

Phasenmehrwege-Detektierung in GNSS-Referenzstations- netzen

Lambert Wanninger

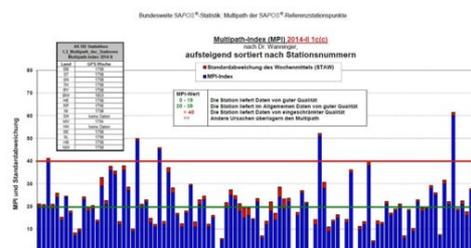
9. Workshop der Auswerterinnen und Auswerter des
Koordinatenmonitorings von SAPOS und DREFonline,
Hannover, 14. März 2018

Stärke der Phasen-Mehrwegeeinflüsse ...

... ist Qualitätskriterium für GNSS-Referenzstationen

Stationeigenschaft → Phasen-Mehrwegedetektierung

... kann durch Stationsbetreiber beeinflusst werden

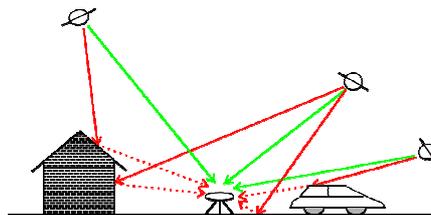


→ große Qualitäts-
unterschiede
zwischen Stationen

Abbildung 2: Ergebnis der Statistik „Multipath-Index (MP-Index) 2014, je SAPOS®-Referenzstation eine Säule
(aus SAPOS-Qualitätsbericht 2015)

Mehrwegeinflüsse

Empfänger verarbeiten
Mischsignal aus direktem
und reflektierten Signalen



Eigenschaften der Phasenmehrwegeinflüsse

- Messabweichungen bis zu wenige cm, verstärkt in Linearkombinationen
- schon bei kleinen Umweglängen (cm)
- Perioden von Minuten (Fernfeld) bis Stunden (Nahfeld)

Codemehrwegeinflüsse haben z.T. andere Eigenschaften

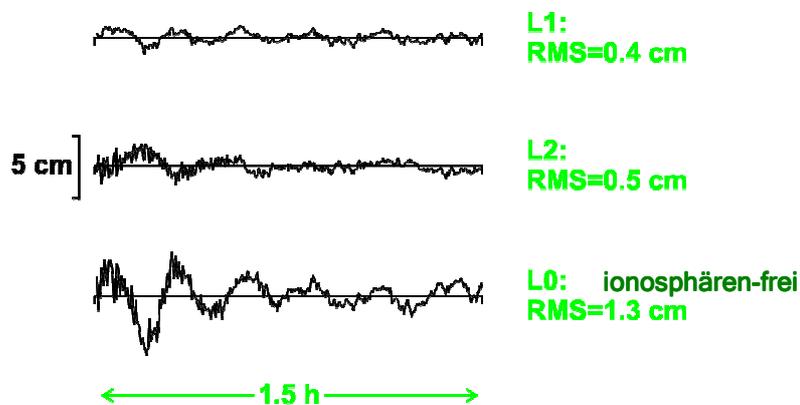
- Codemehrwege um Faktor 100 größer als Phasenmehrwege
- leicht zu erkennen (durch Vgl. mit Phase)
- max. bei Umweglängen von 10 m → andere Reflektoren
→ keine Rückschlüsse von Code- auf Phasenmehrwege möglich

Lambert Wanninger, TU Dresden

3

Phasenmehrwegeinflüsse

Beispiel: Doppeldifferenzresiduen, kurze Basislinie,
aufsteigender Satellit auf einer Station betroffen,
Fernfeld-Mehrwege (d.h. Umweglänge > 1 m, Perioden ~15 Min.)



Lambert Wanninger, TU Dresden

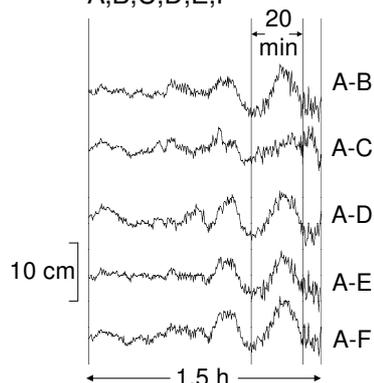
4

Phasenmehrwege-Detektierungsalgorithmus

- in regionalen Referenzstationsnetzen
- Separation von wenig gestörten und stark gestörten Signalen
- Analyse der Doppeldifferenz-Residuen der ionosphären-freien Linearkombination von Zwei-Freq.-Phasenmessungen
- Identifikation über starke Variationen der Residuen in Datenstücken von 15 – 20 Minuten Dauer (Fernfeld-Mehrwege)

Analyse der L0-Doppeldifferenz-Residuen

Beispiel mit 6 Stationen A,B,C,D,E,F



Lambert Wanninger, TU Dresden

5

Phasenmehrwege-Detektierungsalgorithmus

Korrelationsanalyse der Residuen zur Identifikation der betroffenen Station

Basislinie	Std.abw. [mm]	Korrelationskoeffizienten			
		A-C	A-D	A-E	A-F
A-B	31	.66	.95	.94	.96
A-C	14	-	.73	.67	.70
A-D	27	-	-	.94	.97
A-E	26	-	-	-	.93
A-F	30	-	-	-	-

Detektierung:

große Std.abw.
→ Mehrwege detektiert

Lokalisierung:

Mehrheit der Korrelationskoeffizienten > 0.8
→ Mehrwegeefflüsse auf Station A

Ergebnisse unbeeinflusst von:

- Epochenabstand der Beobachtungen (1s ... 30 s)
- Mehrdeutigkeitsfixierung: float / fixed
- Ephemeriden: *broadcast* / präzise
- Antennenkorrekturen: nicht korrigiert / korrigiert

Lambert Wanninger, TU Dresden

6

Softwarerealisierungen

WaSoft/Multipath

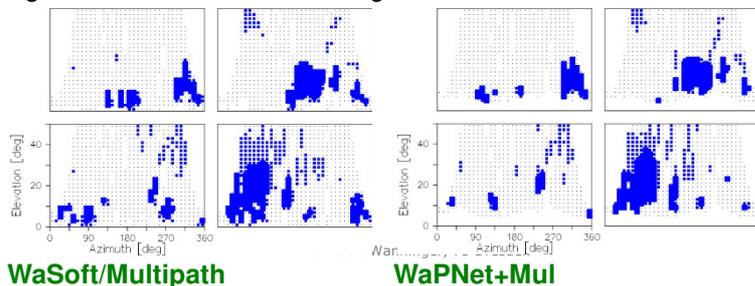
für GPS
RINEX 2

WaPNet+Mul

für GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou, ...
RINEX 2 / 3

- Unterschiede in der Datenaufbereitung
- identischer Detektierungsalgorithmus
- Mehrwegekarten

Vgl. für identische Beobachtungsdaten: 4 Stationen, GPS

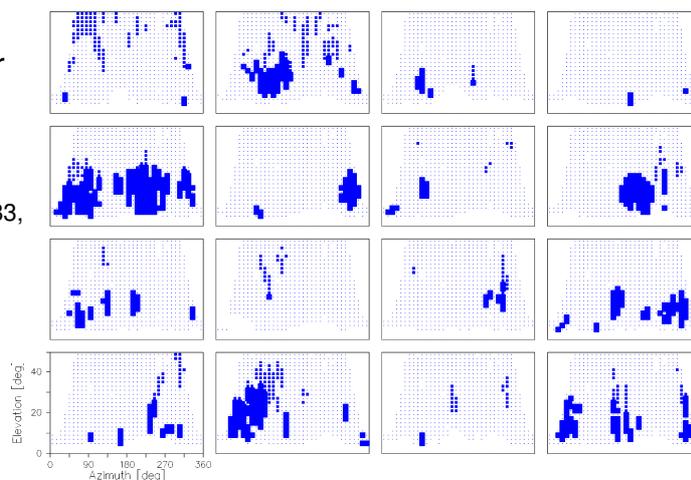


7

Ergebnisse als Mehrwegekarten

Beispiel:
16 Thüringer
SAPOS-
Stationen

GPS-Woche 1983,
Trimble NetR9,
GPS



Punkte: keine erkennbaren Mehrwegeinflüsse
blaue Flächen: mehrwegebeeinflusste Signale

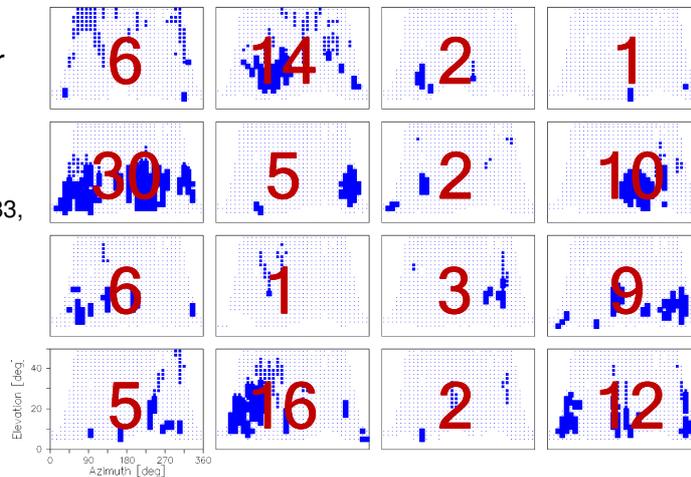
8

Indexwerte

Beispiel:

16 Thüringer
SAPOS-
Stationen

GPS-Woche 1983,
Trimble NetR9,
GPS



Lambert Wanninger, TU Dresden

9

Bei der Analyse zu beachten

Stationen mit starker Mehrwegebeeinflussung verdecken Mehrwegeeffekte auf andere Stationen des Netzes

- iterative Berechnung
- Neuberechnung ohne stark gestörte Stationen

Beispiel:

Erstberechnung Netz A,B,C,D,E,F:

Station B mit sehr großem Indexwert (z.B. > 25),

Stationen A,C,D,E,F mit kleineren Indexwerten

→ **Ergeb. für B**

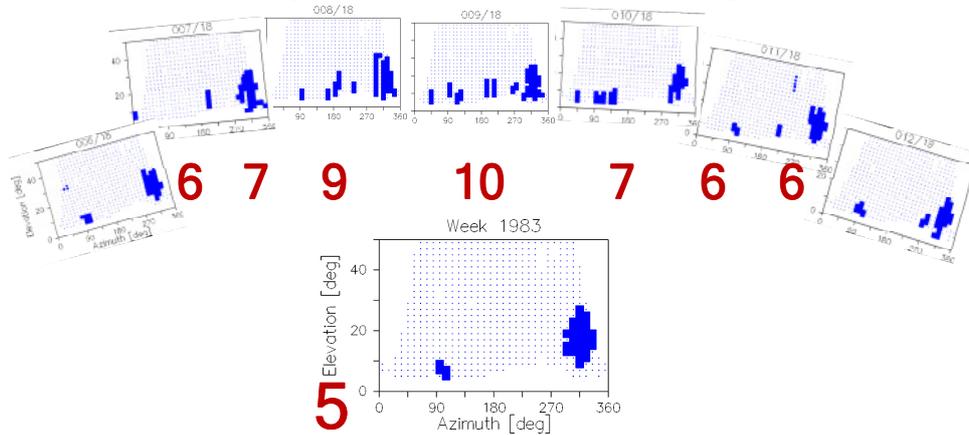
Neuberechnung Subnetz A,C,D,E,F → **Ergeb. für A,C,D,E,F**

Lambert Wanninger, TU Dresden

10

Wochenlösungen

Zusammenfassung von Tagesergebnissen zu Wochenlösungen: „Mehrheitsentscheidung“



Lambert Wanninger, TU Dresden

11

Einflussfaktoren

Einflussfaktoren auf Mehrwegestärke

- Stationsumgebung: Reflektoren, exakte Antennenposition
- Antenne: Mehrwegeempfindlichkeit
- Empfänger: Messverfahren
- verwendete Signale/Frequenzen
- Zeitvariabilität durch Feuchtigkeit, stehendes Wasser, Schnee/Eis
- Zeitvariabilität der Satellitenorbits / -spuren

Einflussfaktoren auf Detektierungsalgorithmus

- Beobachtungsdauer (z.B. sieben 24h-Auswertungen)
- Anzahl Satelliten (weniger Sat. → weniger detektierter Mehrwege)
- i.d.R. geringer Einfluss der Stationsauswahl
- Fehl-Ergebnisse bei Antennen/Empfängerfehlfunktionen, extremen troposphärischen Ereignissen (durchziehende Gewitterfronten)

Lambert Wanninger, TU Dresden

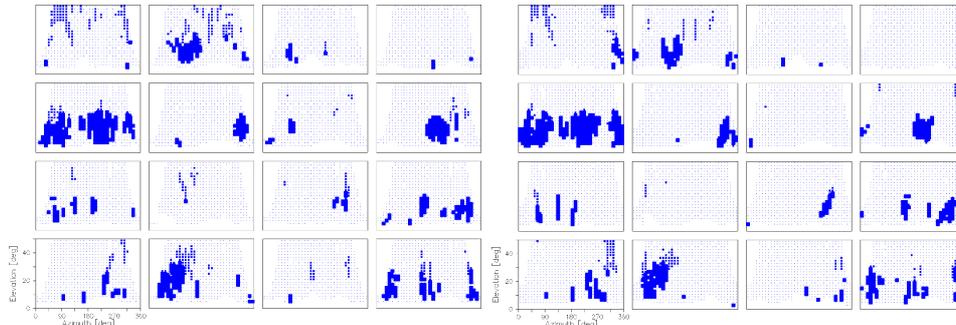
12

Vergleich GPS / GLONASS

GPS, 31 Sat., L1/L2

GLONASS, 23 Sat., G1/G2

16 Thüringer SAPOS-Stationen, Trimble NetR9, GPS Woche 1983



gute Übereinstimmung der unabhängigen Ergebnisse

(GLONASS-Indexwerte meistens etwas kleiner als GPS-Indexwerte,
u.a. wg. geringerer Satellitenanzahl)

Lambert Wanninger, TU Dresden

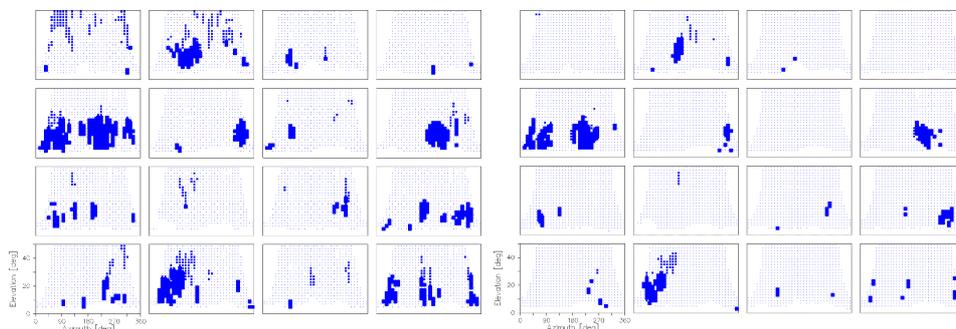
13

Vergleich GPS / Galileo

GPS, 31 Sat., L1/L2

Galileo, 14 Sat., E1/E5

16 Thüringer SAPOS-Stationen, Trimble NetR9, GPS Woche 1983



gute Übereinstimmung der unabhängigen Ergebnisse

(weniger Mehrwege-Detektierung mit Galileo
wg. deutlich geringerer Satellitenanzahl)

Lambert Wanninger, TU Dresden

14

Nutzung der Detektierungsergebnisse

(a) Verbesserung der Station

z.B. veränderte Antennenplatzierung

(b) Gewichtung der Beobachtungen

mehrweegebelastete Beobachtungen werden abgewichtet
bei VRS-Berechnung, bei Basislinienberechnung
→ aber: keine Standards zur Weitergabe von Beobachtungsgewichten

Detektierung → Kalibrierung ?

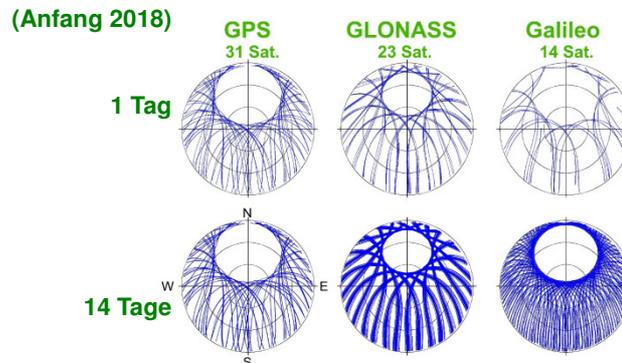
Im Prinzip möglich, aber Mehrweegeinflüsse selbst auf Referenzstationen nur begrenzt zeitlich stabil

Zeitvariabilität durch Feuchtigkeit, stehendes Wasser, Schnee/Eis



Wie kalibrieren in Abhängigkeit von diesen Einflussfaktoren?

Zeitvariabilität der Satellitenspuren



Satellitenspuren wiederholen sich nominell alle

GPS:	1 Tag	Detektierungslücken
GLONASS:	8 Tage	kleinstes Nordloch, Detektierungslücken
Galileo:	10 Tage	sehr gute Gesamtabdeckung
BeiDou-3:	7 Tage	sehr gute Gesamtabdeckung

Lambert Wanninger, TU Dresden

17

Standardisierte Phasen-Mehrwegedetektierung

Kriterien

Beispielfestlegungen

Beobachtungsdauer	7 x 24 h, Tagesergebnisse zusammenfassen
Satellitensystem	GPS (in Zukunft: Galileo, BeiDou, alle ??)
Signale	L1/L2 (in Zukunft L1/L5 ?)
Subnetzgröße	5-6 Stationen
iterative Berechnung	wenn einzelne Stationen Indexwert >25 haben
Indexwert	kein Mittelwert der Tagesindexwerte, sondern Neuberechnung für Wochenergebnis

Lambert Wanninger, TU Dresden

18

Zusammenfassung + Ausblick

Phasenmehrwege-Detektierung liefert Antworten auf:
welche Stationen sind wenig/stark betroffen?
welches sind die dominanten Reflektoren?

Multi-GNSS-Ergebnisse

GPS- / GLONASS- Ergebnisse stimmen gut überein,
Galileo-Ergebnisse (momentan nur 14 Sat.) auch sehr ähnlich

nach Fertigstellung von Galileo/BeiDou

Detektierungsalgorithmus und Indexwertdefinition
sollten überdacht werden