



Military
University
of Technology



Faculty
of Civil Engineering
and Geodesy



Incomplete and complete PCO/PCV chamber calibrations – impact on Galileo observations

Araszkiewicz A., Kiliszek D.

*Institute of Spatial Engineering and Geodesy
Faculty of Civil Engineering and Geodesy,
Military University of Technology, Poland*

Many EPN (EUREF Permanent GNSS Network) stations are equipped with an antenna for which **individual calibrations are available**. However, most of them are robot-calibrated antennas for which only two carries signal for GPS (L1, L2) and GLONASS (G1, G2) were calibrated. **Only for several** antennas a **full chamber-calibrated** Phase Centres Corrections (PCCs) are available.

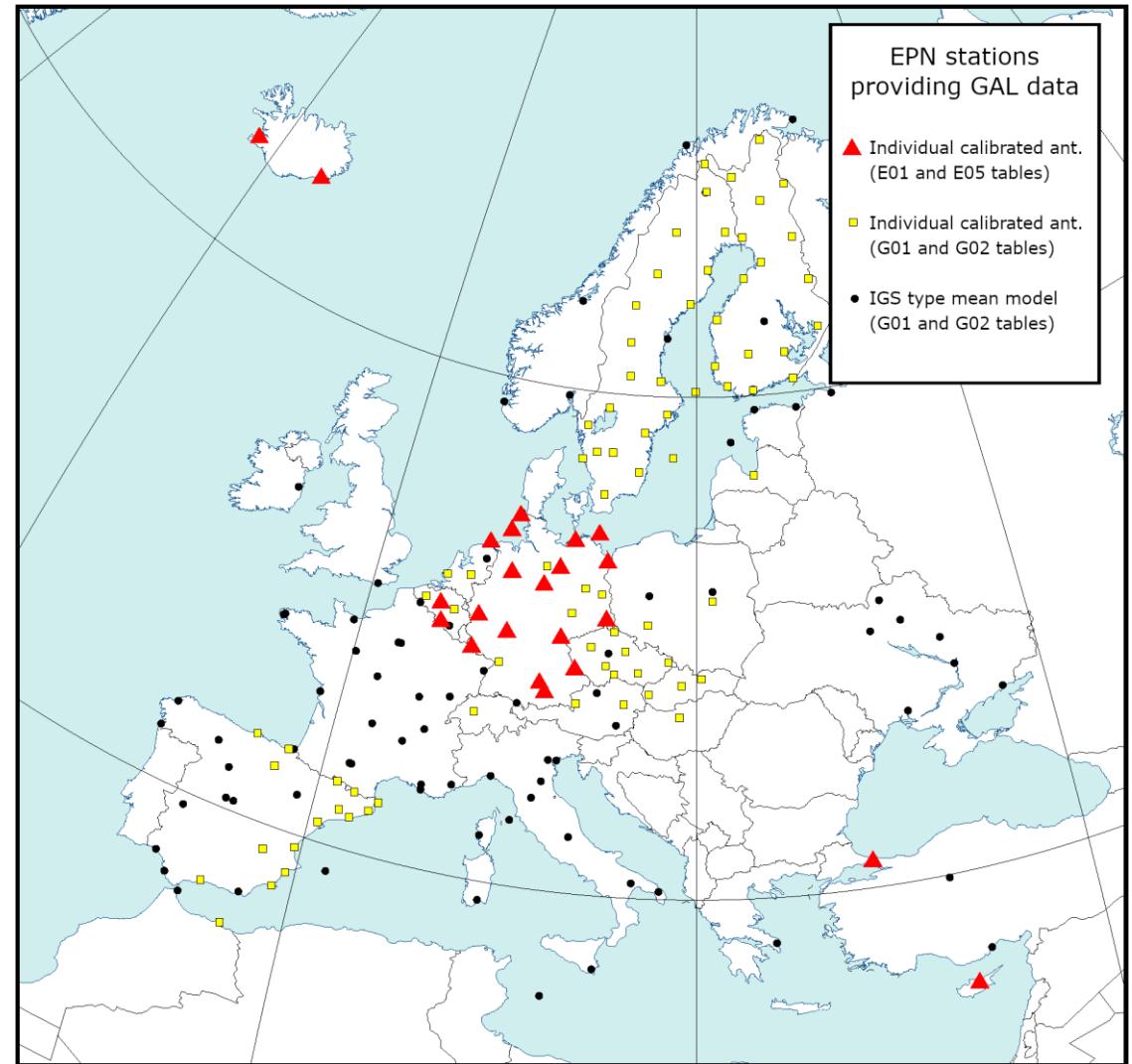
Due to limited number of such antennas **GPS corrections have to be used for Galileo** signals for many stations. In case of Galileo E5a frequency it can be a problematic because it doesn't equal the GPS L2.

In our studies we wanted to check the impact of using **GPS antenna PCCs for Galileo signals** on the station coordinates.



PREPARED SOLUTIONS

- **Two approaches:** PPP (GAMP) and DD (GAMIT)
- Independently processed **GPS** and **Galileo** observations;
- 5 different solutions:
 - 3 for Galileo data (E1, E2, E3)
 - 2 for GPS data (G1, G2)
- 25 EPN investigated stations
- 1 week of observations (GPS week 2060)



RED TRIANGLES INDICATE EPN STATIONS USED IN THIS STUDY

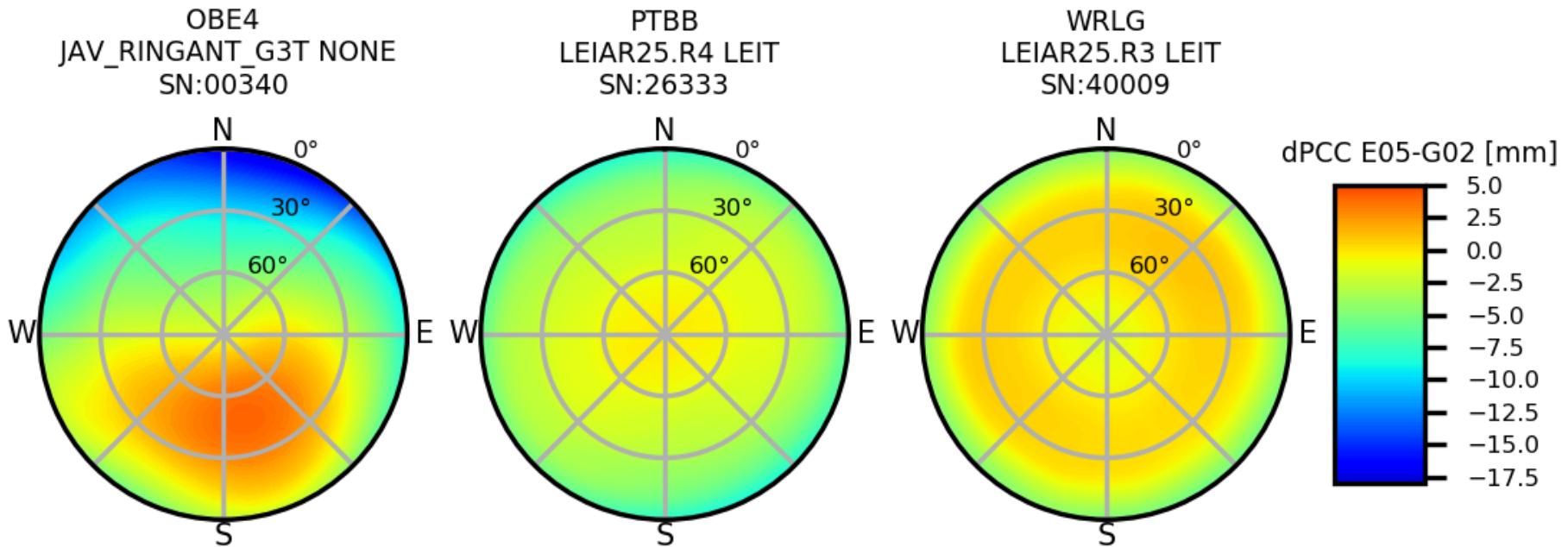
Approach	DD	PPP
Software	Gamit/Globk 10.71	Gamp
System	GPS and Galileo separately	
Frequencies	L1/L2 for GPS and E1/E5a for Galileo	
Observations	Ionosphere-free code and phase combination	
Elevation mask	7 deg.	
Orbits	CODE MGEX	
Transmitter PCC	igs14.atx	
Receiver PCC	Depending on the solution: E1, E2, E3, G1, G2	
Troposphere delay	VMF1 1h ZTD and 24h grad	GMF ZTD and grad every epoch
Clock errors	Estimated	
EOP	IERS2019	
Tide displacement	IERS2010, FES2004	

	E1	E2	E3	G1	G2
used PCCs	E01, E05	E01, G02	E01, G02	G01, G02	G01, G02
Source	Bonn*	Bonn*	IGS**	Bonn*	IGS**

* CHAMBER-CALIBRATION MODELS PROVIDED BY UNIVERSITY OF BONN

** IGS TYPE MEAN MODELS

- E2 minus E1 impact of using **G02 instead of E05**
(chamber-calibrated values)
- E3 minus E1 analogously, but using robot-calibrated **IGS type mean** values
- E1 minus G1 consistency between **GPS and Galileo** solutions
(both processed „as should be”)
- E2 minus G1 consistency between GPS and Galileo if **G02 are used instead of E05** for Galileo solutions
- E3 minus G2 analogously, but **all PCCs** come from **IGS type mean** model

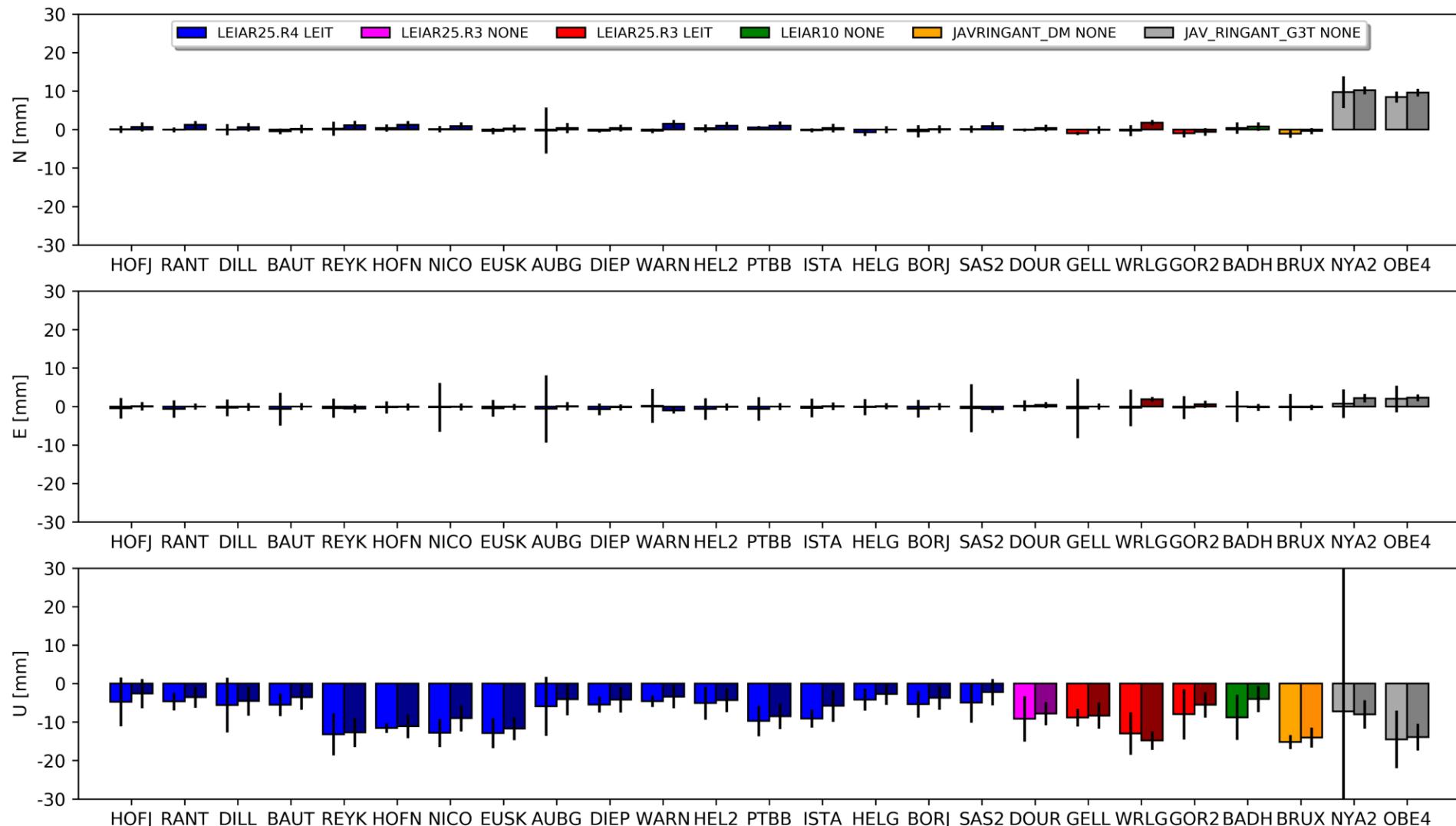


DIFFERENCES IN PCCs BETWEEN E05 AND G02 TABLES,

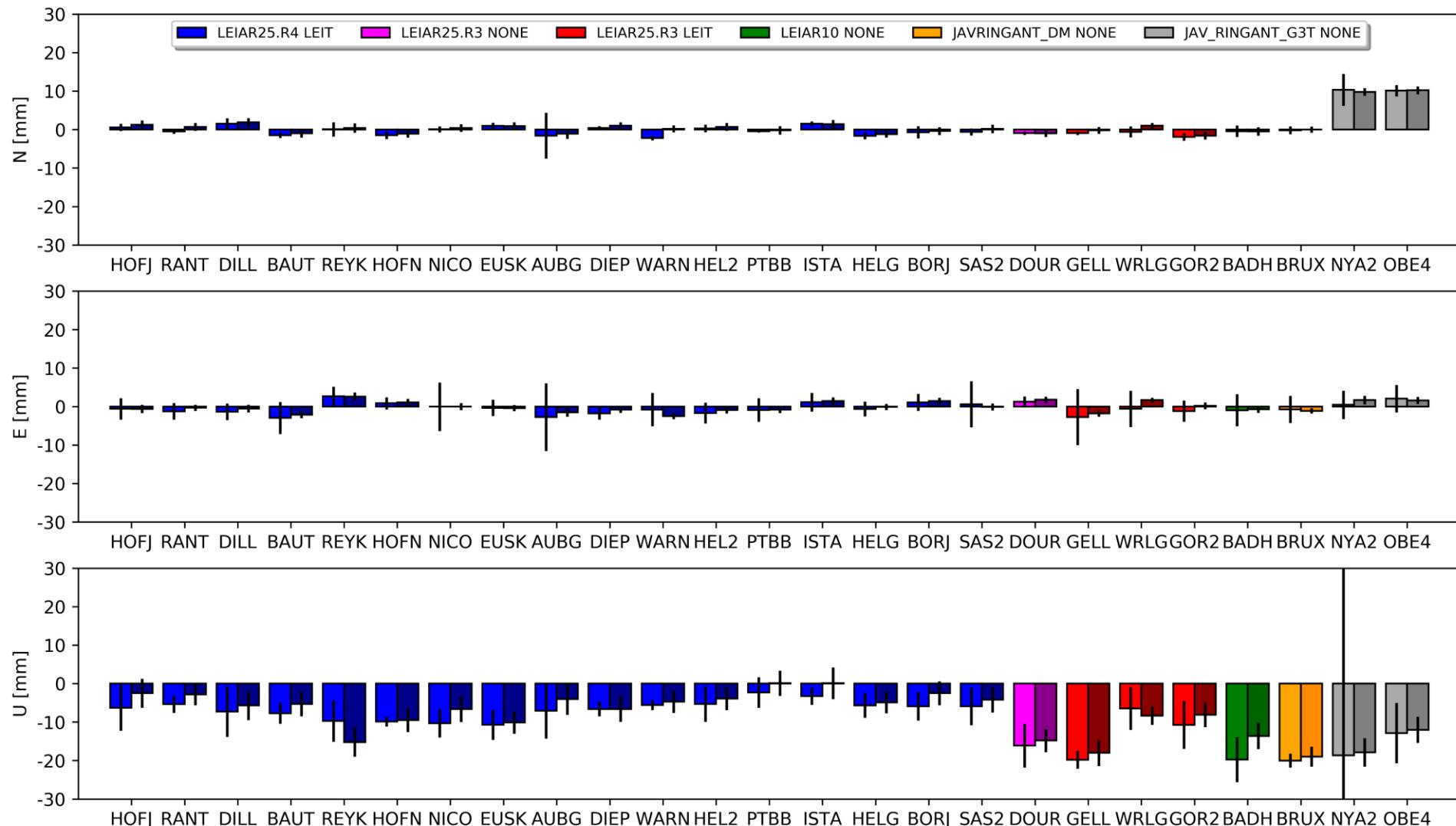
SOURCE: UNIV. OF BONN CALIBRATIONS



COORDINATE DIFFERENCES



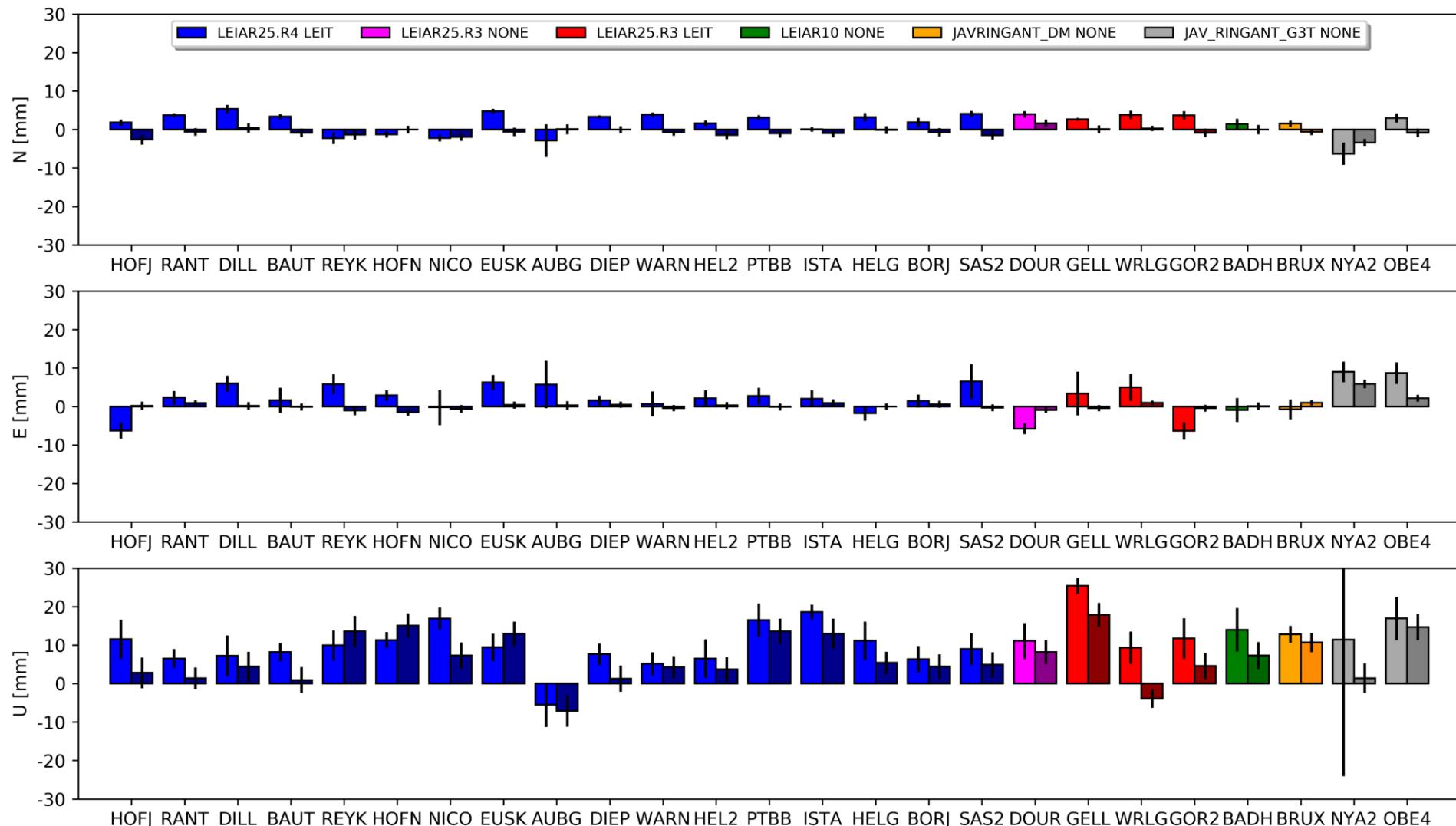
E2 MINUS E1 (DARKER BARS FOR DD APPROACH)



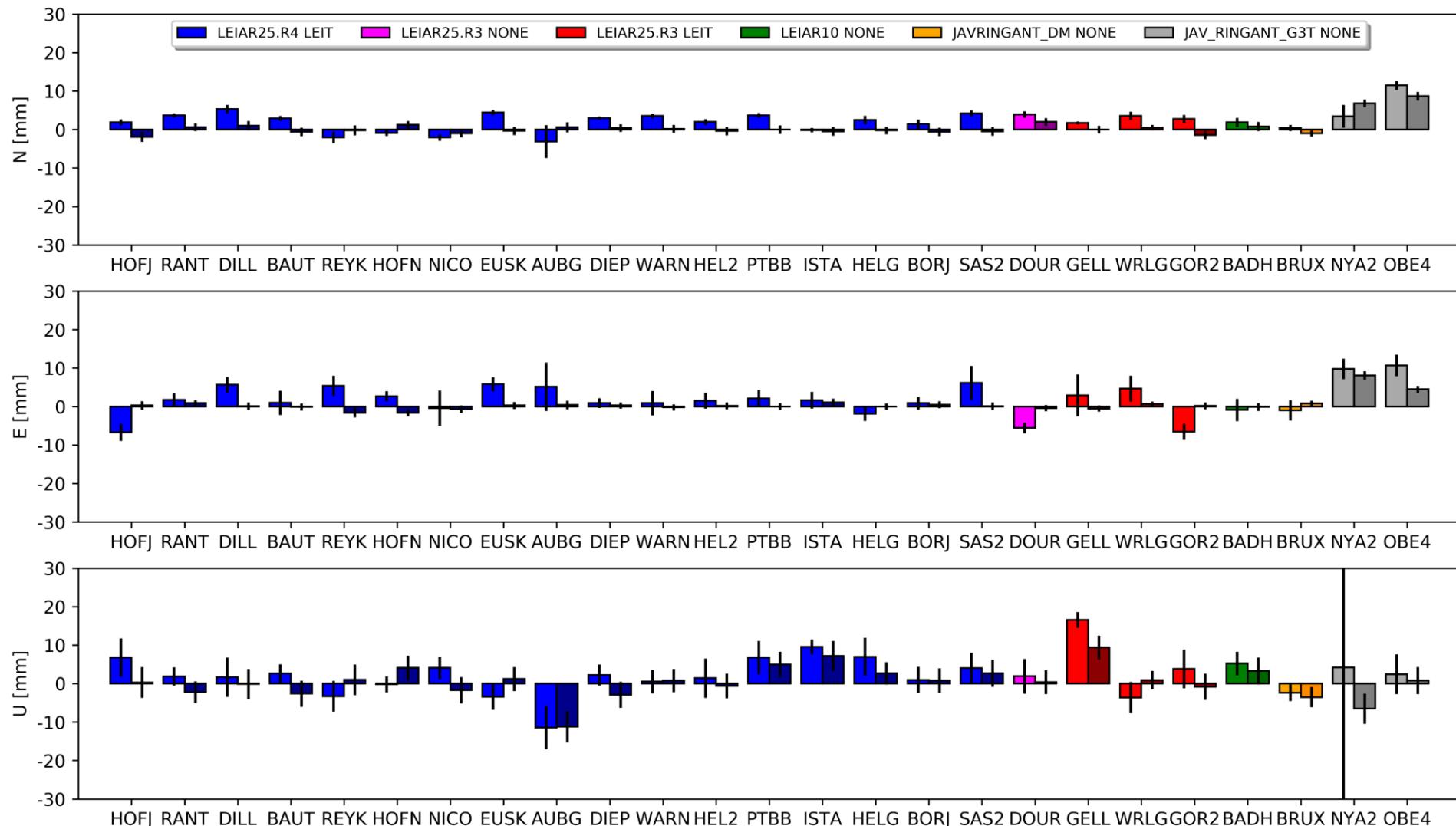
E3 MINUS E1 (DARKER BARS FOR DD APPROACH)

Summary for Galileo vs Galileo

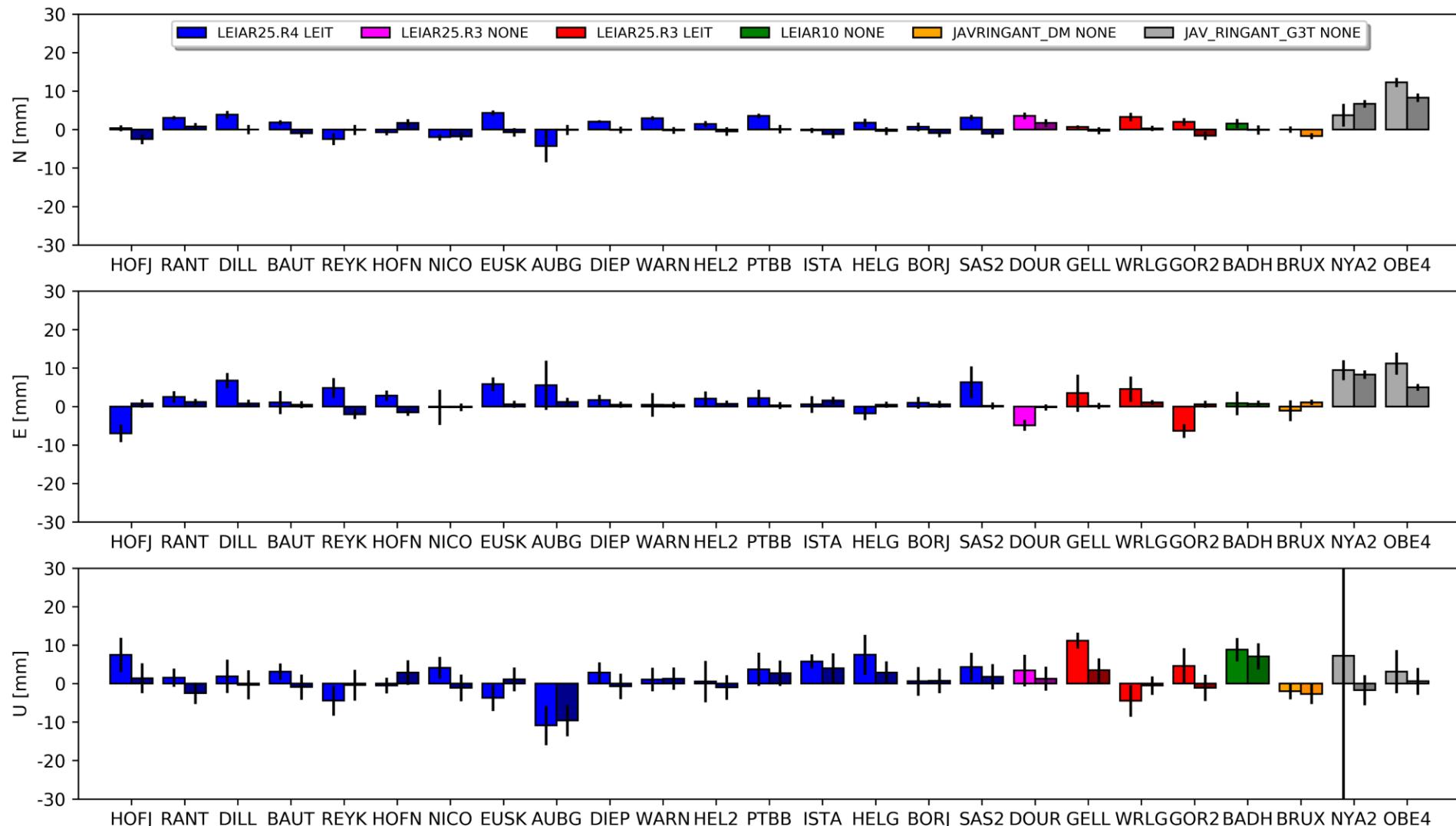
- Significant horizontal bias visible for JAV_RINGANT_G3T antennas –
up to 1 cm if G02 corrections are used (no matter if they come from chamber calibrations or type mean tables)
- Vertical differences vary from **0.1 mm** to **-20.0 mm**
- Clear bias for height between E1 and E2 solution
(-7.0 mm for DD and **-8.4 mm** for PPP)
- Similar results for E1 versus E3 comparison
(-8.0 mm for DD and **-9.6 mm** for PPP)



E1 MINUS G1 (DARKER BARS FOR DD APPROACH)



E2 MINUS G1 (DARKER BARS FOR DD APPROACH)



E3 MINUS G2 (DARKER BARS FOR DD APPROACH)

Summary for Galileo vs GPS

- Quite consistent results for GPS and Galileo solutions in horizontal plane if E05 are used.
- E1 vs G1 exhibits a clear inter-system bias (ISB) in heights: **10.8 mm** for PP and **6.5 mm** for DD approach.
- Using G02 (E2, E3) correction instead of E05 (E1) reduce the ISB in heights:

Approach	E1-G1	E2-G1	E3-G2
DD	6.5 mm	0.3 mm	0.4 mm
PPP	10.8 mm	2.4 mm	2.3 mm

- ... but causes a bias in North component for JAV_RINGANT_G3T



Military
University
of Technology

THANK YOU!

This research was funded by statutory funds at the Institute of Spatial Engineering and Geodesy, Faculty of Civil Engineering and Geodesy, Military University of Technology. All processing was done on the GNSS Data Research Infrastructure Center co-financed by the European Union from the European Regional Development Fund, grant number POIR.04.02.00-14-A003/16-00.



ADDITIONAL MATERIALS

TABLES – coordinate differences

	E1 vs E2					
	DD			PPP		
NYA200NOR	10,2	2,2	-8,0	9,7	0,8	-7,2
OBE400DEU	9,6	2,3	-13,9	8,5	2,0	-14,5
BRUX00BEL	-0,4	-0,2	-14,0	-1,1	-0,2	-15,2
BADH00DEU	0,8	-0,2	-4,0	0,4	0,0	-8,8
GELL00DEU	-0,1	0,0	-8,3	-1,0	-0,5	-8,8
GOR200DEU	-0,6	0,6	-5,5	-1,0	-0,3	-8,0
WRLG00DEU	1,8	1,9	-14,8	-0,3	-0,3	-13,0
DOUR00BEL	0,4	0,4	-7,8	-0,1	0,2	-9,2
AUBG00DEU	0,4	0,1	-4,1	-0,2	-0,6	-5,9
BAUT00DEU	0,2	0,0	-3,5	-0,4	-0,6	-5,5
BORJ00DEU	0,1	0,0	-3,7	-0,4	-0,6	-5,4
DIEP00DEU	0,4	-0,2	-4,2	-0,3	-0,7	-5,4
DILL00DEU	0,6	-0,1	-4,5	0,0	-0,3	-5,6
EUSK00DEU	0,3	-0,1	-11,7	-0,4	-0,5	-12,9
HEL200DEU	1,0	-0,1	-4,3	0,3	-0,6	-5,1
HELG00DEU	0,0	0,1	-2,7	-0,7	-0,1	-4,2
HOFJ00DEU	0,7	0,1	-2,6	0,1	-0,4	-4,7
HOFN00ISL	1,2	-0,1	-11,1	0,4	-0,2	-11,5
ISTA00TUR	0,4	0,1	-5,8	-0,2	-0,4	-9,1
NICO00CYP	0,9	-0,1	-9,0	0,1	-0,2	-12,8
PTBB00DEU	1,0	0,0	-8,5	0,6	-0,6	-9,7
RANT00DEU	1,2	0,0	-3,5	-0,1	-0,6	-4,7
REYK00ISL	1,1	-0,5	-12,7	0,2	-0,4	-13,2
SAS200DEU	0,9	-0,7	-2,2	0,1	-0,4	-5,0
WARN00DEU	1,5	-1,0	-3,4	-0,3	0,2	-4,6
mean	1,3	0,2	-7,0	0,6	-0,2	-8,4
std	2,585	0,785	3,95	2,558	0,557	3,486

	E1 vs E3					
	DD			PPP		
NYA200NOR	9,8	1,7	-17,9	10,3	0,5	-18,6
OBE400DEU	10,2	1,6	-12,0	10,1	2,1	-12,8
BRUX00BEL	0,0	-1,1	-19,0	-0,2	-0,7	-20,0
BADH00DEU	-0,5	-0,7	-13,6	-0,4	-0,9	-19,8
GELL00DEU	-0,2	-1,8	-18,0	-1,0	-2,7	-19,8
GOR200DEU	-1,6	0,2	-8,1	-1,9	-1,2	-10,7
WRLG00DEU	1,0	1,7	-8,3	-0,6	-0,6	-6,4
DOUR00BEL	-1,0	1,8	-14,8	-0,9	1,2	-16,1
AUBG00DEU	-1,1	-1,5	-4,0	-1,6	-2,7	-7,0
BAUT00DEU	-1,0	-2,1	-5,3	-1,5	-3,0	-7,7
BORJ00DEU	-0,4	1,4	-2,5	-0,7	1,1	-5,9
DIEP00DEU	1,0	-0,8	-6,6	0,4	-1,8	-6,6
DILL00DEU	1,9	-0,5	-5,7	1,5	-1,3	-7,3
EUSK00DEU	0,9	-0,4	-10,1	0,9	-0,3	-10,7
HEL200DEU	0,7	-0,9	-3,9	0,3	-1,6	-5,3
HELG00DEU	-1,2	-0,1	-4,9	-1,6	-0,6	-5,7
HOFJ00DEU	1,2	-0,6	-2,5	0,6	-0,6	-6,3
HOFN00ISL	-1,1	1,1	-9,5	-1,5	0,9	-9,9
ISTA00TUR	1,4	1,4	0,1	1,5	1,1	-3,3
NICO00CYP	0,4	0,0	-6,6	0,1	0,0	-10,3
PTBB00DEU	-0,2	-0,8	0,1	-0,4	-0,9	-2,3
RANT00DEU	0,7	-0,3	-2,8	-0,5	-1,2	-5,4
REYK00ISL	0,4	2,6	-15,2	0,0	2,7	-9,7
SAS200DEU	0,2	-0,1	-4,2	-0,6	0,6	-5,9
WARN00DEU	0,2	-2,5	-4,7	-2,2	-0,8	-5,6
mean	0,9	0,0	-8,0	0,4	-0,4	-9,6
std	2,8	1,3	5,6	3,1	1,4	5,2

All values in millimeters

TABLES – coordinate differences

	E1 vs G1					
	DD			PPP		
NYA200NOR	-3,4	5,9	1,4	-6,3	9,0	11,4
OBE400DEU	-0,8	2,2	14,7	3,0	8,7	16,9
BRUX00BEL	-0,6	1,0	10,7	1,5	-0,7	12,8
BADH00DEU	0,0	0,1	7,3	1,5	-0,9	14,0
GELL00DEU	0,1	-0,4	17,9	2,7	3,4	25,4
GOR200DEU	-0,8	-0,4	4,6	3,7	-6,3	11,8
WRLG00DEU	0,3	1,0	-3,9	3,8	5,0	9,3
DOUR00BEL	1,6	-0,9	8,2	4,0	-5,8	11,1
AUBG00DEU	0,1	0,3	-7,1	-2,9	5,7	-5,5
BAUT00DEU	-0,8	-0,1	0,9	3,4	1,6	8,2
BORJ00DEU	-0,7	0,6	4,4	1,9	1,5	6,3
DIEP00DEU	0,0	0,5	1,3	3,3	1,6	7,7
DILL00DEU	0,4	0,2	4,4	5,3	6,0	7,3
EUSK00DEU	-0,6	0,4	13,0	4,8	6,3	9,5
HEL200DEU	-1,4	0,3	3,7	1,6	2,2	6,5
HELG00DEU	-0,1	0,0	5,4	3,2	-1,8	11,2
HOFJ00DEU	-2,6	0,2	2,8	1,8	-6,2	11,5
HOFN00ISL	0,0	-1,5	15,1	-1,3	2,9	11,3
ISTA00TUR	-0,9	0,9	13,0	0,0	2,0	18,6
NICO00CYP	-1,9	-0,6	7,3	-2,2	-0,2	16,9
PTBB00DEU	-1,0	-0,1	13,6	3,1	2,7	16,5
RANT00DEU	-0,6	0,9	1,4	3,7	2,3	6,5
REYK00ISL	-1,3	-1,0	13,6	-2,2	5,8	9,9
SAS200DEU	-1,5	-0,3	4,9	4,1	6,5	9,0
WARN00DEU	-0,7	-0,4	4,3	3,9	0,7	5,1
mean	-0,7	0,4	6,5	1,8	2,1	10,8
std	1,0	1,4	6,1	2,8	4,1	5,6

	E2 vs G1					
	DD			PPP		
	6,8	8,1	-6,5	3,5	9,8	4,2
	8,7	4,5	0,8	11,5	10,7	2,5
	-1,0	0,8	-3,5	0,4	-1,0	-2,4
	0,8	-0,1	3,3	1,9	-0,9	5,2
	0,0	-0,5	9,4	1,7	2,9	16,6
	-1,4	0,2	-0,8	2,8	-6,6	3,8
	0,5	0,7	0,9	3,6	4,7	-3,6
	2,0	-0,4	0,4	3,9	-5,5	1,9
	0,6	0,4	-11,2	-3,1	5,2	-11,4
	-0,6	-0,1	-2,6	2,9	1,0	2,7
	-0,6	0,5	0,8	1,4	0,9	1,0
	0,4	0,3	-2,9	3,0	0,9	2,2
	1,0	0,1	-0,1	5,3	5,7	1,7
	-0,3	0,3	1,2	4,4	5,8	-3,4
	-0,4	0,2	-0,6	2,0	1,5	1,4
	-0,2	0,0	2,7	2,5	-1,9	7,0
	-1,9	0,3	0,3	1,9	-6,7	6,8
	1,2	-1,6	4,1	-0,9	2,7	-0,2
	-0,5	1,1	7,2	-0,1	1,7	9,6
	-1,0	-0,7	-1,7	-2,0	-0,4	4,1
	0,0	0,0	5,0	3,7	2,1	6,8
	0,6	0,9	-2,2	3,7	1,7	1,9
	-0,2	-1,6	1,0	-2,0	5,4	-3,3
	-0,5	0,1	2,7	4,2	6,1	4,1
	0,2	-0,2	0,8	3,5	0,9	0,5
mean	0,6	0,5	0,3	2,4	1,9	2,4
std	2,3	1,9	4,1	2,8	4,3	5,1

	E3 vs G2					
	DD			PPP		
	6,7	8,3	-1,7	3,7	9,5	7,3
	8,3	5,0	0,6	12,2	11,2	3,1
	-1,7	1,1	-2,7	0,0	-1,1	-2,0
	-0,1	0,7	7,1	1,6	0,9	8,9
	-0,3	0,2	3,5	0,7	3,5	11,2
	-1,6	0,6	-1,1	2,0	-6,3	4,6
	0,3	1,1	-0,5	3,2	4,5	-4,5
	1,7	-0,2	1,3	3,6	-4,9	3,4
	-0,1	1,2	-9,6	-4,3	5,6	-10,9
	-1,0	0,5	-0,9	1,8	1,1	3,1
	-0,9	0,6	0,7	0,7	1,0	0,6
	-0,1	0,5	-0,7	2,1	1,7	2,9
	0,0	0,8	-0,3	3,8	6,8	1,9
	-0,7	0,6	1,1	4,3	5,9	-3,7
	-0,5	0,7	-1,0	1,5	2,1	0,5
	-0,4	0,5	2,9	1,8	-1,8	7,5
	-2,5	0,8	1,4	0,3	-6,9	7,5
	1,7	-1,5	2,9	-0,7	2,8	-0,5
	-1,2	1,6	4,0	-0,2	0,6	5,8
	-1,8	-0,2	-1,1	-2,0	-0,2	4,1
	0,1	0,3	2,7	3,5	2,2	3,7
	0,8	1,2	-2,5	3,0	2,5	1,5
	-0,1	-2,0	-0,4	-2,5	4,9	-4,4
	-1,1	0,2	1,8	3,1	6,3	4,3
	-0,2	0,4	1,3	2,9	0,5	1,1
mean	0,2	0,9	0,4	1,9	2,1	2,3
std	2,4	1,9	3,0	3,0	4,3	4,8

All values in millimeters