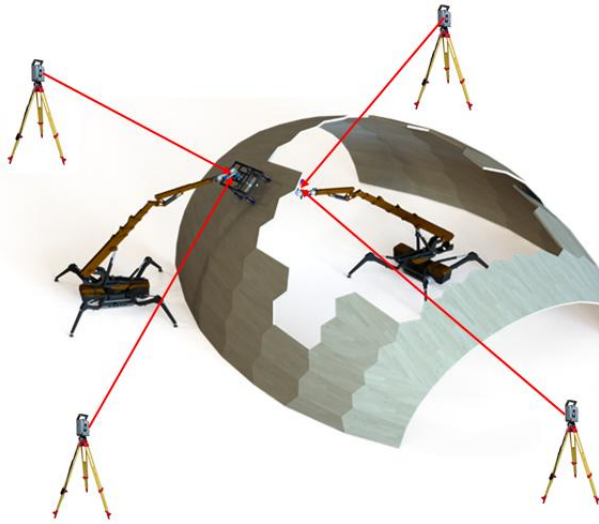




Universität Stuttgart
Institut für Ingenieurgeodäsie



Echtzeittachymeternetz zur Robotersteuerung

Sahar Abolhasani, Volker Schwieger, Li Zhang, Otto Lerke
29.06.2023, Jena

13. Jenaer GeoMessdiskurs 2023

Echtzeittachymeternetz zur Robotersteuerung

- **Überblick und Motivation**
 - Herausforderungen im Baugewerbe
 - Digitale Technologien
 - IntCDC (Integratives Computerbasiertes Planen und Bauen für die Architektur)
- **Positionsbestimmung zur Regelung von Robotern und Manipulatoren**
 - Positionsbestimmung im Bereich automatisierter Konstruktion
 - RTS zur Robotersteuerung
 - Echtzeittachymeternetz zur lückenlosen Posenbestimmung
- **Echtzeittachymeternetz Realisierung**
 - Realisierung (ein Roboter)
 - Simulierte Ergebnisse
 - Reale Ergebnisse
 - Realisierung (zwei Roboter)
- **Demonstratoren von Echtzeittachymeternetzen im Rahmen von IntCDC**
 - Anheben und Platzieren von Bauelementen
 - Robotische Montage eines Holzpavillons



Große Herausforderung

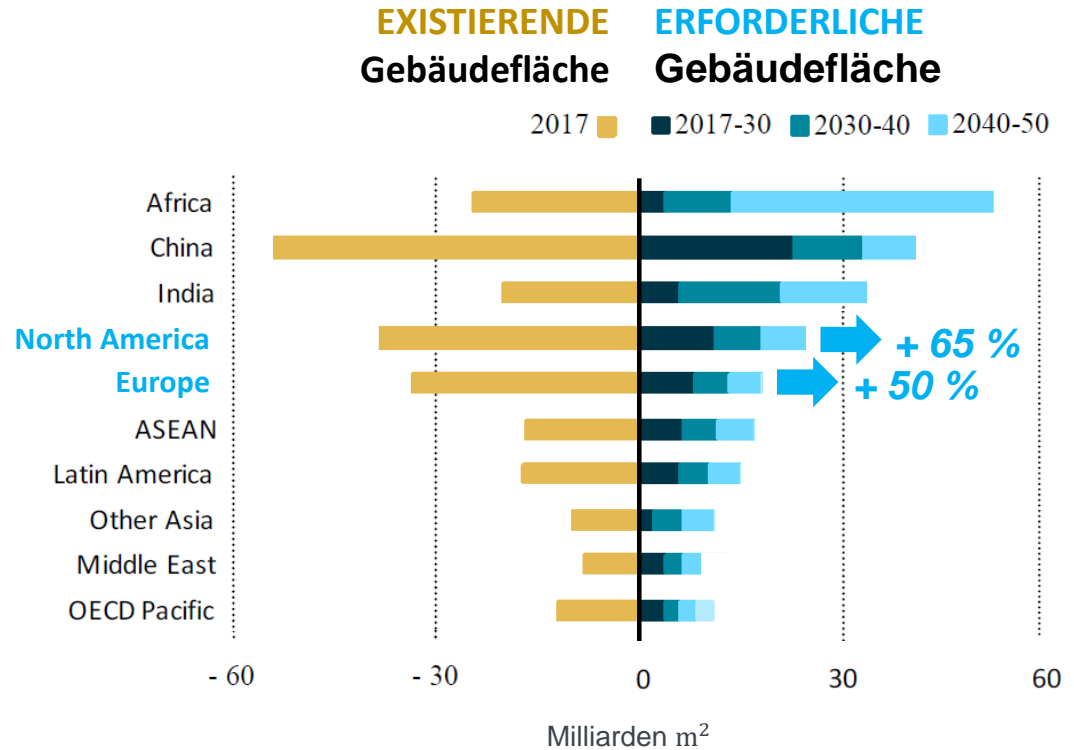
Städtisches Bevölkerungswachstum:

2,6 Milliarden Menschen bis 2050

Überblick und Motivation

Herausforderungen

- Städtische Bevölkerung wächst
2,6 Milliarden Menschen bis 2050
- Gebäudefläche muss fast verdoppelt werden
- Benötigte Gebäudefläche:
65.000 m² / h für 3 Jahrzehnte
- Hohe Zunahme:
auch in **Europa und Nordamerika**



(SOURCE: UNITED NATIONS ENVIRONMENT – GLOBAL STATUS REPORT 2017)

Überblick und Motivation

Herausforderungen

Ökologische Aspekte:

- **Größte Auswirkungen: Der Bausektor verursacht**
 - 40% des weltweiten Ressourcenverbrauchs
 - 40 % des Energieverbrauchs
 - 50% des weltweiten Abfallaufkommens

Ökonomische Relevanz:

- **Größte Branche: weltweit und in Deutschland**
- **Aussicht auf enormes zukünftiges Wachstum**

Soziokulturelle Bedeutung:

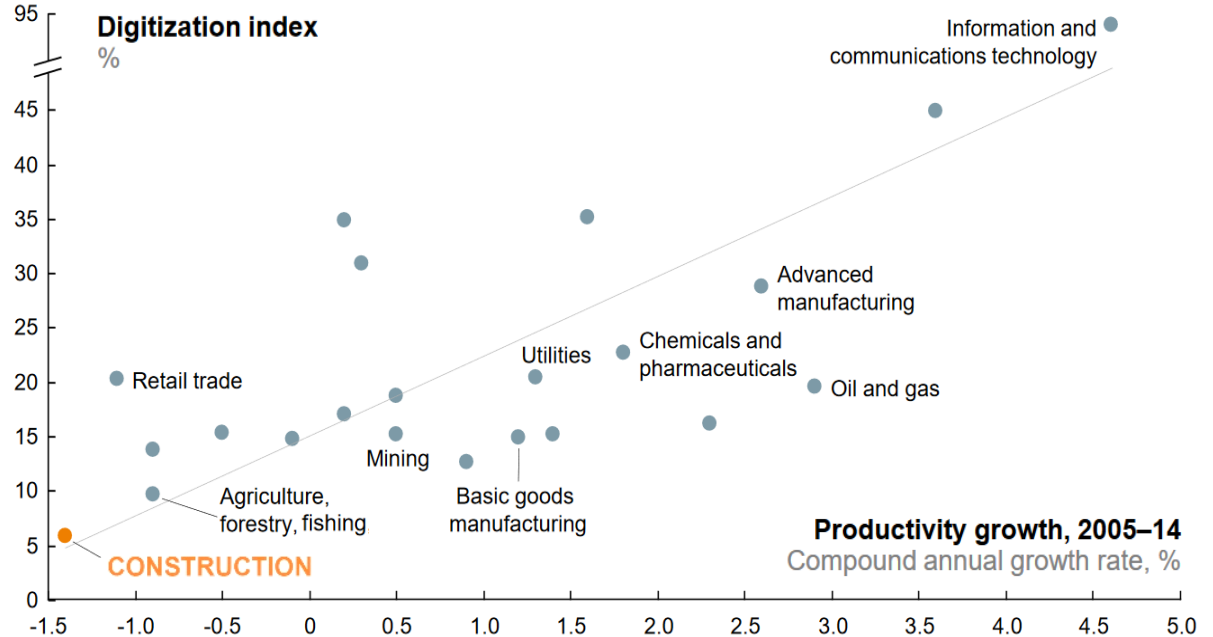
- **Der Mensch verbringt 87 % seiner Lebenszeit in Gebäuden**
- **Direkte und dauerhafte Auswirkungen auf die Lebensqualität**
- **Wichtiger kultureller Beitrag**



Überblick und Motivation

Digitale Technologien:

- Die Einführung erfolgt langsam und schrittweise
- Geringste Digitalisierung im Baugewerbe im Vergleich zu allen anderen Branchen



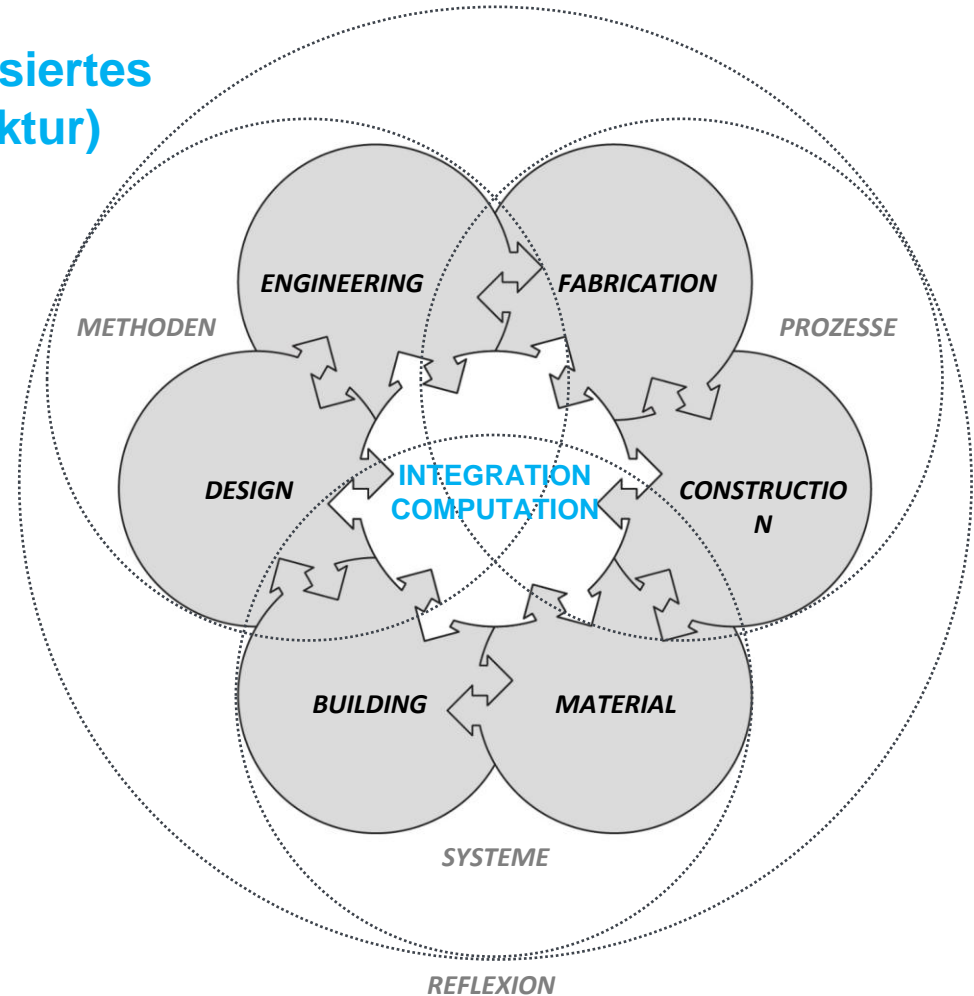
(SOURCE: BEA; BLS; US CENSUS; IDC; GARTNER; MCKINSEY)

Überblick und Motivation

IntCDC (Integratives Computerbasiertes Planen und Bauen für die Architektur)

➡ Ausschöpfung des Potenzials der digitalen Technologien für innovative Entwicklungen

- **Computergestützte Entwurfs- und Konstruktionsmethoden:**
>> **INTEGRATION**
ERMÖGLICHEN
- **Cyber-physikalische robotische Herstellungs- und Konstruktionsprozesse:**
>> **VERBESSERUNG DER**
PRODUKTIVITÄT
- **Effiziente, digitale Material- und Gebäudesysteme:**
>> **VERBESSERUNG DER**
NACHHALTIGKEIT
- **ÖKOLOGISCHE, SOZIOKULTURELLE UND ETHISCHE REFLEXION**

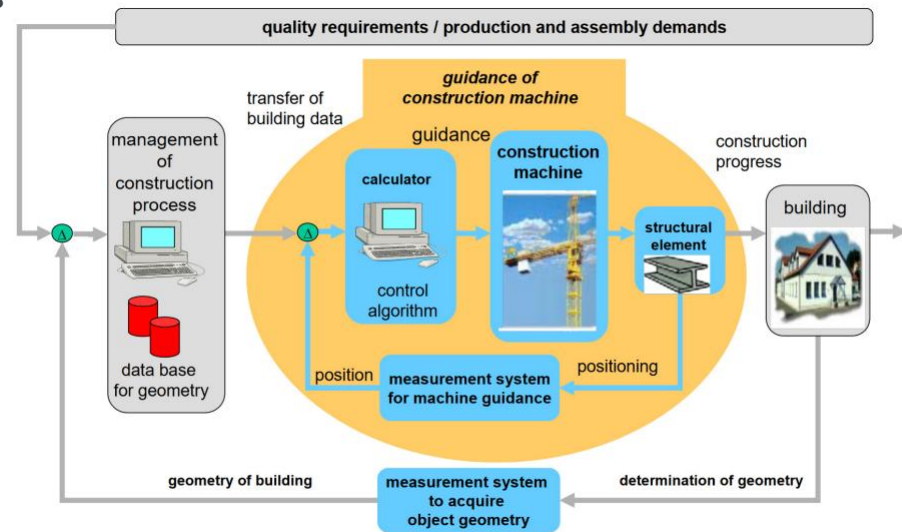


Posenbestimmung zur Regelung von Robotern und Manipulatoren

Posenbestimmung in automatisierter Konstruktion

Posenbestimmung ist das zentrale Element der Regelkreise in der robotischen Konstruktion :

- Lokalisierung und Steuerung des Roboters
- Aufgabenplanung
- Kollisionsvermeidung



Schwieger, V., Menges, A., Zhang, L., Schein, T.,(2019): Engineering Geodesy for Integrative Computational Design and Construction. zfv; 4/2019. doi.org/10.12902/zfv-0272-2019.

Posenbestimmung zur Regelung von Robotern und Manipulatoren

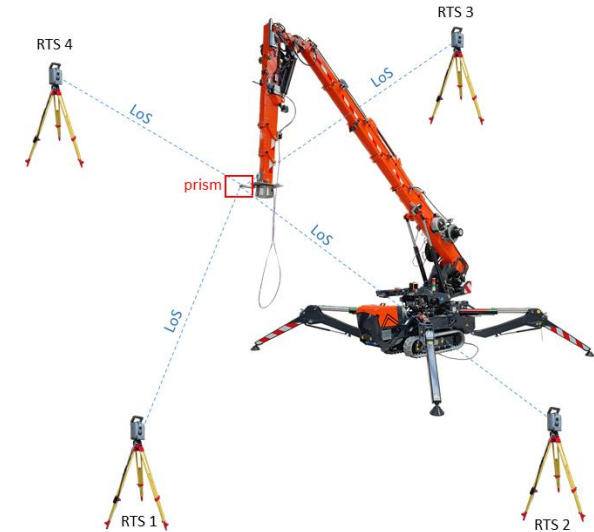
RTS zur Robotorsteuerung

- **Vorteile des RTS bei der Kranregelung**

- Absolute statt relative Positionsbestimmung
- Hohe 3D Genauigkeit: < 3 mm
- Echtzeit-Fähigkeit
- In-door und out-door einsetzbar (seamless positioning)

- **Nachteile des RTS bei der Kranregelung**

- Unterbrechung der Sichtverbindung (LoS = Line of Sight) zwischen RTS und Ziel in dynamischer Bauumgebung



Positionsbestimmung zur Regelung von Robotern und Manipulatoren

Echtzeitchymeternetz zur lückenlosen Posenbestimmung

• Vorteile

- LoS-Verlust einzelner RTS kann durch Netz aufgefangen werden
- Messung von zwei Prismen erlaubt die Bestimmung zweier Orientierungswinkel zusätzlich zur Position

• Zwei Ansätze zur Posenbestimmung (ein Roboter)

- **A:** 4 RTSs – 1 Prisma:
 - 1 Prisma zur Positionsbestimmung, IMU zur Orientierung
- **B:** 4 RTSs – 2 Prismen:
 - 1 Prisma zur Positionsbestimmung,
 - 1 Prisma zur Bestimmung von zwei Orientierungswinkeln,
 - IMU nur für den dritten Orientierungswinkel

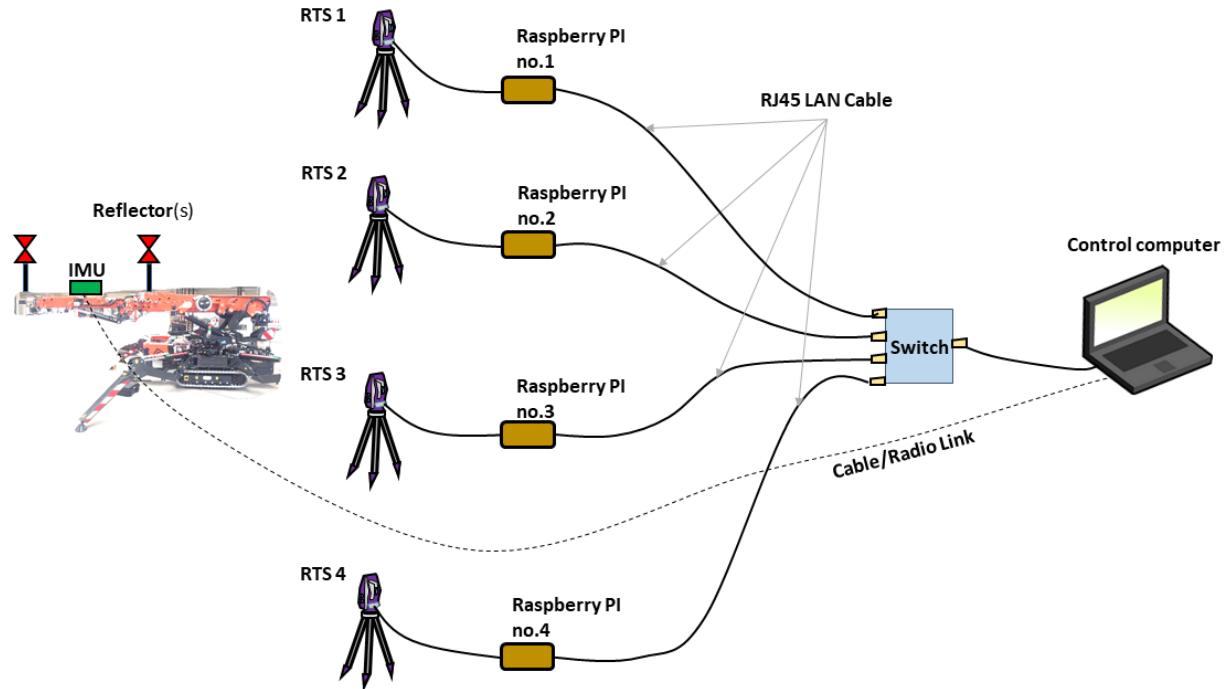
• ein Ansatz zur Posenbestimmung (zwei Roboter)

- 2 RTSs – 1 Prisma zur Positionsbestimmung, IMU zur Orientierung
- 2 RTSs – 1 Prisma zur Positionsbestimmung, IMU zur Orientierung



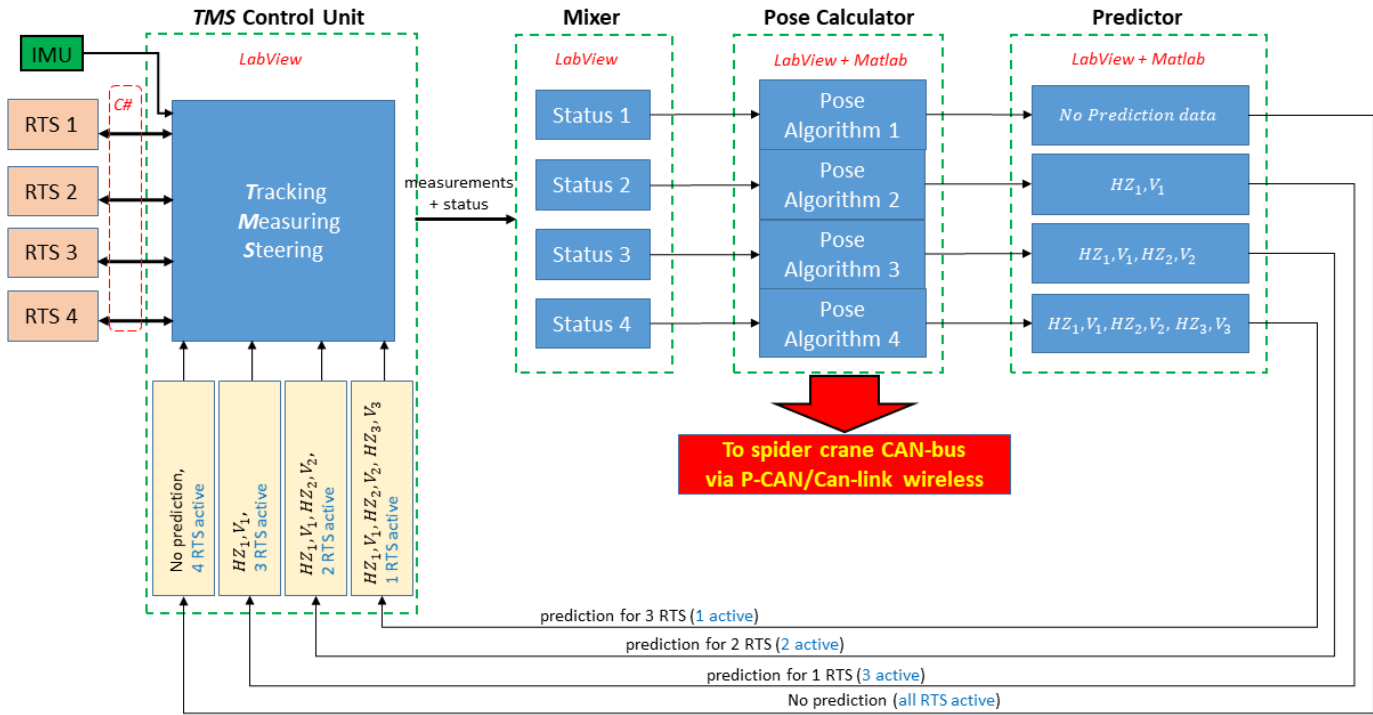
Echtzeitchymeternetz Realisierung

Hardware Konfiguration (ein Roboter)



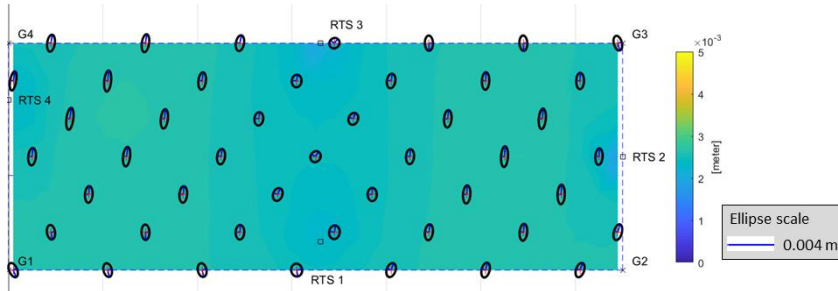
Echtzeitchymeternetz Realisierung

Software Konfiguration (ein Roboter)

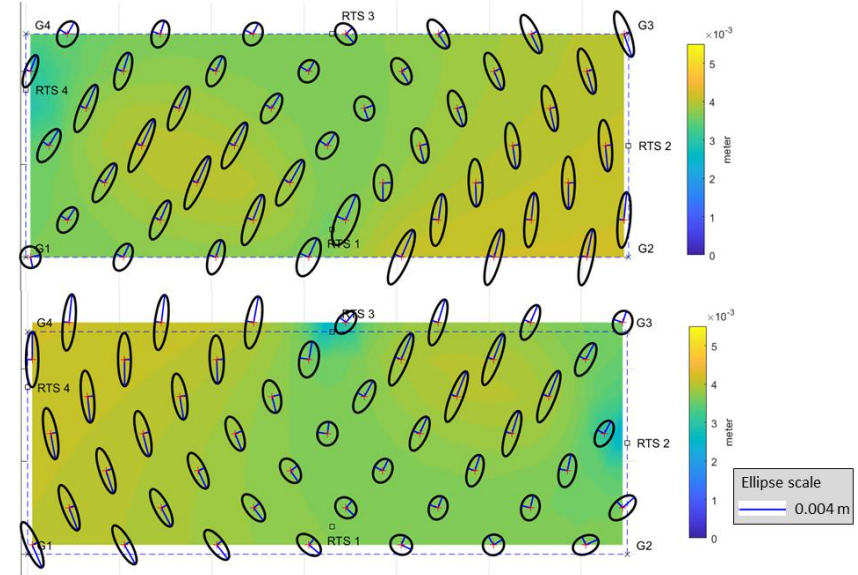


Echtzeitchymeternetz Realisierung

Exemplarisch simulierte 2D-Genauigkeiten



A: Konfidenzellipsen und zonale Genauigkeitsdarstellung



B: Konfidenzellipsen und zonale Genauigkeitsdarstellung; oben - RTS Kombination 1/4 (Prisma 1); unten - RTS Kombination 2/3 (Prisma 2).

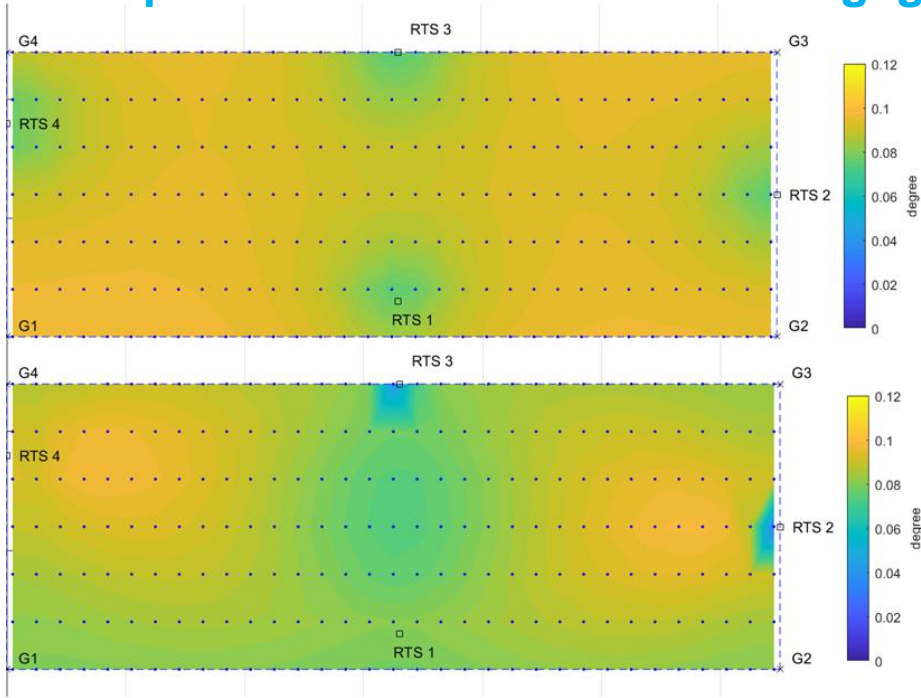
Einheit [m]	Konfiguration A			Konfiguration B					
				RTS Kombination 1/(4)			RTS Kombination 2/3		
	σ_{yz}^{min}	σ_{yz}^{max}	σ_{yz}^{avg}	σ_{yz}^{min}	σ_{yz}^{max}	σ_{yz}^{avg}	σ_{yz}^{min}	σ_{yz}^{max}	σ_{yz}^{avg}
Normalfall	0.0018	0.0027	0.0025	0.0029	0.0041	0.0038	0.0023	0.0041	0.0038

Normalfall = kein LoS-Ausfall

Lerke, O., Schwieger, V. (2021): Analysis of a kinematic real-time robotic total station network for robot control. Journal of Applied Geodesy 2021; 15(3). doi.org/10.1515/jag-2021-0016.

Echtzeittachymeternetz Realisierung

Exemplarisch simulierte Orientierungsgenauigkeiten



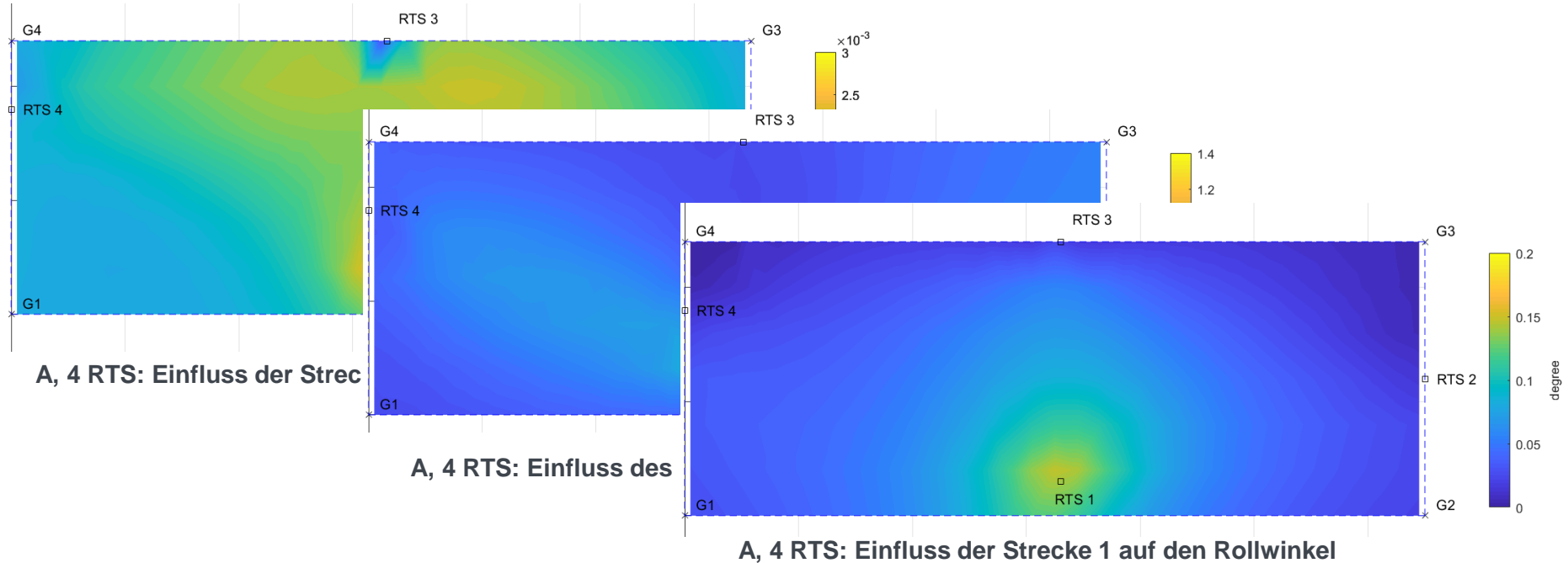
Einheit [°]	σ_{ϕ}^{min}	σ_{ϕ}^{max}	σ_{ϕ}^{avg}	σ_{ψ}^{min}	σ_{ψ}^{max}	σ_{ψ}^{avg}
Normalfall RTS Kombinationen 1/4 + 2/3	0.082	0.108	0.102	0.034	0.109	0.095

B: zonale Genauigkeitsdarstellung der Orientierungswinkel; oben – Rollwinkel, unten – Gierwinkel

Lerke, O., Schwieger, V. (2021): Analysis of a kinematic real-time robotic total station network for robot control. Journal of Applied Geodesy 2021; 15(3). doi.org/10.1515/jag-2021-0016.

Echtzeitchymeternetz Realisierung

Exemplarisch simulierter minimal detektierbarer Beobachtungsfehler auf die Koordinaten / Orientierungswinkel



Lerke, O., Schwiager, V. (2021): Analysis of a kinematic real-time robotic total station network for robot control. Journal of Applied Geodesy 2021; 15(3). doi.org/10.1515/jag-2021-0016.

Echtzeitchymeternetz Realisierung

Posengenaugigkeit (reale statische Messungen)

Konfiguration A: 4 RTSs – 1 Prisma + IMU für Orientierungswinkel

- ~ 2,1 mm 4 RTS
- ~ 2,6 mm 3 RTS
- ~ 3,0 mm 2 RTS
- ~ 3,1 mm 1 RTS
- IMU: 0.05° Pitch und Roll, 0.8° Gear/Yaw (laut Datenblatt)

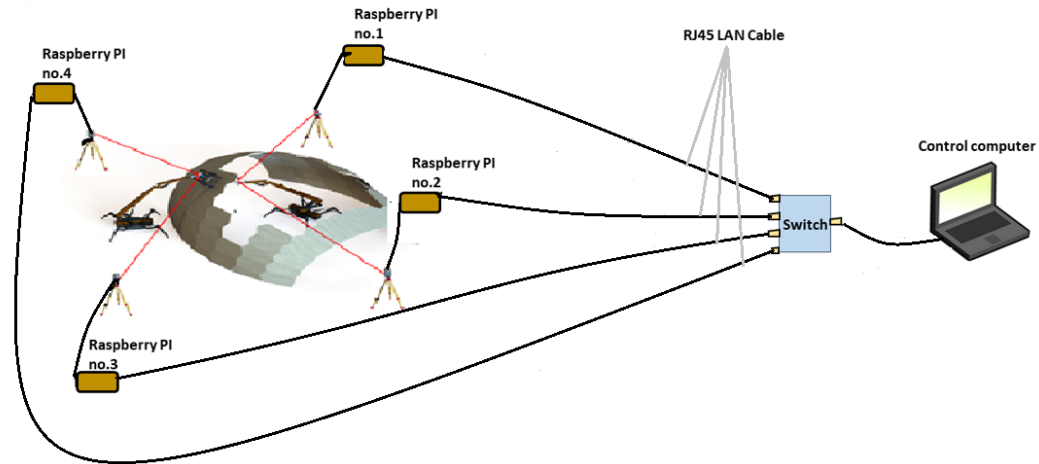
Konfiguration B: 4 RTSs – 2 Prismen, Position und 2 Orientierungswinkel

- ~ 2,2 mm 2 RTS pro Prisma
- ~ 3,3 mm 1 RTS pro Prisma
- ~ 0,03° - 0,1° Pitch und Gear/Yaw (abhängig von Messgeometrie)
- IMU: 0,05° Roll (laut Datenblatt)

Realmessungen bestätigen Simulation!

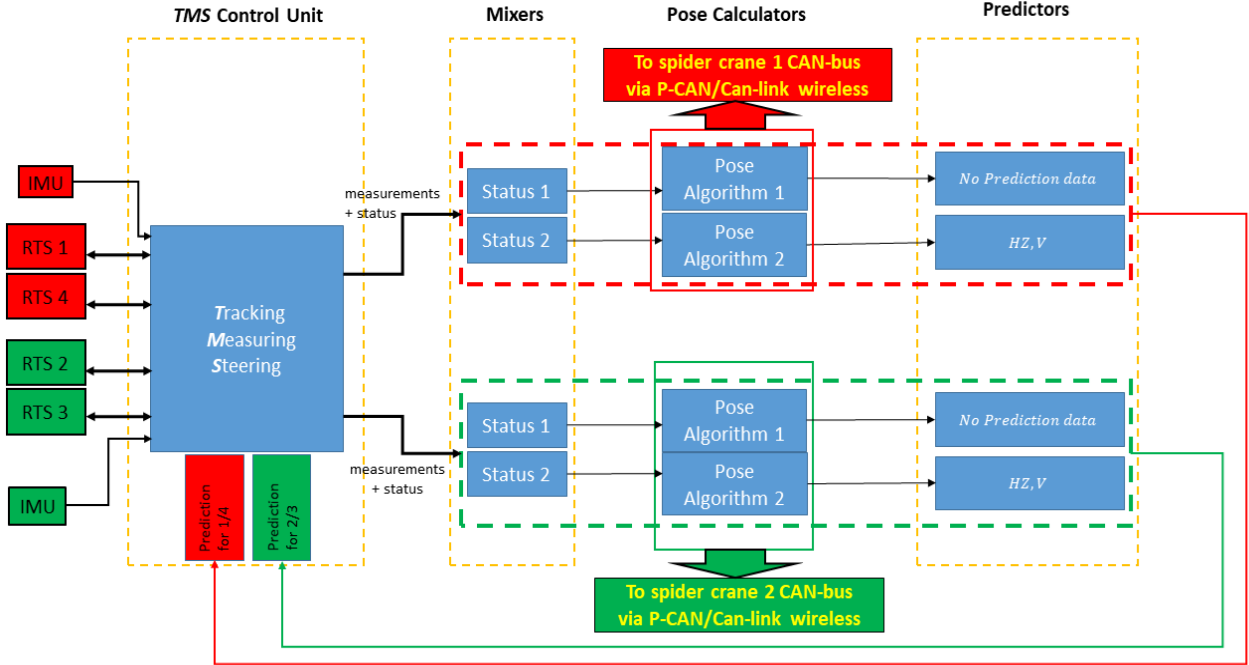
Echtzeittachymeternetz Realisierung (zwei Roboter)

Hardware Konfiguration



Echtzeittachymeternetz Realisierung (zwei Roboter)

Software Konfiguration

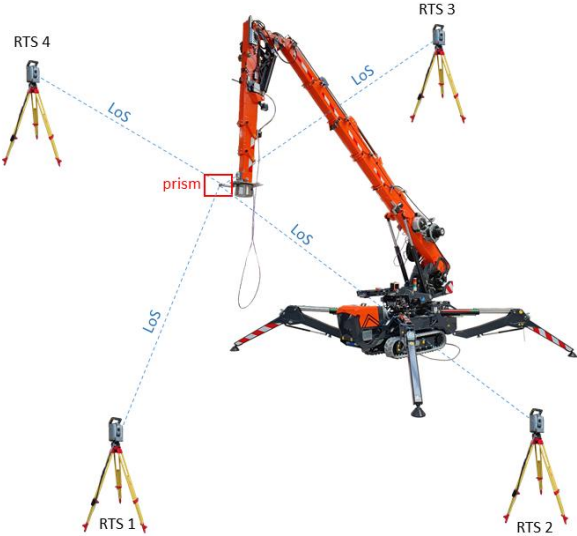


Echtzeitchymeternetz Demonstratoren im Rahmen von IntCDC

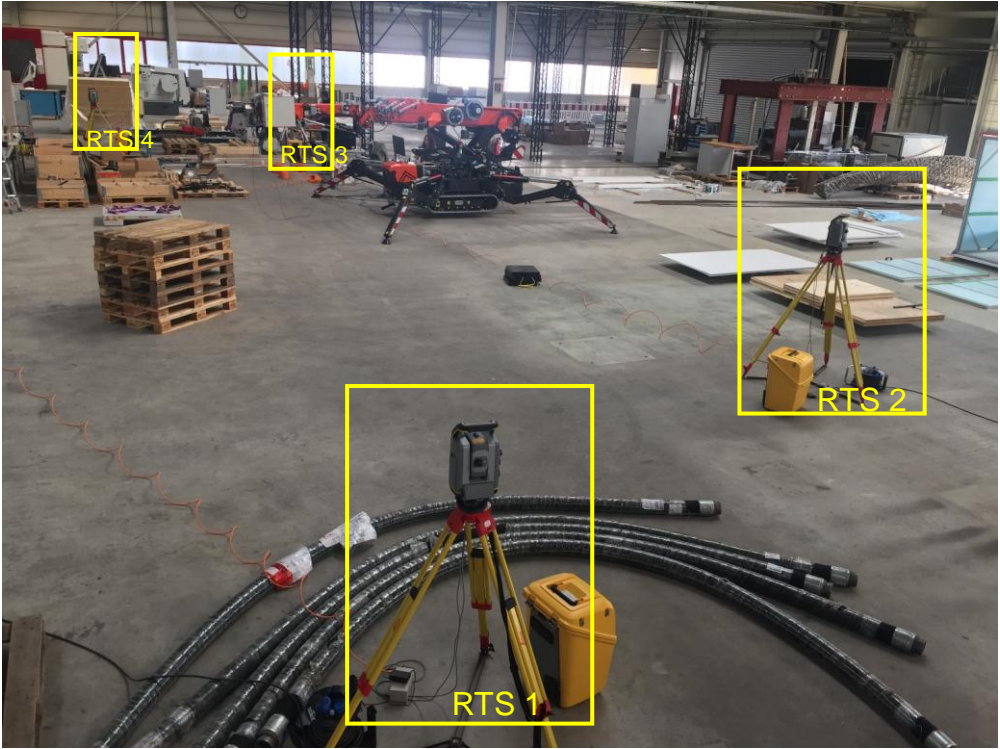
Anheben und Platzieren von Bauelementen

Integration der TRS-N Daten in den Regelkreis zur Spinnenkransteuerung

Feedback der absoluten RTS-N Position



Messkonfiguration



Echtzeitchymeternetz Demonstratoren im Rahmen von IntCDC

Robotische Montage eines Holzpavillons



Photo: ICD / ITKE / IntCDC

Echtzeitchymeternetz Demonstratoren im Rahmen von IntCDC

Robotische Montage eines Holzpavillons

livMatS Biomimetic Shell @ FIT in Freiburg

- Erste bekannte praktische Umsetzung der automatisierten on-site Montage eines Holzbauwerks
- Entwicklung zweier robotischer Plattformen mit Endeffektoren
- Plattform / Kran A nimmt die Kassetten auf und platziert sie dem Plan entsprechend
- Plattform / Kran B schraubt die Kassetten fest



Dieser Teil
wurde
automatisch
montiert



Echtzeittachymeternetz Demonstratoren im Rahmen von IntCDC

Robotische Montage eines Holzpavillons

Posenbestimmung durch Echtzeit-Tachymeter-Netz für beide Plattformen / Roboter

Auf der Baustelle; Kasette 75 (15. November, 2022)



Kran / Roboter A



Kran / Roboter B



Universität Stuttgart
Institut für Ingenieurgeodäsie

Vielen Dank!

M. Sc. Sahar Abolhasani

E-Mail Sahar.Abolhasani@iigs.uni-stuttgart.de

Telefon +49 (0) 711 685-8404165

[www. iigs.uni-stuttgart.de](http://www.iigs.uni-stuttgart.de)

Universität Stuttgart
Institut für Ingenieurgeodäsie

Geschwister-Scholl-Str. 24D, 70174 Stuttgart