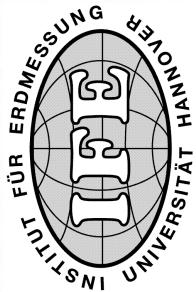


Absolutkalibrierung: Aktueller Stand und spezielle Anwendungen



Falko Menge, Volker Böder, Günter Seeber
(IfE)

Gerhard Wübbena, Martin Schmitz
(Geo++® GmbH)

Inhalt:

- Einführung/Rückblick
- Absolute Feldkalibrierung
 - Beispiele/Ergebnisse TRM22020.00
- Kammer- und Feldkalibrierung
- Absolute PCV: Entwicklung, Politik
- NULLANTENNE - Berechnung/Anwendung
- Zusammenfassung/Ausblick



Einführung/Rückblick (1)

► Workshops 1999-2000

► Gruppe Hannover: Absolute Feldkalibrierung

- ✓ Grundlagen: Fehlerhaushalt, Antennen, PCV-Beschreibung
- ✓ Kalibrierungsverfahren: Offset, relativ (Feld), absolut (Kammer, Feld), Übersicht, Vergleich, Vor- und Nachteile
- ✓ Absolute Feldkalibrierung: Entwicklung zum automatisierten Echtzeitverfahren (Trennung MP und PCV)
 - Multipath-Elimination, Roboter/Kalibrierung, Antennenüberdeckung ...
 - Genauigkeiten, Auflösungsvermögen, azimutale PCV ...
 - Beispiele: Kalibrierungen und Anwendungen ...
- ✓ Diskussion: Absolute PCV AOAD/M_T, Thematik Nullantenne ...



Einführung/Rückblick (2)

► Entwicklungen 2000 - 2001

► Gruppe Hannover: Absolute Feldkalibrierung

- ✓ Weitere Detailuntersuchungen des Verfahrens und Kalibrierung Vielzahl unterschiedlicher Antennen
 - ✓ Internationale Publikationen und Diskussionen (IGS, ION GPS-2000)
 - ✓ Internet-Publikation der absoluten PCV AOAD/M_T
(http://www.ife.uni-hannover.de/~web/AOA_DM_T)
 - ✓ Nationale Diskussion Nullantenne (SAPOS, AdV) ...
- Massstabs-Problematik „Grosses Netz“ (IGS)
- ...



Absolute Feldkalibrierung



► Genauigkeit und Auflösungsvermögen

► Genauigkeit/Wiederholbarkeit, z.B. ION GPS-2000

✓ innere Genauigkeit (Beispiel):

- ⇒ Standardabweichung azimuthal homogen
- ⇒ abfallend zum Horizont (Antennenempfang, Beob., Zenitbedingung)
- ⇒ 0.2-0.3 mm (0.4 unterhalb 5°) / 1σ / realistisch zu Wiederholbarkeit
- ✓ Wiederholbarkeit (Beispiel L1, Vergleich Einzelkalibrierungen):
- ⇒ +/- 0.5 mm (90° - 10° Elv.), Differenzen bis 1 mm (0°), vereinzelt grösser

► HIER: Ausführliche Darstellung am Beispiel TRM22020.00

- ✓ Geodätische Antenne - Rover-Antenne
- ✓ ohne GP: grosse symmetrische azimuthale PCV
- ✓ Vergleich unterschiedlicher Kalibrierungen für diese Antenne
- wichtig: Umrechnung auf identischen ARP, nicht individuellen Offset !

Absolute Feldkalibrierung



- **Vergleich Ergebnisse operationeller Kalibrierungen**
- **Stationsunabhängigkeit/Wiederholbarkeit (TRM22020.00-GP)**
 - ✓ Δ Ort (IfE, Geo++)
 - ✓ Δ Zeit (Tages-, Jahreszeit ...)
 - ✓ Δ Wetter (Trocken, Regen, Schnee, Schneematsch, Wind ...)
 - ✓ Δ Roboter (Roboter 1 und Roboter 2, Δ Kalib./ Δ Performance)
 - ✓ Δ Referenzantenne (Ashtech/Javad ..., Geodetic, CR, Dome ...)
 - ✓ Δ Hardware (Δ Empfänger ...)
 - ✓ Δ Einspannung (Test: Drehung)
 - ✓ gleicher Typ, andere individuelle Antenne
- **Δ MP/Messprogramm/Stationseinflüsse ... (12 Kalib., >50 Einzelkalib.)**
- **Antennenveränderungen**
 - ✓ +GP, extra GP, Abstand GP, TCWD

Absolute Feldkalibrierung

→ Beispiel: Verfahrensentwicklung

- ✓ Nutzung „negative Elevationsmaske“ (Bdg.: stetiges Signal)

TRM22020.00-GP_Diff_Elv.Maske_L1

→ „alte“ Kalibrierung ohne

neg. Elev.maske

→ Differenzen im Bereich
Horizont (L1 bis 3.5 mm)

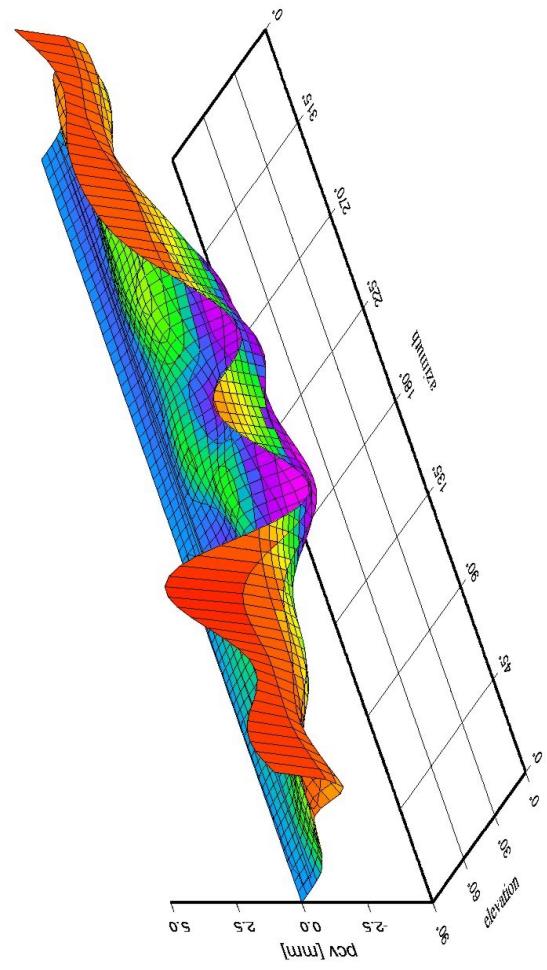
→ Sigma:

L1: 1.2 mm

L2: 1.3 mm

L0: 2.3 mm

(besser $> 10^\circ$)



Absolute Feldkalibrierung

► Beispiel: Typ- und Individualkalibrierung



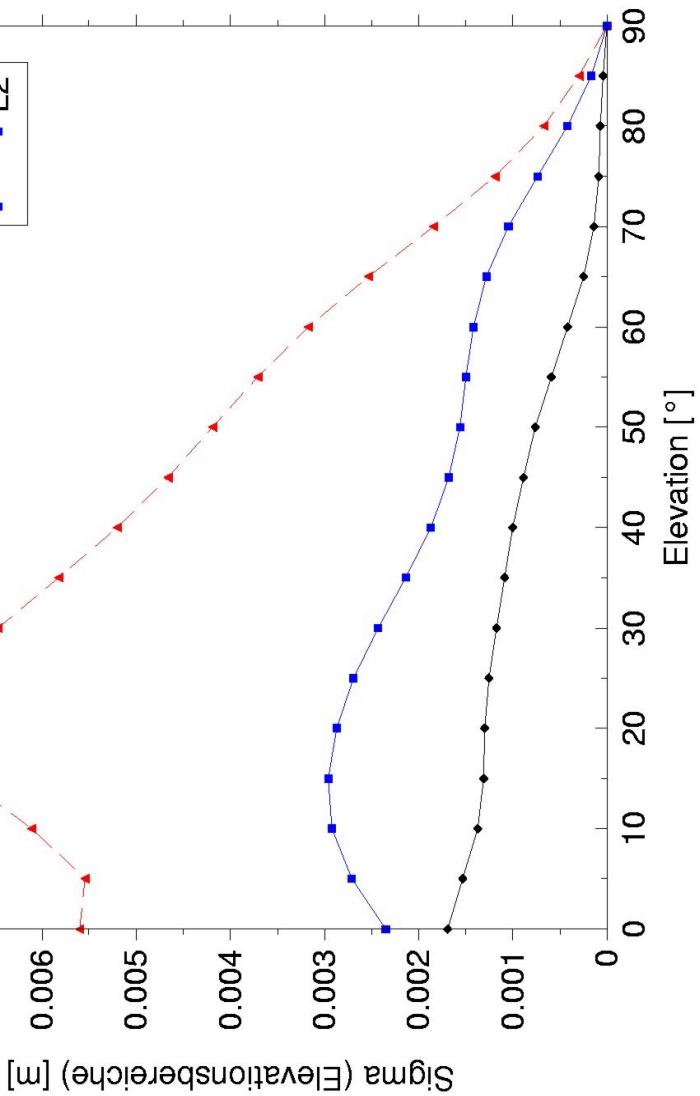
Absolute Feldkalibrierung mit Roboter (Echtzeit) – PCV (az,elv)
Vergleich von 2 Antennen gleichen Typs (TRM22020.00-GP)

→ 2x TRM22020.00-GP

→ Differenzen
(tlw. typabhängig)

→ Sigma:

L1: 1.0 mm
L2: 1.9 mm
L0: 4.7 mm



Absolute Feldkalibrierung

► Übersicht: Differenzen verschiedener Kalibrierungen

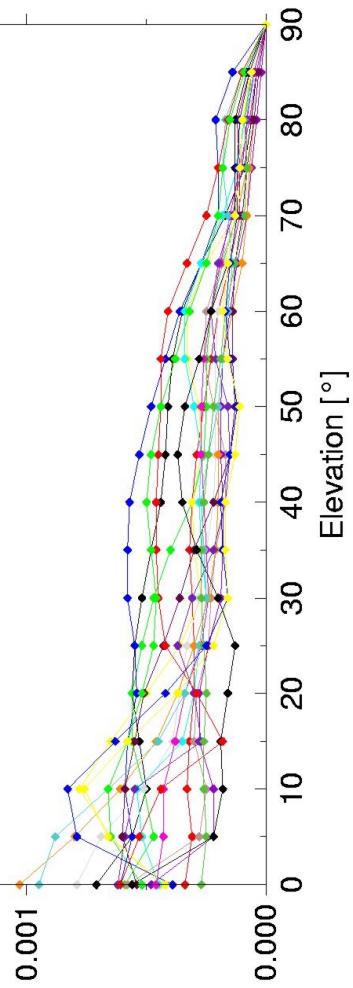
► Beispiele

Sigma L1 ($0^\circ/10^\circ$) [mm]:

Aug.00-Nov.00: 0.5/0.4
Nov.00-Dez.00: 0.3/0.8
Dez.00-Feb.(1)01: 0.3/0.5
Dez.00-Feb.(2)01: 0.3/0.6
Aug.00-Apr.01: 0.4/0.4
.....

Absolute Feldkalibrierung mit Roboter (Echtzeit) – PCV (az,elv)
Vergleich unabhängiger Kalibrierungen TRM22020.00–GP (L1)

Sigma (Elevationsbereiche) [m]



Absolute Feldkalibrierung

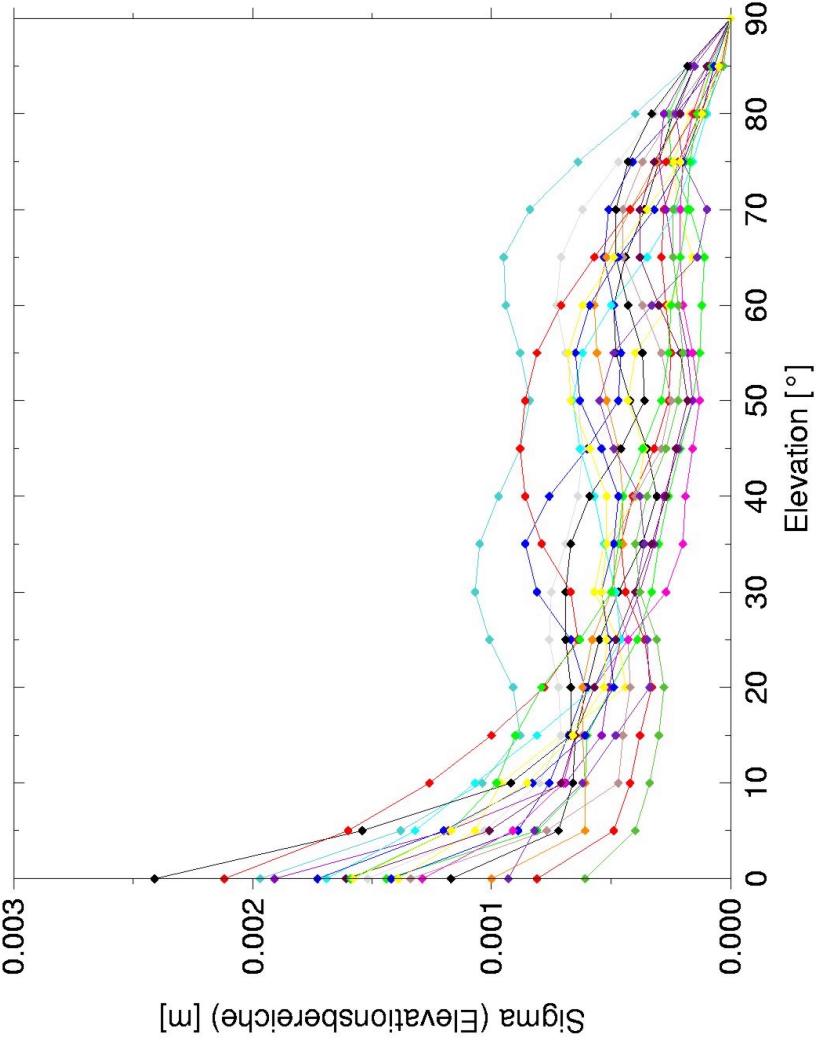
► Übersicht: Differenzen verschiedener Kalibrierungen

► Beispiele

Sigma L2 ($0^\circ/10^\circ$) [mm]:

Aug.00-Nov.00: 0.7/0.6
Nov.00-Dez.00: 0.8/0.5
Dez.00-Feb.(1)01: 0.5/0.4
Dez.00-Feb.(2)01: 0.6/0.4
Aug.00-Apr.01: 0.5/0.4
.....

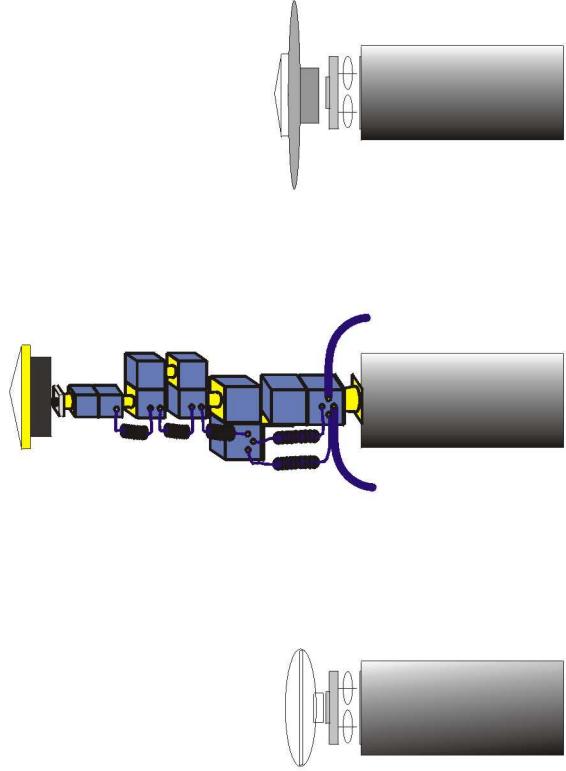
Absolute Feldkalibrierung mit Roboter (Echtzeit) – PCV (az,elv)
Vergleich unabhängiger Kalibrierungen TRM22020.00–GP (L2)



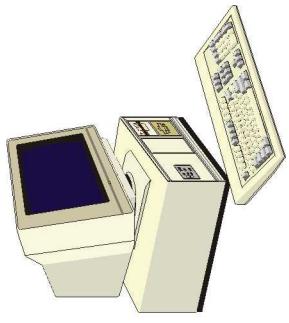
Absolute Feldkalibrierung

→ „Splitter-Test“

(Unabhängigkeit von Hardware, Referenz)



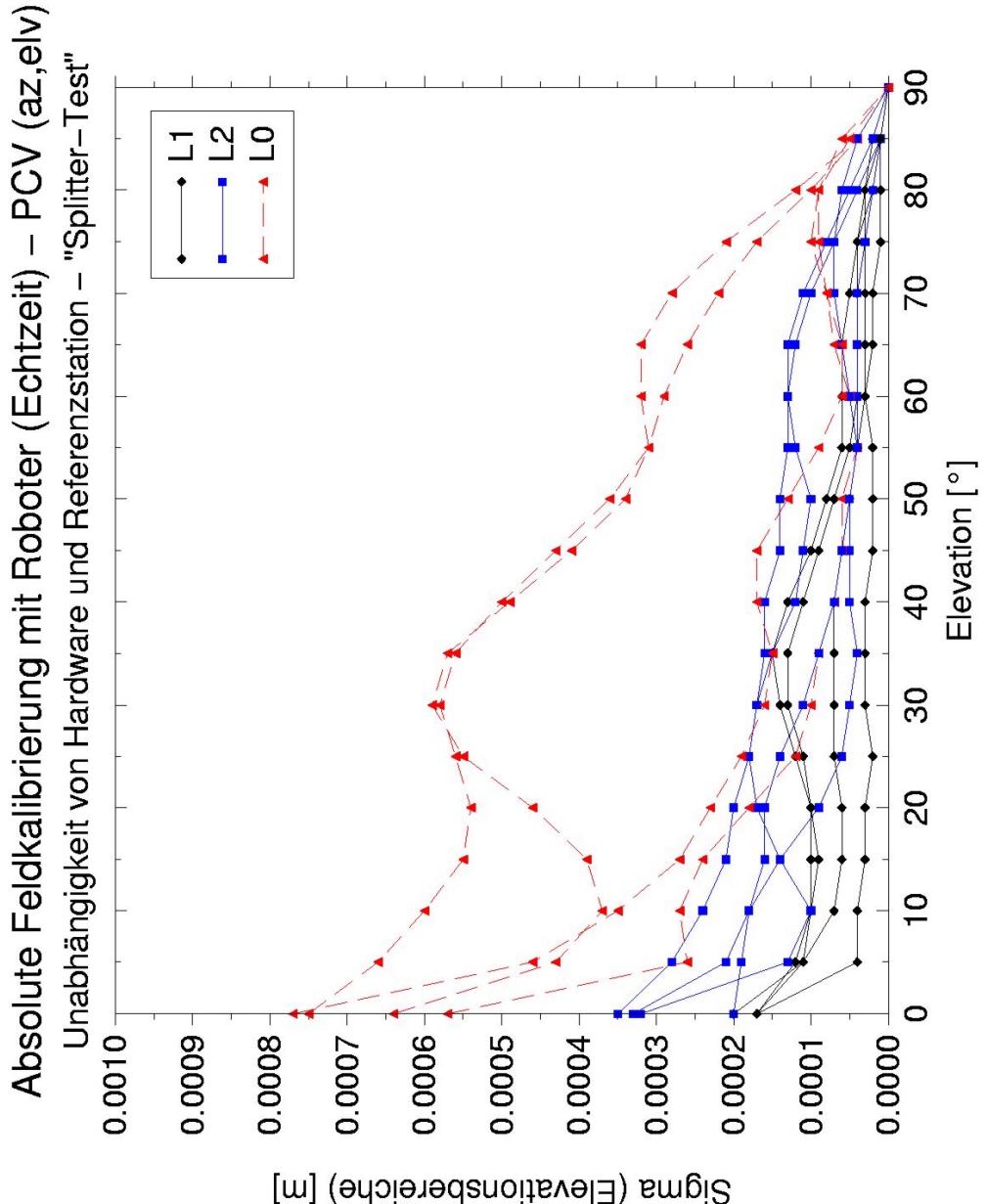
msd6 msd7 msd8
ASH700700.B TRM22020.00-GP ASH700228.A



Absolute Feldkalibrierung

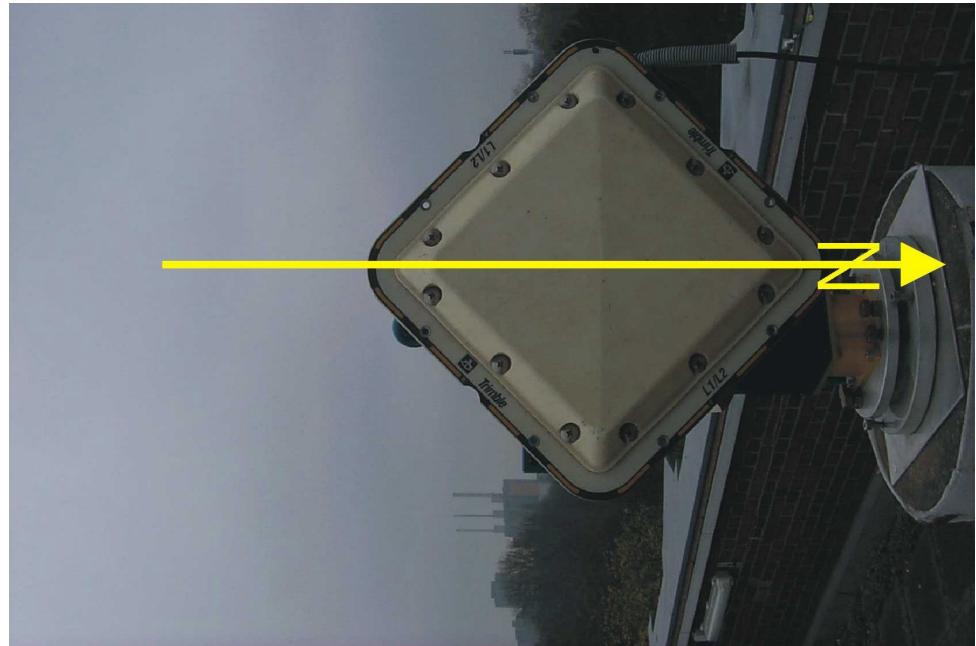
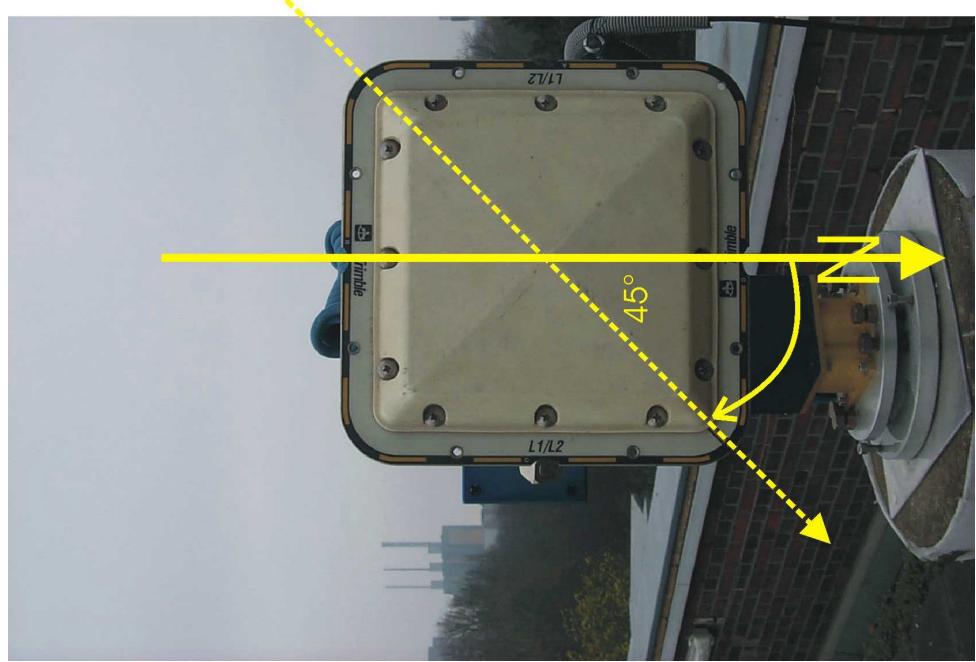
→ „Splitter-Test“

(Unabhängigkeit von Hardware, Referenz)



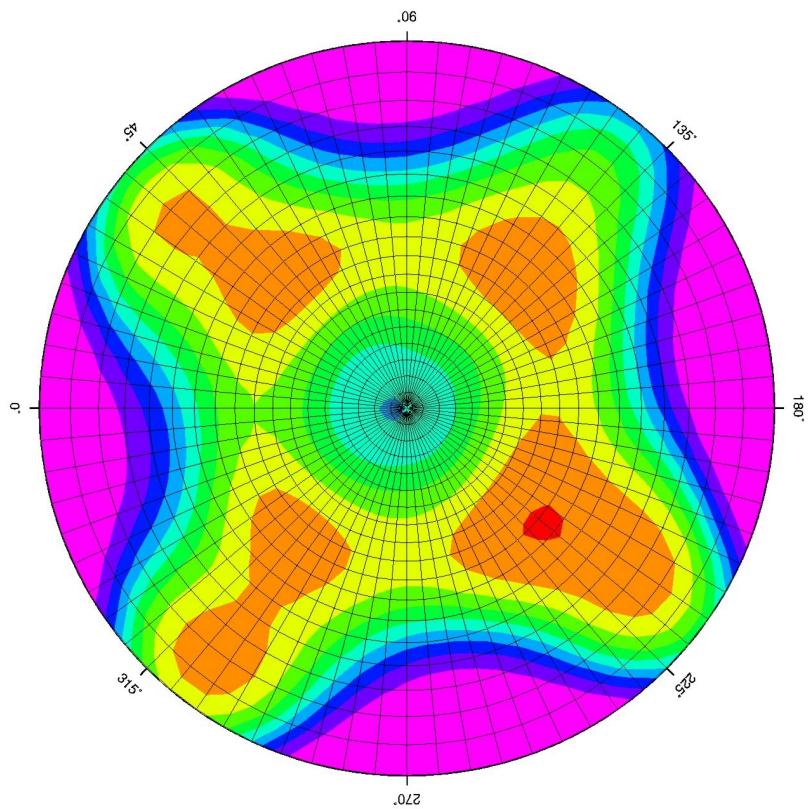
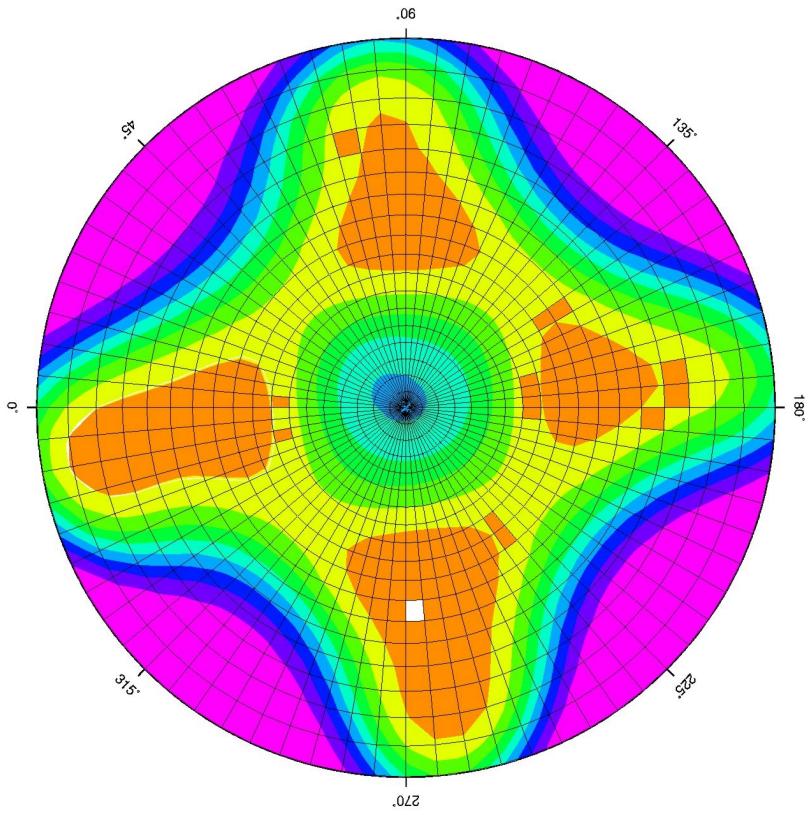
Absolute Feldkalibrierung

→ Test: Drehung bei Einspannung



Absolute Feldkalibrierung

→ Test: Drehung bei Einspannung
(L1-Pattern)



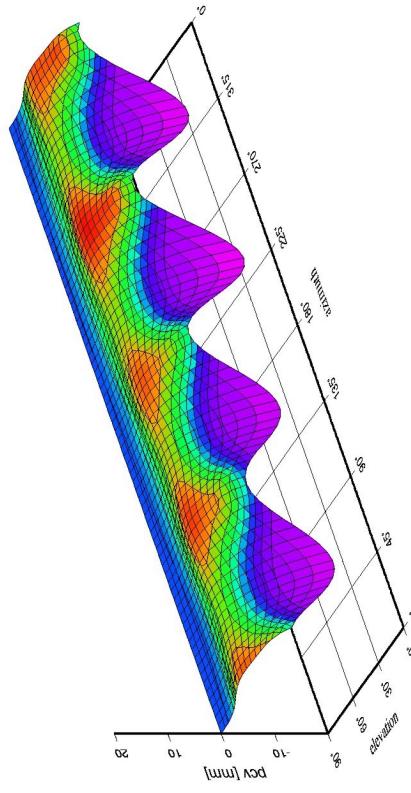
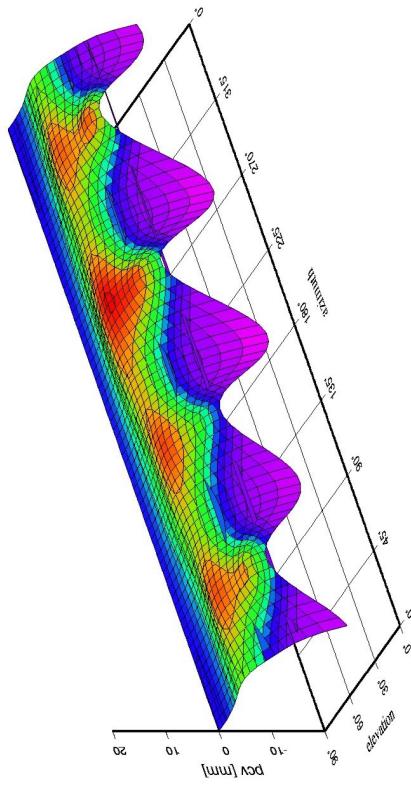
Absolute Feldkalibrierung

► Test: Drehung bei Einspannung



TRM22020.00-GP_34221_L1

TRM22020.00-GP_34221_L1+45deg



PCV der „45°-Kalibrierung“ zurückgedreht ► Vergleich

Beispiel Sigma [mm]: L1=0.4 / L2=0.5 / L0=1.3

Absolute Feldkalibrierung

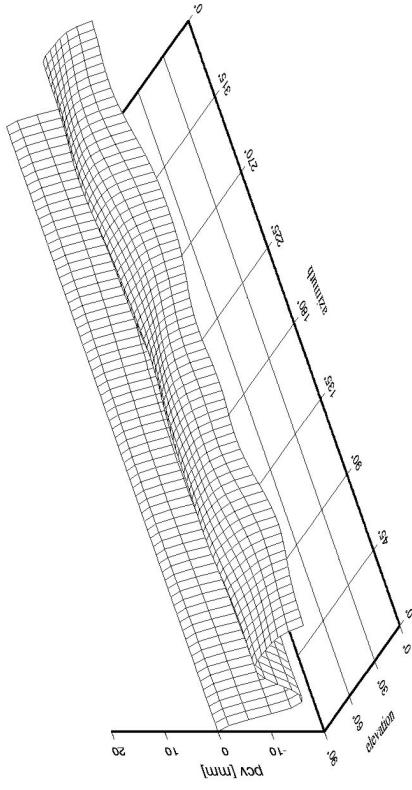
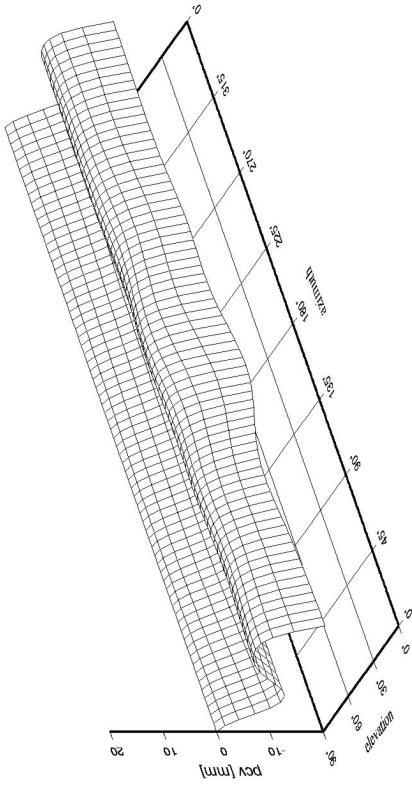
► Veränderung Antenne

► normale Grundplatte

+TCWD

TRM22020.00+GP_34221_L1

TRM22020.00+GP_TCWD_39555_L1



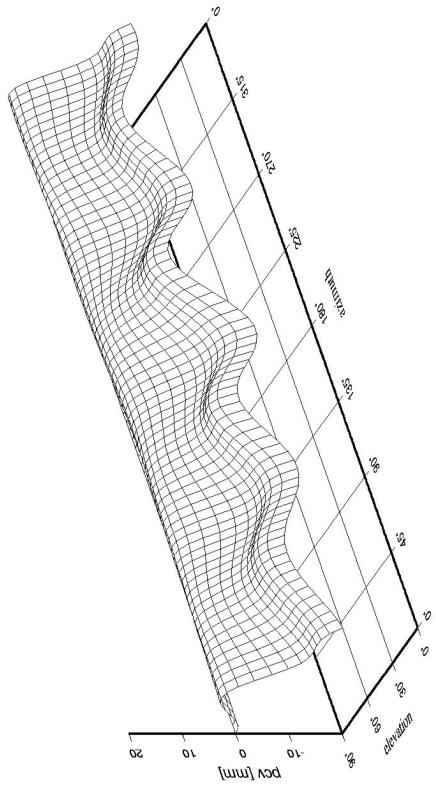
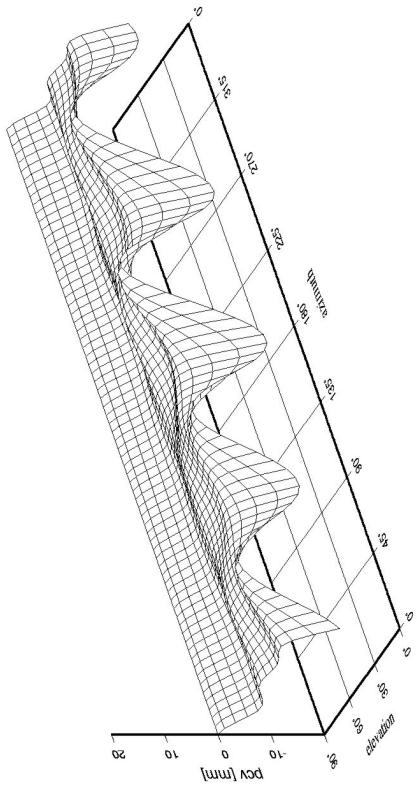
Absolute Feldkalibrierung

► Veränderung Antenne

► extra Grundplatte
(von TCWD)

TRM22020.00-GP+GP_34221_L1

TRM22020.00-GP+GPdH_34221_L1



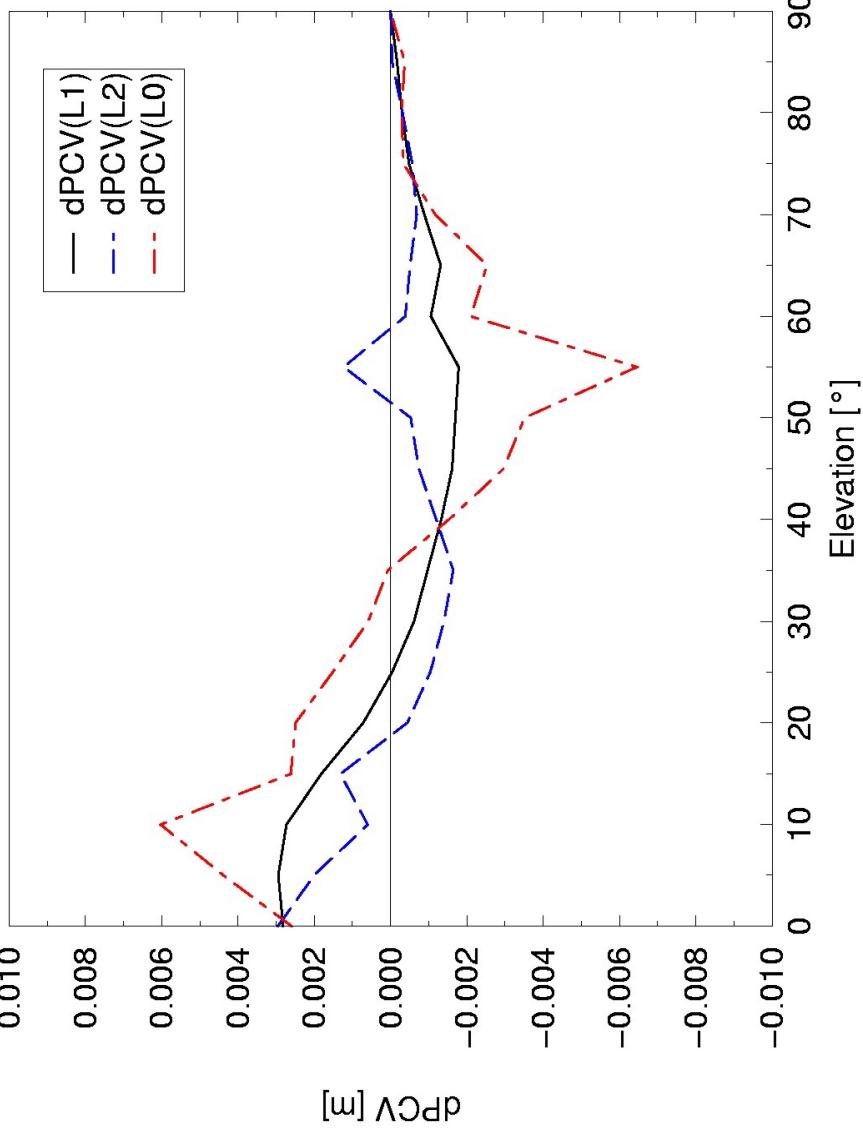
Kammer- und Feldkalibrierung

► Absolutverfahren



Sigma [mm] ($0^\circ/10^\circ$):
L1 = 1.5/1.3
L2 = 1.2/0.9
L0 = 2.9/2.8

Differenz Absoluter PCV (Individualkalibrierungen) – TRM299659.00
Bonn (Kammerkalibrierung) – IfE/Geo++ (Feldkalibrierung)



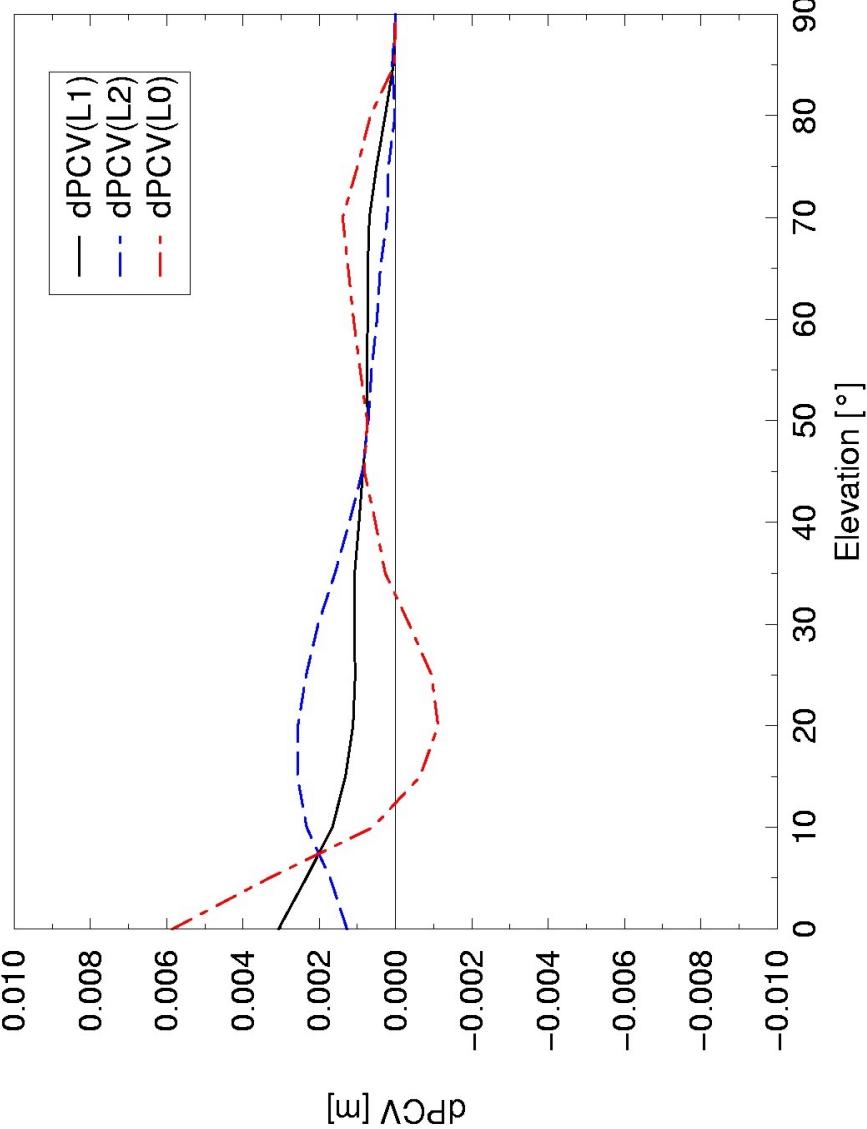
Kammer- und Feldkalibrierung

► **Absolutverfahren**



Sigma [mm] ($0^\circ/10^\circ$):
L1 = 1.2/0.9
L2 = 1.4/1.4
L0 = 1.7/0.8

Differenz Absoluter PCV (Typkalibrierungen) – AOAD/M_T
NASA GSFC (Kammerkalibrierung) – IfE/Geo++ (Feldkalibrierung)



Kammer- und Feldkalibrierung



► Kammerkalibrierung:

- kein operationelles Verfahren
- hoher Aufwand
- Überbestimmungen?
- Auflösung?
- Azimutale PCV?
- Mechanische Präzision?

► Prinzipielle Übereinstimmung der Ergebnisse aus Kammer- und Feldkalibrierung

- Vergleich PCV-Kammer zu PCV-Feld:
 - ❖ grösser als Wiederholungsgenauigkeit Feldkalibrierung
 - ❖ Unterschiede bei verschiedenen Kammern

➤ Hinweis: PCV(elv) mit Δ Lage-Offsets > Vorsicht: Umrechnung auf ident. ARP

Entwicklungen: Absolute PCV



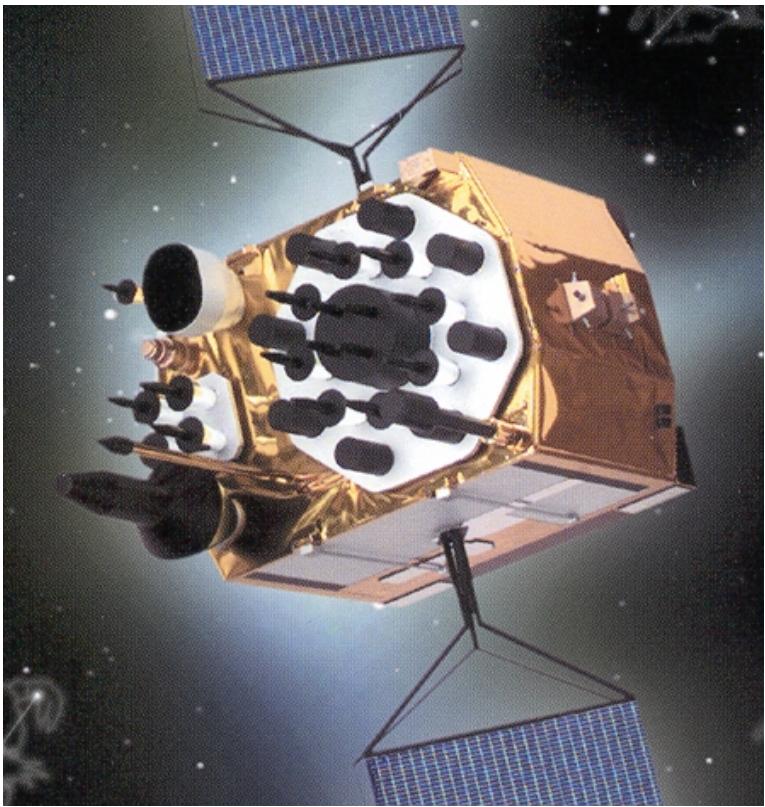
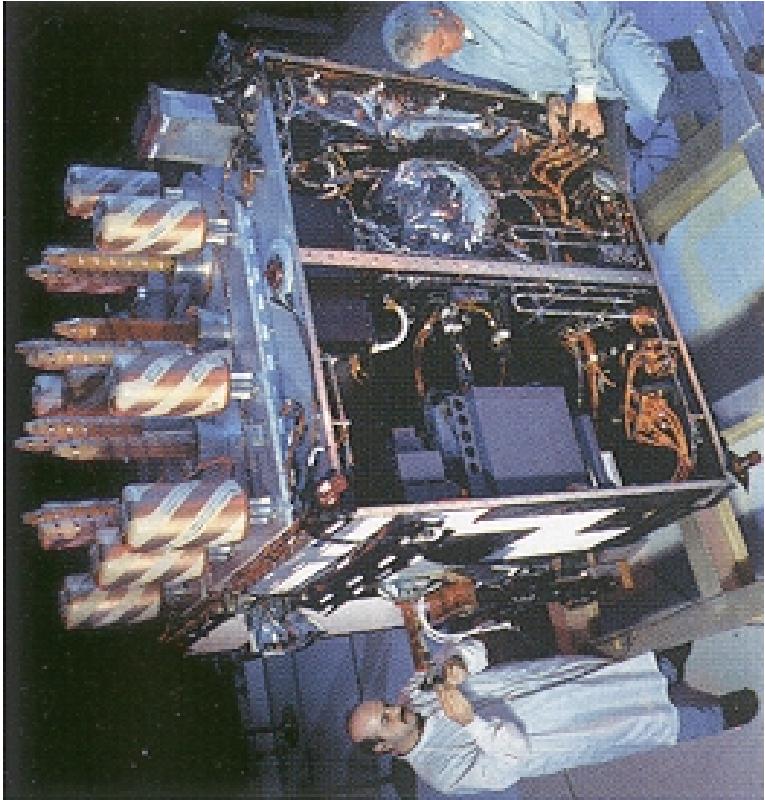
- nur Relativ- und absolute Kammerkalibrungen
- IGS: Problem - Massstab globale Netze durch abs. - nur rel. PCV
- Block IIR - IGS: Probleme bei Satelliten-Offset (Bar-Sever)
- Absolute Feldkalibrierung - Nachweis Korrektheit der PCV
- Vergleiche Relativ- und Absolut-PCV (Mader,Rothacher) - OK
- IGS-Workshops: Akzeptanz Absolute PCV, Einführung nur bei Klärung der Massstabsproblematisik
- „Unbekannte“ Satellitenantenne - Probleme Schätzung aus Daten (Rothacher, Springer)
- Überlegungen - Ausmessung mit VLBI (IVS), Kalibrierung am Boden (NOAA/NGS)
- AdV: **Absolute PCV für SAPOS-Referenzstationsnetz**
- Thematik Nullantenne, Hersteller- und Nutzer-Umsetzungen

Entwicklungen: Absolute PCV

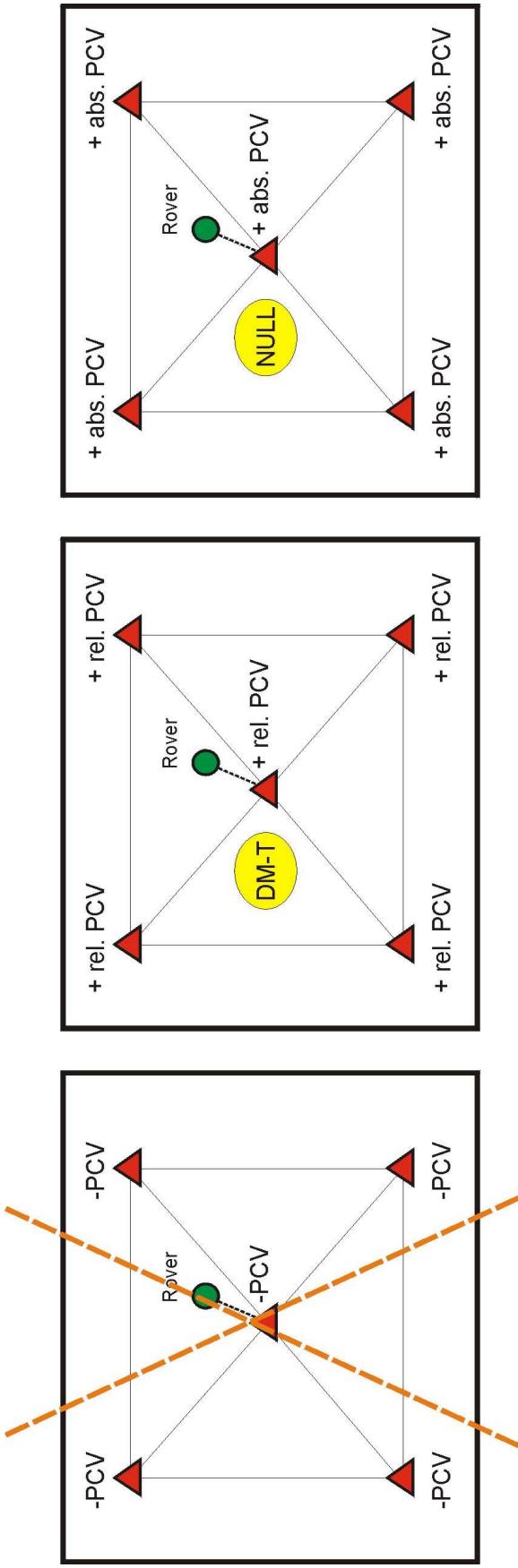


► Satellitenantenne (li.: Block IIIF, Boeing / re.: Block IIR, Lockheed)

- Doppelring Helix-Antennen + weitere Antennen/Elektronik
- PCV/Offset-Information?
- z.Zt. Kalibrierungen Block IIA/F von NOAA/NGS (G. Mader) bei Boeing



Thematik: NULLANTENNE



► AdV: Absolute PCV auf SAPOS-Referenzstationen

► höchste Genauigkeit für Referenznetzbetreiber (Vernetzungsberechnungen)

► (Korrektur-)Daten der Referenzstation beziehen sich auf punktförmiges

► Phasenzentrum (NULLANTENNE)

► im Rahmen der Realisierungsgenauigkeit sind keine PCV mehr enthalten

► RTK-Nutzer im Feld kann mit absoluten sowie prinzipiell auch weiterhin mit relativen PCV arbeiten (+Ähnlichkeiten Roverantennen zu Nullantenne)

Thematik: NULLANTENNE

► Situation RTK-Nutzer:

- 1) Rover: relative PCV/Referenzstation: Antennentyp Nullantenne relativ
- 2) Rover: absolute PCV/(Referenzstation: Antennentyp Nullantenne absolut)
- Konsistente Nutzung absoluter PCV (Feld) bietet höchstes Potential - Auflösung/Genaugigkeit; FFG; $S_{Position} = S_{Phasenmessung} \cdot PDOP$
- 2) Nutzer: nur relative PCV z. Vfg.
 - Möglichkeit der Umrechnung zu absoluten PCV (AOAD/M_T bekannt)
 - Vereinfachung: Absolute PCV der AOAD/M_T bereits auf IGS-Niveau umgerechnet = Nutzung Nullantenne (entspricht prinzipiell (1))
 - Vorgehensweise sollte bereits in RTK-Ausrüstung implementiert sein (Hersteller!)
 - Alternativ: Eigene Umrechnung



Thematik: NULLANTENNE

► IGS-Niveau/Nullantenne:

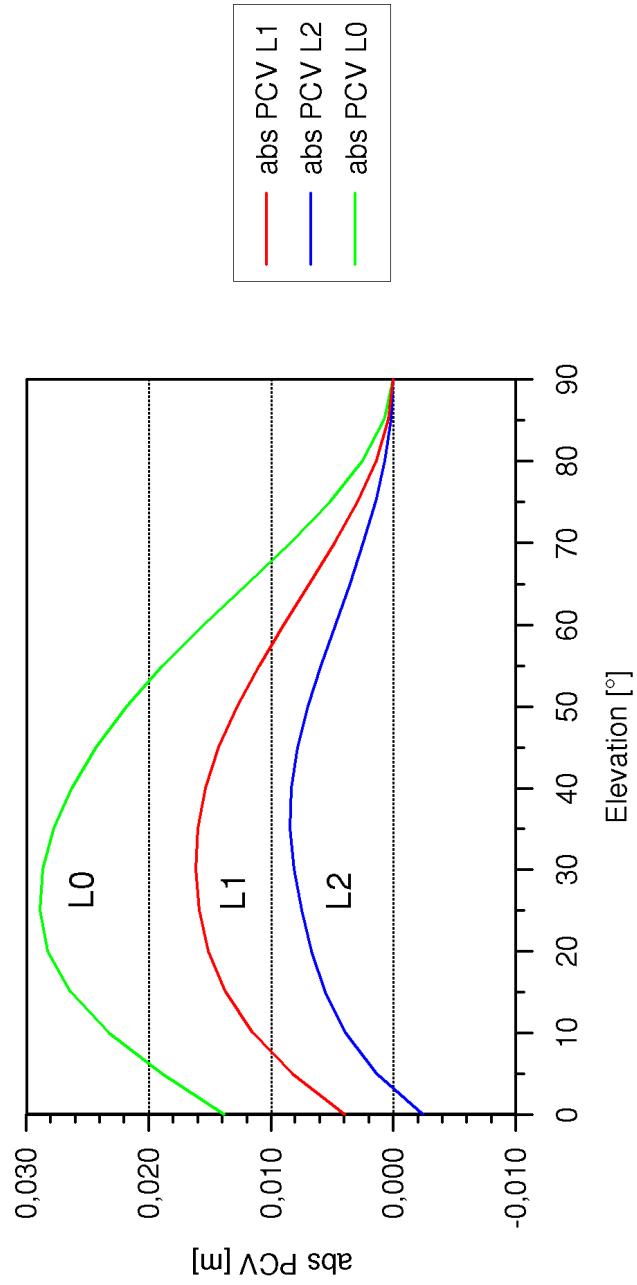
→ Referenzantenne Relativkalibrierung:

AOAD/M_T: PCV= NULL, Offset fest ($L1=0/0/11\text{ cm}$, $L2=0/0/12.8\text{ cm}$)

→ Antennentyp Nullantenne (relativ):

absolute PCV auf IGS-Niveau,

Vorzeichen umgedreht (Restitution der PCV!), Offset zu NULL



Thematik: NULLANTENNE

► Erzeugung und Umrechnungen des Typs NULLANTENNE

- 2 Antennen: Differenz absoluter und relativer PCV identisch

$$PCV_{absolut}(Ant_a) - PCV_{absolut}(Ant_b) = PCV_{relativ}(Ant_a) - PCV_{relativ}(Ant_b)$$

- AOAD/M_T für eine Antenne

$$PCV_{absolut}(AOAD/M_T) - PCV_{absolut}(Ant_b) = PCV_{relativ}(AOAD/M_T) - PCV_{relativ}(Ant_b)$$

- Umstellung auf gesuchte Antenne

$$PCV_{absolut}(Ant_b) = PCV_{absolut}(AOAD/M_T) - PCV_{relativ}(AOAD/M_T) + PCV_{relativ}(Ant_b)$$

- Relative PCV AOAD/M_T gleich Null (IGS-Niveau)

$$PCV_{absolut}(Ant_b) = PCV_{absolut}(AOAD/M_T) + PCV_{relativ}(Ant_b)$$

- Einfache Addition bei Nutzung des Korrekturfiles Nullantenne (IGS-Niveau)

$$PCV_{absolut}(Ant_b) = (-1) \cdot PCV_{Nullantenne} + PCV_{relativ}(Ant_b)$$

- Offsets bleiben unverändert



Thematik: NULLANTENNE



Format IGS/NGS ← → Format Geo++

Absolute Feldkalibrierung (IfE/Geo++)

Absolute PCV (Offset A)
AOAD/M_T
f(elv)

Absolute PCV (Offset A)
AOAD/M_T
f(elv)

Vorzeichenwechsel (nur durch Format bedingt)

Absolute PCV (Offset A)
AOAD/M_T
f(elv)

Umrechnung der PCV auf
neuen Offset (IGS-Niveau)

Absolute PCV
AOAD/M_T
f(elv)
Offset IGS-Niveau

Nullantenne f(az,elv) denkbar, aber noch
kein entsprechendes IGS/NGS-Format

Thematik: NULLANTENNE



Vorzeichenwechsel
und alle Offsets = 0.0

Antennentyp
Nullantenne
 $f(\text{elv})$

Relative PCV (Offset B)
IGS-Niveau
 $f(\text{elv})$

(-1) * Nullantenne
 $f(\text{elv})$

(Für: relativ \mapsto absolut)

Addition der PCV

Absolute PCV (Offset B)
 $f(\text{elv})$

Format IGS/NGS

Thematik: NULLANTENNE

Nullantenne (http://www.ifc.uni-hannover.de/~web/AOA_DM_T), IGS-Format

	Nullantenna						
Geo++	+0.0	+0.0	+0.0	+0.0	6.4	8.6	10.6
0.0	0.3	1.2	2.6	4.4			
14.8	15.5	15.6	15.4	14.6	13.0	10.7	12.4
							13.8
+0.0	+0.0	+0.0	+0.0	+0.0			
0.0	0.2	0.6	1.4	2.3	3.4	4.5	5.6
8.1	8.2	7.9	7.3	6.4	5.3	3.7	6.7
							7.6
							-1.7

Beispiel: relative elevationsabhängige PCV (NGS, ant_info.003), IGS-Niveau * (-1)

	Permanent L1/L2						
TRM23903.00	1.2	.4	77.0				
.0	4.8	9.3	13.1	16.4	18.8	20.5	21.7
20.3	18.9	17.2	15.6	14.2	13.4	13.4	21.3
.5	4.0	4.0	75.6	75.6	75.6	75.6	75.6
.0	.1	.5	1.1	1.7	2.2	2.7	3.0
2.8	2.4	1.9	1.3	.8	.5	.4	3.0

Beispiel: umgerechnete absolute elevationsabhängige PCV, Offsets unverändert

	Permanent L1/L2						
TRM23903.00	1.2	0.4	77.0				
0.0	4.5	8.1	10.5	12.0	12.4	11.9	10.9
5.5	3.4	1.6	0.2	-0.4	0.4	2.7	9.3
0.5	4.0	4.0	75.6	75.6	75.6	75.6	7.5
0.0	-0.1	-0.1	-0.3	-0.6	-1.2	-1.8	-2.6
-5.3	-5.8	-6.0	-6.0	-5.6	-4.8	-3.3	-3.6

Beispiel (PCV bei 30°): $(-1) * 15.6 + 17.2 = 1.6 \text{ [mm]}$

Hier: Eingangs-PCV unterhalb 10° Elevation sind für 0° und 5° nicht vorhanden (Relativ-Kalibrierung NGS) und bleiben zu NULL gesetzt.

Zusammenfassung/Ausblick



- Unterschiedliche operationelle Kalibrierungen zeigen das hohe Auflösungsvermögen und die sehr gute Wiederholbarkeit der absoluten Feldkalibrierung
 - prinzipielle Übereinstimmung Kammer- und Feldkalibrierungen
 - Nationale, internationale Akzeptanz Absolute PCV (AdV, IGS)
 - Problematik: Massstab in globalen Netzen
 - Kalibrierung Satellitenantennen erforderlich
 - Nullantenne wird eingeführt: weiterhin alle Möglichkeiten für Nutzer; Gerätehersteller sind gefordert
- Hinweis:** Publikation Nullantenne/igs2abs/Aufdatierung AOAD/M_T (www.ife....)