

---

# 3D-SENSORPRINZIPIEN FÜR DIE 3D-AUFNAHME

Ein branchenübergreifende Studie im Kontext der Mensch-Maschine Interaktion

---



# Fraunhofer

## IOF

Daniel Höhne, Peter Kühmstedt, Gunther Notni

Thüringer Maschinenbautag

15.06.2016



GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

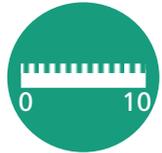
---

# Überblick

---



Einführung



3D-Sensorstudie



Auszug Ergebnisse



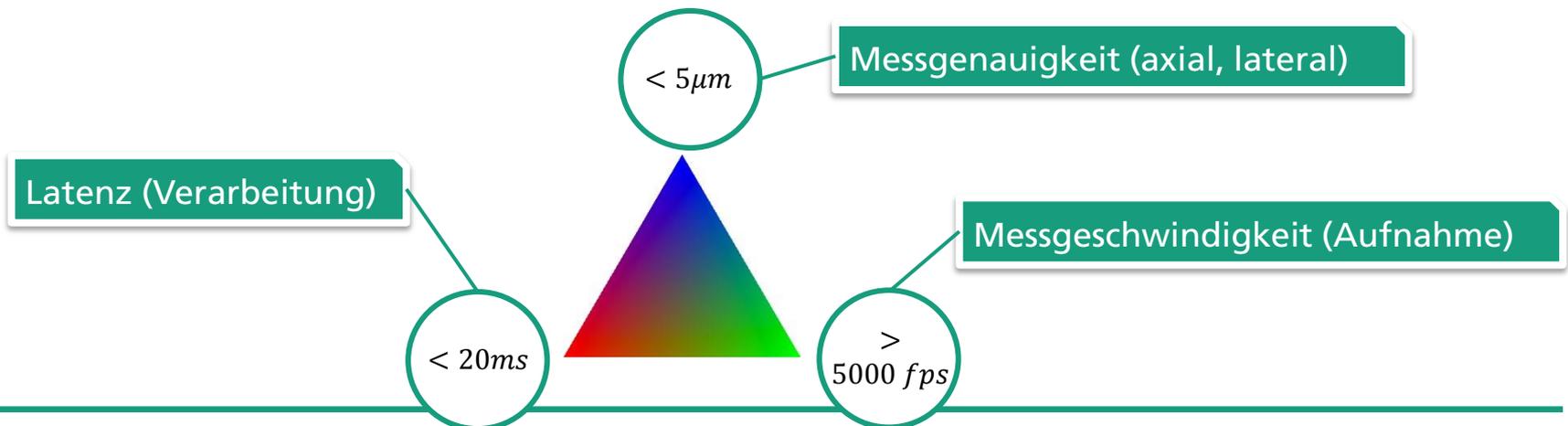
Zusammenfassung

# I. Motivation - Warum eine Studie ?

- „Allianz 3Dsensation“ Konsortium der Förderinitiative *zwanzig20* (BMBF)

Innovationen im Bereich 3D-Sensorprinzipien, 3D-Verarbeitung, 3D-Datenanalyse und 3D-Wiedergabe-/Interaktion für die Mensch-Maschine-Interaktion

- in den Bedarfsfeldern: Produktion, Gesundheit, Mobilität und Sicherheit
- unterschiedliche Anforderungen an 3D-Sensoren, beispielsweise:

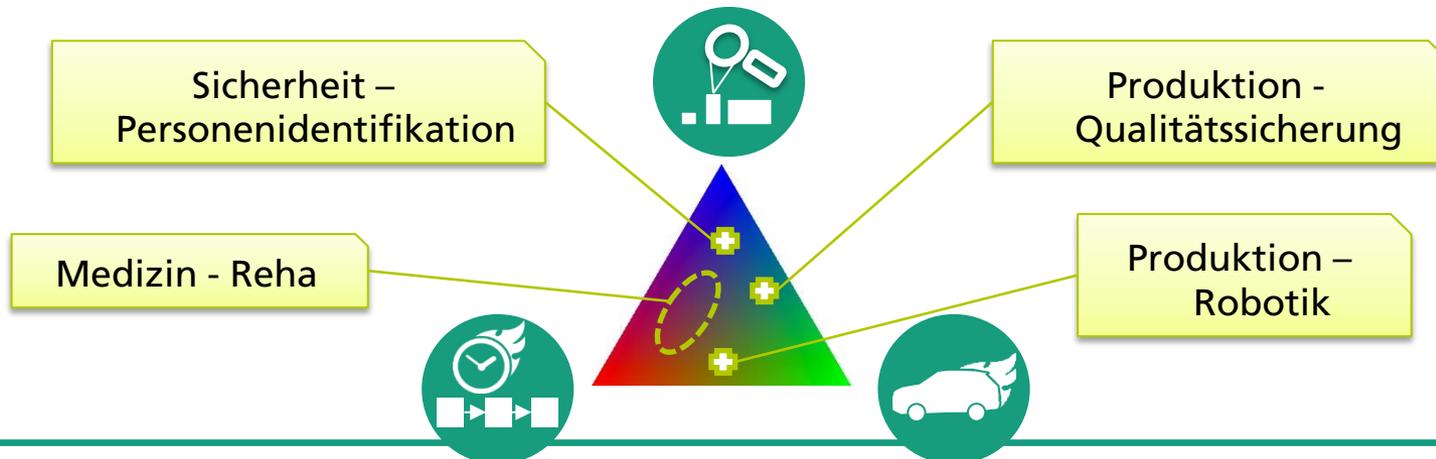


# I. Motivation - Warum eine Studie ?

- „Allianz 3Dsensation“ Konsortium der Förderinitiative *zwanzig20* (BMBF)

Innovationen im Bereich 3D-Sensorprinzipien, 3D-Verarbeitung, 3D-Datenanalyse und 3D-Wiedergabe-/Interaktion für die Mensch-Maschine-Interaktion

- in den Bedarfsfeldern: Produktion, Gesundheit, Mobilität und Sicherheit
- unterschiedliche Anforderungen an 3D-Sensoren, beispielsweise:



# I. Beispiele für unterschiedliche Anforderungen

**(A)** Produktion –  
Qualitätssicherung



Mittlere Messgeschwindigkeit



Hohe Messgenauigkeiten



Latenzen i. Allg. unkritisch

**(B)** Produktion –  
Interaktion in Roboterzelle



Hohe Messgeschwindigkeit



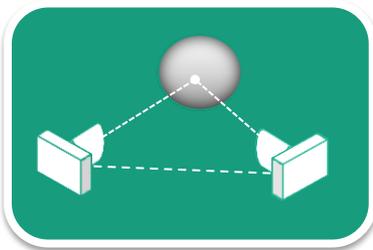
Mäßige Messgenauigkeiten



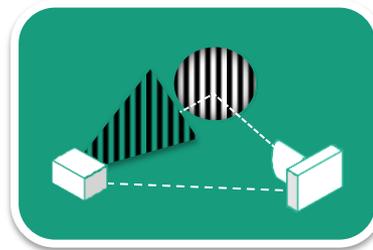
Minimale Latenzen

# I. Wichtige 3D-Sensorprinzipien der Bedarfsfelder

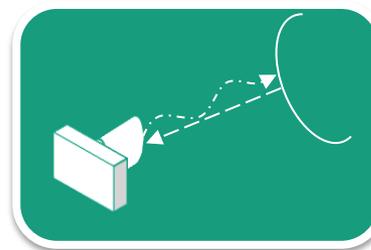
## ■ Auswahl unterschiedliche 3D-Sensorprinzipien



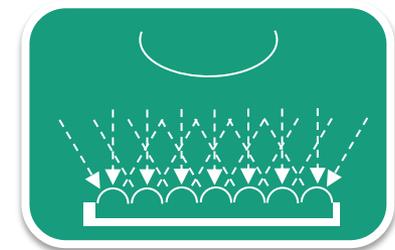
*passiv Stereo*



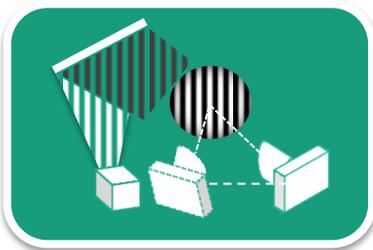
*aktiv Stereo*



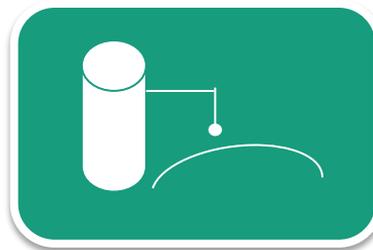
Time of Flight



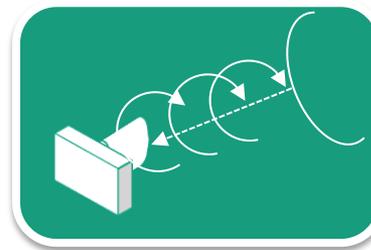
plenoptisch



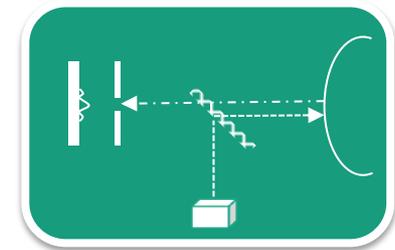
Deflektometrie



Koordinaten-  
messgeräte



Shape  
from Shading



Weißlicht  
Interferometrie

---

# I. Welche Sensoren sind verfügbar, welchen brauche ich?

---

- großer Markt an Sensoren
- Sensoren haben jeweils spezifische Vor- & Nachteile
- für Überblick fehlt bisher vergleichbare Darstellung

*bisher...*

- Richtlinie VDI 2634 Blatt 1/2/3
  - geeignet die „Messgenauigkeit“ eines 3D-Sensors zu bewerten
  - Kenngrößen sind:  
Antastabweichung, Längenmessabweichung,  
Ebenheitsmessabweichung

---

# I. Was wird darüber hinaus benötigt ?!

---

- weitere anwendernahe „weichere“ Kenngrößen sind notwendig...



## II. Branchenübergreifende 3D-Sensorstudie

**Ziel: Stand-der –Technik mittels systematische und einheitlicher Charakterisierung von Sensoren ermitteln.**

- Branchenübergreifend (Bedarfsfelder)
- einheitliche Parameter (= Kenngrößen) für ALLE Sensoren
- Studie als „Basisprojekt“ innerhalb der Allianz 3Dsensation
- Studienteilnehmer aus Industrie und Wissenschaft:

- **INB Vision GmbH\***
- **Siemens AG\***
- **VIALUX GmbH\***      [\*Projektmitglieder]
- **Fraunhofer IOF\***
- **Fraunhofer IIS\***
- **Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg\***
- *CiS Forschungsinstitut für Mikrosensorik GmbH*
- *Fraunhofer HHI*
- *Friedrich-Schiller-Universität Jena*
- *Gesellschaft für Bild- und Signalverarbeitung mbH*
- *LSA GmbH, Otto Vision GmbH*
- *Steinbeis Qualitätssicherung und Bildverarbeitung GmbH*
- *Technische Universität Chemnitz*
- *Technische Universität Ilmenau*
- *Zentrum für Bild- und Signalverarbeitung e. V.*

# II. Kenngrößen der 3D-Sensorstudie

- Ermittlung von 50+ Kenngrößen für alle Sensoren in den Kategorien:  
Gerätebeschreibung, Funktionsbeschreibung, messtechnische, zeitbezogene, Umgebungseinfluss, Materialeinfluss
- *Messdaten* für alle Sensoren und Kenngrößen

## Gerätebeschreibung

- 1.1 Abmessungen (BxHxT) [mm<sup>3</sup>]
- 1.2 Gewicht [g]
- 1.3 Wellenlänge und Bandbreite [nm]
- 1.4 elektrische Leistung [W]
- 1.5 Versorgung [V, A, bar]
- 1.6 Art der Versorgung [text]
- 1.7 IP Schutzklasse [text]
- 1.8 Besondere Arbeitsschutzmaßnahmen [text]
- 1.9 Sensorpreis (Preisspanne) [€]
- 1.10 Technische Schnittstellen/Protokolle [text]
- 1.11 Logische Schnittstellen/Datenformate [text]
- 1.12 Komponenten eines Datenpunktes [text]
- 1.13 Struktur der Datenpunkte [text]

## Funktionsbeschreibung

- 2.1 Dimensionalität des Verfahrens (VDI 2617-6.2) [text]
- 2.2 zusätzlich benötigte Messmittel [text]
- 2.3 zusätzliche Bewegungsachsen [-]
- 2.4 Rundumsicht {ja, nein}
- 2.5 typische Einsatzfelder [text]

## Messtechnische Kenngrößen 3D

- 3.1 3D Messvolumen (Einzelansicht) (LxHxT) [mm<sup>3</sup>]
- 3.2 Abstand zum Messvolumen in z-Richtung [mm]
- 3.3 Antastabweichung ( $P_F, P_S$ ) [mm]
- 3.4 Kugelabstandsabweichung (SD) [mm]
- 3.5 Längenmessabweichung (E) VDI2634 6.1 [mm]
- 3.6 Ebenheitsmessabweichung (F) [mm]
- 3.7 Lokales Rauschen in z-Richtung (räumlich) [mm]
- 3.8 Lokales Rauschen in z-Richtung (zeitlich) [mm]
- 3.9 Max. Datenpunkte je Messung [px]
- 3.10 Mittlerer Triangulationswinkel (min,max,mean) [°Grad]
- 3.11 Mittlere Basislänge (min,max,mean) [mm]
- 3.12 Max. Neigungswinkel der Oberfläche [°Grad]
- 3.13 Mittlerer 3D Datenpunktabstand (x / y) [mm]

## Kenngrößen zu kleinsten Strukturen

- 4.1 Grenzfrequenz der 3D-MTF (x | y) [mm<sup>-1</sup>]
- Zeitbezogene Kenngrößen 3D**
- 5.1 Messzeit pro 3D Einzelansicht [ms]
- 5.2 Latenzzeit pro 3D Einzelansicht [ms]
- 5.3 Gesamtzeit pro 3D Einzelansicht [ms]
- 5.4 Max. 3D Datenpunktrate [px/s]
- 5.5 Messrate 3D-Einzelansichten <kontinuierlich> [fps]
- 5.6 Wiederholrate 3D-Einzelansichten [fps]

## Technische Daten eines elementaren Bildgebers

- 6.1 Modell-/Typenbezeichnung [text]
- 6.2 Dimension (Dim. / Achsen) [text]
- 6.3 Auflösung (laut Hersteller) [px]
- 6.4 Anzahl elementarer Bildgeber [-]

## Zeitbezogene Kenngrößen eines elementaren Bildgebers

- 7.1 Messzeit elementare Einzelaufnahme [μs]
- 7.2 Rate elementare Einzelaufnahme [fps]
- 7.3 Pixelrate [px/s]

## Umgebungseinfluss

- 8.1 Fremdlicht (max. dc) [lx]
- 8.2 Zulässige Betriebstemperatur [°C]
- 8.3 Zulässige max. Betriebs-Luftfeuchte [%]

## Materialeinfluss (Messobjekt)

- 9.1 Textur Farbe-/Grauwerte ( $\sigma_z$ , Rauschen) [mm]
- 9.2 Textur Hell-Dunkel Übergang ( $\sigma_z$ ) [mm]
- 9.3 Transluzenz [text]

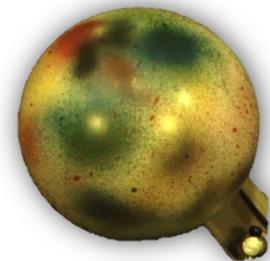
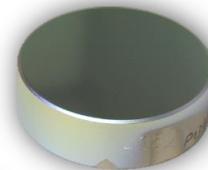
## Sonstiges

- 10.1 Erweiterungsmöglichkeiten [text]
- 10.2 Besonderheiten des Sensors [text]
- 10.3 Serviceintervall und MTBF [text]
- 10.4 Zeit für Inbetriebnahme [h]

Systemkonfiguration der Kenngrößen-Bestimmung [text]

## II. Methodik der Studie

- neues, einheitliches **Sensor-Datenblatt** der 50+ Kenngrößen
- ausführliche Beschreibung der Kenngrößen & Messpläne
- Angelegt als „Round-Robin Experiment“
  - viele Partner = viele Sensoren
  - eigene Sensoren und Sensoren von Dritten
- Anonymisierung der Ergebnisse erforderlich
- unterschiedlichste Referenzkörper



# III. Ergebnisse der 3D-Sensorstudie

- >30 Datenblätter für 3D-Sensoren der Form:

**ARRAY**

Hersteller: ...  
 Produktname: ...  
 Beschreibung: ...

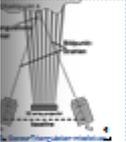
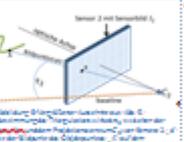





Fraunhofer IAO

**System- / Prinzipbeschreibung**

Das System besteht aus ...  
 Die Messung erfolgt ...  
 Die Daten werden ...

**System- / Prinzipbeschreibung**

Das System besteht aus ...  
 Die Messung erfolgt ...  
 Die Daten werden ...





**Kenngroßentabelle**

Parameter	Wert	Einheit	Min	Max
Reichweite	100	m	0	100
Winkelbereich	360	°	0	360
Auflösung	0.5	mm	0	0.5
Reaktionszeit	10	ms	0	10
Temperaturbereich	-10 ... 40	°C	-10	40
Umspannung	12	V	0	12
Stromverbrauch	1.5	A	0	1.5
IP-Schutzart	IP67	-	-	-
Material	Alu	-	-	-
Farbe	Schwarz	-	-	-
Wichtung	1	-	-	-
Hersteller	Fraunhofer IAO	-	-	-

**Kenngroßentabelle**

Parameter	Wert	Einheit	Min	Max
Reichweite	100	m	0	100
Winkelbereich	360	°	0	360
Auflösung	0.5	mm	0	0.5
Reaktionszeit	10	ms	0	10
Temperaturbereich	-10 ... 40	°C	-10	40
Umspannung	12	V	0	12
Stromverbrauch	1.5	A	0	1.5
IP-Schutzart	IP67	-	-	-
Material	Alu	-	-	-
Farbe	Schwarz	-	-	-
Wichtung	1	-	-	-
Hersteller	Fraunhofer IAO	-	-	-

Titel/Abb.

System- / Prinzipbeschreibung

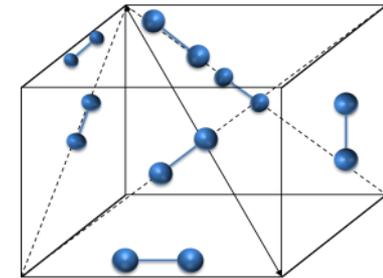
Kenngroßentabelle

# III. Ausgewählte Resultate 1

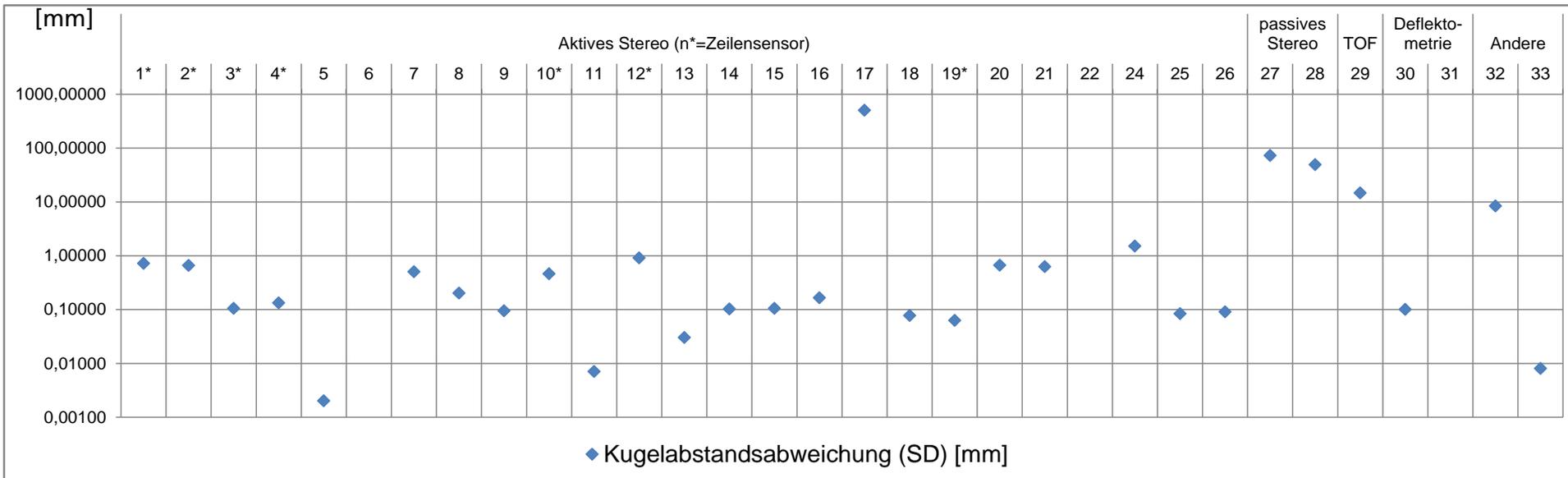
- Messunsicherheit am Beispiel der Kenngröße *Kugelabstandsabweichung*:



Referenzkugelstab

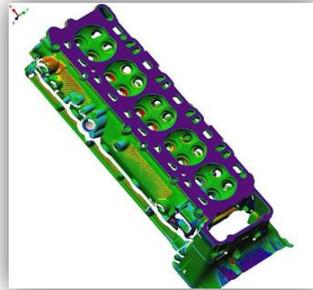


Messpositionen im Messvolumen



# III. Anwendung auf Beispiel (A) Qualitätssicherung

(A) Produktion –  
Qualitätssicherung



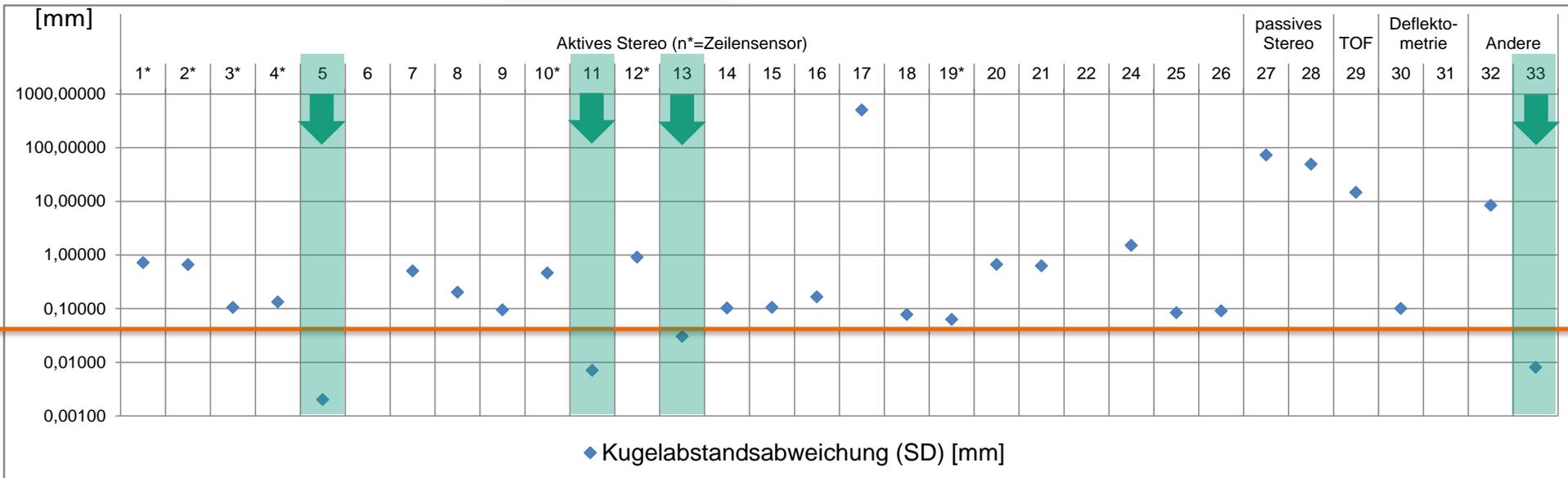
Mittlere Messgeschwindigkeit



Hohe Messgenauigkeiten

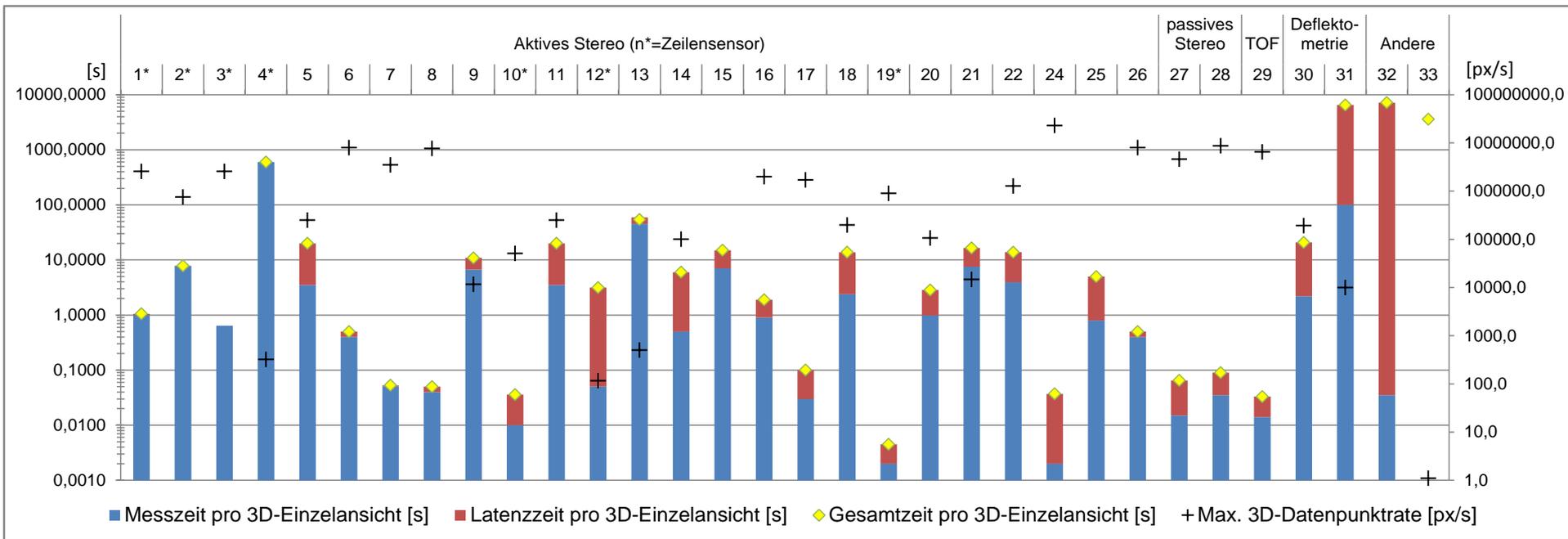
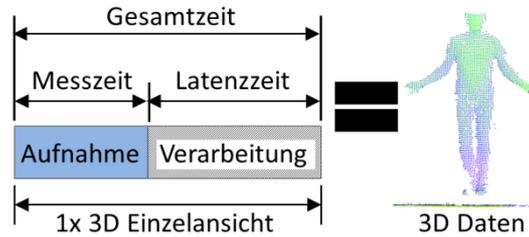


Latenzen i. Allg. unkritisch



# III. Ausgewählte Resultate 2

## ■ Zeitliche Kenngrößen:



# III. Anwendung auf Beispiel (B) Roboterzelle

**(B)** Produktion –  
Interaktion in  
Roboterzelle



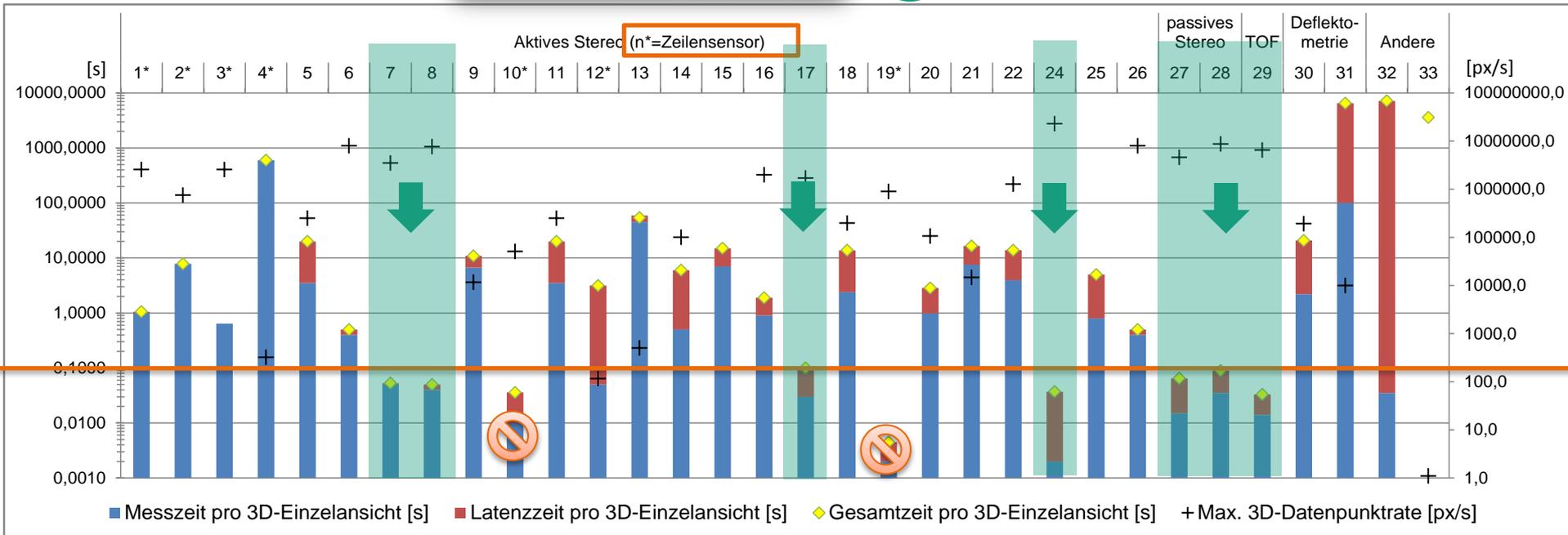
Hohe Messgeschwindigkeit



Mäßige Messgenauigkeiten



Minimale Latenzen



---

## III. Anwendung, weitere Schritte

---

- Neben den messtechnische Kenngrößen sind „weichere“ anwendernahe Kenngrößen oft entscheidend!
- Für die Mensch-Maschine-Interaktion u. a.
  - Irritationsfreiheit
  - Arbeitsschutzmaßnahmen (Brille etc.)
  - Versorgungsarten (Strom etc.)
  - Umwelteinflüsse (Wetter etc.)
  - Fremdlicht
  - Komponenten eines Datenpunktes
  - typische Einsatzfelder

Diese sind im Datenblatt erfasst ...

### III. Weitere Resultate: Eigenschaften 3D-Sensorprinzipien

	<b>Time of Flight (ToF)</b>	<b>Stereovision (Photogrammetrie)</b>	<b>Feste strukturierte Beleuchtung</b>	<b>Programmierbare strukturierte Beleuchtung (DLP)</b>
Messprinzip	IR-Puls, Messung der Lichtlaufzeit	Zwei 2D-Sensoren emulieren Augen	Einzelmuster (sichtbar oder IR)	Mustersequenzen (sichtbar oder IR)
Punktwolkenerzeugung	Direkte Ausgabe	softwaregestützt	softwaregestützt	softwaregestützt
Latenz	Niedrig	Mittel	Mittel	mittel
Aktive Beleuchtung	Ja	Nein	ja	Ja – anpassbares Spektrum
Performance b. wenig Licht	Gut	Schwach	gut	Gut
Performance bei hellem Licht	Mittel	Gut	Mittel/schwach, abhängig von Beleuchtungsstärke	Mittel/schwach, abhängig von Beleuchtungsstärke
Leistungsaufnahme (Stromverbrauch)	Mittel/hoch Proportional zu Entfernung	Gering	Mittel	Mittel, entfernungsabhängig
Bereich	Kurz bis lang, hängt von Laserleistung und Modulation ab	Mittel, hängt von Kameraabstand ab	Sehr kurz bis mittel, abhängig von Beleuchtungsstärke	Sehr kurz bis mittel, abhängig von Beleuchtungsstärke
Auflösung	QQVGA, QVGA bis SXGA	Kameraabhängig (1-5 Mpix)	Kameraabhängig (1-5 Mpix)	Kameraabhängig (1-5 Mpix)
Tiefengenaugigkeit	mm bis cm	mm bis cm, schwierig bei glatten, unstrukturierten Oberflächen	> 0,1 mm bis cm	1 µm bis mm
Scanngeschwindigkeit	Schnell/mittel (bis 160 Hz) begrenzt durch Sensorgeschwindigkeit	Mittel, durch Softwarekomplexität begrenzt	Mittel/schnell, begrenzt durch Kamera-Speed	Mittel/schnell, begrenzt durch Kamera- u. Projektor-Speed

---

## IV. Zusammenfassung

---

- Studie gibt einen Überblick über *Stand-der-Technik*
  - übernimmt etablierte Kenngrößen der Richtlinie VDI 2634
  - führt neue, anwendernahe Kenngrößen ein
  - erleichtert Vergleich und Auswahl
  - Weitere Studienergebnisse (ab Juli'16) unter:  
[http://www.3d-sensation.de/de/Projekte/Basisvorhaben\\_Sensor.html](http://www.3d-sensation.de/de/Projekte/Basisvorhaben_Sensor.html)
- Mensch-Maschine-Interaktion ist herausfordernd:
  - unterschiedliche Szenarien erfordern breites Spektrum der Kenngrößen
  - Versatilität → gutes Ausgangsmodell zur Übertragung auf andere Anwendungen
  - *Aus Limitierungen ergibt sich der zukünftige Forschungsbedarf*

**Vielen Dank.**

# **Ihre Fragen ?**

*Unser Dank für das Gelingen des Projektes gilt den beteiligten Projektpartnern und den Teilnehmern der Studie sowie der Allianz 3Dsensation.*

*Diese Projekt wurde mit Mitteln des BMBF im Rahmen der Förderinitiative zwanzig20 gefördert.*