

Multi-Sensor-Systeme

Wintersemester 2022/2023

Dr.-Ing. Sören Vogel

- Dozenten
- Wintersemester (Bachelor GuG) 2V / 2Ü, 5 ECTS
- Weitere Details: Modulhandbuch GuG 2022/2023, PO 2018, Seite 38
- Vorlesung: mittwochs von 11:30 – 13:00 Uhr
- Übung: dienstags von 08:00 – 09:30 Uhr (*nach Absprache, Start: 08.11.*)

Sören Vogel



Arman Khami



Ziel des Moduls

- Das Modul vermittelt vertiefte Kenntnisse im Bereich der Sensorik bis hin zur Fusion in einem Multi-Sensor-System (MSS).
- Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls können die Studierenden
 - den Aufbau und die Funktionsweise der vorgestellten MSS wiedergeben
 - den Unsicherheitshaushalt des MSS einordnen und bewerten
 - Sensoransteuerungen konzipieren und realisieren
 - MSS kalibrieren, Messwerte synchronisieren und auswerten

Studienleistung

Kurzvorträge & anerkannte Übungen

Prüfungsleistung

Mündliche Prüfung (15 min)

zwischen 13. – 15.02.2023
(genaue Einteilung erfolgt nach Anmeldung)

- Interesse an der Ingenieurgeodäsie und den damit verbundenen Messverfahren, Sensoren und Methoden zu wecken
 - Verständnis der wichtigsten (Mess-)Konzepte
 - Eigene Lösungen finden und implementieren
 - Selbstständiges und eigenverantwortliches Arbeiten
 - Stellen Sie Fragen an uns und diskutieren Sie auch untereinander
 - Geben Sie uns frühzeitig Feedback zu Fragen und Problemen, damit wir reagieren können
 - Keine Plagiate → Das Kopieren von verfügbaren Lösungen wird ebenfalls als Plagiat betrachtet
-

- 5 ECTS = 150h @ 14 Semesterwochen
- 30h für die Prüfungsvorbereitung (120h verbleiben)
- 2V: 60h (28h Präsenz & 32h Selbststudium)
- 2Ü: 60h (3 Übungen → 20h / Übung)

Formalien zur Übungsausarbeitung und Korrektur am GIH

Die Studienleistung einer Lehrveranstaltung (LV) wird über eine oder mehrere Übungen (unterschiedlicher Form: praktische Übung, theoretische Übung, Vortrag) definiert. Der Umfang und die Anzahl der Übungen werden in der ersten LV des jeweiligen Semesters bekannt gegeben. Für eine Verbuchung der Studienleistungen müssen alle zur LV zugehörigen Übungen anerkannt sein.

- Die Übungsausarbeitung sollte nach einer Mustergliederung erfolgen.
 - Die Mustergliederung (Word-Dokument als Vorlage) wird von der betreuenden Person zur Verfügung gestellt und auf Folien am Beginn des Semesters vorgestellt (1. und 3. Semester, bedarfswise auch später)
- In allen Übungen werden keine handschriftlichen Ausarbeiten akzeptiert. Die Abgabe erfolgt in digitaler Form als E-Mail Anhang oder StudIP-Upload (über das verwendete Medium wird in der Veranstaltung informiert) in ausschließlicher Form eines PDF-Dokumentes und für etwaigen lauffähigen Code (falls gefordert) in einem ZIP-Dateiformat.
- Eine termingerechte Abgabe gilt als Voraussetzung, sonst erfolgt keine Anerkennung der Übung.
- Nicht vollständige Ausarbeiten in Bezug auf die Aufgabenstellung oder in ihrer Form nicht ausreichende Ausarbeiten sind nicht bestanden.
- Korrekturhinweise der betreuenden Person werden digital stichpunktartig angegeben. Dabei wird über den Status (bestanden, Wiedervorlage, nicht bestanden) der Übung informiert.
 - Unrichtige oder unklare Stellen in der Ausarbeitung werden gekennzeichnet und es wird ein kurzer Hinweis zur Fehlerbehebung vermerkt.
- Kann die Wiedervorlage (WV) nicht anerkannt werden, so ist die Übung nicht bestanden.
 - Eine nicht bestandene Übung muss im nächstmöglichen Semester, in dem die LV angeboten wird, wiederholt werden. Wird diese Möglichkeit nicht ergriffen, müssen alle zur LV zugehörigen Übungen wiederholt werden.
 - Im Ermessen der betreuenden Person und des Modulverantwortlichen kann ein Kolloquium zu einer nicht bestandenen Übung durchgeführt werden.
- Bearbeitungszeit:
 - In der Regel: 2 Wochen + 1 Woche für WV
 - Für Semesterübungen: 2 Wochen für die Bearbeitung der WV
 - Verlängerungen werden nur in begründeten Ausnahmefällen gewährt, z. B. Krankheit durch Attest
- Rückgabe der Übungen durch die betreuende Person:
 - 2 Wochen nach dem festgelegten Abgabetermin der Ausarbeitung in der zugehörigen LV bzw. Übung; in Ausnahmefällen kann eine Abholung bei der betreuenden Person bis zum 3. Werktag nach der Rückgabe in der LV/Ü erfolgen
 - Die Bearbeitungszeit von i.d.R. 1 Woche für eine WV beginnt am 3. Werktag nach der zuvor genannten Rückgabe der Übung
 - Für Semesterübungen ggf. abweichende Fristen, die auf dem Deckblatt der Übung angegeben sind.
- Plagiats/mehrere identische Ausarbeiten: Übung(en) wird/werden nicht anerkannt.
- Sind die Studierenden bei praktischen Übungen unvorbereitet, findet keine Übungsdurchführung statt.
- Bei vorhersehbaren Abwesenheitszeiten bedingt durch die Teilnahme an Veranstaltungen mit Bezug zum Studium, wie dem KonGeoS oder dem IGSM, ist die betreuende Person der jeweiligen Übung spätestens einen Monat vor Vorlesungsbeginn zu informieren.

Stand: 07.04.2022

Eine termingerechte Abgabe gilt als Voraussetzung, sonst erfolgt keine Anerkennung der Übung

Nicht vollständige Ausarbeitungen in Bezug auf die Aufgabenstellung oder in ihrer Form nicht ausreichende Ausarbeitungen sind nicht bestanden

Bearbeitungszeit:

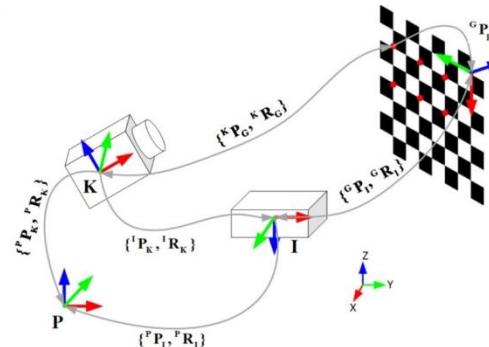
i.d.R.: 2 Wochen + 1 Woche für Wiedervorlage

Bei Plagiaten oder mehreren identischen Ausarbeiten wird/werden die Übung(en) nicht anerkannt

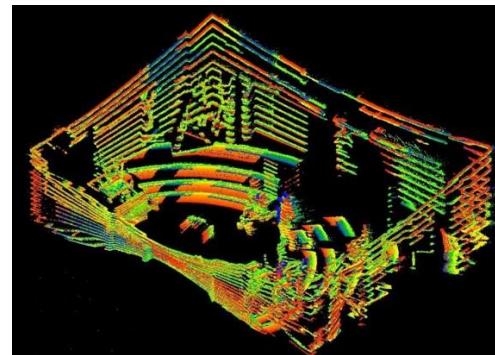
1. Einführung in das Robot Operating System (ROS)
→ Theorie & ILIAS-Fragebogen

2. Extrinsische Kalibrierung einer inertialen Messeinheit für ein Multi-Sensor-System
→ Daten-Synchronisierung und Kalibrierung

3. (Geo-)Referenzierung und Validierung eines k-TLS basierten MSS
→ Daten-Prozessierung und Auswertung



Masterarbeit - Jiayu (2021)



MATLAB Grader

CONTENTS Close

MSS 2.Übung: Extrinsische Kalibrierung einer inertialen Messeinheit für ein Multi-Sensor System

Reorder Content

Data Preparation

Reading the ROSbag data and save the IMU measurements to a .mat file

Computer Vision Toolbox, Image Processing Toolbox, MATLAB Compiler

Course Description

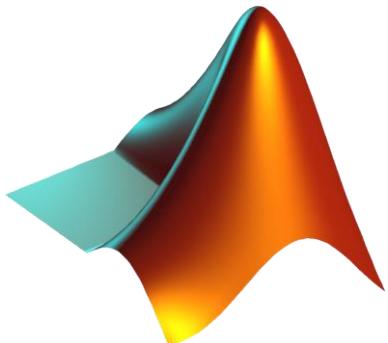
In this exercise, you will particularly learn how to determine the extrinsic calibration parameter of an inertial checkerboard.



The following steps should be done in this exercise for a successful calibration:

1. Reading the IMU data from a given rosbag file and saving it to a MATLAB variable.
2. Importing the initial camera poses (Positions and Orientations) of all epochs.
3. Refinement of the camera Poses using the Bundleblock Adjustment.
4. Time synchronization of the camera and IMU data
5. Determining the extrinsic calibration parameter of the IMU using an iterative Extended Kalman filter
6. Saving the Calibration Parameter

Matlab Grader



Solution 1: 4 of 5 tests passed (80%)
Submitted on 20 Nov 2018 | ID: 10161219 | Size: 63

```
1 sym g x; % insert variable
2 piecewise(x<0, x^2, 0<x1, x, x>1, 1x^2); % insert conditions and values
3 %
4 % evaluate the function at different points a=g(-2); b=g(0.5); c=g(2)
5 a=g(-2);
6 b=g(0.5);
7 c=g(2)
```

Test Results: 4 green circles, 1 red circle

Fix This Solution My Solutions

Assessment: 4 of 5 Tests Passed (80%)	
<input checked="" type="radio"/> test g	Variable g has an incorrect value. 0% (20%)
<input checked="" type="radio"/> is "piecewise" used?	20% (20%)
<input checked="" type="radio"/> Test for a	20% (20%)
<input checked="" type="radio"/> Test b	20% (20%)
<input checked="" type="radio"/> Test c	20% (20%)
Total: 80%	

Bei Beschädigung von Eigentum (insb. Instrumente und Zubehör) der Universität im Rahmen von Lehrveranstaltungen haften die Studierenden bereits bei einfacher Fahrlässigkeit für Schadensersatz. Dieser Punkt ist vor Durchführung einer Übung den Studierenden durch den Betreuer mitzuteilen. Der Abschluss einer privaten Haftpflicht wird den Studierenden daher dringend empfohlen.



Stenz et al. (2017)

Sören Vogel (10-2022)



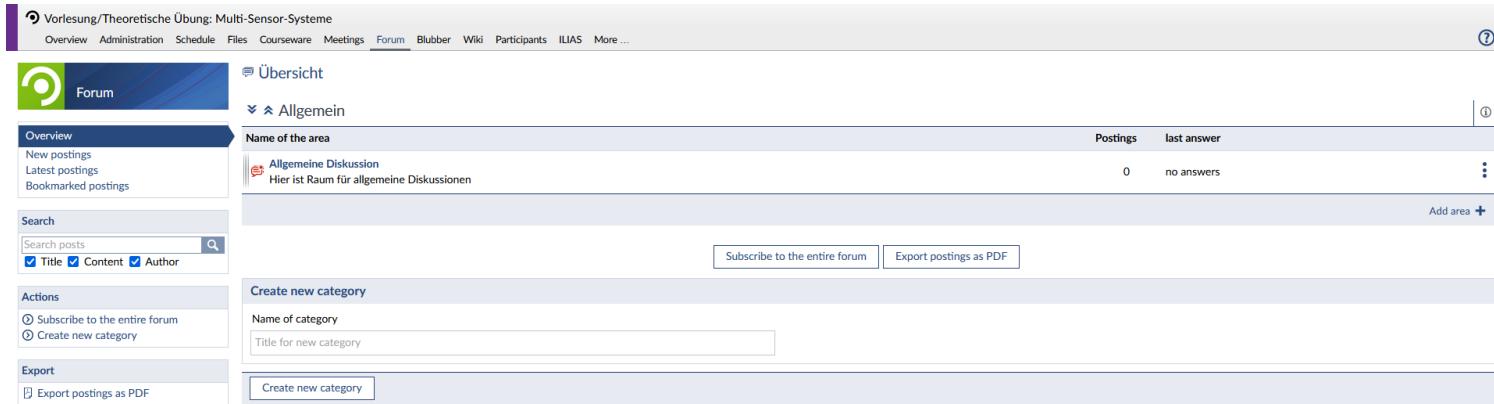
GIH/ von Gösseln

Multi-Sensor-Systeme



leica-geosystems.com

StudIP-Forum für allgemeine Angelegenheiten



The screenshot shows the StudIP forum interface. On the left, there's a sidebar with links for Overview, Administration, Schedule, Files, Courseware, Meetings, Forum (which is selected), Blubber, Wiki, Participants, ILIAS, and More ... Below the sidebar, there's a search bar and action buttons for Actions (Subscribe to the entire forum, Create new category) and Export (Export postings as PDF). The main area displays a list of categories under 'Übersicht'. One category is expanded, showing 'Allgemeine Diskussion' with the description 'Hier ist Raum für allgemeine Diskussionen'. There are buttons to 'Subscribe to the entire forum' and 'Export postings as PDF'. At the bottom, there's a section to 'Create new category' with a text input field for 'Name of category' and a button to 'Create new category'.

oder

Kontaktieren Sie uns bei weiteren Fragen, Kommentaren, Problemen, Anregungen, ...

Sören Vogel: vogel@gih.uni-hannover.de
Arman Khami: khami@gih.uni-hannover.de

DVW, Band 45: „Kinematische Messmethoden. Vermessung in Bewegung“, 2004. In particular the contributions of: Foppe, Schwieger and Staiger.

Hennes, M.; Urban, S.; Wursthorn, S. (2014): Zur Synchronisierung von Multi-Sensor-Systemen – Grundlagen und Realisierung. In: DVW-Schriftenreihe, Vol. 75., pp. 25-37.

Foppe, Karl, Volker Schwieger, and Rudolf Staiger. "Grundlagen kinematischer Mess- und Auswertetechniken." In: Kinematische Messmethoden "Vermessung in Bewegung,, 58. DVW-Schriftenreihe. 2004.

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.

Kuhlmann, H.; Klingbeil, L. (2016): Mobile Multisensorsysteme. In: Freedon, W.; Rummel, R. (Hrsg.): Handbuch der Geodäsie. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 1–36.

Kuhlmann, Heiner; Schwieger, Volker; Wieser, Andreas; Niemeier, Wolfgang (2014): Engineering Geodesy - Definition and Core Competencies. In: Journal of Applied Geodesy Band 8: Heft 4.

Paffenholz, J., Alkhatib, H., Stenz, U., & Neumann, I. (2017). Aspekte der Qualitätssicherung von Multi-Sensor-Systemen. allgemeine vermessungs-nachrichten (avn), 124(4), 79-91.

Faig, Wolfgang; Kahmen, Heribert (1988): Surveying. Berlin. de Gruyter.

Kahmen, Heribert (2006): Angewandte Geodäsie. Vermessungskunde. 20., revised Edition. Berlin: de Gruyter.

Schlemmer, Harald (1996): Grundlagen der Sensorik. Eine Instrumentenkunde für Vermessungsingenieure. Heidelberg: Wichmann.

Gruber, Franz Josef; Joeckel, Rainer (2017): Formelsammlung für das Vermessungswesen. 18. Auflage. Wiesbaden: Springer Vieweg. Available online at: <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-658-15019-8>

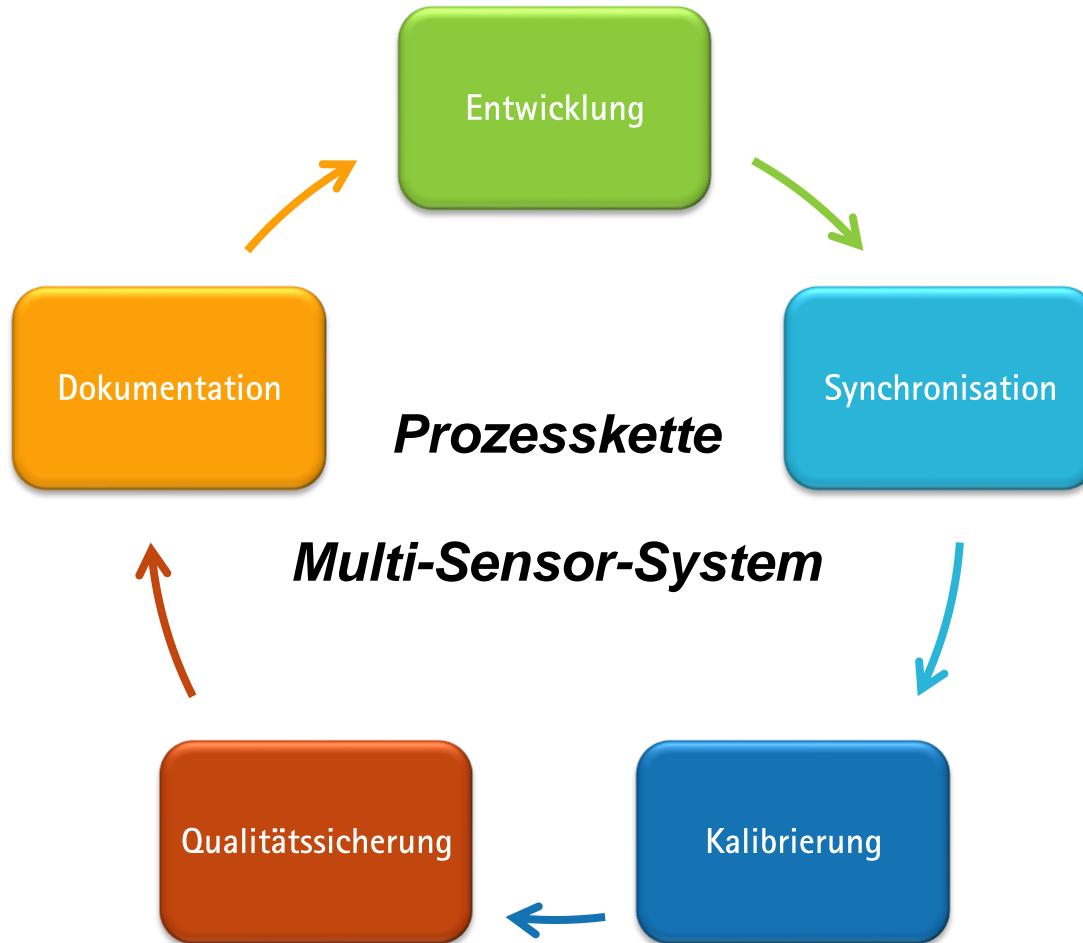
Schwarz, Willfried, Ed. Ingenieurgeodäsie: Handbuch der Geodäsie, herausgegeben von Willi Freedon und Reiner Rummel. Springer-Verlag, 2018.

Tiberius, C. C. J. M., van der Marel, H., Reudink, R. H. C., & van Leijen, F. J. (2021). Surveying and Mapping. TU Delft Open. <https://doi.org/10.5074/T.2021.007>

Heinz, E. (2021): Beiträge zur Kalibrierung und Evaluierung von Multisensorsystemen für kinematisches Laserscanning. Ph.D. Thesis. Bonn.

In den einzelnen Abschnitten werden noch detailliertere Referenzen folgen

1. Einführung und Organisation
2. Motivation und Grundlagen
3. Robot Operating System (ROS)
4. Synchronisationsaspekte
5. Kalibrierungsaspekte der Sensoren und der gesamten Sensorplattform
6. Grundlegende Auswertestrategien und Post-processing
7. Qualitätssicherung und Validierung
8. Forschungsdatenmanagement



FRAGEN?



- Aus welcher Fachrichtung kommen Sie?
 - A: "Geodäsie" B: "Mechatronik/Robotik" C: "Sonstiges"
 - Haben Sie Erfahrung mit geodätischen Messverfahren?
 - A: "Gar keine" B: "Ein wenig" C: "Vorhanden"
 - Haben Sie praktische Erfahrungen mit geodätischen Sensoren (Totalstationen, Laserscanner usw.)?
 - A: "Gar keine" B: "Ein wenig" C: "Vorhanden"
 - Wie würden Sie Ihre Erfahrungen mit Matlab einordnen?
 - A: "Beginner/in" B: "Vertraut" C: "Experte/Expertin"
 - Wie würden Sie Ihre Erfahrungen mit ROS einordnen?
 - A: "Beginner/in" B: "Vertraut" C: "Experte/Expertin"
 - Wer hat vor, in diesem Semester an den Übungen teilzunehmen?
 - Ja Nein

214. DVW-Seminar
Terrestrisches Laser-scanning 2022 (TLS 2022)

8. und 9. Dezember 2022 | Fulda

- Genauigkeit und Qualitätssicherung
- Scanning der bebauten Umwelt und natürlicher Oberflächen
- Aktuelle und zukünftige Technologien

Das terrestrische Laserscanning (TLS) besitzt ein enormes Leistungsspektrum und eröffnet vielfältige Anwendungsmöglichkeiten sowohl innerhalb der klassischen Berufsfelder der Geodäsie als auch in angrenzenden Bereichen. Nach den großen Erfolgen der vergangenen Jahre bietet der DVW auch in diesem Jahr eine Weiterbildungsveranstaltung zum Thema »Terrestrisches Laserscanning« an.

Die Veranstaltung ist in aktuelle Themenfelder unterteilt:

- Scanning mit Qualitätssicherung
- Scanning der natürlichen Oberflächen
- Scanning heute und morgen
- Scanning der bebauten Umwelt

Es ist auch dieses Jahr wieder gelungen, aktuelle Trends aufzunehmen sowie kompetente Vortragende für die einzelnen Themen zu gewinnen. Die DVW-Arbeitskreise 4 »Ingenieurgeodäsie« und 3 »Messmethoden und Systeme« freuen sich darauf, mit Ihnen in Fulda Anregungen und Gedanken zu diesem weiterhin zukunftsorientierten, innovativen Thema auszutauschen.

ZIELGRUPPE
Kolleginnen und Kollegen in der Praxis, Forschung oder Ausbildung aus den Bereichen der Geodäsie, der Geoinformation und aus Nachbarsdisziplinen, die sich über dieses hochaktuelle Feigefeld der elektrooptischen Messtechnik umfassend und unabhängig von Anbietern informieren wollen.

LEISTUNGEN
Seminarteilnahme inklusive Catering und gedrucktem Tagungsband
Gemeinsames Abendessen am 8. Dezember 2022

INGENIEURKAMMER
Für dieses Seminar ist die Anerkennung als Fortbildungsveranstaltung bei der Bayerischen Ingenieurkammer-Bau beantragt.

DVW e.V. - Gesellschaft für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement

GEODÄSIE AKADEMIE
www.geodaezie-akademie.de

8. und 9. Dezember 2022
Präsenzveranstaltung
Fulda

LEITUNG
Prof. Dr.-Ing. Christoph Holst,
TU München
Prof. Dr.-Ing. Andreas Eichhorn,
TU Darmstadt
Prof. Dr.-Ing. Heiner Kuhlmann,
Universität Bonn
Prof. Dr.-Ing. Ingo Neumann,
Leibniz Universität Hannover

VERANSTALTER
DVW 4 «Ingenieurgeodäsie»
DVW 3 «Messmethoden und Systeme»

PREIS	bis 31.10. ab 1.11.
Mitglied DVW, BDV, BDVI	240 € 260 €
Mitglied DVW, BDV, BDVI in Ausbildung	120 € 140 €
Nichtmitglied	280 € 300 €

ANMELDESCHLUSS Frühbucherrabatt
4. Dezember 2022 bis 31. Oktober 2022

KONTAKT & INFO
Agnes Weinhuber, M.Sc.
Tel. 089 289 22855
a.weinhuber@tum.de

ANMELDUNG/BUCHUNG
<https://eveeno.com/214-dvw-seminar>

<https://dvw.de/fortbildung/seminarankuendigungen/5880-214-dvw-seminar-tls-2022>

214. DVW-Seminar | Terrestrisches Laserscanning 2022 (TLS 2022)

Freitag, 9. Dezember 2022

- 8:30 Session 3 – Scanning heute und morgen**
Moderation: Prof. Dr.-Ing. Heiner Kuhlmann, Universität Bonn
Mapping und Prozessierung mit NavVis in der Automobilindustrie
Verica Eric, Matthias Sturmels und Harald Saeger, TPI Vermessungsgesellschaft mbH und NavVis GmbH
Trends im Bereich Laserscanning – terrestrisch (3D) und mobil (2D)
Christoph Fröhlich, Zoller + Fröhlich GmbH
Der neue Leica BLK360
Ulrich Schäfers, Leica Geosystems GmbH Vertrieb
Digital Flash LIDAR Punktwellen – Consumer Produkt oder geodätische Zukunftstechnologie?
Bastian Pläß und Thomas Klauser, Hochschule Mainz

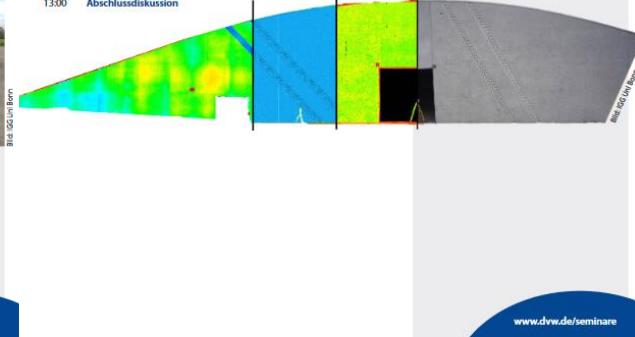
10:30 Kaffeepause

- 11:00 Session 4 – Scanning der bebauten Umwelt**
Moderation: Prof. Dr.-Ing. Ingo Neumann, Leibniz Universität Hannover

- TLS autonom und dann? – Eine Betrachtung an Hand zweier aktueller Anwendungen aus dem Bereich der Ingenieurvermessung
Oliver Schmechtig und Nadine Fischer, Ingenieurbüro Schmechtig Wasser, Muscheln und fiktige Höhen – Herausforderungen für den TLS-Einsatz an der Wasserstraße
Florian Zimmermann et al., Bundesanstalt für Gewässerkunde 3D-Punktwellen-basierte Umgebungsfassung für die Detektion klimarelevanten Immobilienparameter
Jens André Paffenholz und Annette Elmer et al., TU Clausthal und TU Dresden

- Verleihung des ÖBV-Petersen-Preises**
Moderation: Michael Petersen, ÖBV Petersen

13:00 Abschlussdiskussion



www.dvw.de/seminare

RAHMENBEDINGUNGEN UNTER DER AKTUELLEN CORONA-SITUATION

Sofora eine Präsenzveranstaltung im Dezember nicht durchgeführt werden kann, behalten sich die Organisatoren die Umwandlung in eine Online-Veranstaltung vor. Ihre Anmeldung bleibt Gültigkeit, wobei die Option einer Stornierung besteht. Bitte beachten Sie die aktuellen Entwicklungen auch bei den Stornierungsbedingungen ihrer Hotelbuchung.

Wo finden wir Multi-Sensor-Systeme?



amazon.com



voloceptor.com



Volkswagen AG (2019)



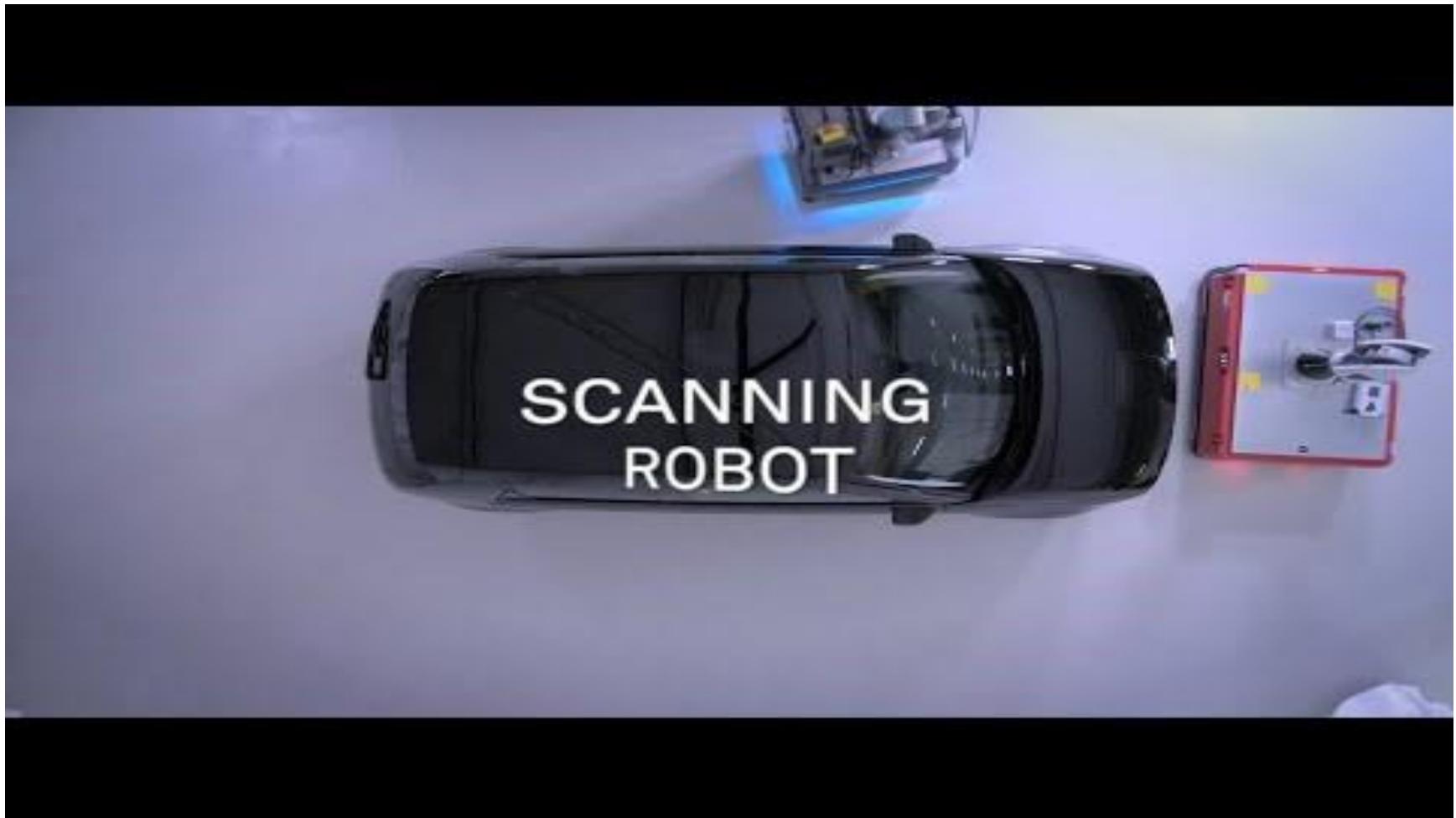
einride.tech



businessinsider.com



dronelife.com



<https://youtu.be/ATLZA2TyVa8>

Geodätische Multi-Sensor-Systeme an der LUH



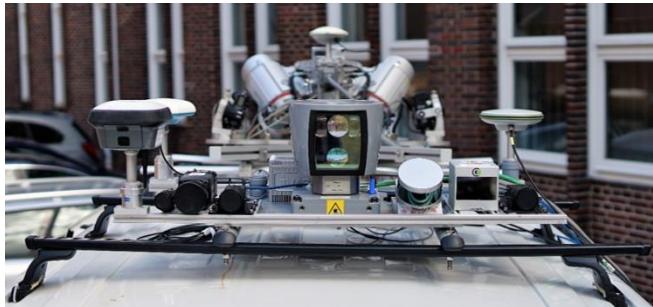
leica-geosystems.com



RTG icsens (2020)

- Was haben **Multi-Sensor-Systeme** (MSS) gemeinsam?
 - **Übergeordnetes Ziel:** Effiziente Datenerfassung von und/oder (Geo-)Referenzierung in der Umgebung
 - **Sensoren zur Objekterfassung:** i.d.R. Laserscanner und Kamera
 - **Referenzierende Sensoren:** 3D/6D Positionierungssensoren, ...
 - Vorteile der jeweiligen einzelnen Sensoren nutzen
 - Oft komplementäre, manchmal auch redundante Sensoren
 - Eindeutige Position & Orientierung (\rightarrow 6 DoF = Pose) für die Plattform
- Was ist **wesentlich** für ein MSS?
 - 1) Verfügbarkeit einer geeigneten **Zeitreferenz** für die erfassten Sensordaten
 - 2) Gegenseitige **räumliche Beziehung** jedes beteiligten Sensors

- *Ein paar allgemeine Anmerkungen*
 - Aufgaben werden immer komplexer und vielfältiger
 - Einzelter Sensor ist für die Anforderungen oft nicht geeignet
 - Immer häufiger auch kooperierende Plattformen/Systeme
 - Erhöhung des Automatisierungsgrades und der Zuverlässigkeit
 - Verbesserung der quantitativen und qualitativen Parameter
 - Reduzierung der Kosten



Vogel (2020)



Multi-Sensor-Systeme



bostondynamics.com

Auswahl an einigen Sensoren



velodynelidar.com



robosense.ai



zf-laser.com



hesaitech.com



vectornav.com



imar-navigation.com



javad.com



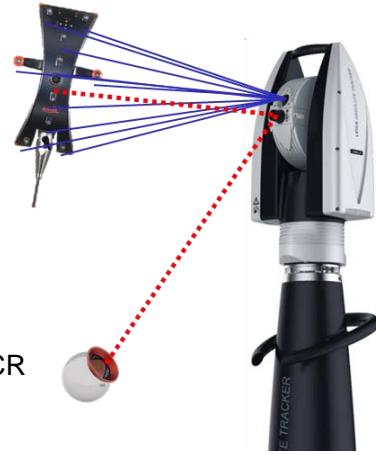
basler.com



gom.com

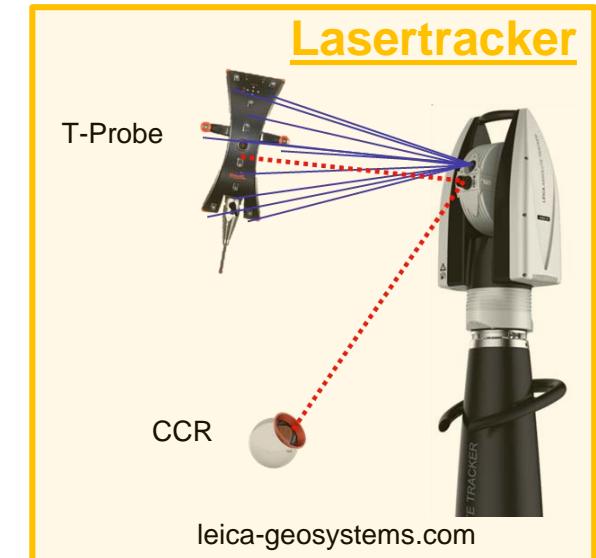


leica-geosystems.com



leica-geosystems.com

Auswahl an einigen Sensoren





velodynelidar.com

Laserscanner



robosense.ai



zf-laser.com



[Hesaitech.com](http://hesaitech.com)



livoxtech.com

Solid-state LiDAR



cepton.com



ibeo-as.com



lumotive.com



velodynelidar.com



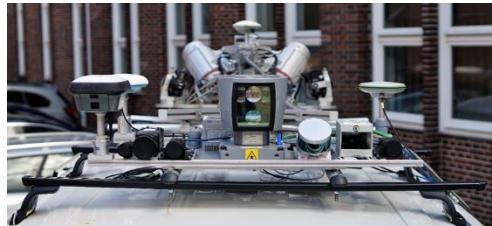
applanix.com



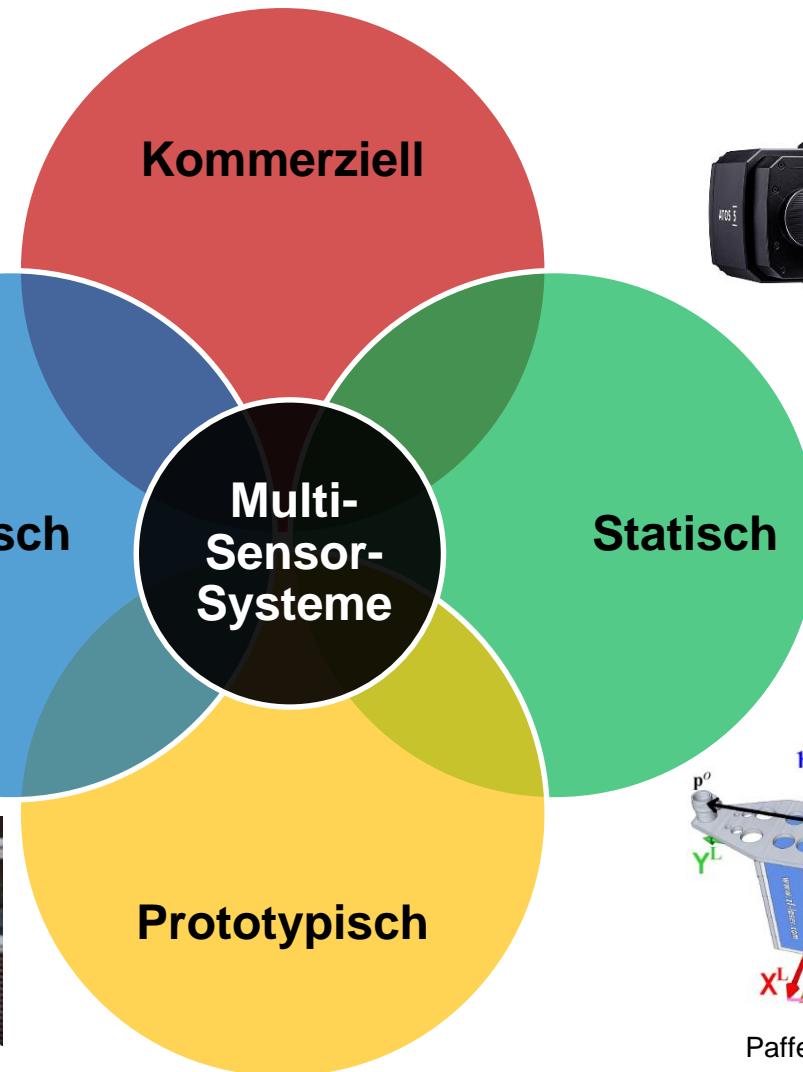
Hochbahn (2020)



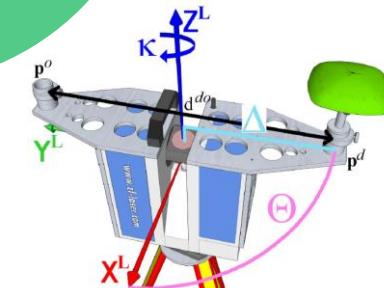
riegl.com



Vogel (2020)

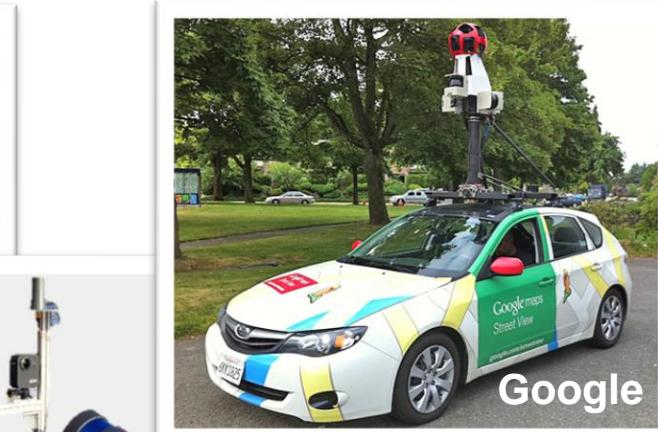
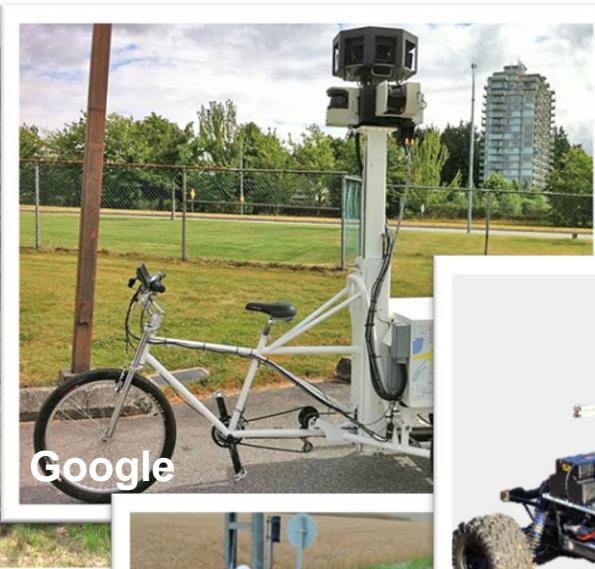


gom.com



Paffenholz (2012)

Auswahl kinematischer Platformen Fahrzeug-basiert



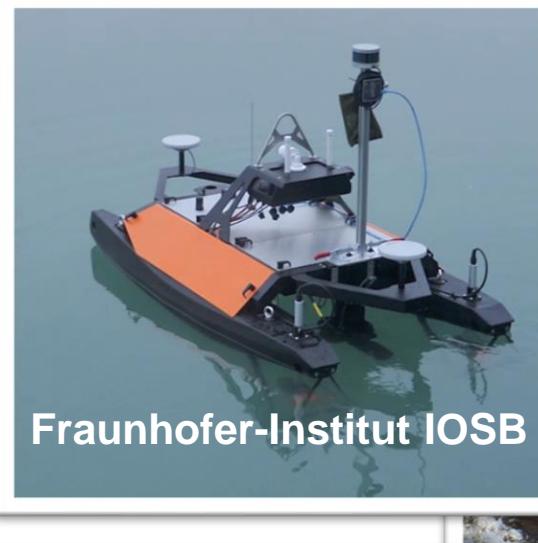
Uni Stuttgart, IFP



Auswahl kinematischer Platformen Fahrzeug-basiert



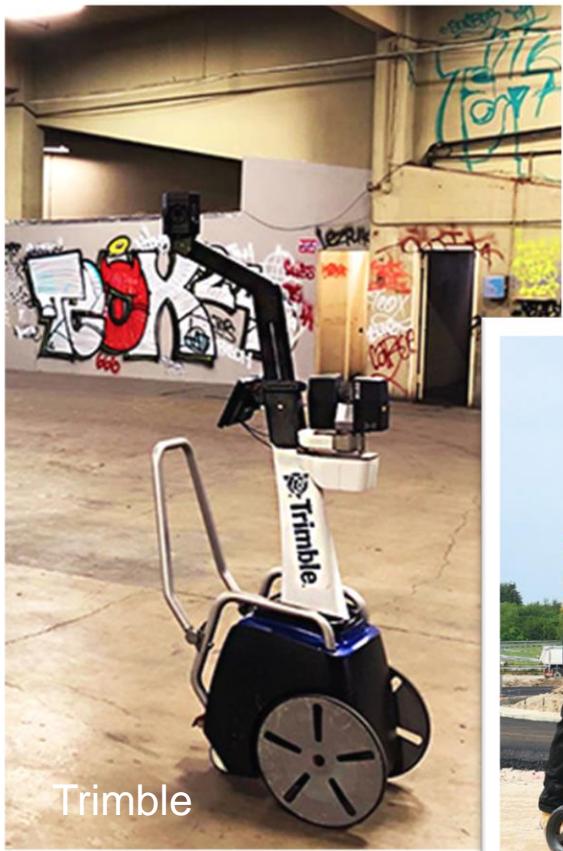
Auswahl kinematischer Platformen Maritim-basiert



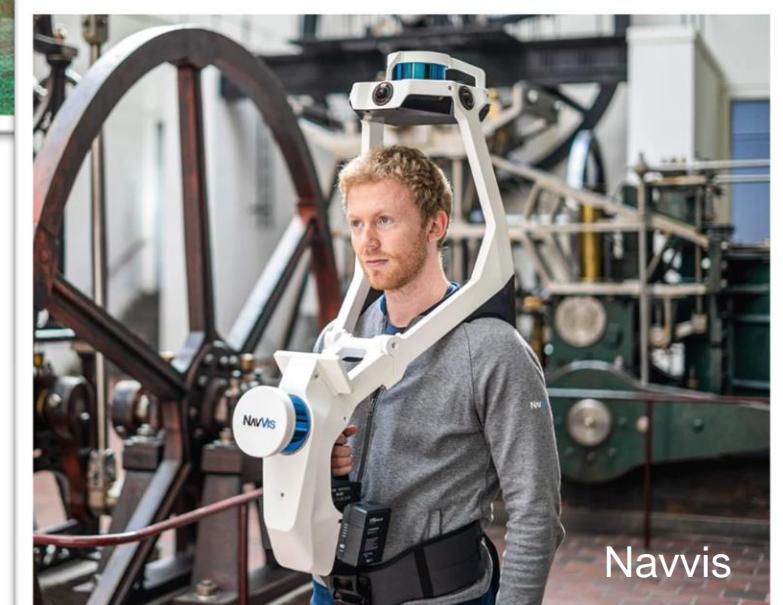
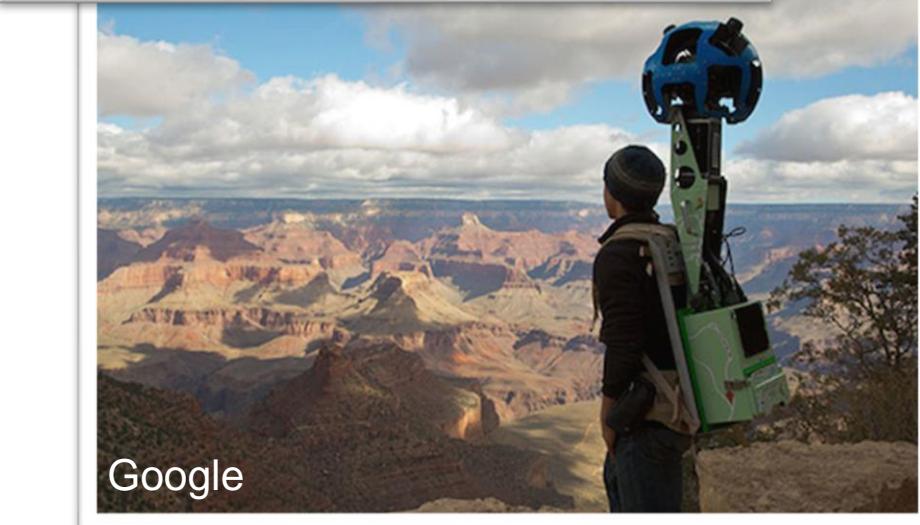
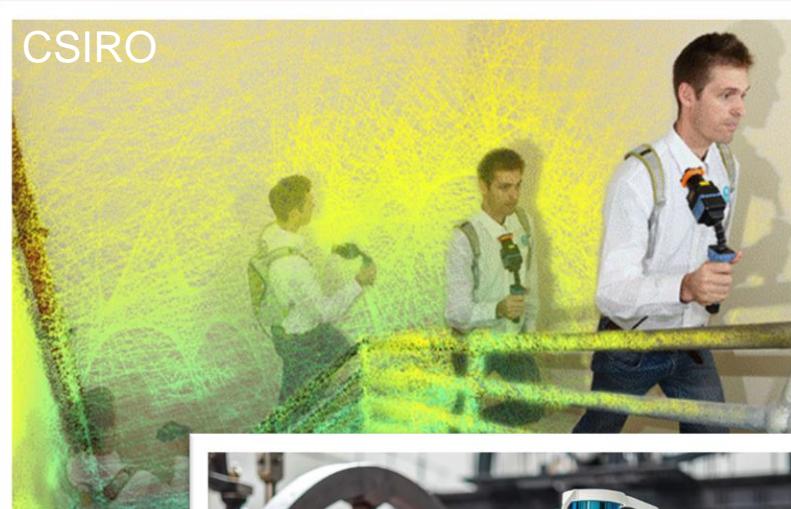
luebecker-hafenrundschau.de



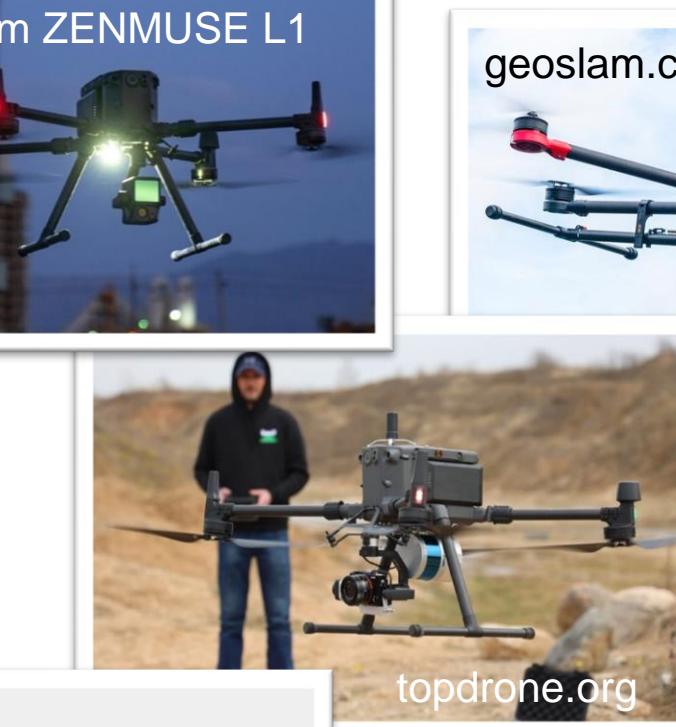
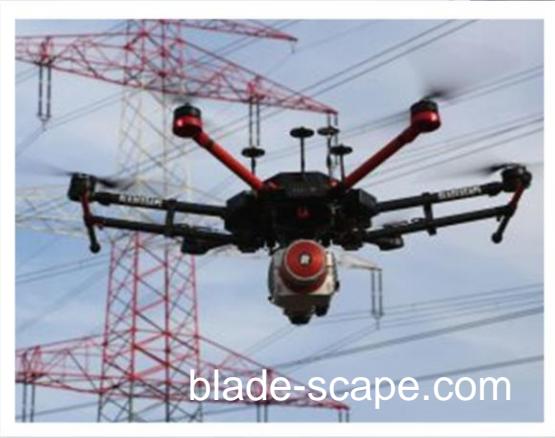
Auswahl kinematischer Platformen Handwagen



Auswahl kinematischer Platformen Tragbar



Auswahl kinematischer Platformen UAV-basiert





ZENMUSE L1
Versatile LiDAR Solution

<https://youtu.be/c0v-oCD8bX0>

DJI