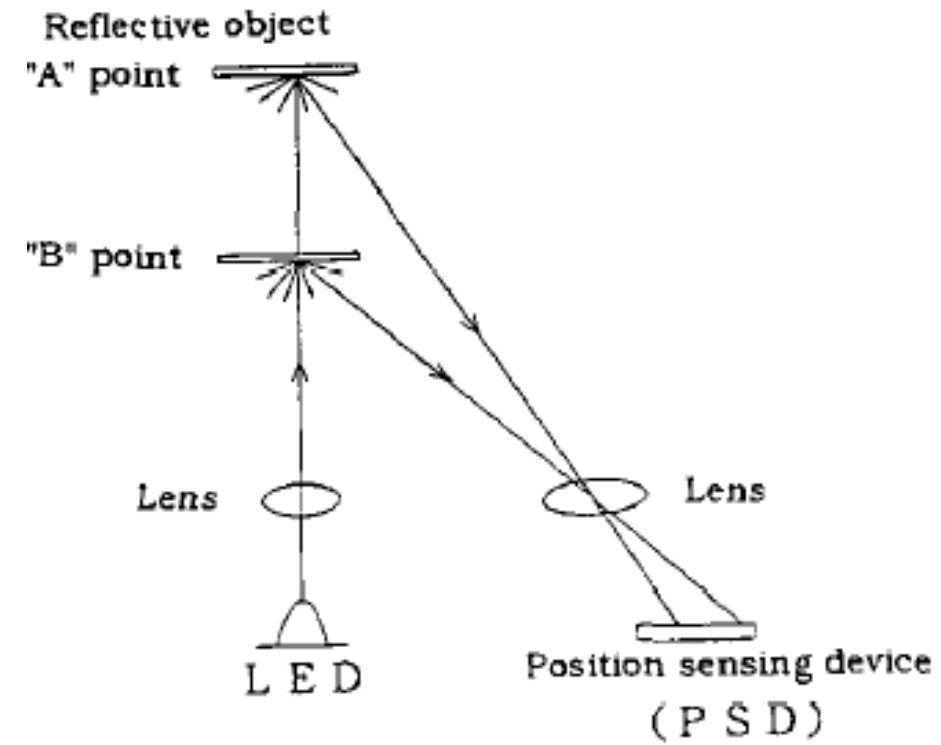
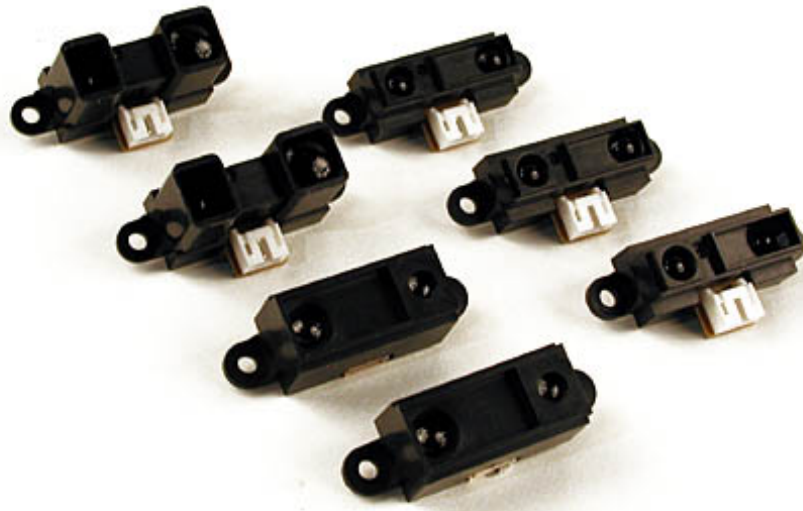


Abstandsmessung durch Triangulation mit Laser und Kamera



$$z_0 + z_t = \frac{af \cos \alpha}{f \sin \alpha + x_t}$$

Abstandsmessung mit Sharp-Sensoren (Triangulation)



RPLiDAR A2M6 360° Laser Scanner (Lasertriangulation)



Autonome mobile Roboter: Begriffsdefinitionen

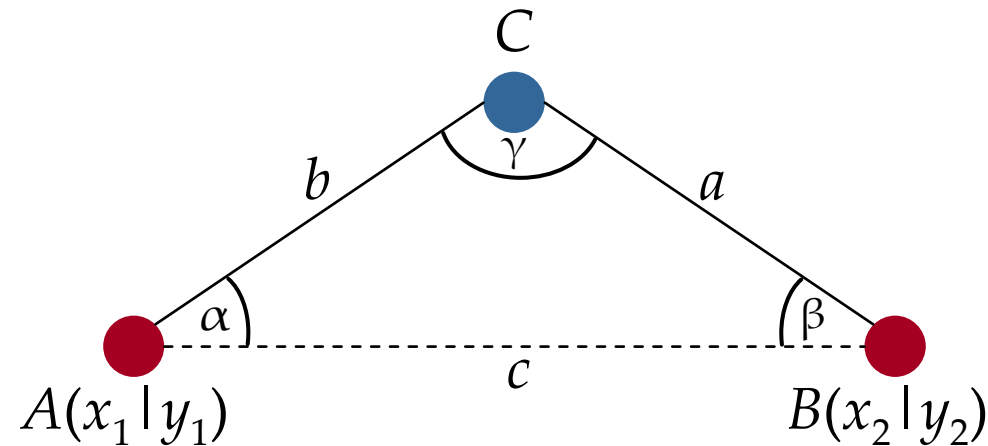
- **Navigation**: Ist das (automatische) Steuern eines Fahrzeugs / mobilen Roboters zu einem gewünschten Zielpunkt. Die Navigation besteht aus den Teilaufgaben **Lokalisierung** (Ortsbestimmung), **Bahnplanung** (Ermitteln der besten Route zum Zielpunkt) und **Bahnregelung** (Bahnverfolgung) unter der Vermeidung von Hindernissen (**Kollisionsvermeidung**).
- **Lokalisierung**: Ist die Ermittlung des Ortes in Bezug zu einem definierten Koordinatensystem (Bezugssystem). Bei autonomen mobilen Systemen wird die **Selbstlokalisierung** benötigt, die Bestimmung der Position eines fernen Objekts wird (**Fremd-)**Ortung genannt. Bei der Selbstlokalisierung von mobilen Systemen wird in der Regel neben der Position auch die Ausrichtung (Orientierung) relativ zum Bezugssystem bestimmt. Man spricht in diesem Zusammenhang auch von der Bestimmung der **Pose** des mobilen Systems.
- **Odometrie**: Ist ein Verfahren der Selbstlokalisierung mittels Radencodern. Dabei werden permanent die Bewegung der Räder des Fahrzeugs gemessen und mittels dieser Relativbewegungen und dem bekannten Startpunkt wird die Position des mobilen Systems bestimmt. Der Fehler der Odometrie nimmt mit der zurückgelegten Strecke zu, so dass weitere Verfahren und Sensoren zur Lokalisierung eingesetzt werden müssen.

- **Bahnplanung:** Ist die Generierung eines Weges von einem Startpunkt zu einem Zielpunkt innerhalb einer Karte unter Berücksichtigung von vorher bekannten Hindernissen und vorgegebenen Optimierungskriterien wie beispielsweise möglichst kurzer Wege oder geringstem Energieverbrauch.
- **Kartenbildung, Mapping:** Ist die Erzeugung einer Karte durch einen mobilen Roboter. Dabei werden durch die Sensoren des Roboters, typischerweise Laserscanner (Light Detection and Ranging, **LIDAR**), Hindernisse wie beispielsweise Wänden detektiert und in einer Karte eingetragen. Durch (manuelle) Bewegung des Roboters in der Umgebung kann stückweise eine vollständige Karte der Umgebung erzeugt werden. Typischerweise werden quantisierte Karten (Rasterkarten, **Occupancy Grid Maps**) erzeugt.
- **Simultaneous Localization and Mapping, SLAM:** Simultane Positionsbestimmung und Kartenerstellung bezeichnet die gleichzeitige Erstellung einer Karte und die Lokalisierung innerhalb dieser Karte durch einen mobilen Roboter. SLAM wird zur Exploration von Umgebungen genutzt. Die erstellte Karte kann später auch von anderen mobilen Robotern genutzt werden.

Klassifizierung der Methoden zur Lokalisierung

- **Nachbarschaftsanalyse, (*Proximity*)**: Es wird untersucht, ob Objekte mit bekannten Positionen sich in der Nachbarschaft befinden (z.B. *Cell of Origin*).
- **Szenenanalyse**: Es werden Merkmale der aktuellen Position mit Merkmalen einer Karte verglichen (z.B. *Fingerprinting*, *Radio Map*)
- **Geometrische Analyse**: Es werden Winkel oder Abstandsinformationen zu Landmarken mit bekannten Positionen genutzt (z.B. *ToA*, *TDoA*, *AoA*).
- **Koppelnavigation**: Es werden relative Bewegungsinformationen erfasst und beginnend von einem bekannten Startpunkt aufsummiert (z.B. *Odometrie*).

Triangulation (Fremdlokalisierung)



$$\frac{a}{\sin \alpha} = \frac{b}{\sin \beta} = \frac{c}{\sin \gamma}$$

$$a^2 = b^2 + c^2 - 2 \cdot b \cdot c \cdot \cos \alpha$$

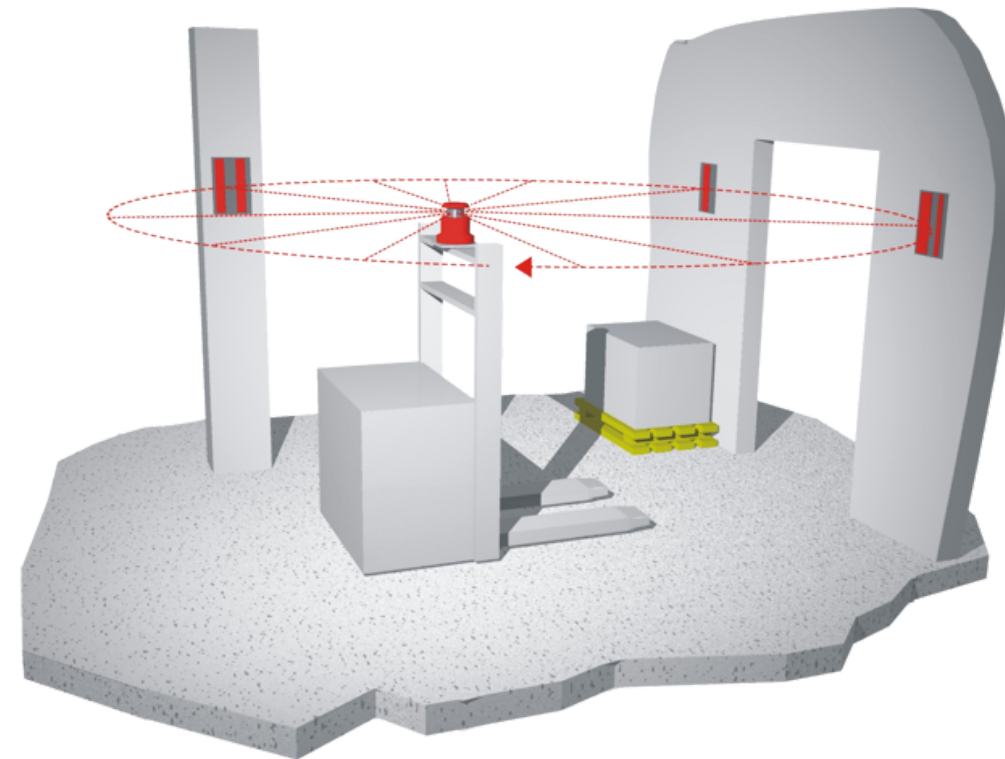
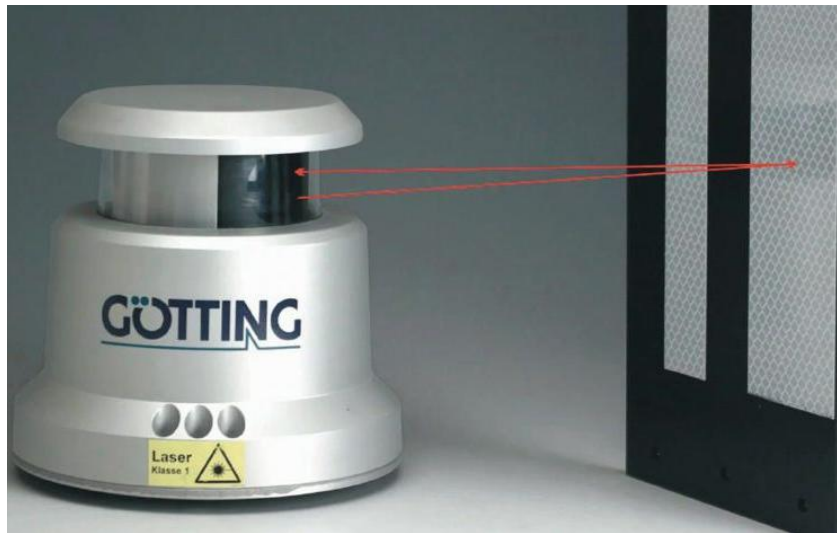
$$b^2 = a^2 + c^2 - 2 \cdot a \cdot c \cdot \cos \beta$$

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2 \cdot a \cdot b \cdot \cos \gamma$$

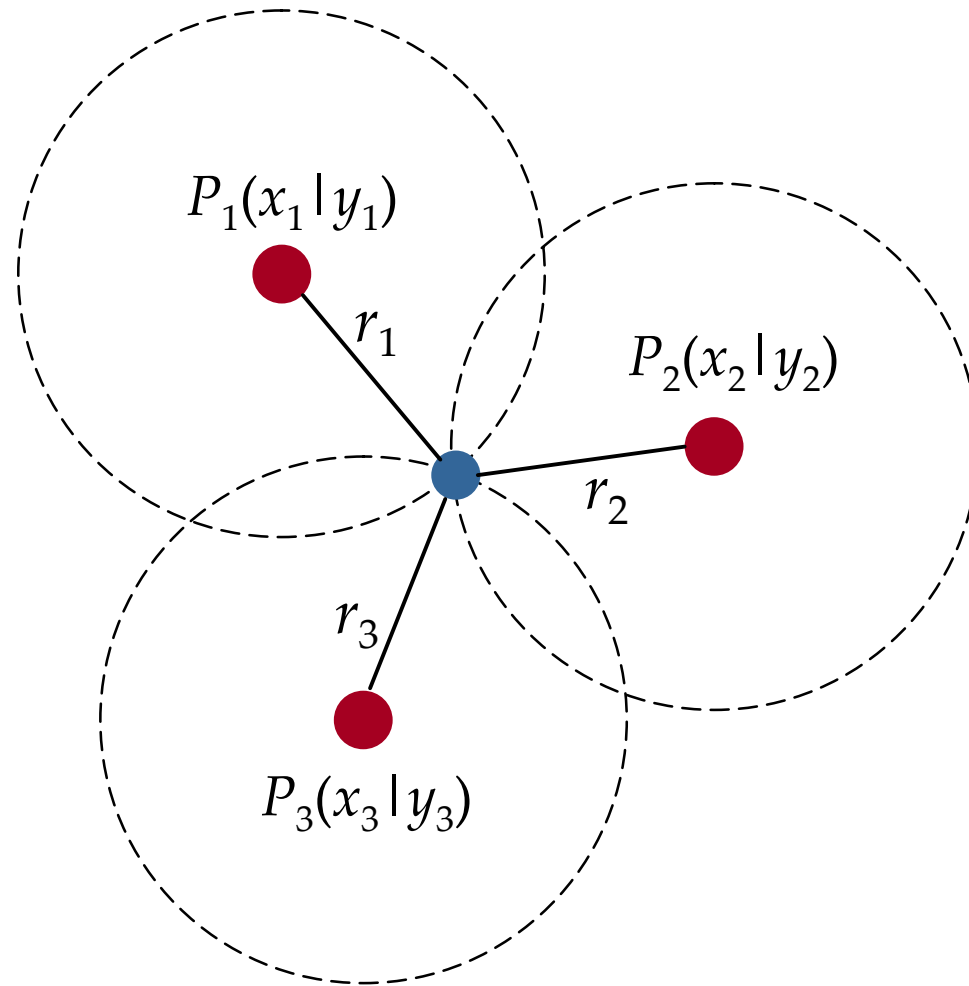
Ein mobiles Objekt (C) wird von zwei stationären Punkten (A, B) mit bekannter Position angepeilt. Gemessen werden die Winkel α und β .

Über die Winkelbeziehungen lässt sich die Lage der unbekannten Position auf der Ebene (2D) in Abhängigkeit zu den bekannten Größen bestimmen.

Triangulation mit Laserscanner und passiven Baken



Trilateration



$$r_1 = \sqrt{(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2}$$

$$r_2 = \sqrt{(x - x_2)^2 + (y - y_2)^2}$$

$$r_3 = \sqrt{(x - x_3)^2 + (y - y_3)^2}$$

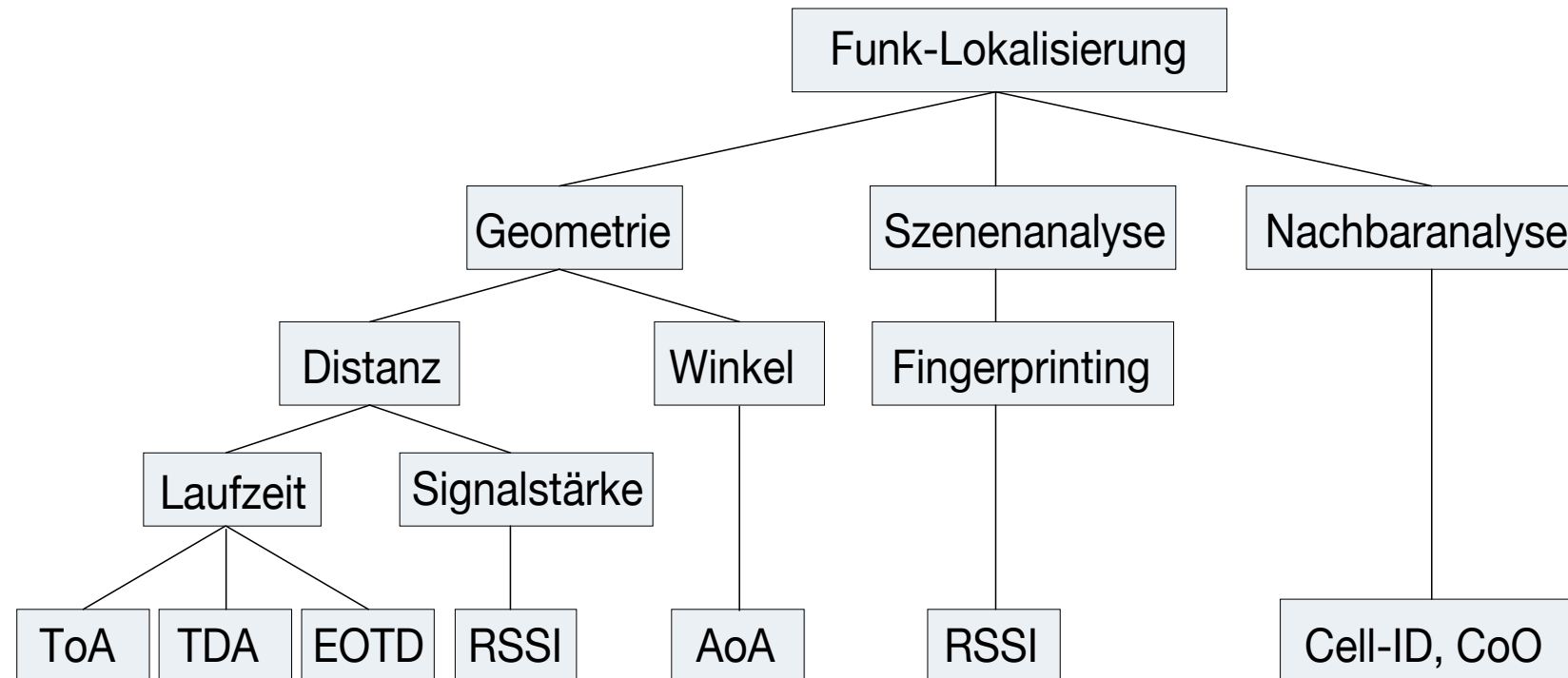
Berechnung der Position x, y

$$r_i = \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2}$$

$$\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \mathbf{H}^{-1} \cdot \mathbf{z}$$

$$\text{mit } \mathbf{H} = \begin{pmatrix} 2 \cdot x_1 - 2 \cdot x_2 & 2 \cdot y_1 - 2 \cdot y_2 \\ 2 \cdot x_1 - 2 \cdot x_3 & 2 \cdot y_1 - 2 \cdot y_3 \end{pmatrix} \quad \text{und} \quad \mathbf{z} = \begin{pmatrix} r_2^2 - r_1^2 + x_1^2 - x_2^2 + y_1^2 - y_2^2 \\ r_3^2 - r_1^2 + x_1^2 - x_3^2 + y_1^2 - y_3^2 \end{pmatrix}$$

Klassifizierung der Funklokalisierungstechniken



RFID-Lokalisierung mit NaviFloor® (Nachbarschaftsanalyse)

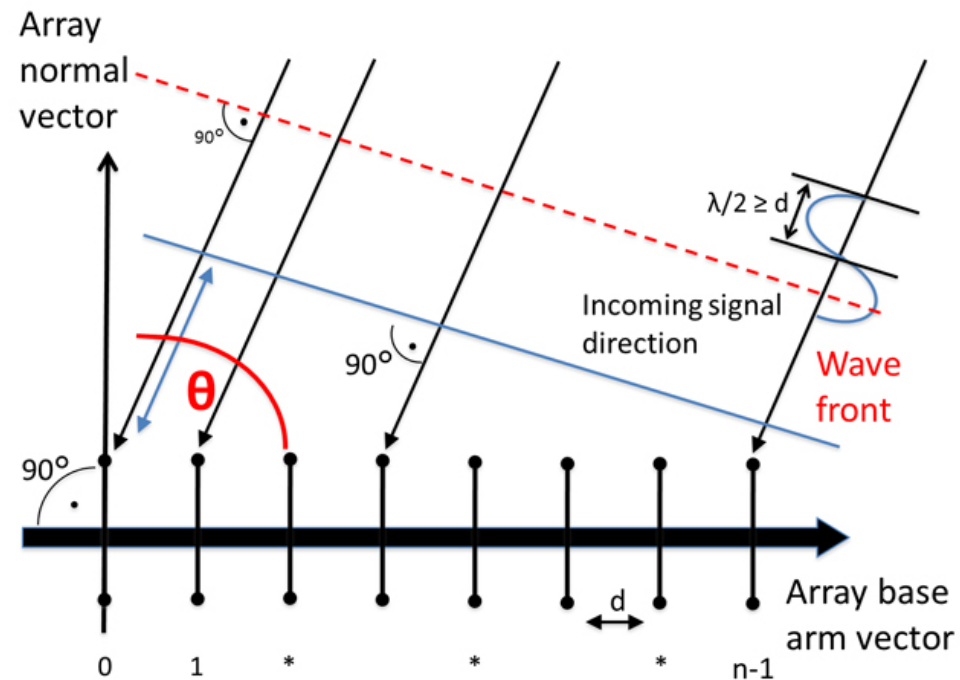
- NaviFloor ist ein RFID-Underlay zur Roboter-Navigation, der unter handelsübliche Bodenbeläge gelegt wird (z.B. Parkett, Laminat und Teppichböden).
- Der damit ausgerüstete Boden enthält unsichtbaren Landmarken auf der Basis von RFID-Tags.
- Über ein RFID-Lesegerät kann die ID eines RFID-Tags und damit die Position des mobilen Geräts bestimmt werden.



NaviFloor® in der Otto-Hahn-Straße

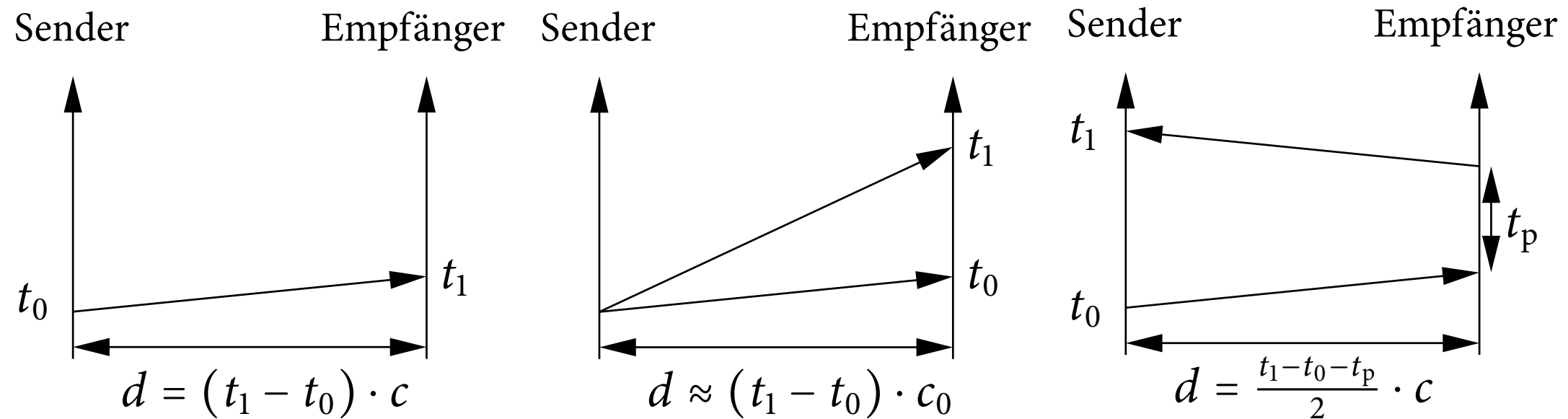


Angle of Arrival mit BlackFIR 2.4



Die Messung des Einfallswinkels basiert auf der Messung der Phasendifferenz zwischen den einzelnen Antennensegmenten.

Time of Arrival (ToA), Time Difference of Arrival (TDoA), Round-trip Time of Flight (RToF)



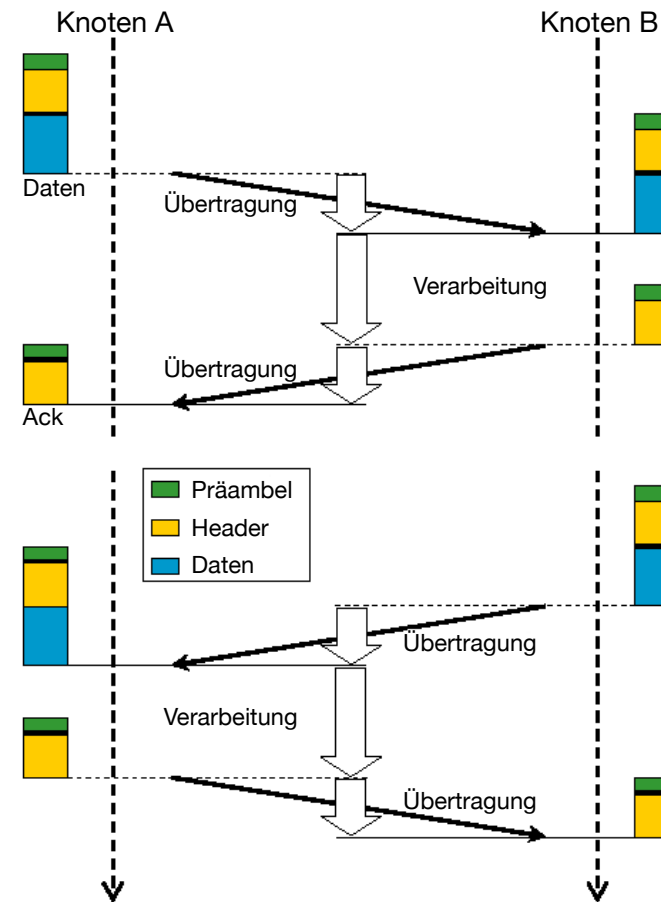
mit d Abstand, c Ausbreitungsgeschwindigkeit (Lichtgeschwindigkeit),

c_0 Ausbreitungsgeschwindigkeit des zweiten Signals (Schallgeschwindigkeit)

Symmetrical Double-Sided Two-Way Ranging (SDS-TWR)

- Problem von TOA: Synchronisation der Uhren von Sender und Empfänger
- Durch Messung der Roundtrip Time of Flight (RToF) kann auf die Uhrensynchronisation verzichtet werden.
- Problem von RToF: Uhrenabweichung (Clock Drift, Quarz-Toleranz) führt zu Ungenauigkeiten.
- Durch doppelseitige Messung der RToF wird der Einfluss der Uhrenabweichung ausgeglichen.

Symmetrical Double-Sided Two-Way Ranging (SDS-TWR)



$$t_d = \frac{(T_1 - T_2) + (T_3 - T_4)}{4}$$

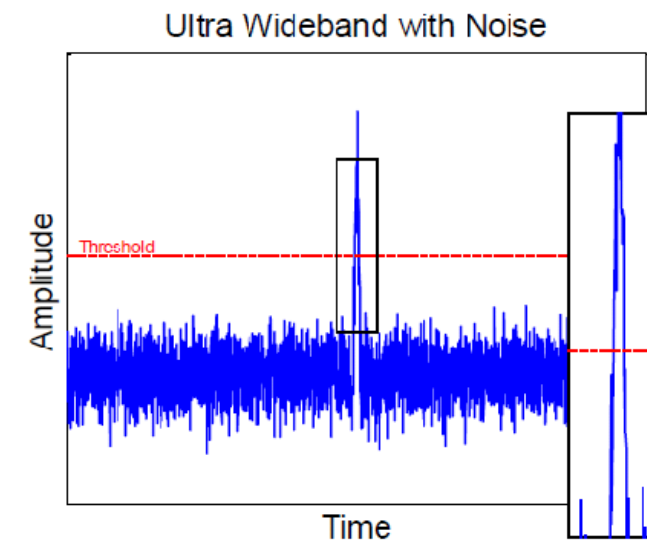
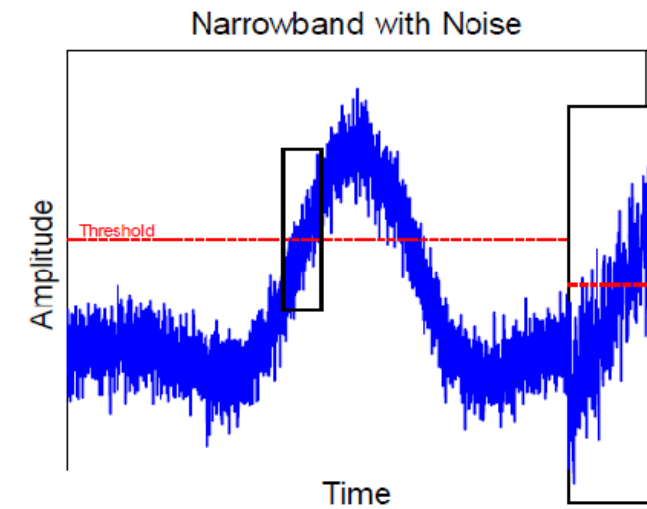
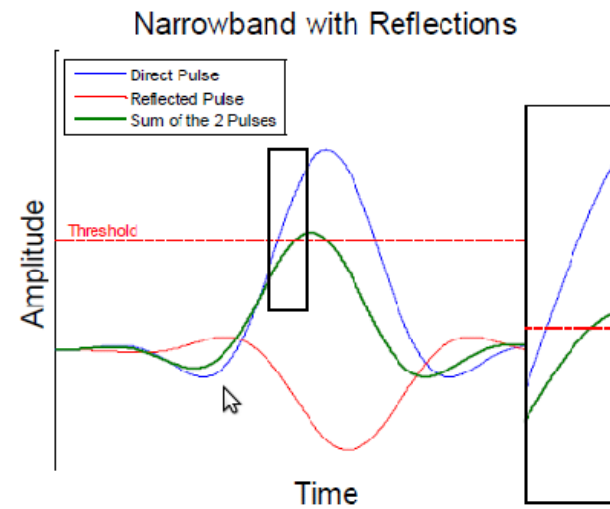
nanoLOC Kommunikations- und Lokalisierungssystem

- Kommunikation und Ranging in einem Chip
- Kommunikation im 2,45 GHz ISM-Band
- Modulation: *Chirp Spread Spectrum (CSS)*
- Robust gegen Multi-Path-Fading
- Hohe Effizienz des Spektrums und der Energie
- Lokalisierung mittels *Symmetrical Double-Sided Two-Way Ranging (SDS-TWR)*
- Genauigkeit im Ranging 1 m

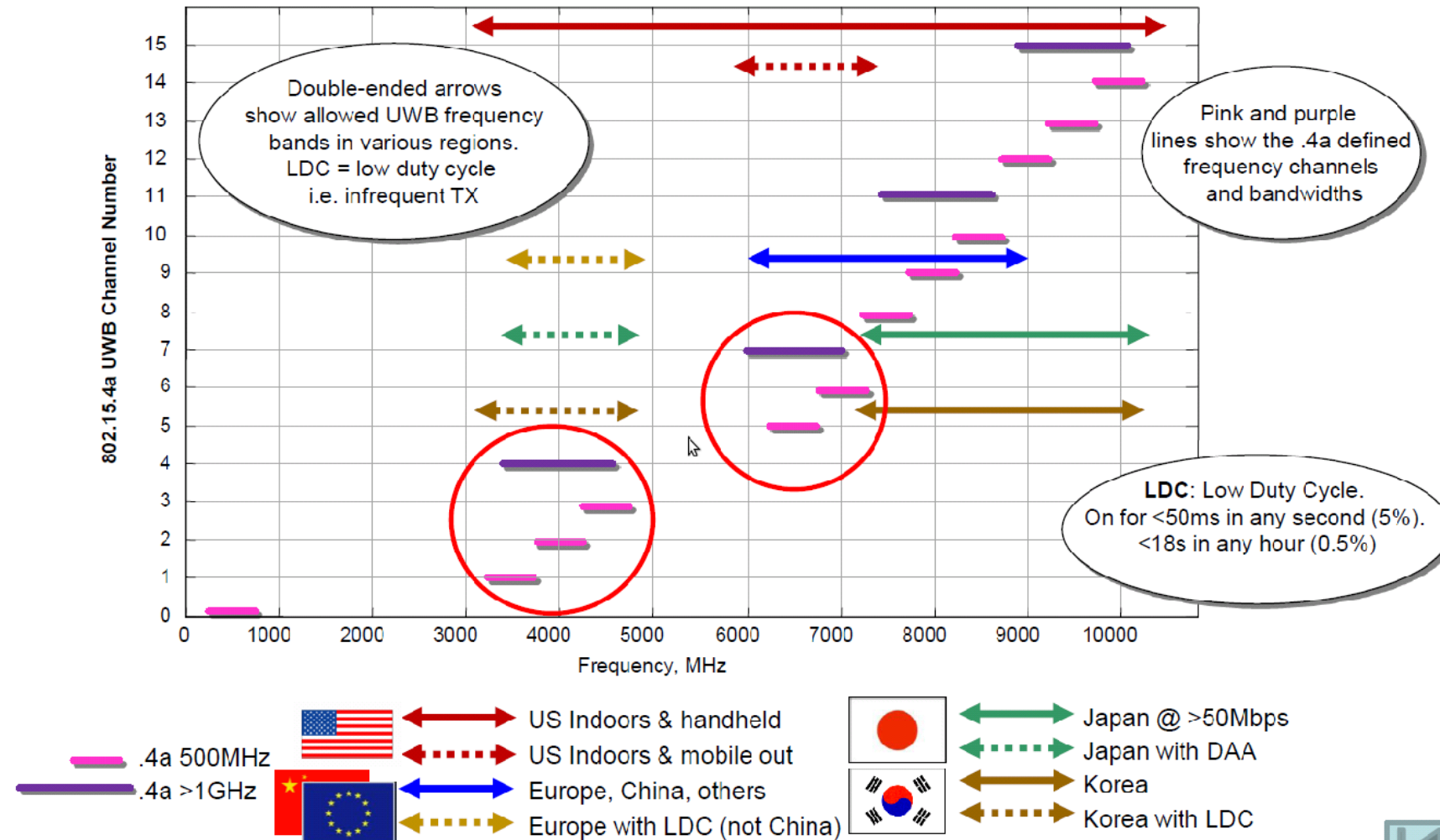
Decawave DW1000 ScenSor, IEEE 802.15.4-2011 UWB Lokalisierung

- Kommunikation und Ranging in einem Chip
- 110 kbit/s, 850 kbit/s und 6.8 Mbit/s Datenrate
- 6 UWB Frequenzbänder 3.5GHz bis 6.5 GHz mit 500 MHz oder 1 GHz Bandbreite
Kanäle 1 bis 7 von IEEE 802.15.4-2011
- UWB Bi-Phase Modulation (BPM) oder Binary Phase-Shift Keying (BPSK)
- Genauigkeit im Ranging bis zu 10 cm

Decawave DW1000 ScenSor, Vergleich UWB mit Schmalband



Decawave DW1000 ScenSor, Frequenzkanäle



Decawave DW1000 ScenSor, Reichweite

Rate	DW1000 IC		
	Channel 2 (4GHz, 500MHz)	Channel 5 (6.5GHz, 500MHz)	Reported Range Variation ($\pm 3\sigma$ ***)
Long Range Configuration, 1ppm XTAL Offset, 10% PER			
110kb/s	249m*	153m*	10 cm
Default configuration, 10ppm XTAL Offset, 1% PER [Sensitivity, WSN Data]			
110kb/s	144m	89m	10 cm
850kb/s	135m	83m	10 cm
6800kb/s**	102m	63m	10cm
Default configuration, 10ppm XTAL Offset, 10% PER [RTLS]			
110kb/s	226m	136m	10 cm
850kb/s	152m	94m	10 cm
6800kb/s**	115m	71m	10 cm

* At Channel 1 (3.5GHz); this figure is 284m for 110kb/s. **: 6 dB gating gain applied for 128 length preamble; *** : Measured with 2W Ranging

UWB-Lokalisierung des TurfRobots auf der Messe FSB 2017



Positionsbestimmung mittels Odometrie

- Grundlegendes Lokalisierungsverfahren für bodengebundene Fahrzeuge aller Art
- Positionsbestimmung eines Fahrzeuges durch die Beobachtung seiner Räder
- Bei mobilen radgetriebenen Robotern ist die Odometrie eines der einfachsten und dadurch eines der häufigsten Verfahren zur Lokalisierung.
- Die Odometriefehler addieren sich mit jedem Messschritt, und mit länger dauernder Messung entsteht ein immer größerer Positionsfehler.
- In der Regel wird die Odometrie durch weitere Sensorik ergänzt (z. B. GPS), um den Positionsfehler zu begrenzen.

Odometrie für einen mobilen Roboter mit Differentialantrieb

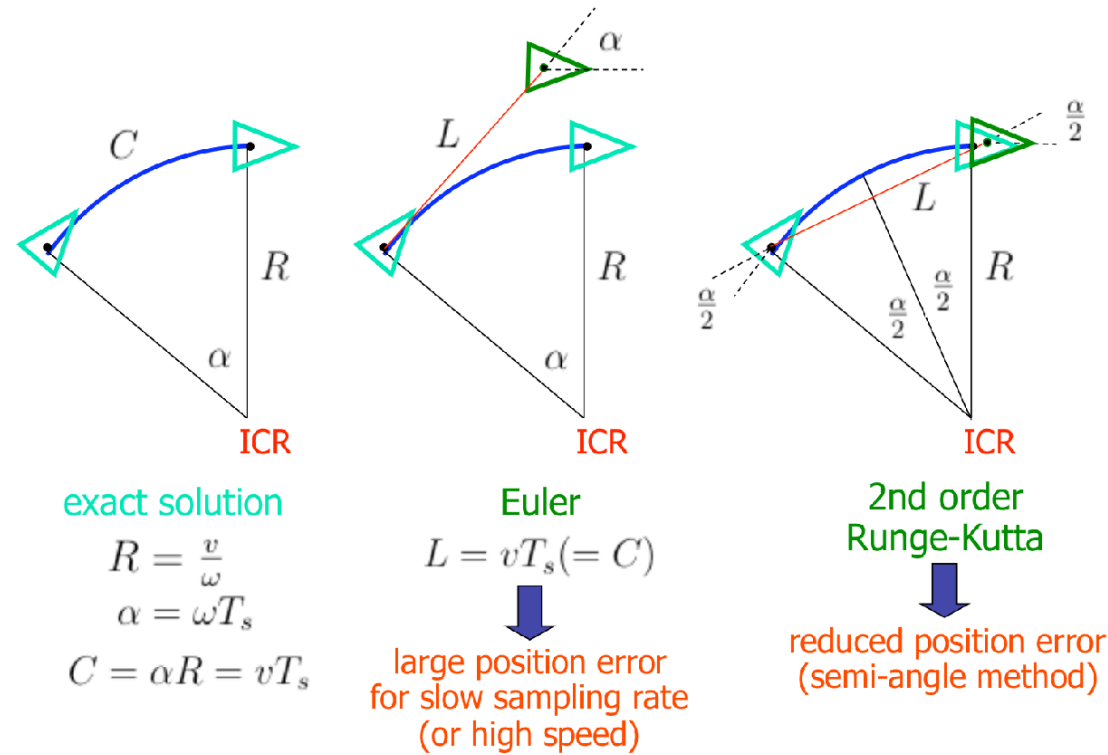
- Berechnung der Position über die Bewegungsmessung der Räder über Radencoder (Inkrementalgeber)
- Gemessen wird der zurückgelegte Drehwinkel der Räder in äquidistanten Zeitabständen T :

$$\Delta\varphi(t) = \varphi(t) - \varphi(t - T)$$
- Es wird angenommen, dass sich die Radgeschwindigkeiten innerhalb eines Abtastintervalls nur geringfügig ändern.
- Ausgehend von einer bekannten Startposition kann die aktuelle Position in Weltkoordinaten durch fortlaufendes Aufsummieren aller Positionsänderungen $(\Delta x_W, \Delta y_W, \Delta\theta)$ berechnet werden.
- $$\Delta\theta_W = \Delta\theta_R = \Delta\theta = \int_{t-T}^t \dot{\theta}(\tau) d\tau = \frac{r}{b} \int_{t-T}^t (\dot{\varphi}_r(\tau) - \dot{\varphi}_l(\tau)) d\tau = \frac{r}{b} (\Delta\varphi_r - \Delta\varphi_l)$$

$$\begin{aligned}\Delta x_W &= \int_{t-T}^t \dot{x}_R(\tau) \cdot \cos(\theta(\tau)) \, d\tau = \frac{r}{2} \int_{t-T}^t (\dot{\varphi}_l(\tau) + \dot{\varphi}_r(\tau)) \cdot \cos(\theta(\tau)) \, d\tau \\ &\approx \frac{r}{2} (\Delta\varphi_l + \Delta\varphi_r) \cdot \cos\left(\theta + \frac{\Delta\theta}{2}\right)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta y_W &= \int_{t-T}^t \dot{y}_R(\tau) \cdot \sin(\theta(\tau)) \, d\tau = \frac{r}{2} \int_{t-T}^t (\dot{\varphi}_l(\tau) + \dot{\varphi}_r(\tau)) \cdot \sin(\theta(\tau)) \, d\tau \\ &\approx \frac{r}{2} (\Delta\varphi_l + \Delta\varphi_r) \cdot \sin\left(\theta + \frac{\Delta\theta}{2}\right)\end{aligned}$$

Fehlerbetrachtung bei verschiedenen Odometrieberechnungen



$$L = v \cdot T = \frac{r}{2}(\Delta\varphi_l + \Delta\varphi_r)$$

$$\alpha = \omega \cdot T = \Delta\theta = \frac{r}{b}(\Delta\varphi_r - \Delta\varphi_l)$$

Zusammenfassung

- **Interne Sensorik** liefern Messwerte zu den *inneren* Zuständen eines robotischen Systems.
- **Micro-Electro-Mechanical System (MEMS)** können Beschleunigungen oder Drehgeschwindigkeiten (**Gyroskop**) messen.
- **Inkrementalgeber** (Incremental Encoder) erfassen Lageänderungen (linear oder rotierend) inkrementell.
- **Externe Sensoren** stellen einen Bezug zur Außenwelt des Roboters her.
- Die **Navigation** ist das (automatische) Steuern eines Fahrzeugs / mobilen Roboters zu einem gewünschten Zielpunkt. Sie besteht aus den Teilaufgaben **Lokalisierung** (Ortsbestimmung), **Bahnplanung** (Ermitteln der besten Route zum Zielpunkt) und **Bahnregelung** (Bahnverfolgung) unter der Vermeidung von Hindernissen (**Kollisionsvermeidung**) (S. 217).

Lernziele

- Sie kennen den Unterschied zwischen interner und externer Sensorik.
- Sie kennen die grundlegenden internen und externen Sensoren die in der Robotik Verwendung finden.
- Sie kennen die Sensoren die zur Positionsbestimmung stationärer Roboter verwendet werden.
- Sie kennen den Unterschied zwischen Binärcode und Graycode.
- Sie kennen die Funktionsweise von Inkrementalgebern und wissen wofür ein Referenziervorgang notwendig ist und wie dieser abläuft.
- Sie kennen die Funktionsweise der Vierfachausswertung von Inkrementalgebersignalen.
- Sie kennen die Grundprinzipien der Abstandsmessung und können Sensoren dafür nennen.

- Sie wissen was man unter Näherungsanalyse Szenenanalyse und geometrischer Analyse versteht.
- Sie können die Positionsbestimmung mittels Trilateration und Triangulation erläutern.
- Sie kennen die grundlegenden Verfahren (ToA, TDoA, RToF, AoA) zur Funklokalisierung.
- Sie wissen was man unter Odometrie versteht und wie diese für einen mobilen Roboter mit Differentialantrieb abläuft.
- Sie können Sensoren für vorgegebene Einsatzgebiete auswählen.