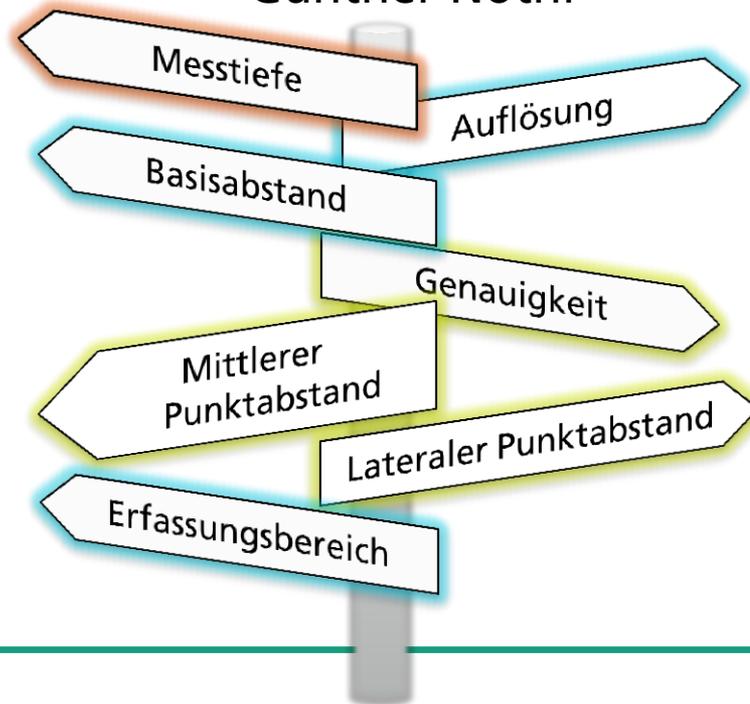


Die VDI 2634-2 oder: „Sind vier statische Kenngrößen zur Charakterisierung eines 3d-Messsystems (noch) zeitgemäß ?“

16. Oldenburger 3D-Tage, 01.02. - 02.02.2017

Daniel Höhne, Christian Bräuer-Burchardt, Peter Lutzke, Peter Kühmstedt,
Gunther Notni



Agenda

- Motivation *„3D-Messsysteme zu beschreiben“*
- Die Möglichkeiten *„3D-Messsysteme zu charakterisieren“*
- Studie, Ergebnisse & Probleme
- Fazit

Motivation - Ausgangspunkt

- Konsortium einer Zwanzig20-Ausschreibung:

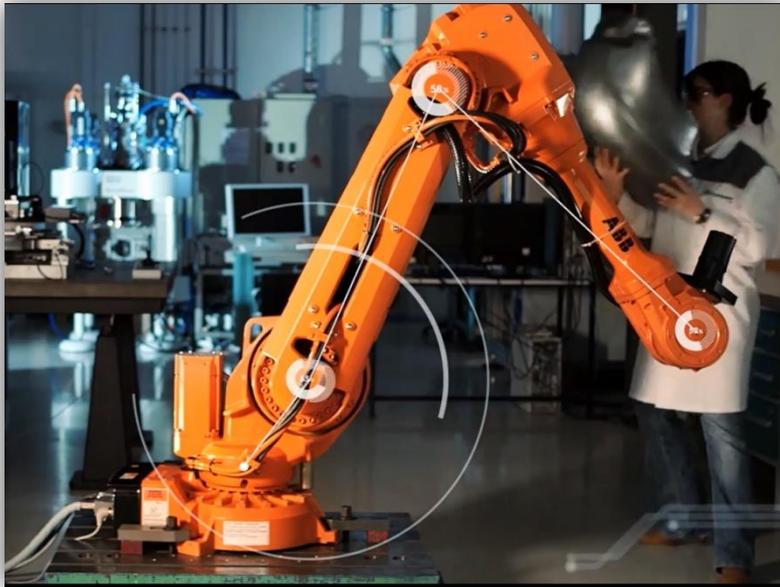


„Mensch-Maschine Interaktion“

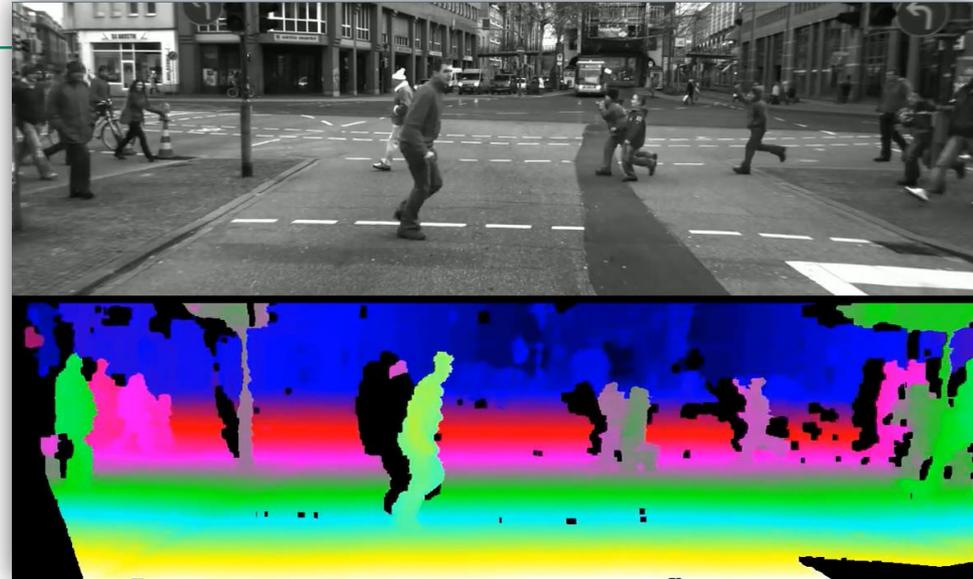
Messen weg von statischen hin zu *dynamischen* Szenen!

- Was ist hier der Stand von Wissenschaft und Technik ?
 - Welche Eigenschaften der Sensoren sind wichtig ?
 - Wie kann Vergleichbarkeit hergestellt werden ?
(Großes Spektrum an Sensoren)

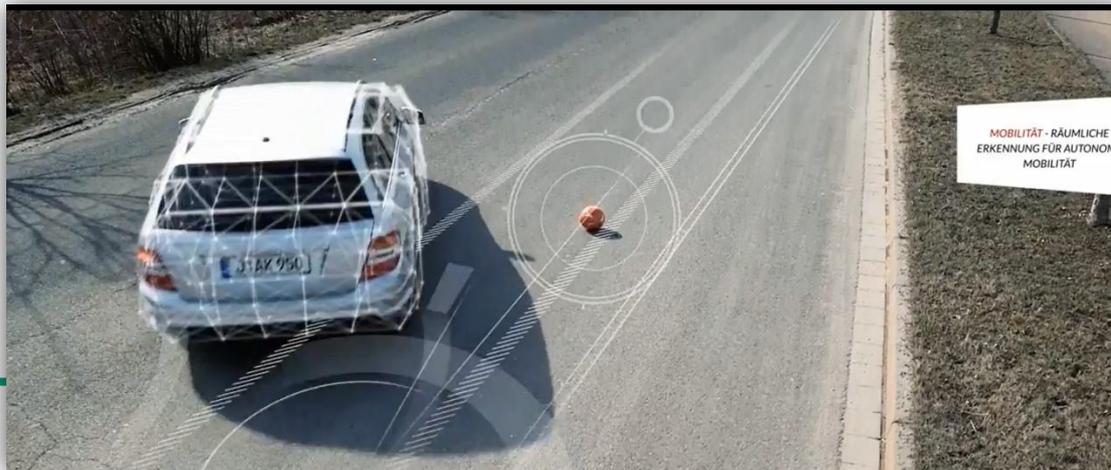
Motivation – Einsatzszenarien für Sensoren



3Dsensation



libELAS



Motivation – Anwenderfragen

Typische Fragen von Anwendern dazu:

- *Wie „genau“ ist, wie **genau** misst eigentlich Ihr Sensor ?*
- *Was hat der für einen **Auflösung** ?*
- *Welche **Tiefengenauigkeit** erreicht Ihr Sensor ?*
- *Welche **Tiefenauflösung** erreicht Ihr Sensor ?*
- *Wir haben einen Bandvortrieb von **600 m/min**, **sCHAFFT** der Sensor das ?*
- *Unsere Produkte sind aus **transparenter** Plaste, können Sie das messen ?*
- *Wir wollen diesen Fehler/Fehlstelle erkennen, kann Ihr Sensor das **erkennen** ?*

Es folgen einige Beispielauszüge aus Datenblättern, die diese Fragen vielleicht beantworten...???

Motivation - Herstellerangaben

■ Begriffswirrwarr und Marketingstrategie

Tiefen-Auflösung, Tiefen-Fehler, Tiefen-genauigkeit ? Fehlt!

$330\text{Hz} \cdot 1317\text{Pt}$
 $= 434610 \text{ Pt/s}$

| | |
|--------------------------|------------------------|
| Messtiefe | +/- 50 mm |
| Linienbreite | bis zu 125 mm |
| Mittlerer Arbeitsabstand | 150 mm |
| Linienfrequenz | bis zu 330 Hz |
| Datenrate | 210.000 Punkte/Sekunde |
| Mittlerer Punktabstand | 0,075 mm |
| Punkte pro Linie | 1317 |
| Lasertyp / Wellenlänge | Diode / 658 nm |
| Laserklasse | 2M |

Lateral, axial,
gemischt ?

Ableitung von Augensicherheit
und Arbeitsschutz, ok.

Randbedingungen: bei
welcher Linienbreite
und Varianz ?
 $125\text{mm} / 1317 =$
 $0,0949 \text{ mm}$

Motivation - Herstellerangaben

■ Begriffswirrwarr und Marketing

| | | |
|---|------------------------|---|
| Tiefenausdehnung des Messfeldes? == Messvolumen. | Messfeld | 48 mm x 35 mm (~DIN A9) bis 1,1 m x 0,84 m (~DIN A0) |
| | Arbeitsabstand | 0,35 m / 0,75 m / 1,25 m |
| „Präzision (3D)“ | Anzahl der 3D-Punkte | 1.000.000 |
| | Lateraler Punktabstand | 0,04 mm (DIN A9) bis 0,9 mm (DIN A0) |
| 60 ms + 50 ms = 110 ms 1 3d-Frame / 110 ms = 9,09 3D-Frames/s | Präzision (3D) | 4 µm (DIN A9) bis 350 µm (DIN A0) |
| | Messdauer | 60 Millisekunden |
| | Bearbeitungszeit | 50 Millisekunden |
| | 3D-Rate | > 10 Hz |

Motivation - Herstellerangaben

■ "Datenblattaussagen" (besser: Boschüren)

- High X/Y resolution due to Hi Res sensors
- Real time video
- Deep acquisition field

Bei 1.3MPx und welchem Messfeld ?

Was ist hier gemeint ?
Höhe, Tiefe, Breite, Abstand ?

Erfassungsbereich von 800 mm bis 2500 mm

- 1.3 seconds per scan, with full-field scanning
- Resolution: Up to 3.2 million points (6.4 million polygons)
- Accuracy: Down to 36 μ m (0.0014")

Extremwerte, unter welchen Randbedingungen ???

Motivation - Herstellerangaben

■ Unspezifische Begriffe

Messfeld?: 1-D, 2-D, 3-D,
diagonal, quadratisch ?

Es fehlen: Abstand des Sensors
zum Messfeld und die
Tiefenausdehnung des
"Messfeldes".

Ok, und wie lange muss man auf das
Ergebnis/Auswertung warten?

„Auflösung“. Ok, aber es stehen
drei Richtungen zur Auswahl!

„Genauigkeit“, wie ist die
definiert, wie wird sie
ermittelt

| Aufnahme | |
|---------------|---|
| Messfeld | 350 mm |
| Aufnahmezeit | < 0.05 s pro 3D Einzel-Scan |
| Scan-Ergebnis | |
| Punktwolke | 300 000 unabhängige (x,y,z) Koordinaten |
| Auflösung | < 0.05 mm |
| Genauigkeit | < 0.10 mm |

Motivation

*„Denn eben wo Begriffe fehlen,
Da stellt ein Wort zur rechten Zeit sich ein.
Mit Worten läßt sich trefflich streiten,
Mit Worten ein System bereiten,
An Worte läßt sich trefflich glauben,
Von einem Wort läßt sich kein Jota rauben.“*
(J. W. Goethe, Faust 1)

- Jeder Hersteller ist frei Begriffe in seinem Sinne zu erfinden, zu verwenden oder zu deuten (*"Erfassungsbereich"*).
- Begriffe aus der Welt der 2D-Kamerasensoren erwecken bestimmte Erwartungen ohne einfach auf den 3D-Kontext übertragbar zu sein (*"Auflösung, Genauigkeit"*).
- Es werden Angaben ohne den notwendigen Kontext bzw. weitere Kenngrößen gemacht (*Angabe von Extremwerten*).

Gibt es unbestechliche Angaben, den man uneingeschränkt vertrauen darf ?

Möglichkeiten - Ansatz der VDI2634 (Blatt 1/2/2)

- Definition von Kenngrößen zur Beschreibung der „Messgenauigkeit“ eines 3D Messsystems
 - **Blatt 1:** Längenmessabweichung (punktförmige Antastung)
→ Fokus auf: passive photogrammetrische Stereoverfahren
 - **Blatt 2:** Antastabweichung, Abstandsabweichung, Ebenheitsabweichung (flächenhafte Antastung)
→ Fokus auf: aktive Stereoverfahren
 - **Blatt 3:** wie Blatt 2 aber für „Rundumvermessung“/ 360°
→ Fokus auf: aktive Stereoverfahren
- Eine weitere vereinheitlichte Begriffsbildung für die Charakterisierung und Beschreibung von 3D-Messsystemen wird **nicht** vorgenommen.

Möglichkeiten - Neue Initiativen

- Zwei neue Initiativen, die Vergleichbarkeit herstellen wollen:

„Faires Datenblatt“

- Vergleichbarkeit über
 - Erweiterte Pflichtangaben zu Kenngrößen (~27)
 - „klare“ Begriffsdefinitionen und Erläuterungen
- Fokus auf „3-d Messverfahren zur Topographieanalyse von Oberflächen“

www.optassyst.de/fairedatenblatt/

„3Dsensation-Datenblatt“

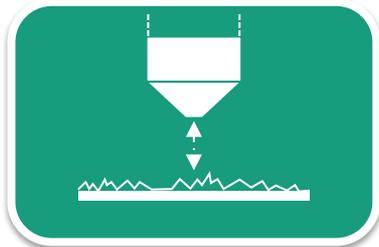
- Vergleichbarkeit über
 - Erweiterte Pflichtangaben zu Kenngrößen (~50)
 - „klare“ Begriffsdefinitionen und Versuchsbeschreibung
- Fokus auf "optische 3-d Messverfahren von Oberflächen mit Eignung zur Interaktivität"

www.3d-sensation.de/de/Projekte/Basisvorhaben_Sensor.html

Möglichkeiten - Neue Initiativen

„Faires Datenblatt“

- Eingebundene Verfahren

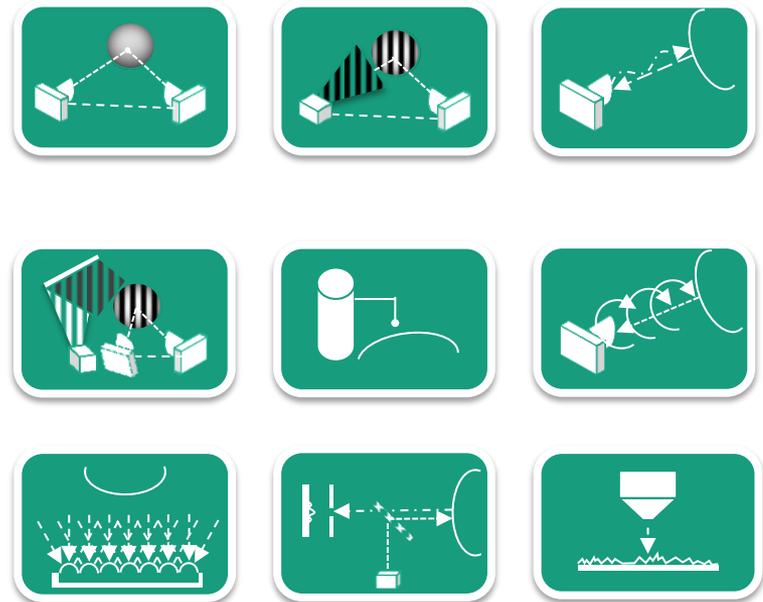


(mikrooptische)

- Ziele:
 - fairer Wettbewerb unter den Herstellern
 - Vergleichbarkeit für Kunden

„3Dsensation-Datenblatt“

- Eingebundene Verfahren



- Ziele: Vergleichbarkeit für Anwender, Einsatzszenarien

Möglichkeiten - Neue Initiativen

„Faires Datenblatt“

■ Partner

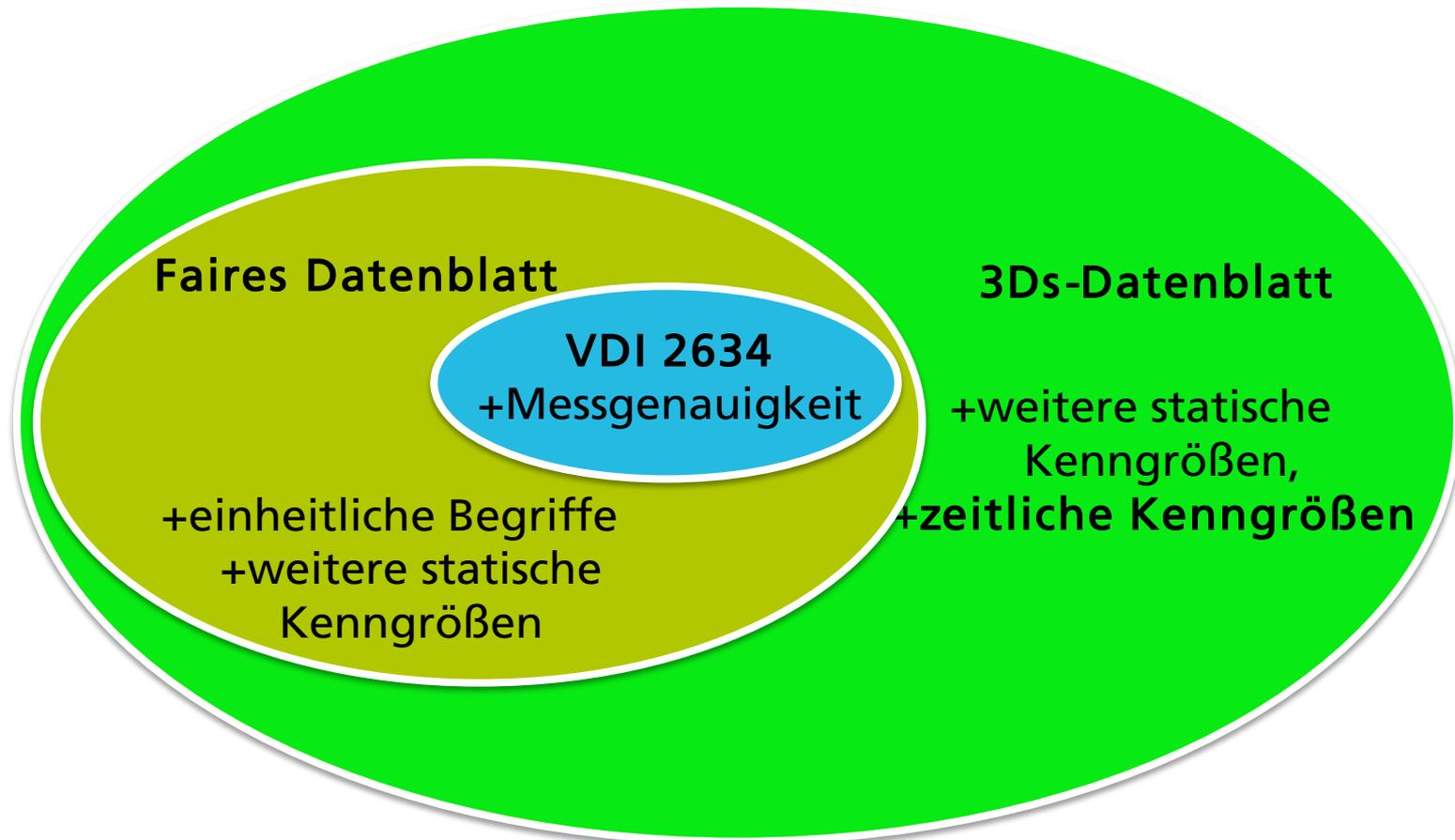
- Audi AG
- Robert Bosch GmbH
- Daimler AG
- Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB)
- ZVEI – Zentralverband Elektrotechnik- und Elektroindustrie e. V.
- VDI – Verein Deutscher Ingenieure e. V.

„3Dsensation-Datenblatt“

■ Partner:

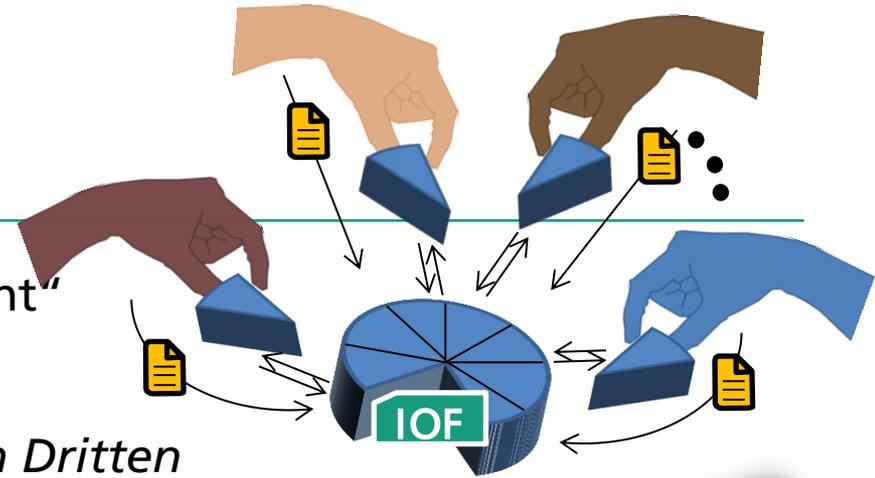
- INB Vision GmbH*
- Siemens AG*
- VIALUX GmbH* [*Projektmitglieder]
- Fraunhofer IOF*
- Fraunhofer IIS*
- Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg*
- CiS Forschungsinstitut für Mikrosensorik GmbH
- Fraunhofer HHI
- Friedrich-Schiller-Universität Jena
- Gesellschaft für Bild- und Signalverarbeitung mbH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

Möglichkeiten - Zusammenfassung



Sensorstudie - Methodik

- Angelegt als „Round-Robin-Experiment“
 - viele Partner = viele Sensoren
 - eigene Sensoren und *Sensoren von Dritten*
 - Anonymisierung der Ergebnisse erforderlich
- Beispiele der verwendeten Referenzkörper (~50)

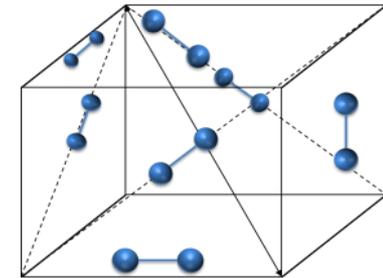


Studie - Ausgewählte Resultate 1

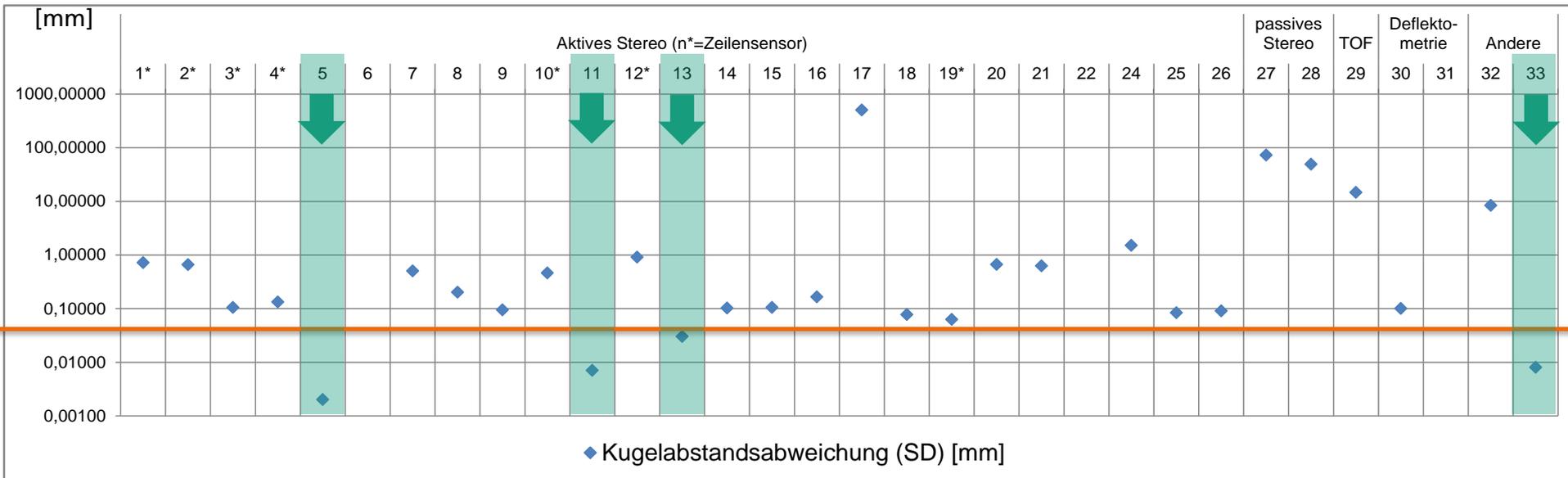
- Messunsicherheit am Beispiel der Kenngröße *Kugelabstandsabweichung*:



Referenzkugelstab

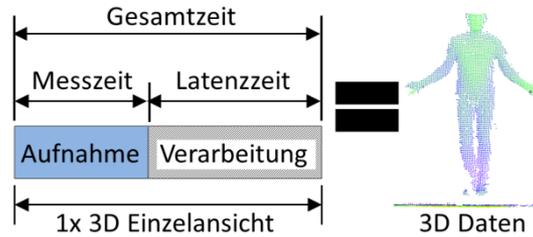


Messpositionen im Messvolumen

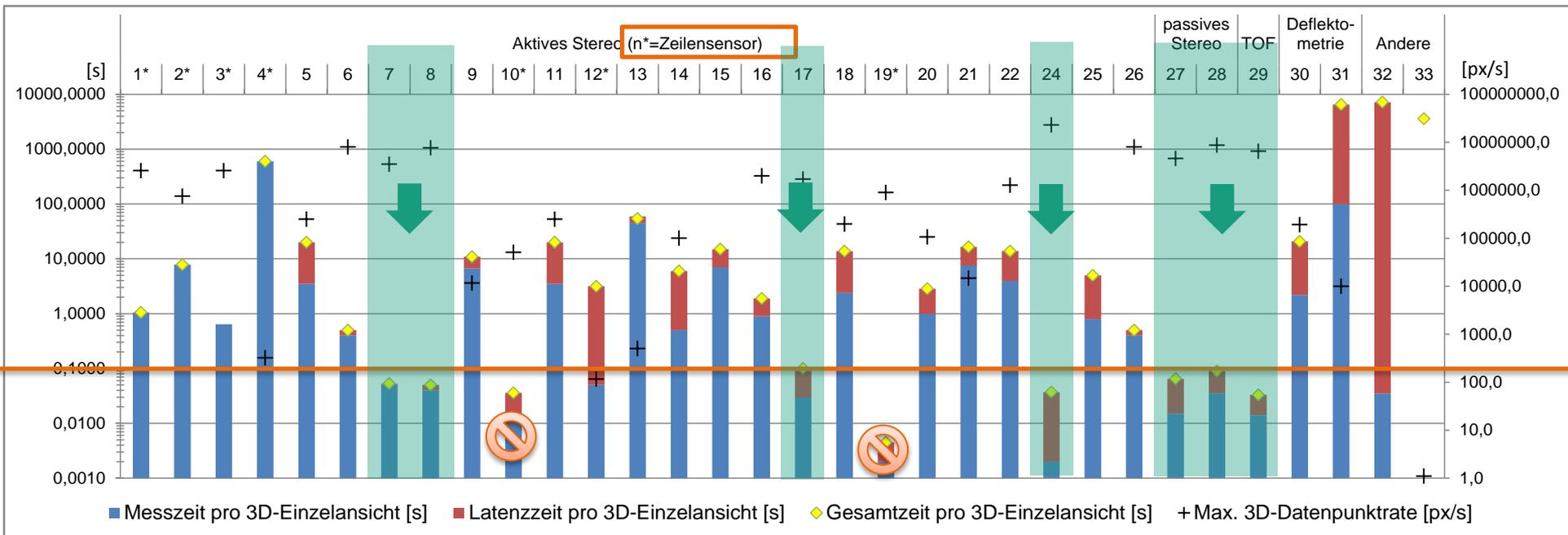


Studie - Ausgewählte Resultate 2

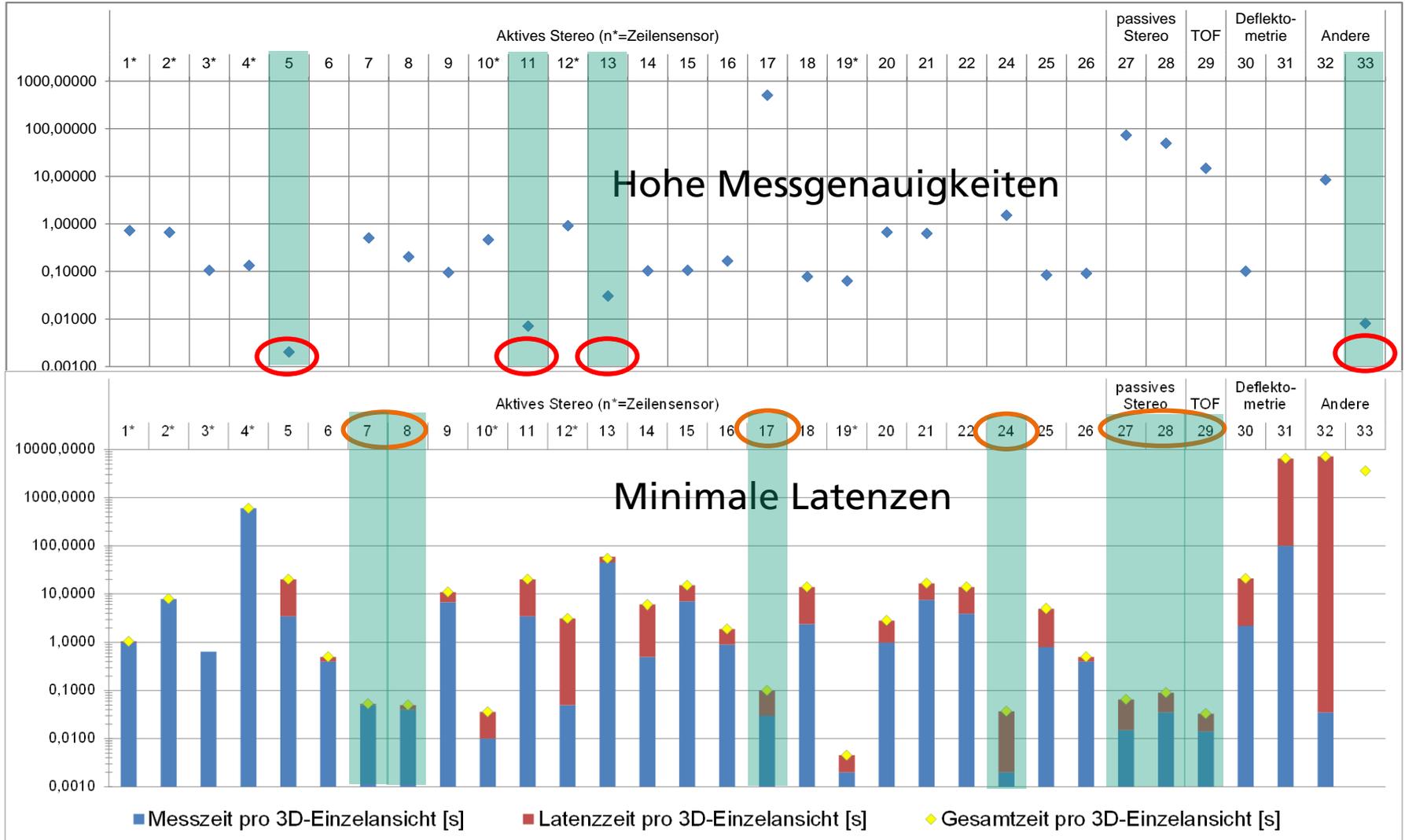
■ Zeitliche Kenngrößen:



- 5.1 Messzeit pro 3D Einzelansicht [ms]
- 5.2 Latenzzeit pro 3D Einzelansicht [ms]
- 5.3 Gesamtzeit pro 3D Einzelansicht [ms]
- 5.4 3D-Datenpunktrate (max.) [pt/s]
- 5.5 Messrate 3D-Einzelansichten [fps]
- 5.6 Wiederholrate 3D-Einzelansichten [fps]



Studie - Korrelation



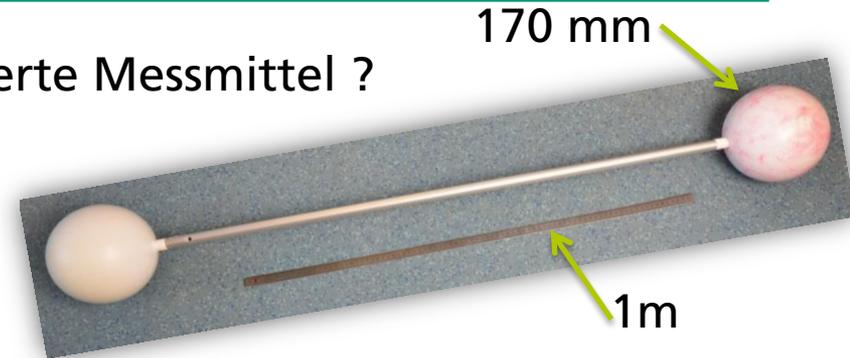
Beispiele, Probleme ...

- Zeitaufwand die notw. Messungen durchzuführen (1-3 Tage)
- Vorhandensein von Auswertesoftware (geeignet/korrekt)
- Dimensionalität der Verfahren (Linienscanner vs. Zeit)
 - Wie sind Verfahrachsen zeitlich zu bewerten ?
 - Normfläche bzw. Längenvorgabe sinnvoll ?
- Automatisierbarkeit und Reproduzierbarkeit ?
 - Interpretation der 3 0/00 Regel ...
Von welcher *Restpunktmenge* wird das „rauschen“ abgezogen?
- Sicherstellung von Laborbedingungen (Temperatur, Licht) etc. selten gegeben

Beispiele, Probleme ...

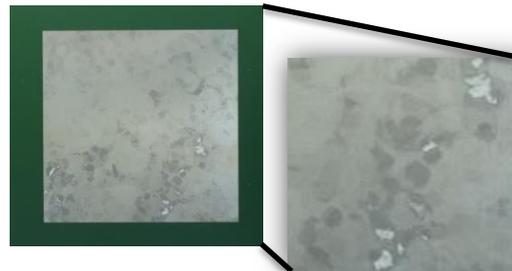
■ Verfügbarkeit und Kosten für kalibrierte Messmittel ?

- 5000x5000x5000 mm³ Messfeld
- 300x 300x 300 mm³ Messfeld
- 1x 1x 1 mm³ Messfeld



■ Messmittel(-Oberfläche), z. B. für passive Verfahren

- Textur ohne Struktur
- Musterwahl



Elox. Alu, gelasertes Muster



Zylinder mit Muster

■ Zeitliche Kenngrößen

- Nachweis durch Messgenauigkeit in Bewegung
- Einfacher Test/Testscenario möglich(ohne Laboraufbau)

Zusammenfassung

- Praktisch besteht ein Bedarf/Wunsch nach umfangreicher Begriffsdefinition
 - Wahrscheinlich mehrere Ansätze für untersch. Verfahrensklassen
 - Gleiche Begriffe sollten gleiche Bedeutung haben
 - Unterschiedliche Messungen von Kenngrößen möglich
- Kenngrößen zur Charakterisierung von Sensoren für dynamische Szenen werden zukünftig wichtiger

Studie

- Es fehlen derzeit latenzarme (<20ms) 3D-Sensoren für große Messfelder (>2m Diagonale), wie sie die kollaborative Mensch-Maschine-Interaktion benötigt
- Der Großteil der aktiven 3D-Sensoren arbeitet nicht irritationsfrei im visuellen Spektrum des Lichtes oder benötigt Arbeitsschutzmaßnahmen (Laser)
- Hohe Messgenauigkeit, Latenz und Messfeldgröße sind einander entgegenwirkende Ziele

Diskussion

Vielen Dank! Ihre Fragen ?



GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Ergänzung 1

- Es existiert ein Anwendungs-Datenblatt
- Dient der Beschreibung von Messszenarien mit Abgleich zum Datenblatt

Kenngrößen

Gerätebeschreibung

- 1.1 Abmessungen (BxHxT) [mm³]
- 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) [mm³]
- 3.2 Abstand zum Messvolumen in z-Richtung [mm]
- 3.3 Antastabweichung (P_p, P_v) [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 Datenpunkt Abstand (x / y) [mm]

Kenngrößen zu kleinsten Strukturen

- 4.1 Grenzfrequenz der 3D-MTF (x | y) [mm⁻¹]

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 3D-Datenpunktrate (max.) [pt/s]
- 5.5 Messrate 3D-Einzelansichten [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 (σ_z , Rauschen) [mm]
- 9.2 Textur Hell-Dunkel Übergang (σ_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]