



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
WIEN  
Vienna | Austria

# Untersuchungen zur Synchronisation von Tachymetern

Tomas Thalmann, Prof. Hans Neuner

Forschungsgruppe Ingenieurgeodäsie, TU Wien

13. Geomessdiskurs | DVW Seminar | Jena | 29.06.2023

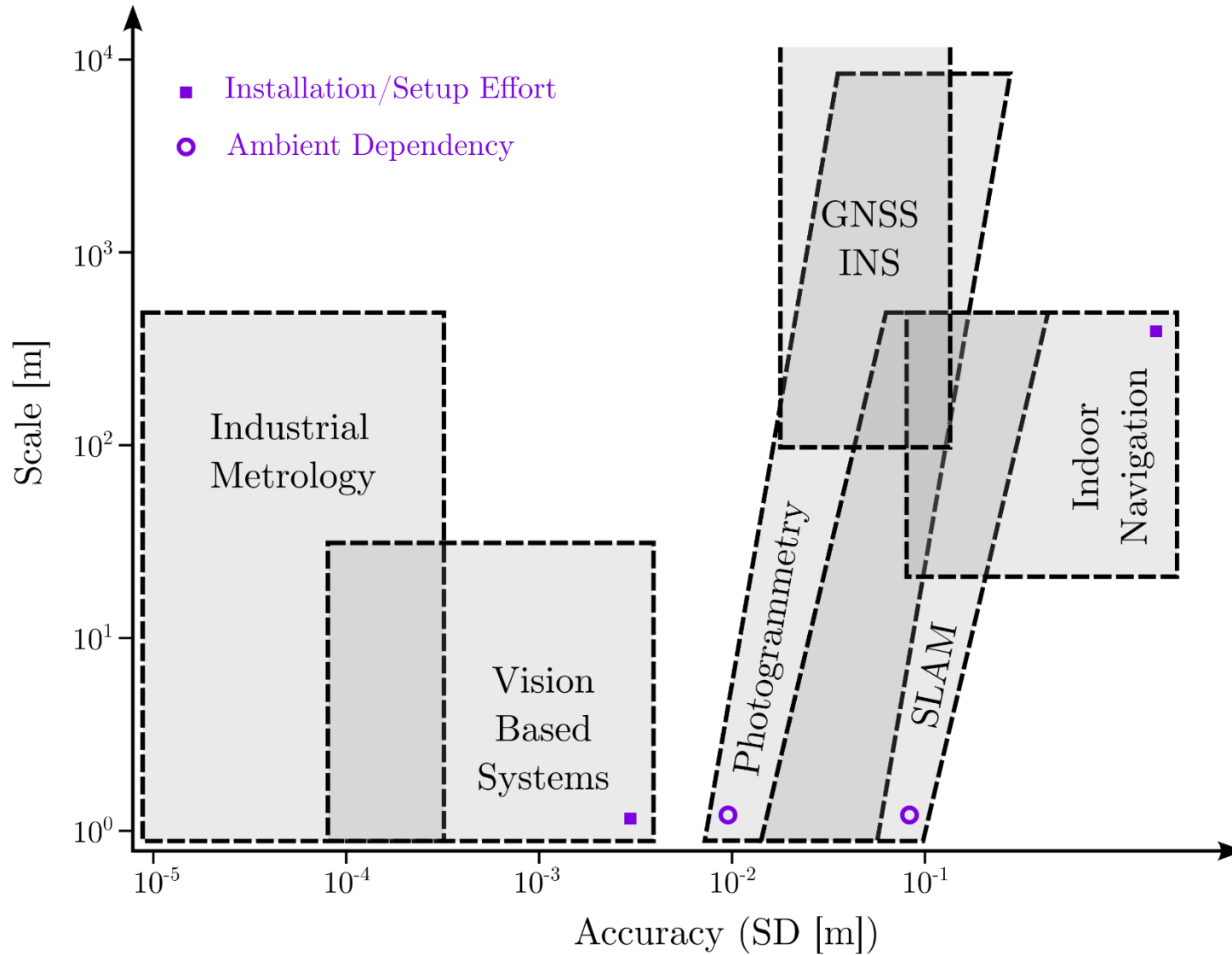
# Motivation

## 6DoF Posenschätzung

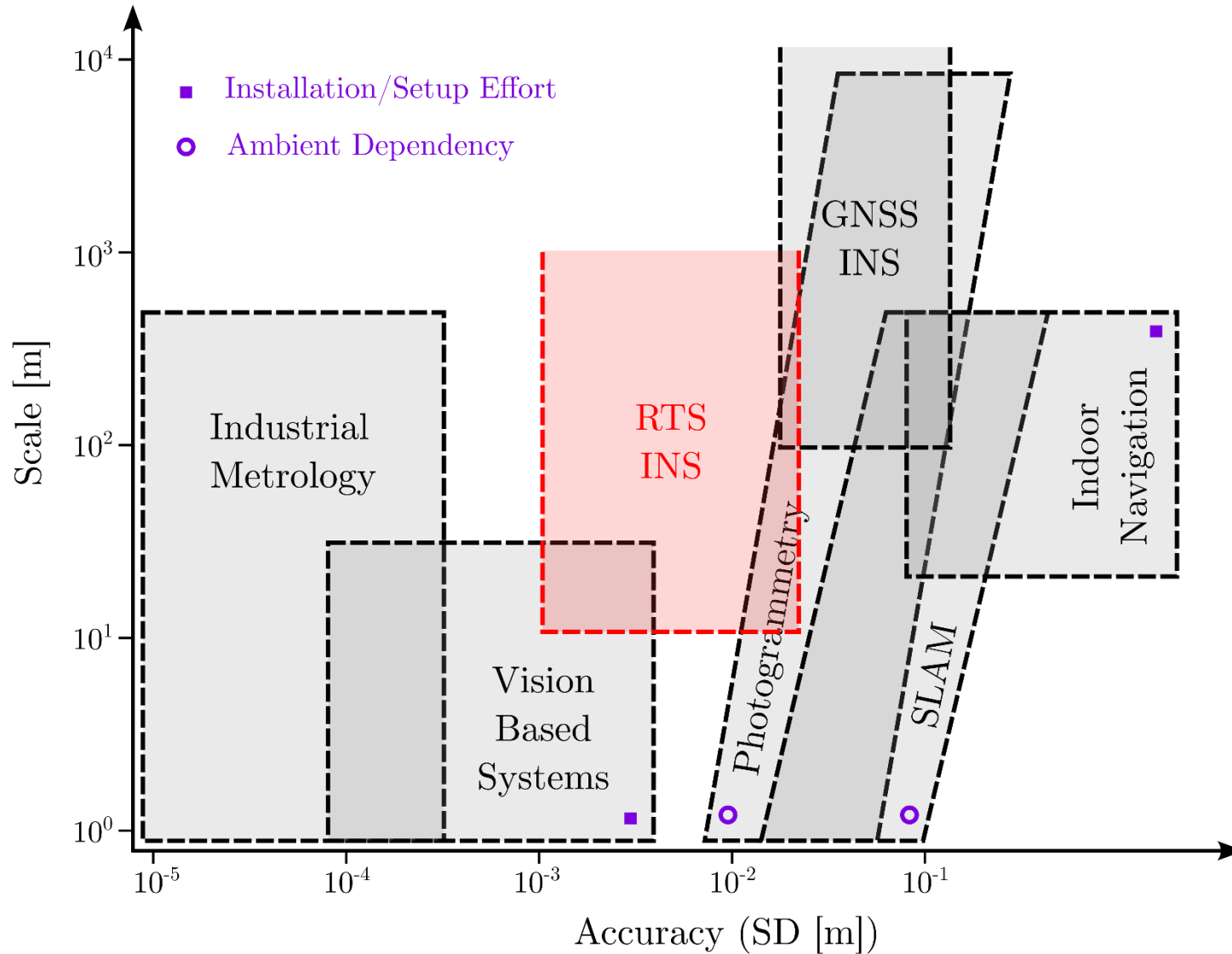
- Robotic Total Station (RTS) – IMU Fusion
  - 6 DoF Positionierung & Navigation
  - Mobile Mapping Systeme
  - Referenz & Regelung
  - Probing Device/ Pole Tilt Kompensation
- GNSS-denied Umgebungen (Innenraum, Untertage)



# 6DoF Forschungs- und Anwendungslandschaft



# 6DoF Forschungs- und Anwendungslandschaft



# RTS Synchronisation Anforderungen

- Anforderungen an die Synchronisation
  - Fehler in der Position unter 1 mm



$1 \text{ m/s} - 1 \text{ ms}$



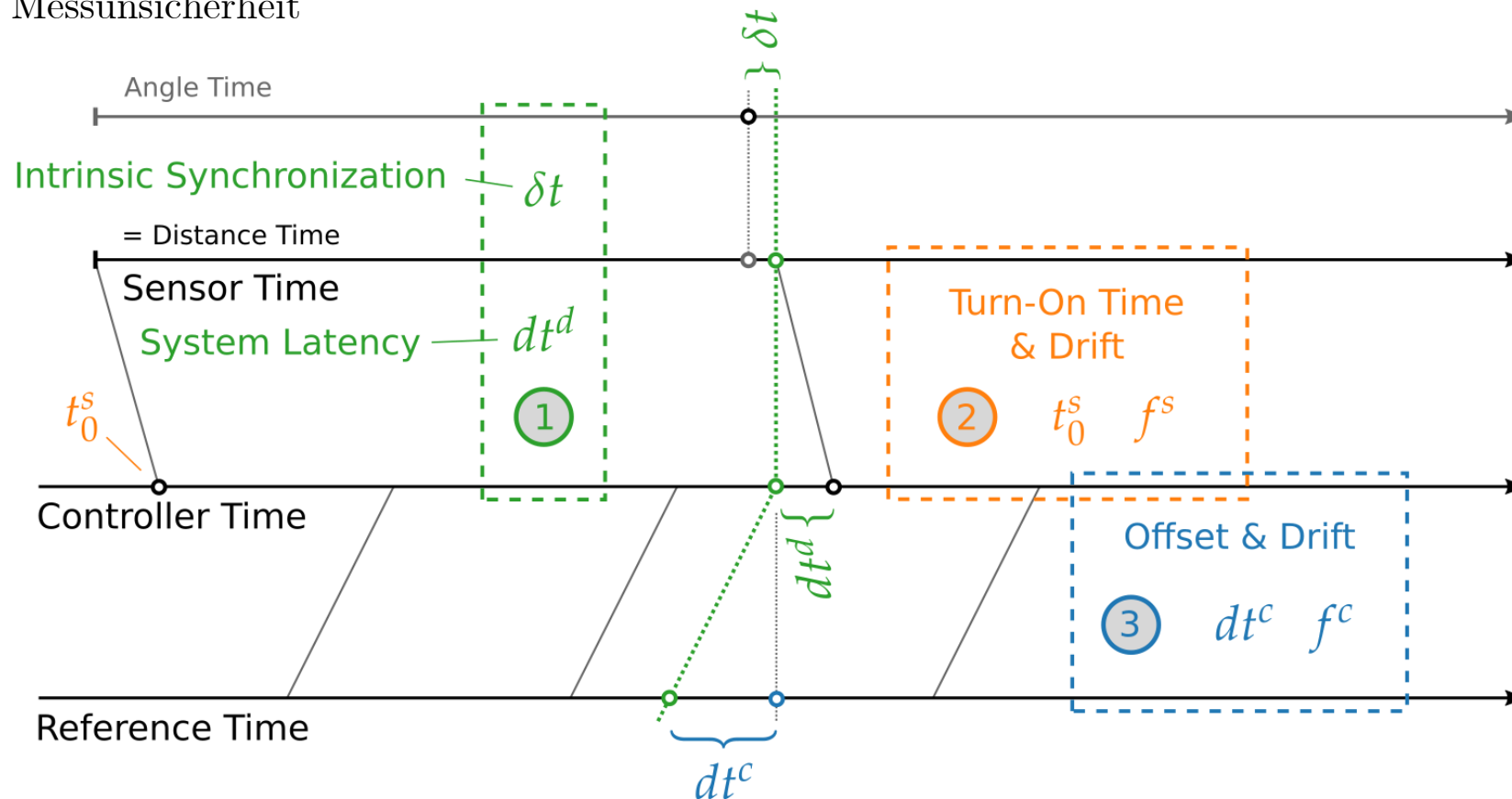
$10 \text{ m/s} - 100 \mu\text{s}$



$2.5 \text{ m/s} - 400 \mu\text{s}$

# Ansatz Synchronisation

- Synchronisation
  - Kalibrierung eines Sensors der die Zeit misst
  - Messunsicherheit



Zeitliche  
Kalibrierung

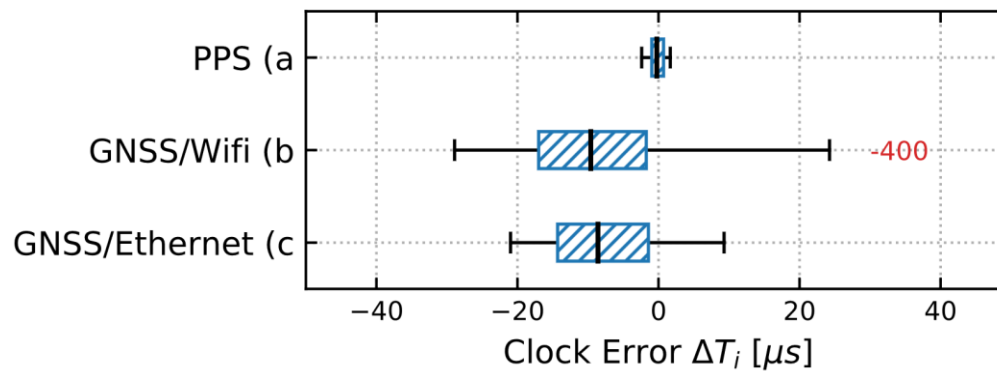
Sensorboard  
Synchronisation

Controller  
Synchronisation

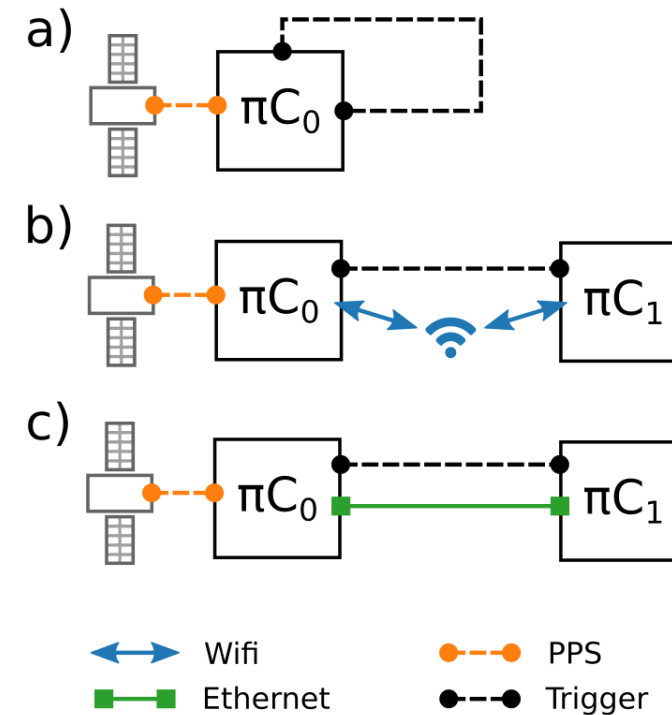
# Network Time Protocol Evaluierung Zeitdomäne

## Controller Synchronization

- Verschiedene Konfigurationen möglich
  - 72h Experiment



Setup	MAE [μs]	Sigma [μs]
a) GNSS/PPS	1.01	0.87
b) Wifi	406.92	24.01
c) Ethernet	10.44	7.20

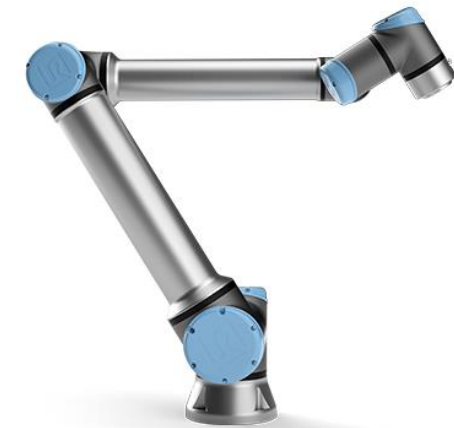
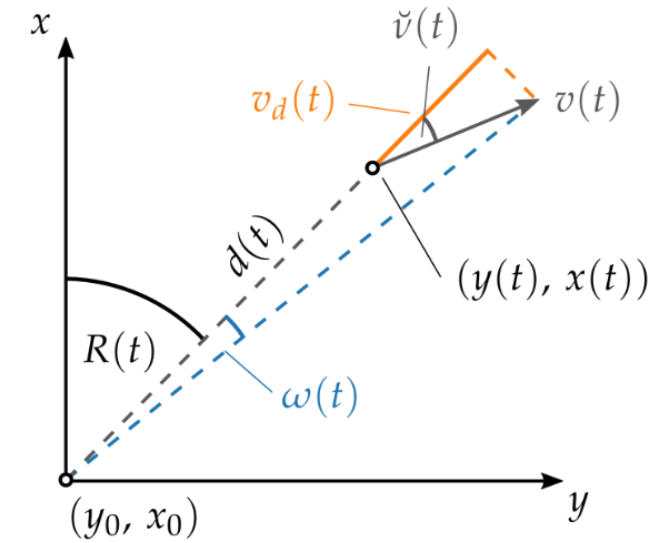


# Kinematisches Polarpunktmodell

- Kinematisches Polarpunktmodell
  - Stochastische Modellierung der Zeitmessung

$$\begin{aligned}
 x(t_j) &= x_0 + [D(t_d) + v_d(t_d) \delta t^d] \\
 &\quad \cos [R(t_a) + \omega(t_a) (\delta t^d + \delta t^a)] \\
 y(t_j) &= y_0 + [D(t_d) + v_d(t_d) \delta t^d] \\
 &\quad \sin [R(t_a) + \omega(t_a) (\delta t^d + \delta t^a)]
 \end{aligned}$$

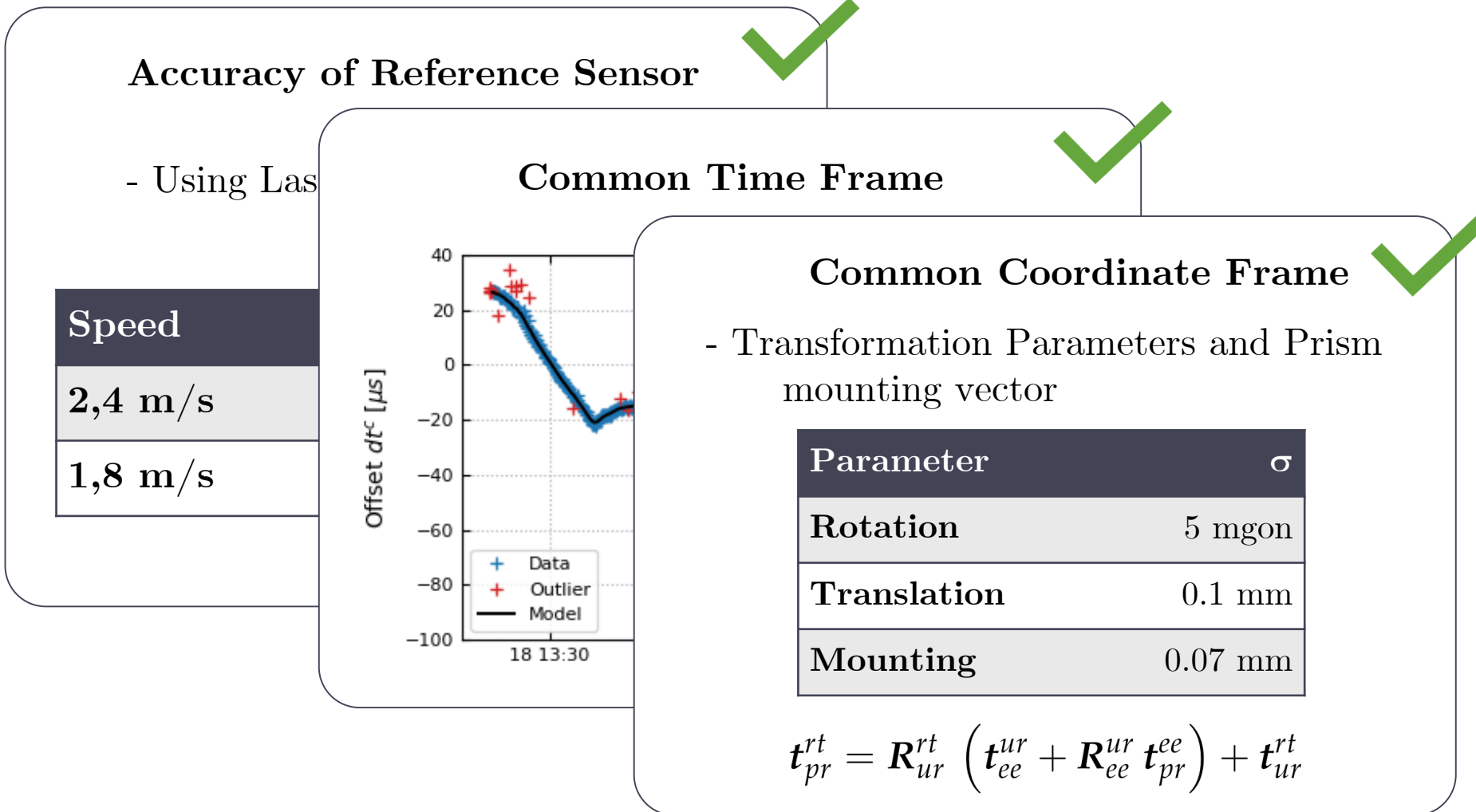
- Schätzung im Objektraum mit Hilfe eines Industrieroboters als Referenz





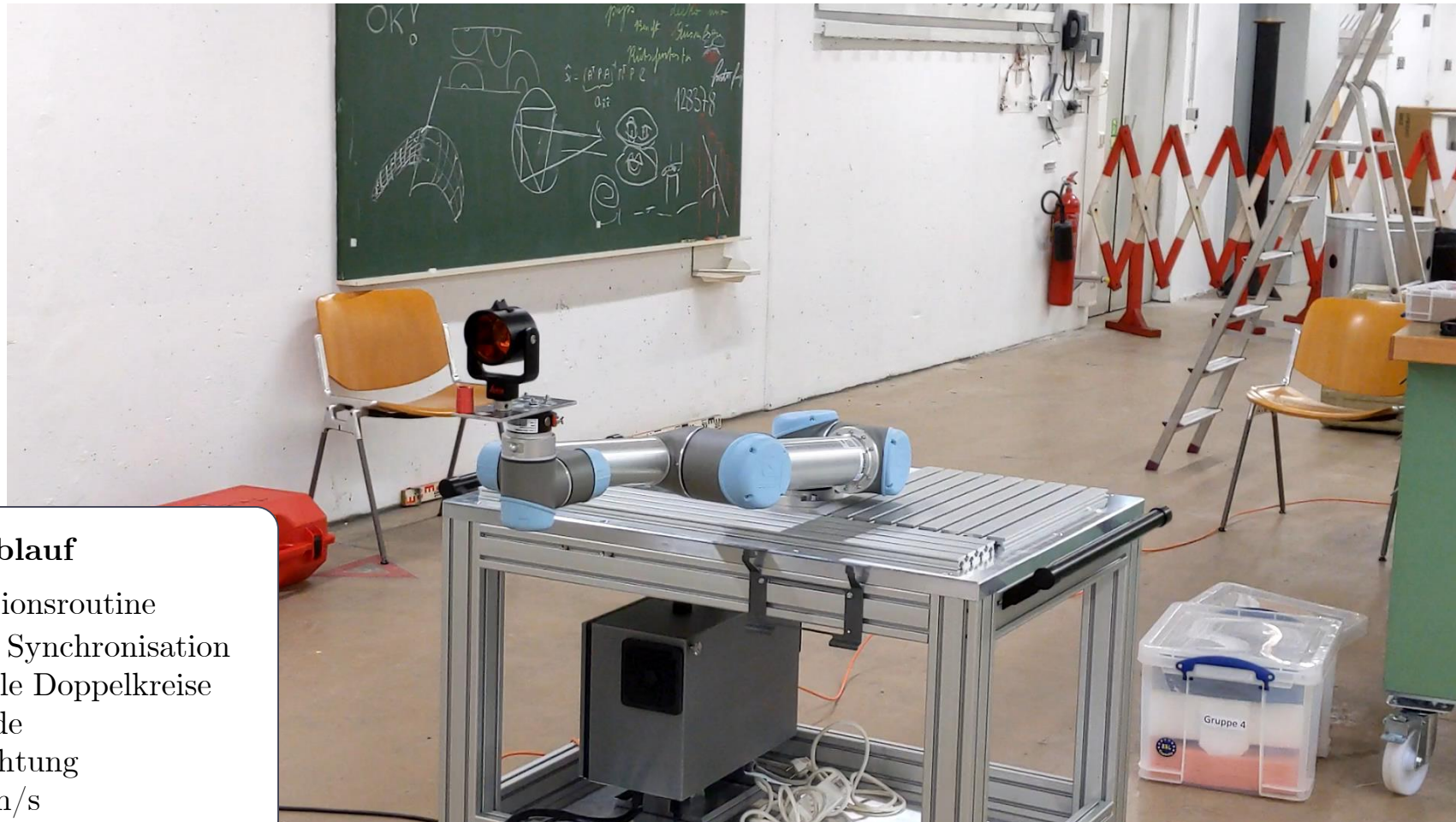
# Zeitliche Kalibrierung Voraussetzungen

## Temporal Calibration



# Zeitliche Kalibrierung Ablauf

## Temporal Calibration



### Ablauf

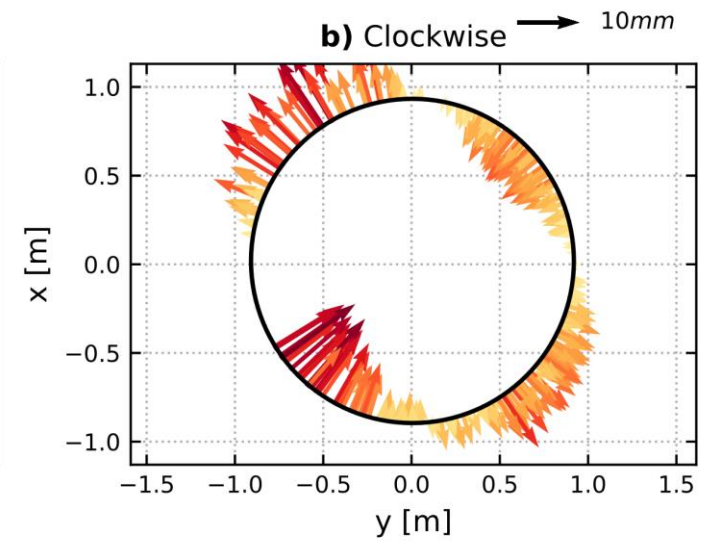
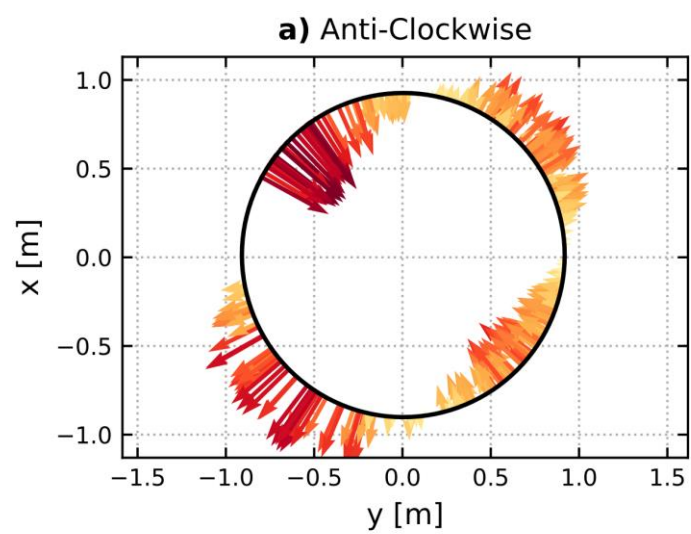
- Transformationsroutine
- Sensorboard Synchronisation
- 30 horizontale Doppelkreise
- Abwechselnde Rotationsrichtung mit ca. 2.5 m/s

# Zeitliche Kalibrierung Ergebnisse

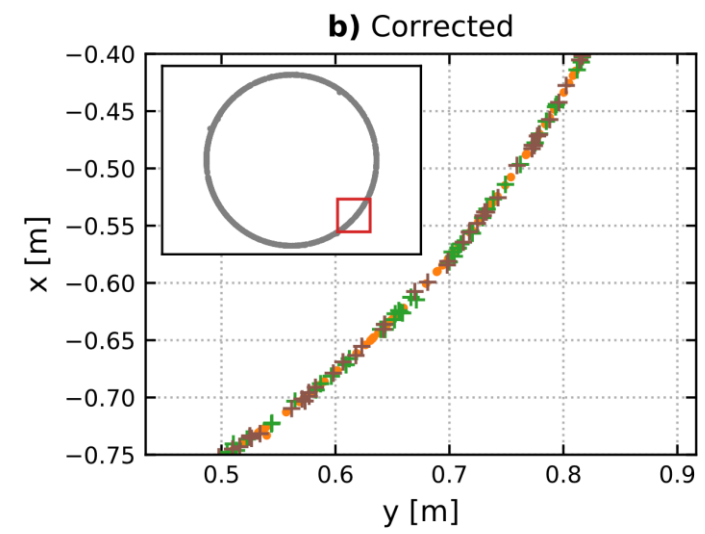
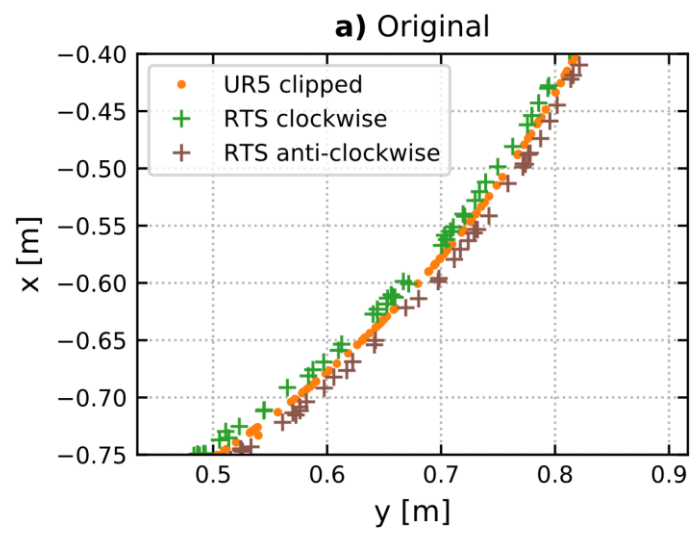
Instrument	Firmware	[ms]	$\sigma_{dt^d}$ [ms]	$\delta t$ [ms]	$\sigma_{\delta t}$ [ms]
<b>Leica TS16 “Luigi”</b>	3.10	67.397	0.082	4.123	0.084
<i>+2 days</i>		67.717	0.076	4.462	0.078
<i>+9 days</i>		68.031	0.060	4.203	0.064
<b>Leica TS16 “Gian”</b>	2.30	64.934	0.058	7.661	0.062
<i>+2 days</i>		65.769	0.098	7.118	0.101
<i>+9 days</i>		64.959	0.080	7.494	0.083

# Zeitliche Kalibrierung Intrinsische Synchronisation

Best Fit Circle



Correction & Comparison with Reference

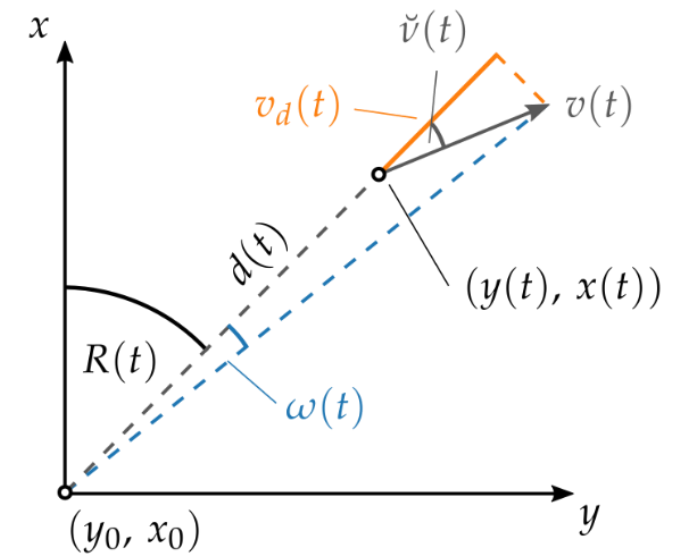
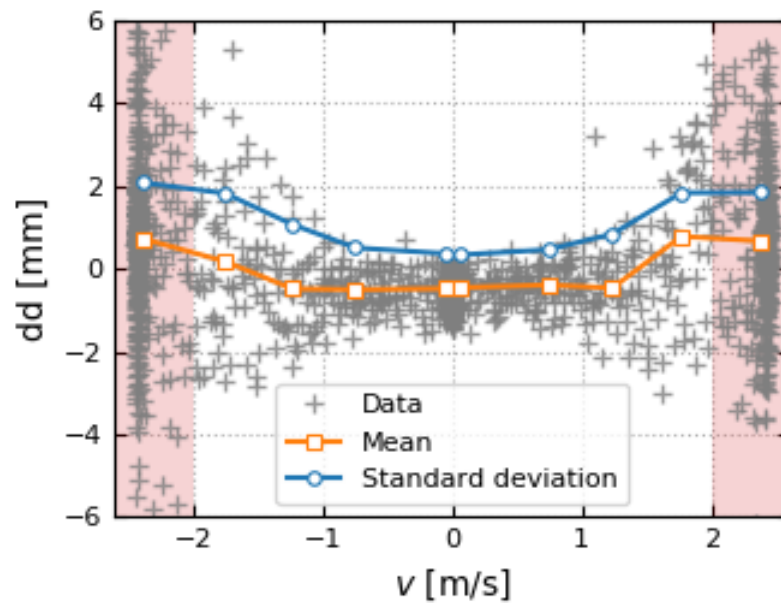
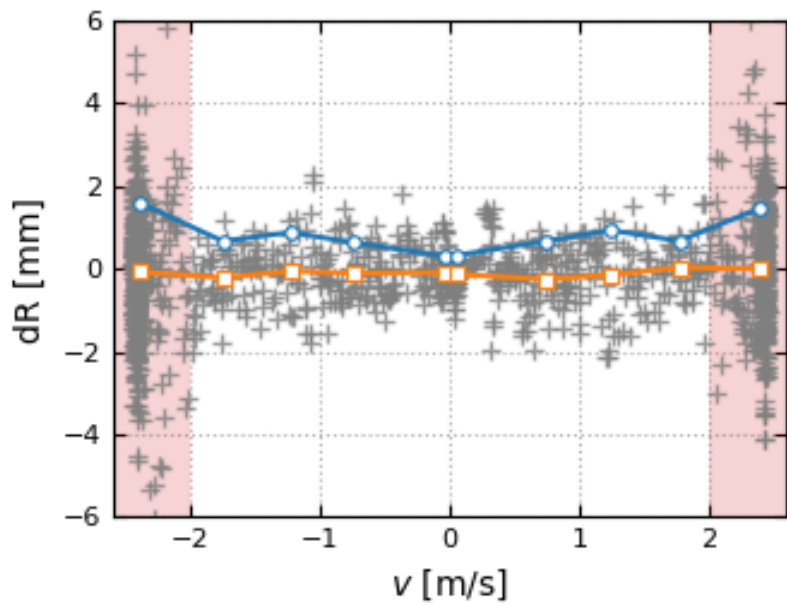


# Zeitliche Kalibrierung (Vorläufige) Ergebnisse II

Instrument	Firmware	[ms]	$\sigma_{dt^d}$ [ms]	$\delta t$ [ms]	$\sigma_{\delta t}$ [ms]
<b>Leica MS60 (L)</b>	<b>7.03</b>	46.784	0.05	-0.153	0.05
<i>12°C</i>	7.5	62.109	0.05	0.668	0.05
<i>40°C</i>	7.5	63.622	0.05	0.848	0.05
<i>(Labor)</i>	7.5	63.637	0.05	0.662	0.06

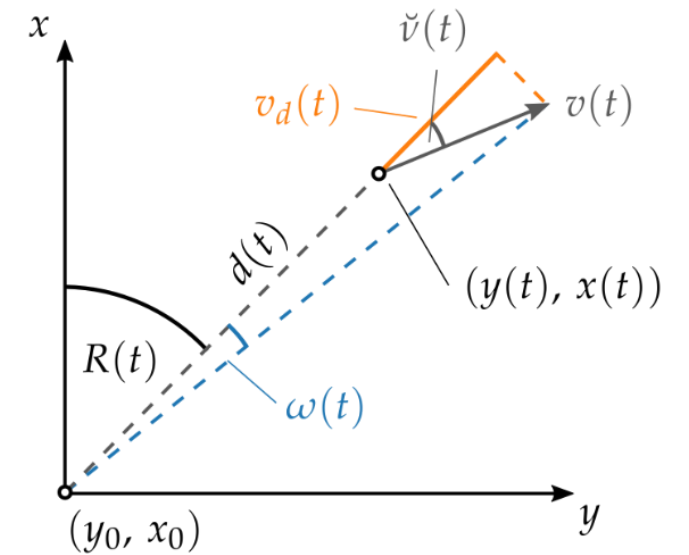
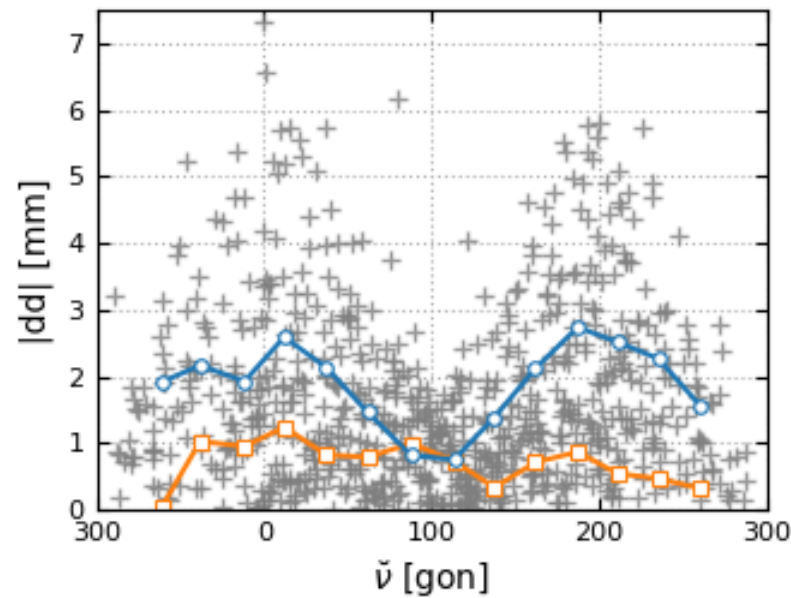
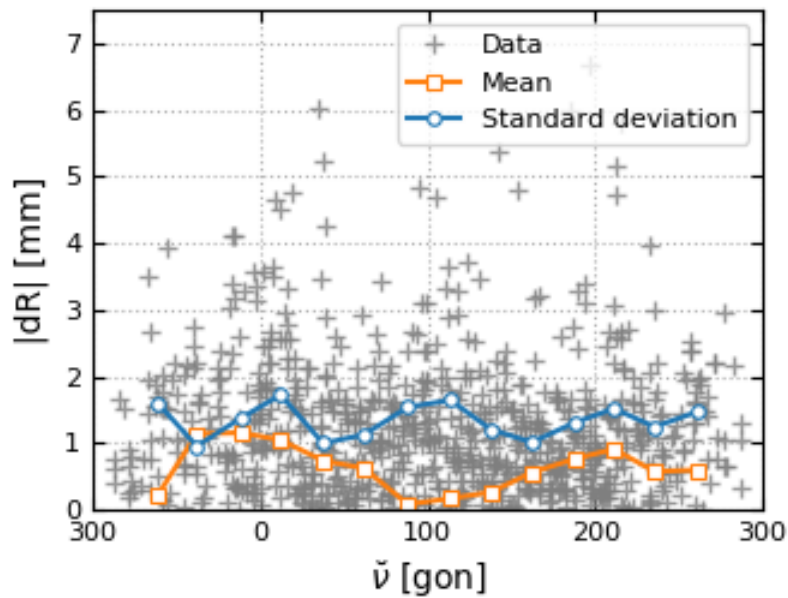
# Kinematische Stochastik (I)

- Abhängigkeit Geschwindigkeit
  - Beitrag der Messunsicherheit der Zeitmessung

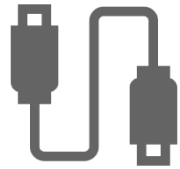


# Kinematische Stochastik (II)

- Abhängigkeit Bewegungsrichtung
- Klassisches Modell zur Messunsicherheit nicht repräsentativ



# Zusammenfassung



Proof of Concept einer  
drahtlosen  
Synchronisation über NTP



Kinematisches  
Polarpunktmodell und  
Zeitliche Kalibrierung von  
RTS



Synchronisation  
unabhängig von  
Messdaten oder Manöver



# Ausblick

&

# Vision

- Verbesserung des kinematischen stochastischen Modells
  - Modellierung und höhere Geschwindigkeiten
- 360° Prisma Untersuchungen & Korrektur

- Trigger Input und Output von RTS zur Synchronisation
- Geschwindigkeitsableitung aus EDM
- Ausgabe Winkelgeschwindigkeit
- 6DoF Posenschätzung mit IMU und...

# Veröffentlichungen

- Thalmann, T., & Neuner, H. (2016). In-Field Calibrated Odometry for Skid-Steered Mobile Robots. *Proceedings of 5th International Conference on Machine Control & Guidance*.
- Thalmann, T. (2017). Kalibrierung von fahrbaren Robotern als Multi-Sensor-Systeme. In *Leica Tour 2017*.
- Thalmann, T., & Neuner, H. (2018). Tri-Axial Accelerometer Calibration for Leveling. In *GeoPreVi 2018 - Geodesy for Smart Cities* (Vol. 9, pp. 29–36).
- Thalmann, T., & Neuner, H. (2018). Evaluation of the Network Time Protocol for Synchronization of Multi-Sensor-Systems. *Avn - Allgemeine Vermessungsnachrichten*, 125(6), 163–174.
- **Thalmann, T., & Neuner, H. (2021). Temporal Calibration and Synchronization of Robotic Total Stations for Kinematic Multi-Sensor-Systems. *Journal of Applied Geodesy*, Vol. 15(1), 13-30**



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
WIEN  
Vienna | Austria

# Vielen Dank

Tomas Thalmann

[tomas.thalmann@tuwien.ac.at](mailto:tomas.thalmann@tuwien.ac.at) | [tomas@vermessung-thalmann.at](mailto:tomas@vermessung-thalmann.at)

Forschungsgruppe Ingenieurgeodäsie, TU Wien

13. Geomessdiskurs | DVW Seminar | Jena | 29.06.2023