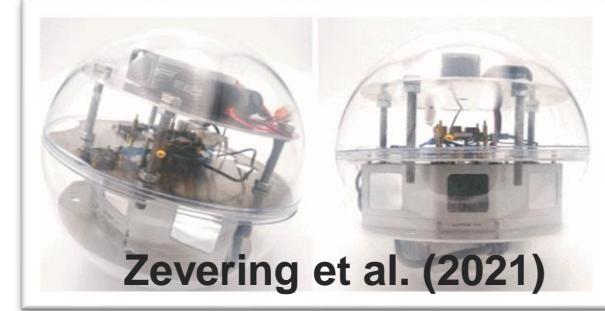


# Auswahl kinematischer Platformen "Zukunft"

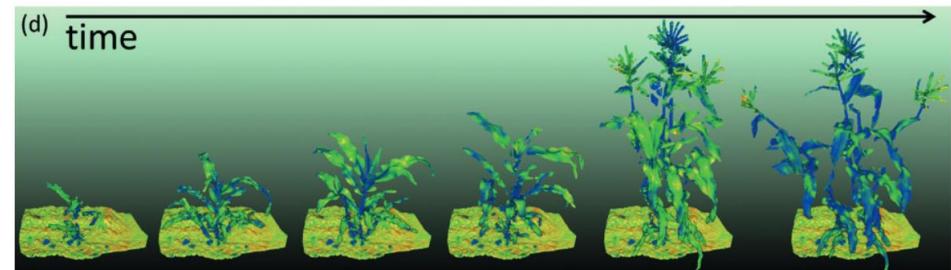
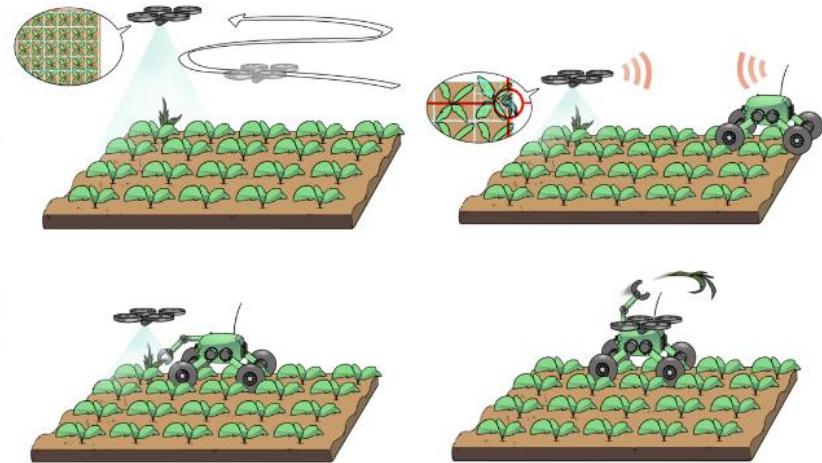




<https://youtu.be/juBC5ulaRtI>

Dezeen

# Auswahl kinematischer Platformen “Zukunft” – Smart Farming



# Auswahl kinematischer Platformen “Zukunft” – Autonomes Fahren

**Mobileye's best-in-class vision (camera) systems and real-time mapping and vehicle location**

**Mobileye's real-time mapping and vehicle location (REM™)**

Mobileye's software and EyeQ® 4/5 System on a Chip (SOC) perform detailed interpretations of the camera images to map the area around the vehicle. The software identifies road objects like pedestrians and then plots a drivable path to navigate the vehicle.



Mobileye Vision System

Cameras take a 360-degree image around the car and send it to the Multi-Domain Controller. The images are processed and objects are identified.

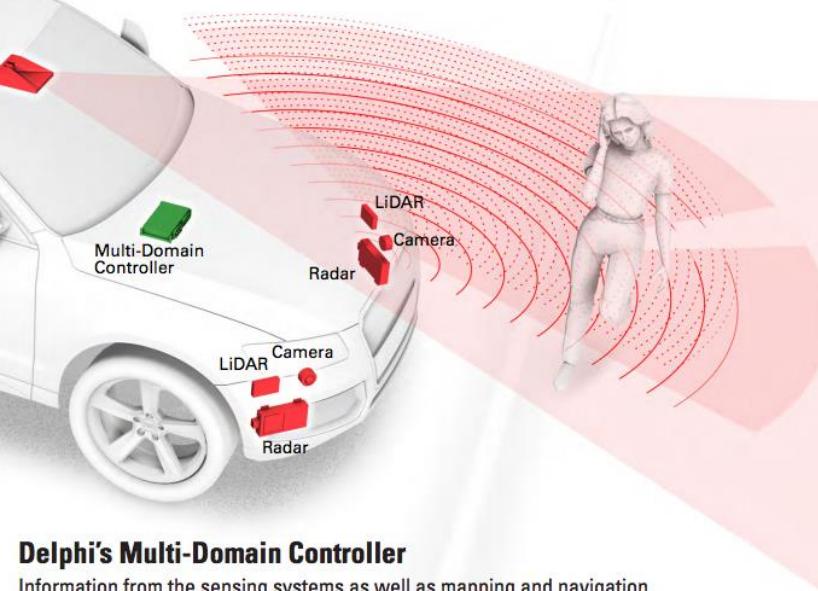
**Mobileye's Policy and Reinforcement Learning System**

Helps negotiate with other human drivers and pedestrians in complex urban scenes.

**Delphi's Ottomatika Automated Driving software, sensor suite, and its computing platform called a Multi-Domain Controller**

## Delphi's Sensor Suite

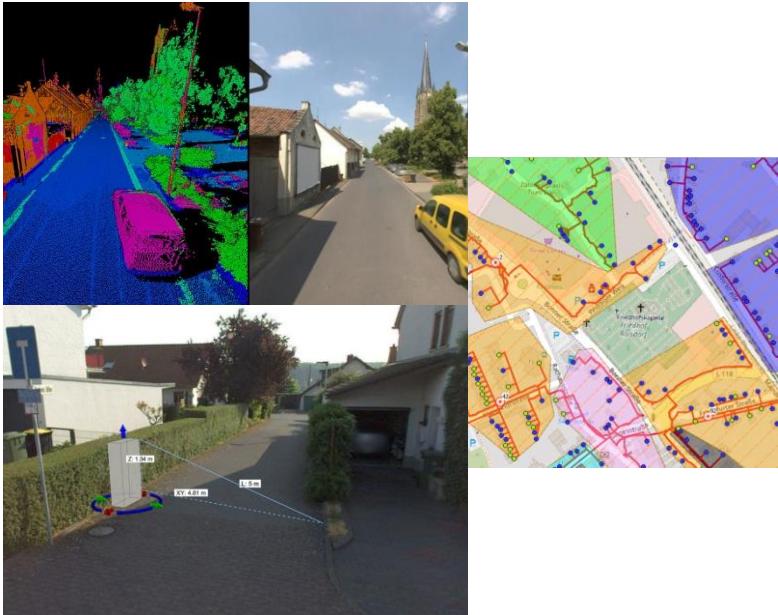
- **Radar:** Radio waves sent out and bounce off objects, like this pedestrian. The speed and distance of these objects is calculated in any weather, day or night.
- **LiDAR:** Light pulses sent out and reflect off objects like this pedestrian. LiDAR identifies the object as a person and her distance from the car, day or night.
- **RACam:** Combines a mid-range radar and a forward-facing camera that can see and identify objects like the pedestrian, plus sense objects further down the road.



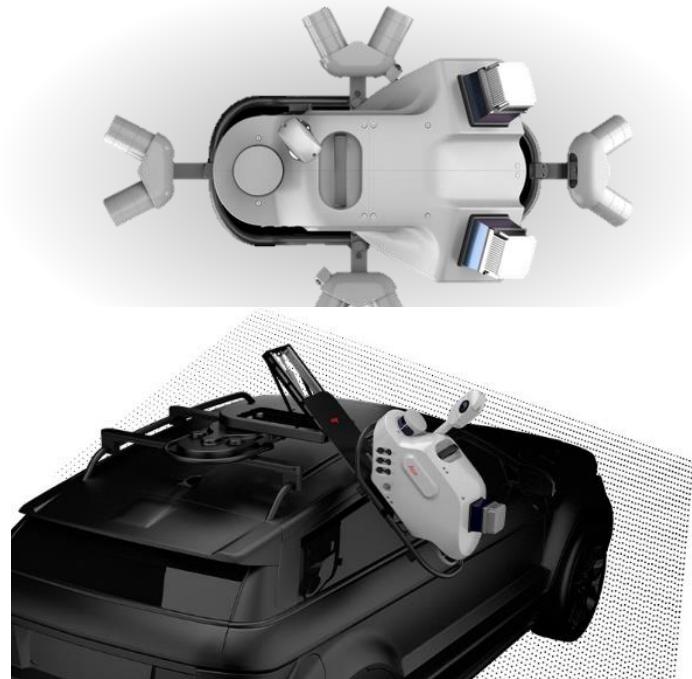
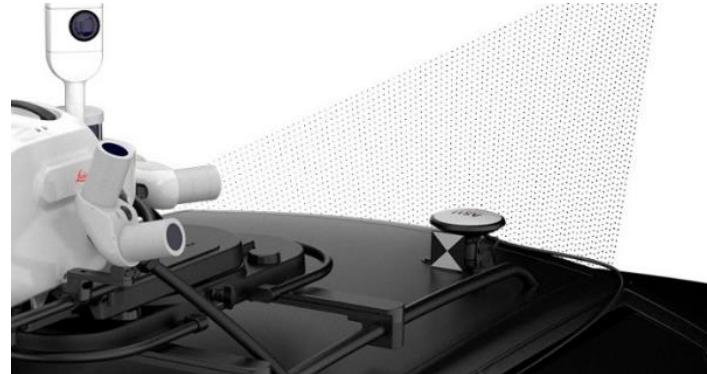
# Auswahl kinematischer Platformen “Zukunft” – Mobile Mapping



telekom.de



Sören Vogel (10-2022)

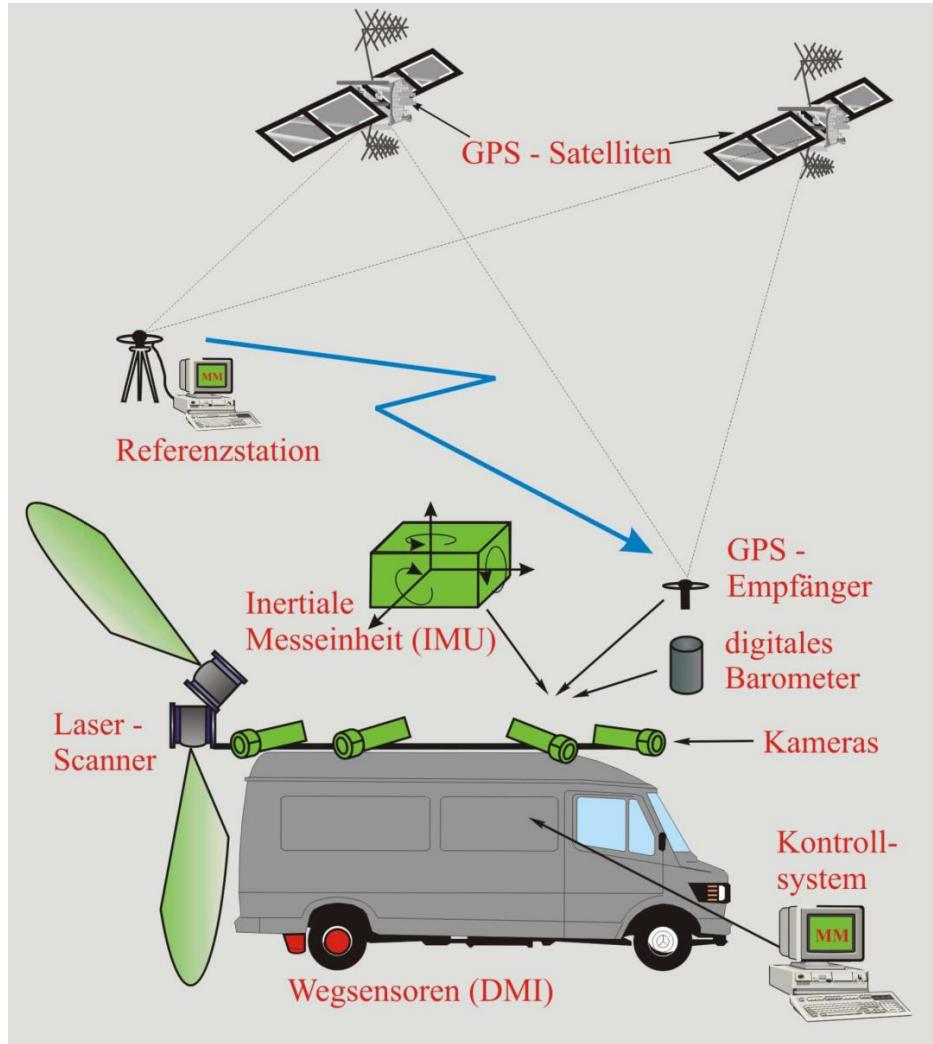


Multi-Sensor-Systeme

# Auswahl kinematischer Platformen LiDAR Mobile Mapping @ ikg

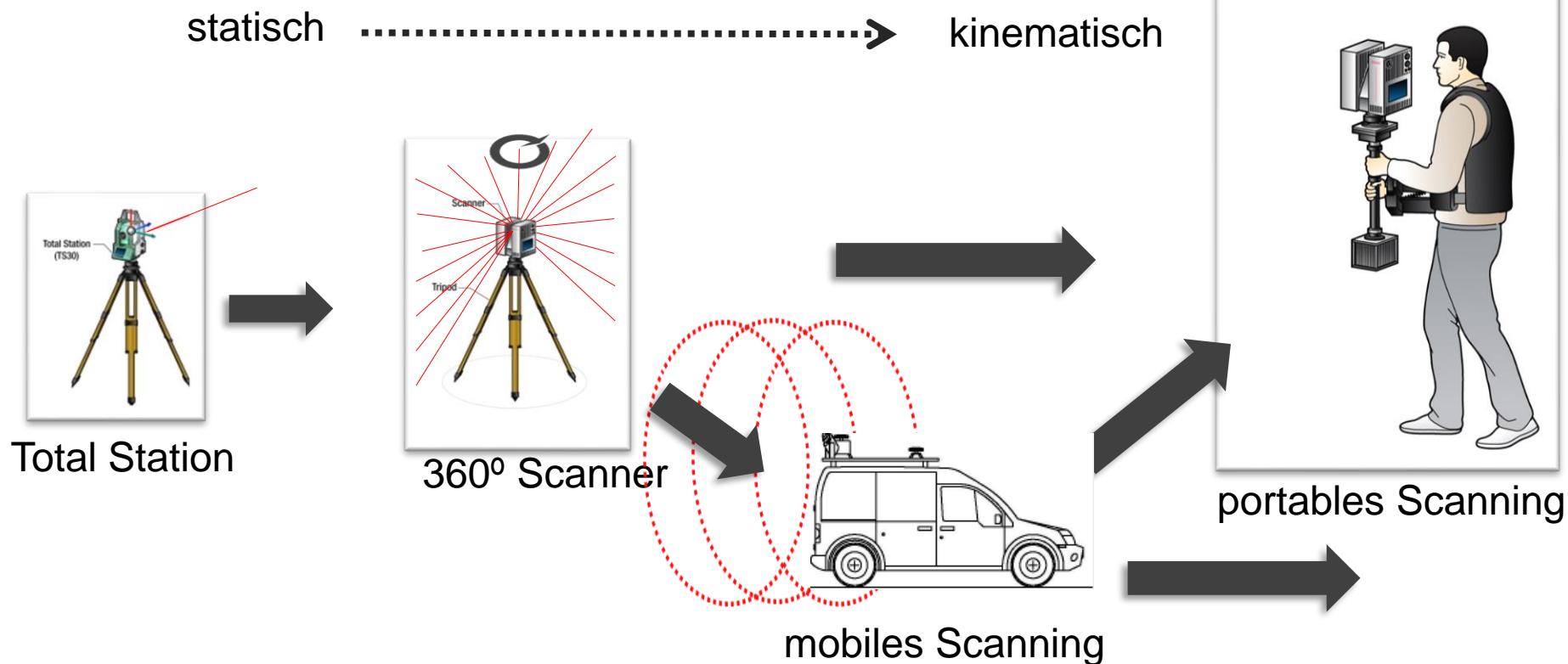


[Images provided by ikg]

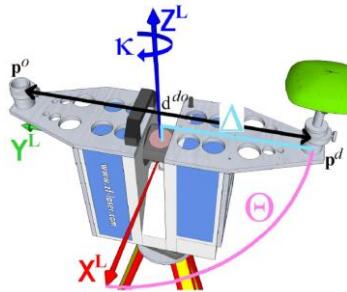


Gräfe (2007)

- Frei bewegliche Plattformen als Basis



## Statisch



Paffenholz (2012)

## Stop & Go

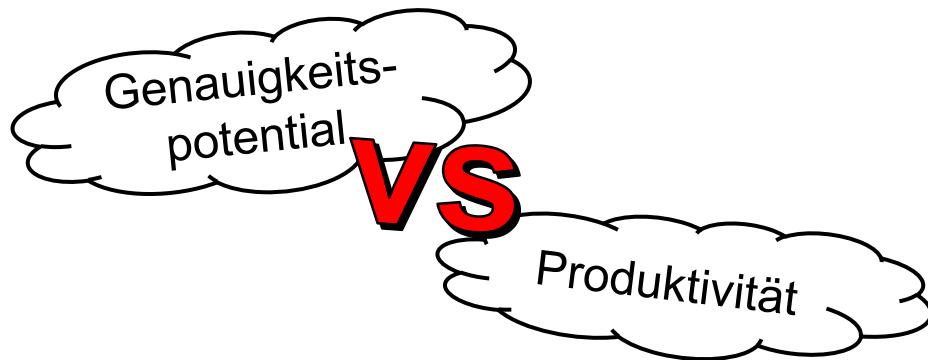


[scan-go.eu](http://scan-go.eu)

## Kinematisch

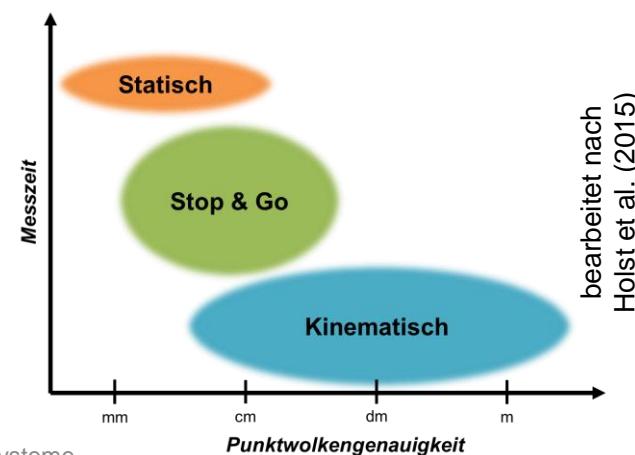


[bostondynamics.com](http://bostondynamics.com)

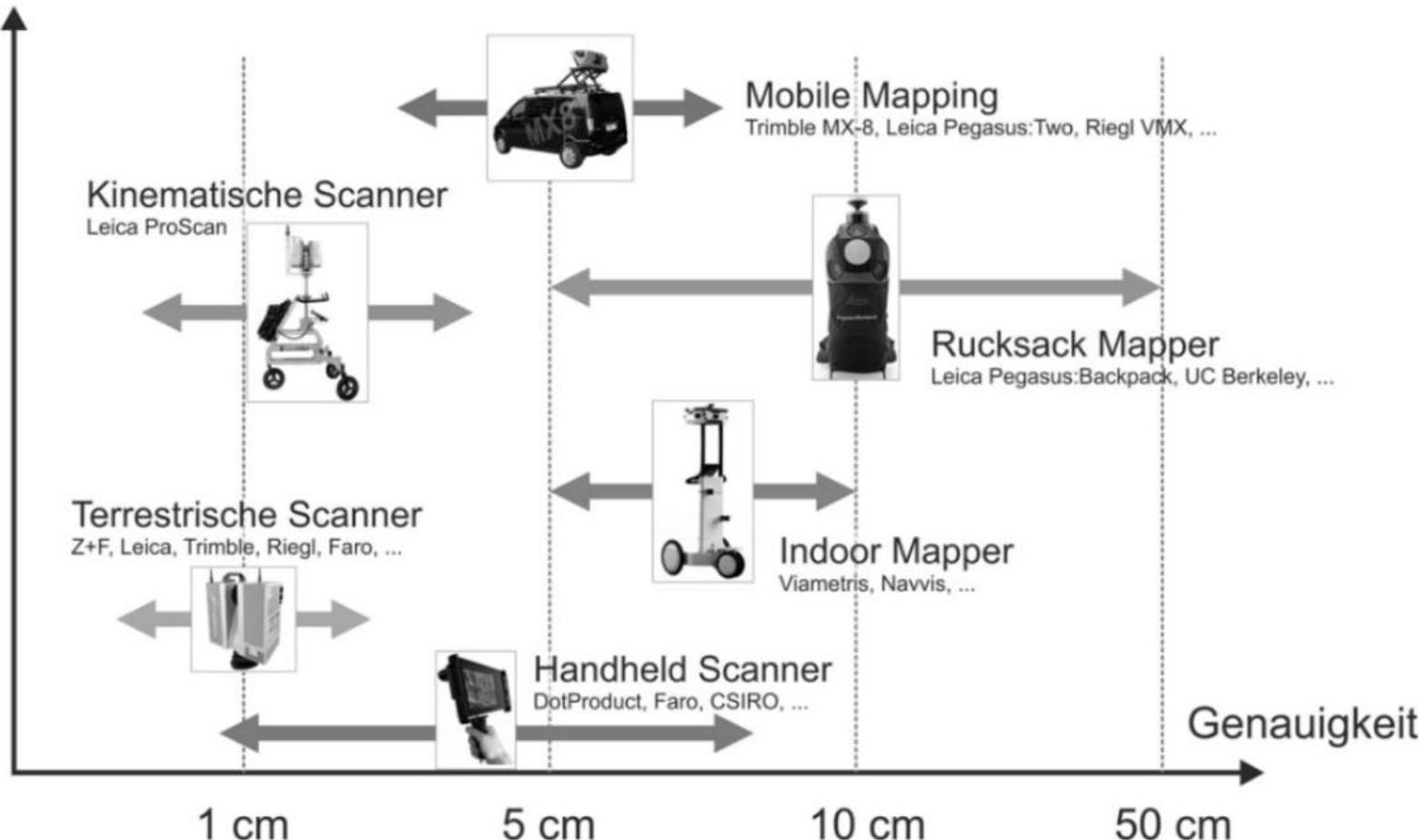


Sören Vogel (10-2022)

Multi-Sensor-Systeme

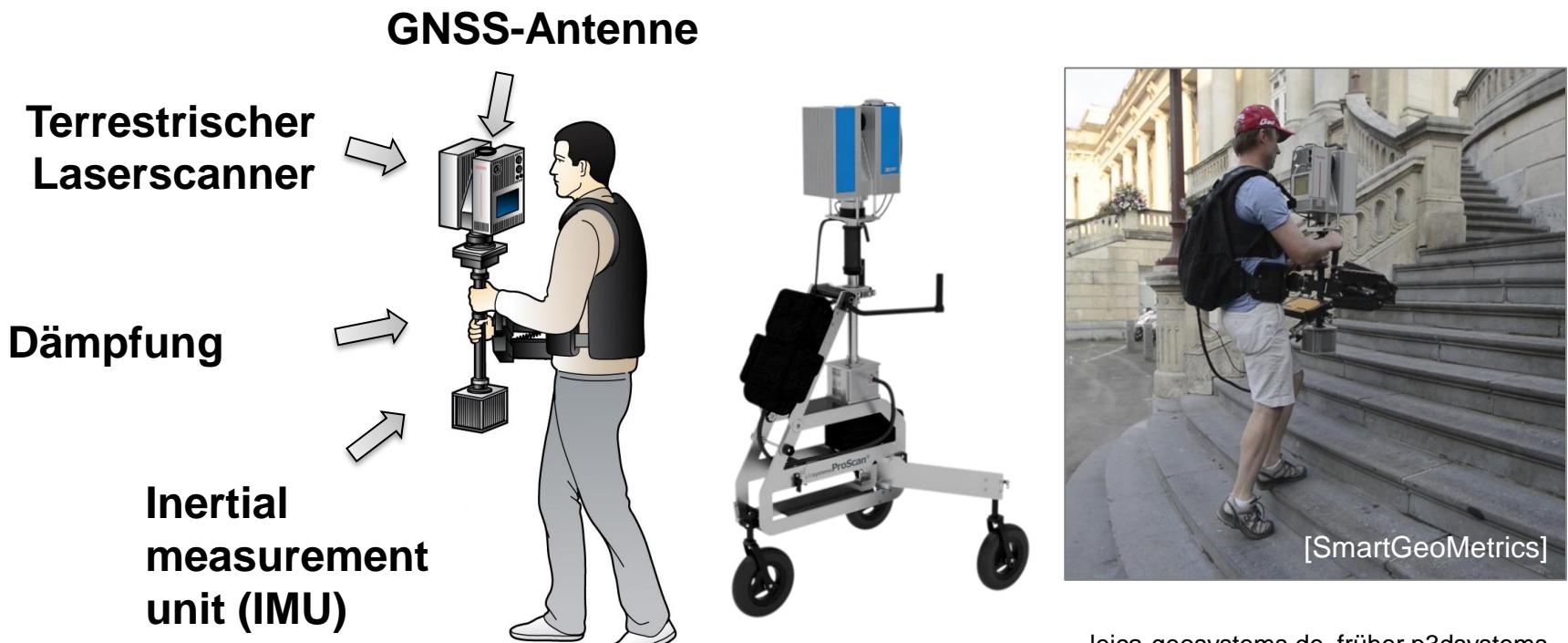


Produktivität



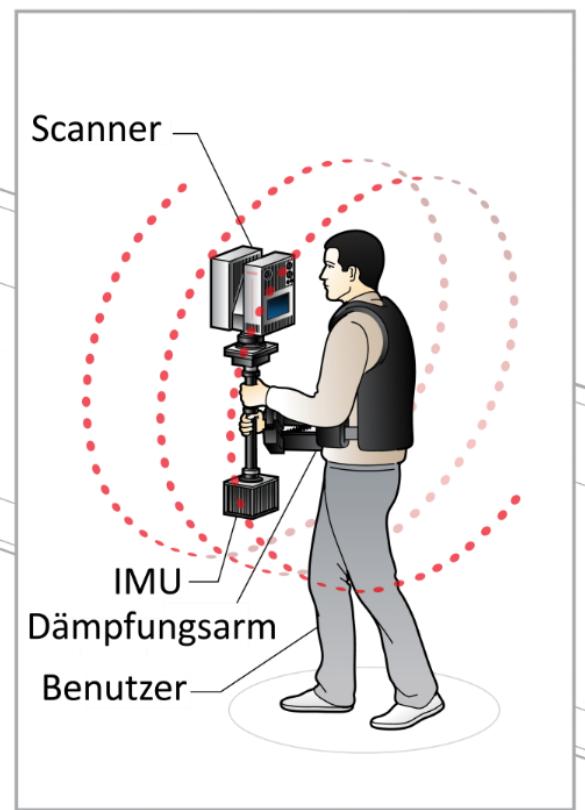
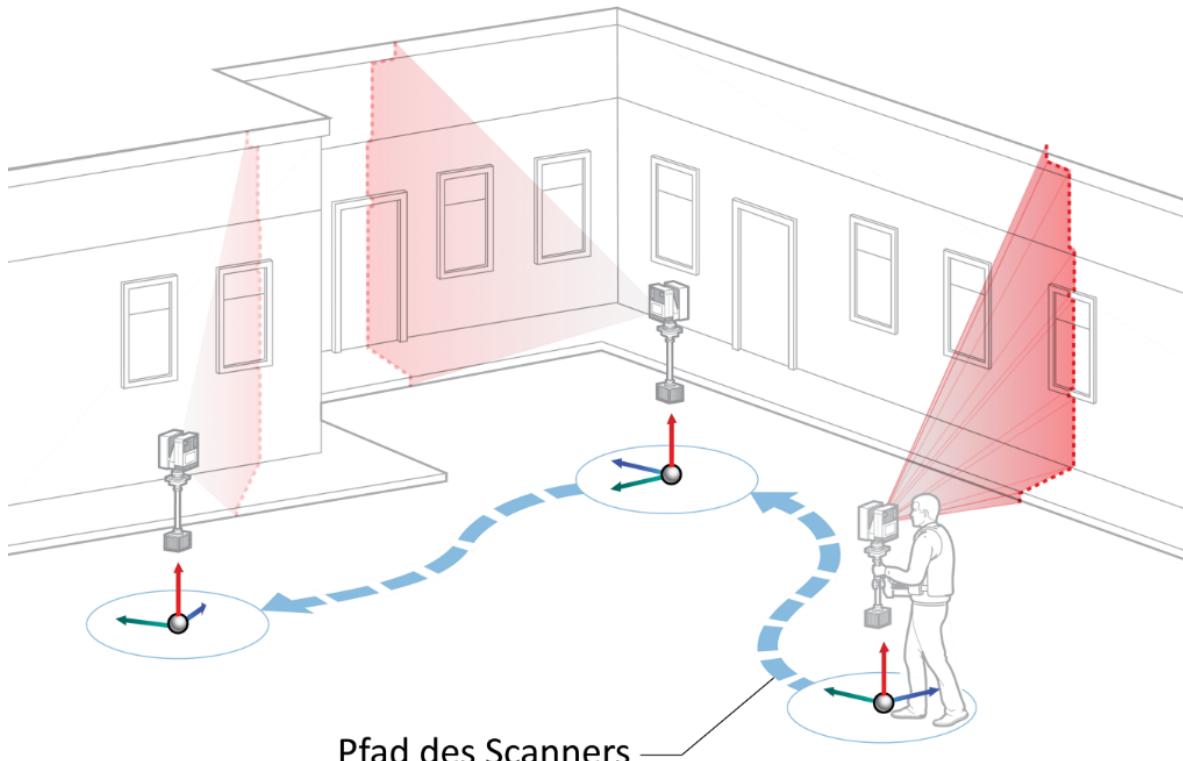
Hesse et al. (2020)

- Hohe Flexibilität im Erfassungsprozess (Vollständigkeit, Effizienz, ...)
- Kontrolle der Objekteigenschaften (Auftreffwinkel, Auflösung, ...)



[leica-geosystems.de](http://leica-geosystems.de), früher p3dsystems

- Hohe Flexibilität im Erfassungsprozess (Vollständigkeit, Effizienz, ...)
- Kontrolle der Objekteigenschaften (Auftreffwinkel, Auflösung, ...)



[leica-geosystems.de](http://leica-geosystems.de), früher p3dsystems



[leica-geosystems.com](http://leica-geosystems.com)

# Stand der Technik bei der Erfassung mit Multi-Sensor-Systemen



Z+F IMAGER 5016 (2017)

s-TLS  
in der Industrie  
(1-2 mm)

s-TLS: statisches Laserscanning  
MSS: Multi-Sensor-System



geoslam.com

MSS  
aktuelle Systeme



navvis.com

MSS  
aktuelle Systeme  
(5-50 mm)



haxegonmi.com

TLS / Bilder  
lokal

## ProScan

*Leica Geosystems, früher p3d systems*



[leica-geosystems.com](http://leica-geosystems.com)

## TIMMS

*Applanix*



[applanix.com](http://applanix.com)

## M6 Trolley

*NavVis*



[navvis.com](http://navvis.com)

## Pegasus:Backpack

*Leica*



[leica-geosystems.com](http://leica-geosystems.com)

### Plattform

### Handwagen/Tragbar

### Handwagen

### Handwagen

### Tragbar

Genauigkeit der  
Punktwolke(n)

1 - 2 cm

2 - 3 cm

1 - 2 cm

5 - 50 cm

Typische  
Produktivität

5.000 - 10.000 m<sup>2</sup>/h

3.000 m<sup>2</sup>/h

2.000 - 5.000 m<sup>2</sup>/h

---

Laserscanner

Ja (Highend)

Ja (Highend)

Ja (4 Low Cost)

Ja (2 Low Cost)

Kamera

Momentan nicht

ja (6)

ja (6)

ja (5)

## DPI-8

*DOTProduct LCC*



[dotproduct3d.com](http://dotproduct3d.com)

## FARO Scanner Freestyle<sup>3D</sup>

*FARO*



[faro.com](http://faro.com)

## T-Scan LV

*Steinbichler Optotechnik*



[steinbichler.de](http://steinbichler.de)

### Plattform

### Hand-held

### Hand-held

### Hand-held

Genauigkeit der  
Punktwolke(n)

5 - 30 mm

<1,5 mm

<1/10 mm

Scan Volume

<10 m<sup>3</sup>

ca. 8 m<sup>3</sup>

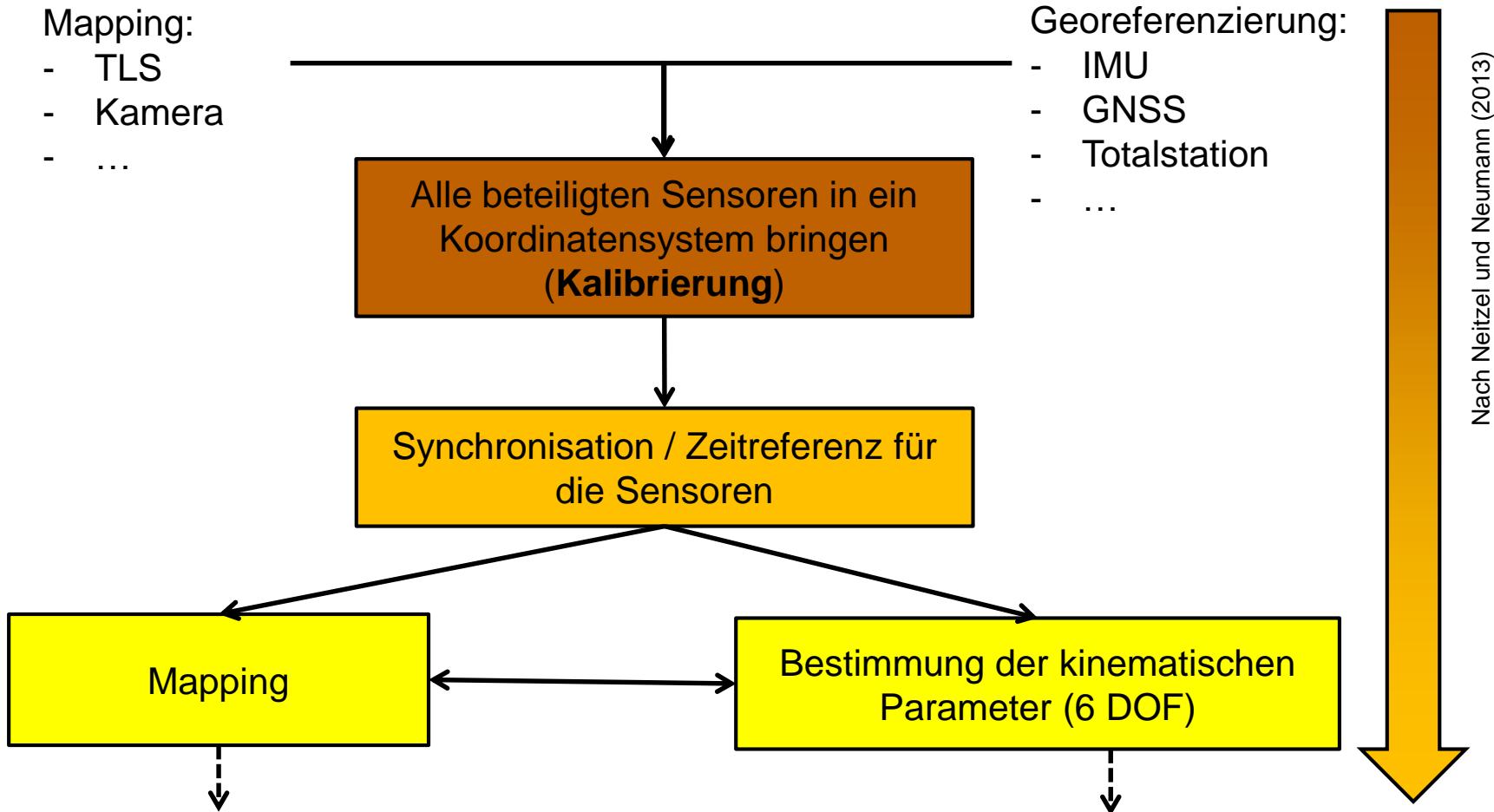
35 m<sup>3</sup>

Scan Distanz

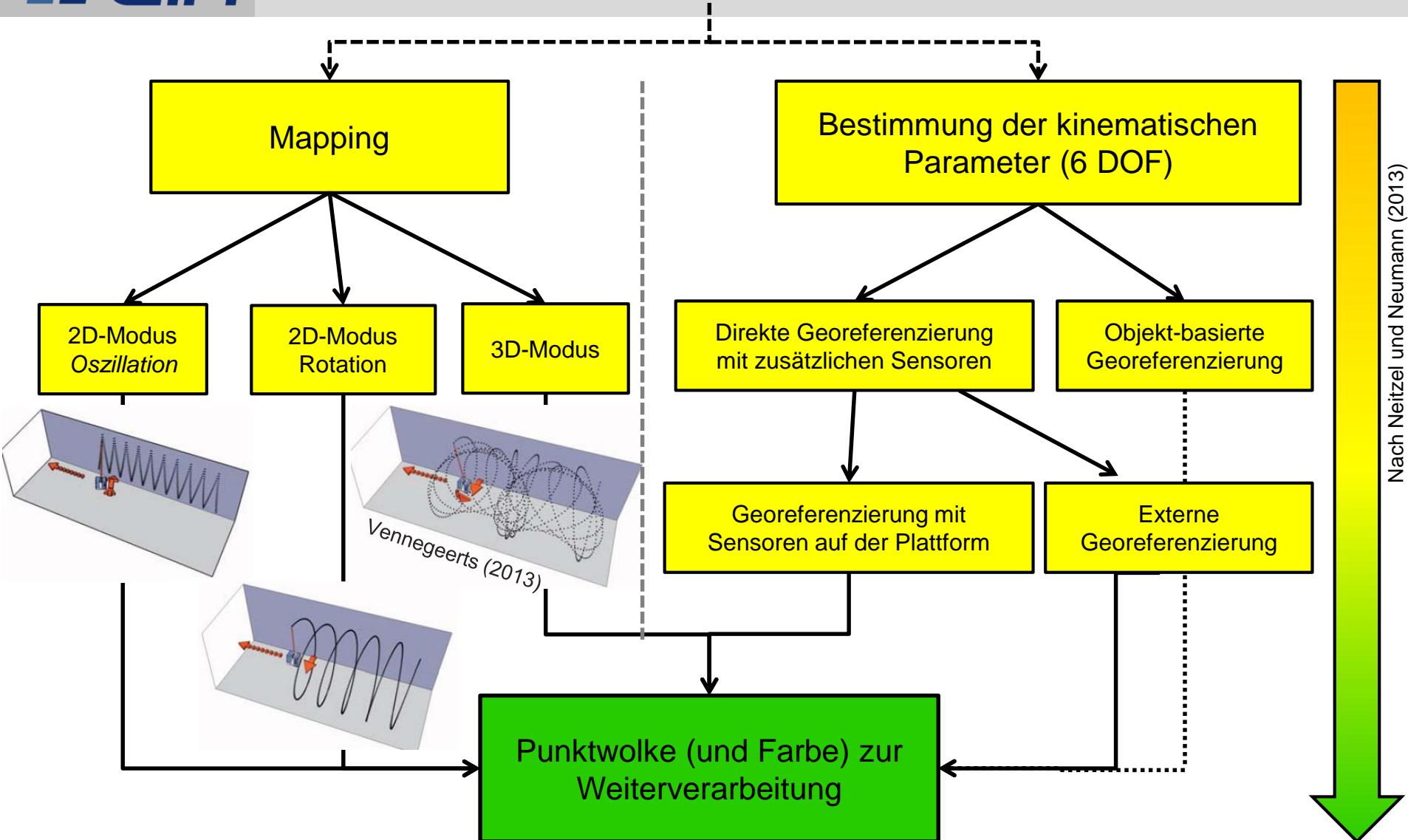
0,6 - 3,7 m

0,5 - 3 m

1,5 - 7,5 m



# Prozesskette für die Analyse von k-MSS fürs Mapping

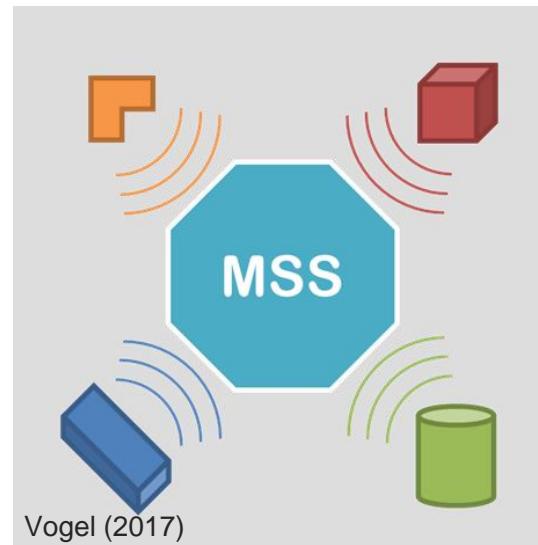


Georeferenzierung mit  
Sensoren auf der Plattform



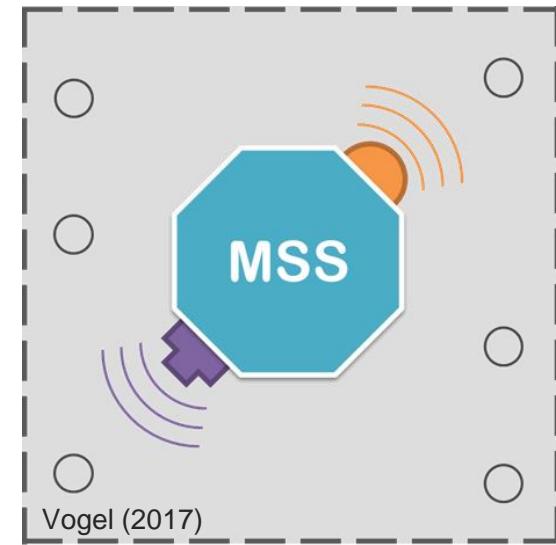
Beschleunigungssensor  
GNSS  
IMU  
Odometer

Externe  
Georeferenzierung



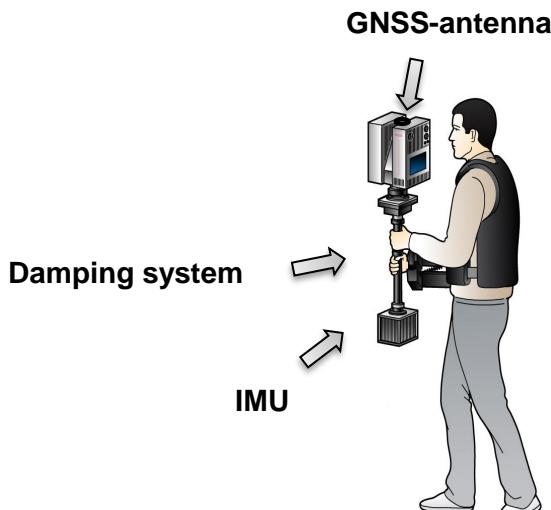
Totalstation  
(Stereo) Kamera  
Lasertracker

Objekt-basierte  
Georeferenzierung



Laserscanner  
(Stereo) Kamera  
ICP / SLAM

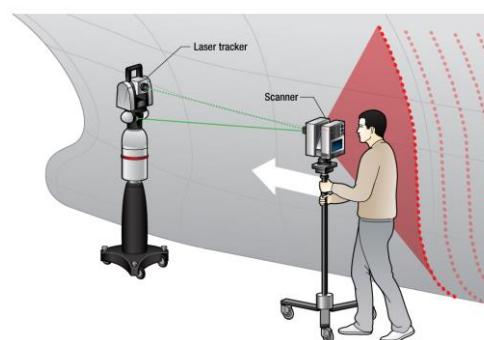
## Georeferenzierung mit Sensoren auf der Plattform



[leica-geosystems.com](http://leica-geosystems.com)

Sören Vogel (10-2022)

## Externe Georeferenzierung



Ehm and Hesse (2012)

## Objekt-basierte Georeferenzierung



[amazon.de](http://amazon.de)

Multi-Sensor-Systeme

51

- Komponenten des Systems

Laserscanner mit  
360° x 270° FOV



Inertiales Messsystem  
(IMU)

Strom- und  
Datenverbindung



→ Fusion in (visual) inertial SLAM



## Beispiel: LS-basierte Erfassung



3dlasermapping.com

## Beispiel: LS-basierte Erfassung



<https://youtu.be/0wo-mT7KNTM>

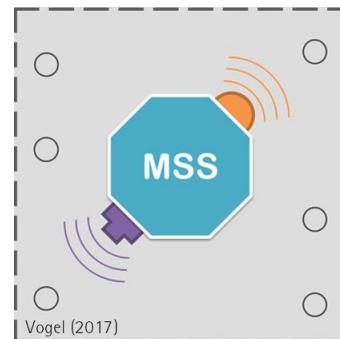
geoslam.com

## Beispiel: LS-basierte Erfassung



Georeferenzierung  
mit Sensoren auf  
der Plattform

*IMU*



Objekt-basierte  
Georeferenzierung

*SLAM*

- Besonderheiten
  - Bewegung von TLS und Kamera während der Erfassung (Bewegung beschreibt eine Trajektorie)
  - Die Lösung erfordert normalerweise ein MSS → k-MSS (georeferenzierende Sensoren für ein kinematisches MSS)
- Anwendungsbereiche
  - ungefähre Kartierung (dm-Bereich; 2D-Grundriss)
  - genaue Kartierung (cm-Bereich)
  - Qualitätssicherung in der Industrie (bis zu <1/10 mm im Nahbereich)
  - Spezialanwendungen: z.B. auch Building Information Modeling



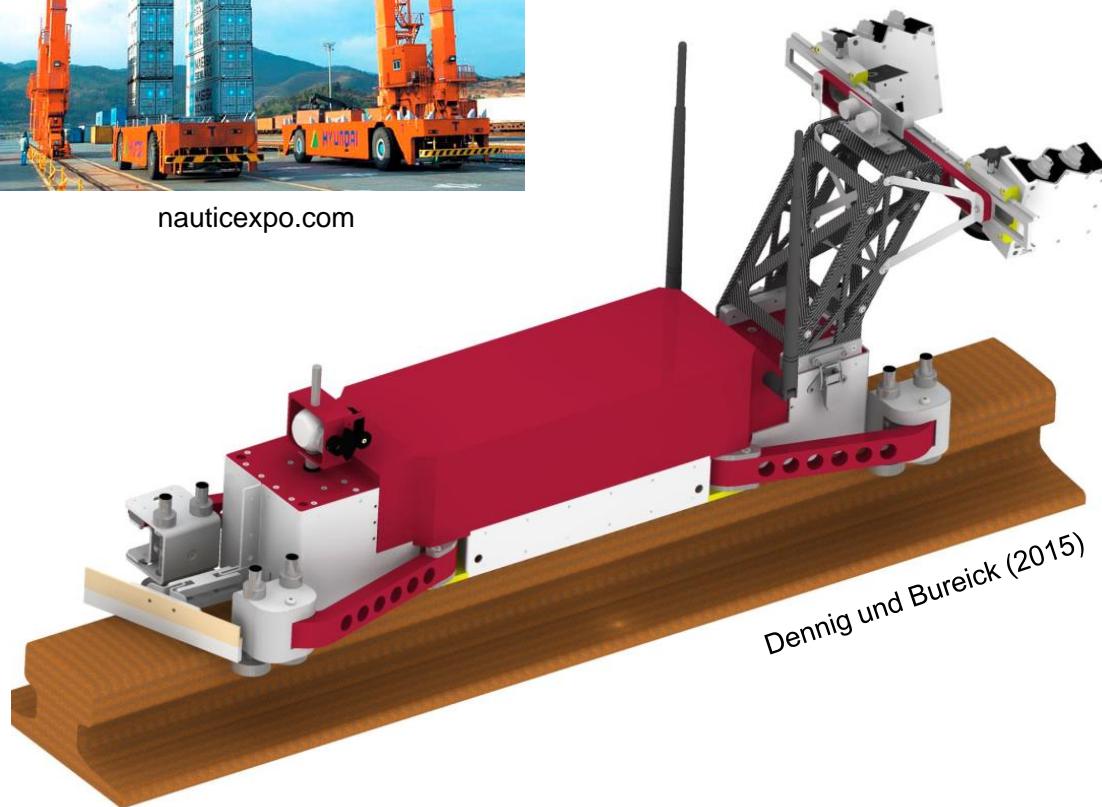
[stahlundkranbauoeder.de](http://stahlundkranbauoeder.de)



[nauticexpo.com](http://nauticexpo.com)

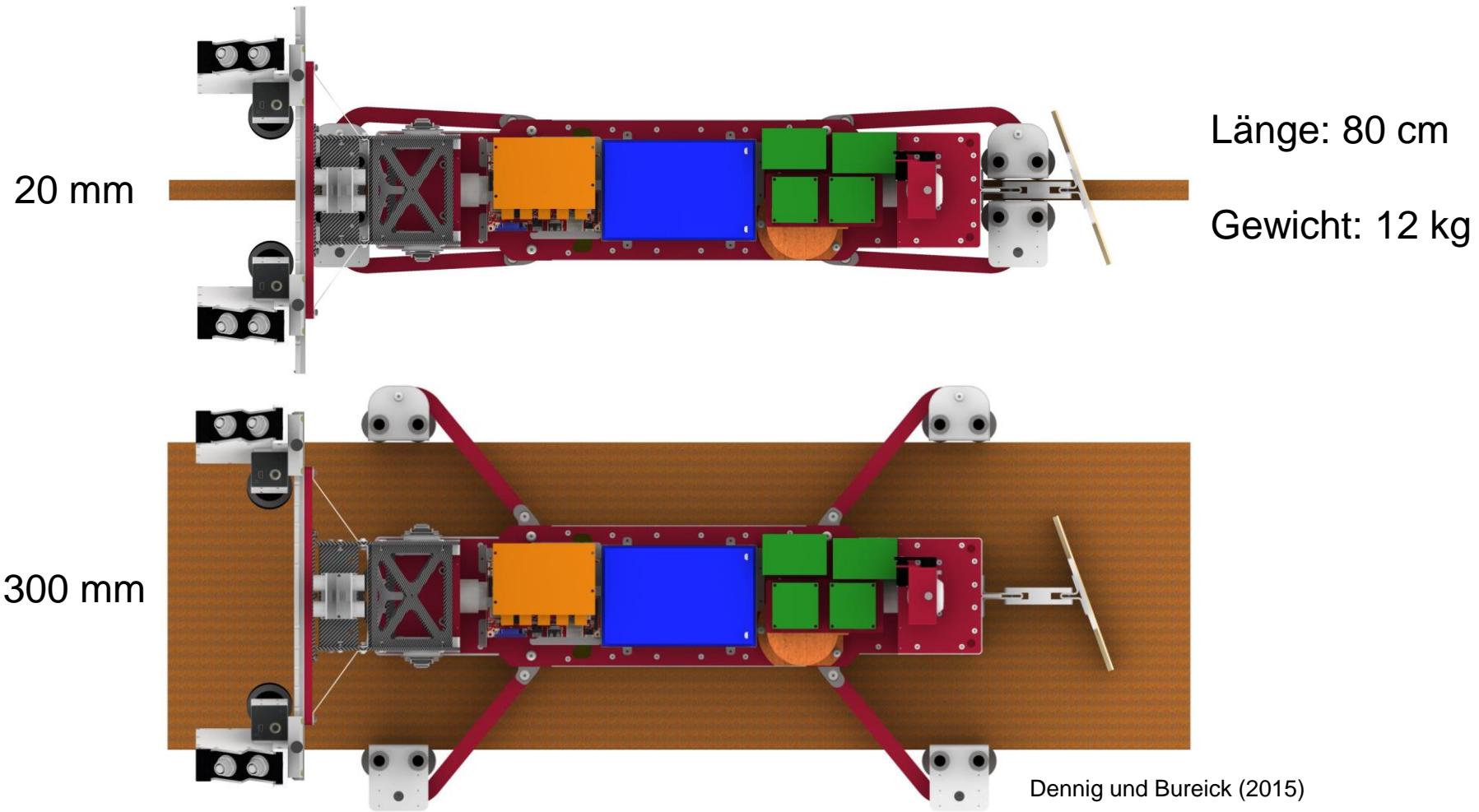


[abus-kransysteme.de](http://abus-kransysteme.de)

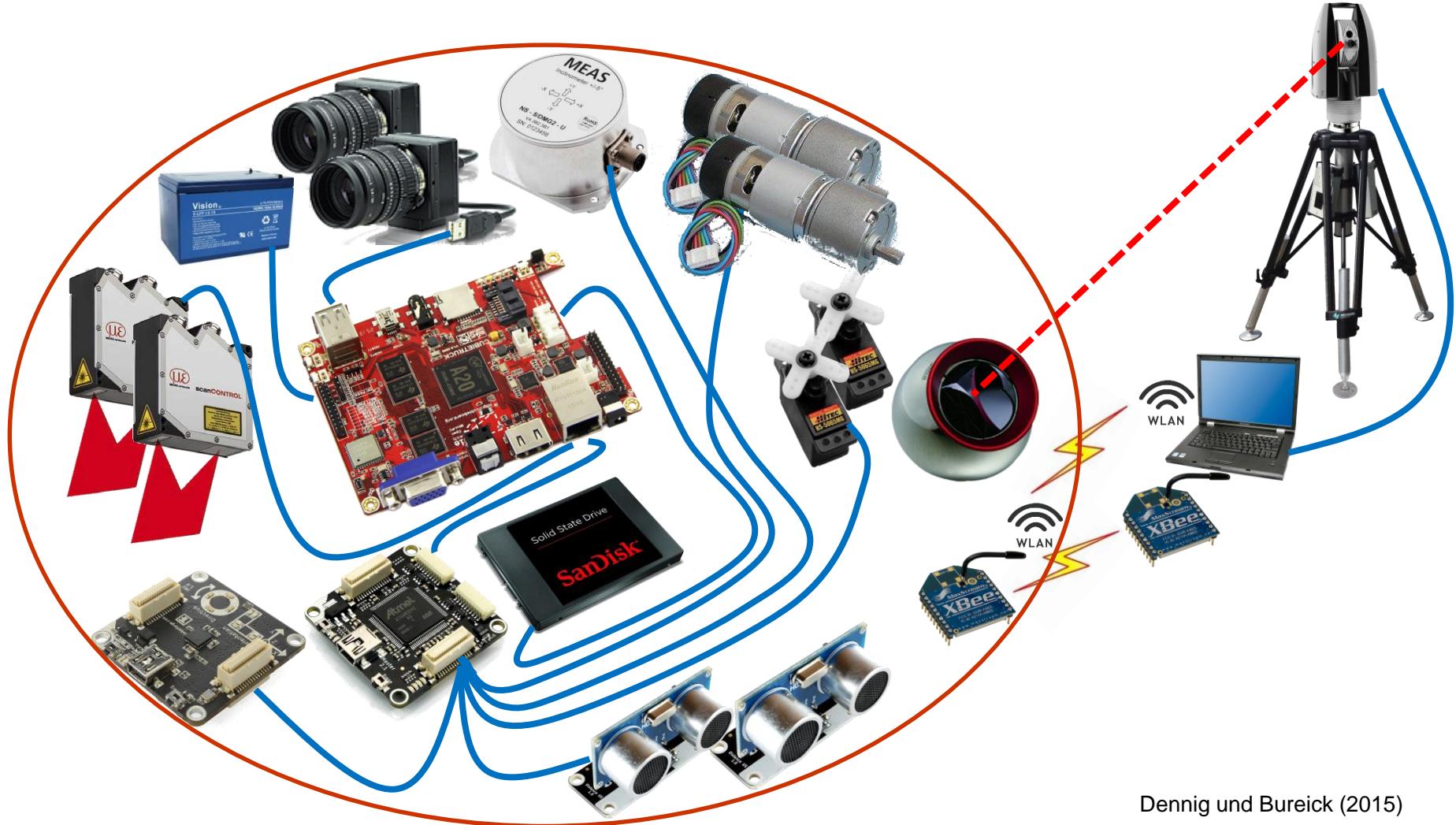


- Profil-Laserscanner: 200 Hz
- IMU: MEMS, 500 Hz
- Kamera: 5 Mpix, <52 fps

# Kinematische, hochgenaue Vermessung von Kranbahnschienen – Aufsicht des MSS

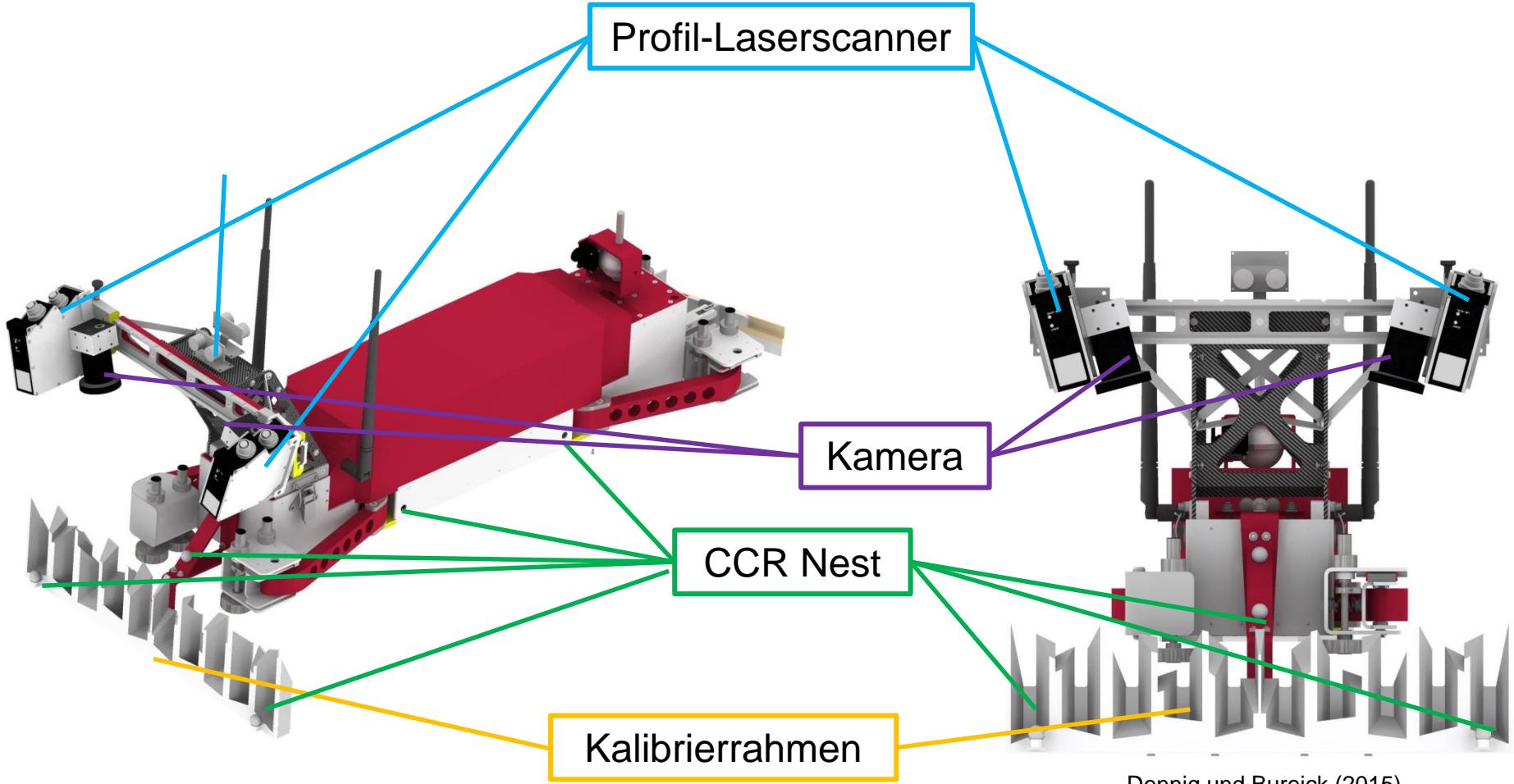


# Kinematische, hochgenaue Vermessung von Kranbahnschienen – Übersicht der Sensoren



Dennig und Bureick (2015)

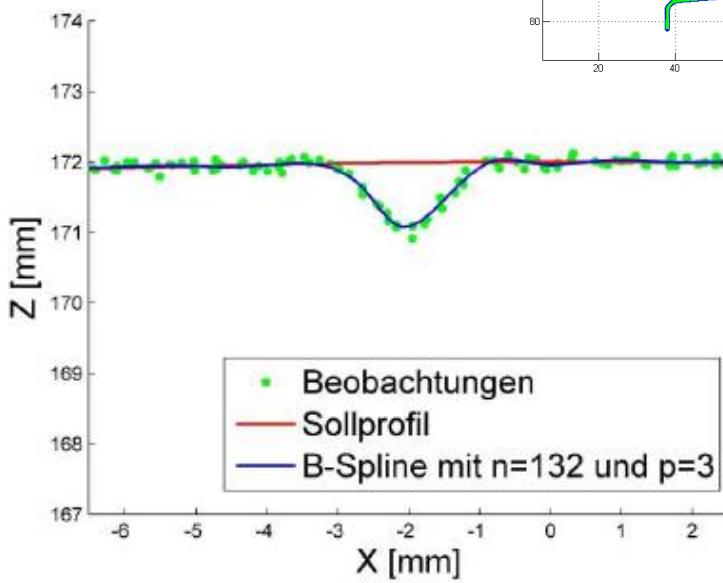
# Kinematische, hochgenaue Vermessung von Kranbahnschienen – Sensoren und Kalibrierrahmen



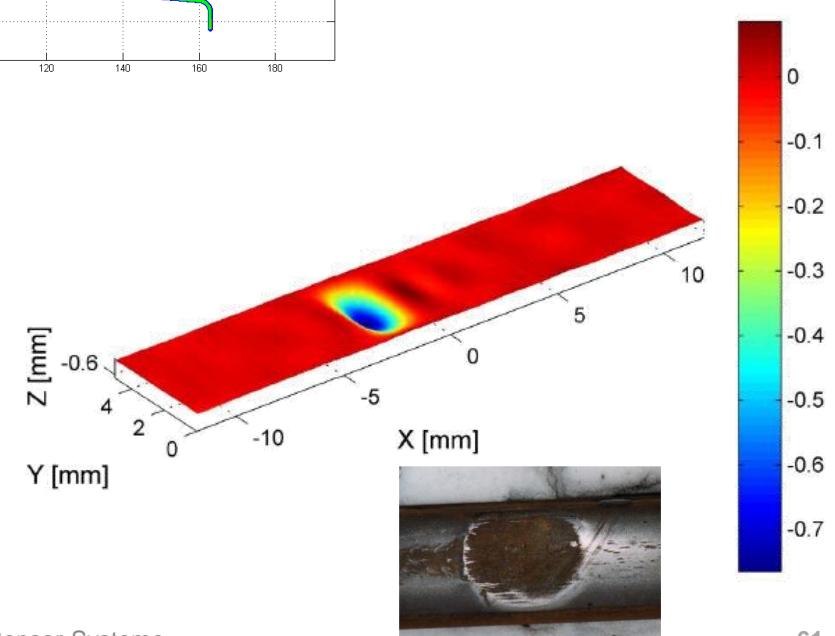
Dennig und Bureick (2015)

# Kinematische, hochgenaue Vermessung von Kranbahnschienen – Identifizierung von Schäden

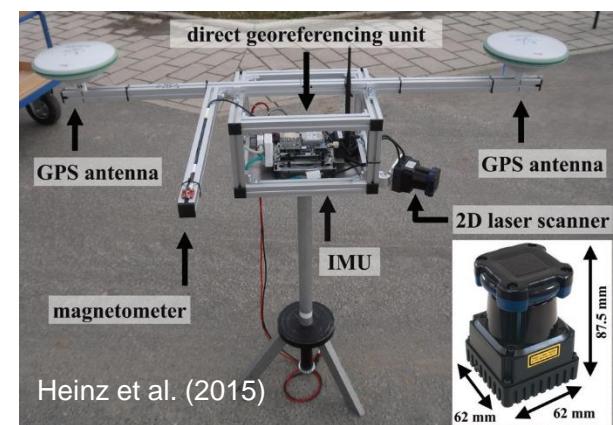
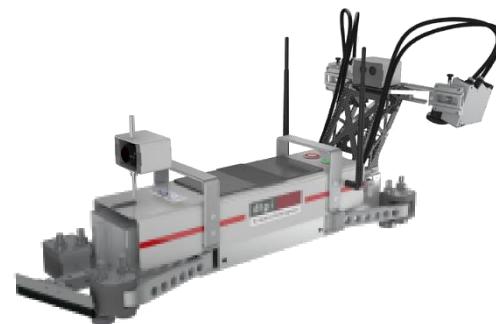
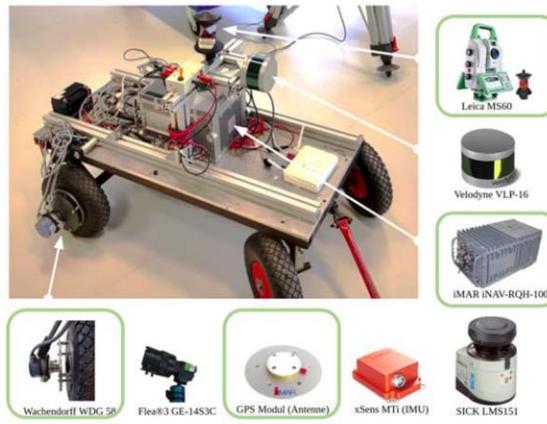
**B-Spline-Kurve** zur Modellierung eines Squats  
Rabenstein (2015)



**B-Spline-Fläche** zur Modellierung eines Squats  
Rabenstein (2015)



# Auswahl (Laserscanner-basierter) Multi-Sensor-Systeme im Forschungsbereich



Bemerkung: Kommerzielle MSS befinden sich im Portfolio fast aller Hersteller von geodätischer Ausrüstung, z.B. Leica, Riegl, Trimble

- Jiayu, L. (2021): Extrinsische Kalibrierung einer inertialen Messeinheit für ein Multi-Sensor System. Masterarbeit (unveröffentlicht). Leibniz Universität Hannover. Geodätisches Institut.
- Stenz, U.; Hartmann, J.; Paffenholz, J.-A.; Neumann, I. A Framework Based on Reference Data with Superordinate Accuracy for the Quality Analysis of Terrestrial Laser Scanning-Based Multi-Sensor-Systems. Sensors 2017, 17, 1886.
- Vogel, S. (2020): Kalman Filtering with State Constraints Applied to Multi-sensor Systems and Georeferencing. Ph.D. Thesis. München. DGK, Reihe C. 856.
- Paffenholz, J.-A. (2012): Direct Geo-Referencing of 3D Point Clouds with 3D Positioning Sensors. Dissertation. München. DGK, Reihe C. 689.
- Rossi, A. P.; Maurelli, F.; Unnithan, V.; Dreger, H.; Mathewos, K.; Pradhan, N.; Corbeanu, D.-A.; Pozzobon, R.; Massironi, M.; Ferrari, S.; Pernechele, C.; Paoletti, L.; Simioni, E.; Maurizio, P.; Santagata, T.; Borrmann, D.; Nüchter, A.; Bredenbeck, A.; Zevering, J.; Arzberger, F. und Reyes Mantilla, C. A. (2021): DAEDALUS - Descent And Exploration in Deep Autonomy of Lava Underground Structures. . Open Space Innovation Platform (OSIP) Lunar Caves-System Study. Würzburg. Universität Würzburg, Würzburger Forschungsberichte in Robotik und Telematik. 21.
- J. Zevering, A. Bredenbeck, F. Arzberger, D. Borrmann and A. Nuechter, "IMU-based pose-estimation for spherical robots with limited resources," 2021 IEEE International Conference on Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems (MFI), 2021, pp. 1-8.
- Chebrolu, Nived: Spatio-Temporal Registration Techniques for Agricultural Robots. - Bonn, 2021. - Dissertation, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn.
- Klingbeil, L., Dreier, A., Esser, F., Zabawa, L., Pavlic, D., Kuhlmann, H. (2022). Mobile Mapping auf dem Acker – hochauflöste 3D-Vermessung für nachhaltige Pflanzenproduktion. Allgemeine Vermessungs-Nachrichten (AVN), 129 (2022) 3, S. 96-103, Wichmann Verlag, Berlin.
- Gräfe, G. (2007): Kinematische Anwendungen von Laserscannern im Straßenraum. Dissertation. In: Universität der Bundeswehr München, Fakultät für Bauingenieur- und Vermessungswesen, Issue 84, Neubiberg.
- Vennegeerts, H. (2014): Kinematisches Laserscanning – Aktuelle Aspekte der Ingenieurgeodäsie. Vorlesungsfolien.
- Holst, C.; Kuhlmann, H.; Paffenholz, J.-A.; Neumann, I. (2015): TLS im statischen, stop & go sowie kinematischen Einsatz. In: DVW – Gesellschaft für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement e.V. (Hg.): Terrestrisches Laserscanning 2015 (TLS 2015): Wißner-Verlag GmbH & Co. KG (Schriftenreihe des DVW, 81), S. 9–26.
- Hesse, C., Holste, K. und Neumann, I. (2020): 3D Hydromapper, ein innovatives Mobile Mapping System zur Erfassung von Verkehrswasserbauwerken. 19th Internationaler Ingenieurvermessungskurs.
- Neitzel, F. und Neumann, I. (2013): Scanning in Motion - Kinematisches TLS mittels mobiler Plattformen.. DVW – Gesellschaft für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement e.V. In: Terrestrisches Laserscanning 2013 (TLS 2013), Wißner-Verlag GmbH & Co. KG. 72, 89–106.
- Vogel, S. (2017): Knowledge-based Georeferencing with Kinematic Multi-sensor Systems, 18th Internationaler Ingenieurvermessungskurs - PhD Student Session, Graz, Austria, 26. April, 2017.
- Ehm, M.; Hesse, C. Entwicklung eines kinematischen Laserscansystems für Anwendungen im Schiffbau. In: Go-3D 2012 Computergraphik für die Praxis; Fraunhofer IGD, Institutsteil Rostock: Hrsg, Rostock, 2012.
- Dennig, D., & Bureick, J. (2015). Kinematic High Accuracy Surveying of Crane Rail Tracks. EPMC, Research Track, Manchester.
- Nüchter, A.; Elseberg, J. und Borrmann, D. (2013): Irma3D - An Intelligent Robot for Mapping Applications.. In: Proceedings of the 3rd IFAC Symposium on Telematics Applications (TA '13). Volume 3, Part 1.
- Heinz, E.; Eling, C.; Wieland, M.; Klingbeil, L. und Kuhlmann, H. (2015): Development, Calibration and Evaluation of a Portable and Direct Georeferenced Laser Scanning System for Kinematic 3D Mapping. . In: Journal of Applied Geodesy. Heinz, Erik; Eling, Christian; Wieland, Markus; Klingbeil, Lasse; Kuhlmann, Heiner. 9 4, 227–243.
- Barnefske, E. Sternberg, H. und Linzer, F. (2019): Konzeption eines modularen MMS innerhalb der Robot Operating System (ROS)-Umgebung zur Produktion von Stadtmodellen. 20. Internationale Geodätische Woche Obergurgl.
- El-Sheemy, N. (2005): An Overview of Mobile Mapping Systems. In: Proceedings of FIG Working Week 2005 and GSDI-8. Cairo, Egypt, pp. 1-24.
- Hertzberg, J.; Lingemann, K. und Nüchter, A. (2012): Mobile Roboter: Eine Einführung aus Sicht der Informatik. Springer, Berlin.
- Puente, I.; González-Jorge, H.; Martínez-Sánchez, J. und Arias, P. (2013): Review of mobile mapping and surveying technologies. In: Measurement 46(7), pp. 2127–2145.
- Vennegeerts, H. (2011): Objektraumgestützte kinematische Georeferenzierung für Mobile-Mapping-Systeme. Dissertation. München. DGK, Reihe C. 657.
- Kuhlmann, H.; Klingbeil, L. (2016): Mobile Multisensorsysteme. In: Freedon, W.; Rummel, R. (Hrsg.): Handbuch der Geodäsie. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 1–36.
- Mohammadi, M., Khami, A., Rottensteiner, F., Neumann, I., und Heipke, C.: MOUNTING CALIBRATION OF A MULTI-VIEW CAMERA SYSTEM ON A UAV PLATFORM, ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., V-1-2021, 97–104, 2021.
- Bureick, J., Vogel, S., Neumann, I., Diener, D., & Alkhatib, H. (2019). Geo-Referenzierung von Unmanned Aerial Systems über Laserscannermessungen und 3D-Gebäudemodelle. in Terrestrisches Laserscanning 2019 (Band 96, S. 63-74). (DVW-Schriftenreihe). Wissner Verlag.