

# Antennenspezifische Effekte - ein aktueller Überblick

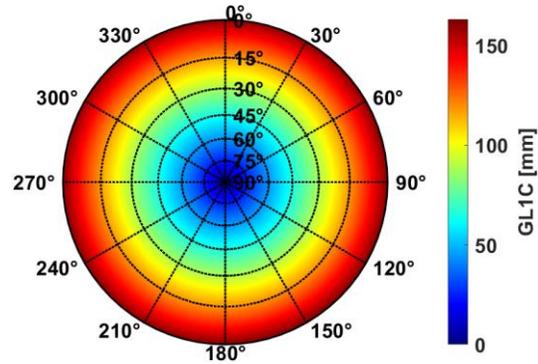
Steffen Schön, **Johannes Kröger**, Tobias Kersten, Yannick Breva

# Motivation

## Antenne



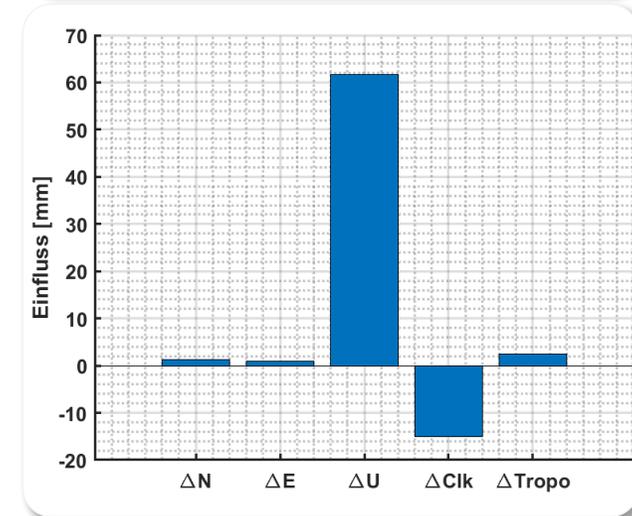
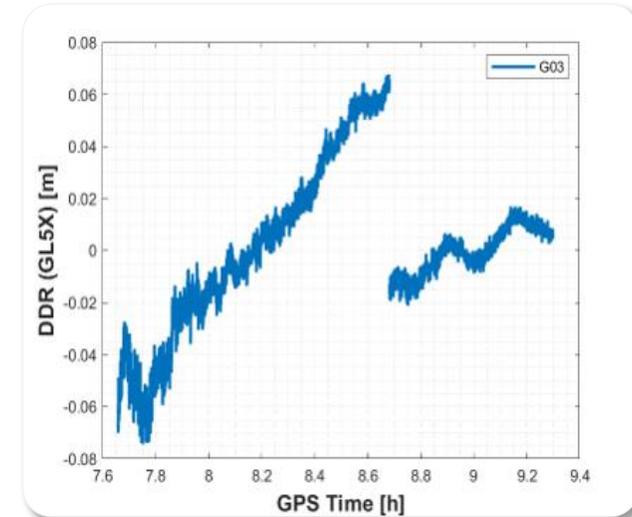
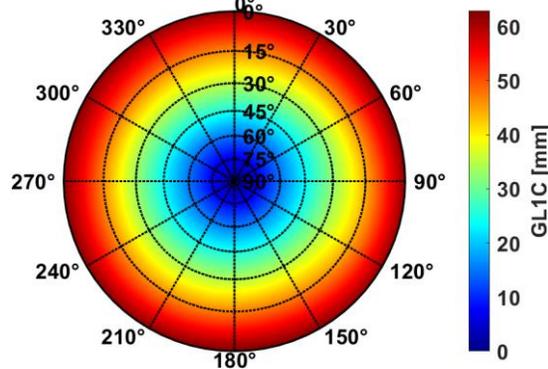
## PCC



## Antenne



## PCC

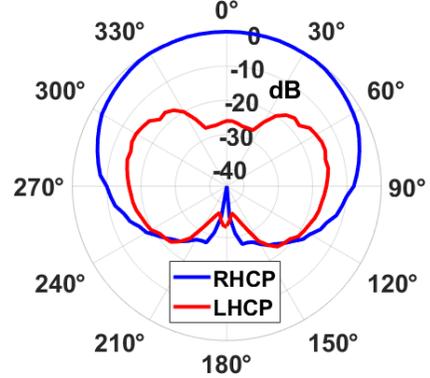


# Motivation

Antenne



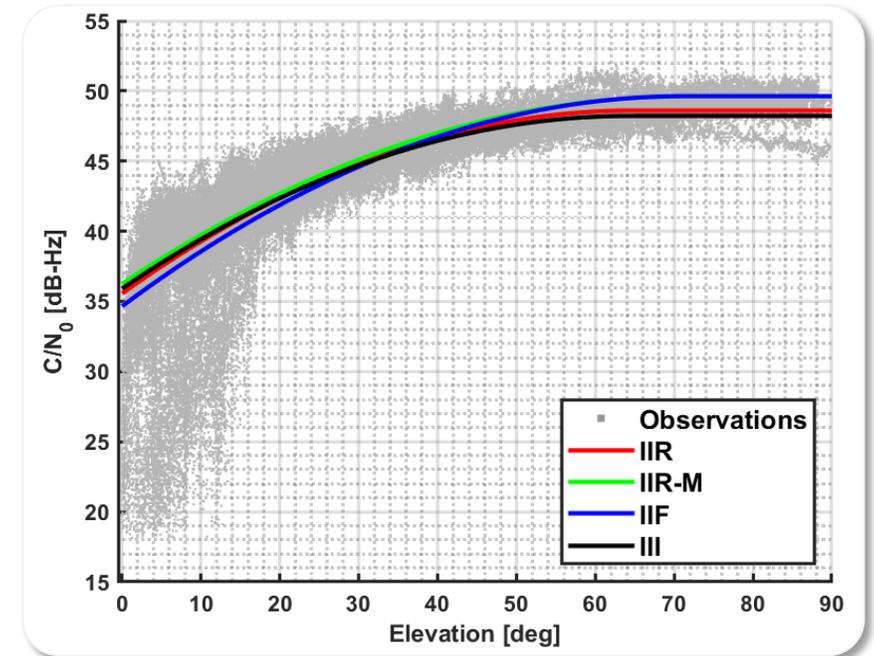
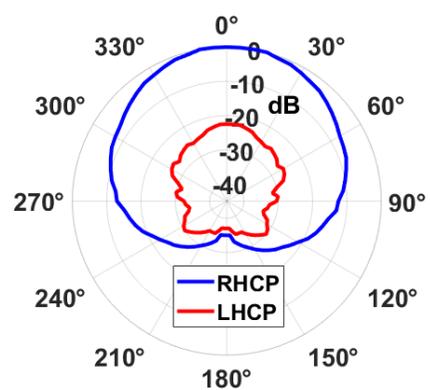
Gewinn



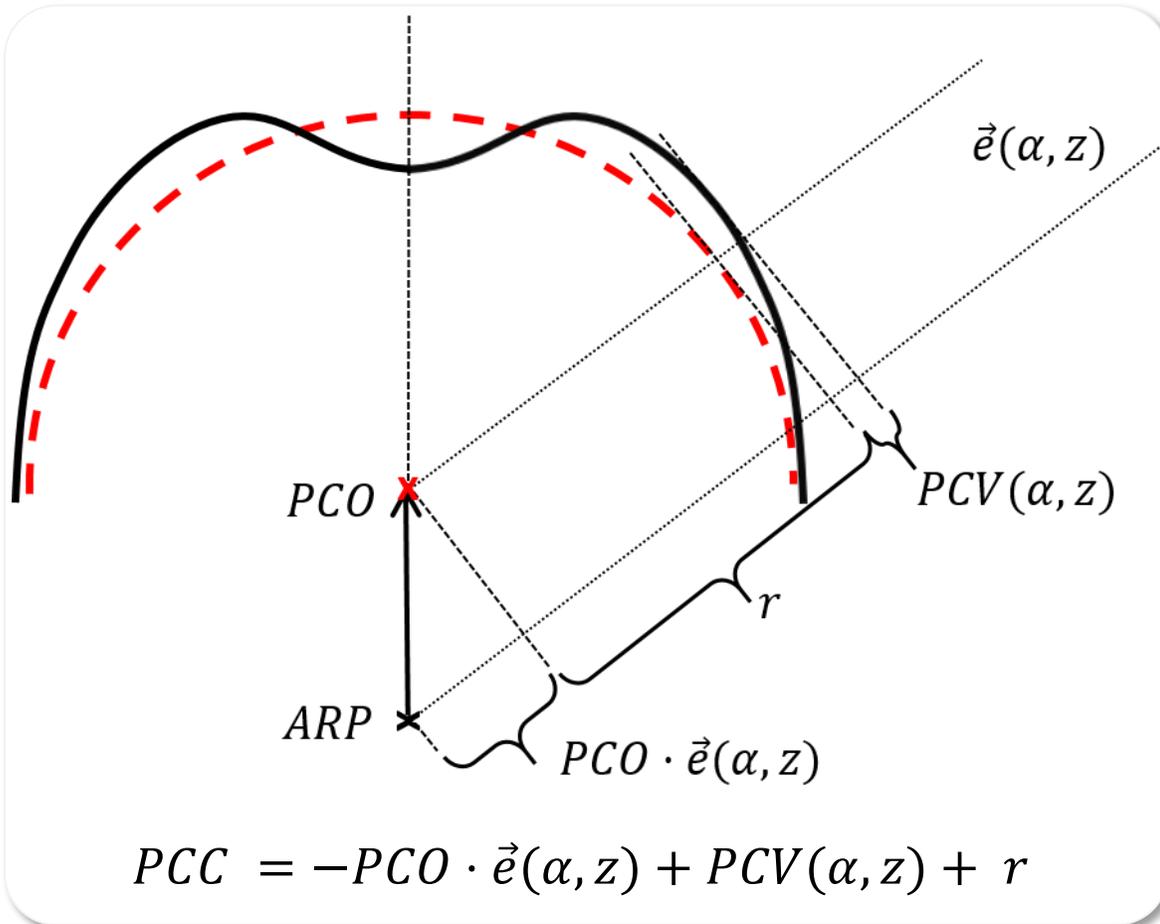
Antenne



Gewinn



# Definition der Phasenzentrumskorrekturen (PCC)



LEIAR20	LEIM	START OF ANTENNA								
ROBOT	Geo++ GmbH	64	09-JUN-19	METH / BY / # / DATE	DAZI					
5.0					ZEN1 / ZEN2 / DZEN					
0.0	90.0	5.0			# OF FREQUENCIES					
25					SINEX CODE					
IGS20_2247					COMMENT					
PCV #a 064 #c 138 #s 268				G01 E01 J01 S01 C01	COMMENT					
PCV #a 064 #c 138 #s 138				G02 J02	COMMENT					
PCV #a 064 #c 138 #s 344				G05 E05 J05 C05 S05 I05	COMMENT					
PCV #a 064 #c 138 #s 135				R01 R04	COMMENT					
PCV #a 063 #c 138 #s 133				R02 R06	COMMENT					
PCV #a 062 #c 138 #s 130				E06 J06	COMMENT					
PCV #a 063 #c 138 #s 263				E07 C07	COMMENT					
PCV #a 057 #c 138 #s 116				E08 C08	COMMENT					
PCV #a 063 #c 138 #s 134				C02	COMMENT					
PCV #a 063 #c 138 #s 133				C06	COMMENT					
a: #antennas, c: #calibrations, s: #sets for frequency										
G01					START OF FREQUENCY					
0.50	0.13	124.88			NORTH / EAST / UP					
NOAZI	0.00	-0.05	-0.22	-0.53	-0.99	-1.58	-2.24	-2.88	-3.40	-3.76
0.0	0.00	-0.04	-0.20	-0.50	-0.95	-1.53	-2.17	-2.78	-3.27	-3.58
5.0	0.00	-0.04	-0.21	-0.51	-0.96	-1.54	-2.19	-2.80	-3.29	-3.59
10.0	0.00	-0.04	-0.21	-0.51	-0.97	-1.56	-2.20	-2.82	-3.31	-3.62
15.0	0.00	-0.04	-0.21	-0.52	-0.98	-1.57	-2.22	-2.85	-3.34	-3.65

DVW-Merkblatt *Berücksichtigung von Antennenkorrekturen bei GNSS-Anwendungen:*  
<https://dvw.de/veroeffentlichungen/merkblaetter>

# Bestimmung von PCC

## Kalibrierverfahren

### Roboter



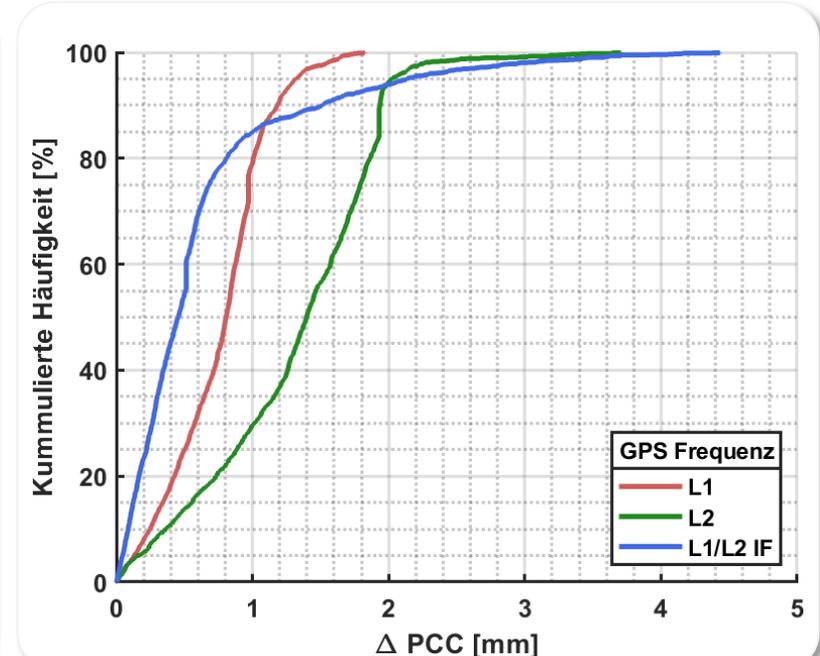
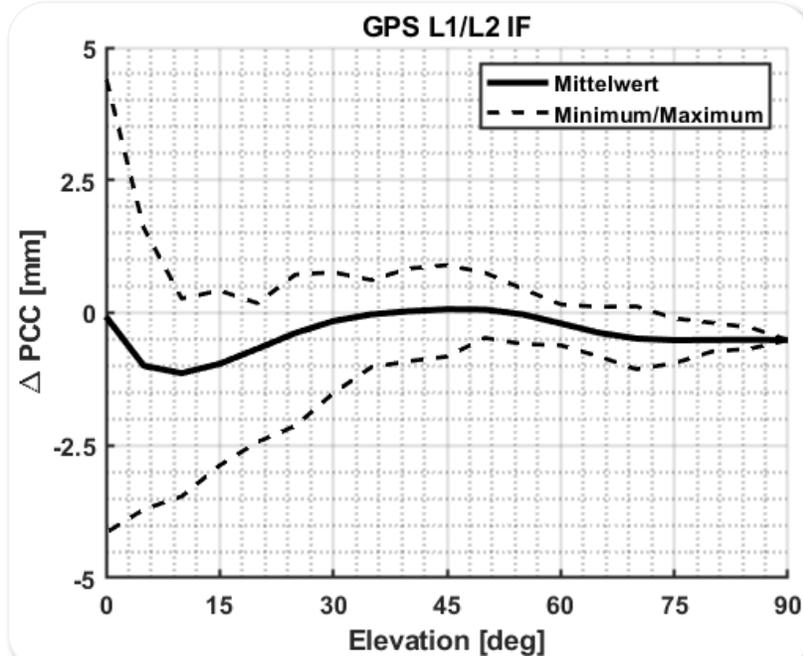
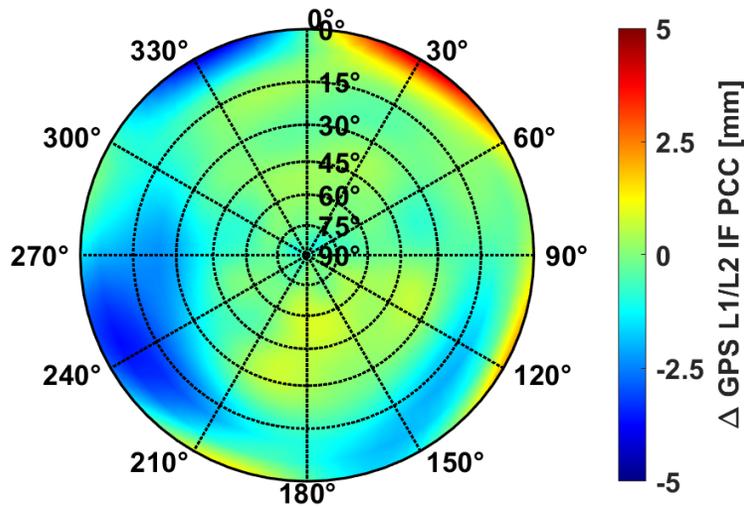
\*.atx Datei

### Kammer



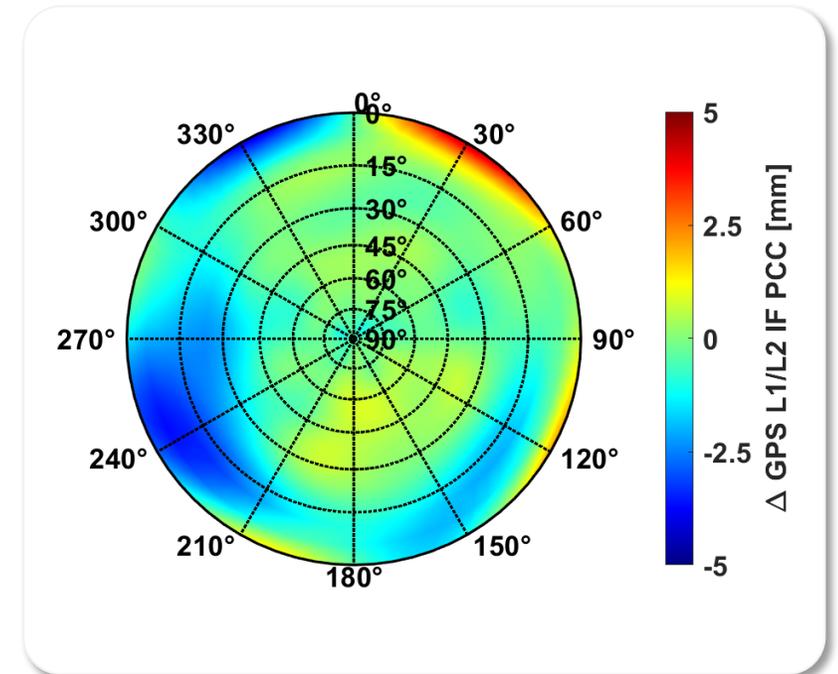
# Vergleich von PCC: graphische Maße

- Konsistente Betrachtung von PCO und PCV (=PCC) für jede Frequenz
- $\Delta PCC = PCC_i - PCC_j$ , keine weiteren Transformationen notwendig
- Verstärkung der  $\Delta PCC$  für Linearkombinationen (z.B. ionosphären-freie Linearkombination IF)



# Vergleich von PCC: skalare numerische Maße

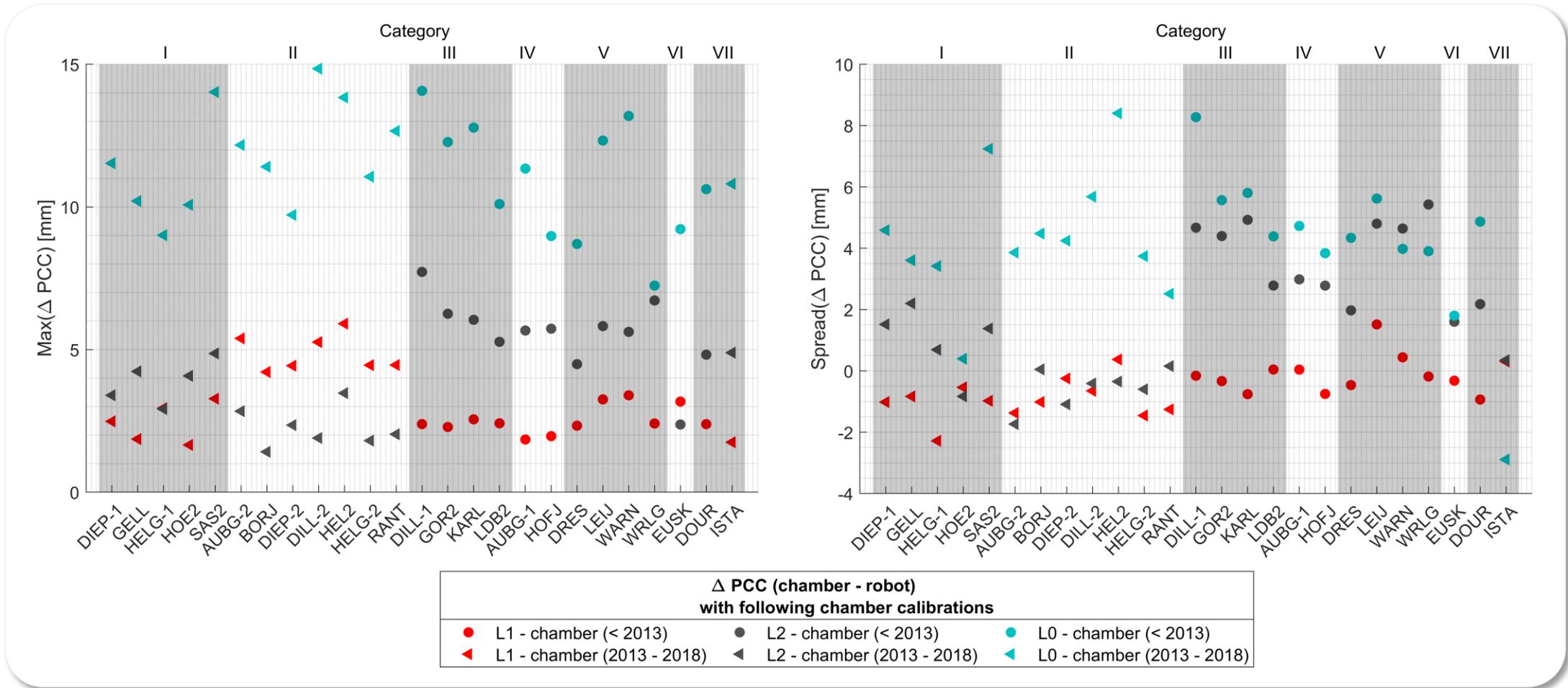
- Skalare Maße als Vergleichsgrößen:
  - Maximale Abweichung
  - Standardabweichung
  - Range:  $\max(\Delta PCC) - \min(\Delta PCC)$
  - Spread:  
$$s = (\max(PCC_i) - \min(PCC_i)) - (\max(PCC_j) - \min(PCC_j))$$
  - Korrelationskoeffizient
- Bevorzugte Wahl: unabhängig von konstantem Anteil  $\Delta r$  in  $\Delta PCC$  (nicht der Fall für  $\max(\Delta PCC)$ )
- Räumliche Struktur der  $\Delta PCC$  geht verloren



Kröger, J., T. Kersten, Y. Brea & S. Schön (2022). *On the Potential of Image Similarity Metrics for Comparing Phase Center Corrections*. in J. T. Freymueller (Hrsg.), *International Association of Geodesy Symposia (International Association of Geodesy Symposia)*. Springer Nature. [https://doi.org/10.1007/1345\\_2022\\_146](https://doi.org/10.1007/1345_2022_146)

Kersten, T., J. Kröger & S. Schön (2022). *Comparison concept and quality metrics for GNSS antenna calibrations*. In: *Journal of Geodesy* 96.7. DOI: 10.1007/s00190-022-01635-8.

# Vergleich von PCC: Beispiel 25 AR25-Antennen des GREF/EPN



Kersten, T., J. Kröger & S. Schön (2022). Comparison concept and quality metrics for GNSS antenna calibrations. In: Journal of Geodesy 96.7. DOI: 10.1007/s00190-022-01635-8.

# IGS Ringkalibrierung – aktueller Stand

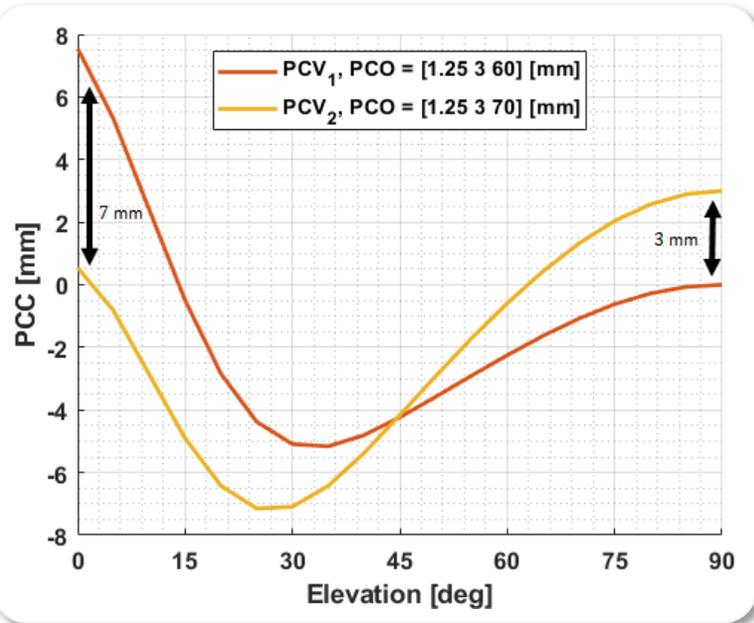
- Start September 2022 mit Beiträgen verschiedenster Akteure/Methoden:
  - **Unterschiedliche Roboter und Ansätze:**  
Geo++, Institut für Erdmessung, GeoScience Australia  
National Geodetic Survey, Topcon Italy, ETH Zürich, GNSS Research Center Wuhan
  - **Kammerkalibrierungen:** Uni Bonn, DLR Oberpfaffenhofen
- Analyse geodätischer Antennen: 4x Choke Ring Antennen, 1x Zephyr II, 1x Roverantenne

## Ziel

- Koordiniertes Konzept für den Austausch der PCC (Größenordnungen, Stabilität, ...)
- Bewertung von Qualitätsmetriken der Verfahren und Einrichtungen
- Festlegung von Verfahren für den einheitlichen Vergleich von PCC-Sätzen

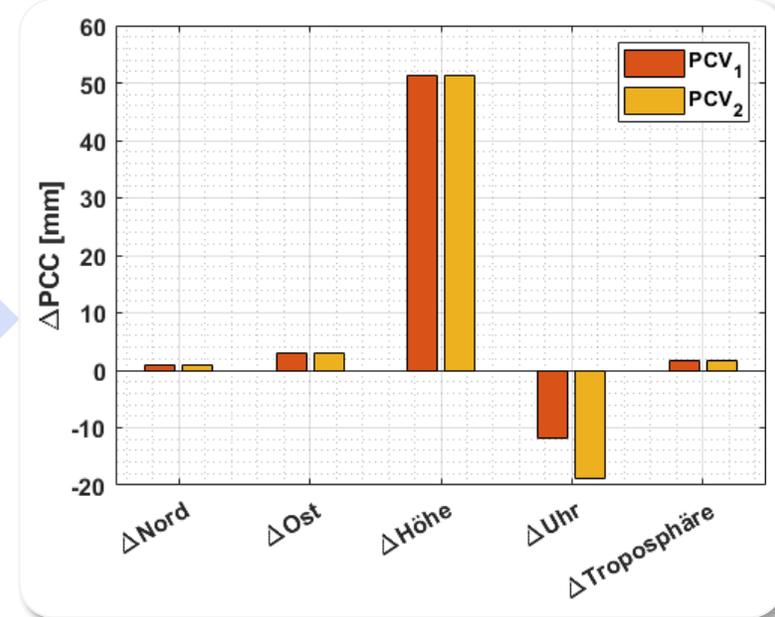
Kersten, T., J. Kröger & S. Schön (2023). Comparing GNSS receiver antenna patterns: methods and metrics. EUREF 2023 Symposium, Göteborg, Schweden.

# Validierung von PCC: simulativer Ansatz



## Prozessierungsparameter

- Zeit(raum) & Ort (Satellitengeometrie)
- Messfrequenz
- Signale/Linearkombinationen
- Cut-off Winkel
- Beobachtungsgewichtung

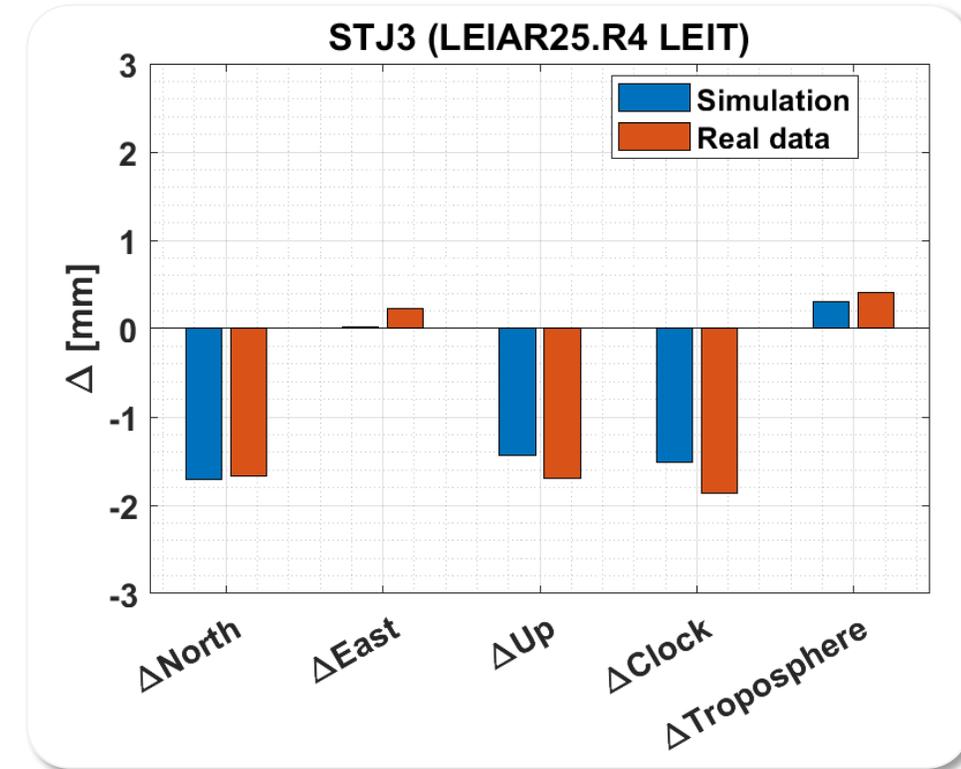


Brekenkamp, M., J. Kröger & S. Schön (2022). Einfluss von Phasenzentrumskorrekturen auf die Positionsebene: ein simulativer Ansatz. *Frontiers of Geodetic Science*, Essen, Nordrhein-Westfalen, Deutschland.

Kröger, J., T. Kersten, Y. Brevia, M. Brekenkamp & S. Schön (2022). Impact of Different Phase Center Correction Values on Geodetic Parameters: A Standardized Simulation Approach. Abstract von European Geophysical Union (EGU) 2022, Vienna, Österreich. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu22-1146>

# Validierung von PCC: Precise Point Positioning (PPP)

- 2 PPP Prozessierungen mit identischen Einstellungen, Variation der PCC
- Bildung von Differenzen  
→ Einfluss  $\Delta$ PCC auf geodätische Parameter
- Ergebnisse grundsätzlich identisch zum simulativen Ansatz (Vorwärtsrechnung), allerdings:
  - Unterschiedliche Gewichtung oder cut-off Winkel durch Nutzung der Signalstärke
  - Ausreißertest
  - Betrachtung Mehrdeutigkeiten
  - Erweiterte Troposphärenmodelle (z.B. Schätzung horizontaler Gradienten)

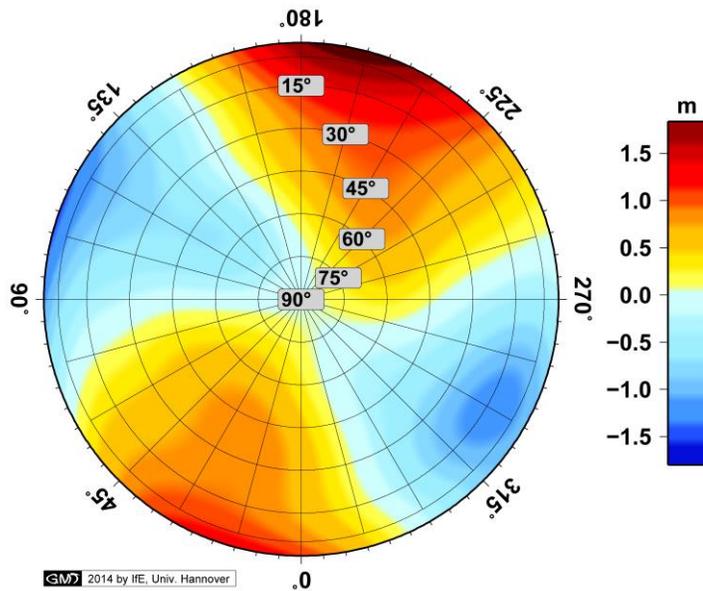


Kröger, J., T. Kersten, Y. Brevia & S. Schön (2022). **How Do Different Phase Center Correction Values Impact GNSS Reference Frame Stations?** IAG International Symposium on Reference Frames for Applications in Geosciences (REFAG 2022), Thessaloniki, Griechenland.

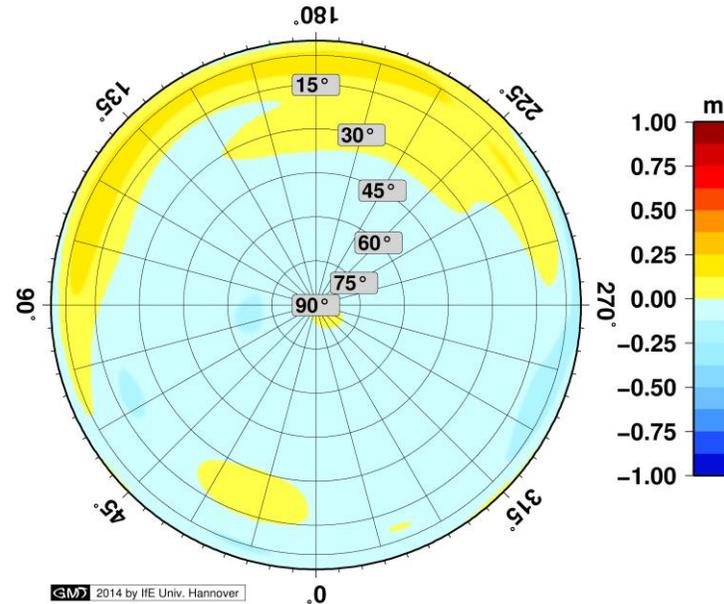
# Group Delay Variationen (GDV)

- Neben PCC existieren auch Korrekturen für Code-Beobachtungen → GDV
- Größenordnungen bis in den Meterbereich für Massenmarkt-Antennen
- Insbesondere notwendig für Auswertungen mit Code- & Phasenbeobachtungen (z.B. PPP)

GDV: Patchantenne



GDV: LEIAR25.R3 LEIT



Aktuelle Fragestellung:  
Bezugspunkt der Code-  
Beobachtungen?

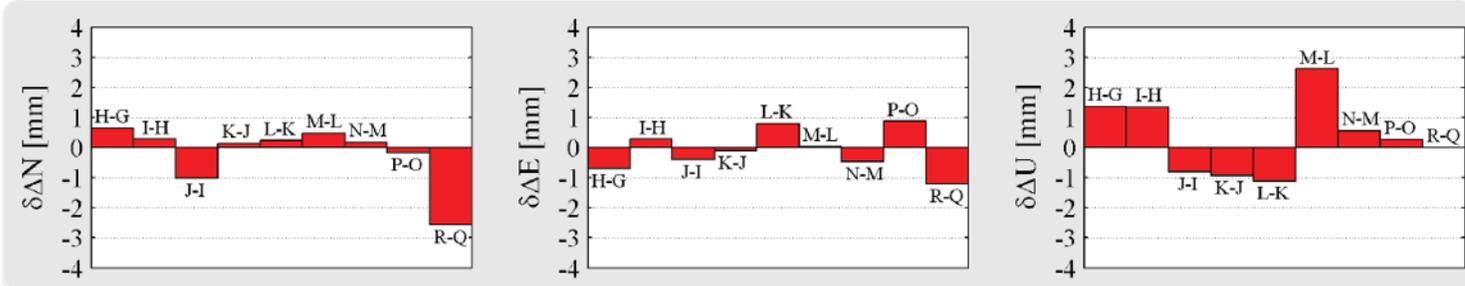
Kersten, T. (2014). Bestimmung von Codephasen-Variationen bei GNSS-Empfangsantennen und deren Einfluss auf die Positionierung, Navigation und Zeitübertragung. PhD Thesis, DGK C740 doi; 10.15488/4003

# Scheinbare Koordinatenänderungen durch Antennenwechsel

- Koordinatendifferenzen trotz gleichem geometrischen Bezugspunkt
- Unterschiedliche Sensitivität der Antenne gegenüber der Stationsumgebung (Antennengewinn)
- **Lassen sich Koordinatendifferenzen durch Messaufbau erklären/verringern?**

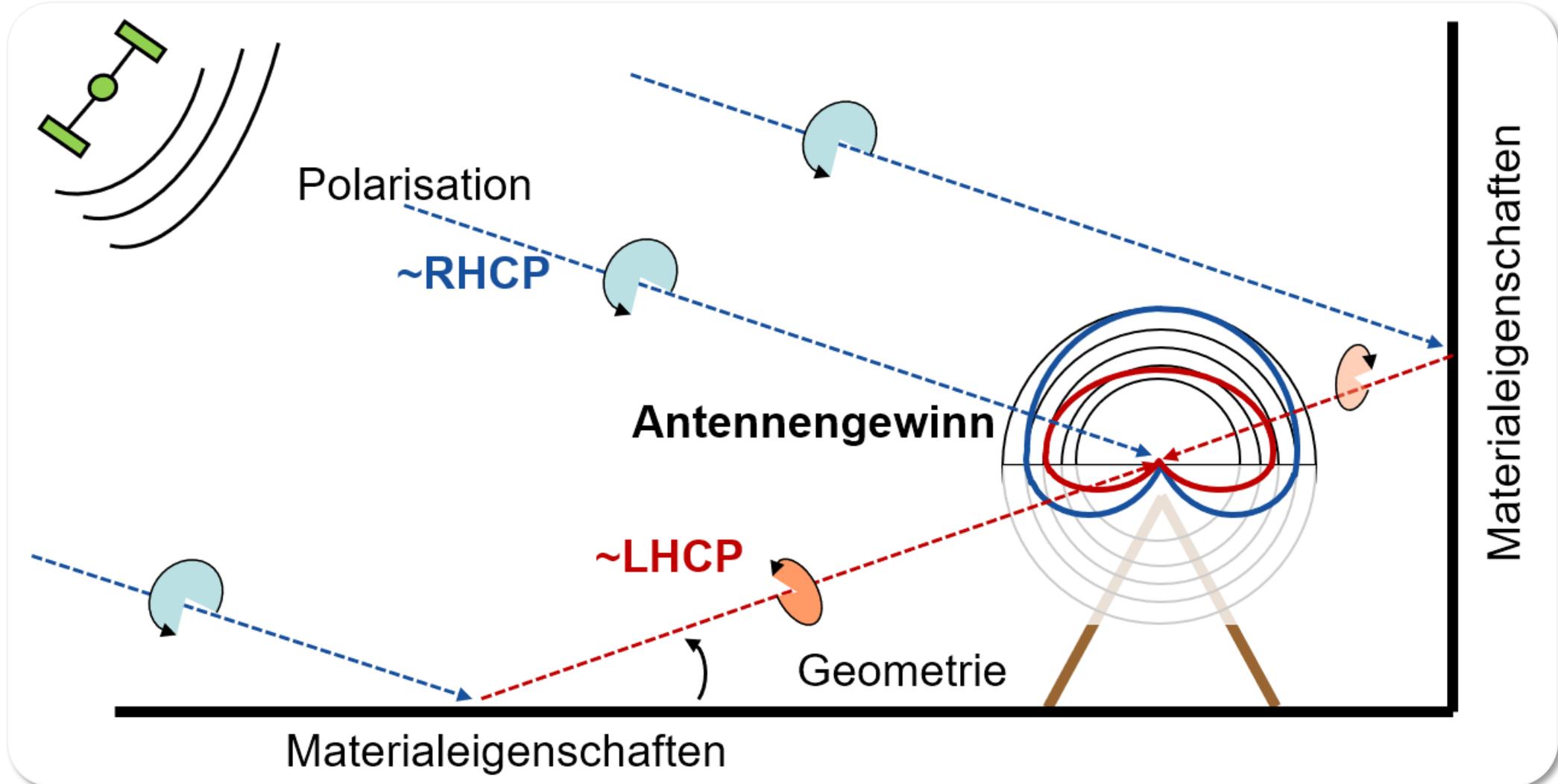


Verwendung Höhenadapter:  
 → identische Distanz  
 Reflektor ↔ Empfangspunkt  
 → **geringerer Einfluss auf Koordinatenebene?**

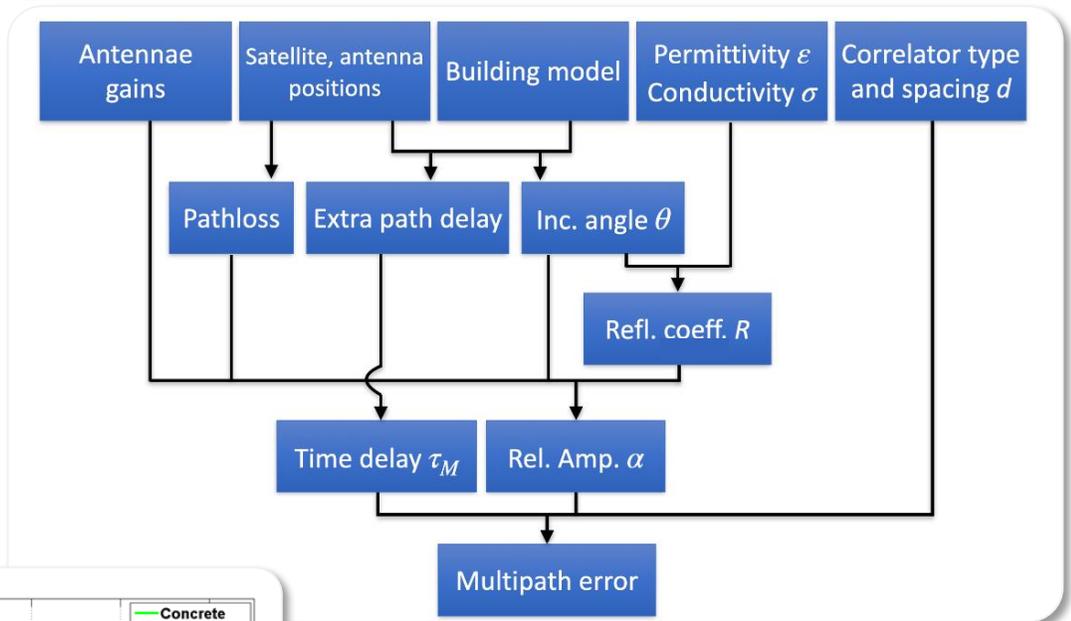
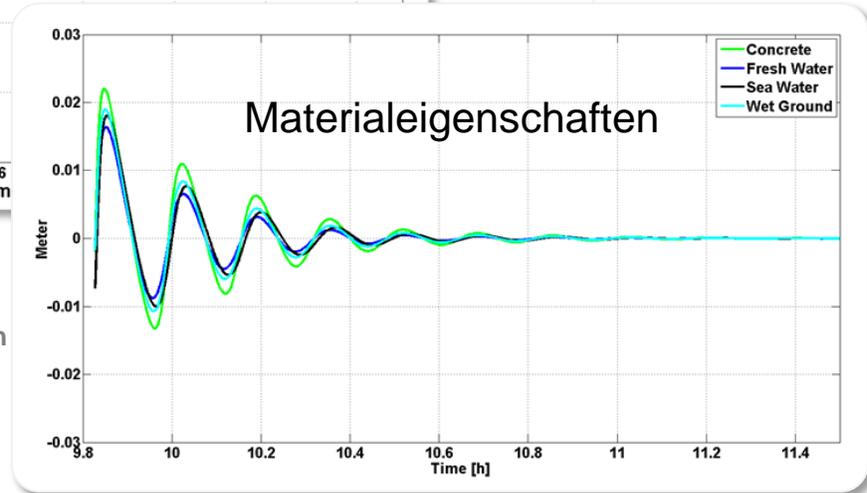
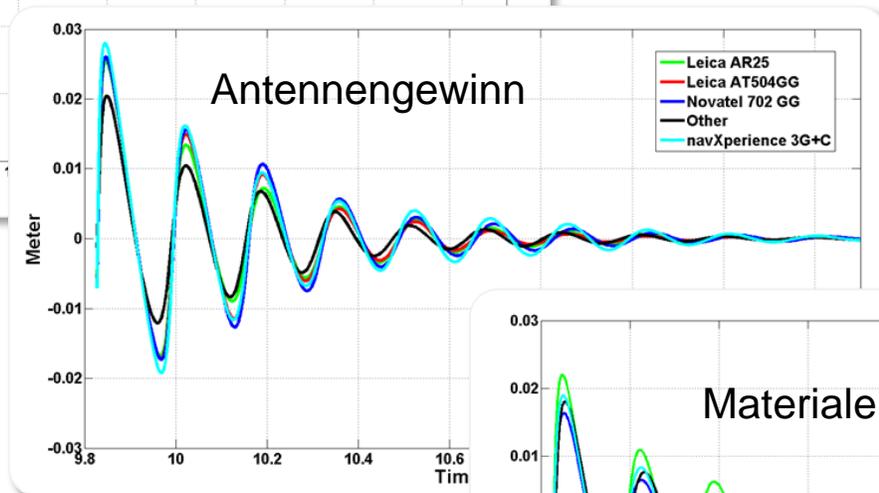
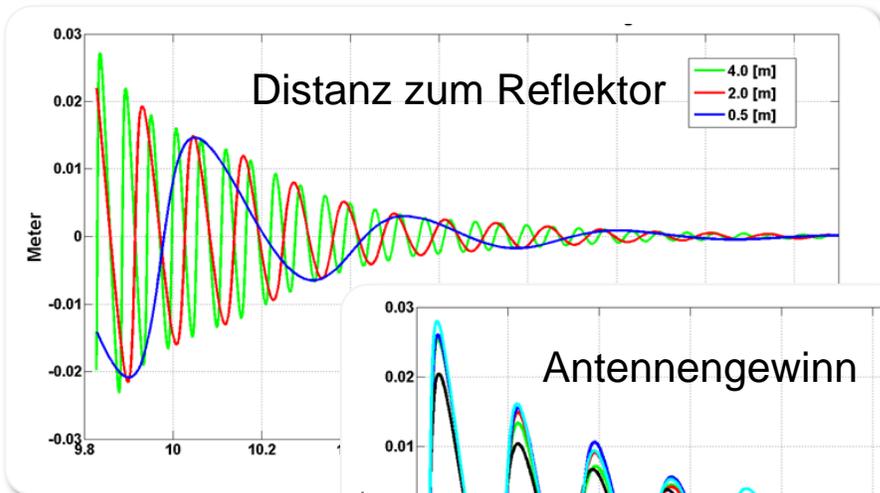


Krawinkel T., N. Lindenthal & S. Schön (2014). Scheinbare Koordinatenänderungen von GPS-Referenzstationen: Einfluss von Auswertestrategien und Antennenwechseln, zfv 139(4), S. 252-263

# Antennengewinn und Mehrwegeeffekte



# Antennengewinn und Mehrwegeeffekte



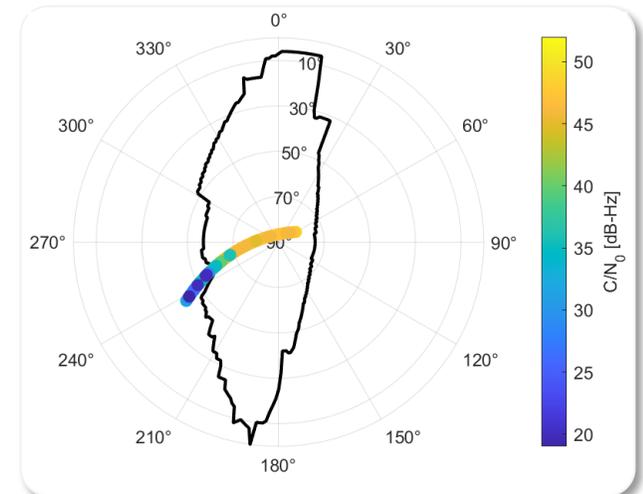
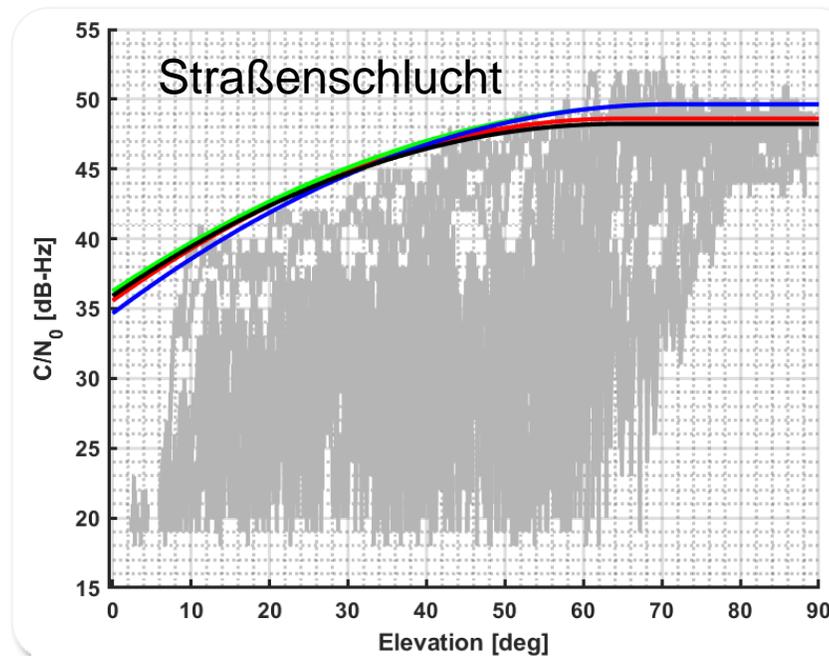
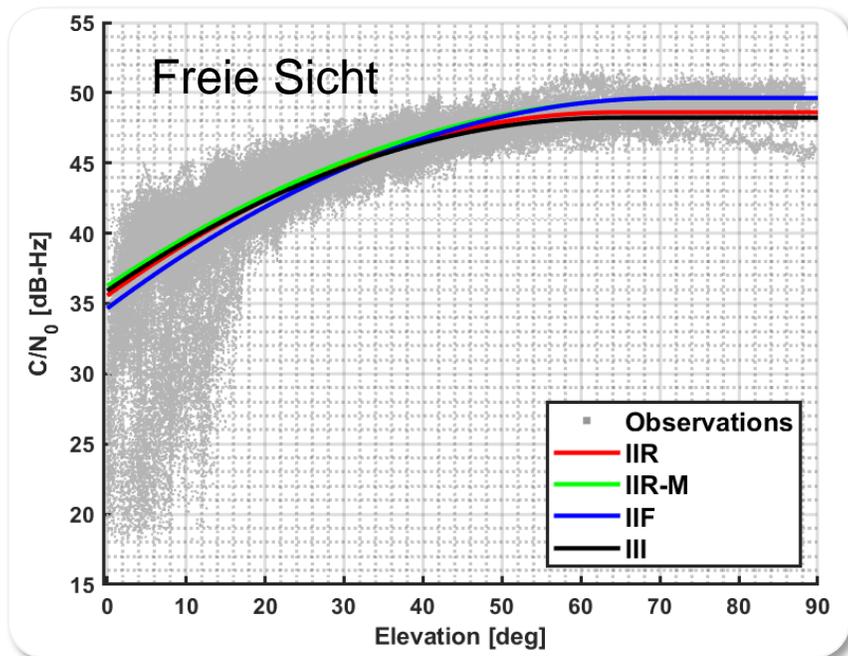
$$\varphi_{MP} = \text{atan} \left( \frac{\alpha \sin \left( \frac{2\pi\delta}{\lambda} \right)}{1 + \alpha \cos \left( \frac{2\pi\delta}{\lambda} \right)} \right)$$

Icking, L., F. Ruwisch & S. Schön (2022). **Multipath characterization using ray-tracing in urban trenches.** Proc. IAG Sc.Meeting Beijing

Smyrniotis, M. (2016). **Carrier-phase multipath in satellite-based positioning** (pp. xv-148). Dissertation Leibniz Universität Hannover.

# C/N<sub>0</sub> als Qualitätsindikator

- Elevationsabhängiger Verlauf (bedingt durch Antennengewinn) meist nur in freier Sicht beobachtbar  
→ Antennen-Empfänger abhängige Templatefunktion für geeignete Gewichtung



Schaper, A., F. Ruwisch & S. Schön (2022). Diffraction Modeling for Improved 3DMA GNSS Urban Navigation. In: 35th International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation, ION GNSS+ 2022 (S. 1870-1884) <https://doi.org/10.33012/2022.18541>

# Zusammenfassung

- Antenne erstes Element der Verarbeitungskette von GNSS-Signalen
  - unterschiedliche Empfangssensitivität für direkte und reflektierte Signalkomponenten
  - Auswahl geeigneter Antenne entscheidend für erreichbare Positionsgüte
- Anbringung von PCC unabdingbar für präzise und genaue Positionierung
  - $\Delta$ PCC für identische Antennen präsent, Vergleichsstrategien vorgestellt
  - IGS Ringkalibrierung für einheitlichen Vergleich von  $\Delta$ PCC
- Antennenspezifische Korrekturen für Codebeobachtungen notwendig
  - Bezugspunkt?
- Einfluss des Antennengewinns auf Mehrwegeeffekte & Beobachtungsruschen
  - Scheinbare Koordinatenänderungen durch Antennenwechsel
  - Elevationsabhängigkeit der Signalstärke

**Steffen Schön | Johannes Kröger | Tobias Kersten | Yannick Breva**

**Institut für Erdmessung**

Schneiderberg 50

D-30167 Hannover, Germany

phone + 49 - 511 - 762 3397

fax + 49 - 511 - 762 4006

web <http://www.ife.uni-hannover.de>

mail [schoen](mailto:schoen) | [kroeger](mailto:kroeger) | [kersten](mailto:kersten) | [breva@ife.uni-hannover.de](mailto:breva@ife.uni-hannover.de)

