

# *Sensoren und Aktoren*

Wahlpflichtfach 5. Semester Elektrotechnik

Prof. Dr. Felix Hüning

FB Elektrotechnik und Informationstechnik

FH Aachen

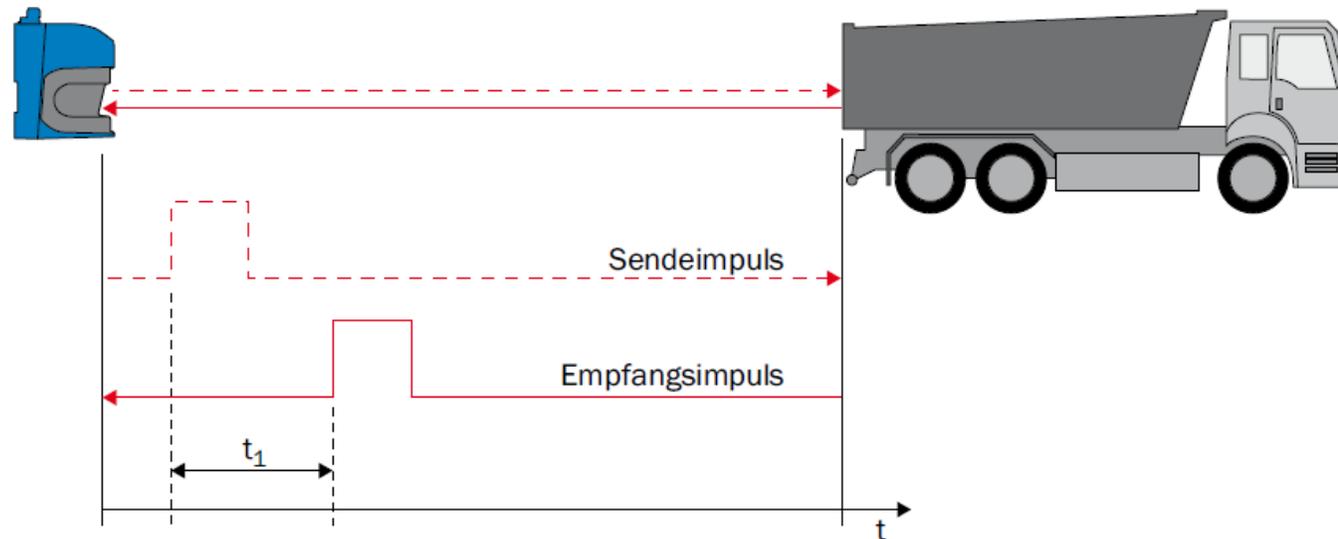
Die Folien sind für den persönlichen Gebrauch im Rahmen des Moduls gedacht. Eine Veröffentlichung oder Weiterverteilung an Dritte ist nicht gestattet (F. Hüning)

- Lidar
- Time-Of-Flight-Kamera

# Distanzwegensensoren

## Lidar

- Light Detection and Ranging
- Aktive optische Methode zur Abstands- und Geschwindigkeitsmessung
- Detektion des reflektierten Lichts mittels Multispektralkamera
- Messung der Laufzeit zur Entfernungsbestimmung

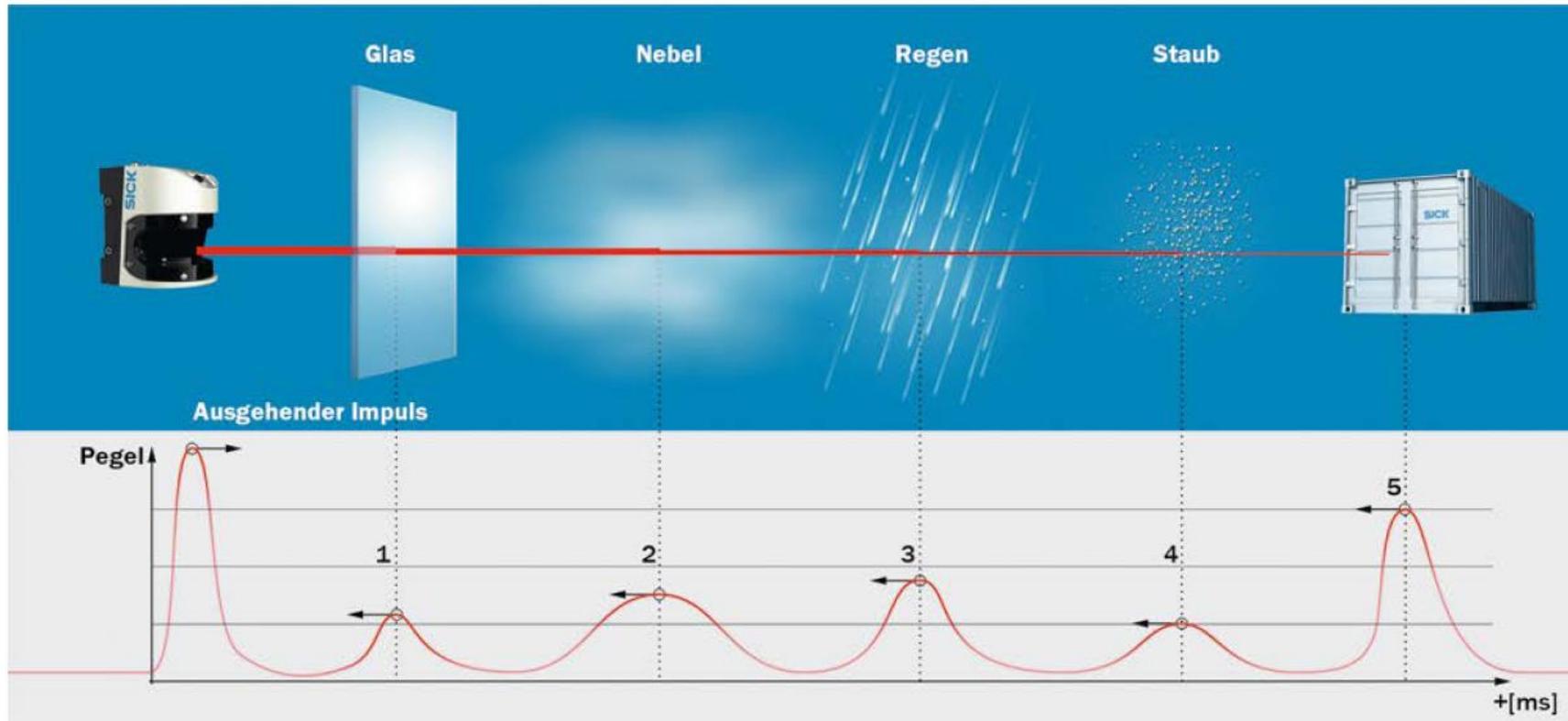


Quelle: SICK

# Distanzwegsensoren

## Lidar

- Mehrere Empfangspulse im Messstrahl
- Mehrfachauswertung -> Signalverarbeitung und Algorithmik

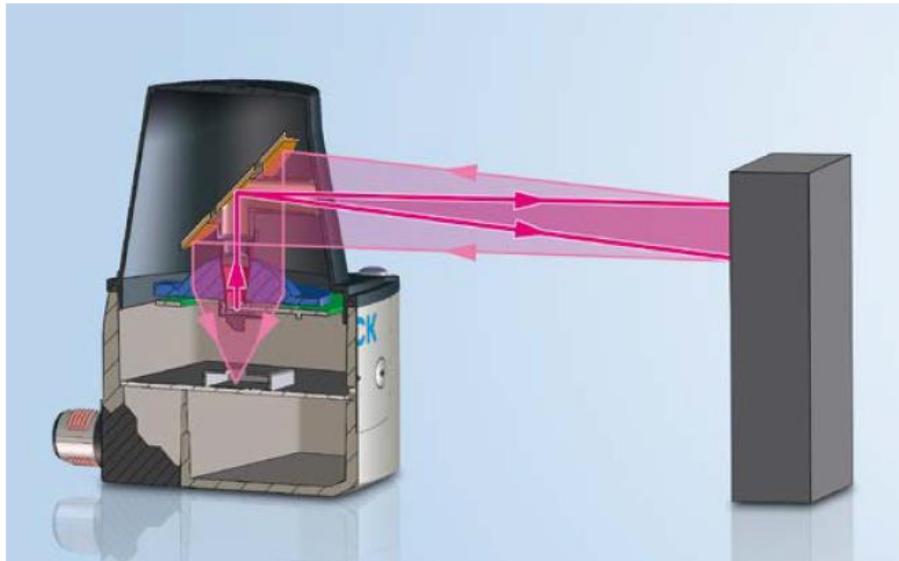


Quelle: SICK

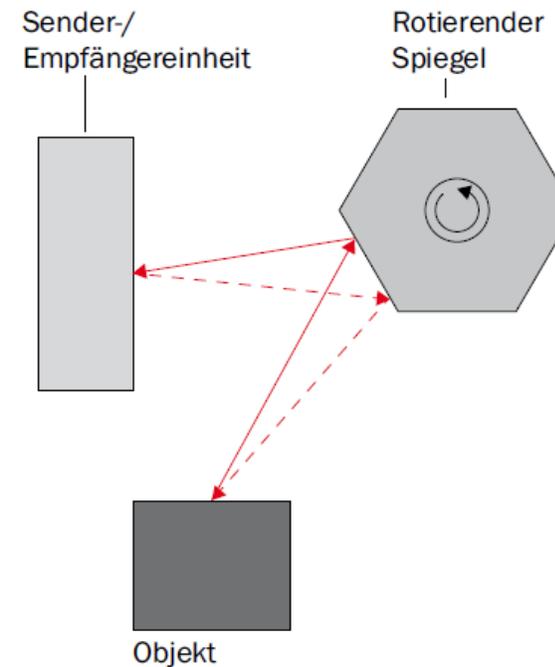
# Distanzwegsensoren

## Lidar

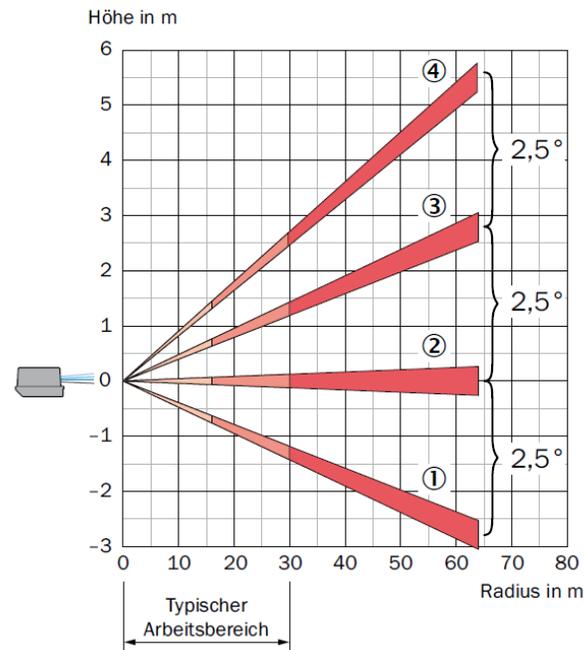
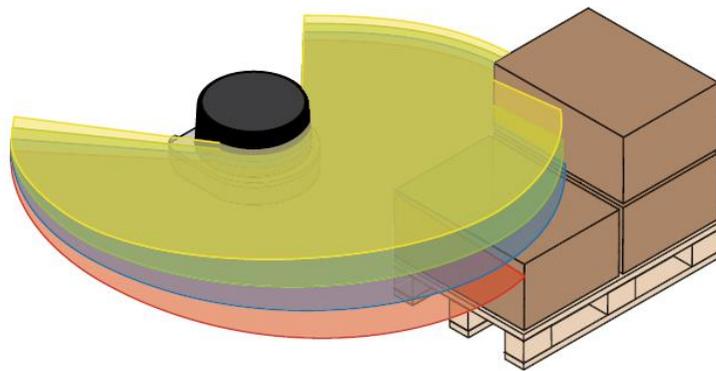
- Einfacher, „ortsfester“ Laserstrahl
  - 1D-Abstand
- Bewegter Messstrahl (z.B. Rotation in Ebene)
  - 2D-Abstandsmessung (Abstand und Winkel)



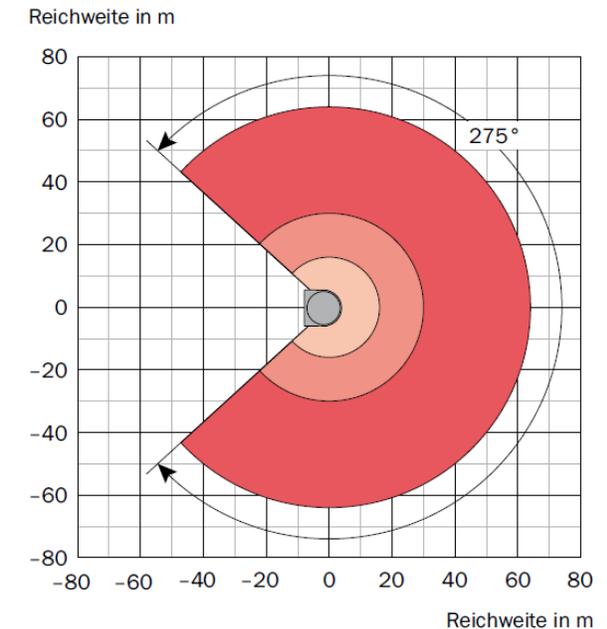
Quelle: SICK



- Mehrere Messstrahlen in unterschiedlichen Ebenen
  - 3D-Abstand als Punktwolke
- Aus Position des Sensors, Abstrahlrichtung und der Laufzeit des Pulses kann die 3D-Koordinate des reflektierenden Objekts bestimmt werden



Quelle: SICK, MRS1000



# Distanzwegsensoren

## Lidar

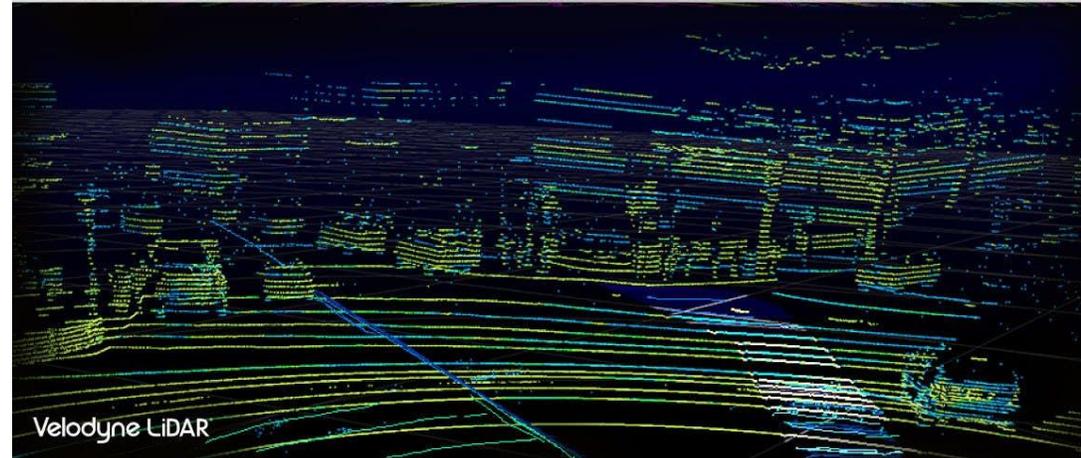
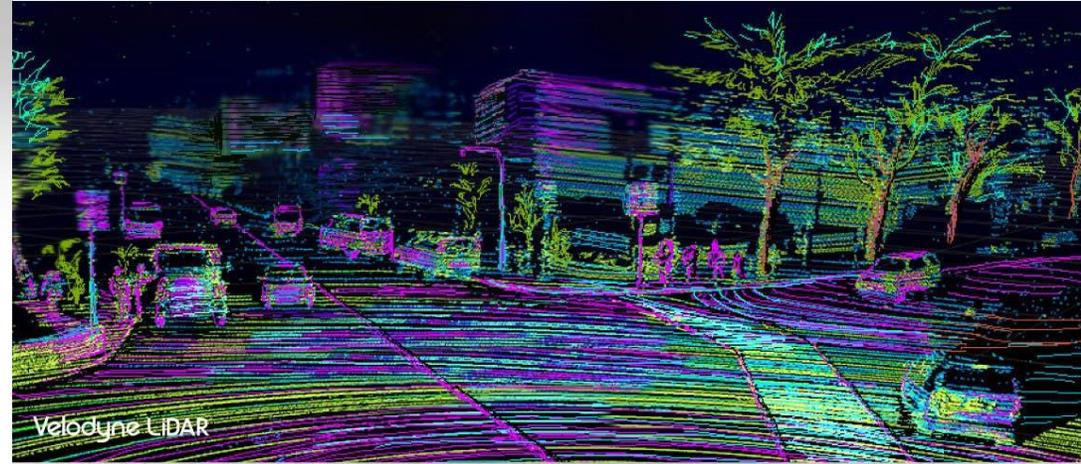
- Mechanisches 3D-Lidar
  - Derzeit weit verbreitet
  - Durch Mechanik Abnutzung
  - Ungenauigkeit durch Mechanik
  - Große Baugröße
  - Teuer



[www.extremetech.com](http://www.extremetech.com)

# Distanzwegsensoren

## Lidar

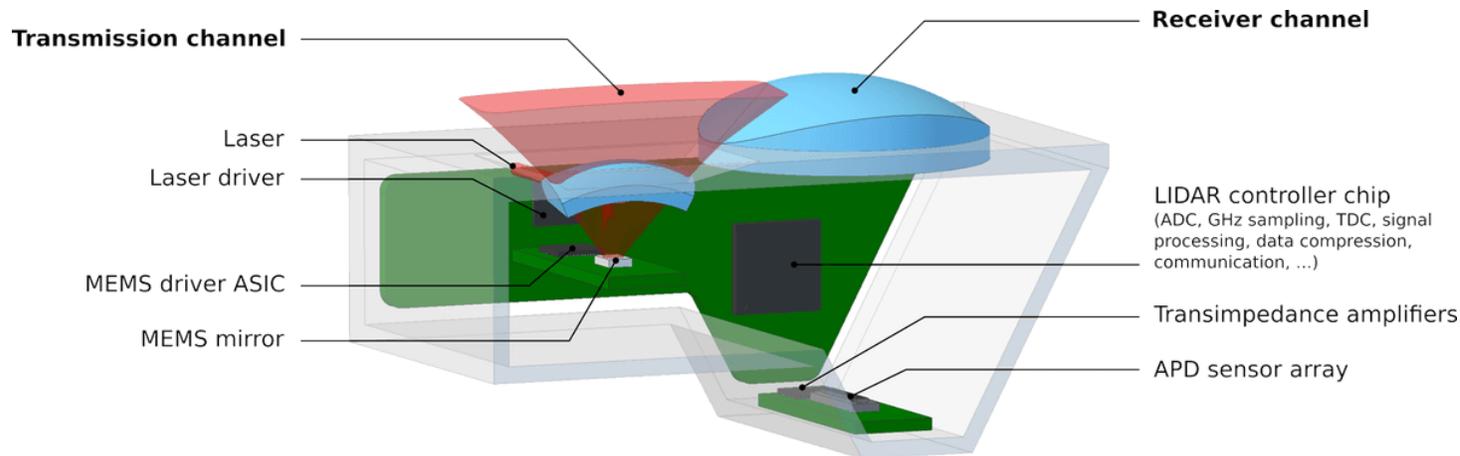


Quelle: Velodyne

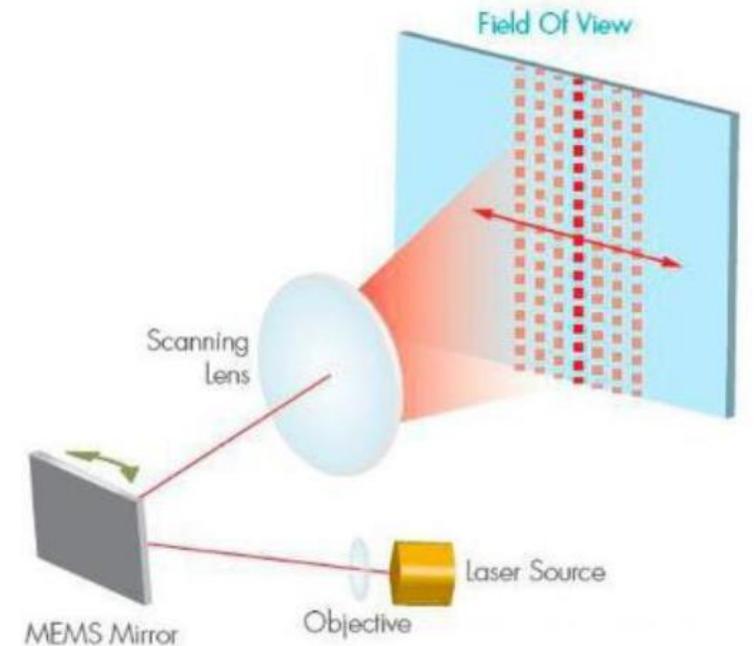
# Distanzwegensensoren

## Lidar – Solid State Lidar

- MEMS Technologie, direkt auf einem Chip
- Spiegel elektromagnetisch bewegt
- Geringe Kosten und Baugröße



Quelle: <https://www.digitaltrends.com/cars/solid-state-lidar-for-self-driving-cars/>

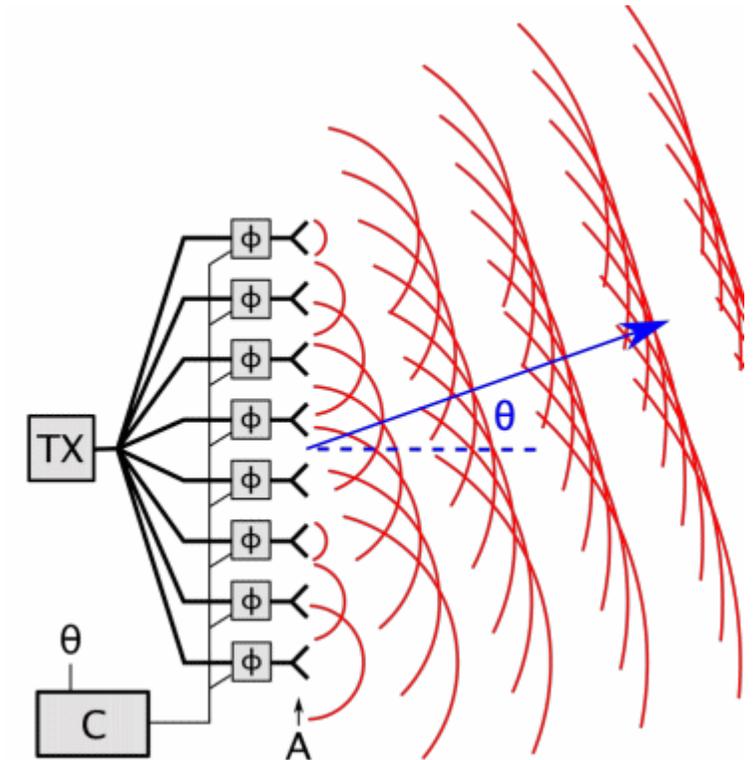


Quelle: IAV

# Distanzwegensensoren

## Lidar – Solid State Lidar

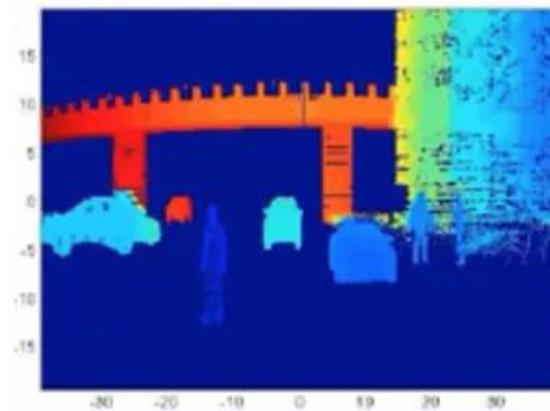
- Optical Phased Array (OPA)
- Gleicher Ansatz wie beim phasengesteuerten Radar
- Durch gezielten Phasenversatz zwischen den Antennen können Wellen in beliebige Richtung ausgesendet werden
- Hohe Anforderungen an die Produktion
  - Kurze Wellenlänge des Lichts
  - $\sim 1\text{M}$  Antennen pro Lidar
  - Präzise Antennenfertigung
  - Keine mechanischen Teile



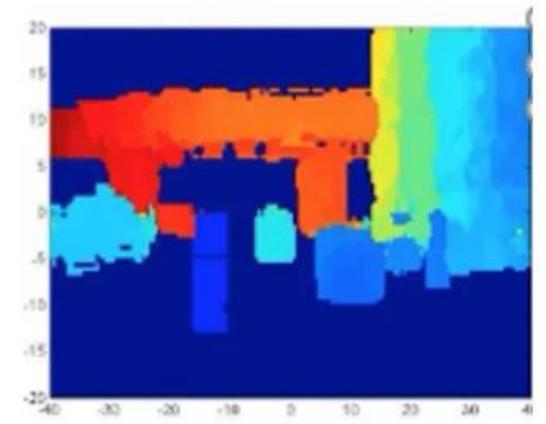
Quelle: <https://www.digitaltrends.com/cars/solid-state-lidar-for-self-driving-cars/>

- Vorteile
  - Hohe Auflösung
  - Erkennung kleiner Objekte durch kürzere Wellenlängen (als Radar)
  - 360° Abdeckung (evtl. durch mehrere Sensoren)

- Nachteile
  - Teuer
  - Geringere Reichweite als Radar
  - Höherer Energieverbrauch
  - Wetterabhängigkeit (z.B. Sonne)



Lidar



High Resolution Radar

Quelle: <https://semiengineering.com/radar-versus-lidar/>

# Distanzwegsensoren

## Lidar – Velodyne VLP-16

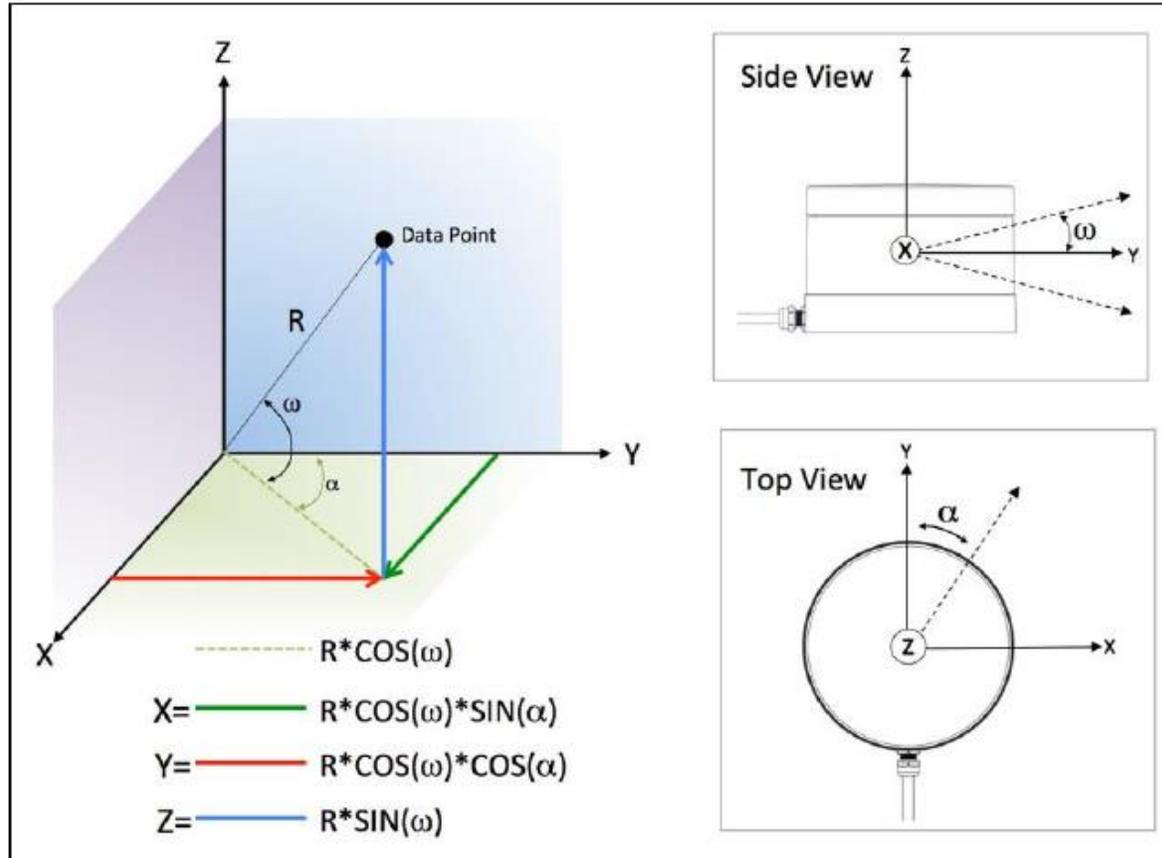
- 903 nm Wellenlänge
- 100 m Reichweite
- Genauigkeit  $\pm 3$  cm
- Rotationsrate 5 Hz und 20 Hz
- FOV
  - $360^\circ$  horizontal
  - $-15^\circ$  bis  $15^\circ$  vertikal
- 3D-Punktwolke, 300.000 Punkte/s
- $\sim 7k$  €



Quelle: Velodyne

# Distanzwegensensoren

## Lidar – Velodyne VLP-16

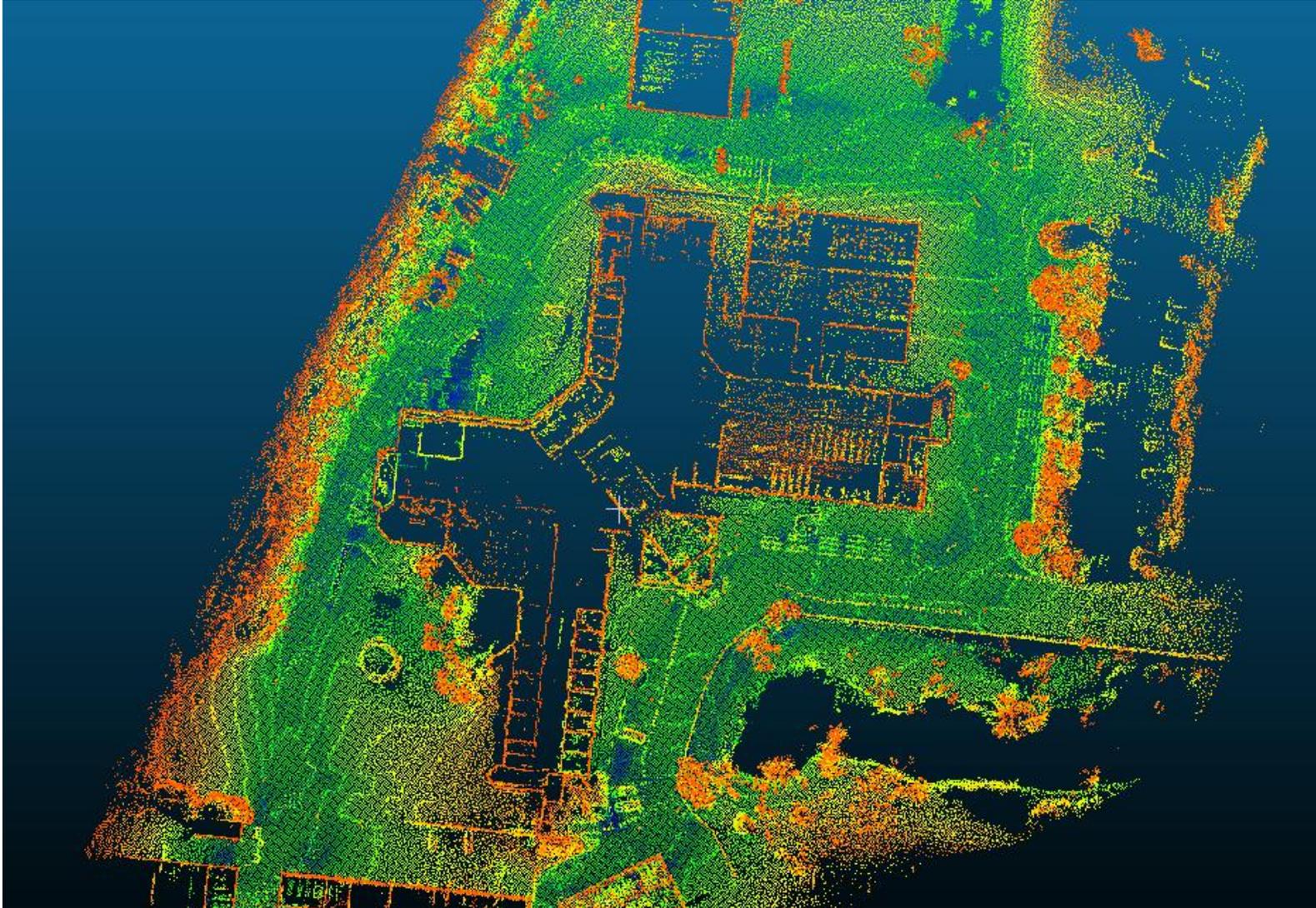


Quelle: Velodyne

- Menge von Punkten eines Raums, die eine unorganisierte räumliche Struktur aufweist
- Durch die enthaltenen Punkte beschrieben, die jeweils durch ihre Raumkoordinaten  $(x, y, z)$  erfasst sind
- Große Datenmengen
- Analyse und Erkennung von Objekten, Ebenen, ... durch geeignete Algorithmen, z.B.
  - 3D-Rendering zur Ableitung kontinuierlicher Oberflächen zur Visualisierung
  - RANSAC (Random Sample Consensus Algorithmus) zur Featureextraktion
  - Octree

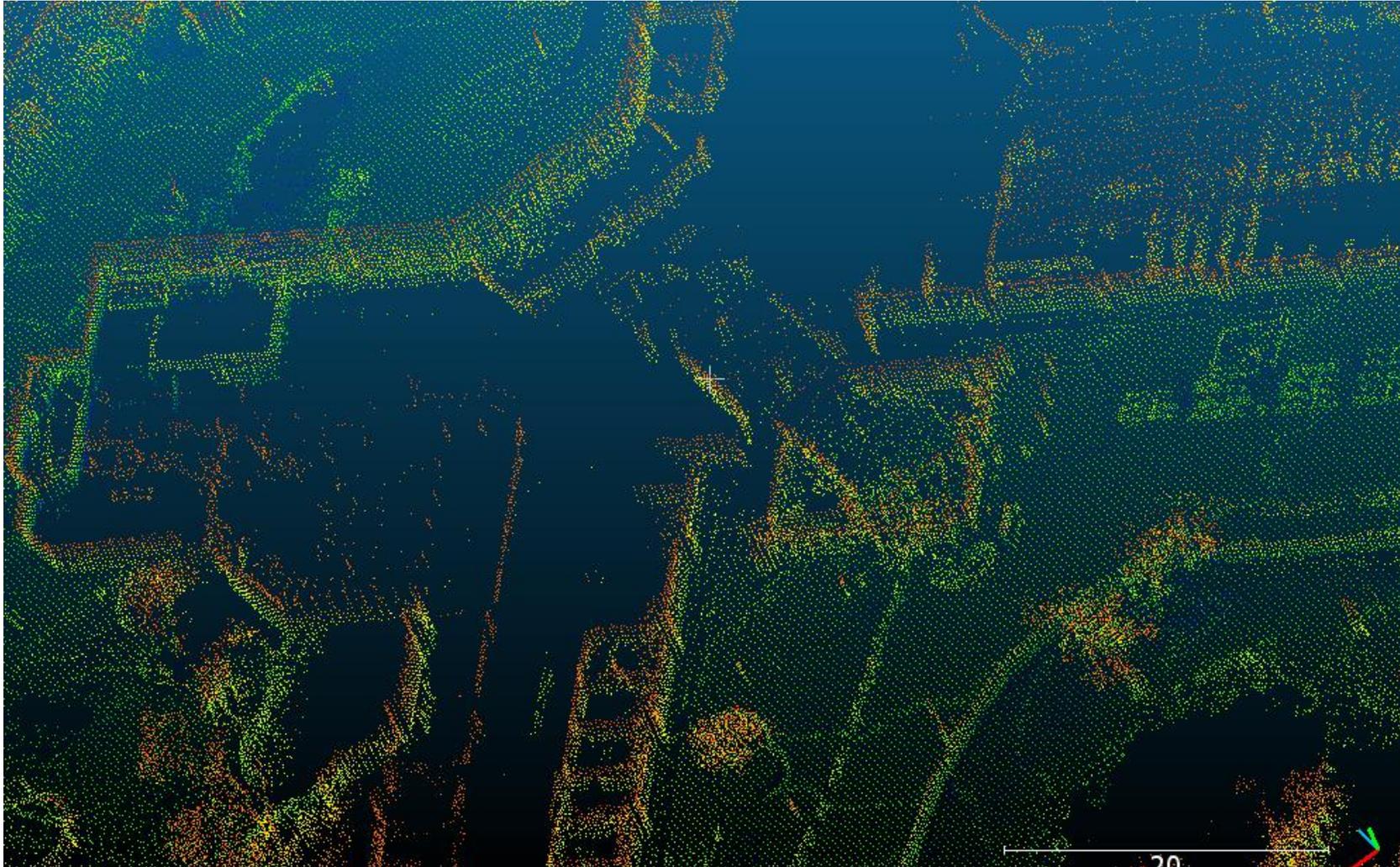
# Distanzwegensensoren

## Lidar – Punktwolke



# Distanzwegensensoren

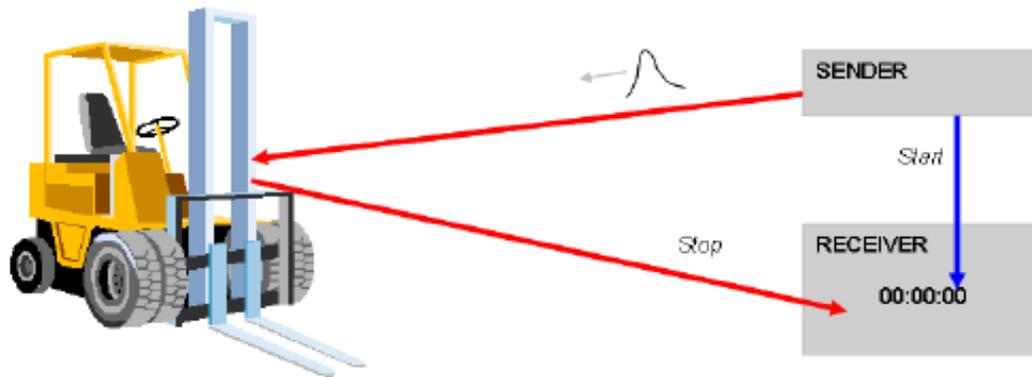
## Lidar – Punktwolke



# Distanzwegsensoren

## Time-Of-Flight Kamera

- 3D-Kamera auf Basis von Laufzeitmessungen
- Laserdiode sendet amplitudenmodulierten Laserstrahl aus, z.B. 20MHz Modulationsfrequenz bei 850 nm (IR)
- Reflektierter Strahl wird über Linsenoptik auf IC abgebildet
- IC: Array von Pixeln, die jeweils Phasenverschiebung messen und daraus Entfernung ermitteln
- Punktwolke als 3D-Abbildung



Optical 3-D Measurement Techniques 09-12.07.2007 ETH Zurich  
Plenary Session 1: Range Imaging I

### A 3D TIME OF FLIGHT CAMERA FOR OBJECT DETECTION

Dr.-Ing. Thorsten Ringbeck, Head of BU Systems

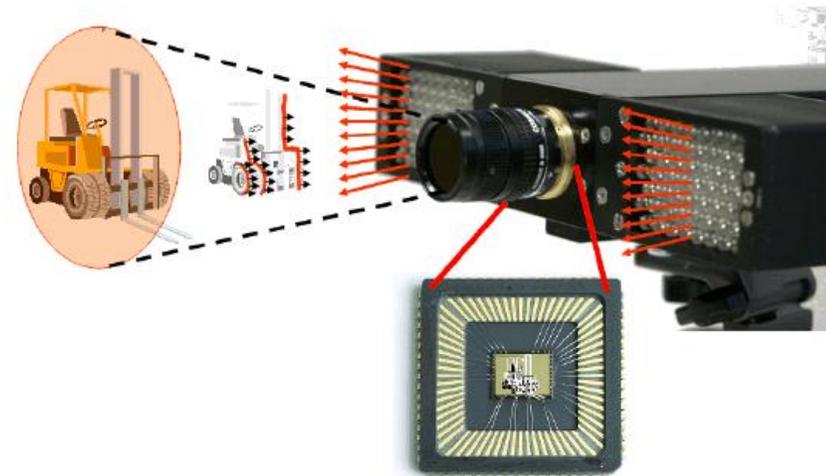
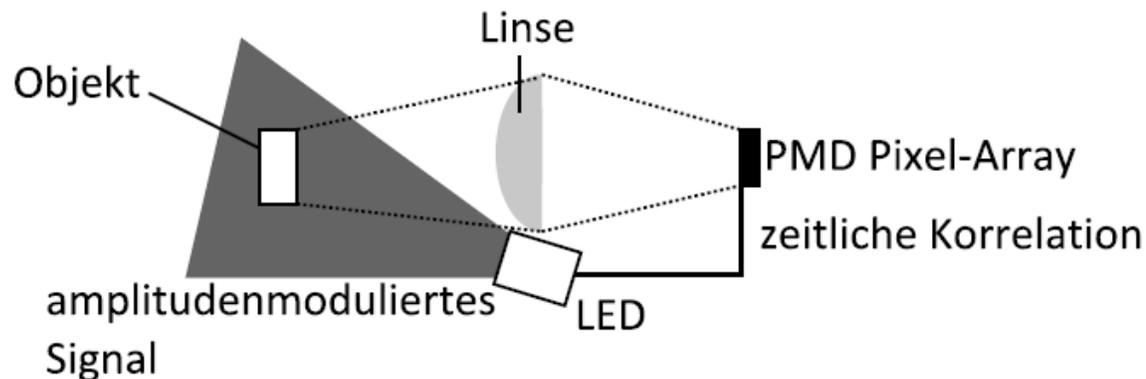
Dipl.-Ing. Bianca Hagebeuker, Product Marketing (Contact Author)

[b.hagebeuker@PMDTec.com](mailto:b.hagebeuker@PMDTec.com); Phone: +49-271-238538-818; Fax: +49-271-238538-809

# Distanzwegensensoren

## Time-Of-Flight Kamera – Photonic Mixing Device (PMD)

- Moduliertes Lichtsignal im IR
- Von Objekt reflektiertes Licht vieler LEDs wird auf PMD-Sensor abgebildet
- PMD-Sensor ist mit Modulation gekoppelt, Messung der Phasenverschiebung
- Pixel-Sensor, der Bild direkt abbildet



Optical 3-D Measurement Techniques 09-12.07.2007 ETH Zürich  
Plenary Session 1: Range Imaging I

### A 3D TIME OF FLIGHT CAMERA FOR OBJECT DETECTION

Dr.-Ing. Thorsten Ringbeck, Head of BU Systems  
Dipl.-Ing. Bianca Hagebecker, Product Marketing (Contact Author)  
[b.hagebecker@PMDTec.com](mailto:b.hagebecker@PMDTec.com) Phone: +49-271-238538-818; Fax: +49-271-238538-809

Quelle: F. Hüning, Sensoren und  
Sensorschnittstellen, DeGruyter, 2016

# Distanzwegsensoren

## Time-Of-Flight Kamera – Photon Mixer Device (PMD)



### Kombination 2D/3D-Abbildung



Optical 3-D Measurement Techniques 09-12.07.2007 ETH Zürich  
Plenary Session 1: Range Imaging I

### A 3D TIME OF FLIGHT CAMERA FOR OBJECT DETECTION

Dr.-Ing. Thorsten Ringbeck, Head of BU Systems  
Dipl.-Ing. Bianca Hagebecker, Product Marketing (Contact Author)  
[b.hagebecker@PMDTec.com](mailto:b.hagebecker@PMDTec.com); Phone: +49-271-238538-818; Fax: +49-271-238538-809

FH Aachen  
Fachbereich Elektrotechnik und Informationstechnik  
Prof. Dr. rer. nat. Felix Hüning  
Eupener Straße 70  
52066 Aachen  
T +49 (0)241 6009 51979  
F +49 (0)241 6009 52191  
huening@fh-aachen.de  
www.huening.fh-aachen.de