



Brückenmonitoring mit low cost Inertialsensoren

Thomas Willemsen

Hochschule Neubrandenburg

In Zusammenarbeit mit der Landeshauptstadt Düsseldorf

Hamburger Forum für Geomatik am 11.05.2022

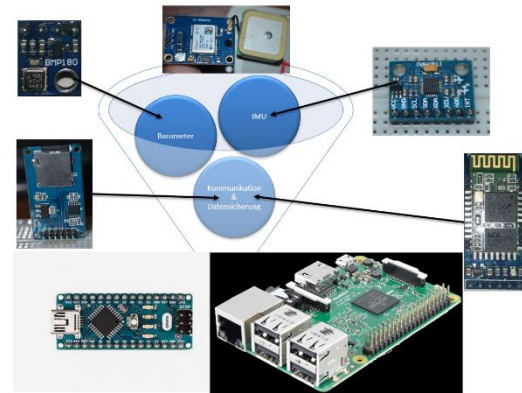


Inhalt

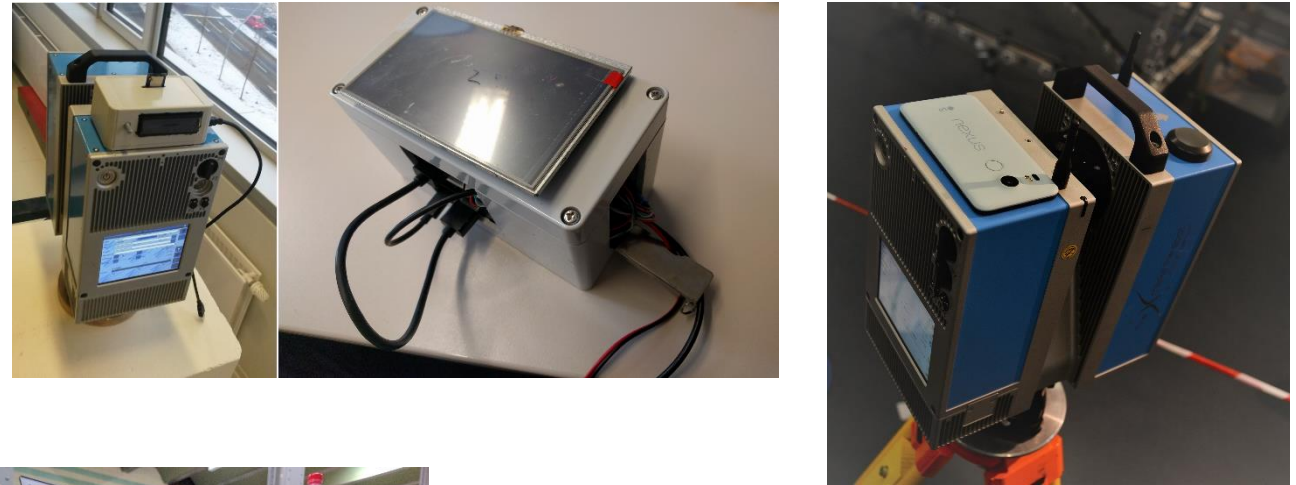
- Motivation für Low-Cost
- Motivation für Brückenüberwachung
- Idee
- MEMS Multi-Sensor-Platine
- Aufbau des Monitorings
- Weitere Untersuchungen
- Nächste Arbeiten

Motivation low cost

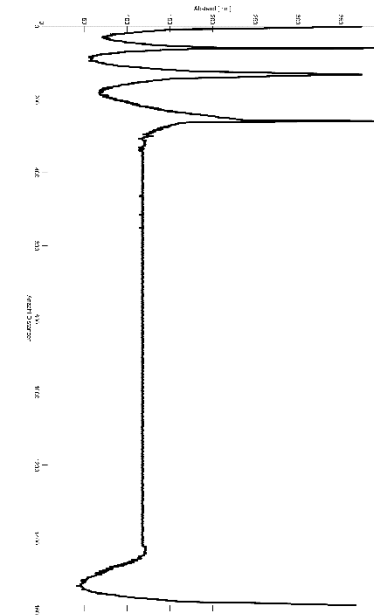
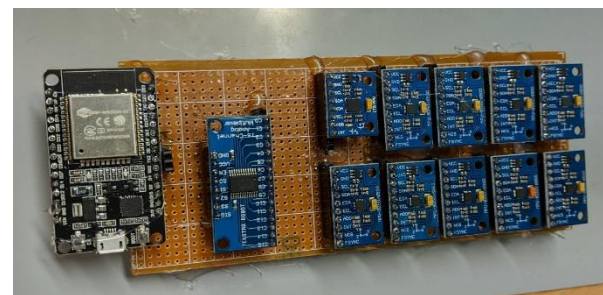
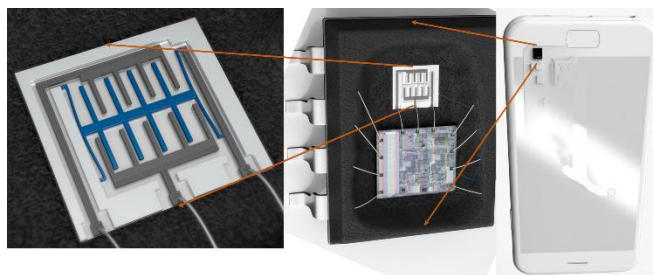
- Reg-Modul



- Gap-Filler

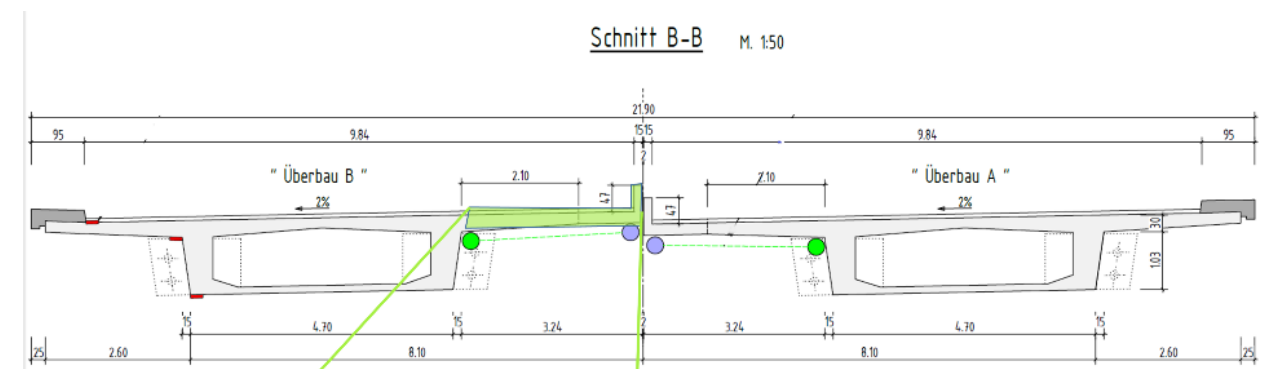


- Multi-MEMS

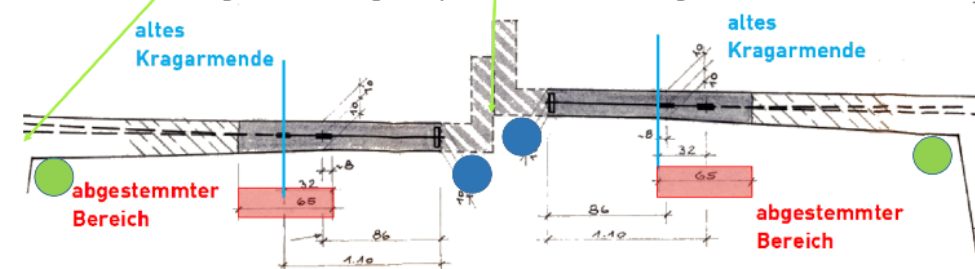


Motivation Brückenmonitoring

- Zustand deutscher Brückeninfrastruktur, Beispiel Landeshauptstadt Düsseldorf
(AVN, 01-2/2022; Willemsen et.al. 2022):
 - 350 Brückenbauwerke im Durchschnittsalter von 54 Jahren
 - Faktische Nutzungsänderung aufgrund des erhöhten Verkehrsaufkommens und der überproportionalen Zunahme von Schwerverkehr erfordert erweiterten Handlungsbedarf
 - Bis zur Umsetzung von Ertüchtigungsmaßnahmen sind Bauwerke stand- und verkehrssicher bei weitgehendem Erhalt der verkehrlichen Nutzung zu erhalten.
- Bedarf an Monitoring wächst
- Beispiel: Brücke Benediktusstraße
(Landeshauptstadt Düsseldorf)



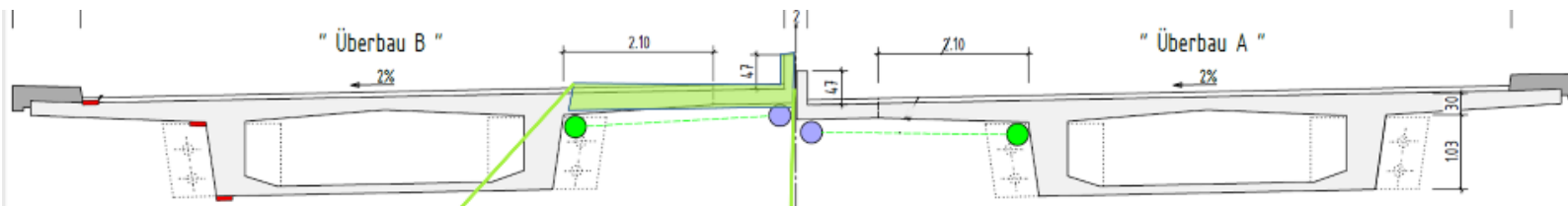
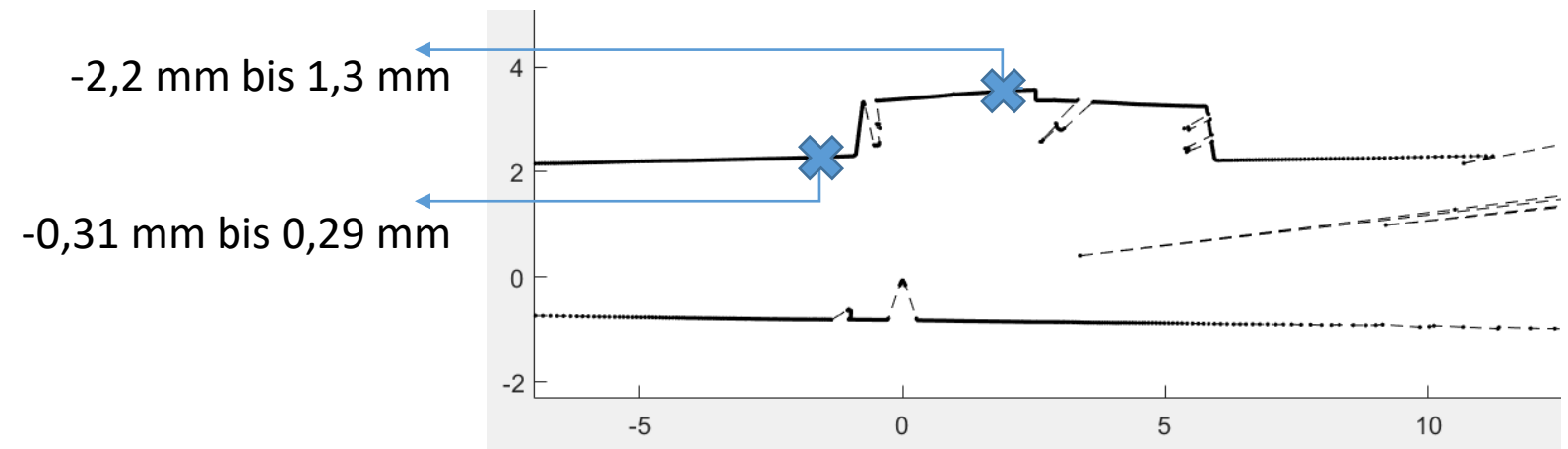
Auszug aus einer Bestandszeichnung für die Planung des hydrostatischen Monitorings.



Auszug aus Bestandsplan der Verbreiterungsmaßnahme mit Anmerkungen (Thomas & Bökamp, 2019)

Idee: Low-Cost Neigungsmessung

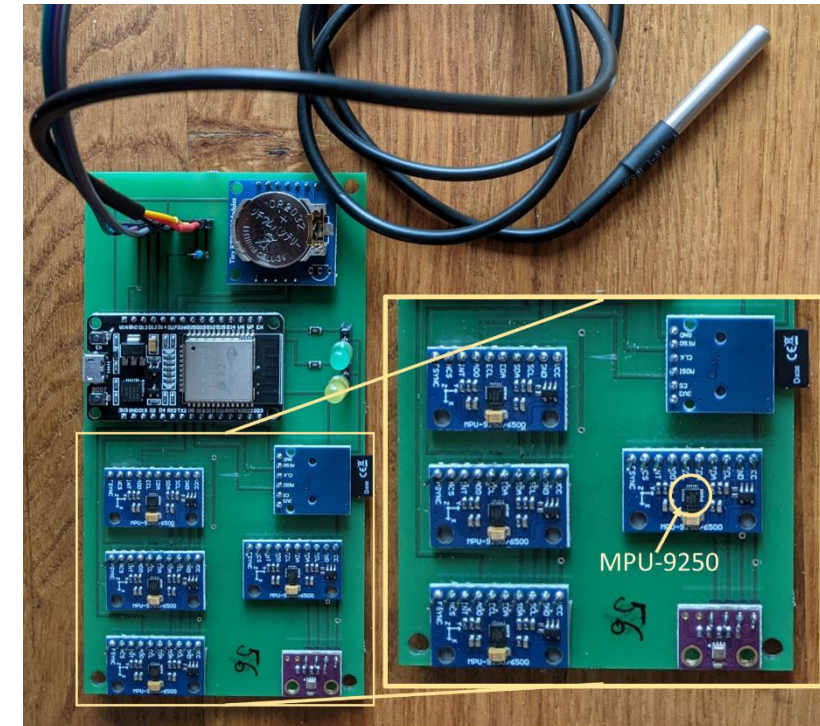
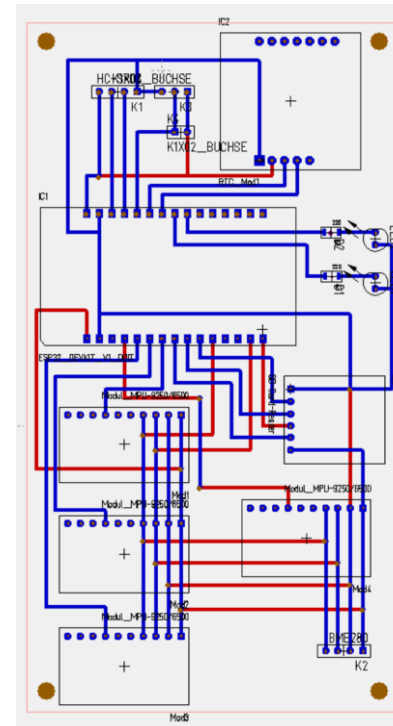
- MEMS – Micro Electro Mechanical Systems: In Massenbauweise gefertigte kleine Sensoren. Verbaut in Smartphones, geringer Energiebedarf, geringe Beschaffungskosten.
- Indirekte Messung von Höhenänderungen: Bauwerksverhalten muss hinreichend bekannt sein.
- Untersuchungen am Bauwerk: 48h Dauermessung mit einem ZF Imager 5016 im Profiler Modus:



Entwicklung einer Multi-Sensor-Platine

- Platinendesign mit der Software *Target*
- Kosten der Hardware niedrig
- Zusätzlicher Aufwand: Kalibrierung und Temperaturkompensation

Position	Stückpreis [Euro]	Anzahl	Gesamtpreis [Euro]	Bemerkung
Platine	5,00	1x	5,00	Abhängig von der Stückzahl, hier 51x
Mikrocontroller ESP32	8,00	1x	8,00	
MPU-9250	5,00	4x	20,00	4x, zur Steigerung der Genauigkeit und der Zuverlässigkeit
BME280	5,50	1x	5,50	
SD-Card Shield	3,50	1x	3,50	
DS18B20	4,00	1x	4,00	
Zubehör / Kleinteile	11,00	1x	11,00	LEDs, Widerstände, Schrauben, Abstandshalter, Buchsenleisten
Gesamtsumme für ein Sensormodul:			57,00	



Motion Processing Unit (MPU-9250)

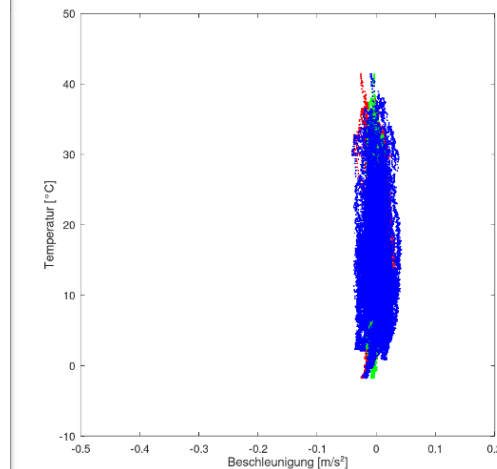
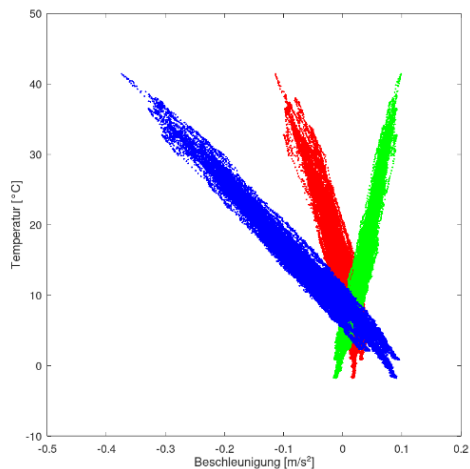
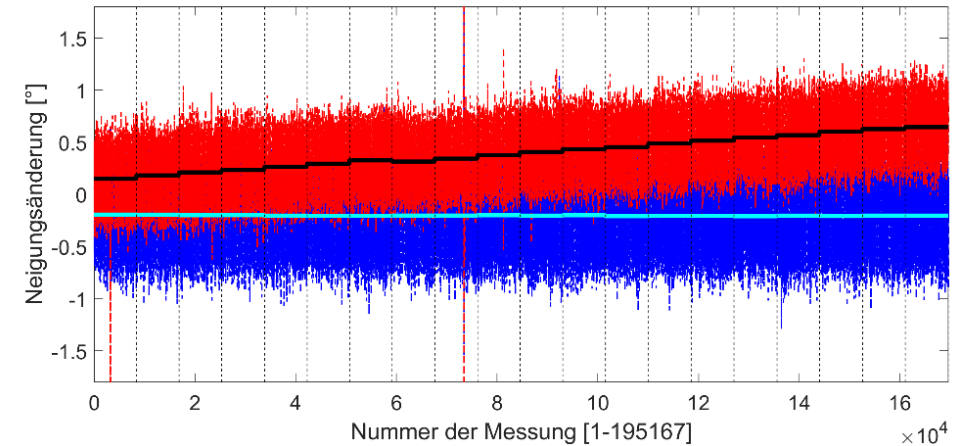
- 3-Achs accelerometer
- 3-Achs gyroscope
- 3-Achs magnetic field sensor

Kosten: ca. 5 Euro

Verbaut in Smartphones

Entwicklung einer Multi-Sensor-Platine

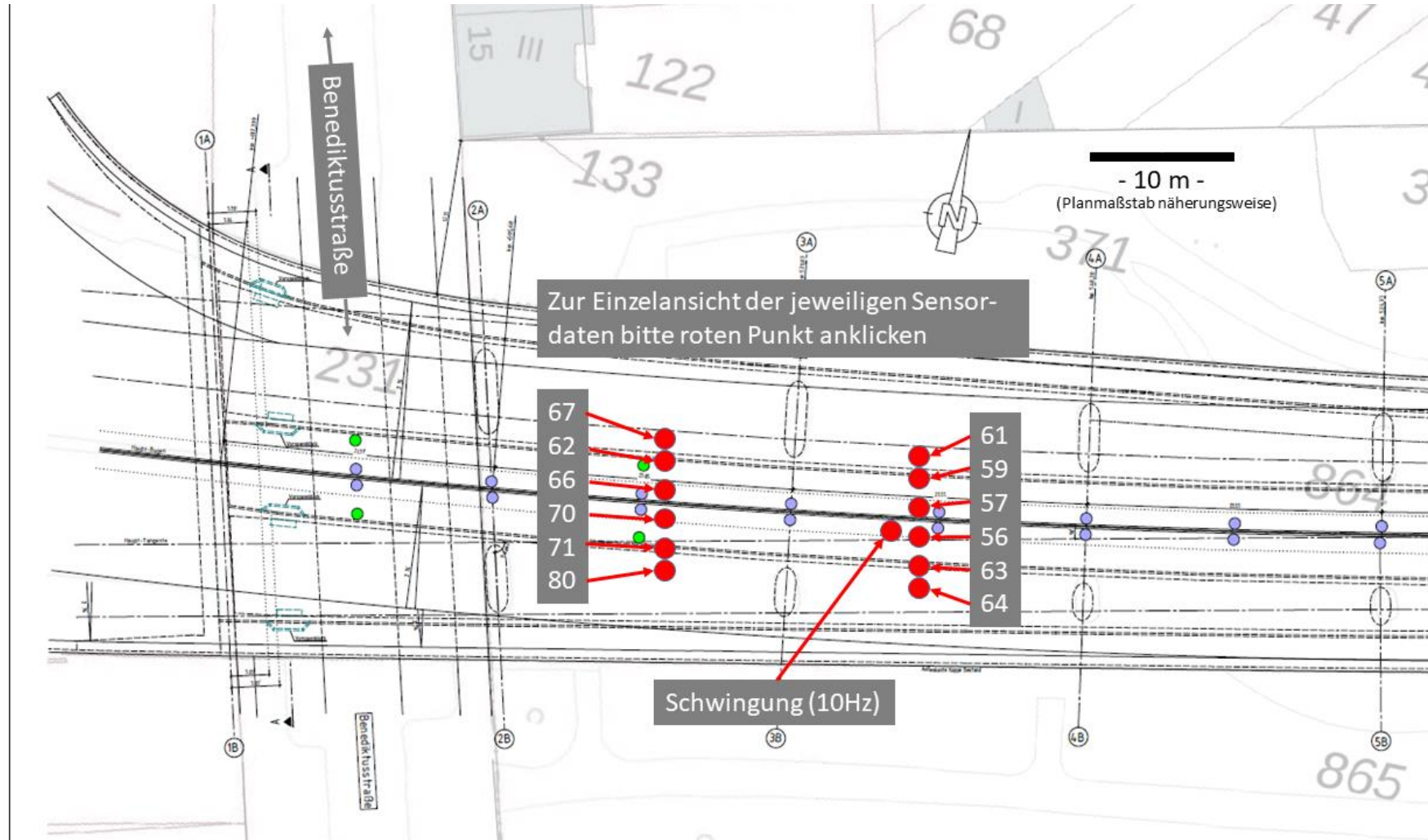
- Mehrfachmessung: 60 s x 140 Hz = 8400 Messwerte.
- Multi-Sensor-System: 4x MPU-9250
 - Redundanz: 4x 75 Hz x 60 s = 18000 Messwerte
- Kalibrierung des 3-Achs Beschleunigungssensor
 - Korrektur von Nullpunktfehler sowie Maßstab
- Kompensation von Temperatureinfluss
 - Nutzung eines Klimagerätes;
 - temperaturabhängige Korrektur



$$g^2 = \hat{a}_x^2 + \hat{a}_y^2 + \hat{a}_z^2 \quad [3]$$

$$\begin{pmatrix} \hat{a}_x \\ \hat{a}_y \\ \hat{a}_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} S_x & r_{x,y} & r_{x,z} \\ r_{y,x} & S_y & r_{y,z} \\ r_{z,x} & r_{z,y} & S_z \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} a_x & b_x \\ a_y & -b_y \\ a_z & b_z \end{pmatrix} \quad [4]$$

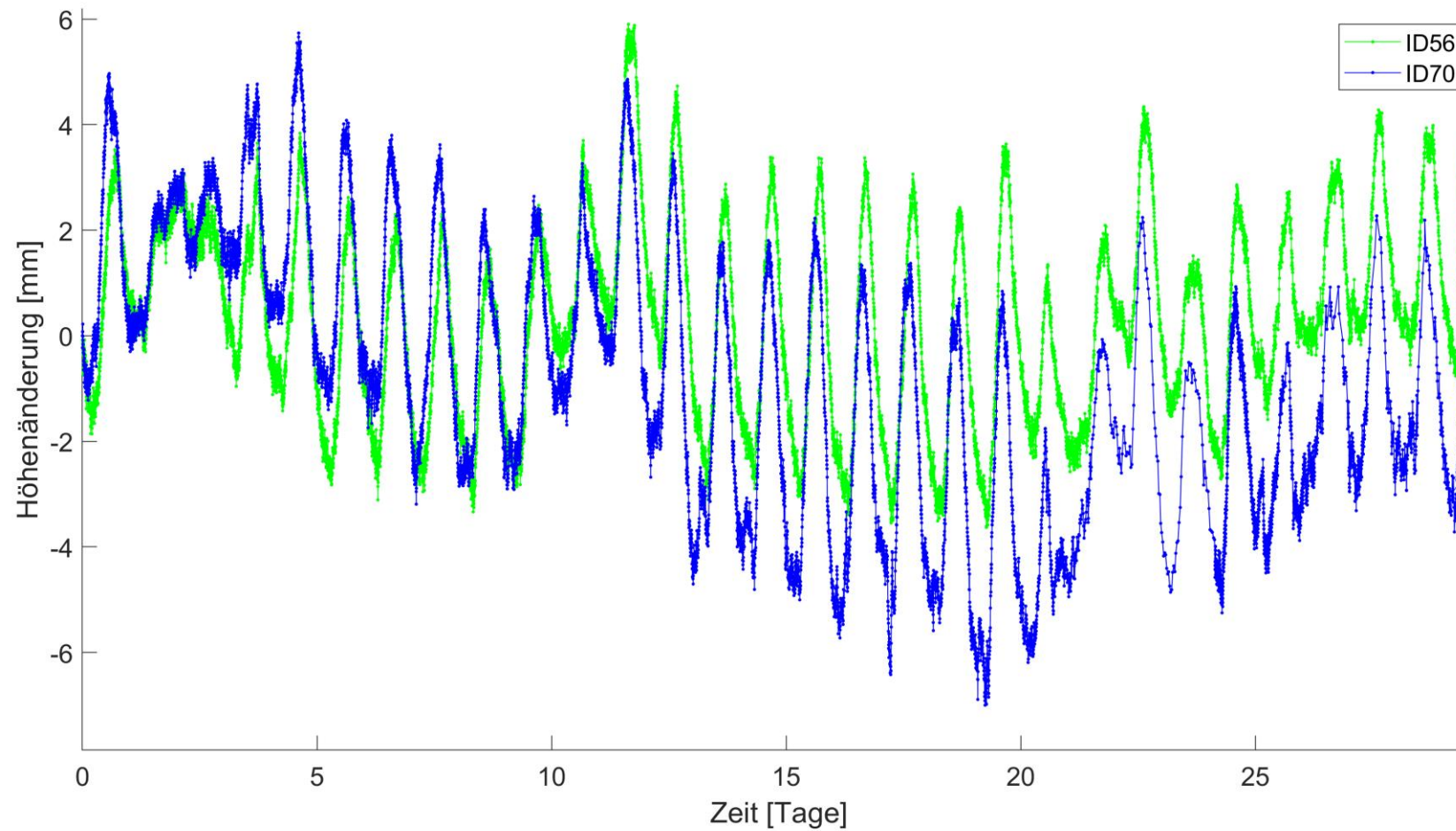
Installation



Installation der Platinen



Beobachtungen an zwei Messstellen



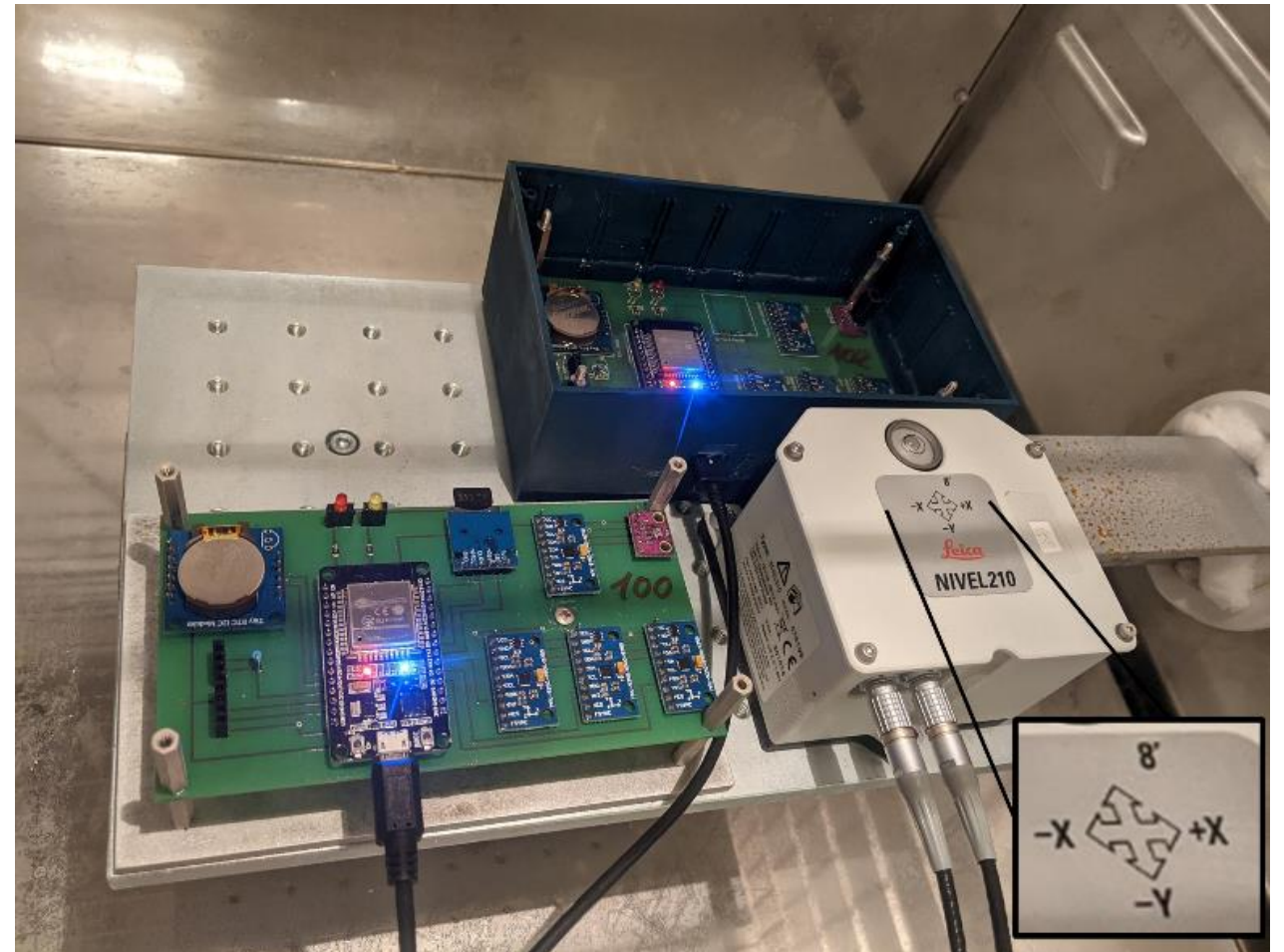
Offene Fragen

- Stabilität der Montage / Konstruktion der Platine
- Einfluss der äußeren Umgebung
- Erreichbare Genauigkeiten unter realen Messbedingungen

- Ggf.
 - Anpassungen der Platinen Konstruktion und der Montage an der Brücke
 - Anpassungen der Sensorpositionen an der Brücke (Biegelinie)
 - Vergleichbarkeit zu einem Referenzsystem herstellen

Weitere Untersuchungen

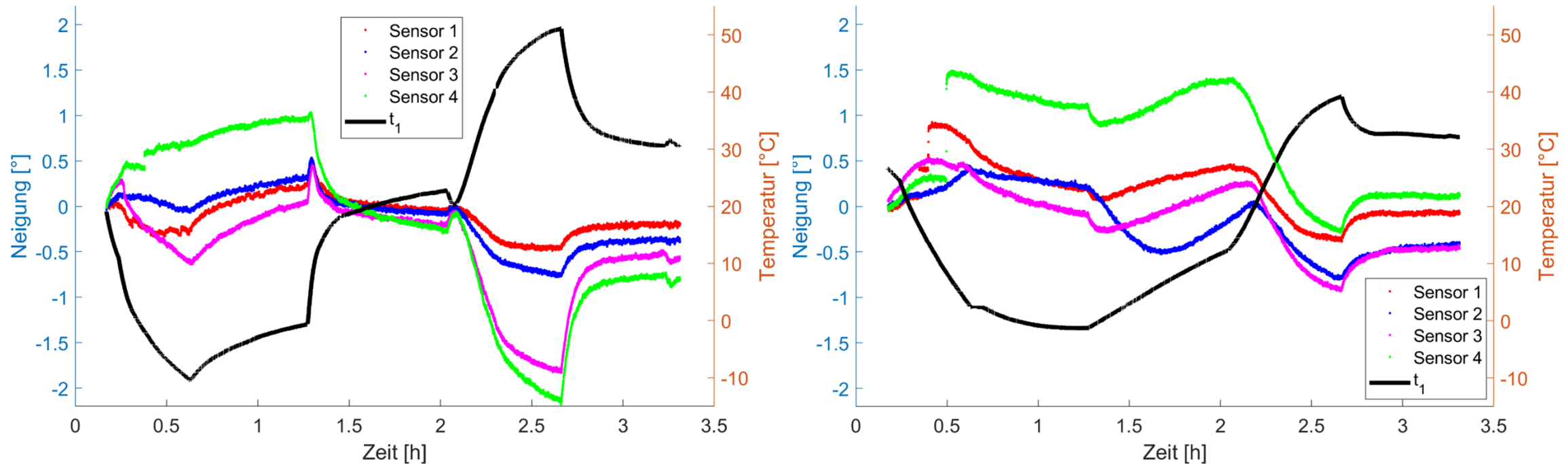
- Stabilität der Platine:
 - Temperaturstabilität: Verschraubung im Vergleich zu vergossener Platine



Erste Versuche im Klimagerät

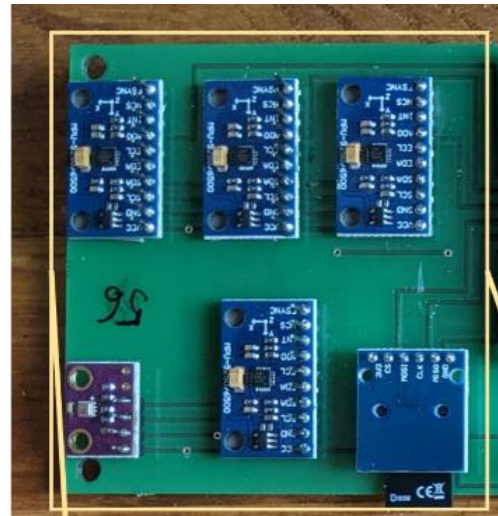
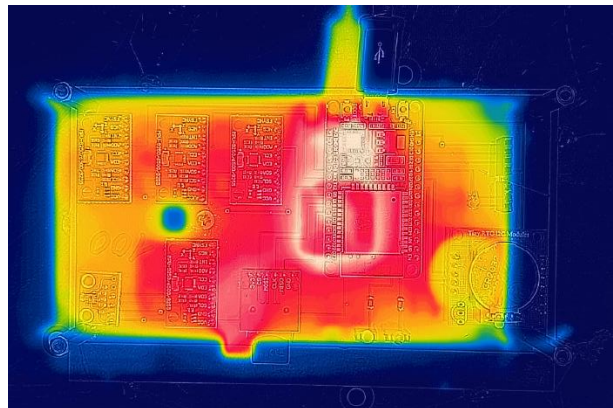
Problem: Temperatur wirkt auf den Sensor und auf die Konstruktion. Trennung möglich?

Langzeitmessungen notwendig, damit auch die vergessenen Platine vergleichbare Temperaturen erfährt

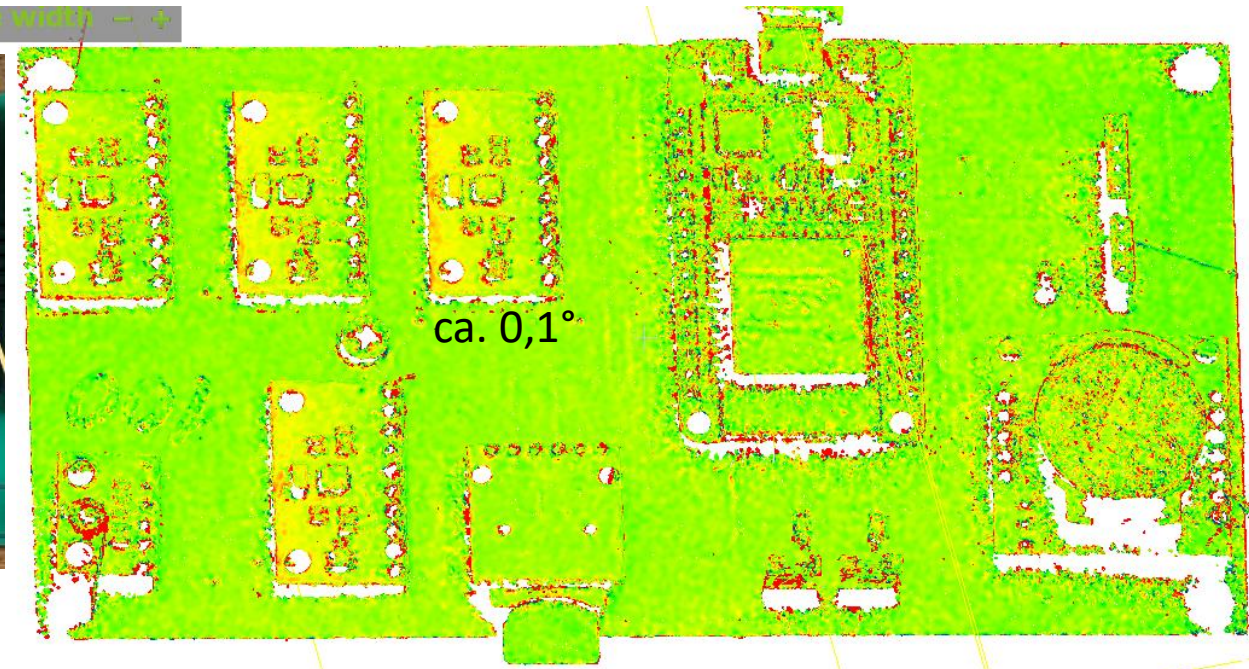


Weitere Untersuchungen

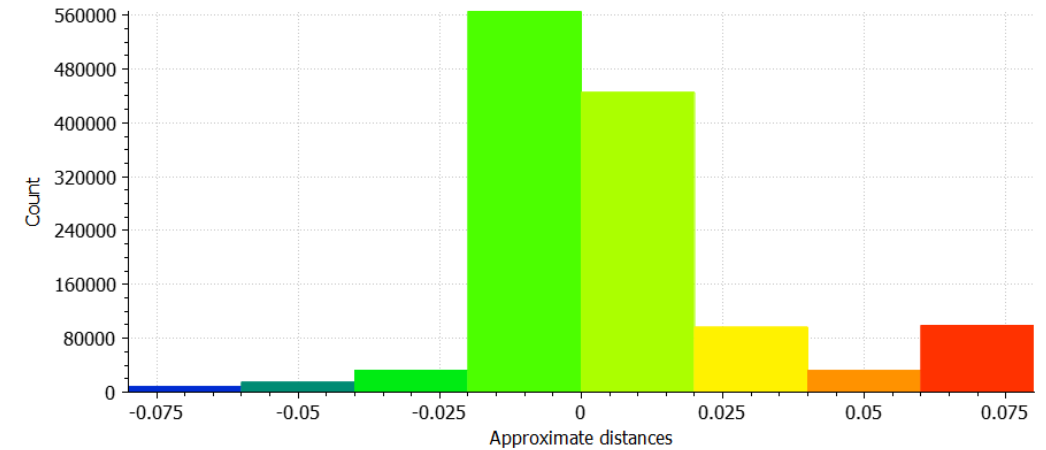
- Stabilität der Platine:
 - Temperaturstabilität der Montage (Verschraubung)
 - Test mit Creaform Handy Scan Black (0.035 mm)



widely - +

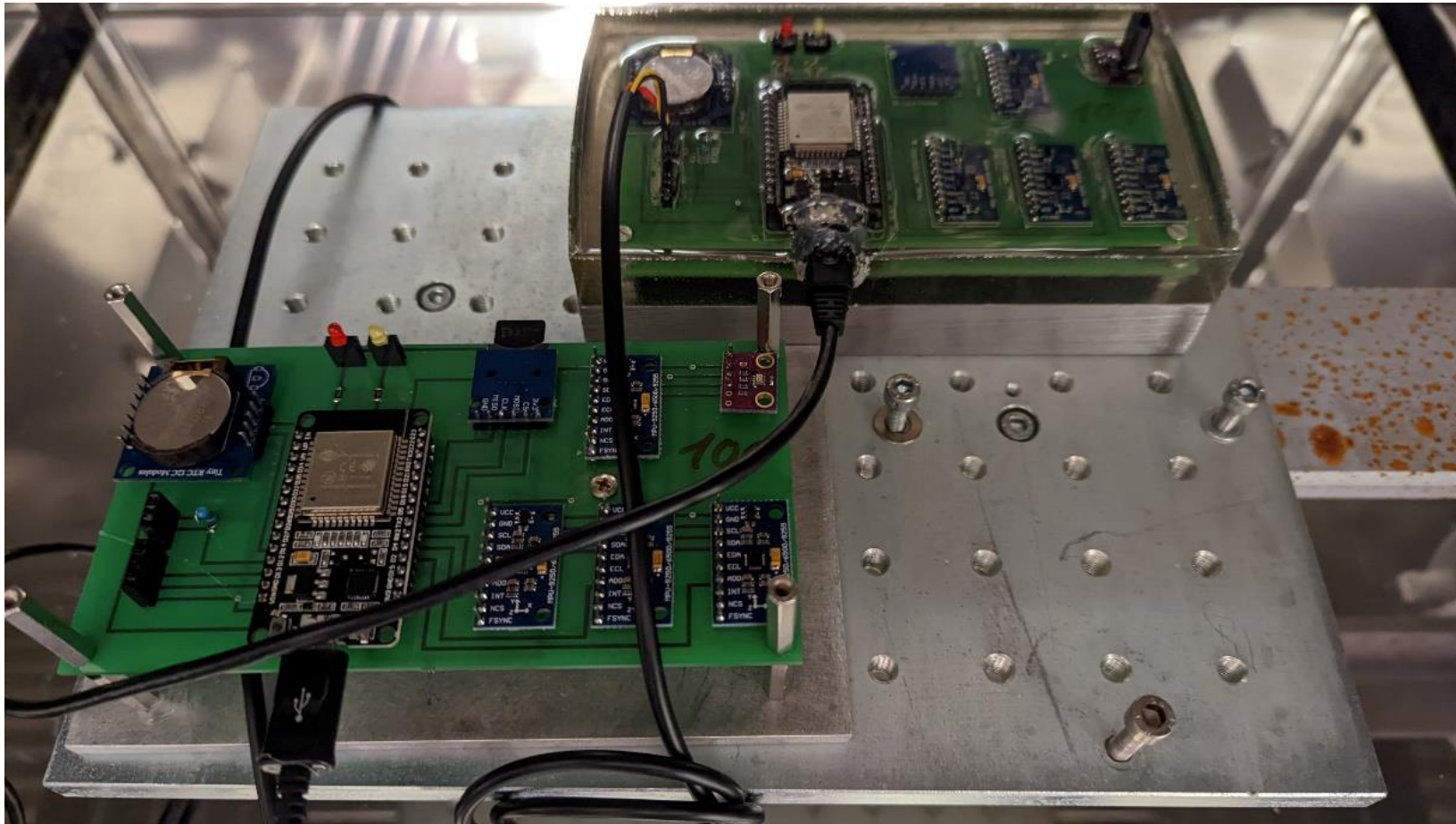


Approximate distances (866009 values) [8 classes]



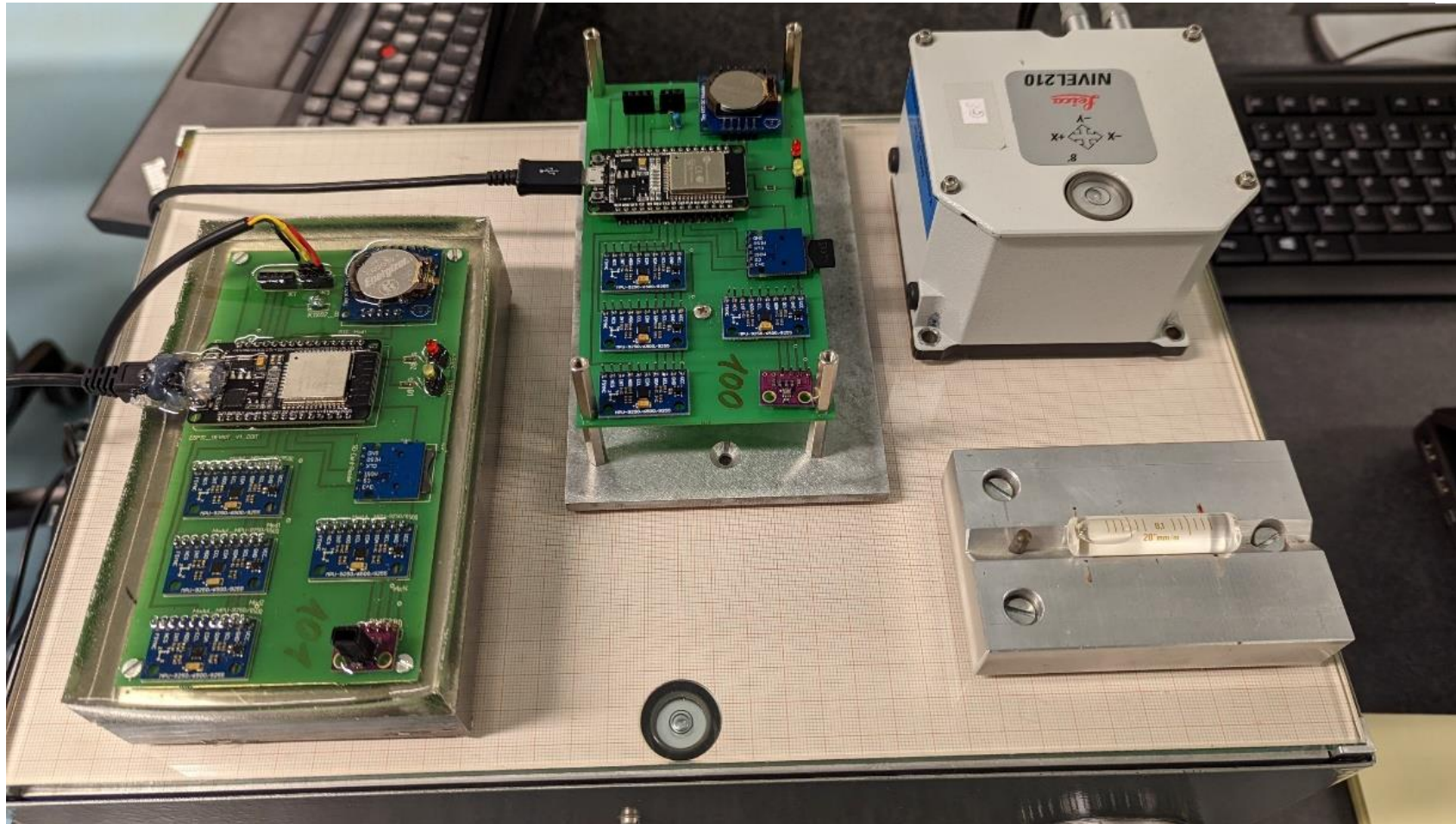
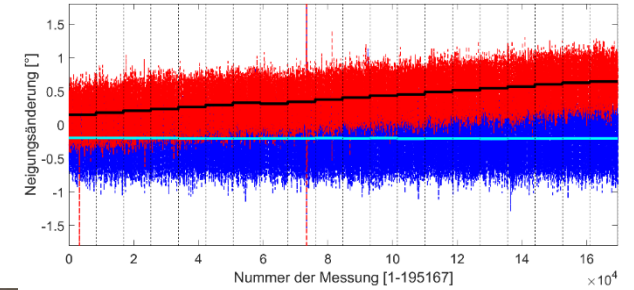
Weitere Untersuchungen

- Stabilität der Platine:
 - Temperaturstabilität: Verschraubung im Vergleich zu vergossener Platine



Weitere Untersuchungen

- Libellenprüftisch und Vergleich mit alternativen Neigungssensoren



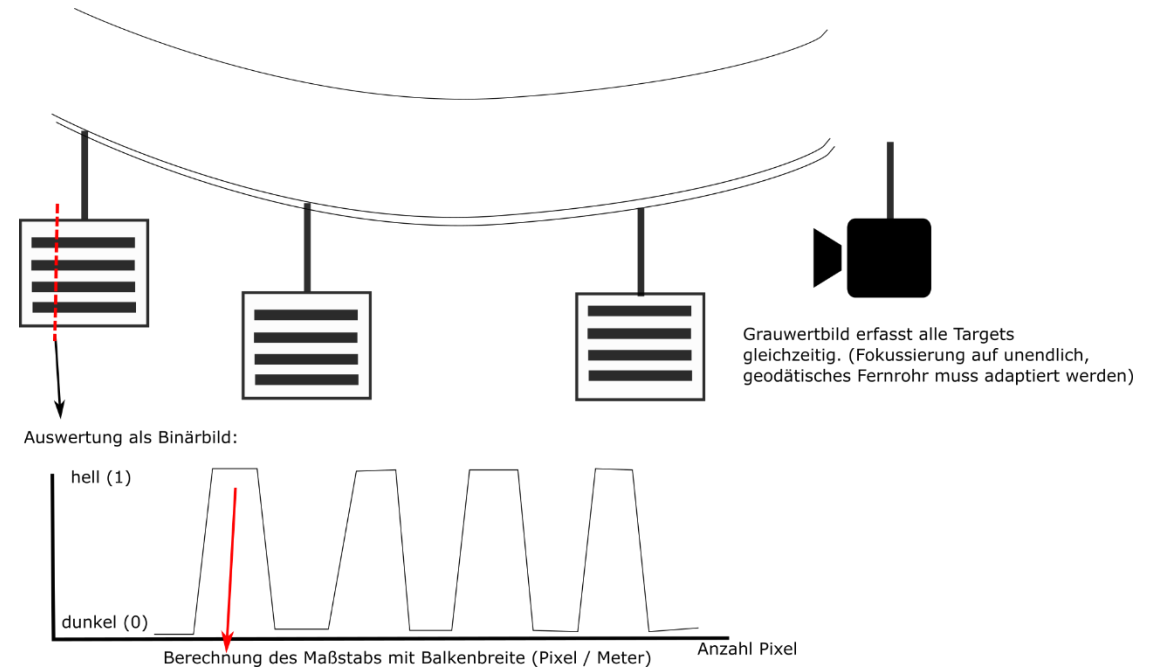
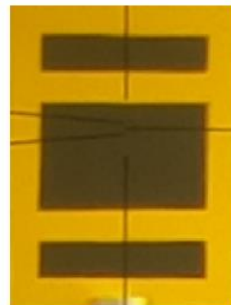
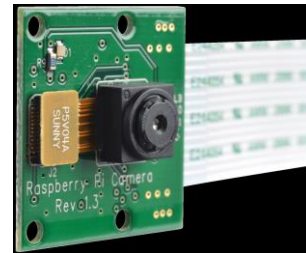


Zusammenfassung

- MEMS sind für unterschiedlichste Anwendungen nutzbar
- Für den Einsatz im Monitoring sind sie allerdings aufwendig zu untersuchen und es sind Maßnahmen notwendig, damit eine Genauigkeitssteigerung erreicht wird.
- Das Bauwerksmonitoring wird besonders hinsichtlich der Altersstruktur deutscher Brückenbauwerke vermehrt benötigt
- Erfahrungswerte für den dauerhaften Einsatz im Außenbereich fehlen.
- Die Auswertungen der vorgestellten Untersuchungen bilden die Grundlage für die weitere Vorgehensweise beim Platinendesign und für die Definition der Anwendungsszenarien.

Nächste Arbeiten

- Auswertung des Monitorings an der Benediktusbrücke
- Berücksichtigung der Untersuchungen und Ergebnisse des Monitorings zur Weiterentwicklung der Sensorplatine und Konstruktion zur Anbringung an ein Brückenbauwerk
- Realisierung weiterer Low-Cost Überwachungskonzepte:
 - Bildbasiert mit Fernrohr auf Targets





Geo Symposium Hochschule Neubrandenburg

<https://www.hs-nb.de/fachbereich-landschaftswissenschaften-und-geomatik/forschung-kooperation/tagungen/geo-symposium-2022/>

Donnerstag 19.5.2022

10:00 Begrüßung, Grußworte

Block 1

10:30 Uhr Stefan Ulbrich; BIM-Stand in MV

11:00 Uhr B. Mehlitz/LAIV; GNSS-Kampagne 2021

11:30 Uhr Mittagspause, Firmen- und Hochschulpräsentation Foyer

Block 2

13:00 Uhr Erik, Schmoelter; DLR Neustrelitz; Weltraumwetter– Eine Herausforderung für unsere globale Infrastruktur

13:30 Uhr Tobias Hillmann; Sensorik und Auswertung – Forschungsprojekte der letzten 3 Jahre

14:00 Uhr Kaffeepause, Firmen- und Hochschulpräsentation Foyer

Block 3

14:30 Uhr B.Passenheim/M.Schwenn; 1. Unternehmensflurbereinigung in M-V

15:00 Uhr A. Adjinski; Aktuelles zur geod. Nachwuchsgewinnung in M-V

15:30 Uhr A.Thurm; „Aktuelle Entwicklungen und Anwendungsmöglichkeiten in kommunalen Geoinformationssystemen“

16:00 Uhr Uwe Köster; Einsatz der flächenhaften Ausgleichung im Liegenschaftskataster des Landes Mecklenburg-Vorpommern

Freitag 20.5.2022

Block 4

09:00 Uhr Sebastian Ehlers, Jens Maschke - Ingenieurvermessung im Tiefbau

09:30 Uhr Thomas Willemsen; MEMS in der Ingenieurgeodäsie

10:00 Uhr Olena Lysnik, A. Romanowskyi; ITN: BIM-Bestandserfassung im Brückenbau

10:30 Uhr Kaffeepause, Firmen- und Hochschulpräsentation Foyer

Block 5

11:00 Uhr Ingo Neumann, Uni Hannover; Geod. Ausbildung aus Sicht der Hochschulen

11:30 Uhr Jörg Benndorf, TU Freiberg; „Geomatics for Mineral Resource Management – Erfahrungen in der Umsetzung eines Europäischen MSc-Studiengang“

12:00 Uhr Mittagspause, Firmen- und Hochschulpräsentation Foyer

Block 6

13:00 Uhr Peter Gerndt, Thyssenkrupp AG; „Industriemessstechnik: Einordnung und Bedeutung in der Produktion“

13:30 Uhr Jörg Müller, M.-Planck-Institut; Industriemessverfahren beim Wendelstein 7X

14:00 Uhr Martin Kiskemper; Anwendungen von UAV in der Praxis

14:30 Uhr Ende