

# DriveMark<sup>®</sup>

## Hochgenaue Karten für das automatisierte Fahren

**Nationales Forum für Fernerkundung und Copernicus 2015**

Berlin, 3. – 5. Nov. 2015

**Hartmut Runge**

& Team

**Institut für Methodik der Fernerkundung**

DLR Oberpfaffenhofen



Knowledge for Tomorrow



# Die Innovation: Präzise Positionsdaten mittels Radar-Satelliten erzeugen



[www.Trimble.com](http://www.Trimble.com)

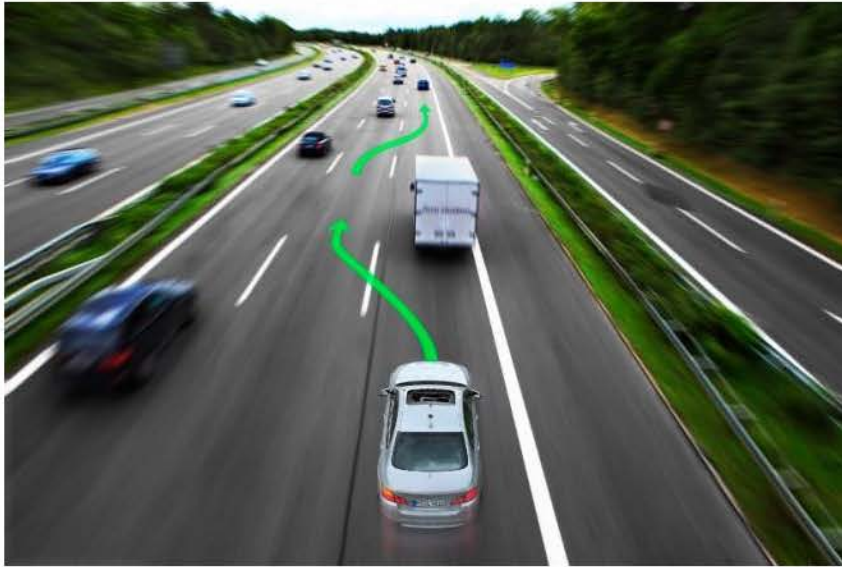
Heute: Messung vor Ort



Morgen: Straßen & Infrastrukturen intelligent einmessen mit Erdbeobachtung – DriveMark®



# (R)Evolution in der Automobilindustrie: Fahrerassistenz-Systeme und Autonomes Fahren



Quelle: S. Rauch, et.al., BMW



**Für das hoch-/vollautomatisierte Fahren muss der Fahrweg –  
und damit jede Fahrbahn – zentimetergenau bekannt sein**



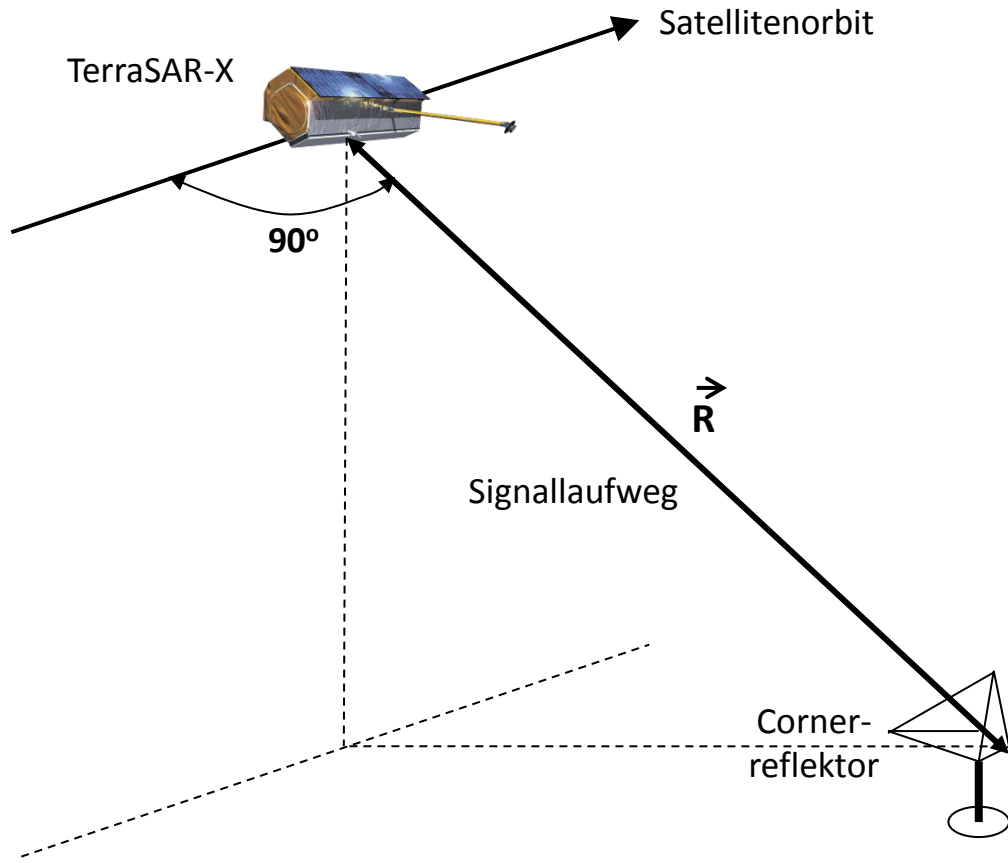
# Bedarf: Hochgenaue digitale Straßenkarten als „Missing Link“



S. Rauch, et.al. BMW



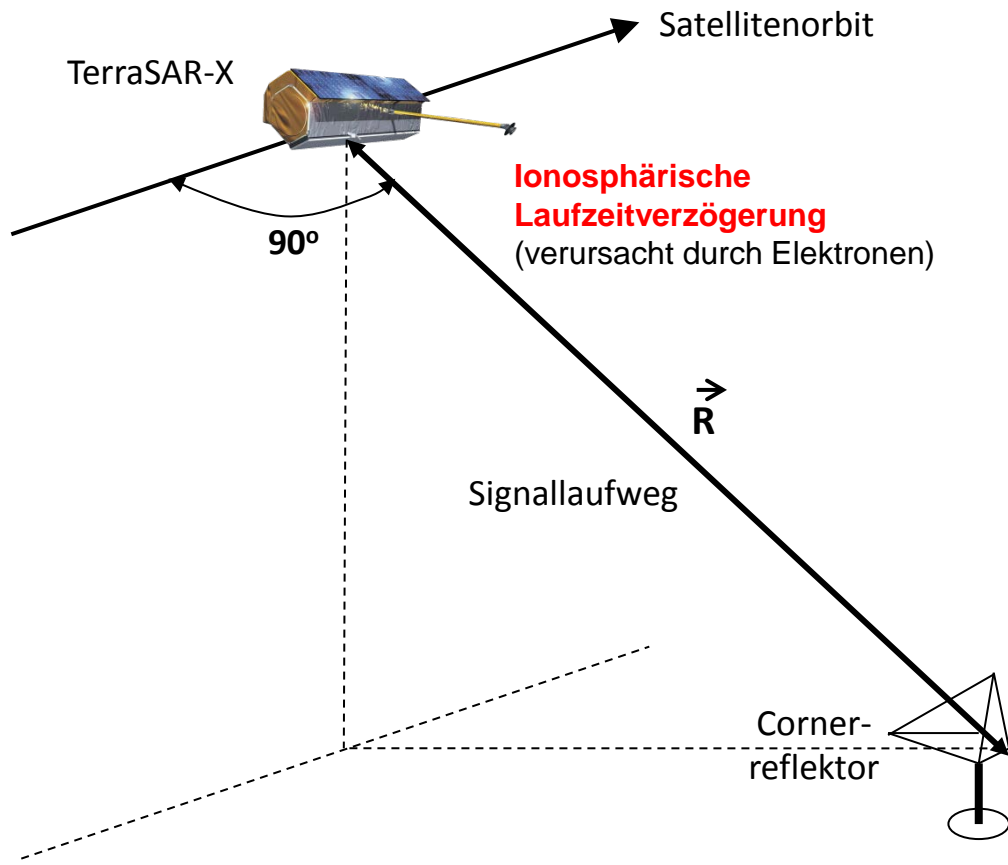
# Korrekturen bei der Abstandsmessung mit SAR:



Umrechnung der Signallaufzeit in räumliche Distanz zunächst auf Basis der Vakuum-Licht-Geschwindigkeit.



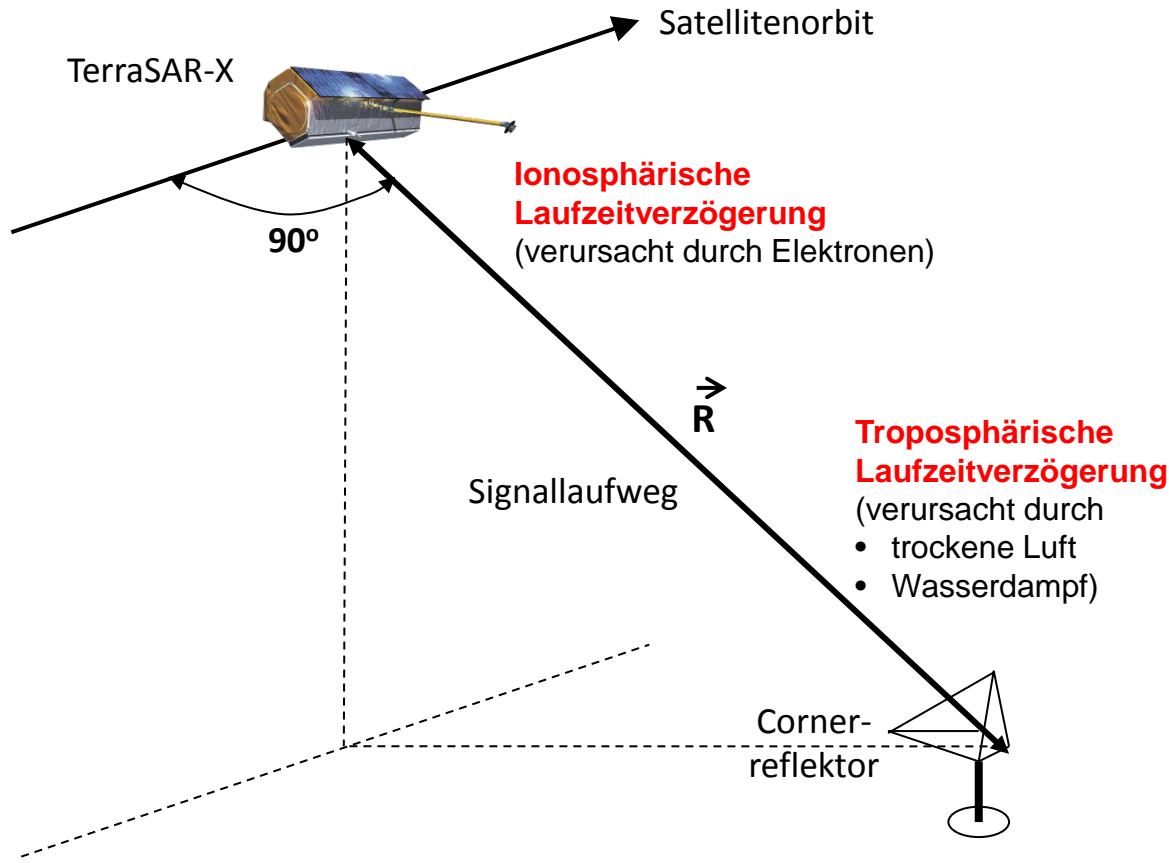
# Korrekturen bei der Abstandsmessung mit SAR:



Umrechnung der Signallaufzeit in räumliche Distanz zunächst auf Basis der Vakuum-Licht-Geschwindigkeit.



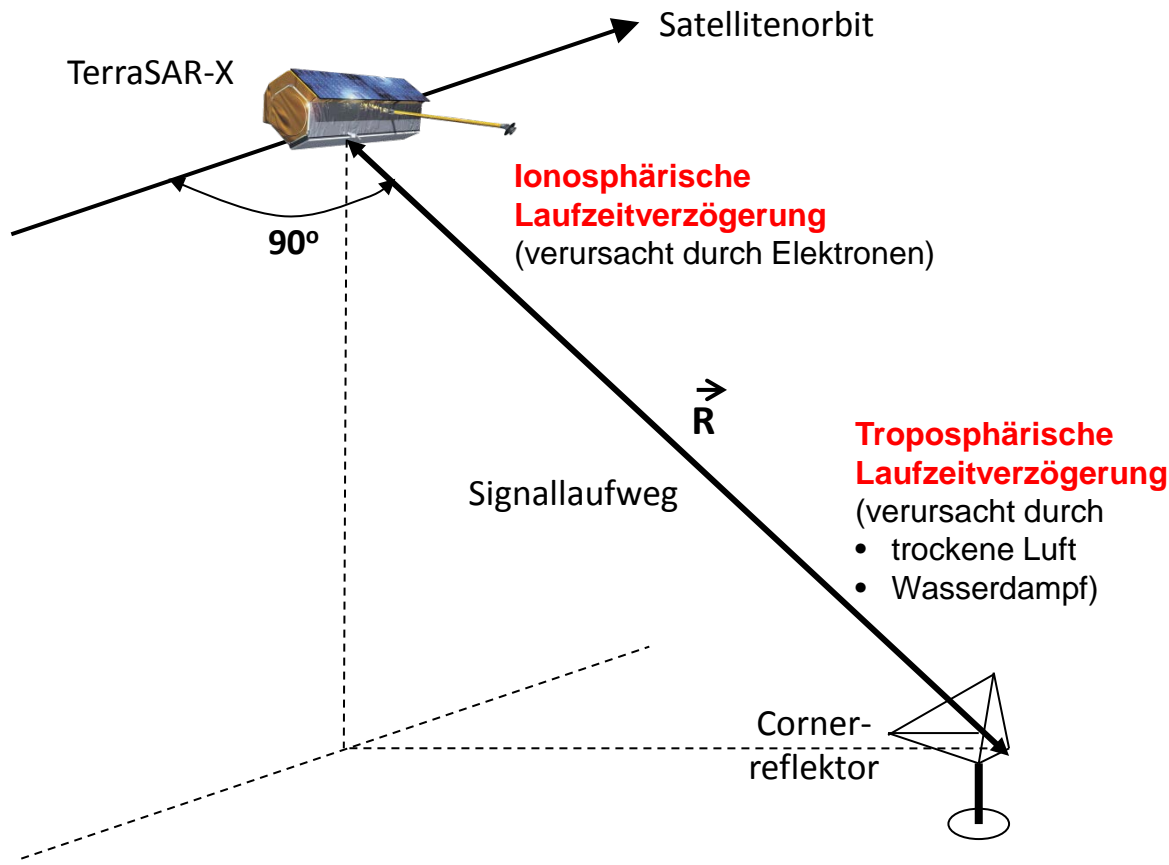
# Korrekturen bei der Abstandsmessung mit SAR:



Umrechnung der Signallaufzeit in räumliche Distanz zunächst auf Basis der Vakuumlichtgeschwindigkeit.



# Korrekturen bei der Abstandsmessung mit SAR:



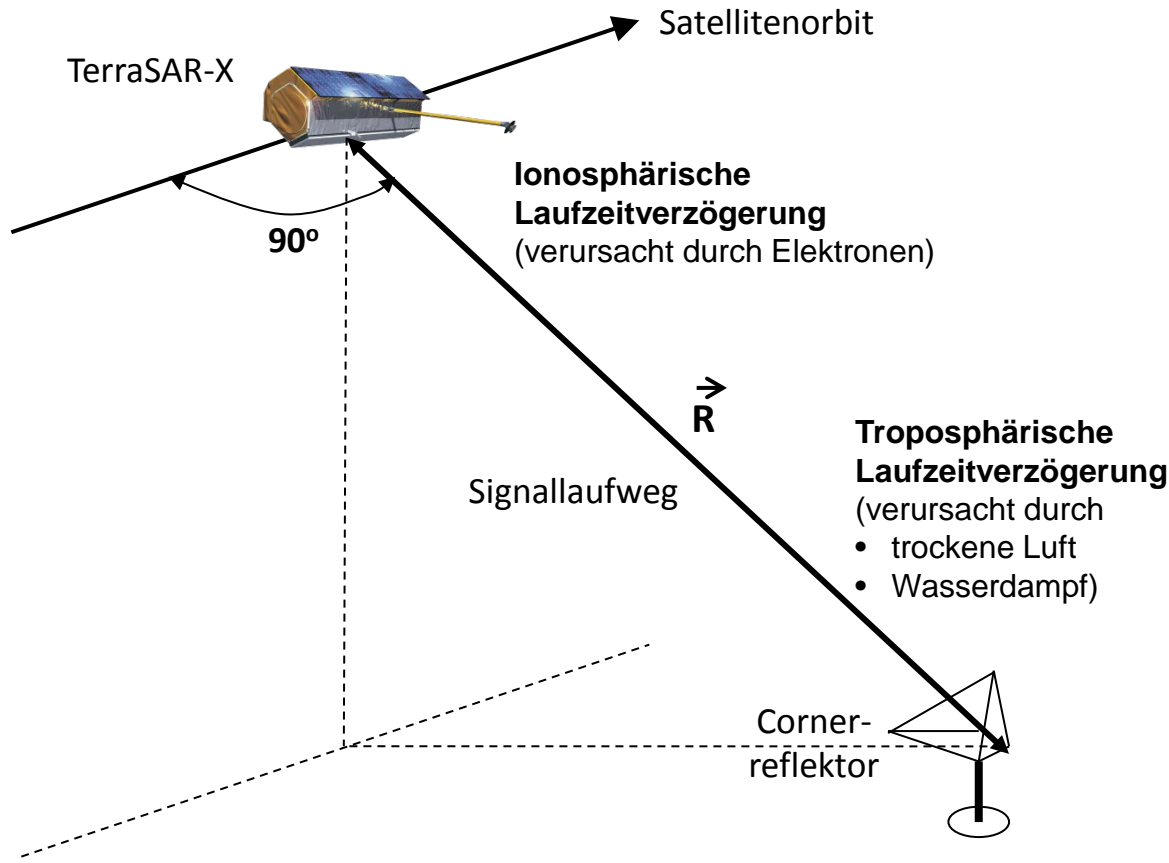
Umrechnung der Signallaufzeit in räumliche Distanz zunächst auf Basis der Vakuum-Licht-Geschwindigkeit.

=> Laufzeitverzögerungen in der Ionosphäre und in der Troposphäre müssen korrigiert werden





# Korrekturen bei der Abstandsmessung mit SAR:



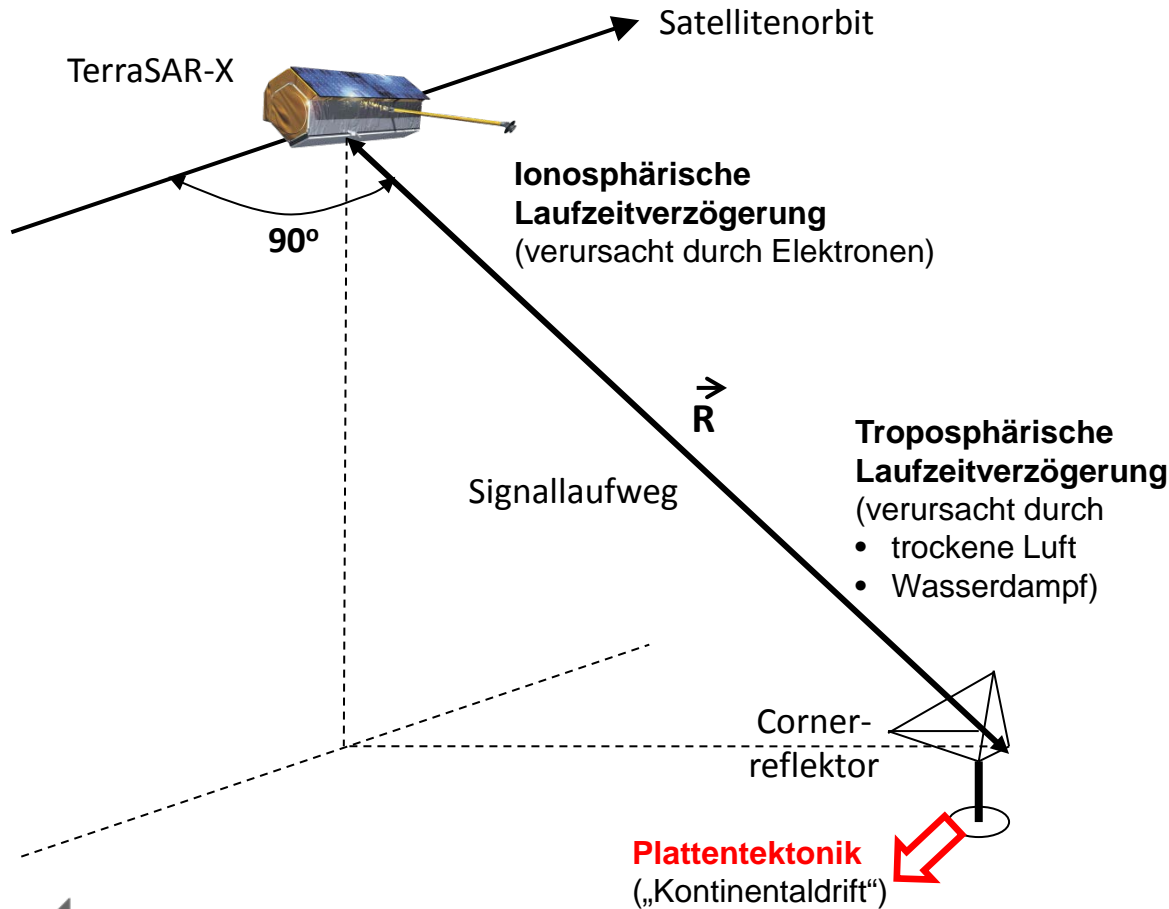
Umrechnung der Signallaufzeit in räumliche Distanz zunächst auf Basis der Vakuumlichtgeschwindigkeit.

=> Laufzeitverzögerungen in der Ionosphäre und in der Troposphäre müssen korrigiert werden

Ferner:  
Berücksichtigung (=Korrektur) von geodynamischen Effekten



# Korrekturen bei der Abstandsmessung mit SAR:



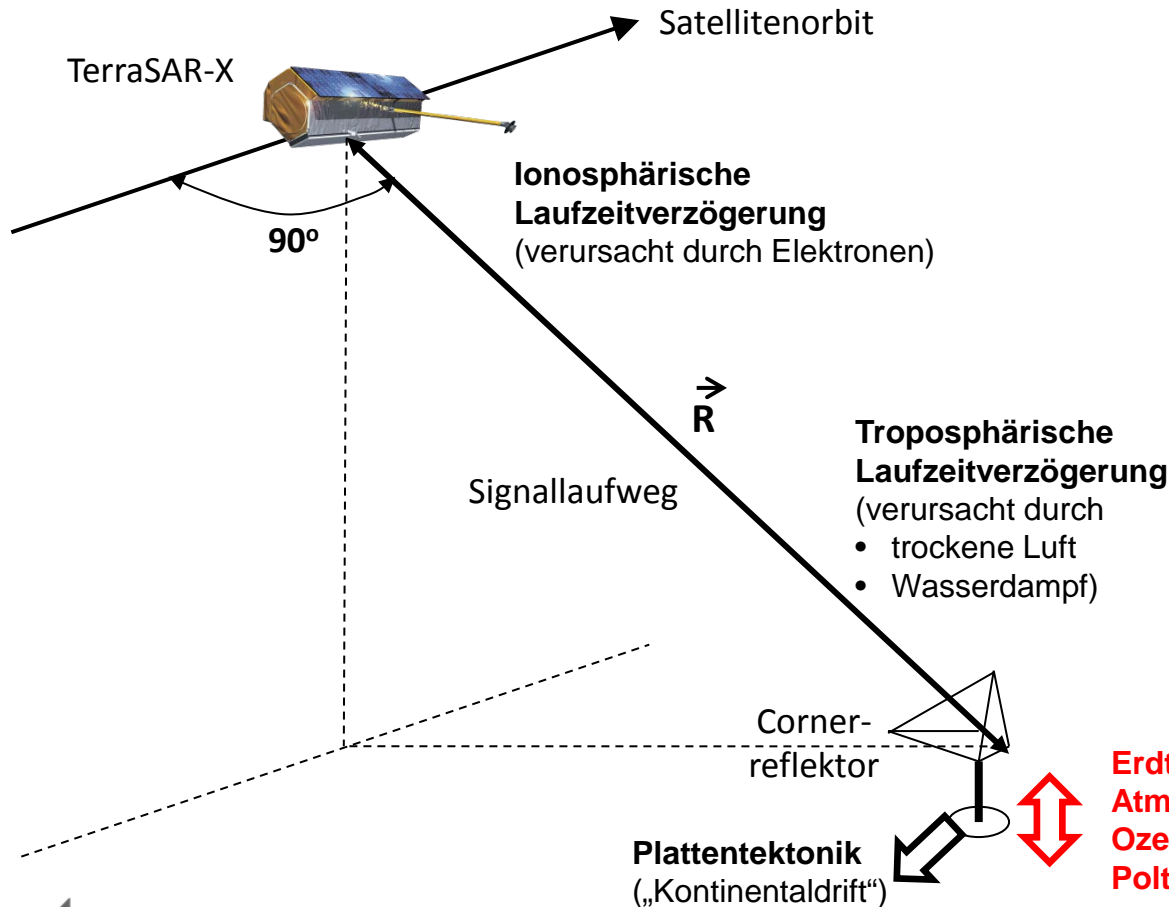
Umrechnung der Signallaufzeit in räumliche Distanz zunächst auf Basis der Vakuumlichtgeschwindigkeit.

=> Laufzeitverzögerungen in der Ionosphäre und in der Troposphäre müssen korrigiert werden

Ferner:  
Berücksichtigung (=Korrektur) von geodynamischen Effekten



# Korrekturen bei der Abstandsmessung mit SAR:



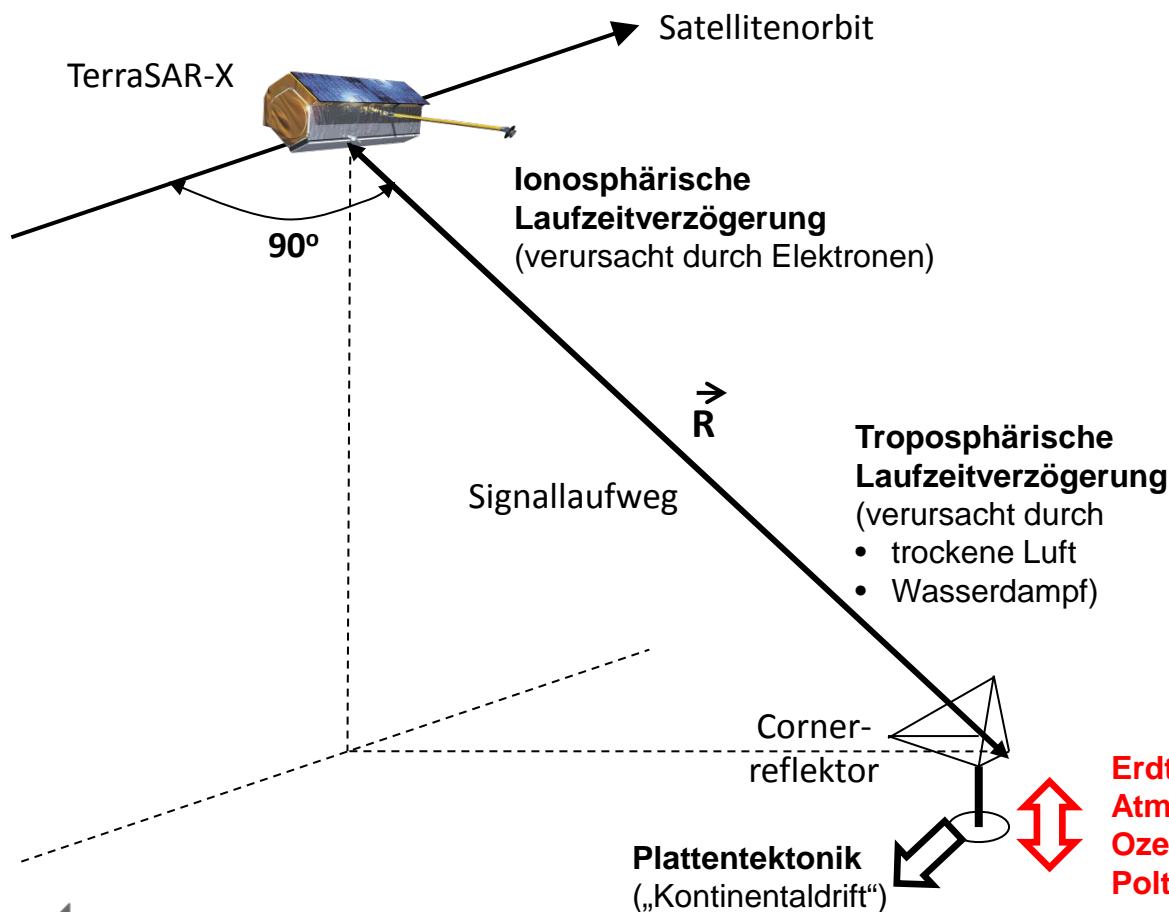
Umrechnung der Signallaufzeit in räumliche Distanz zunächst auf Basis der Vakuumlichtgeschwindigkeit.

=> Laufzeitverzögerungen in der Ionosphäre und in der Troposphäre müssen korrigiert werden

Ferner:  
Berücksichtigung (=Korrektur) von geodynamischen Effekten



# Korrekturen bei der Abstandsmessung mit SAR:



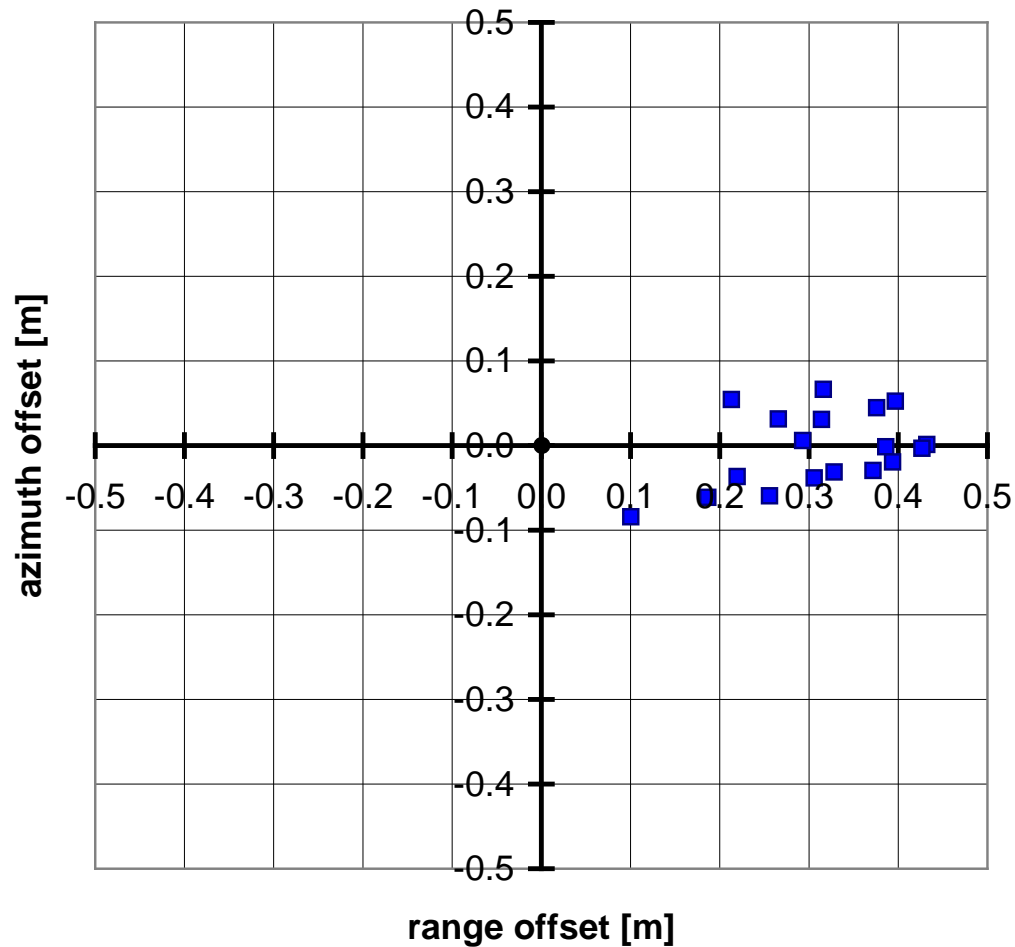
Umrechnung der Signallaufzeit in räumliche Distanz zunächst auf Basis der Vakuumlichtgeschwindigkeit.

=> Laufzeitverzögerungen in der Ionosphäre und in der Troposphäre müssen korrigiert werden

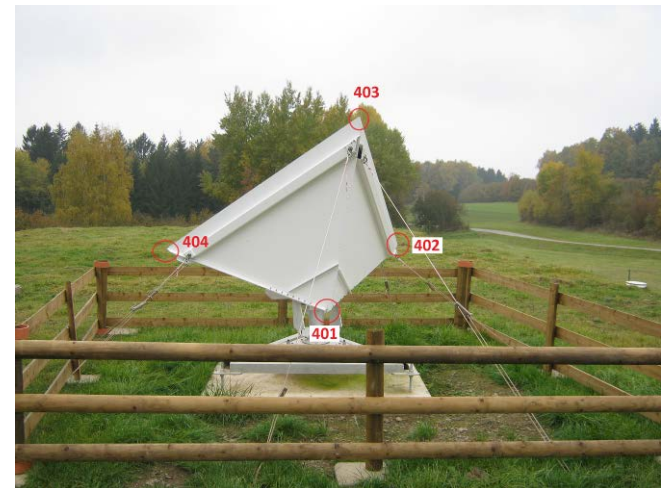
Ferner:  
Berücksichtigung (=Korrektur) von geodynamischen Effekten



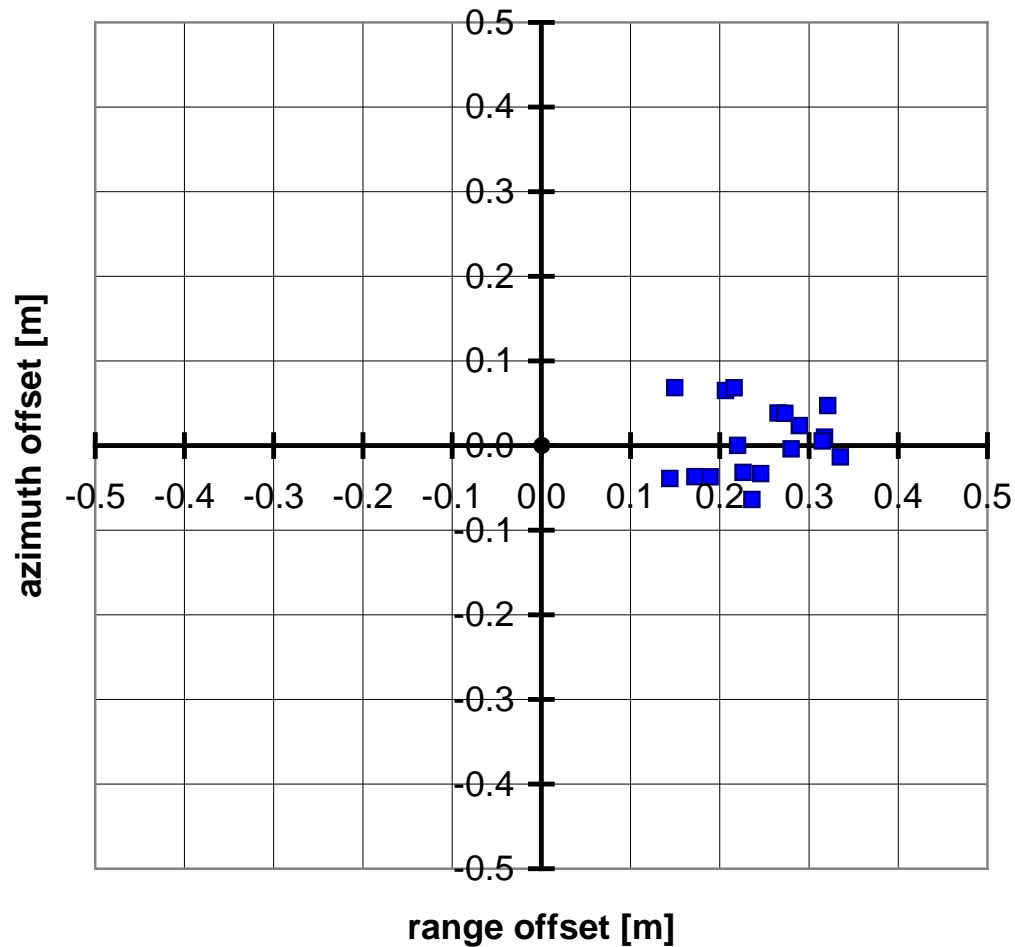
# 2D-Localization Accuracy of TerraSAR-X



azimuth offset =  $-0.4 \pm 4.4$  cm  
range offset =  $31.0 \pm 9.1$  cm

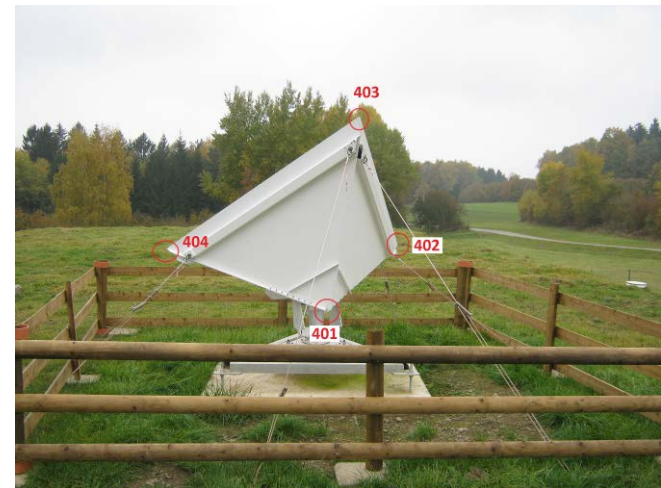


# 2D-Localization Accuracy of TerraSAR-X

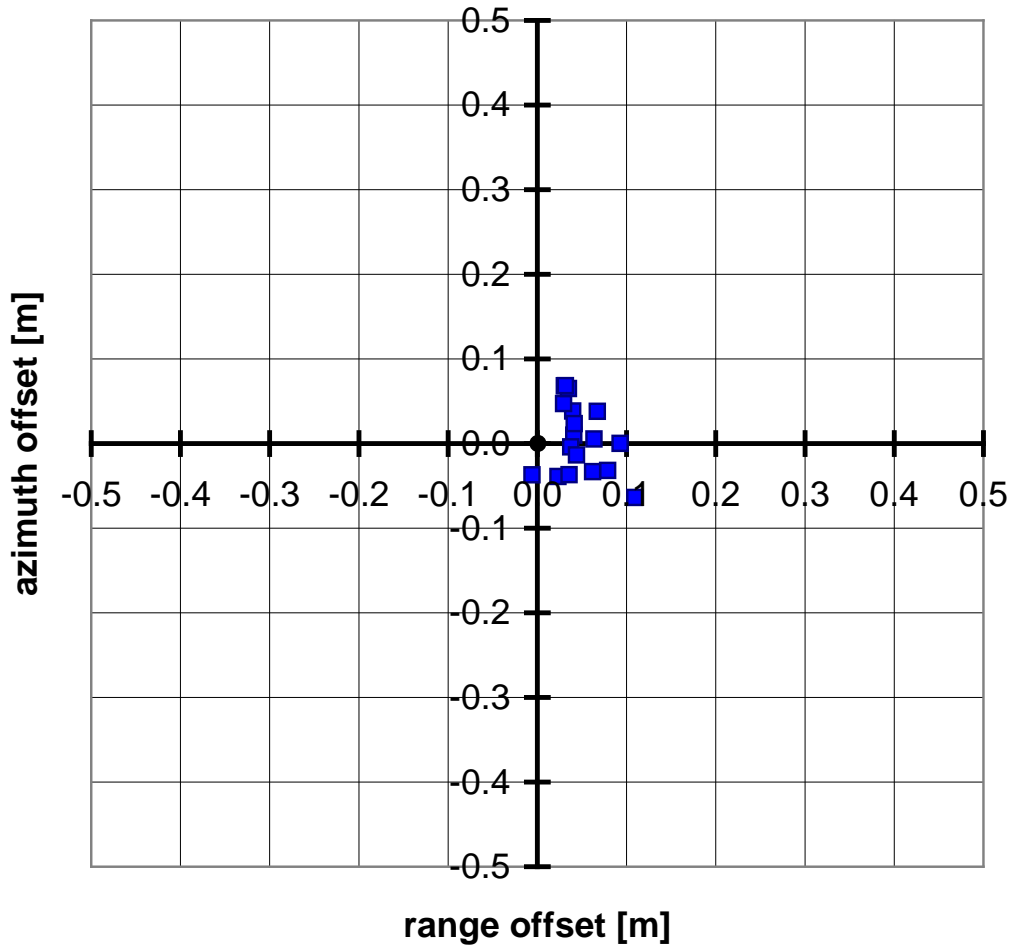


solid earth tides considered

azimuth offset =  $0.6 \pm 4.2$  cm  
range offset =  $24.5 \pm 5.9$  cm

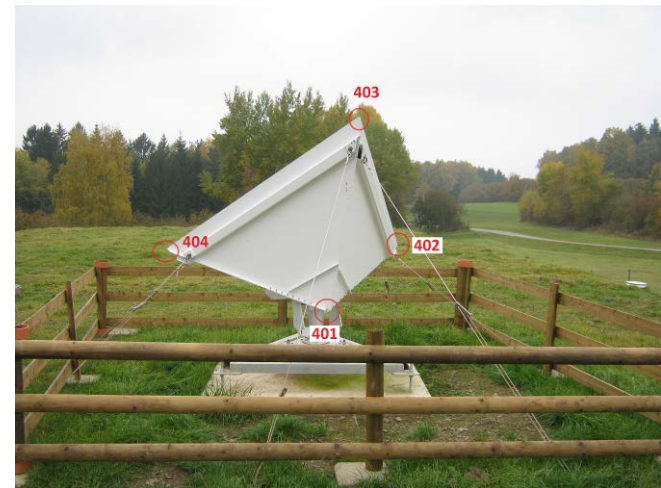


# 2D-Localization Accuracy of TerraSAR-X

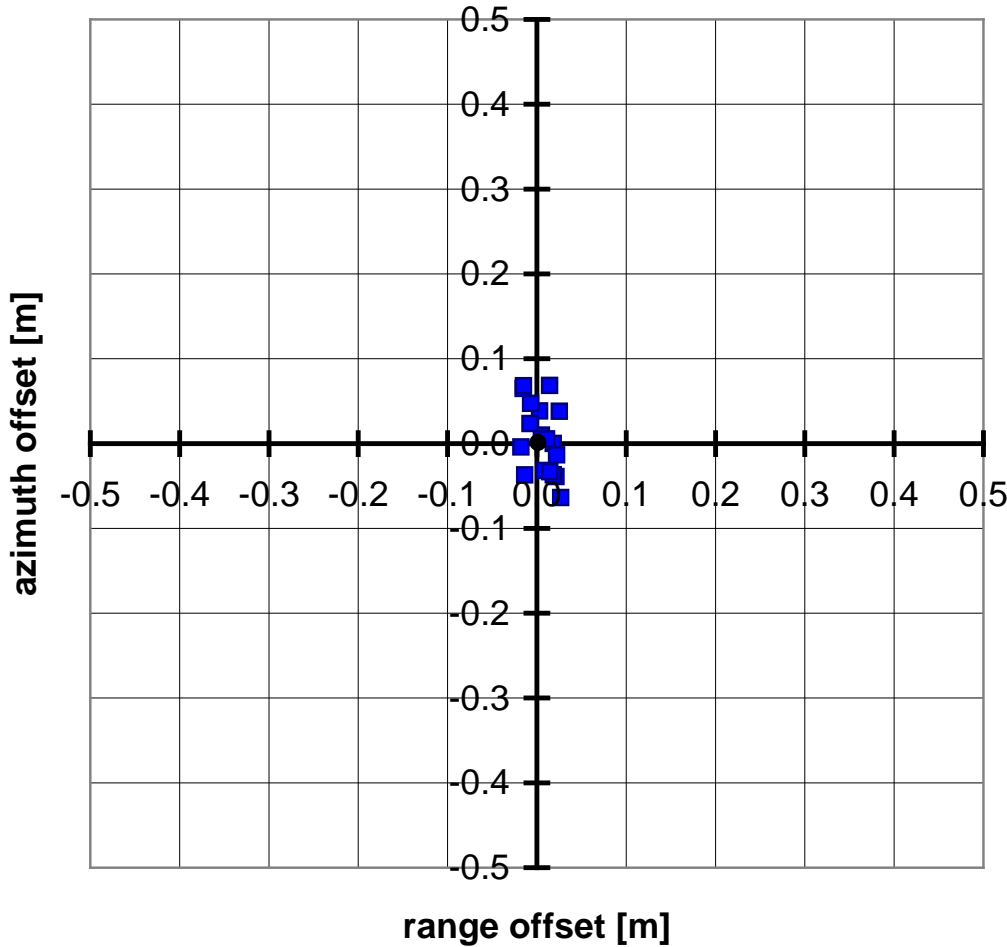


solid earth tides considered  
troposphere delay considered

azimuth offset =  $0.6 \pm 4.2$  cm  
range offset =  $4.8 \pm 2.7$  cm

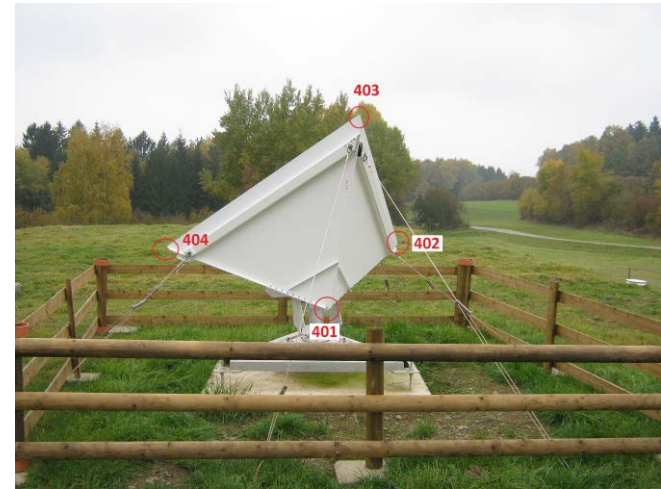


# 2D-Localization Accuracy of TerraSAR-X



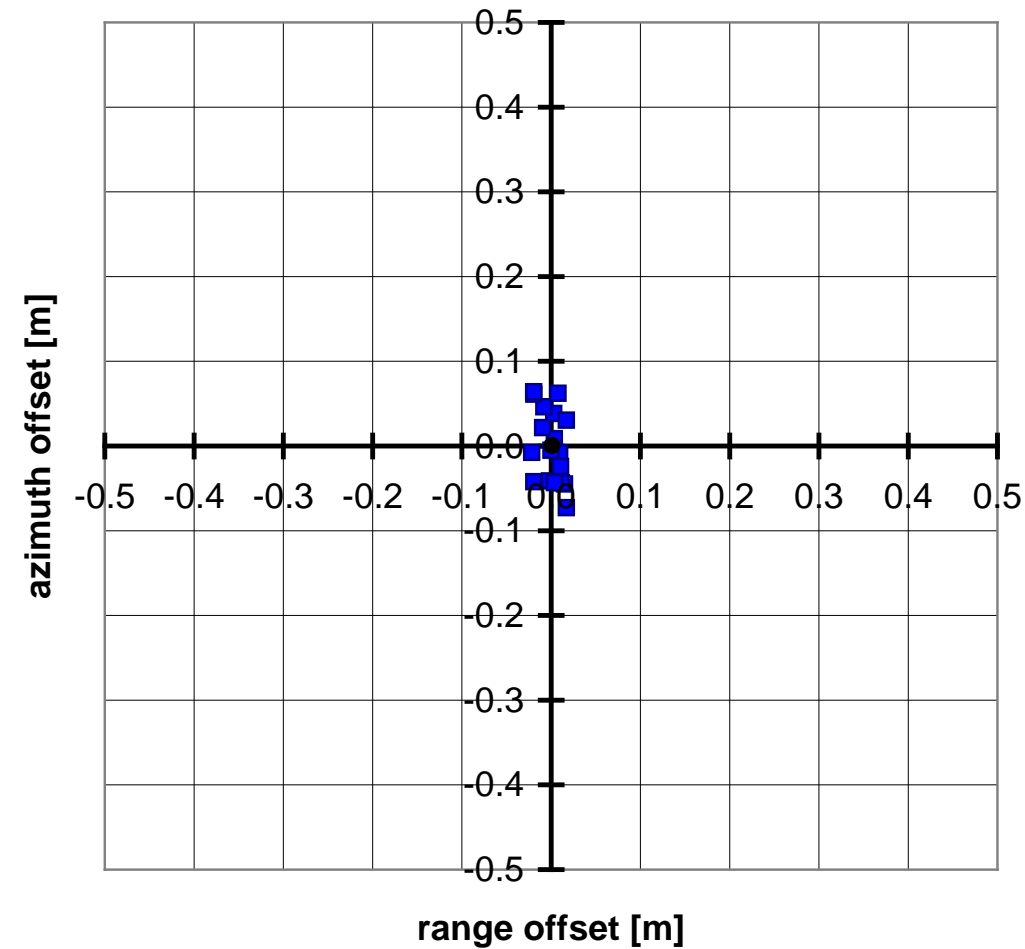
solid earth tides considered  
troposphere delay considered  
ionosphere delay considered

azimuth offset =  $0.6 \pm 4.2$  cm  
range offset =  $0.6 \pm 1.5$  cm



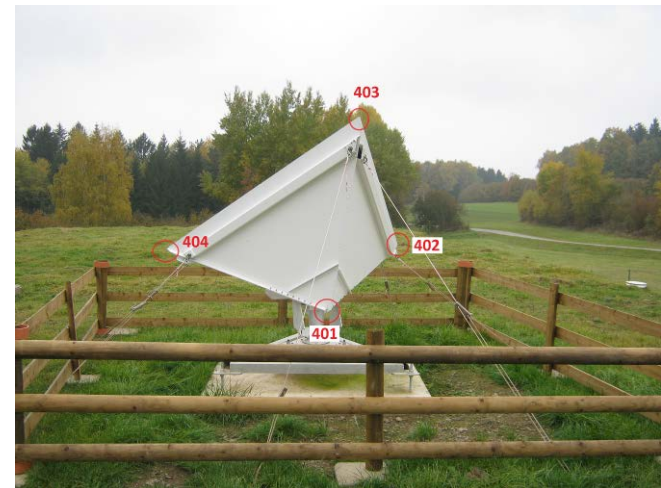


# 2D-Localization Accuracy of TerraSAR-X

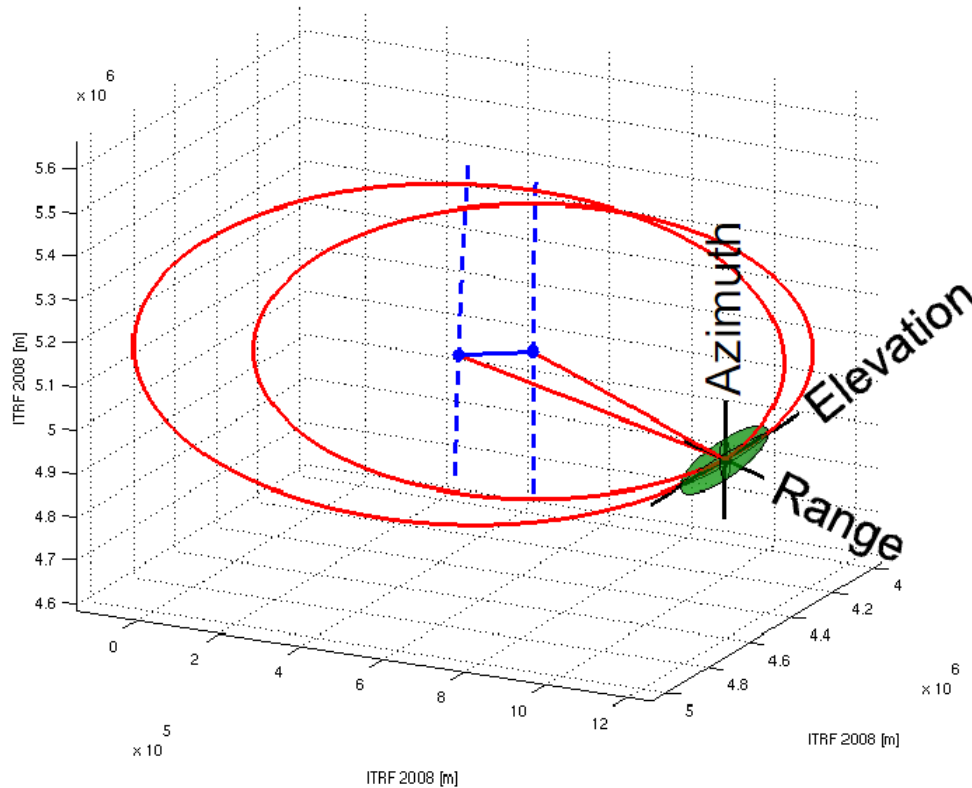


solid earth tides considered  
troposphere delay considered  
ionosphere delay considered  
continental drift considered

azimuth offset =  $0.0 \pm 4.3$  cm  
range offset =  $0.0 \pm 1.3$  cm



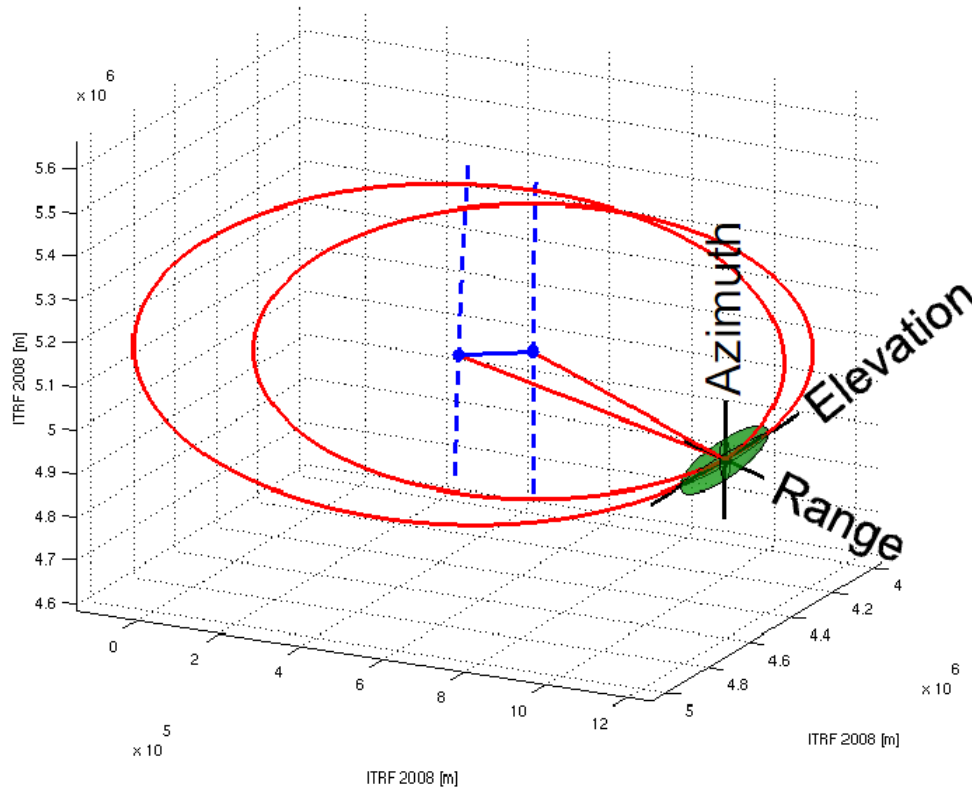
# 3-D Stereo-SAR-Lokalisierung



Auswertung der 2D-Positionsmessungen aus 2 (oder mehr) SAR-Aufnahmen mit unterschiedlicher Aufnahmegeometrie



# 3-D Stereo-SAR-Lokalisierung

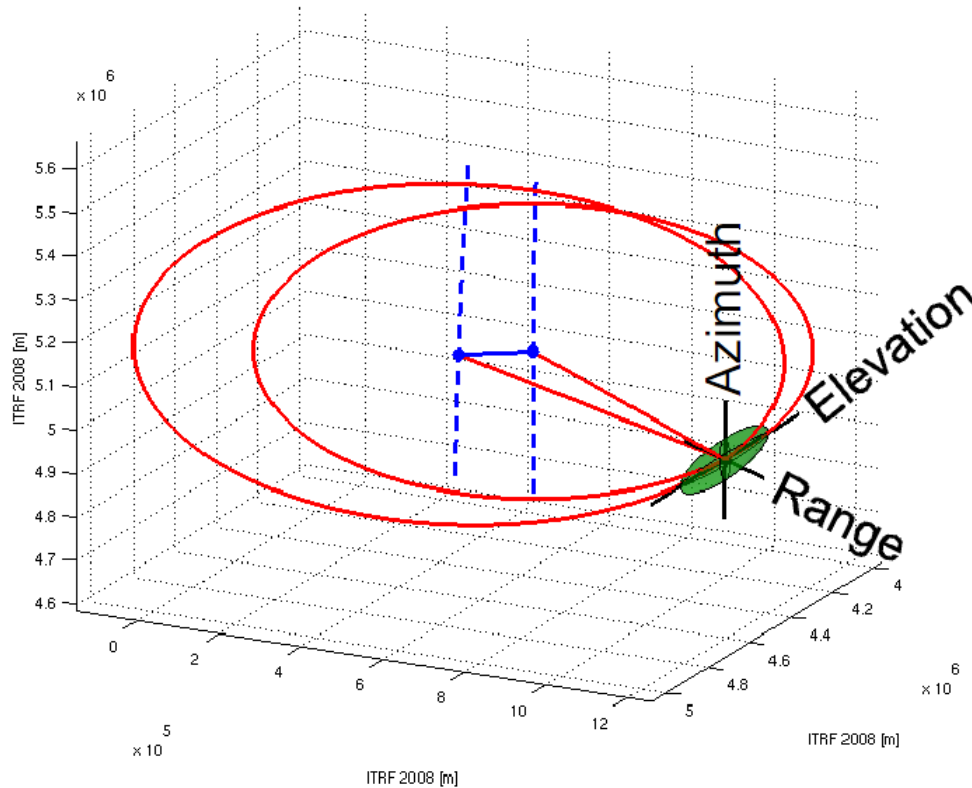


Auswertung der 2D-Positionsmessungen aus 2 (oder mehr) SAR-Aufnahmen mit unterschiedlicher Aufnahmegeometrie

Berechnung des Schnittpunktes der Kreislinien



# 3-D Stereo-SAR-Lokalisierung



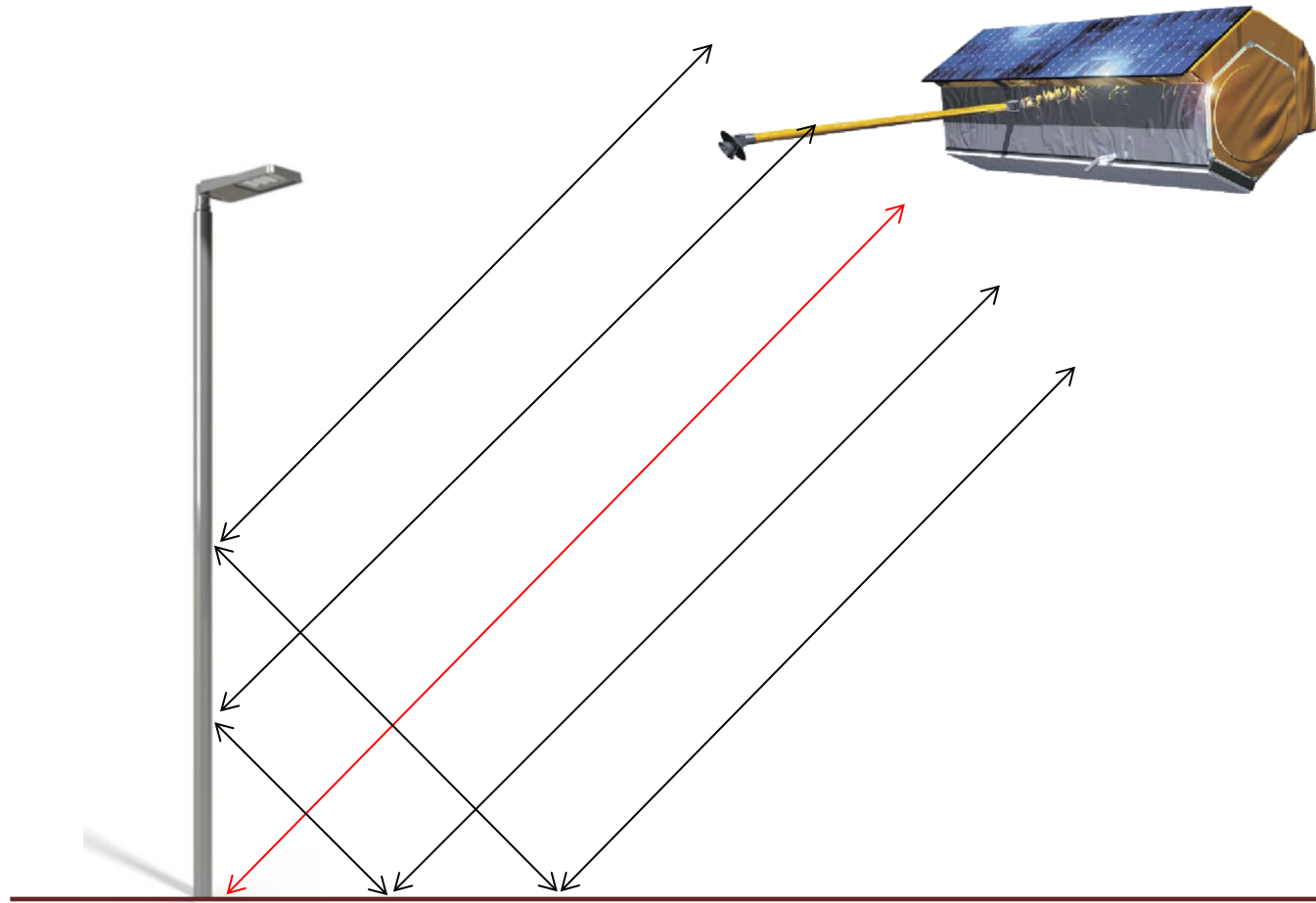
Auswertung der 2D-Positionsmessungen aus 2 (oder mehr) SAR-Aufnahmen mit unterschiedlicher Aufnahmegeometrie

Berechnung des Schnittpunktes der Kreislinien

=> Bestimmung von 3D-Koordinaten.



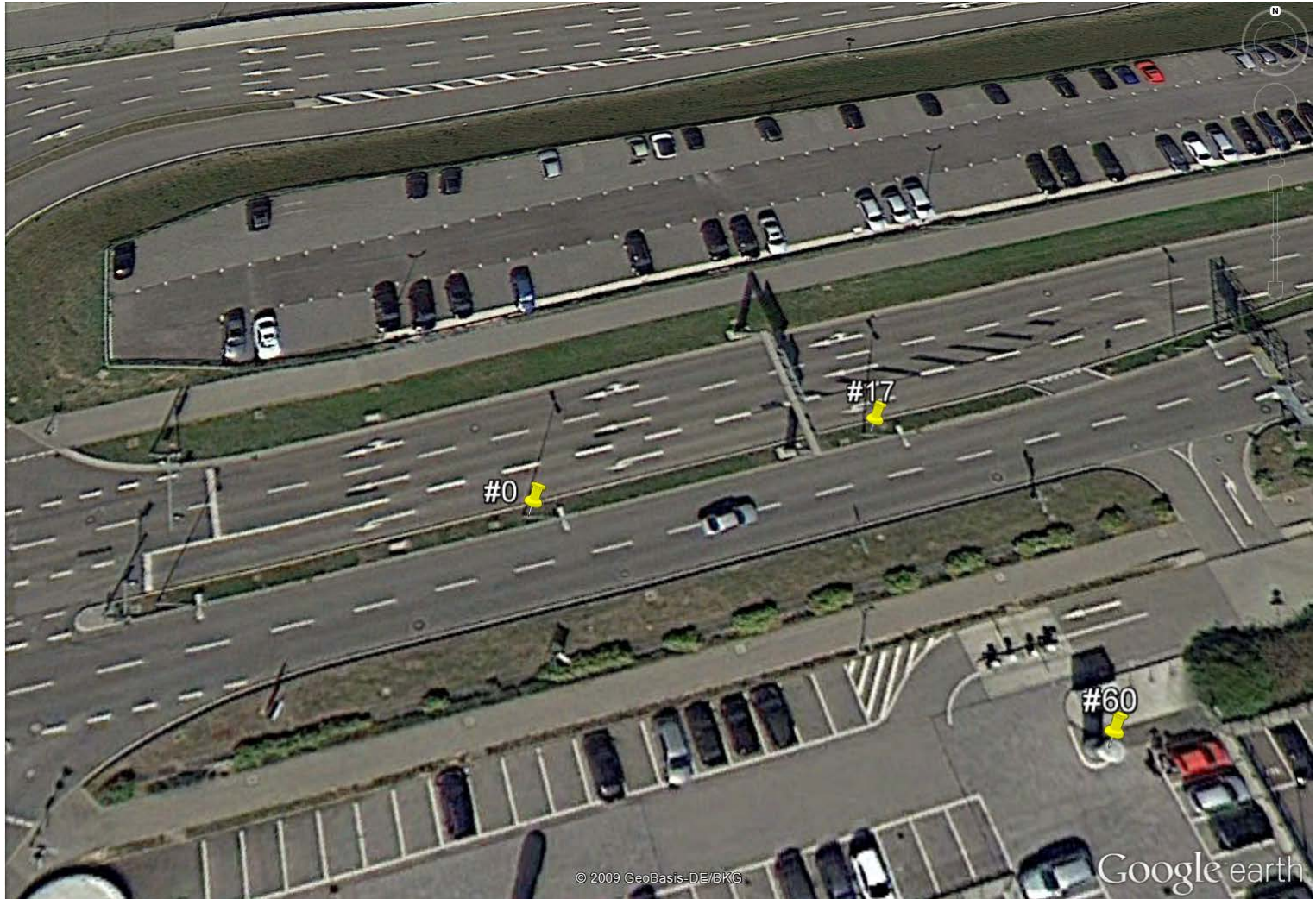
# Mast und Boden bilden einen Corner Reflector



**Im SAR-Bild wird der Mast als fokussierter Punkt am Fußpunkt des Mastes abgebildet!**



# Beispiel für die automatische Detektion und Lokalisierung von geeigneten Objekten



# Beispiel für die automatische Detektion und Lokalisierung von geeigneten Objekten



Positionen: TerraSAR-X Luftbild: Google Earth



# Validierung der ermittelten 3D-Koordinaten





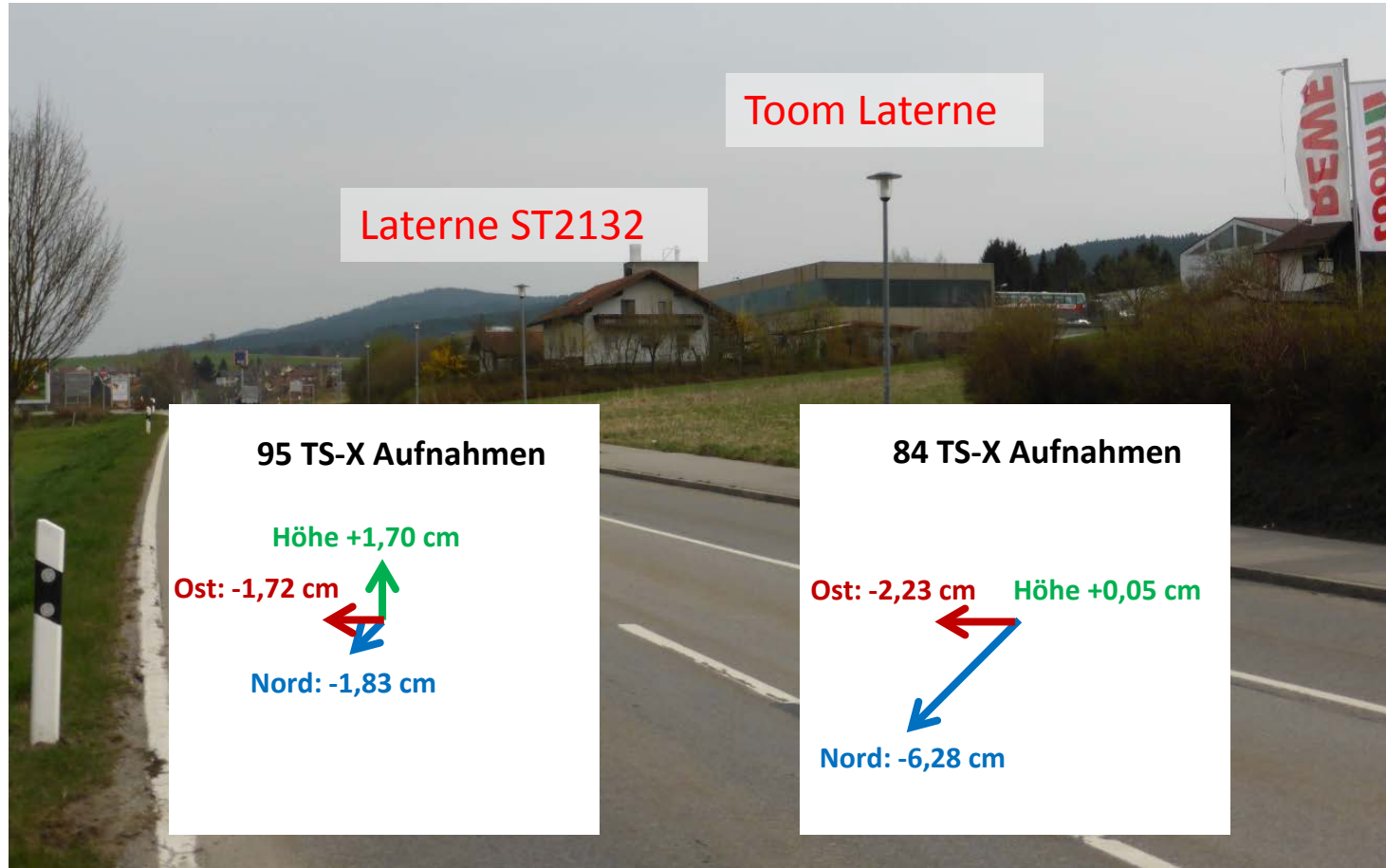
# Validierung der ermittelten 3D-Koordinaten

## Abweichung der gemittelten SAR-Messungen von den in-situ Messungen



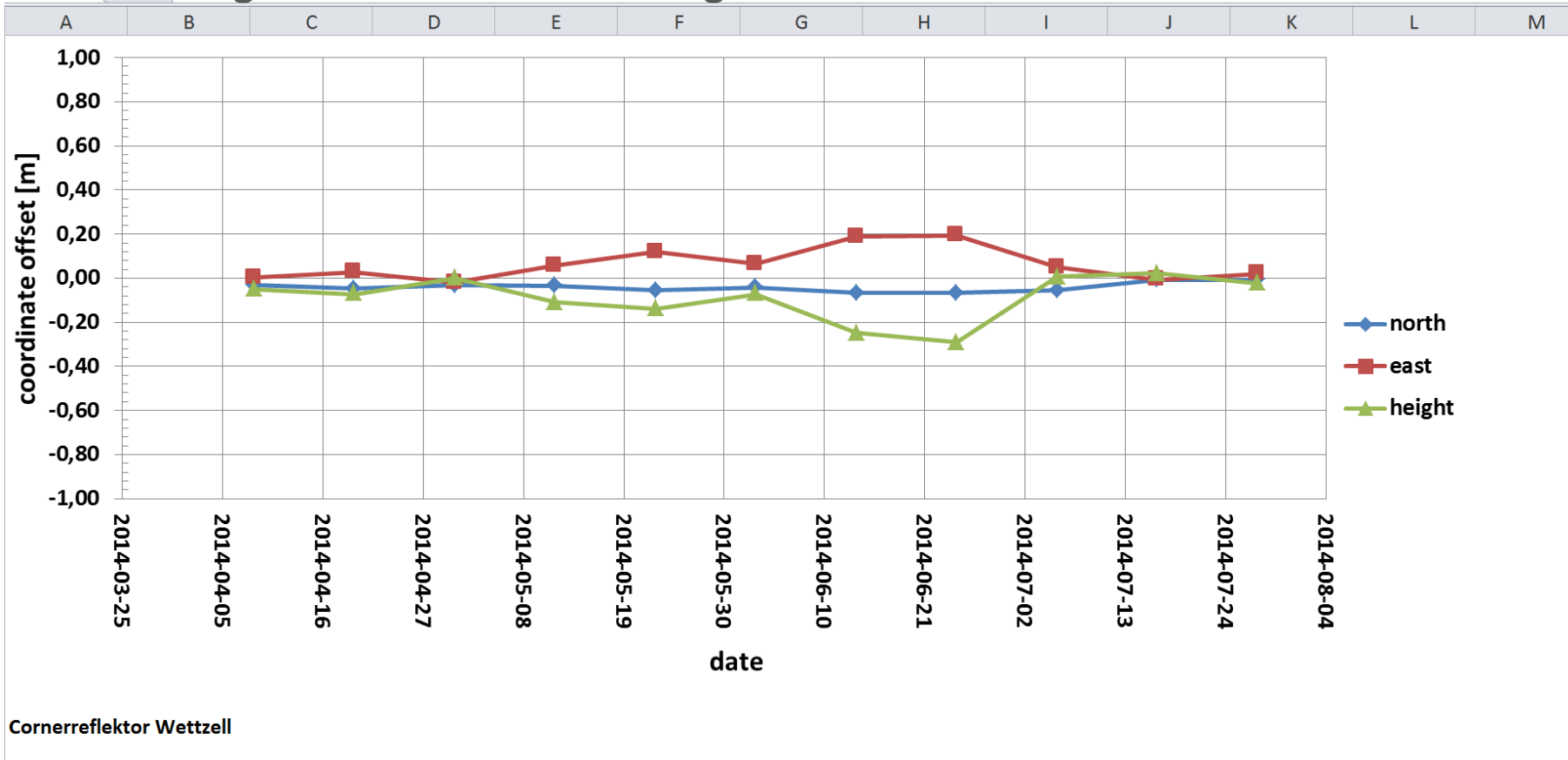
# Validierung der ermittelten 3D-Koordinaten

## Abweichung der gemittelten SAR-Messungen von den in-situ Messungen



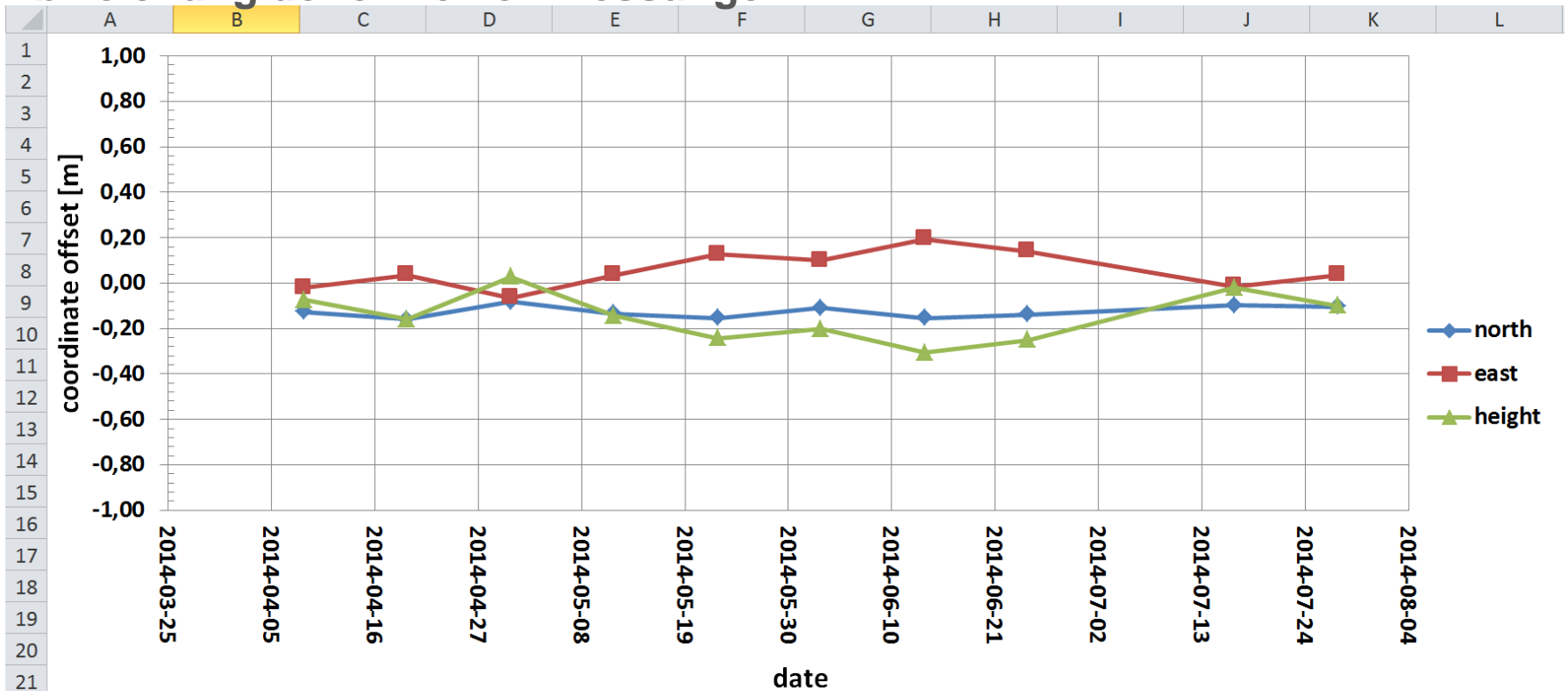
# Validierung der ermittelten 3D-Koordinaten

## Abweichung der einzelnen Messungen



# Validierung der ermittelten 3D-Koordinaten (2)

## Abweichung der einzelnen Messungen



Laterne ST2132



# Zusammenfassung

- TerraSAR-X kann die Koordinaten von geeigneten Objekten mit einer Genauigkeit von 10cm in X,Y, Z liefern
- Die Passpunkte können genutzt werden, um die neuen Straßenkarten für das autonome Fahren an Hand von Passpunkt-Netzen stichprobenartig zu verifizieren
- Luftbilder und andere Satellitenbilder können präzise georeferenziert werden
- Aus den so aufgewerteten optischen Daten lassen sich die Fahrspuren und die Randbebauung der Straßen extrahieren





# DriveMark<sup>®</sup>

high precision mapping  
for automated vehicles  
with remote sensing

