Zürcher Hochschule
für Angewandte Wissenschaften
School of Engineering
ISC Institute of Signal Processing
and Wireless Communications

Verbesserte Lokalisierungsgenauigkeit mit kostengünstigen Multi-Band und RTK GNSS-Empfängern

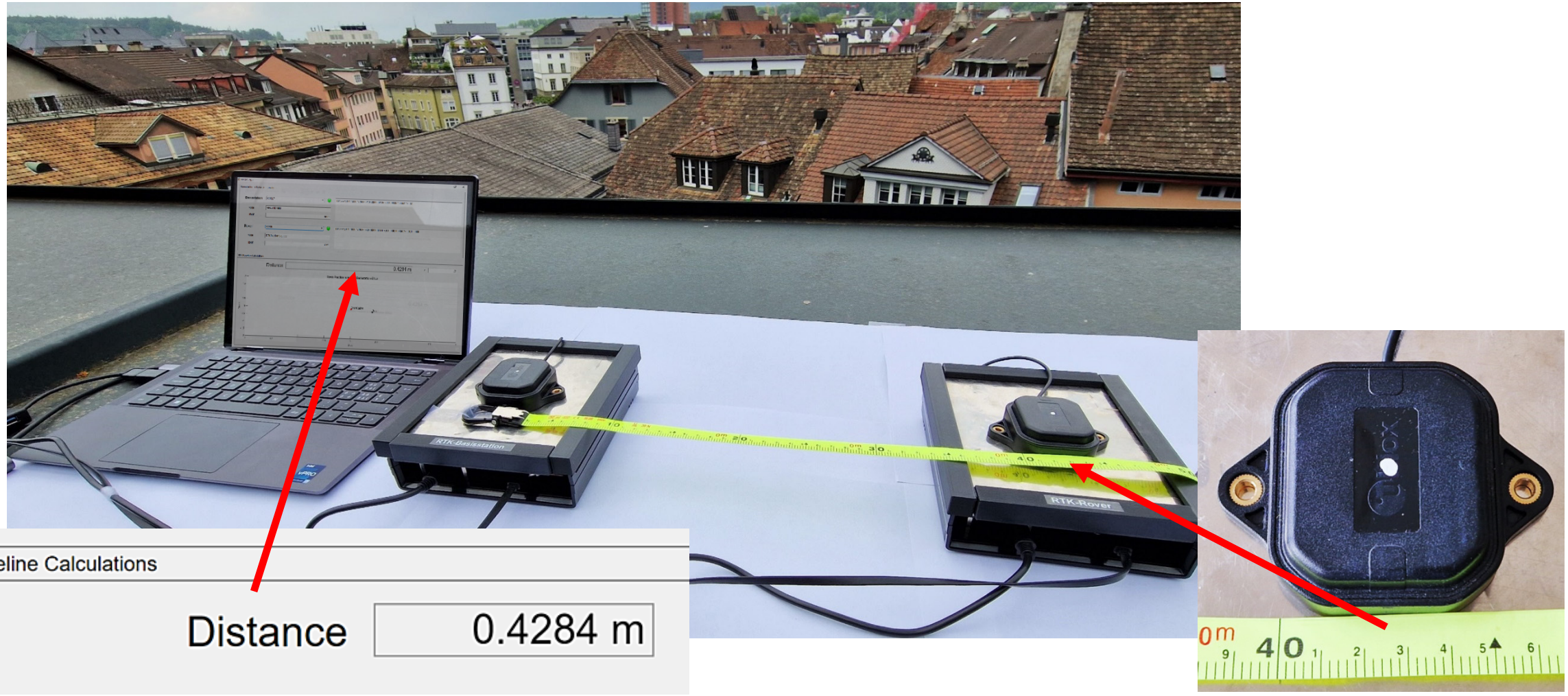
Embedded Computing Conference 2023

Luciano Sarperi, 06.06.2023

Institute of Signal Processing and Wireless Communications (ISC), ZHAW

cm-genaue Positionsbestimmung und Distanzmessung mit Real-Time Kinematics (RTK)

Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften
School of Engineering
ISC Institute of Signal Processing and Wireless Communications



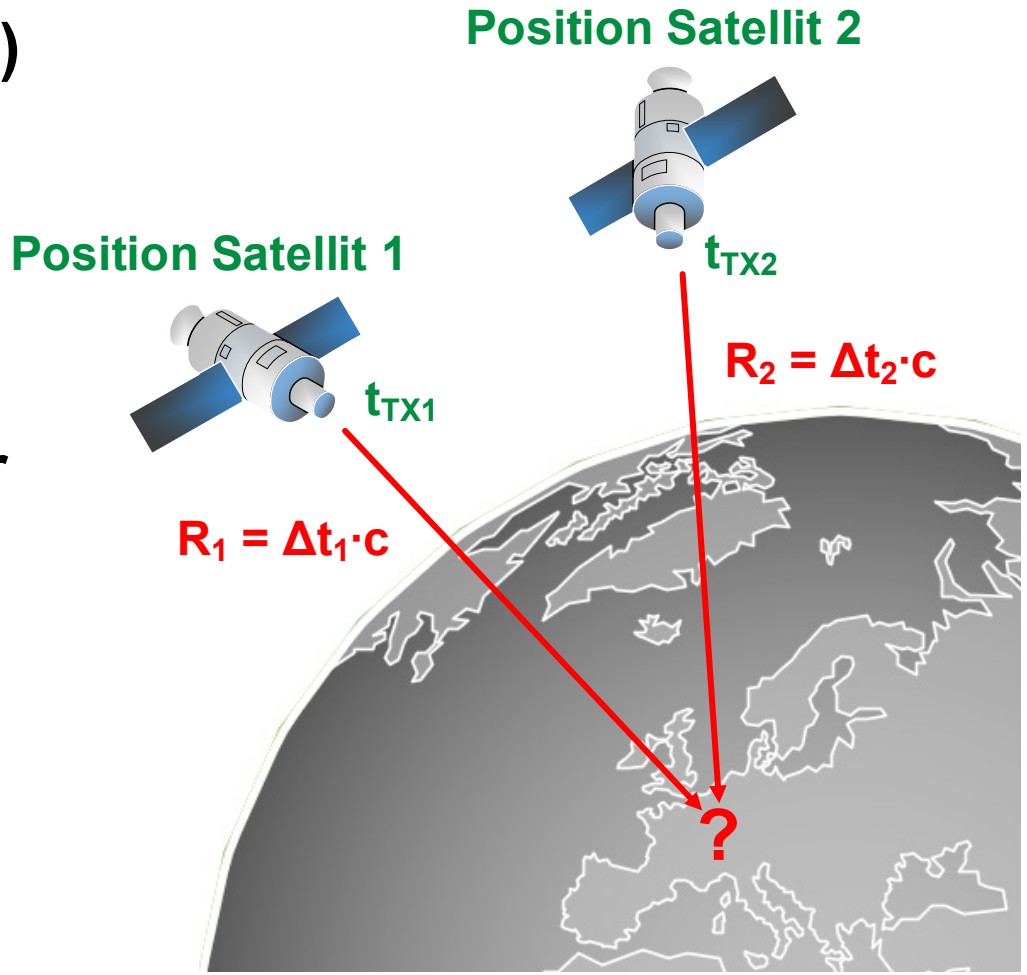
Inhalt

- Standard GNSS Lokalisierung
- Differentielle GNSS Lokalisierung
- Multi-Band GNSS Empfänger
- Real-Time Kinematics (RTK) Lokalisierung
- Ausblick: Galileo High Accuracy Service (HAS)
- Fazit

Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften
School of Engineering
ISC Institute of Signal Processing and Wireless Communications

Prinzip der Satellitennavigation: GPS, Galileo und GLONASS

- Bestimmung **unbekannte Position (und Zeit) aus** gemessenen **Pseudo-Ranges R_n** und bekannten **Satelliten Positionen**
- Pseudo-Ranges R_n aus Messung der Signallaufzeiten berechnet, Signallaufzeit aus **Korrelation mit bekannter Spreiz-Sequenz** bestimmt
- **Mindestens 4 Satelliten nötig**, um 3-D Position und Zeit zu bestimmen
- Genauigkeit ≈ **12 m** (95 %)
- Empfang in Gebäuden nicht möglich



Standard GNSS Lokalisierung

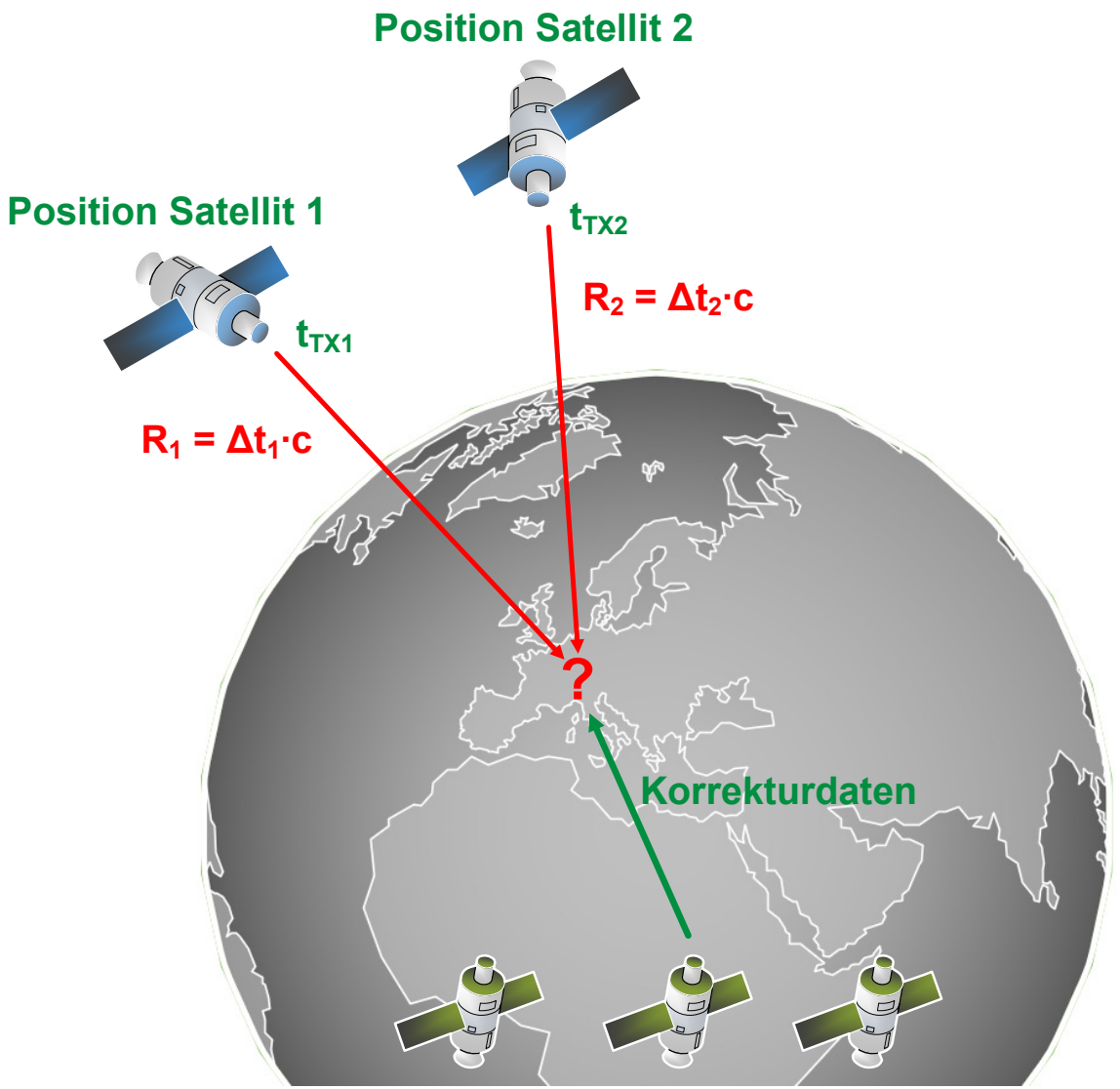
Hauptsächliche Fehlereinflüsse

- Signalverzögerung in **Ionosphäre**
- **Mehrwegausbreitung** in der Nähe des Empfängers
- Abweichung Satelliten-Clocks und Bahndaten

Differentielle GNSS Lokalisierung

Reduktion der Fehlereinflüsse durch Korrekturdaten

- Empfänger verwendet Korrekturdaten zur Reduktion der Fehlereinflüsse
- **EGNOS-System**: Korrekturdaten werden in Europa kostenlos direkt von geostationären Satelliten empfangbar, **standardmässig von GNSS-Empfängern verwendet**. Genauigkeit ≈ 3 m (95 %)
- Fehler durch Mehrwegausbreitung kann nicht reduziert werden



Multi-Band GNSS Empfänger

Vorteile Multi-Band GNSS Empfänger

- Kann **Signalverzögerung in Ionosphäre kompensieren**
- **Höhere Positionsgenauigkeit** als bei Single-Band GNSS Empfängern mit EGNOS wenn **L5-Signal** verwendet wird (höhere Bandbreite und Sendeleistung des L5-Signals)
- Potenziell Reduktion des Mehrwegeausbreitungs-Fehlers, da frequenzabhängig

Nachteile Multi-Band GNSS Empfänger

- **Komplexeres Antennendesign**
- Bei der Kompensation der Signalverzögerung der Ionosphäre können Fehler durch Multipfadausbreitung potentiell verstärkt werden

Zürcher Hochschule
für Angewandte Wissenschaften
School of Engineering
ISC Institute of Signal Processing
and Wireless Communications

Neue GPS Frequenzbänder

- L5-Signal hat mehr Bandbreite und höhere Sendeleistung

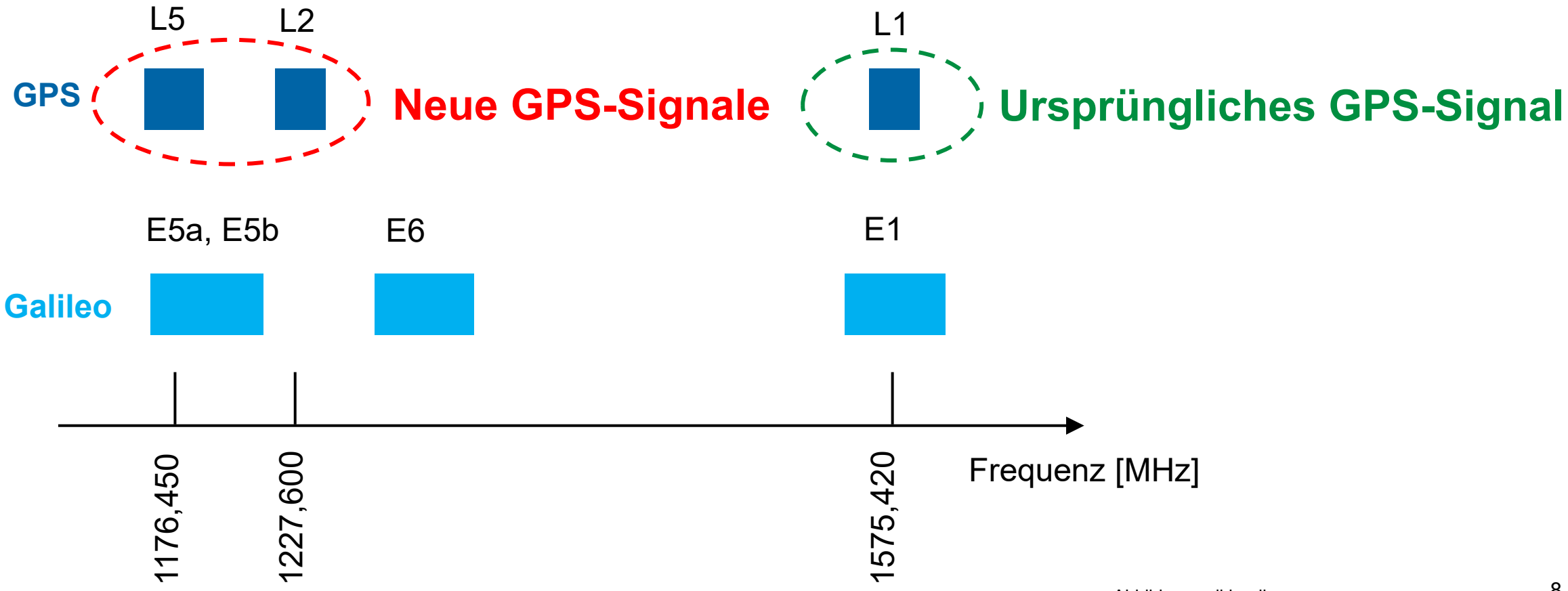


Abbildung: wikipedia.org

Zürcher Hochschule
für Angewandte Wissenschaften
zh aw School of Engineering
ISC Institute of Signal Processing
and Wireless Communications

Auswahl low-cost Multi-Band GNSS Empfänger-Module

Typ	GPS-Frequenzband	Richtpreis CHF / 100 Stk.	Bemerkungen
Telit SE868SY-D	L1/E1 + L5/E5	14.60	Basiert auf Sony CXD5610
Quectel LC79H (AL)	L1/E1 + L5/E5	12.50	Basiert auf Airoha AG3335
Quectel LC79D	L1/E1 + L5/E5	16.00	-

Getestet

Fotos: Telit Cinterion, Quectel

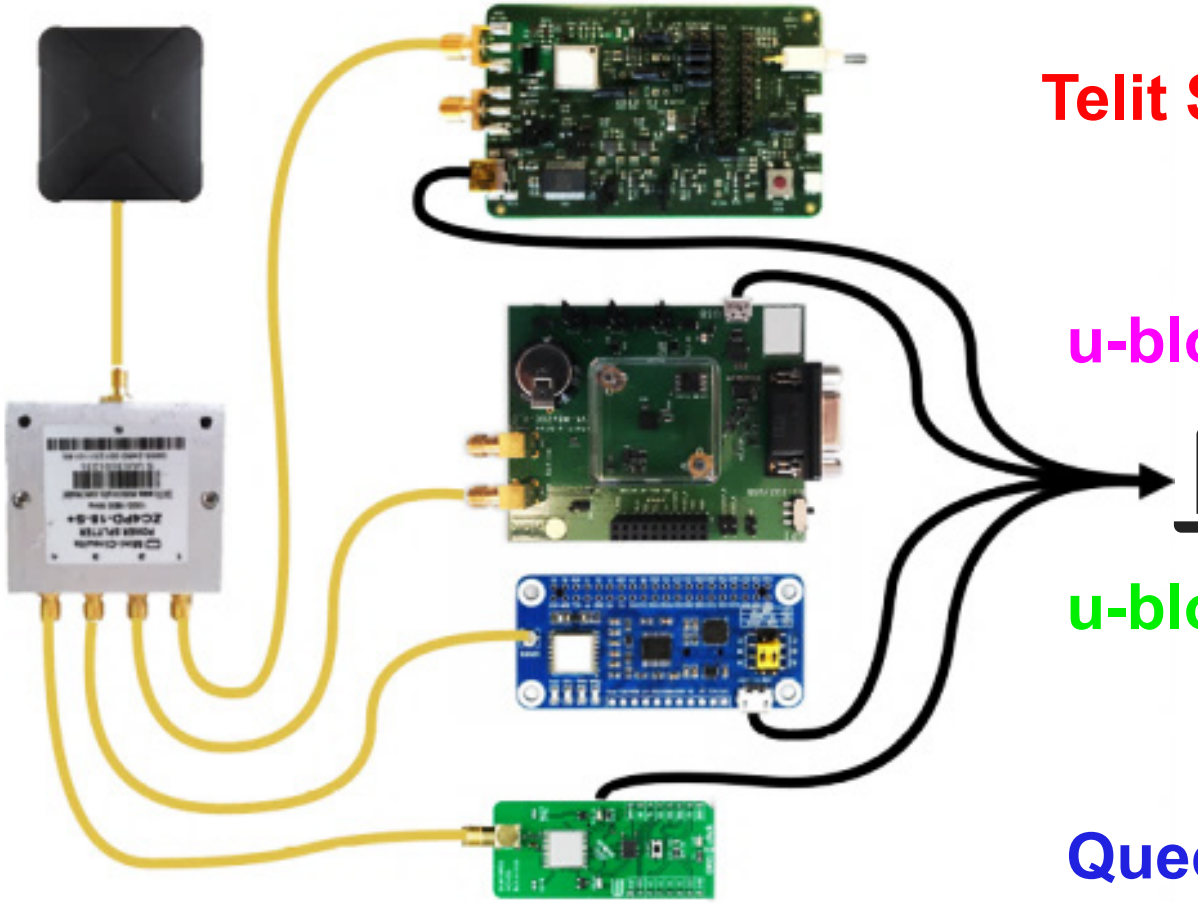
Multi-Band GNSS Empfänger

Zürcher Hochschule
für Angewandte Wissenschaften
zh aw School of Engineering
ISC Institute of Signal Processing
and Wireless Communications

Testsetup

Gemeinsame Antenne

GNSS Empfänger



HF-Splitter

Telit SE868SY-D: L1 + L5

u-blox MAX-M10: L1

Logging

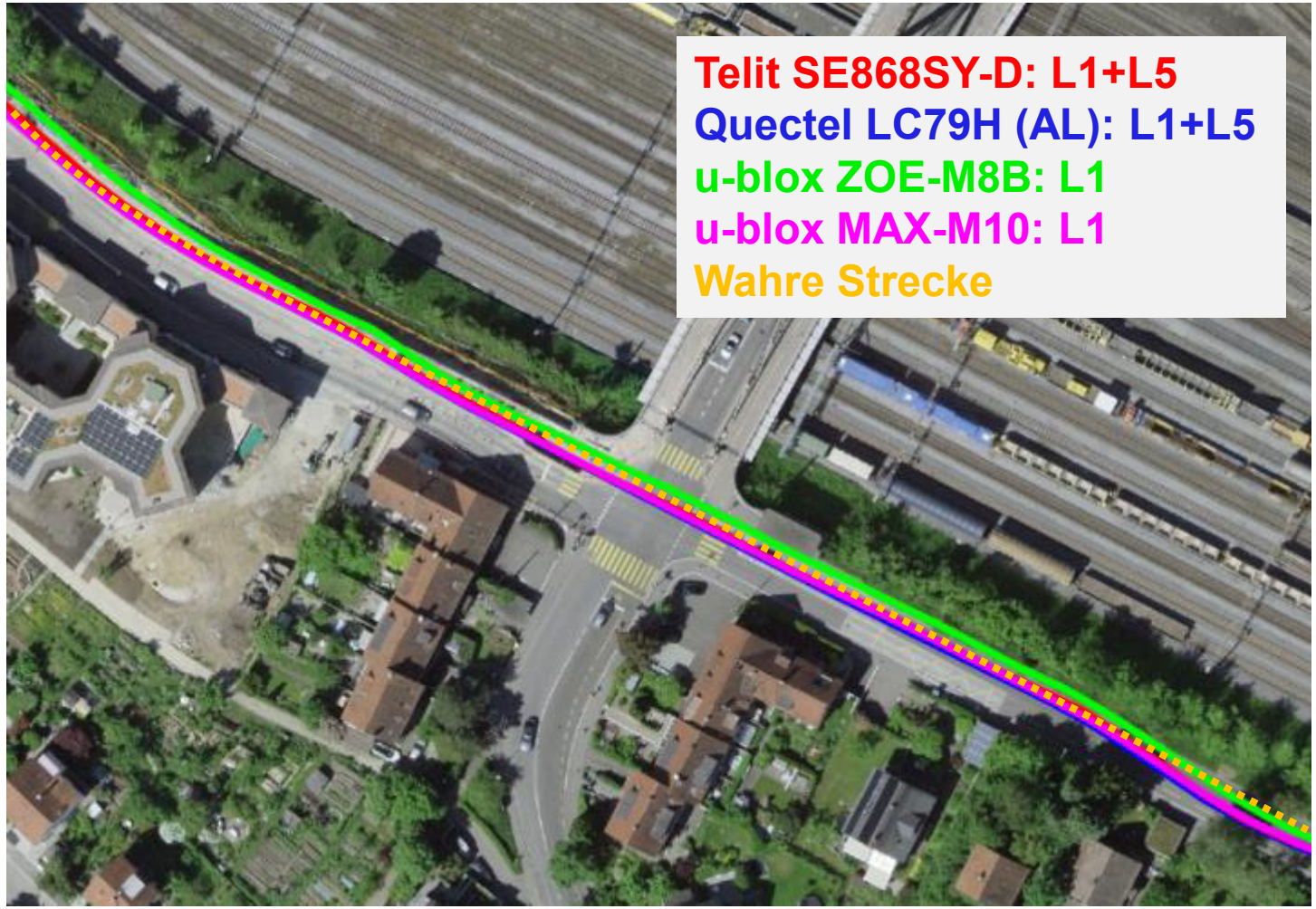
u-blox ZOE-M8B: L1

Quectel LC79H (AL): L1 + L5

Zürcher Hochschule
für Angewandte Wissenschaften
zh aw School of Engineering
ISC Institute of Signal Processing
and Wireless Communications

Resultate Velofahrt Urbanes Gebiet, wenig Mehrwegausbreitung

- **Wenig Unterschied** zwischen den GNSS Empfängern
- Single-Band Empfänger ZOE-M8B hat hier eine systematische Abweichung von ca. 1.5 m (nicht weiter untersucht)

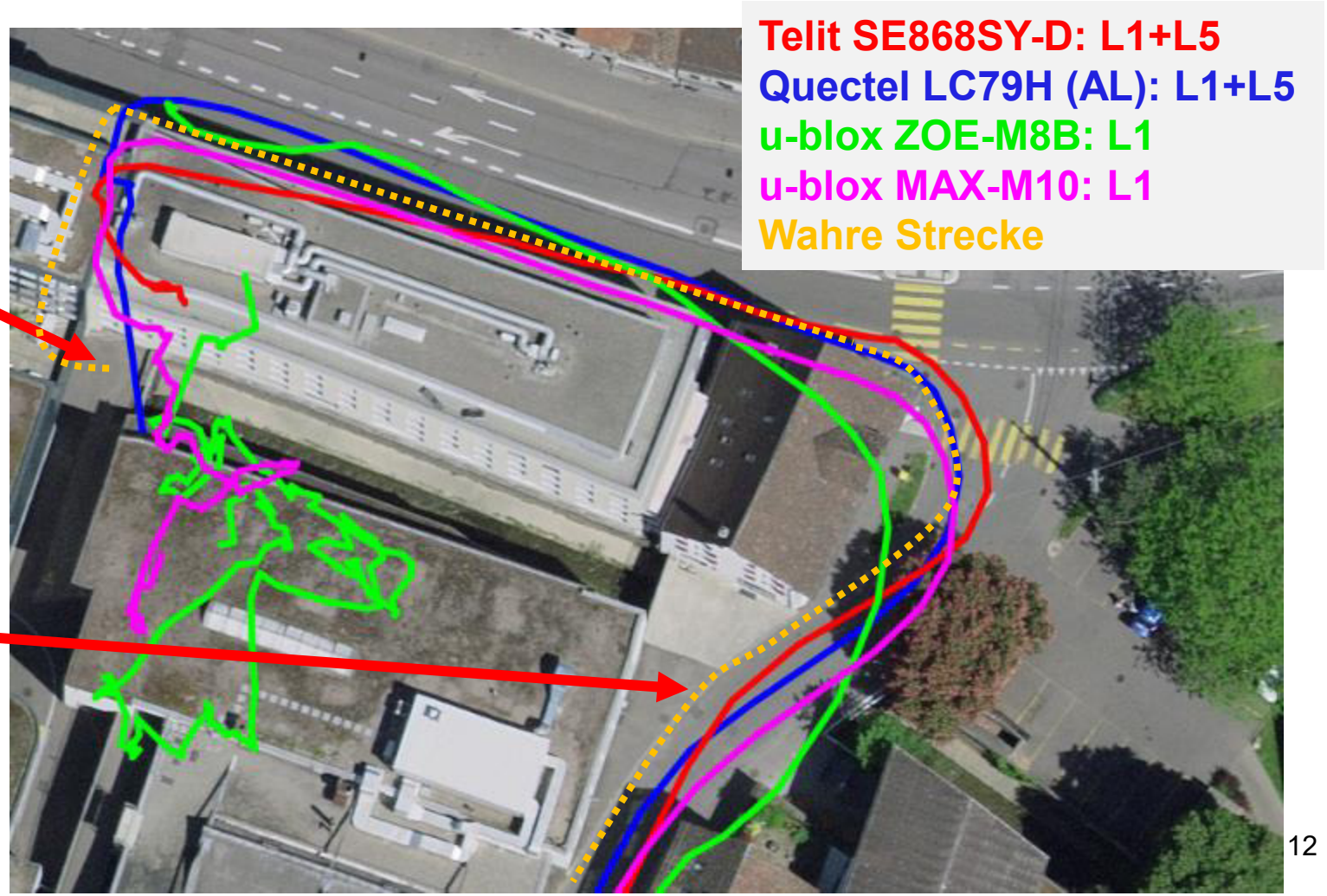


Luftbild: swisstopo

Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften
School of Engineering
ISC Institute of Signal Processing and Wireless Communications

Resultate Velofahrt Urbanes Gebiet, viel Mehrwegausbreitung

- **Starke Mehrweg-ausbreitung** wahrscheinlich, **Multi-Band Empfänger haben hier klar höhere Positionsgenauigkeit**
- **Moderate Mehrweg-ausbreitung** wahrscheinlich, die **Multi-Band Empfänger haben leicht höhere Positionsgenauigkeit** (2 bis 5 m Abweichung)

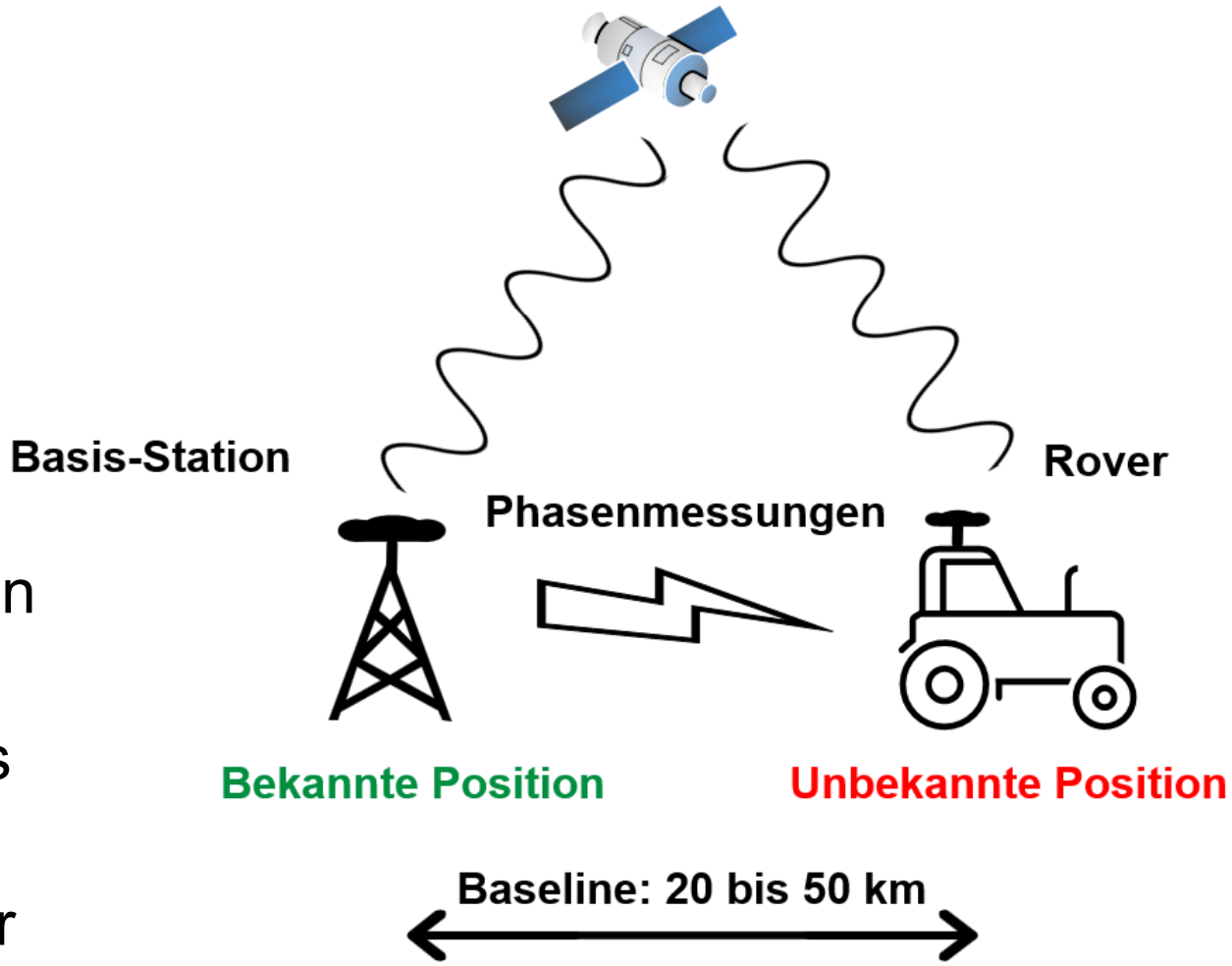


Luftbild: swisstopo

Real-Time Kinematics (RTK) Lokalisierung

Prinzip

- **Höhere Positionsgenauigkeit** durch **Messung der Träger-Phase**
- **Basis-Station übermittelt Phasenmessungen in Echtzeit an mobilen Rover**
- Träger-Phase periodisch in 2π (360 º)
  → Rover muss Phasen-Ambiguität lösen
- Eigene Basis-Station oder **online verfügbare Basis-Station**, z.B. Swipos von swisstopo
- **Genauigkeit im cm-Bereich** erreichbar

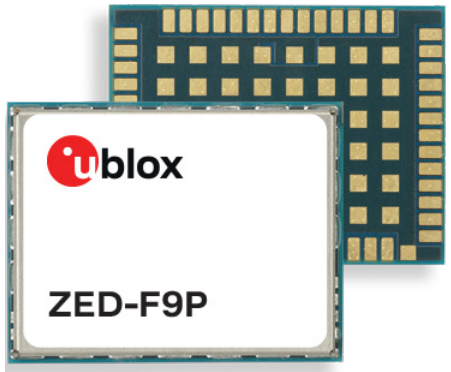


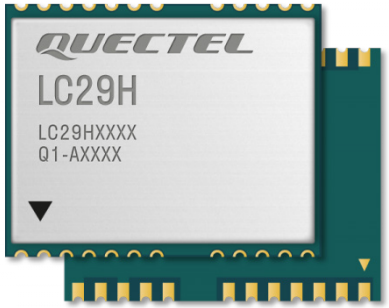
Real-Time Kinematics (RTK) Lokalisierung

Auswahl "low-cost" RTK GNSS Empfänger-Module

Typ	Rover und Basis-Station unterstützt	Richtpreis CHF / 100 Stk.
u-blox ZED-F9P	Ja	134.30
Quectel LC29H (BA)	Nein	30.00
u-blox NEO-M8P	Ja	95.70

Getestet (LC29H (BA) bisher nur Funktionstests)





Fotos: u-blox, Quectel

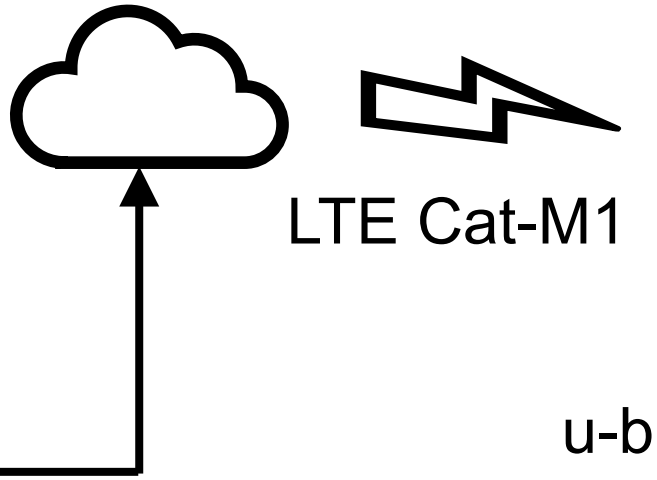
Real-Time Kinematics (RTK) Lokalisierung

Basis-Station

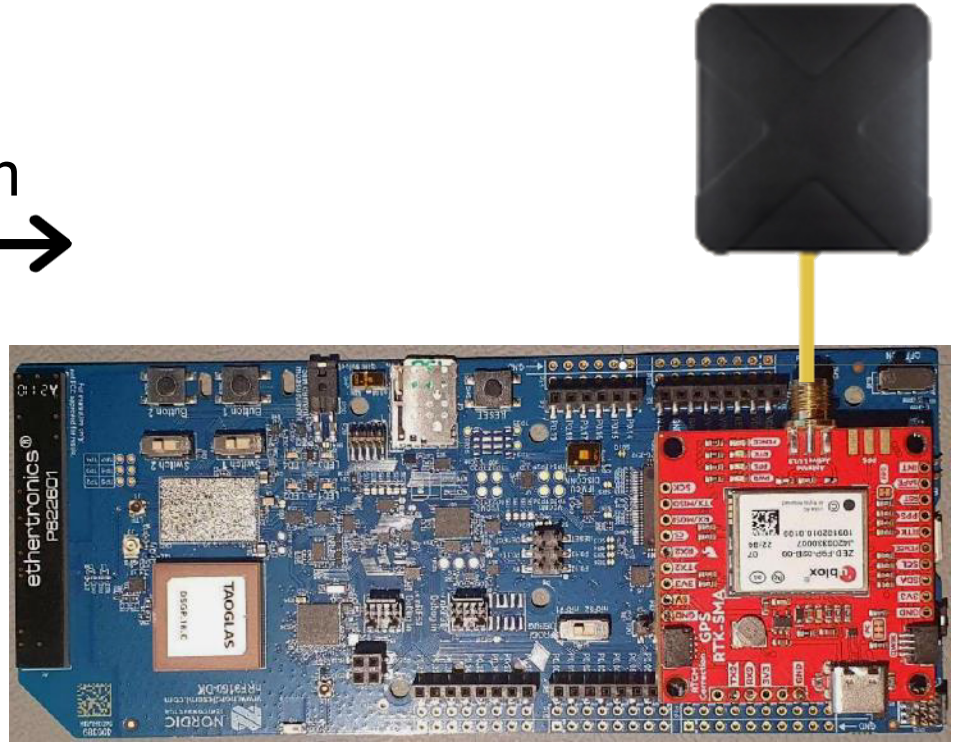
ZHAW Winterthur

Rover

Baseline = 25 km



LTE Cat-M1



u-blox ZED-F9P mit LTE Cat-M1 Modem

u-blox ZED-F9P mit Raspberry Pi als Server

Foto Rover: D. Alberts, L. Mürner, Projektarbeit "cm-Genaue Positionsbestimmung mit GPS", ZHAW, 22.12.2022

Real-Time Kinematics (RTK) Lokalisierung

Resultate statischer Rover mit 25 km Baseline-Entfernung

- **Genauigkeit = 4.2 cm** (95 %)
- Mittlerer Fehler = 2.4 cm
- RTK-Fixed in < 60 Sekunden

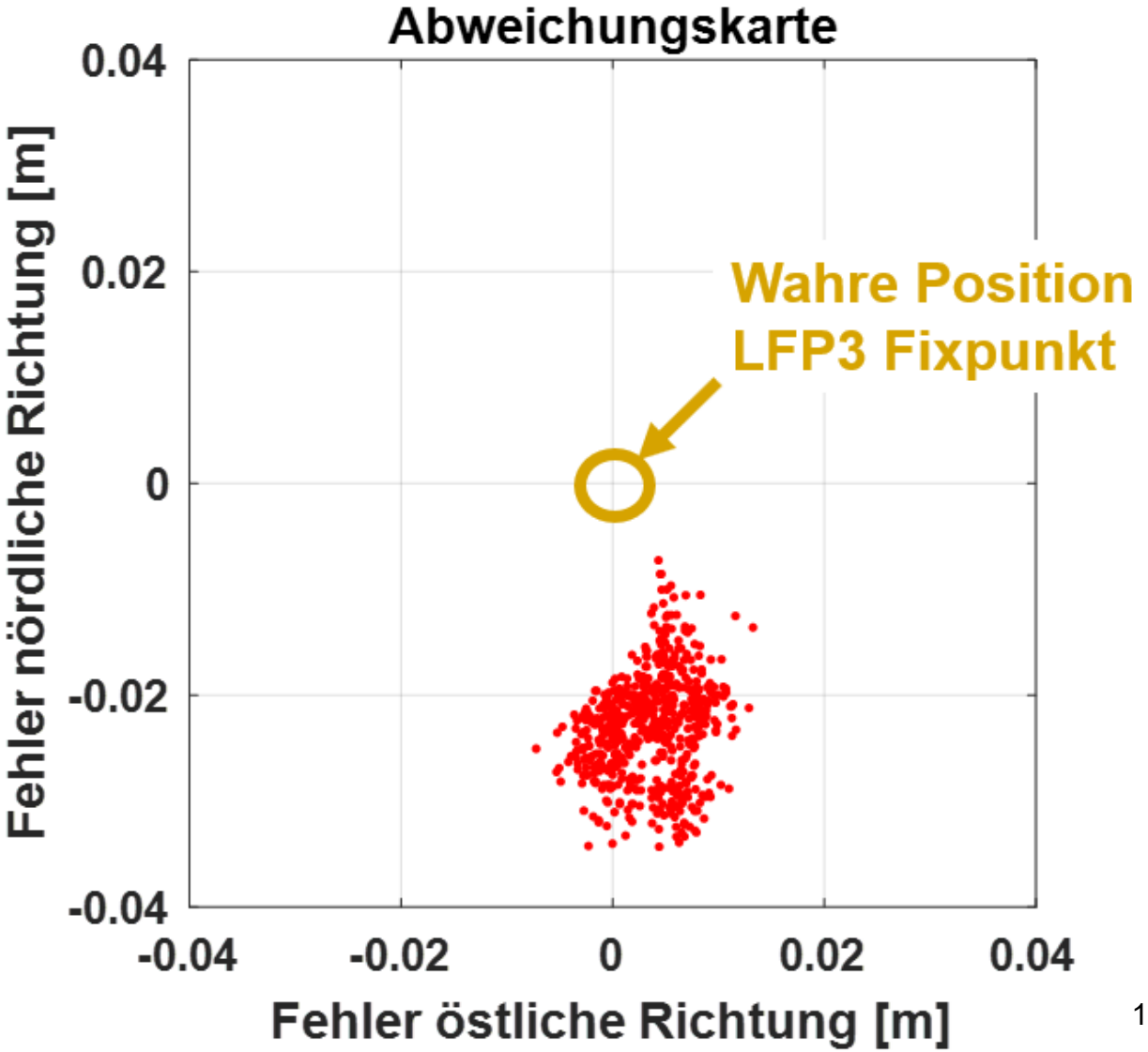


Foto und Resultate: D. Alberts, L. Mürner, Projektarbeit "cm-Genaue Positionsbestimmung mit GPS", ZHAW, 22.12.2022

Zürcher Hochschule
für Angewandte Wissenschaften
zh aw School of Engineering
ISC Institute of Signal Processing
and Wireless Communications

Galileo High Accuracy Service (HAS)

- Basiert auf "genauen" Korrekturdaten und Multi-Band Empfang
- Korrekturdaten für Precise Point Positioning (PPP) Methode kostenlos von Galileo Satelliten empfangbar
- "Initial Service" seit Januar 2023
- Genauigkeit ≈ 20 cm (95 %)
- Positionsbestimmung in < 100 Sekunden
- Keine separate Basis-Station wie bei RTK nötig
- Noch keine GNSS Empfänger mit HAS verfügbar

Abbildung: European Union Agency for the Space Programme

Fazit

- Multi-Band GNSS Empfänger haben bei starker Mehrwegausbreitung (z.B. zwischen Gebäuden) höhere Positionsgenauigkeit als Single-Band GNSS Empfänger erreicht
- Real-Time Kinematics (RTK) Lokalisierung hat eine Genauigkeit im cm-Bereich erreicht, low-cost Empfänger werden verfügbar
- Neuer Galileo High Accuracy Service (HAS) verspricht 20 cm Genauigkeit, benötigt keine Basis-Station

Fragen