

Motivation

Für urbane GNSS-Überwachungsnetze ist die Verwendung von Low-Cost GPS/GNSS-Empfängern und High-sensitive Antennen sinnvoll, um eine schnelle, individuelle und kostengünstige Anpassung an die örtlichen Gegebenheiten durchführen zu können. Bei kleinskaligen Netzgeometrien mit kurzen Basislinien eignen sich besonders leistungsstarke Einfrequenzempfänger, da diese sowohl den Arbeits- und Datenhaltungsaufwand als auch Kosten deutlich reduzieren. Durch das Multi-GNSS Konzept können auch herausfordernde Satellitengeometrien gelöst werden.

Systemdesign | autonome Low-Cost GNSS Station

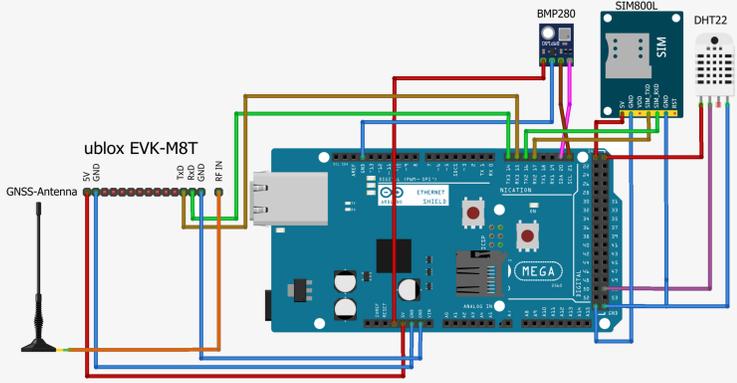


Abb. 1: Schematische Darstellung des Schaltplans des entwickelten Systems, erstellt mit fritzing.org.

- ▶ Analyse von 3 unterschiedlichen L1 only Multi-GNSS-Antennen: Tallysman TW2920 (TAL), Novatel NOV 501 (NOV) & u-blox Patchantenne (PTC).
- ▶ u-blox EVK-M8T Receiver: Kompatibel zu ausgewählten Antennen, Möglichkeit des Loggens von Rohdaten.
- ▶ Arduino-Prozessor: Geringer Stromverbrauch, unempfindlich gegenüber Stromunterbrechungen.
- ▶ Stromversorgung: Solarpanel und Powerbank.
- ▶ Atmosphärische Sensoren: Temperatur, Luftdruck und Luftfeuchte.
- ▶ Daten-Logging: SD-Karte, WebServer oder FTP-Push zum Datenaustausch.
- ▶ Robustes & wasserfestes Gehäuse für permanente Outdoor-Anwendungen.
- ▶ Ansteuerung des Prozessors & Receivers via USB 2 Schnittstelle.
- ▶ TNC-Antennenanschluss am Gehäuse: Schnelle & flexible Installation der GNSS-Antenne (Flexibilität zur Anpassung an die jeweiligen Umgebung).

Evaluation unter Laborbedingungen

- ▶ Nullbasislinie auf dem Messdach des IfE (Institut für Erdmessung) zur Überprüfung der Receiverperformance: Pro Session vier Empfänger über einen Antennensplitter an einer Antenne angeschlossen.
- ▶ Aufzeichnungsrate von 0,1 Hz, Analyse von jeweils 3238 Epochen.
- ▶ Straßenlaterne als Testumgebung (Abb. 3b) zur Analyse der Wirkung auf das Nahfeld der Antenne (zusätzliche Grundplatte).
- ▶ Antenne wird auf einem eindeutigen Punkt (realisiert durch ein Gitterkreuz) auf einem Lampenkopf angebracht
- ▶ Analyse auf Grundlage von Koordinatenwiederholbarkeiten, Satellitensichtbarkeiten, Signalstärken und Doppeldifferenzen
- ▶ Kurze Basislinie über Referenzstation (Pfeiler A) mit geodätischer Antenne & geodätischem Receiver zum Testen des Systems.

Tabelle: Übersicht der Stationen

Pfeiler	Receiver	Stationsname	Antenne
A	LEICA GRX1200+GNSS	MSD8	LEICA AR25
B	LEICA GRX1200+GNSS	LMP6	wechselnd
B	u-blox M8T 0867	0867, ARDU	wechselnd
B	u-blox M8T 1779	1779	wechselnd

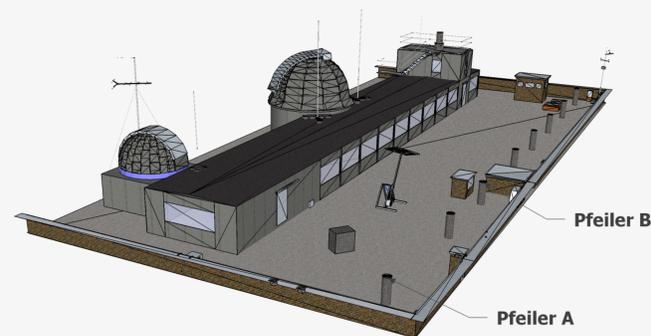
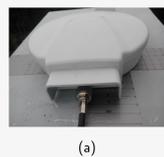


Abb. 2: Ansicht der Laborumgebung und Messkonfiguration auf dem Messdach des Instituts für Erdmessung.



(a)



(b)



(c)

Abb. 3: Darstellung der Messungen unter Laborbedingungen, (a) Novatel (NOV) Antenne auf dem Lampenkopf, (b) Aufbau der Lampe auf Pfeiler B, (c) Ansicht des entwickelten Systems.

Analyse der Neukoordinaten

- ▶ Referenzlösung der Koordinaten auf der Laterne mit Leica Geo Office und geodätischem Receiver.
- ▶ Verwendung präziser Orbits (ESA) & individueller Antennenkorrekturen für die Station MSD8.
- ▶ Lösung der Koordinaten via L1-Doppeldifferenzen, MSD8 fixiert, Station LMP6 ca. 8 m entfernt.

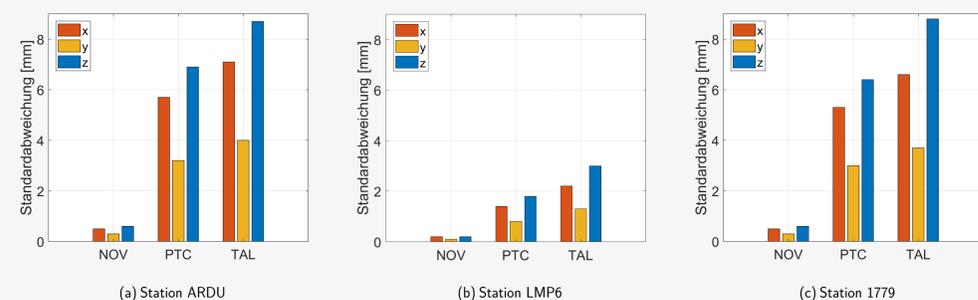


Abb. 4: Darstellung der Standardabweichungen der mit Leica Geo Office berechneten kartesischen Koordinaten.

- ▶ Wiederholbarkeit der Koordinaten ist für die Stationen ARDU, 0867 & 1779 mit NOV501-Antenne nahezu identisch. Die für den Massenmarkt hergestellten u-blox Receiver liefern gleichwertige Ergebnisse.
- ▶ Standardabweichungen für die Antennen PTC und TAL schlechter, bedingt durch höheres Rauschen der Antennen.
- ▶ Ergebnisse mit Geodätischem GNSS-Empfänger (Abb. 4b) um etwa Faktor 4 besser.

Analyse der Satellitensichtbarkeiten

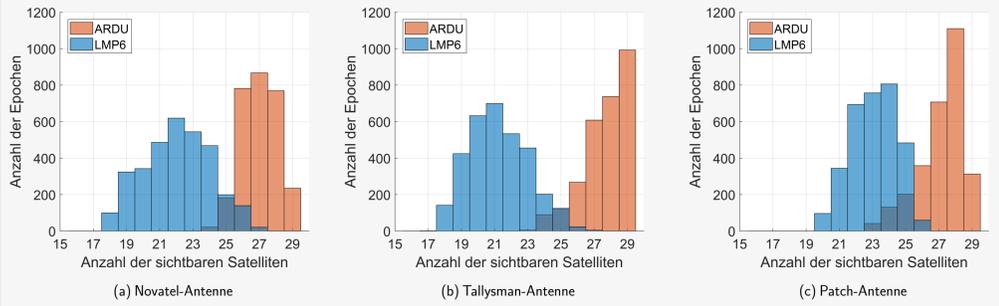


Abb. 5: Durchschnittliche Satellitensichtbarkeit für die Stationen ARDU & LMP6. Die Anzahl ist jeweils die Summe aus den sichtbaren GPS-, GLONASS- und Galileo-Satelliten.

- ▶ Die Kombination aus High-Sensitive Antenne & Low-Cost Empfänger (Station ARDU) führt jeweils zu einer höheren Anzahl an sichtbaren Satelliten, als die Kombination aus geodätischem Empfänger & High-Sensitive Antenne (Abb 5a-c, Station LMP6).
- ▶ Die hochsensitive PTC-Antenne besitzt die durchschnittlich höchste Satellitensichtbarkeit, sowohl für die Station ARDU als auch die Station LMP6.

Analyse der Signalstärken

- ▶ Durchschnittlichen Signalstärke durch Schätzen einer kubischen Funktion über die Messwerte.

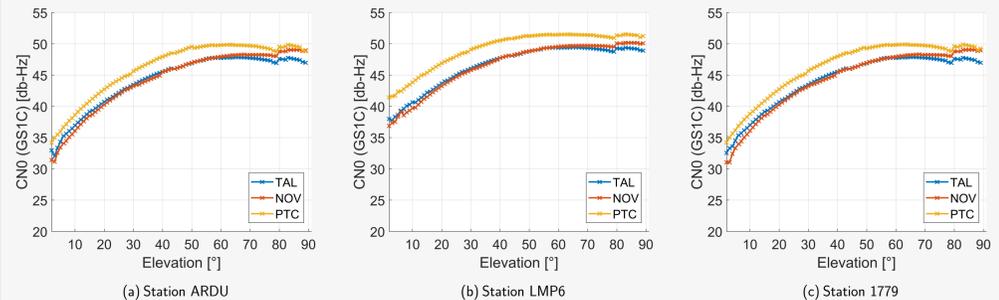


Abb. 6: Darstellung der durchschnittlichen GPS-Signalstärken (GS1C) gegenüber der Elevation.

- ▶ Identische Signalstärken für die Stationen ARDU & 1779, da dieselbe Antenne und der gleiche Receiver verwendet wurde.
- ▶ Höhere, durchschnittliche Signalstärke für die Station LMP6, gerade in niedrigen Elevationen (verschiedene Tracking-Algorithmen).
- ▶ Ähnliches Verhalten lässt sich für die Signalstärken auf Glonass (RS1C) und Galileo (ES1X) beobachten.

Analyse der Doppeldifferenzen

- ▶ Analyse der Doppeldifferenzen nach Cycle-Slip-Detection und Eliminierung von Ausreißern.

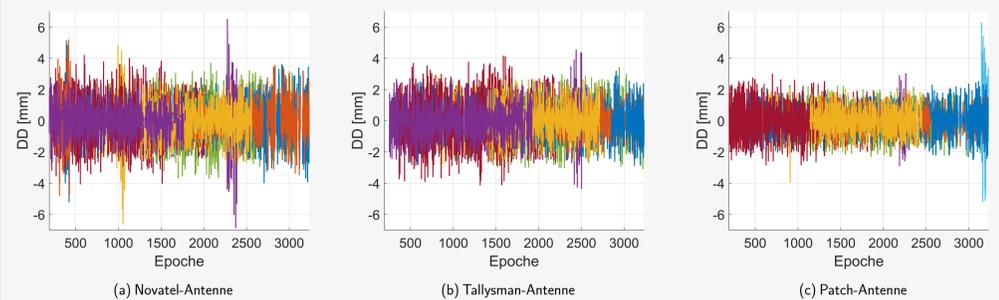


Abb. 7: Doppeldifferenzen für die Nullbasislinie ARDU-LMP6 gegenüber der Zeit für das GPS-Signal

- ▶ Doppeldifferenzen für die Nullbasislinie mit allen Antennen konstant und im Bereich von maximal ± 7 mm.
- ▶ Rauschen der Doppeldifferenzen mit PTC-Antenne am geringsten.
- ▶ Verhalten für NOV- & TAL-Antenne ähnlich, wobei das Rauschen mit TAL-Antenne am höchsten ist.
- ▶ Vergleichbare Größenordnungen lassen sich auch für die Signale auf Glonass und Galileo beobachten.

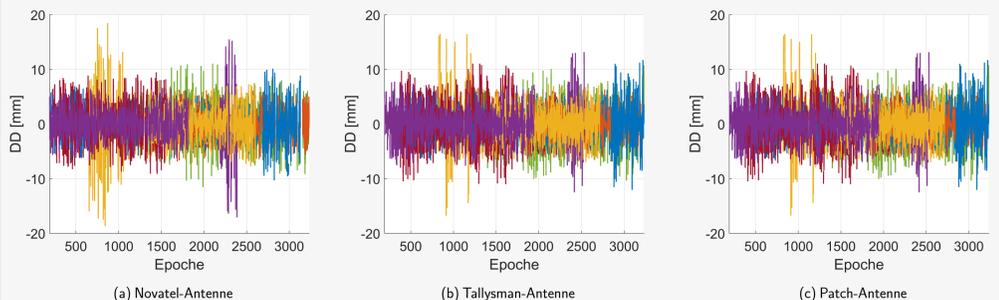


Abb. 8: Doppeldifferenzen für die kurze Basislinie ARDU-MSD8 gegenüber der Zeit für das GPS-Signal

- ▶ Doppeldifferenzen für die kurze Basislinie mit allen Antennen konstant und im Bereich von maximal ± 19 mm, für die meisten Epochen allerdings im Bereich von unter 10 mm.
- ▶ Rauschen der Doppeldifferenzen für alle Antennen sehr ähnlich.
- ▶ Nahezu identisches Verhalten der Doppeldifferenzen mit allen Antennen für die kurze Basislinie LMP6-MSD8.
- ▶ Ähnliche Größenordnungen sind auch für die Glonass- und Galileo-Signale beobachtbar.

Fazit & Ausblick

- ▶ Umsetzung einer Low-Cost Permanent-Station ist möglich, wenngleich eine konsistente Stromversorgung eine Herausforderung darstellt.
- ▶ Kombination von Low-Cost Receiver und geodätischem Receiver sind hinsichtlich einiger Anforderungen nicht zielführend.
- ▶ Einige Systemelemente, wie z.B. die Datenübertragung per FTP-Push oder das SIM-Modul zur Fernsteuerung des Systems können noch weiterentwickelt werden.
- ▶ Kombination mehrerer Systeme zu (Überwachungs-)Netzwerken.
- ▶ Detailanalysen der ISB (Inter-System-Biases) und IFBs (Inter-Frequency-Biases) spezieller Empfänger.
- ▶ Performance des entwickelten Systems wird noch unter realen Bedingungen mit herausfordernden Satellitensichtbarkeiten in Bad Frankenhausen getestet.

