

Inhalt



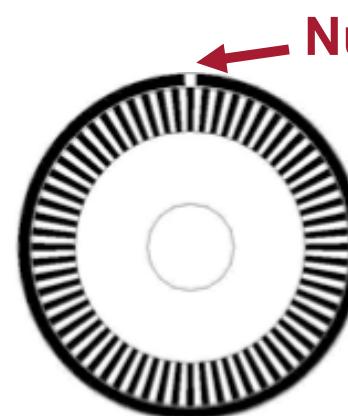
Gliederung

- 3. Sensorik
 - 1. Allgemeines
 - 2. Bewegungsmessung**
 - 3. Ausrichtungsmessung
 - 4. Globale Positionsbestimmung
 - 5. Entfernungsmessung
 - 6. Kamerarund Kameramodelle
 - 7. Ausblick
- 8. Ausblick

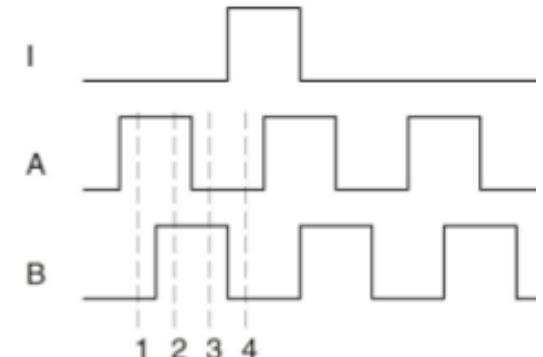
Bewegungsmessung

- ▶ Grundidee: Mit den Achsen rotieren Messscheiben, die optisch ausgelesen werden.
- ▶ Typische Auflösung (“Counts per Revolution”, CPR):
 - ▶ Mobile Robotik ~2000 CPR
 - ▶ Industrieroboter ~10.000 CPR (counts per revolution).
- ▶ Bei bekannter Übersetzung: Anzahl Umdrehungen x Radumfang = Wegstrecke
- ▶ **Odometrie**

Viele Ablesepunkte
phasenversetzt
(höhere Auflösung,
Drehrichtung)



Nulldurchgang



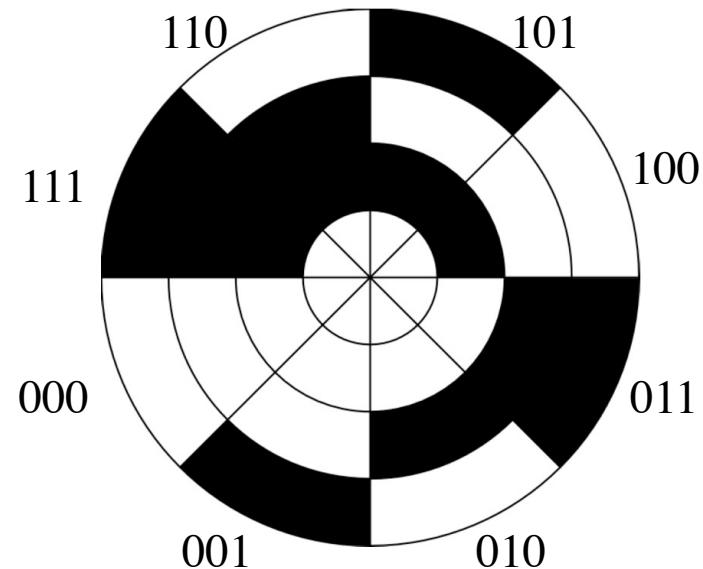
Inkrementalgeber

Nachteil: Absolute Gelenkstellung nicht messbar.

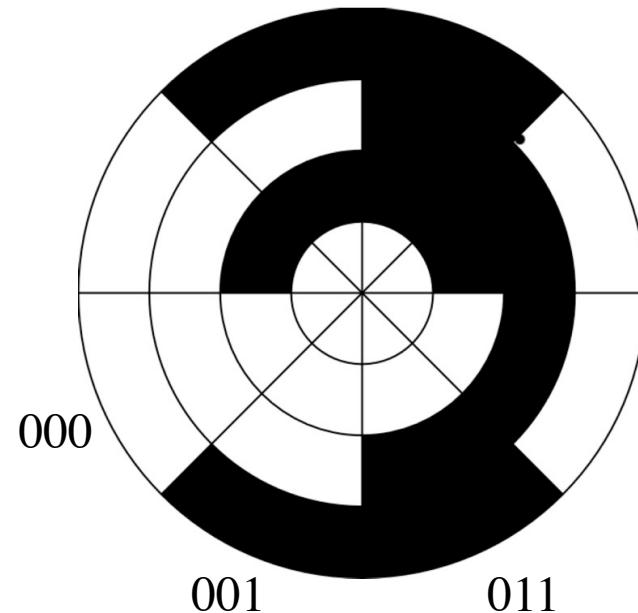
- Beim Einschalten erst „Räkeln“ bis zu einer Absolut-Marke

Absolutgeber

- ▶ Erlauben direktes Ablesen des Gelenkwinkels (auch bei Stillstand)



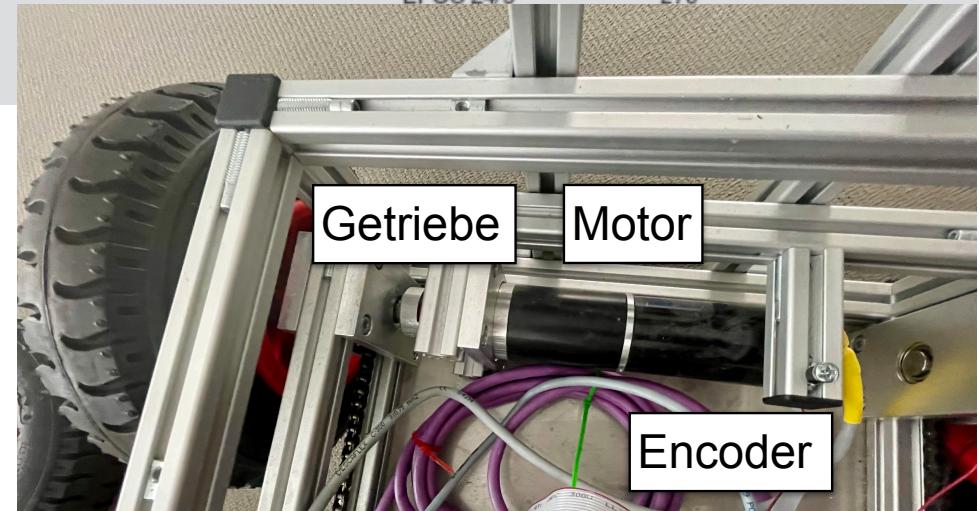
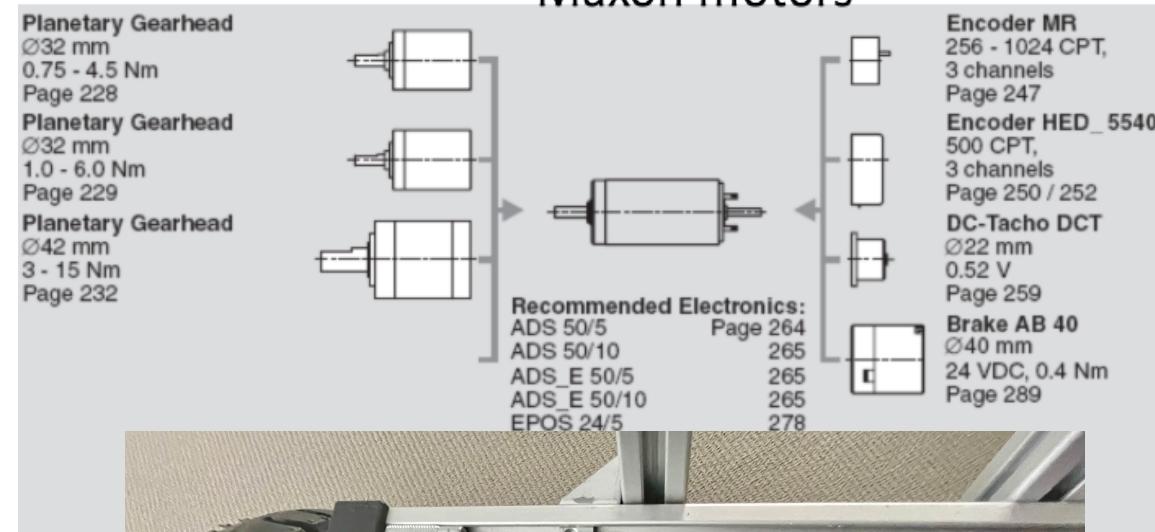
Binärer Absolutgeber (3 Bit)



Graycode-Absolutgeber (3 Bit)
(Robuster gegen Ablesefehler beim
Sektorübergang)

Encoder beim Volksbot

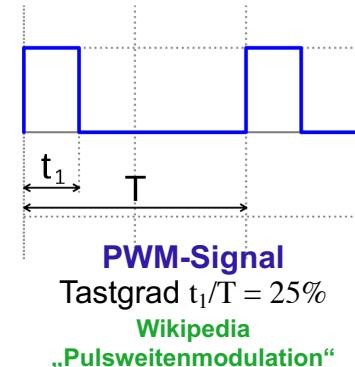
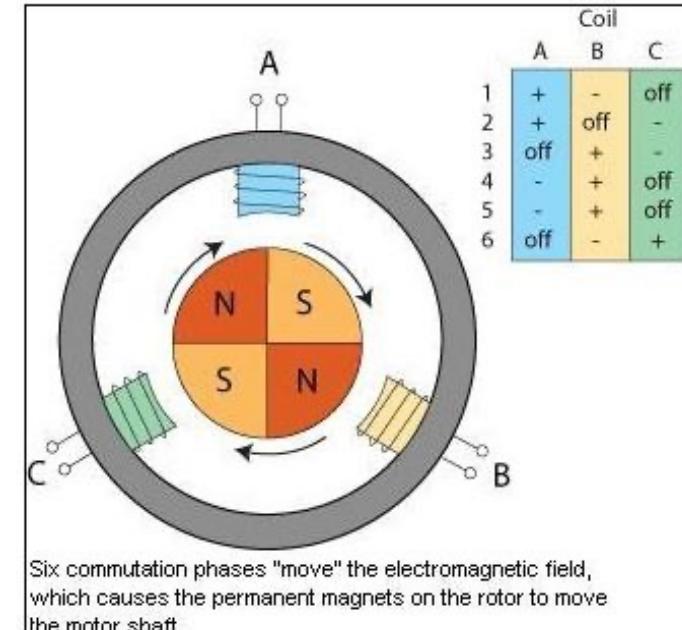
- ▶ Inkrementalgeber sind direkt am Motor angebracht
- ▶ Vorteile:
 - Einfach und robust
 - Eine Baueinheit
 - Günstig
- ▶ Nachteile:
 - Getriebe zwischen Motor und Rädern erzeugen Ungenauigkeiten
 - Getriebetoleranzen
- ▶ CPR: 5.000 bis 20.000
- ▶ Wie kann man die CPR-Anzahl bestimmen?
 - Empirisch!



- ▶ Für **Gleichstrommotoren**:
 - hohe Spannung am Motor ➔ schnell
 - niedrige Spannung ➔ langsam
 - Wechsel \oplus, \ominus ➔ Drehrichtungswechsel
 - Verbinde \oplus, \ominus (Motor wird Generator) ➔ Bremsen

- ▶ Wie reguliert man Motorspannung?
 - über Widerstand ➔ Verlustleistung (Wärme)

- ▶ **PWM (Pulsweitenmodulation)**
 - schalte Spannung periodisch voll und null
 - dadurch Regelung des Mittelwerts/Integrals pro T
 - feste Auflösung über festem Zeitintervall
 - KURT-Roboter: 0 – 1024, 0 entspricht Vollgas



Robotik

Priv.-Doz. Dr. Thomas Wiemann
Institut für Informatik
Autonome Robotik

SoSe 2021



Wdh.: Grobklassifikation

► Propriozeptiv vs. exterozeptiv („nach innen“ – „nach außen“)

- Propriozeptiv: Misst Aspekte des Roboterzustands
z.B. Batterieladung, Gelenkwinkel, Radumdrehungen
- Exterozeptiv: Miss Aspekte der Umgebung oder des Verhältnisses Roboter/Umgebung
z.B. Außentemperatur, Fahrgeschwindigkeit, Wandabstand
- keine scharfe Unterscheidung
z.B. Radumdrehung / $s \times$ Radumfang \sim Fahrgeschwindigkeit

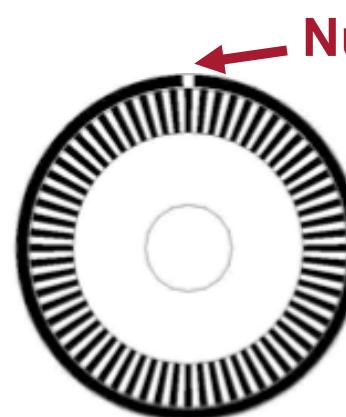
► Aktiv vs. Passiv

- Aktiv: Miss Umgebungsantwort auf gesendete „Energie“
z.B. Laserscanner, Ultraschallsensoren
- Passiv: Miss Signale/Werte, die „von allein“ kommen
z.B. Kamera, Mikrofon
- praktisch ebenfalls unscharfe Unterscheidung
z.B. „Anregung“ der Umgebung durch Blitzlicht

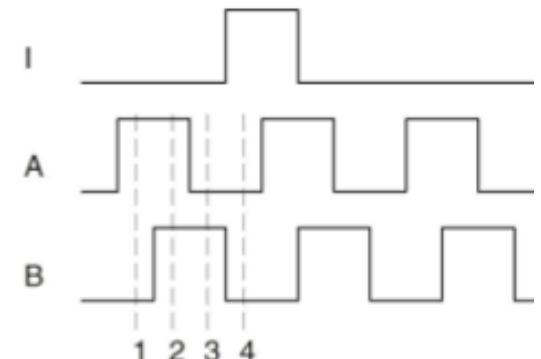
Wdh.: Bewegungsmessung

- ▶ Grundidee: Mit den Achsen rotieren Messscheiben, die optisch ausgelesen werden.
- ▶ Typische Auflösung (“Counts per Revolution”, CPR):
 - ▶ Mobile Robotik ~2000 CPR
 - ▶ Industrieroboter ~10.000 CPR (counts per revolution).
- ▶ Bei bekannter Übersetzung: Anzahl Umdrehungen x Radumfang = Wegstrecke
- ▶ **Odometrie**

Viele Ablesepunkte
phasenversetzt
(höhere Auflösung,
Drehrichtung)



Nulldurchgang



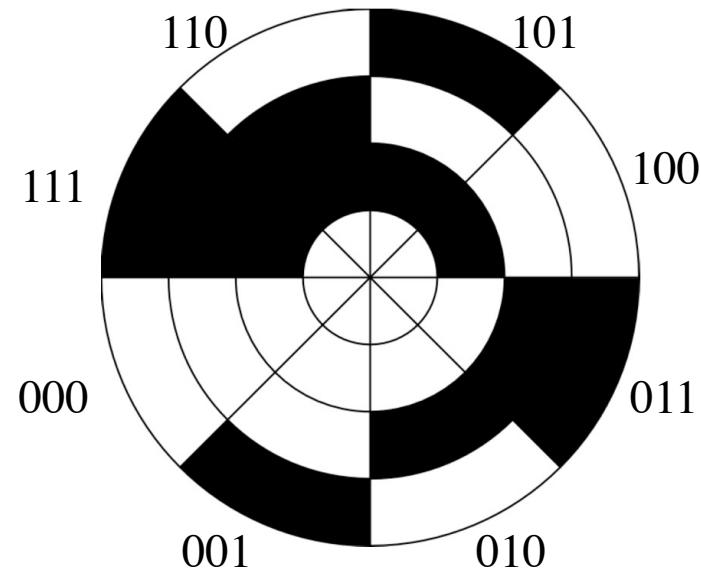
Inkrementalgeber

Nachteil: Absolute Gelenkstellung nicht messbar.

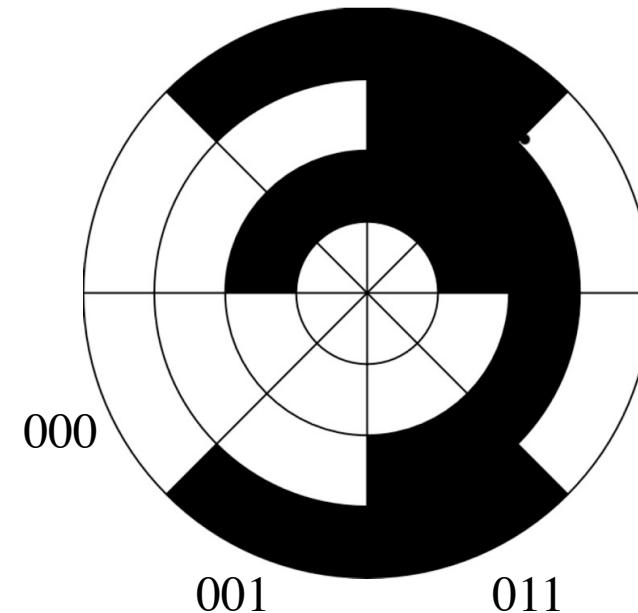
- ▶ Beim Einschalten erst „Räkeln“ bis zu einer Absolut-Marke

Wdh: Absolutgeber

- ▶ Erlauben direktes Ablesen des Gelenkwinkels (auch bei Stillstand)



Binärer Absolutgeber (3 Bit)



Graycode-Absolutgeber (3 Bit)
(Robuster gegen Ablesefehler beim
Sektorübergang)



Gliederung

- 3. Sensorik
 - 1. Allgemeines
 - 2. Bewegungsmessung
 - 3. Ausrichtungsmessung**
 - 4. Globale Positionsbestimmung
 - 5. Entfernungsmessung
 - 6. Kamerarund Kameramodelle
 - 7. Ausblick

Beschleunigungssensoren

- ▶ Zuweilen mit Bewegungssensoren identifiziert, da Richtung und Betrag über Integral der Beschleunigungen ermittelbar
 - Richtung, Geschwindigkeit: eher exterozeptiv;
 - Beschleunigung: eher propriozeptiv!
 - Dreh- und Linearbeschleunigung messbar

$$m \cdot \ddot{\underline{s}}(t) = m \cdot \frac{d^2 \underline{s}(t)}{dt^2} = m \cdot \underline{a}(t) = \sum_J \underline{F}^J$$

Erinnerung:

$$\text{Erdbeschleunigung } g = 9,81 \frac{m}{s^2}$$

Accelerometer / Linearbeschleuniger

- ▶ Idee: Nutze Massenträgheit aus, um Beschleunigung in definierten Richtungen in direkt messbare Größen (z.B. Druck, Kapazitätsänderung, Magnetfeldänderung) zu messen.
- ▶ Einsatzbeispiele
 - ▶ Vibrationsmessung in Autos, Gebäuden und Maschinen
 - ▶ Seismische Aktivität
 - ▶ Entfernungsmessung
 - ▶ Einfluss der Gravitation

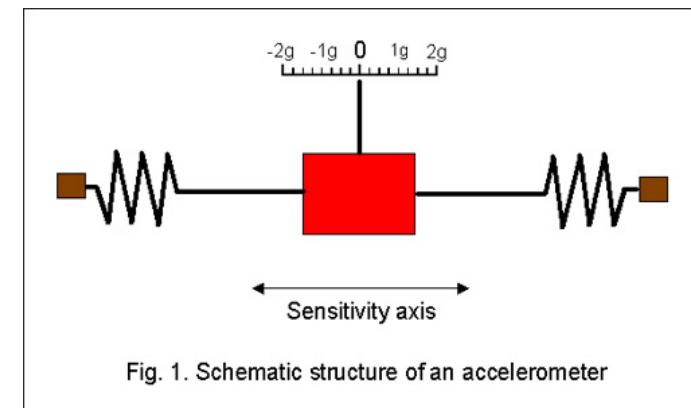
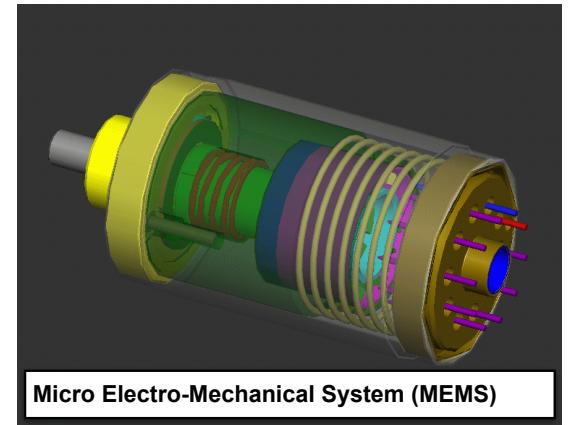


Fig. 1. Schematic structure of an accelerometer



Micro Electro-Mechanical System (MEMS)

Vorsicht systematischer Fehler!

Um g rauszurechnen, muss Winkel zur Gravitationsachse recht genau bekannt sein!

Typische Werte

	Passiver Be-schleunigungs-aufnehmer	Aktiver Beschleu-nigungsaufnehmer	Schwingstab-Aufnehmer	Servo-Beschleuni-gungsaufnehmer
Messbereich	$\pm 2000 \text{ g}$	$\pm 500 \text{ g}$	$\pm 70 \text{ g}$	$\pm 25 \text{ g}$
Auflösung	0,1 g	0,01 g	10 μg	< 1 μg
Bandbreite	0...5.000 Hz	1...10.000 Hz	0...400 Hz	0...800 Hz
Linearitätsfehler	< 1 %	< 1 %	< 175 ppm ¹⁾	< 60-125 ppm ¹⁾
Bias	<50 g	---	< 2 mg ¹⁾	< 10-100 $\mu\text{g}^1)$
Schock	10.000 g	5.000 g	250 g	150 g
Gesamt-Masse	1 gr	25 gr	10 gr	80 gr

Gyroskope / Gyrometer / Gyros

- ▶ Gibt es mechanisch, elektromechanisch oder optisch:
 - Misst Beschleunigung relativ zu Drehachse
 - Auflösung preisabhängig bis $<0,01^\circ$
 - Kontinuierliche Messung
 - Verfügbar in vielen Bauvarianten
 - Preis 0,5-50.000€
- ▶ Energiesparend, beliebig hohe Messfrequenz,
- ▶ Erlaubt Bewegung quasi propriozeptiv zu messen
- ▶ Sehr gute Gyroskope sind teuer
- ▶ Achtung Drift durch Erdrotation (s. Foucaultsches Pendel)
- ▶ Viele von Ihnen haben ein ordentliches Gyro in der Tasche

Prinzip des mechanischen Gyroskops

τ : torque (Drehmoment)

I : inertia (Trägheit)

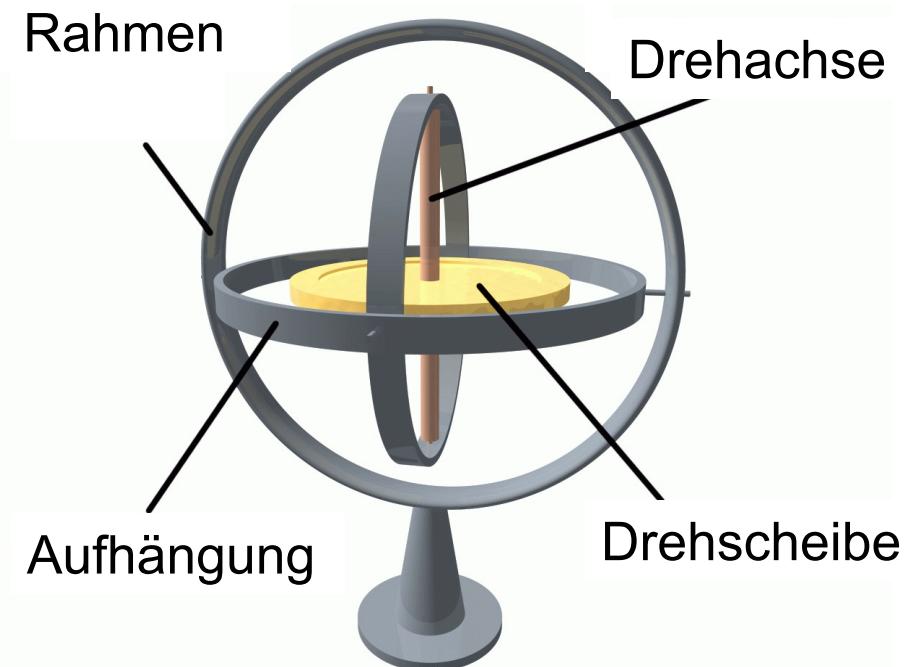
ω : Drehgeschwindigkeit

Ω : Präzession

Präzession:

Lageveränderung der Achse eines rotierenden Kreisels, wenn äußere Kräfte auf ihn einwirken.

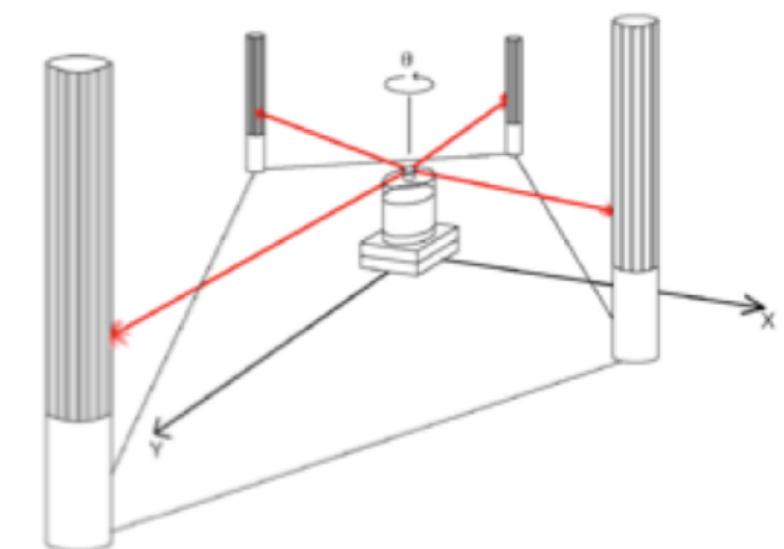
$$\tau = I\omega\Omega$$



- ▶ Gyros auf bezahlbaren Robotern: MEMS oder **piezoelektrisch**
- ▶ **Faseroptische Gyroskope** ersetzen Messung d. mechanischen Auslenkung durch Messung der Phasendifferenz von Laserstrahlen

Bewegungsmessung mit Beacons

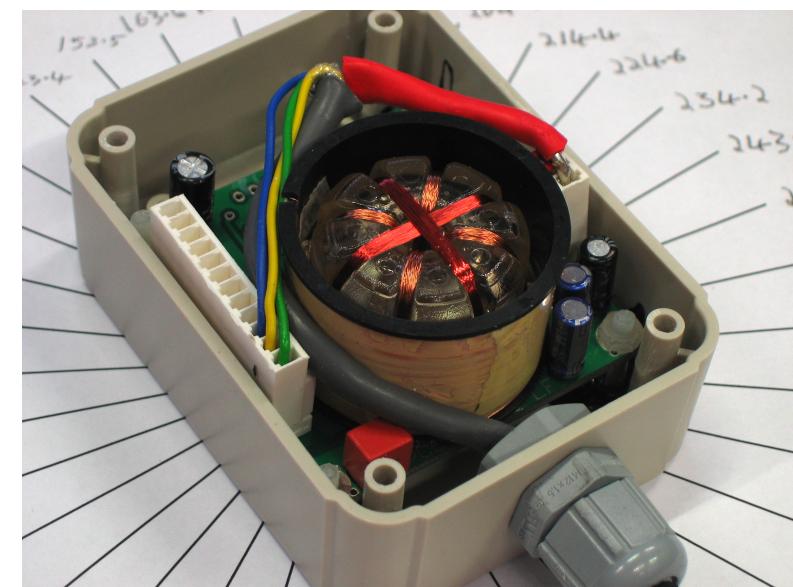
- ▶ Beispiel: Roomba's "Virtual Wall" Markiert berei
- ▶ "Place a virtual wall wherever you want Roomba to keep out"
- ▶ Poseschätzung durch Messung der Orientierung zwischen einer bekannten Landmarke ("Beacon") via Triangulation
- ▶ Ein "**don't**" im wissenschaftlichen Kontext
- ▶ In der Praxis (Industrie und Geodäsie) aber weit verbreitet



Ausrichtungsmessung

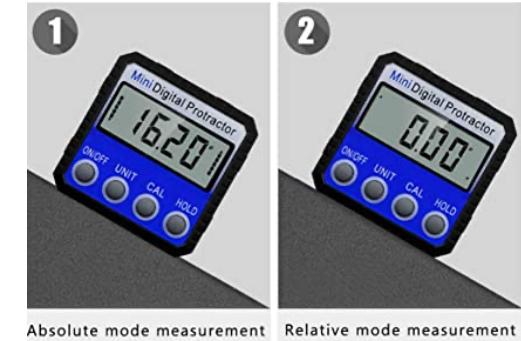
► Kompass (Flux-Gate, Hall-Effekt):

- Misst globale N-Richtung (Erdmagnetfeld)
- Auflösung ab $\sim 0,1^\circ$ (Flux-G.), $\sim 1^\circ$ (Hall); kontinuierlich;
- verfügbar in vielen Bauvarianten; Preis $\geq 50\text{€}$
- Hall ist billiger und leichter als Flux-Gate
- Billig, energiesparend, (beliebig) hohe Messfrequenz
- Hoch störanfällig: in Gebäuden oft unnütz
- Achtung: Roboter enthalten Elektromotoren!



Neigungsmessung

- ▶ **Inklinometer** (z.B. Quecksilber)
- ▶ Misst Neigung bzgl. Gravitationsvektor
- ▶ (Nick-/Rollwinkel)
 - ▶ Auflösung ab 0,5°
 - ▶ Kontinuierliche Messung;
 - ▶ verfügbar in vielen Bauvarianten; Preis $\geq 3\text{€}$
 - ▶ Billig, energiesparend, (beliebig) hohe Messfrequenz
 - ▶ Billige Varianten meist unpräzise & träge
 - ▶ Auch das haben Sie in Ihrem Smartphone
- ▶ ... vermutlich über MEMS Inertialsensor realisiert



Inhalt



Gliederung

- 3. Sensorik
 - 1. Allgemeines
 - 2. Bewegungsmessung
 - 3. Ausrichtungsmessung
 - 4. Globale Positionsbestimmung**
 - 5. Entfernungsmessung
 - 6. Kamerarund Kameramodelle
 - 7. Ausblick

GNSS - Global Navigation Satellite System

► GNSS-Systeme verschiedener Nationen:

- USA: Global Positioning System (GPS)
Gestartet 1978, operativ seit 1995
Typische Genauigkeit: ca. 5 m
- Russland: GLONASS
Gestartet 1982, operativ seit 2011
Typische Genauigkeit: ca. 5 m
- Europa: Galileo
Gestartet 2011, operativ seit 2016 (26 / 30 Satelliten in 2019)
Typische Genauigkeit: ca. 1 m
- China: BeiDou
Gestartet 2000, operativ in China seit 2021 (nicht global verfügbar)
Geschätzte Genauigkeit: ca. 10 m
- Indien: India Regional Navigation Satellite System (IRNSS/NAVIC)
Gestartet 2013, regional funktionstüchtig seit 2016
Typische Genauigkeit in der Zielregion: 10 m

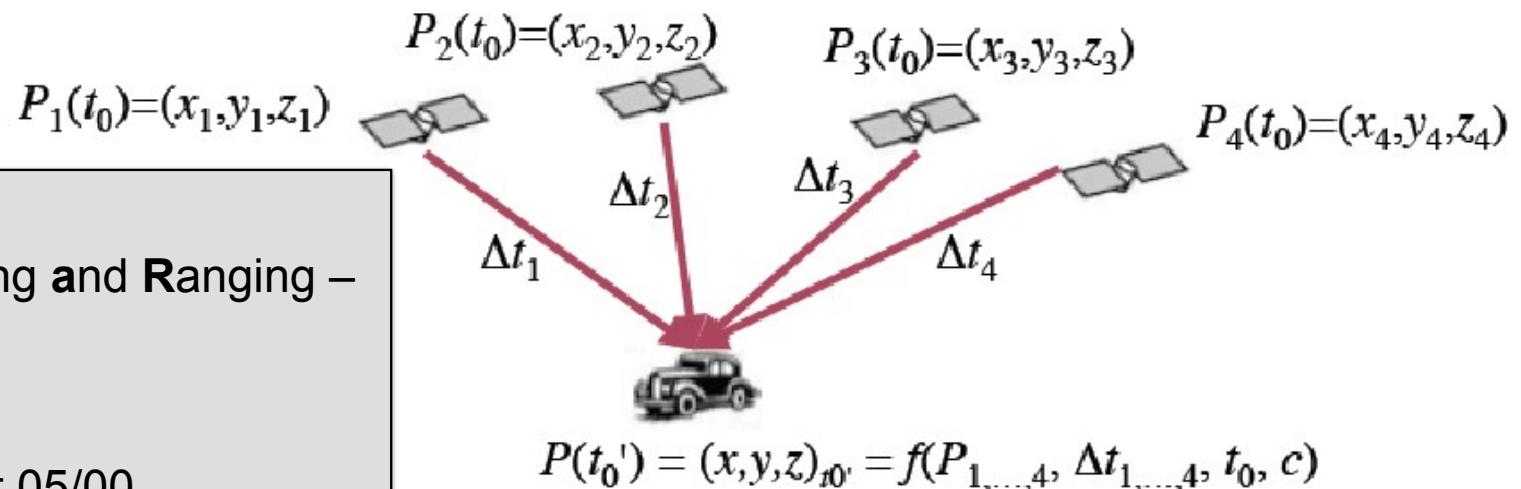
Globale Positionsbestimmung

- ▶ Viele (21+3) Satelliten senden synchron (initial synchronisierte Atomuhren mit Update) ihre aktuelle Position zur Erde
- ▶ Mobile Einheit („Rover“) ermittelt aus Laufzeitdifferenzen von mindestens drei Signalen seine (x,y,z)-Position
- ▶ 3 Gleichungen mit 3 Unbekannten – mangels Synchronisation des Rovers praktisch immer 4 Signale nötig: vierte Variable t_0'

NAVSTAR GPS

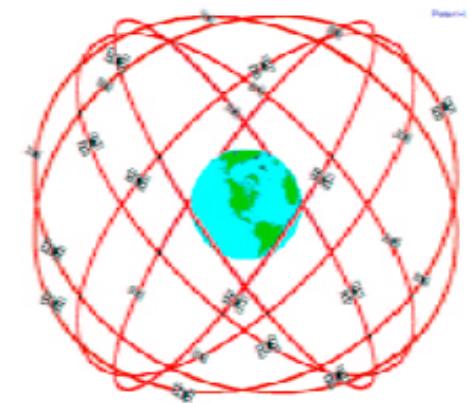
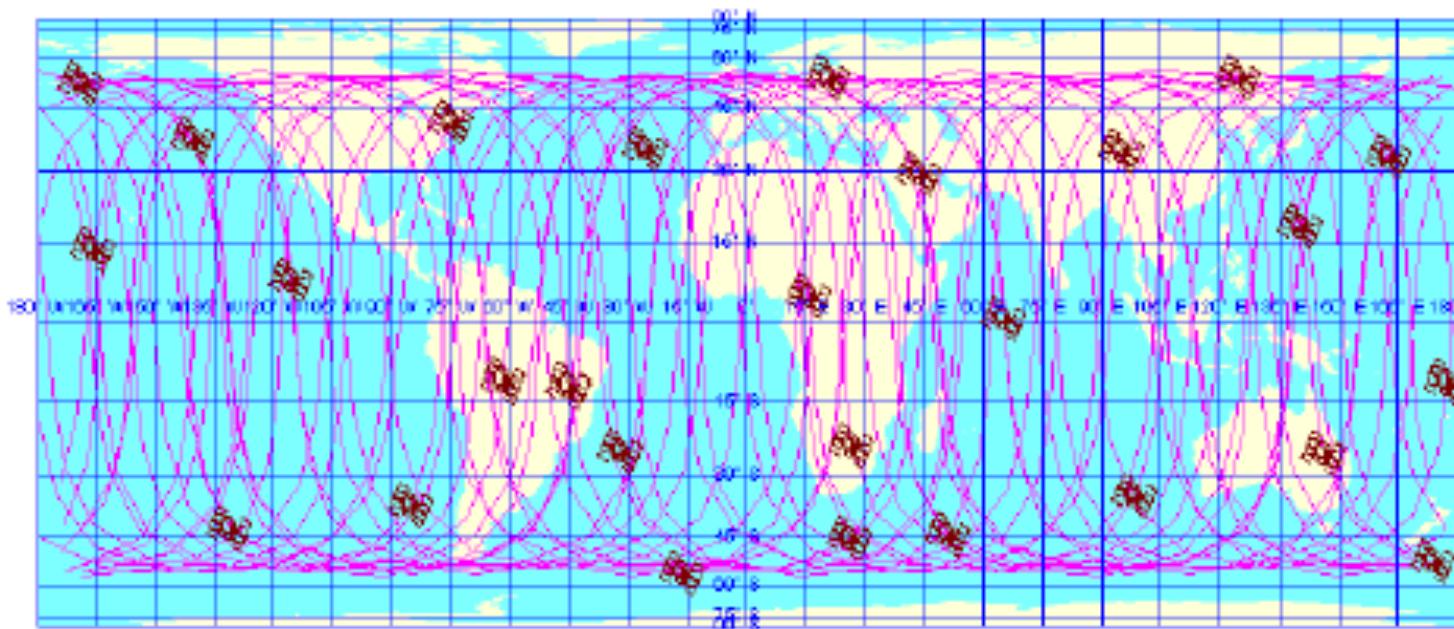
(**N**avigational **S**atellite **T**iming and **R**anging –
Global **P**ositioning **S**ystem)

- läuft seit 07/1995
- ohne künstl. Störung seit 05/00



GPS Satelliten

- ▶ 21 Satelliten (+ 3 Ersatz) umkreisen die Erde in 20.200 km alle 12 h
- ▶ Bahnneigung je 55° gegen Äquatorebene.
- ▶ Das Galileo-System der EU befindet sich im Aufbau.



Grenzen des GPS

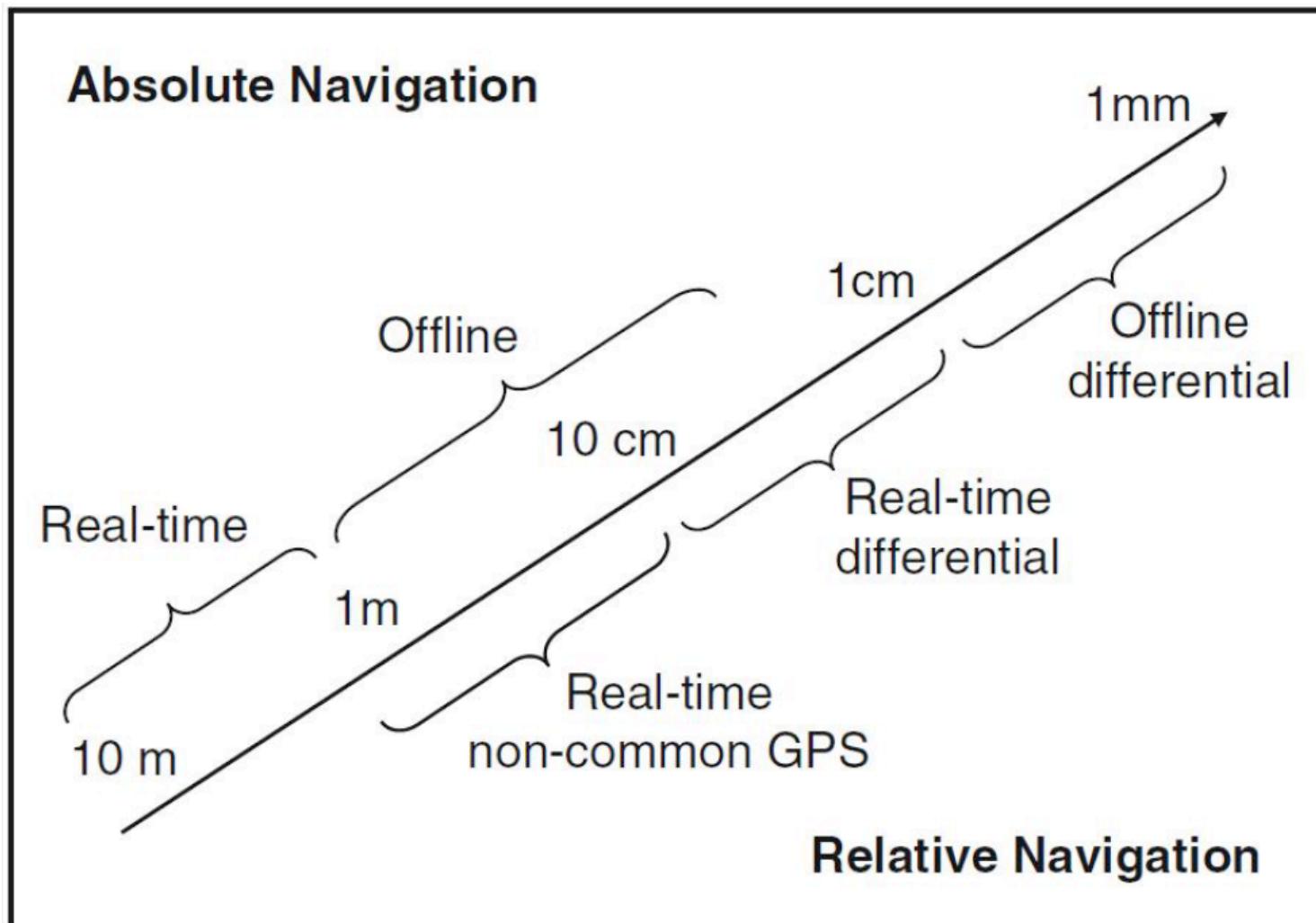
- ▶ Schwache Satellitensignale (Abschirmung durch Mauern, Bäume, ...)
 - Unmöglich in Gebäuden, zwischen Bebauung, Wald etc.
- ▶ Signalreflexion an Wänden
 - Messfehler neben Gebäuden
- ▶ Laufzeitunterschiede durch lokale Atmosphäreneffekte
 - Systematische Messfehler
- ▶ Positionsungenauigkeiten der Satelliten
 - Systematische Messfehler
- ▶ Interferenzen mit anderen Signalen
 - Zufällige Messfehler
- ▶ Präzise Zeitauflösung <ns erforderlich (Licht läuft ca. 0,3m/1ns)
 - Zufällige Messfehler (individuell beim Empfänger)
 - Heute eigentlich kein Problem mehr



GPS zur Lokalisierung

- ▶ Einsatz im Außenbereich
- ▶ Positionen bei Ausfall der GPS-Messung werden interpoliert („Auto fährt in einen Tunnel“)
- ▶ Besser DGPS (Differenzielles) oder RTK (Real Time Kinematic) GPS
 - Stationärer Sender mit bekannter Position in der Nähe
 - Gleiche Satelliten, gleiche Störeinflüsse
 - Sendet aktuelles Korrektursignal (DGPS) oder Referenzsignal (RTK), das regionale Fehler kompensiert
- ▶ Erzielbare Positionsgenauigkeiten (Angaben differieren!)
 - Basis-GPS Fehler Größenordnung 15m
 - DGPS Fehler Größenordnung 1m
 - RTK GPS ca. 1-2 cm – 5-6 Satelliten vorausgesetzt!
- ▶ Latenzzeit ~250ms \Rightarrow ~4Hz Messfrequenz
- ▶ Mäßig aufwändiger Sensor (Kosten, Energie, Baugröße)
- ▶ Vorausgesetzt, man abstrahiert lokal von 24 Satelliten im Orbit ...

GPS Genauigkeit



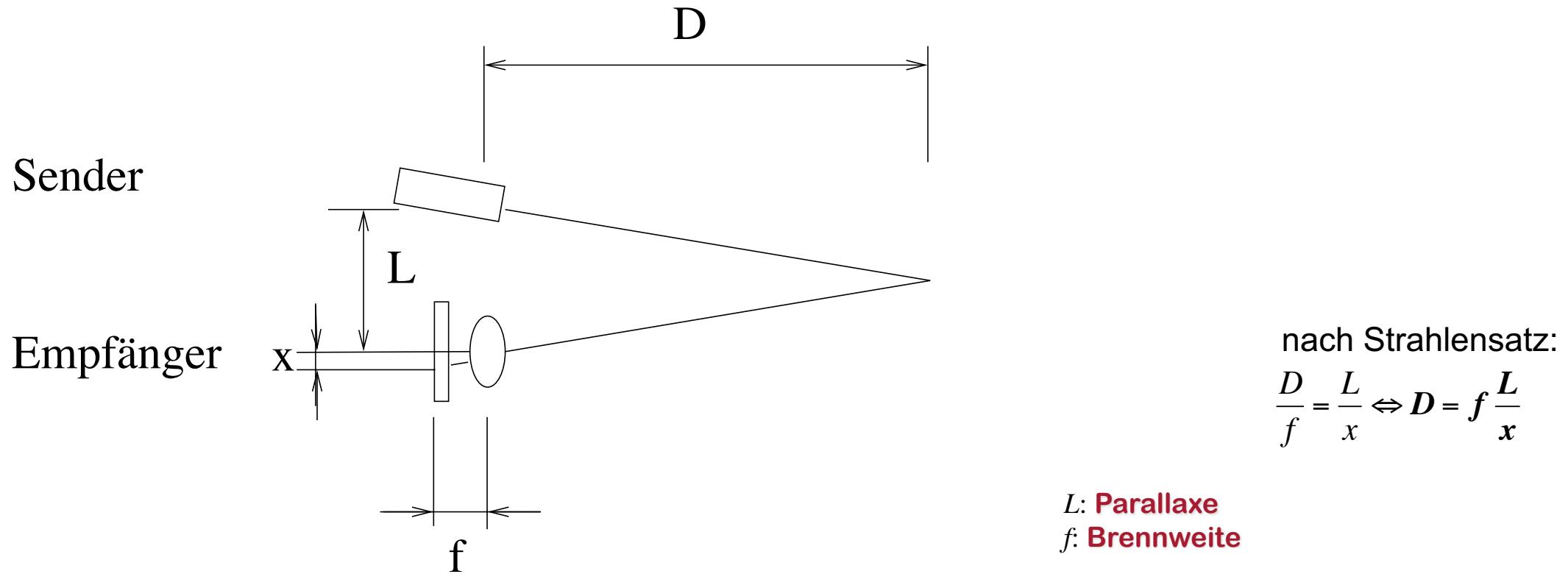


Gliederung

- 3. Sensorik
 - 1. Allgemeines
 - 2. Bewegungsmessung
 - 3. Ausrichtungsmessung
 - 4. Globale Positionsbestimmung
 - 5. Entfernungsmessung**
 - 6. Kameras und Kameramodelle
 - 8. Ausblick

Triangulation (1)

- ▶ Triangulation: Messung der Distanz durch Messung des Winkels eines Echoes
- ▶ Funktioniert gut mit fokussierten Signalquellen (Laserlicht)

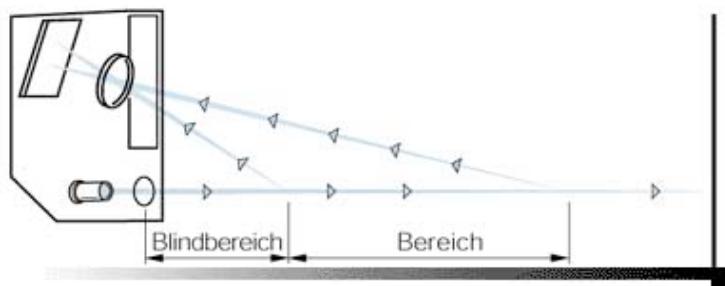


Triangulation (2)

- Messprinzip bedingt zwei Grenzen des Messbereichs

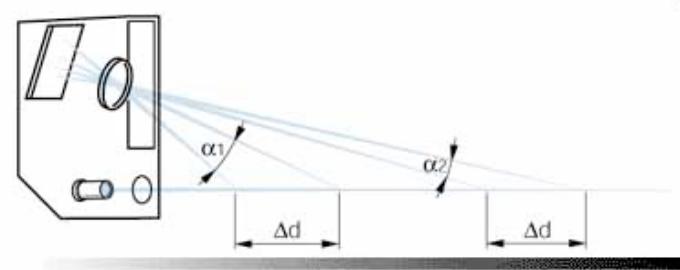
Blindbereich

f, L müssten klein gewählt sein



Fernauflösung

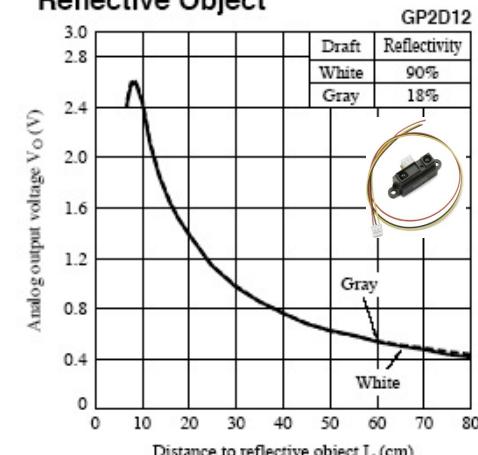
f, L müssten groß gewählt sein



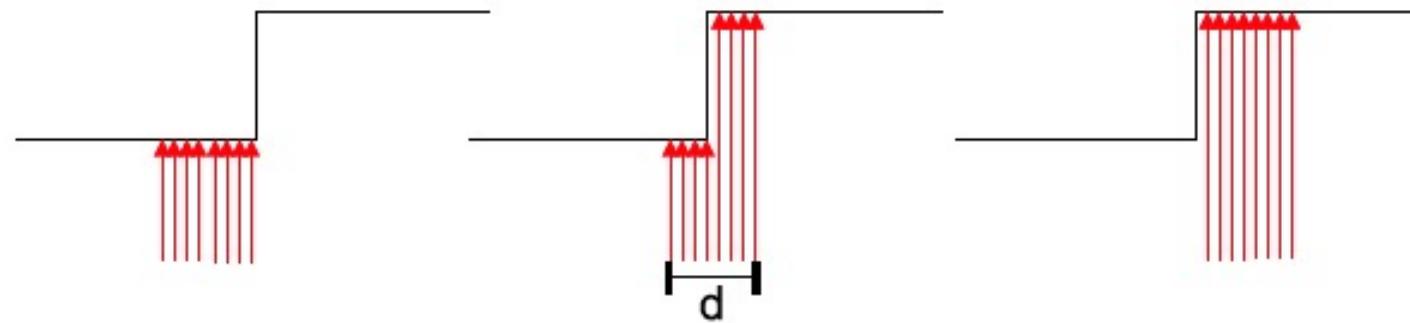
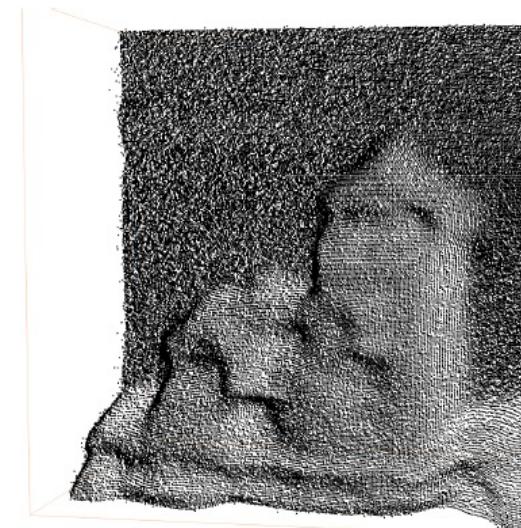
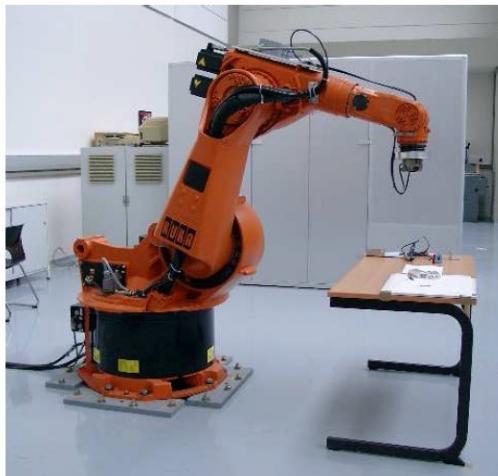
- Beispiel Infrarotsensor:

- in kurzen Messbereichen sehr präzise
- billig (ab ~15 €)
- kompakt

Fig.6 Analog Output Voltage vs. Distance to Reflective Object



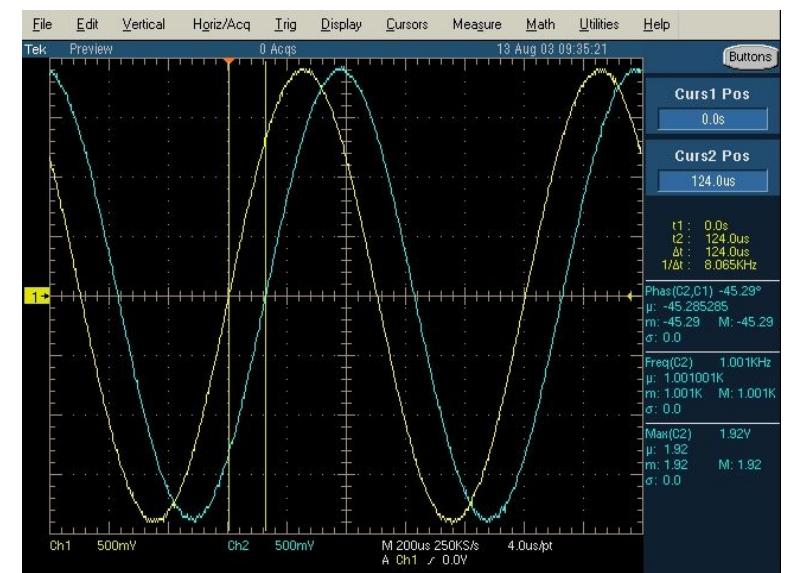
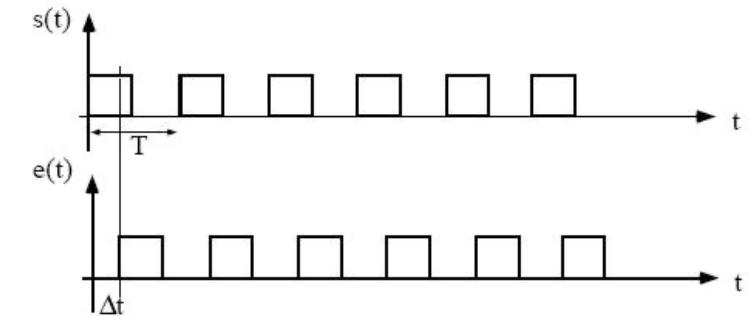
Ortsauflösung



- ▶ Kantensprünge sind aufgrund der Strahllaufweitung problematisch

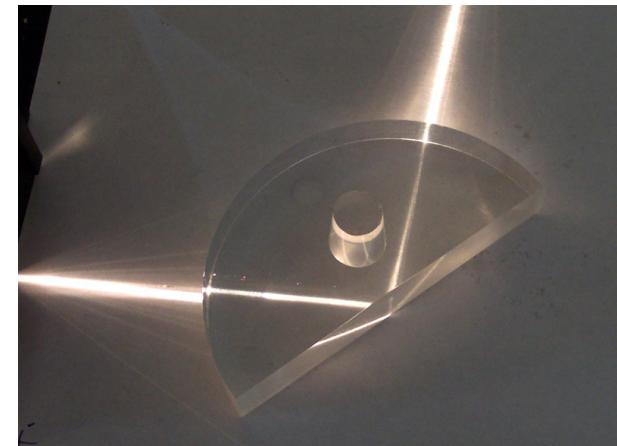
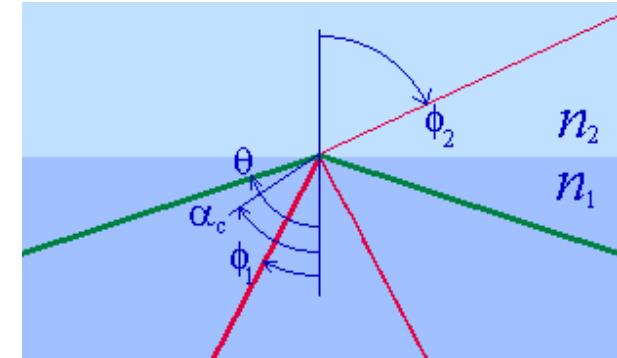
Phasendifferenzmessung

- ▶ Phasendifferenzmessung (modulierter) Trägerfrequenzen
- ▶ Wird von verschiedenen Time-of-Flight Kamera eingesetzt
- ▶ Hohe Datenraten (bis zu 500.000 Punkte / s)
- ▶ Nachteil Mehrdeutigkeiten ($\lambda/2$)
- ▶ Technisch machbar ca. 200 m
- ▶ Relativ niedrige Kosten

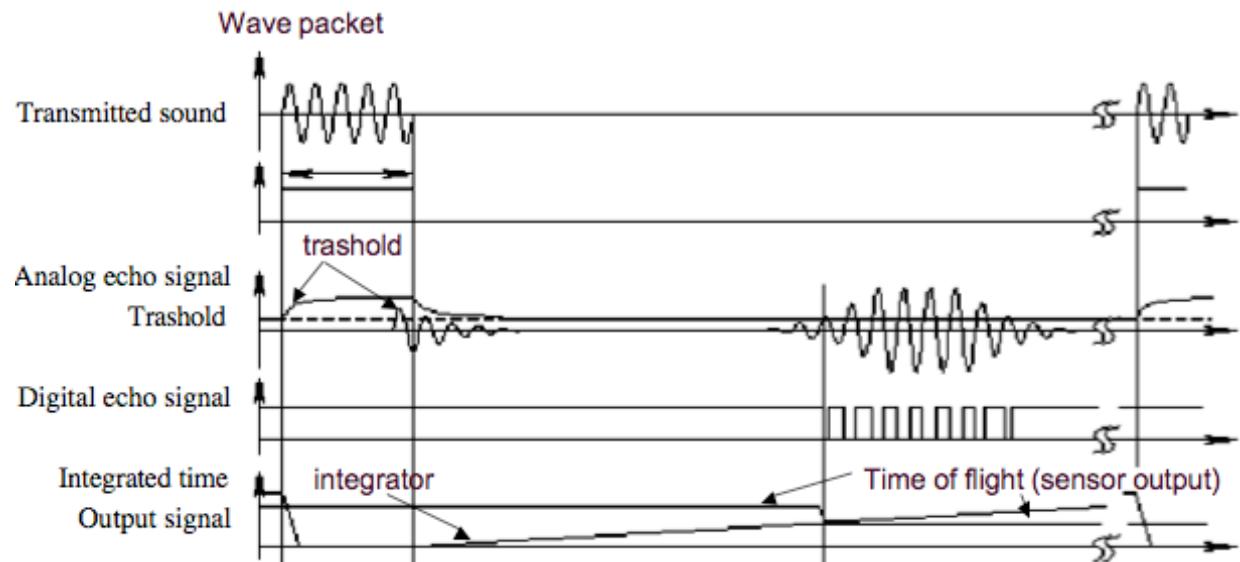


Laufzeitmessung

- ▶ Lichtgeschwindigkeit (Laserstrahl) ca. 0,3m/ns
- ▶ Schallgeschwindigkeit in Luft ca. 0,3m/ms
- ▶ Laserstrahl stark gebündelt
- ▶ Schallsignal „läuft auseinander“
 - ▶ beides hat Vor- und Nachteile!
- ▶ Schall eher im Nahbereich (bis ca. 1m);
 - ▶ Laser eher im mittleren Bereich (bis ca. 20m oder weiter)
- ▶ beide brauchen homogenes Medium
 - ▶ kein Nebel, Regen, Wind etc.
- ▶ Aufgrund des Prinzips Probleme mit
 - ▶ Totalreflexion, „Echo“ (beide)
 - ▶ „matten“ Oberflächen (beide)
 - ▶ „durchsichtigen“ Oberflächen (Glas etc.: Laser)
- ▶ Beides robuste, wohl erprobte Technologien



Ultraschallentfernungsmessung (1)



Entfernungsmessung:

$$c = 343 \frac{m}{s} \text{ in Luft bei Zimmertemperatur.}$$

$$\text{Also: } d = 343 \cdot \frac{m}{s} \cdot \frac{t}{2}$$

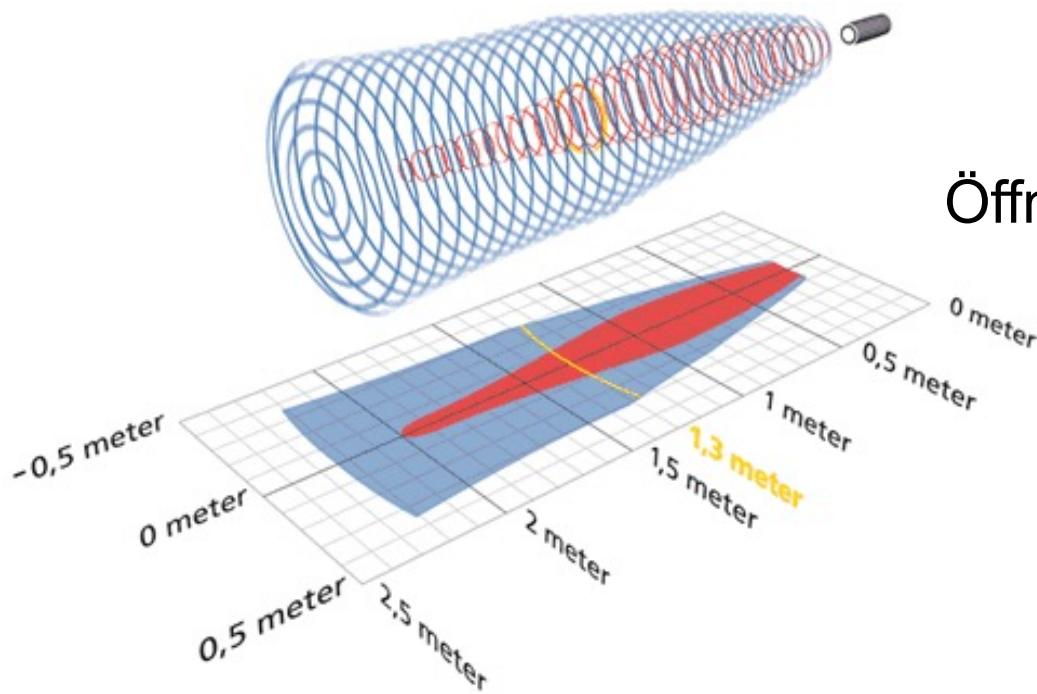
d : Distanz in m

t : Laufzeit in s

Messprinzip einfach → relativ billiger Sensor (10er–100er €)

Ultraschallentfernungsmessung (2)

- Gemessener Abstand = Abstand zum nächsten Reflexionspunkt innerhalb der Schallkeule



Öffnungswinkel ca. 20°

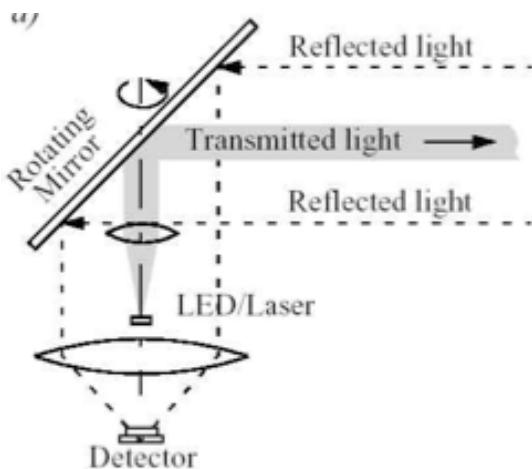
Ultraschall

Eignet sich gut zur Kollisionsvermeidung,
aber schlecht zur Aufnahme der
Umgebungsgeometrie

Laserscanner (Laufzeitmessung)

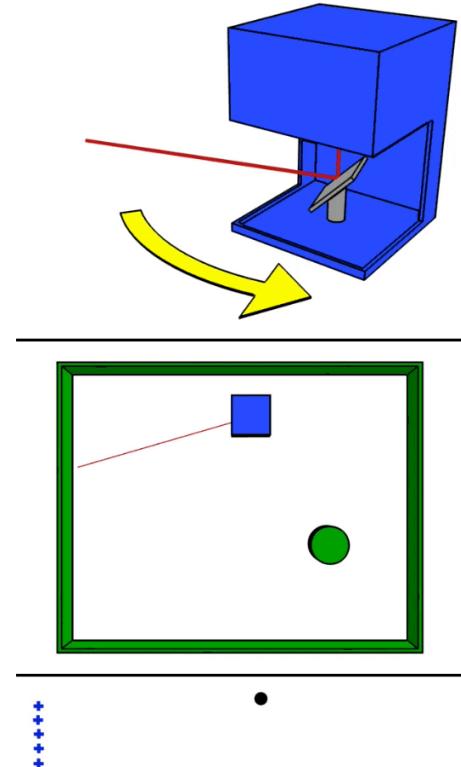
$$\text{Vakuumlichtgeschwindigkeit } c = 299.702.458 \frac{m}{s}$$

$$\text{Also: } d = 299.702.458 \frac{m}{s} \cdot t$$



d: Distanz in m

t: gemessene Laufzeit in s



Technische Anforderungen:

$c \approx 0,3\text{mm}/\text{ps}$. Bei Auflösung von 10mm: Präzision der Laufzeitmessung im Bereich pico-Sek. (10^{-12}s) erforderlich!

Laserscanner sind ein Industriestandard

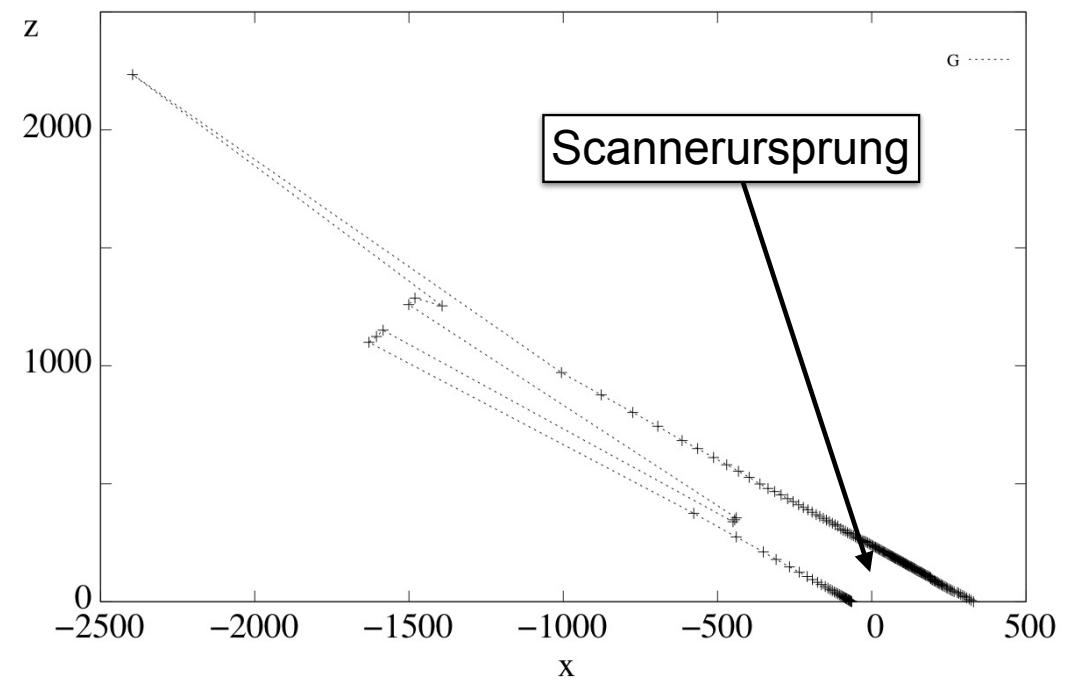
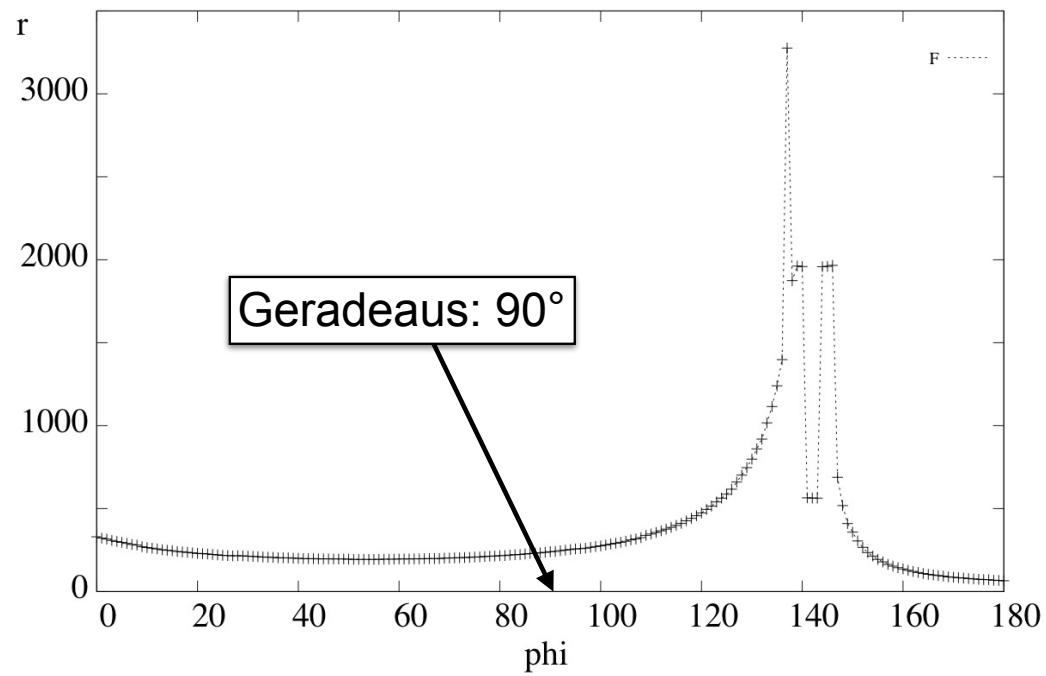
Robustheit → Gewicht! (SICK LMS 200: 4,5kg) → Kosten in 1000er €



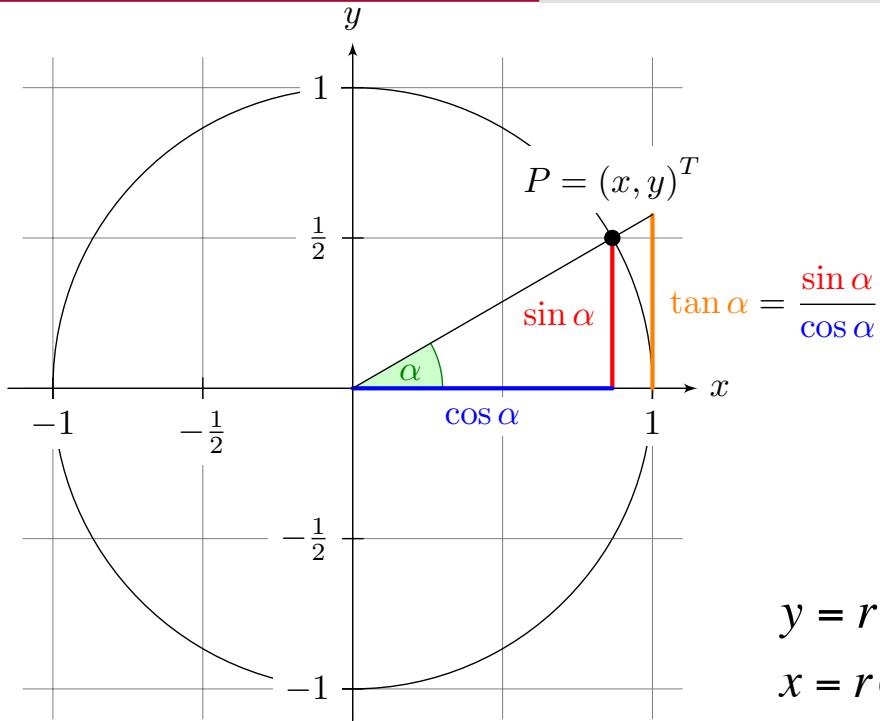
- ▶ Öffnungswinkel α
 - SICK LMS-200: 180°
 - LMS-100 u. TiM: 270°
 - Hokuyo URG-04LX: 240°
- ▶ Winkelauflösung δ
 - SICK LMS-200: 0,25°, 0,5°, 1° einstellbar
 - LMS-100: 0,25°, 0,5°
 - TiM: 1°
 - Hokuyo ~0.352°)
- ▶ Output pro Scan: $\alpha/\delta + 1$ Paare *<Winkel, Entfernung>*
- ▶ Eventuell (je nach Scanner) Remissionswert, Mehrfachecho erhältlich



Darstellung der Messdaten



Erinnerung: Basis-Trigonometrie



$$\sin = \frac{\text{Gegenkathete}}{\text{Hypotenuse}}$$

$$\cos = \frac{\text{Ankathete}}{\text{Hypotenuse}}$$

$$\tan = \frac{\text{Gegenkathete}}{\text{Ankathete}} = \frac{\sin}{\cos}$$

$$y = r \sin \alpha$$

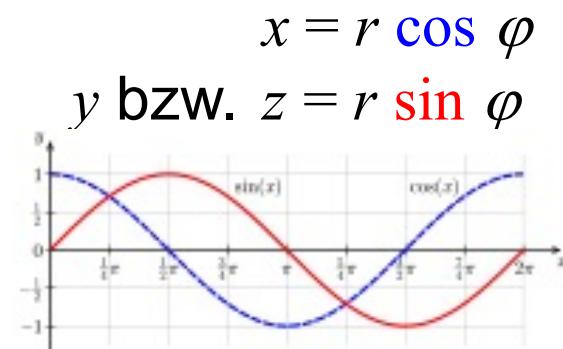
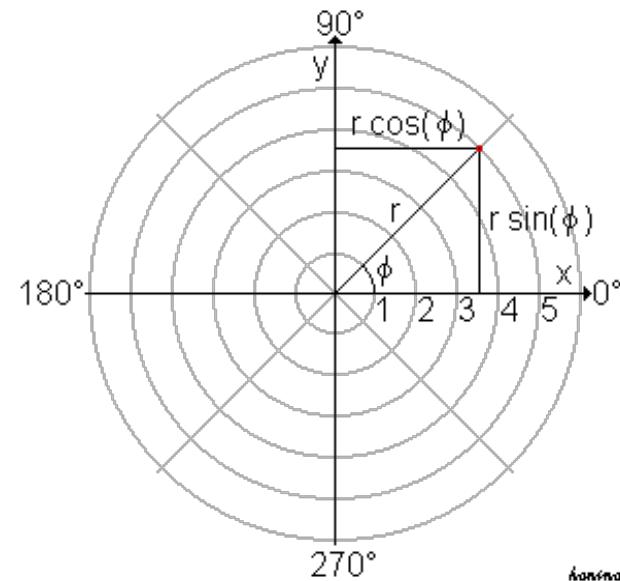
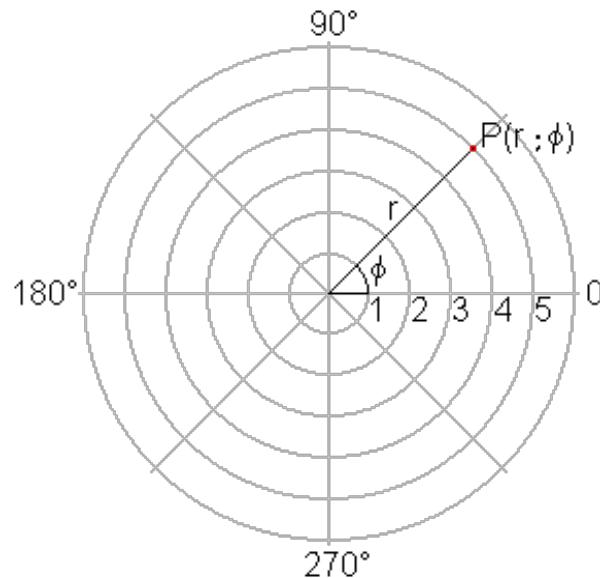
$$x = r \cos \alpha$$

... mit inversen Funktionen \arcsin etc.: $x = \sin \alpha \Rightarrow \alpha = \arcsin x$

$$\int \sin ax dx = -\frac{1}{a} \cos ax$$

$$\int \cos ax dx = \frac{1}{a} \sin ax$$

Erinnerung: Umrechnung

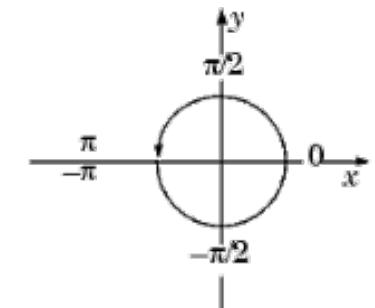


Kartesisch nach Polar:

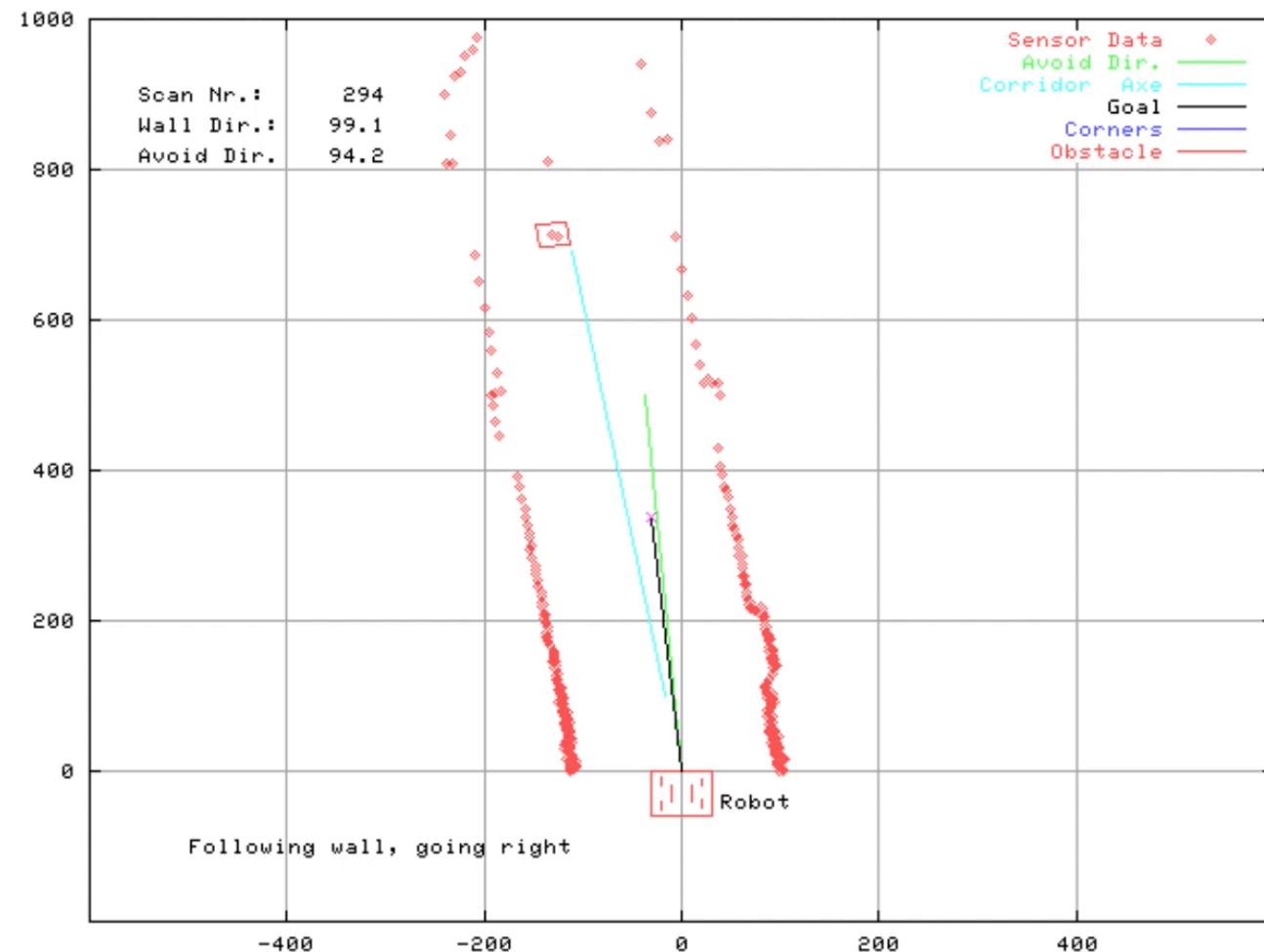
$$r = \sqrt{x^2 + y^2}$$

$$\varphi = \arctan \frac{y}{x}$$

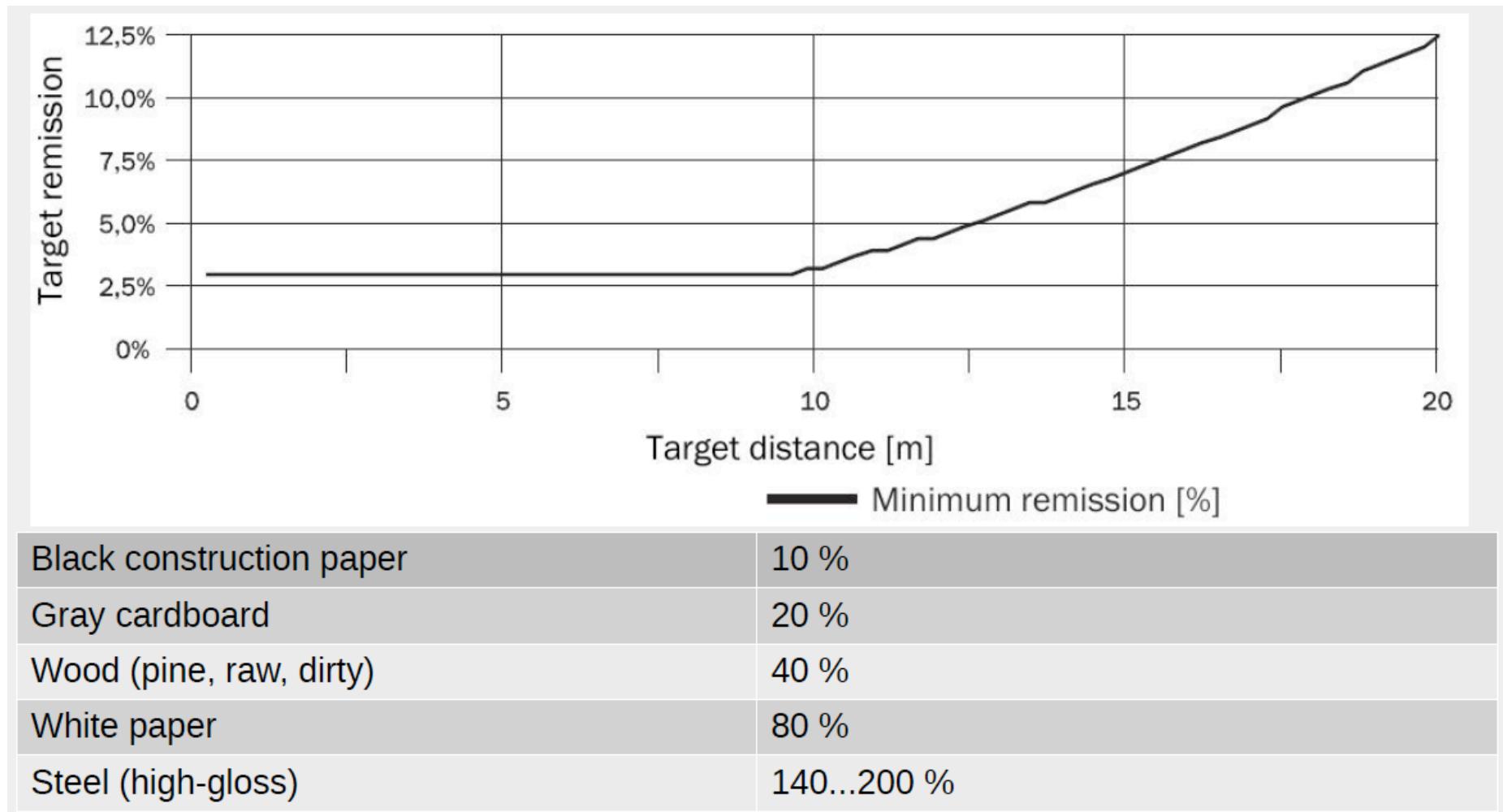
atan2 ergibt den Winkel in $[-\pi, \pi]$ des 2-Vektors $(x, y)^T$
(Fallunterscheidung pro Quadrant über die arctan-Funktion)



Flurfahrt aus Sicht eines Roboters

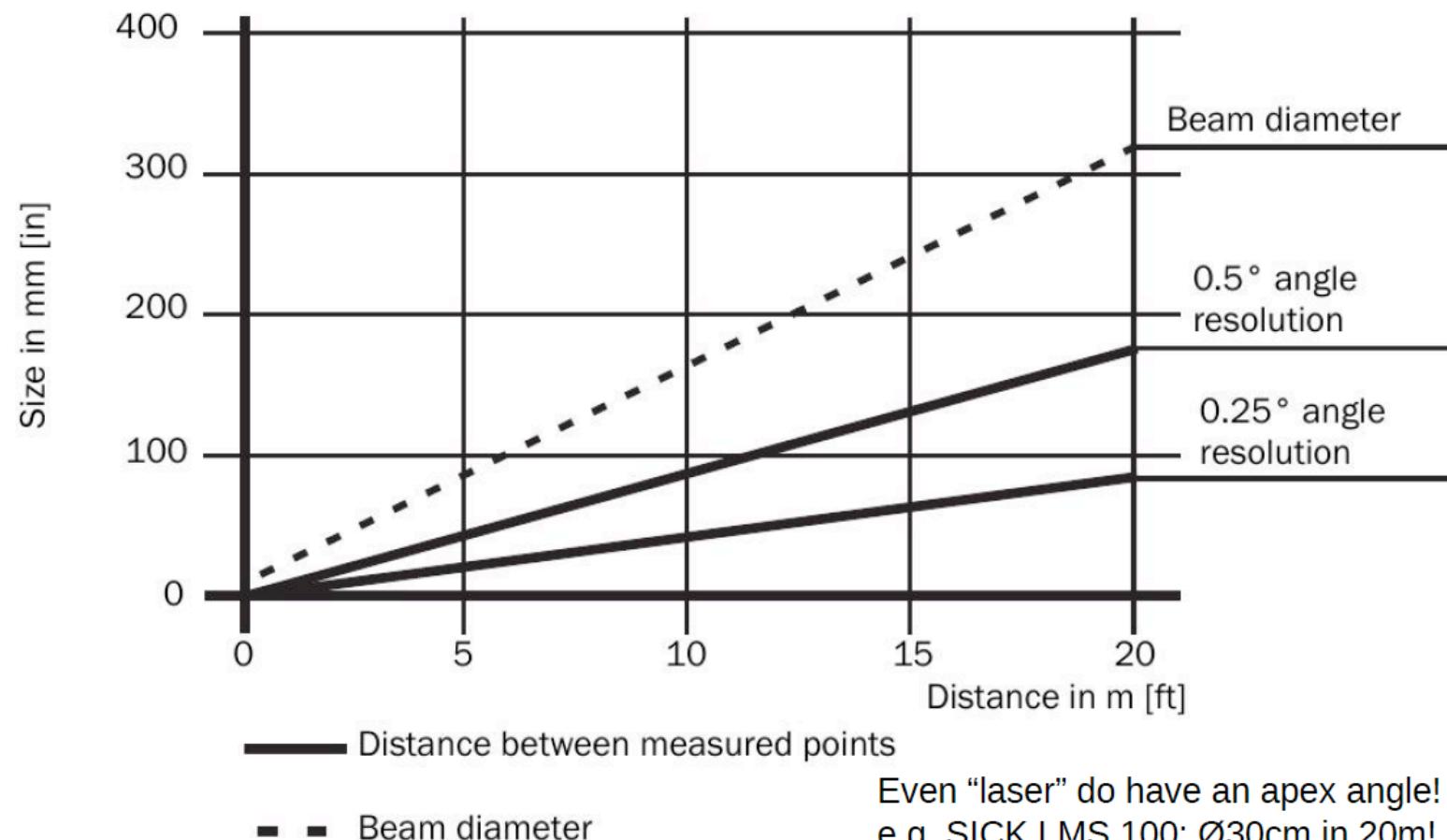


Remissionswerte beim LMS 200



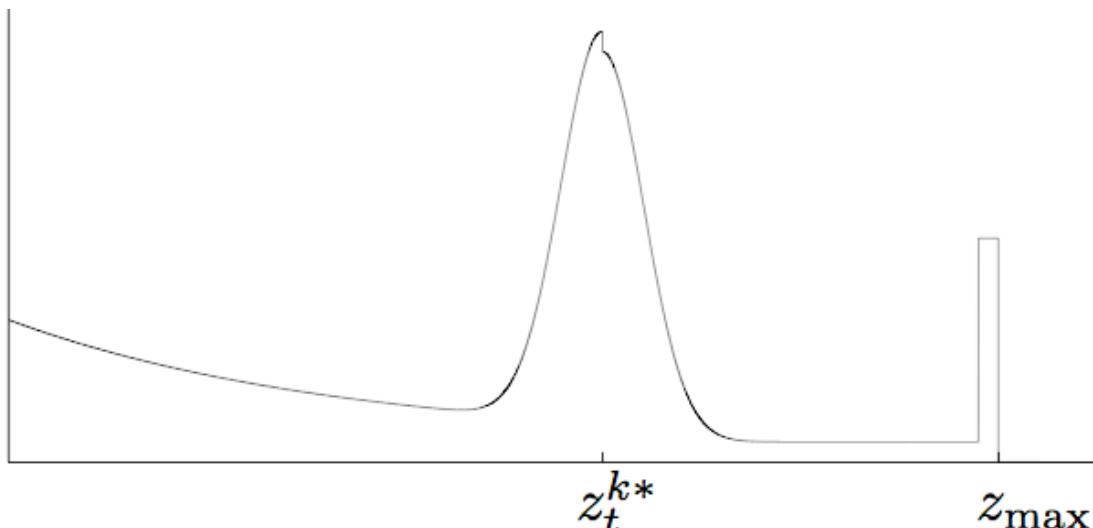
Spotdurchmesser

- Auch Laserstrahlen sind nicht perfekt fokussiert



Laserscanner - Fehlermodell

- ▶ Erwarteter Scanwert ist Addition aus:
 - „echtem“ Wert (gaußverteilt mit statist. Fehler s nach Datenblatt)
 - Grundrauschen über Messbereich (gleichverteilt)
 - dynamische Störungen vor echtem Wert (exponenzialverteilt)
 - Messartefakte in max. range
 - Messartefakte durch Absorption, Reflexion

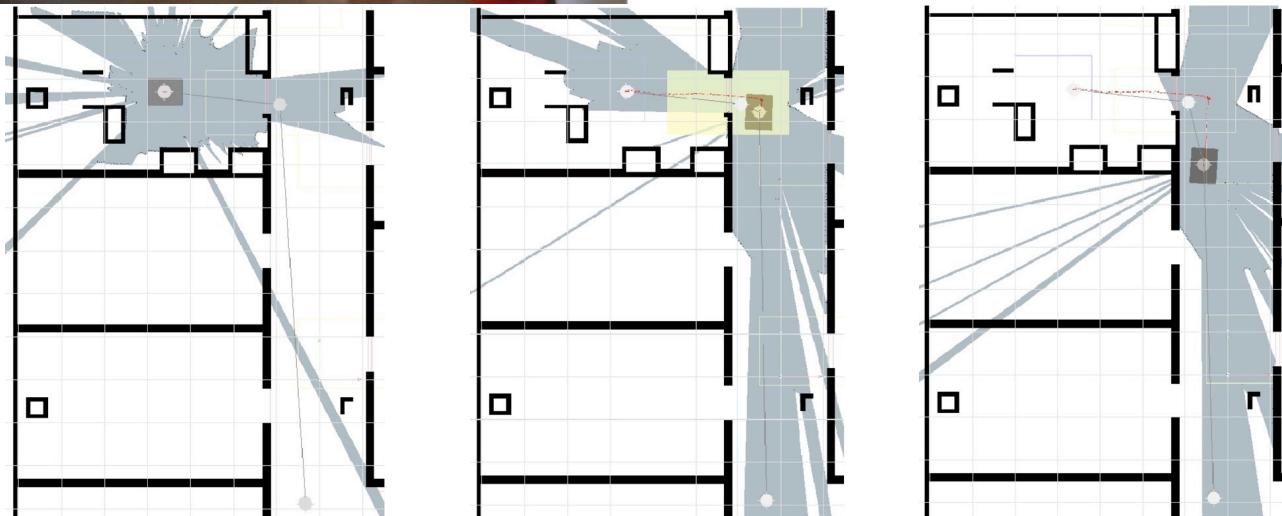


Meistens trotzdem approximiert durch
Gaußverteilung

Virtuelle Scans (1)

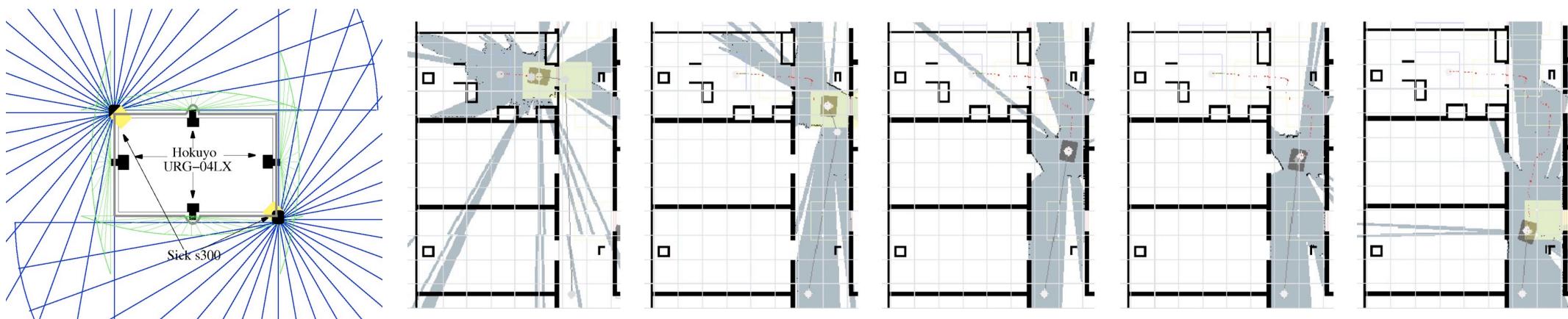


Laserscanner(hier SICK S300 mit Öffnungswinkel 270°) misst nur in seiner Scanebene



Virtuelle Scans (2)

- ▶ Fest schräg aufwärts montierte Scanner erfassen bei Bewegung Hindernisse in 3D im Nahbereich
- ▶ Projektion ihrer Daten in die Scan-Ebene der S300 ergibt die 2D-Projektion des 3D-Freiraums
- ▶ Online-Messung ohne Zeitverzug!



Mehrlinienscanning

Specifications:

Sensor:

- Time of Flight Distance Measurement with Calibrated Reflectivities
- 16 Channels
- Measurement Range: Up to 100 m
- Accuracy: ± 3 cm (Typical)
- Single and Dual Returns (Strongest, Last)
- Field of View (Vertical): +15.0° to -15.0° (30°)
- Angular Resolution (Vertical): 2.0°
- Field of View (Horizontal): 360°
- Angular Resolution (Horizontal/Azimuth): 0.1° – 0.4°
- Rotation Rate: 5 Hz – 20 Hz
- Integrated Web Server for Easy Monitoring and Configuration

Laser:

- Laser Product Classification: Class 1 Eye-safe per IEC 60825-1:2007 & 2014
- Wavelength: 903 nm
- Beam Size @ Screen: 12.7 mm (Horizontal) x 9.5 mm (Vertical)
- Beam Divergence Horizontal: 0.18° (3.0 mrad); Vertical: 0.07° (1.2 mrad)

Mechanical/ Electrical/ Operational

- Power Consumption: 8 W (Typical)
- Operating Voltage: 9 V – 18 V (with Interface Box and Regulated Power Supply)
- Weight: 830 g (without Cabling and Interface Box)
- Dimensions: 103 mm Diameter x 72 mm Height
- Shock: 500 m/s² Amplitude, 11 ms Duration
- Vibration: 5 Hz to 2,000 Hz, 3 G_{rms}
- Environmental Protection: IP67
- Operating Temperature: -10°C to +60°C
- Storage Temperature: -40°C to +105°C

Output:

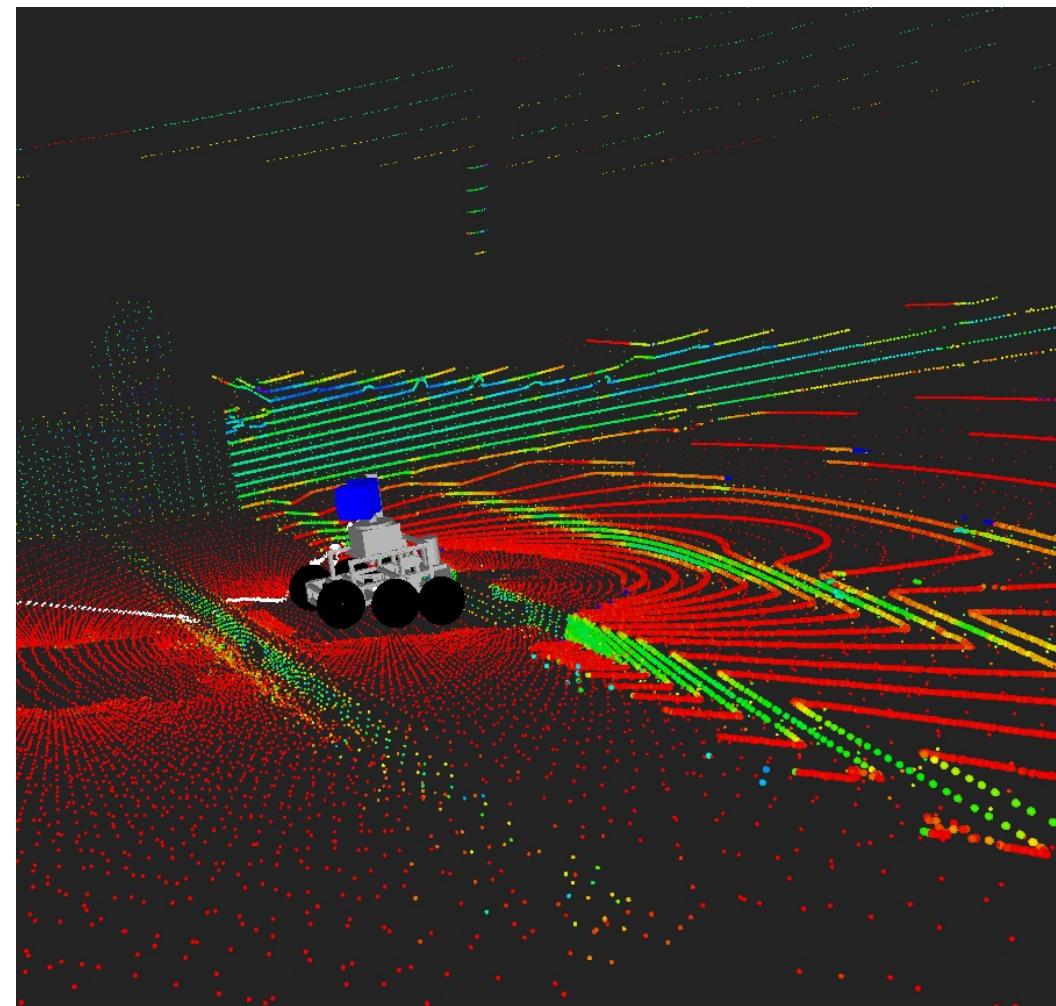
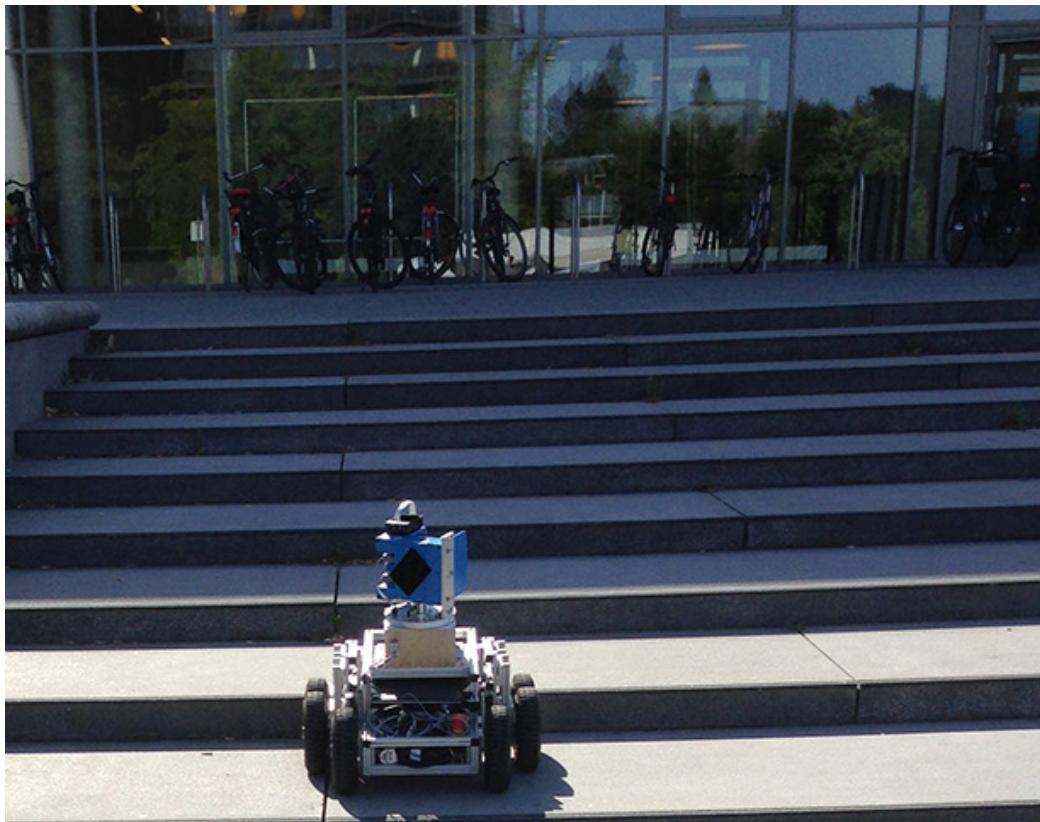
- 3D LiDAR Data Points Generated:
 - Single Return Mode: ~300,000 points per second
 - Dual Return Mode: ~600,000 points per second
- 100 Mbps Ethernet Connection



OS-1-128



Beispiel Velodyne Puck



Umgebungserfassung in 3D

- ▶ Mit „immer mehr 2D Linien“ wird Entfernungsmessung zu Abbildung der Umgebungsgeometrie in 3D
- ▶ Unverzichtbar für Navigation mobiler Systeme
- ▶ Anwendungen: Kollisionsvermeidung, Lokalisierung, Objekterkennung

Direkte Realisierung: 3D-Laserscanner



Kurt3D (AIS, UOS)

+



Univ. Hannover

=

