

## Motivation

### Geo-Referenzierung & Multi-Sensor-System (MSS)

- Effiziente Bereitstellung von Transformationsparametern zwischen dem lokalen sensorbasierten Koordinatensystem und einem übergeordnetem Koordinatensystem mit bekanntem Geodätischen Datum
- Effizienzsteigerung für die Erfassung von 3D Punktwolken mit terrestrischen Laserscannern (TLS) durch direkte Geo-Referenzierung [Paffenholz, 2012]
  - Nutzung von 3D Positionssensoren zur direkten Beobachtung der Transformationsparameter
  - Schätzung der Transformationsparametern in einem Extended Kalman Filter (EKF) unter Nutzung eines vereinfachten stochastischen Modell

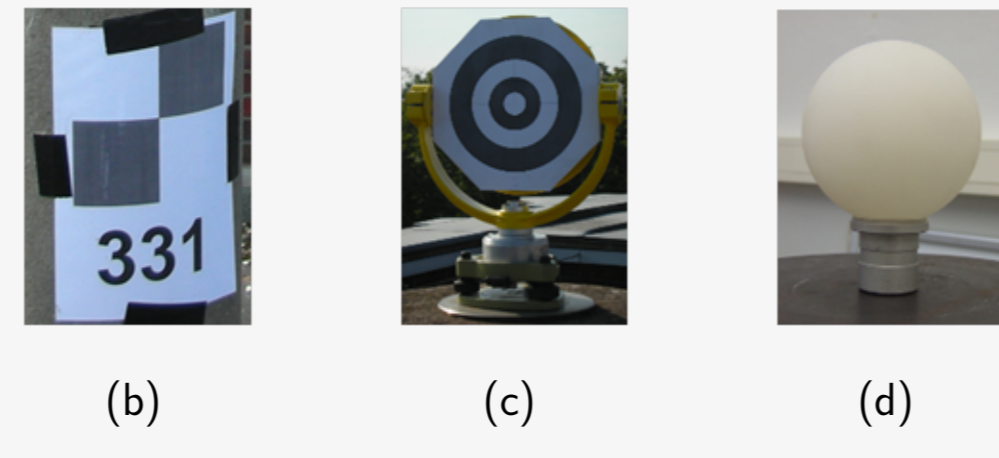


Abb. 1: MSS bestehend aus einem terrestrischen Laserscanner und zwei exzentrisch adaptierten Ein-Frequenz-GNSS-Equipments (a) und verschiedene klassische Zielzeichen zur indirekten Geo-Referenzierung: Papiertarget (b), zentrisches Spezialtarget (c), Passkugel mit bekanntem Radius (d).

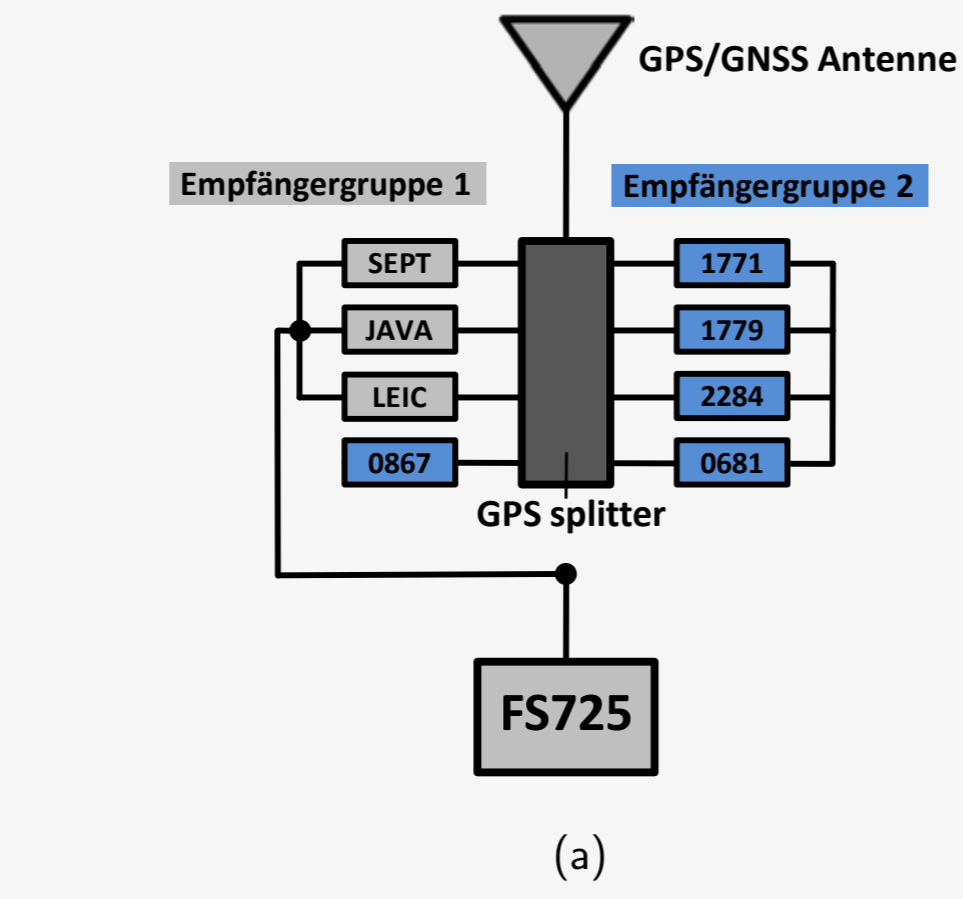
### Zielparameter der Systemspezifikation

- Richtwerte und Systemidentifikation für GNSS-Equipment
- Evaluierung von Rauschverhältnis und stochastischen Kenngrößen
- Parameter für Kalman-Filter Implementierung (heading)

## Experimentaufbau

### GNSS-Geräte

- Nullbasislinie mit acht GNSS-Empfängern in zwei Gruppen auf dem Labornetzwerk des Institut für Erdmessung (optimale Satellitenverfügbarkeit)
- 3 Geodätische Empfänger angeschlossen an ein externes Frequenznormal (Stanford Rubidium FS725)
  - Septentrio PolaRx5 (Referenz: SEPT)
  - Javad TRE\_G3T (JAVA)
  - Leica GRX1200+GNSS (LEIC)
- 5 u-blox LEA-M8T (FW 3.01, TIM 1.10) Empfänger (SN: 0867, 0681, 1771, 1779, 2284)



### Datenerhebung

- Sieben Tage Rohdatenerhebung im März 2018 (DOY067-73)
- Code Phase C/A (GC1C, RC1C), Trägerphase L1 (GL1C, RL1C), Signalstärke S1 (GS1C, RS1C)

### Vorverarbeitung

- Binärformate aus UBX in RINEX 3.02 (RTKlib::convbin)
- RINEX 3.02 Reduzierung der Datenrate auf 10 sec (GFZ::gfzrnx) aufgrund des Driftverhaltens der internen Empfängeruhr (Millisekundenbereich)
- Verarbeitung und Analyse durch eigene Software (IFE::GNSS Toolbox)

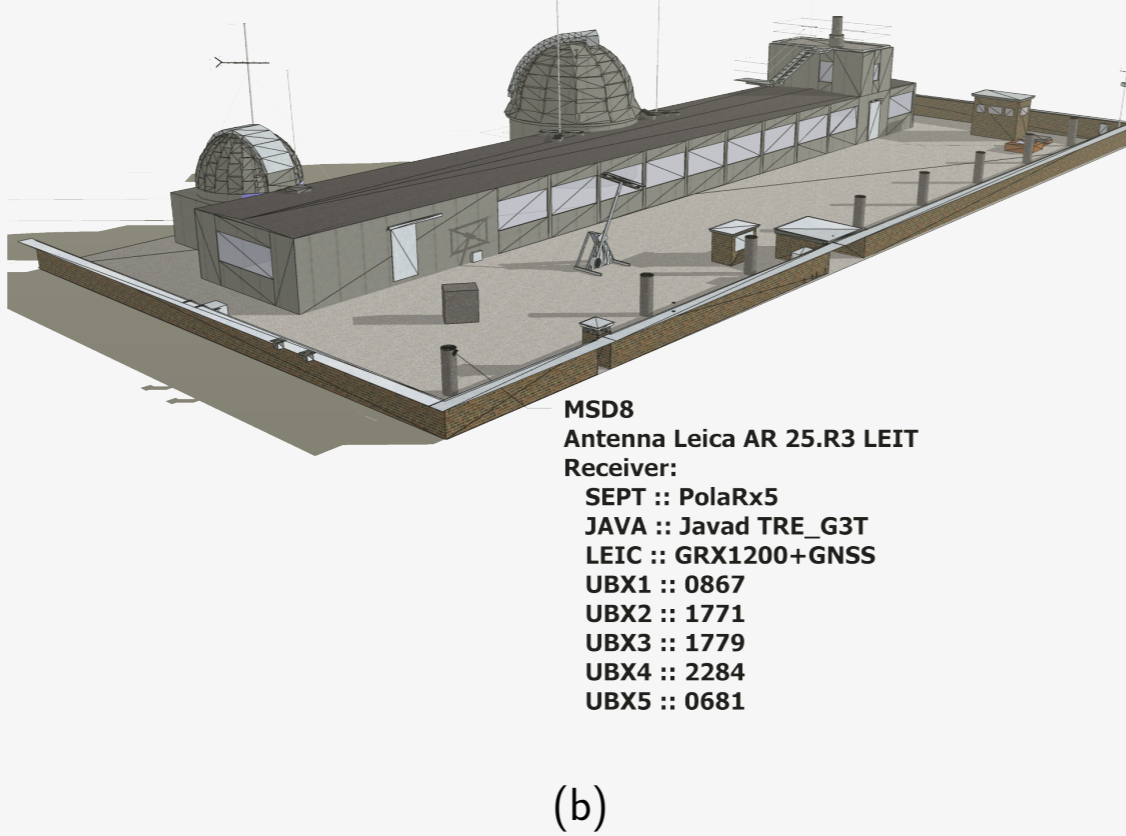


Abb. 2: Nullbasislinientest zur Prüfung von gerätespezifischen Eigenschaften kostengünstiger GNSS-Empfänger, Anschlüsse (a), Messdach (b).

## Beobachtungsraum - C/N0 und Trägerphase

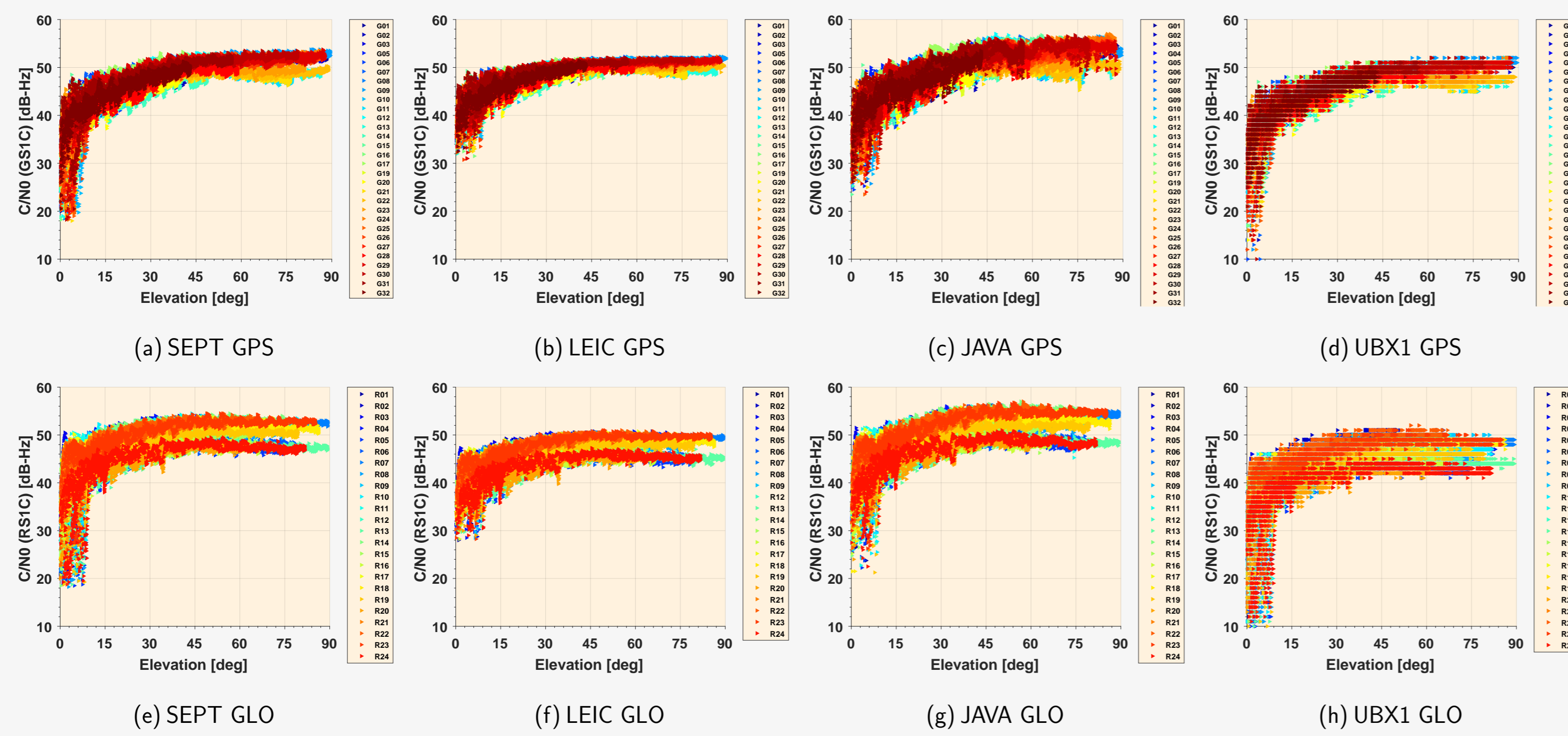


Abb. 3: Signalcharakteristiken der analysierten Empfänger für GPS (a-d) und GLONASS (e-h) für die Frequenz L1 auf dem Signal C/A.

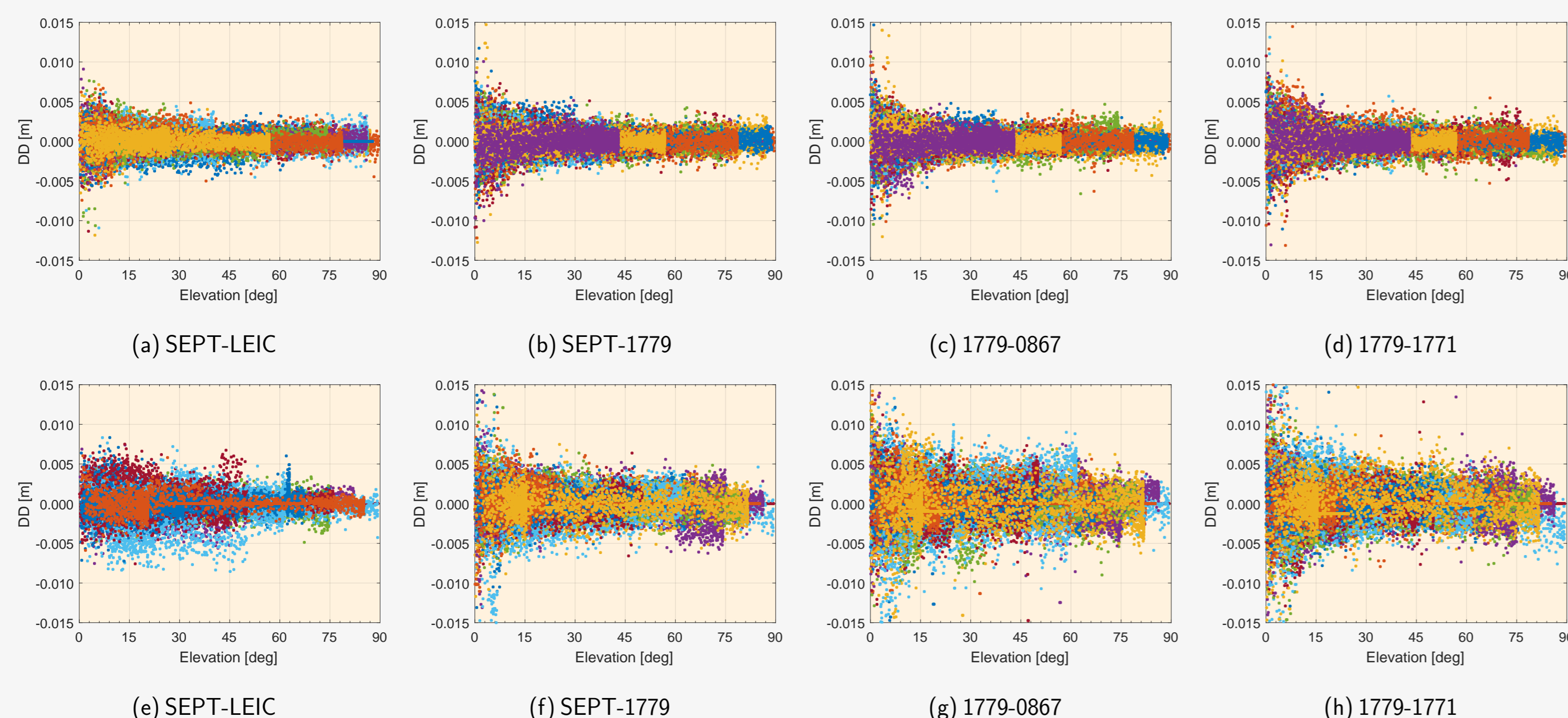


Abb. 4: Doppeldifferenzresiduen der Trägerphase L1 C/A gegenüber der Elevation für ausgesuchte Empfängerkombinationen auf der Frequenz L1 und dem Signal C/A, System GPS (a-d), GLONASS (e-h).

## Beobachtungsraum - C/A Code

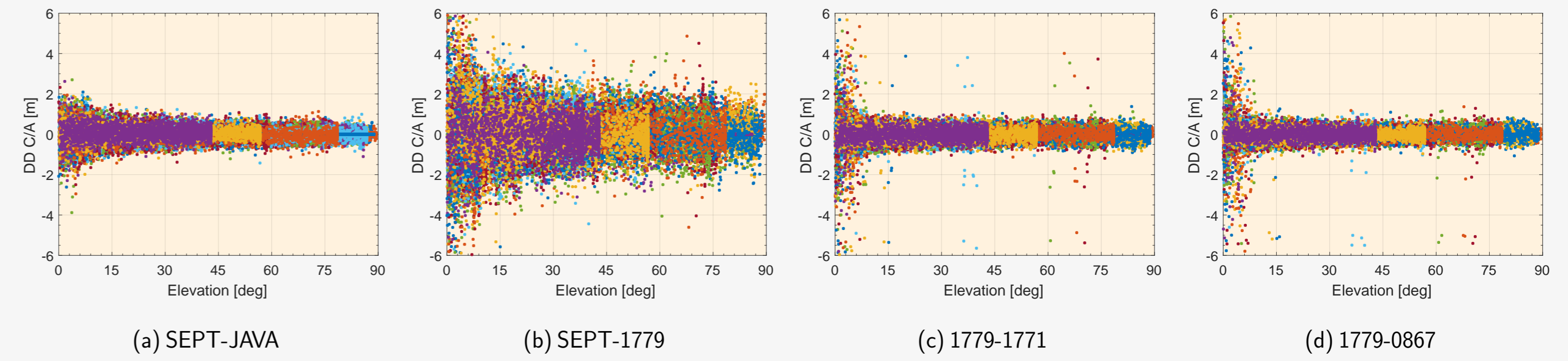


Abb. 5: OMC-Doppeldifferenzresiduen der Trägerphase GL1C gegenüber der Elevation für ausgewählte Empfängerkombinationen, Referenz SEPT (a-b), Referenz 1779 (c-d).

## Details zur Verteilung und Stochastik der C/A Trägerphase und Codebeobachtung

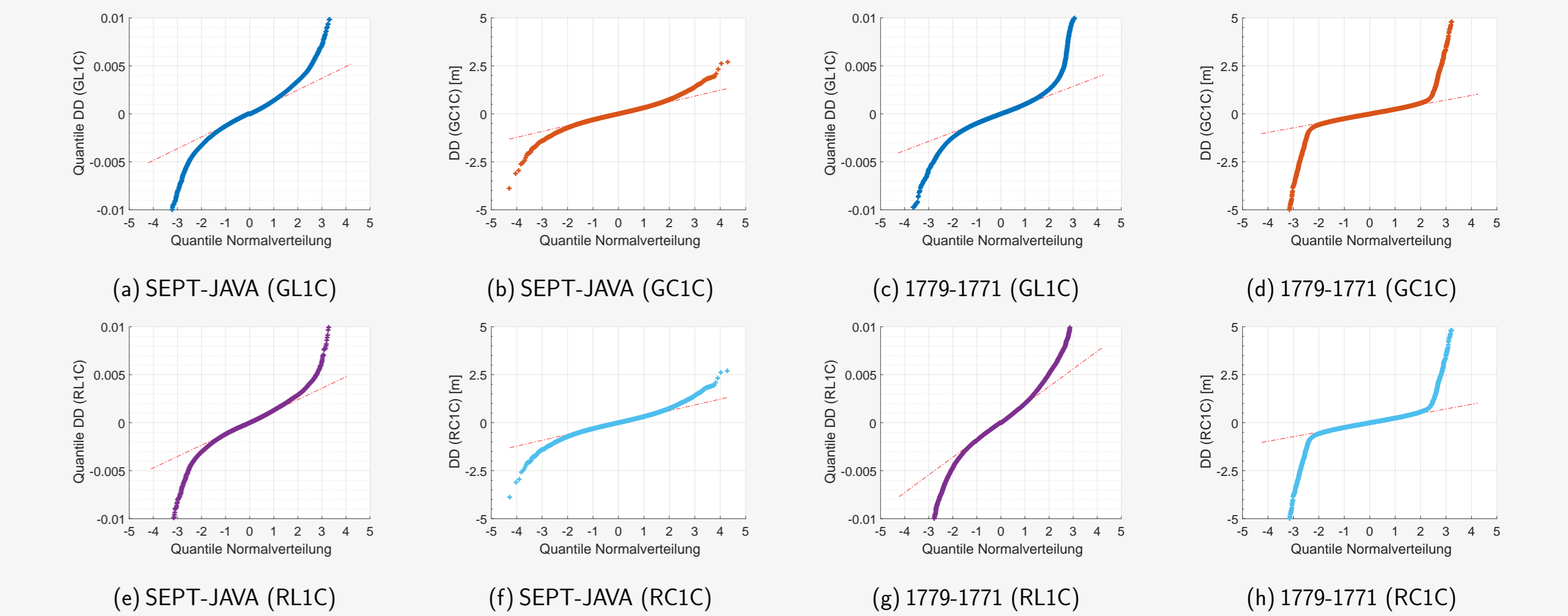


Abb. 6: Quantile-Quantil-Darstellungen zur Analyse der Normalverteilung von OMC-DD Residuen zwischen geodätischen (a-b-e-f) und kostengünstigen GNSS-Empfängern (c-d, g-h), für die Signale der Systeme GPS (a-d) und GLONASS (e-h).

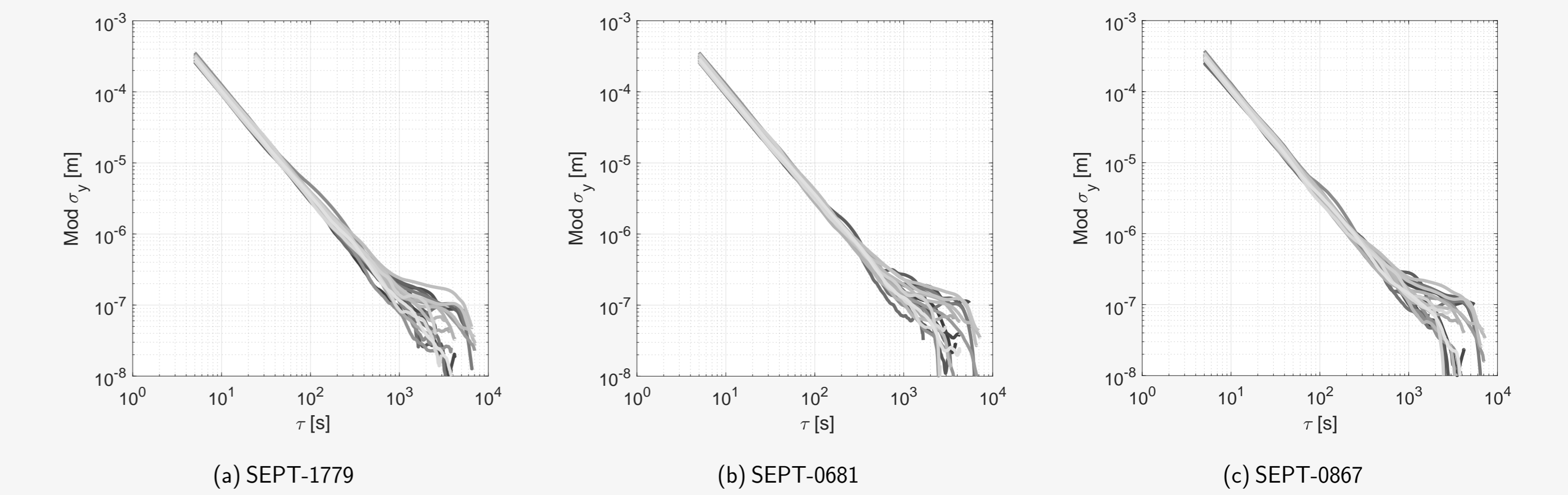


Abb. 7: Modifizierte Allan-Standardabweichung für verschiedene Empfängerkombinationen zur Analyse der Stochastik von OMC-DD Residuen auf der Nullbasislinie, gezeigt für das System GPS als Tageslösung (DOY067, 2018).

## Positionsraum

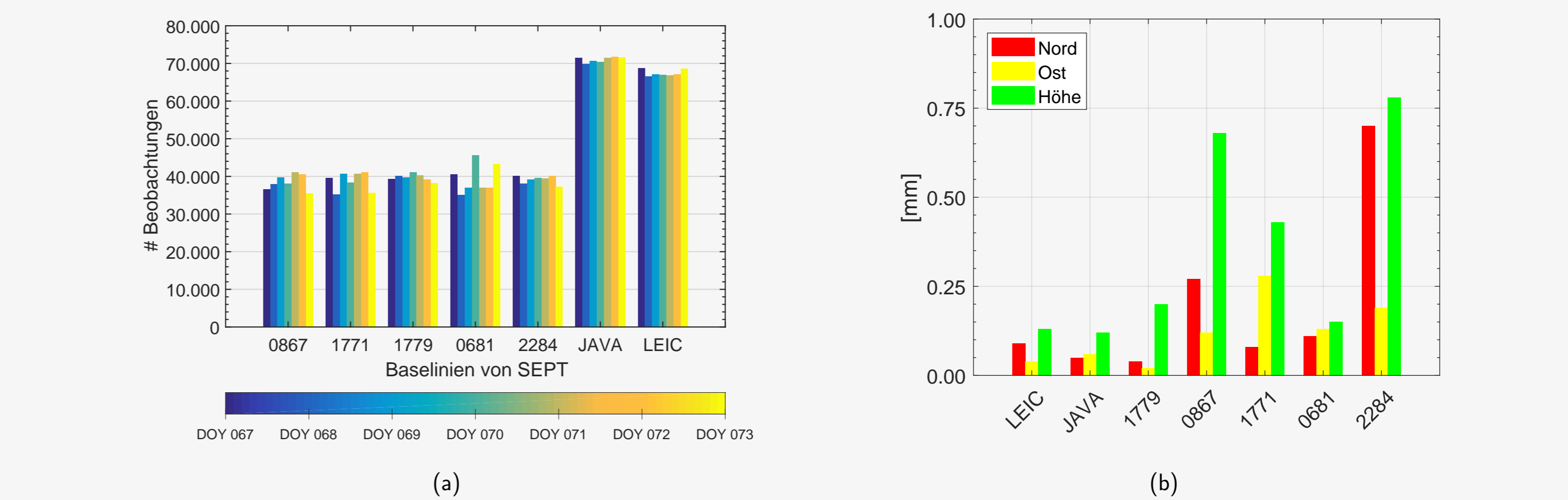


Abb. 8: Zusammenstellung sichtbarer Beobachtungen pro Null-Basislinie, ausgehend vom Referenzempfänger (Septentrio PolaRx5) für alle 7 24h-Sessions (a) und Wiederholbarkeiten der Positionslösung (b).

## Datenverarbeitung

- Bernese 5.2 Prozessierung, GL1C/RL1C Nullbasislinie als Doppeldifferenzlösung, Referenz: SEPT
- CODE Produkte (Satellitenorbit und -uhren), Mehrdeutigkeitslösung: SIGMA-Methode, sin(e)-Gewichtung
- Tageslösungen (7) der individuellen Basislinien auf Normgleichungsebene zusammengeführt
- einzelne, kleinere Probleme bei kostengünstigen Lösungen (mehrere Ausreißer im Datenmaterial)
- insgesamt gute Wiederholbarkeit der Positionslösung (abhängig von vorhandenen Beobachtungen)

## Zusammenfassung

- Auflösung der C/N0 für u-blox LEA/M8T auf  $\pm 1$  dB-Hz, Variationen und Stabilität vergleichbar mit geodätischen GNSS-Empfängern
- mittlere Elevationen (ab 30°) bis Zenit zeigen Phasenrauschen von 2.5 mm, unter 30° Elevation höhere Abweichungen der Trägerphase zu erwarten (3-4 mm)
- Quantile zeigen Normalverteilung innerhalb der Baureihe für Frequenz GPS und GLONASS L1 (C/A), Beobachtungen vergleichbar mit vorherigen Studien und anderer u-blox Firmware [Kersten und Paffenholz, 2016]
- modifizierte Allan-Standardabweichung impliziert weißes Phasenrauschen, erhobene Kenngröße für u-blox Empfänger: 4 mm @ 1 sec
- kostengünstige Empfänger zeigen vergleichsweise gute Resultate im Vergleich zu geodätischen Empfängern
- Streuung der Wiederholbarkeit der Positionslösung für kostengünstige Geräte etwas höher

## Literatur

- Kersten, T. und Paffenholz, J.-A. (2016). Noise Analysis of High Sensitivity GNSS-Receiver for Direct Geo-Referencing of Multi-Sensor Systems. In: *International Association of Geodesy, C4 Symposium*. doi: 10.13140/RG.2.2.13265.33120.
- Paffenholz, J.-A. (2012). *Direct Georeferencing of 3D point clouds with 3D positioning sensors*. Diss., Deutsche Geodätische Kommission bei der Bayerischen Akademie der Wissenschaften.

