

DriveMark[®]

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

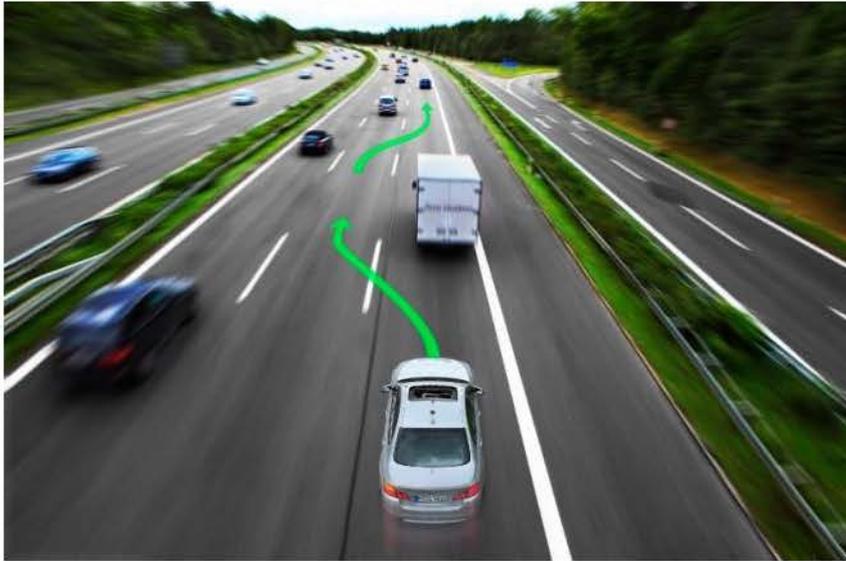
Heute: Messung vor Ort



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**



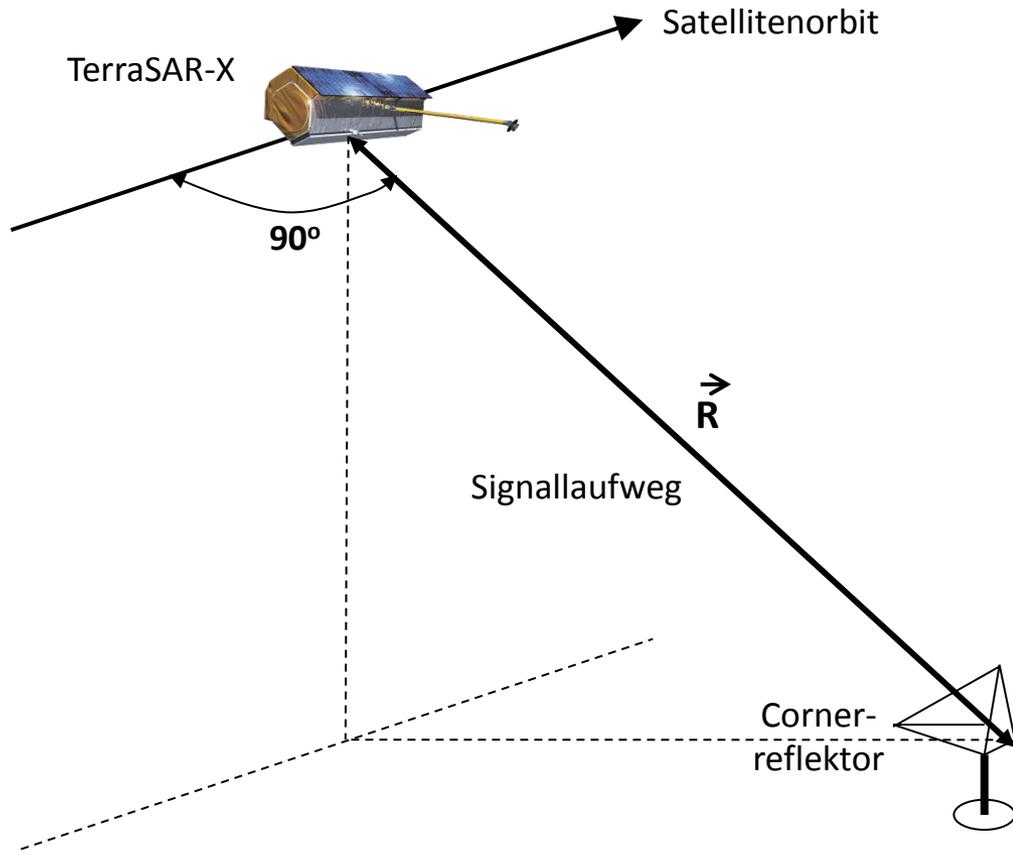
Bedarf: Hochgenaue digitale Straßenkarten als „Missing Link“



S. Rauch, et.al. BMW



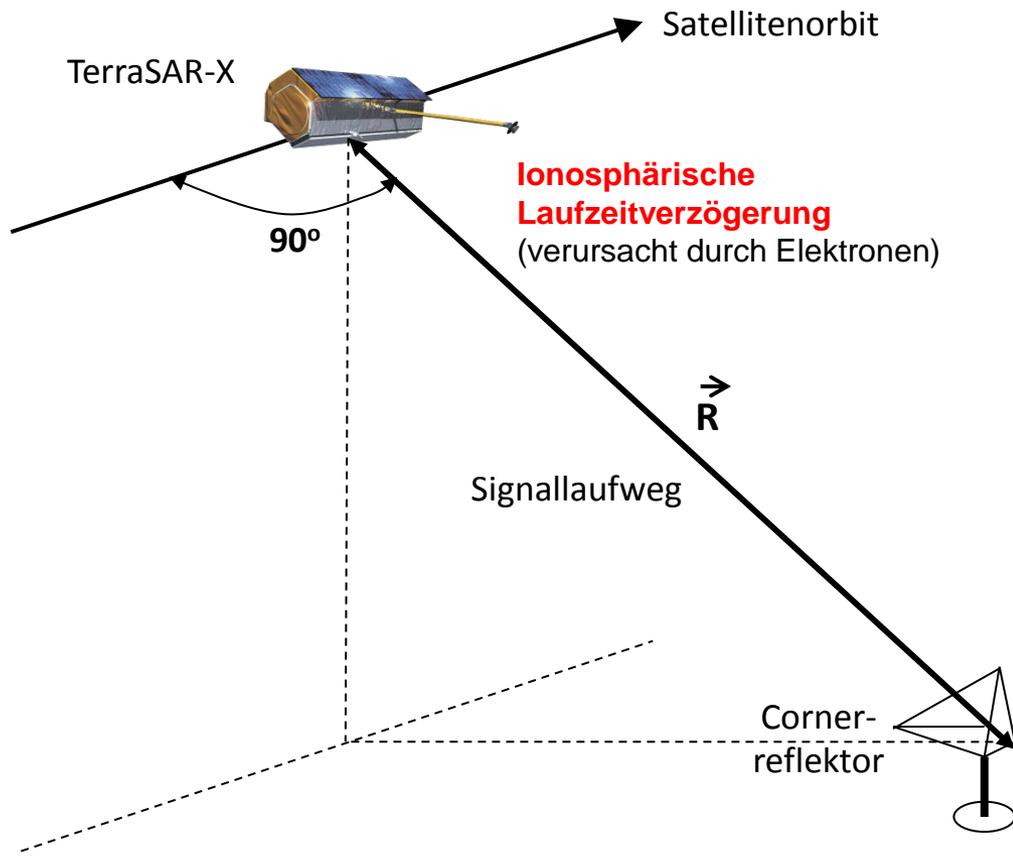
Korrekturen bei der Abstandsmessung mit SAR:



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



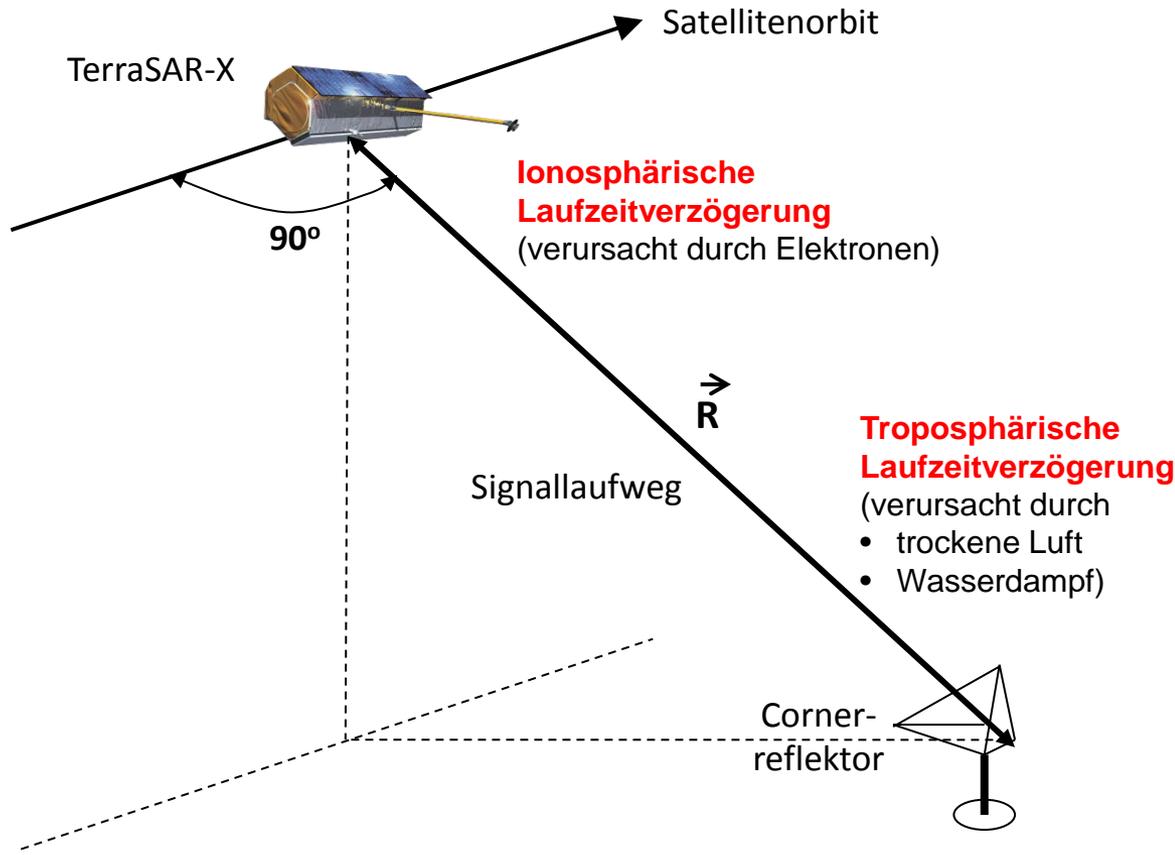
Korrekturen bei der Abstandsmessung mit SAR:



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



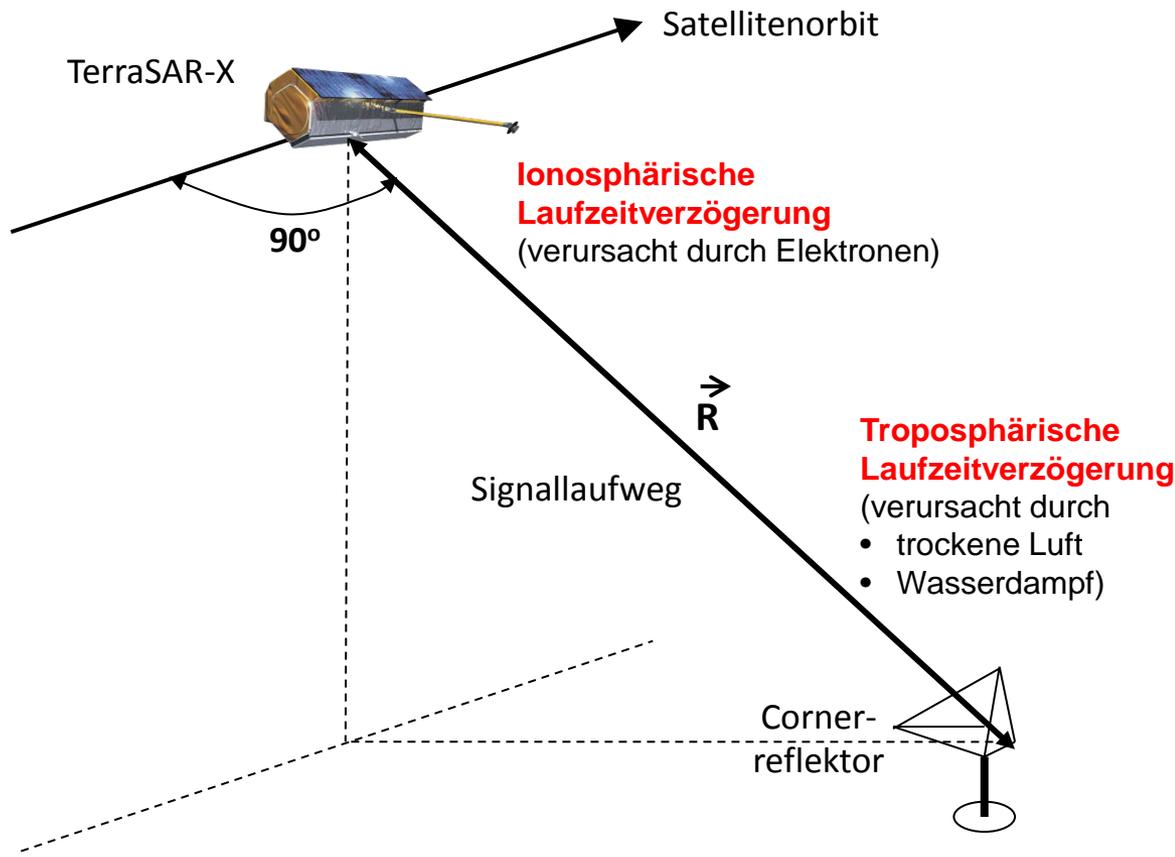
Korrekturen bei der Abstandsmessung mit SAR:



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



Korrekturen bei der Abstandsmessung mit SAR:

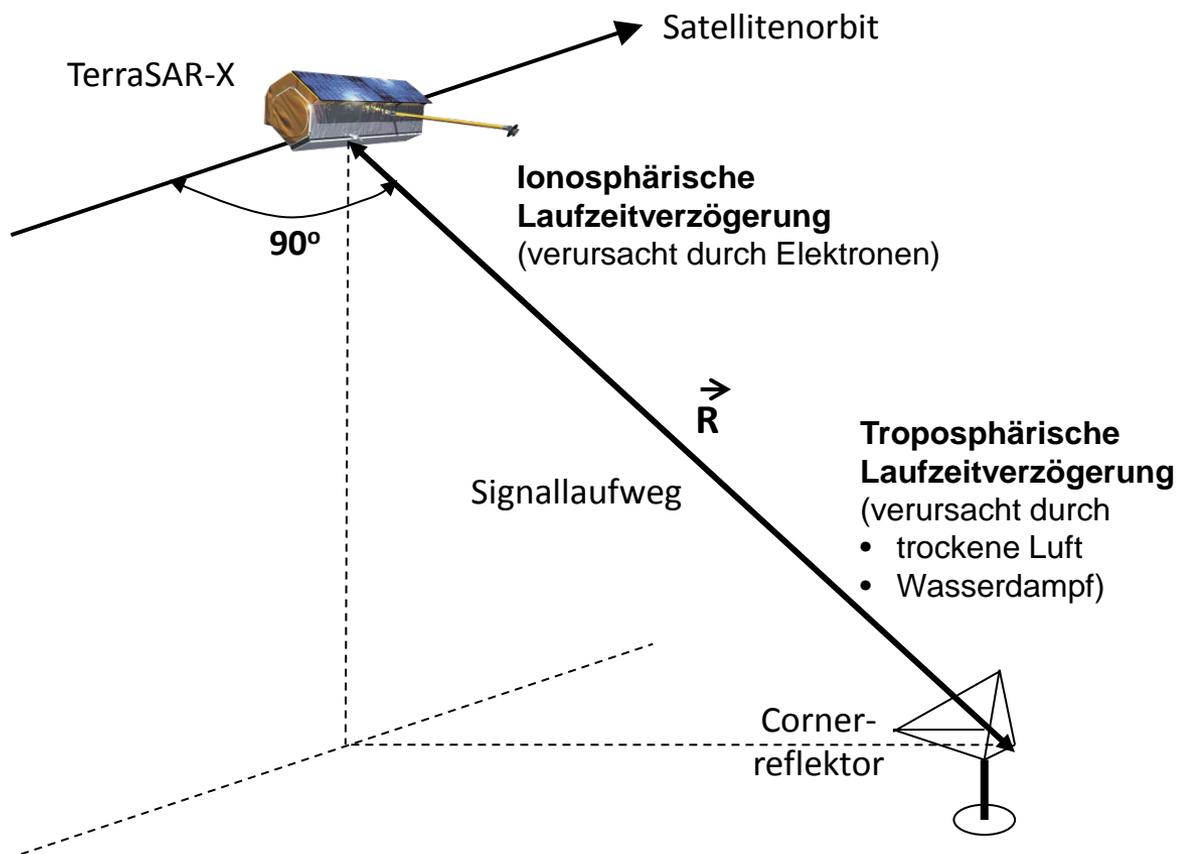


Umrechnung der Signallaufzeit in räumliche Distanz zunächst auf Basis der Vakuum-Licht-Geschwindigkeit.

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



Korrekturen bei der Abstandsmessung mit SAR:



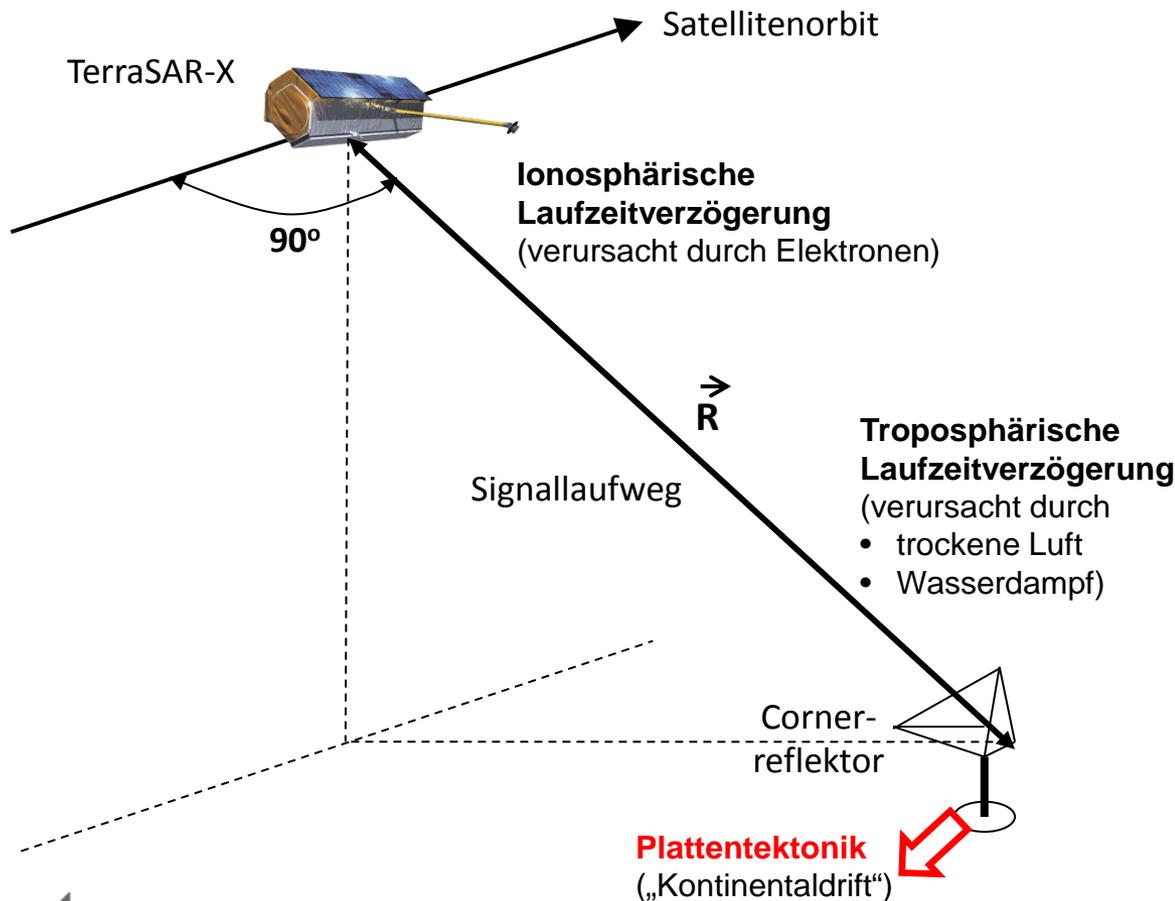
Umrechnung der Signallaufzeit in räumliche Distanz zunächst auf Basis der Vakuumlichtgeschwindigkeit.

=> 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.

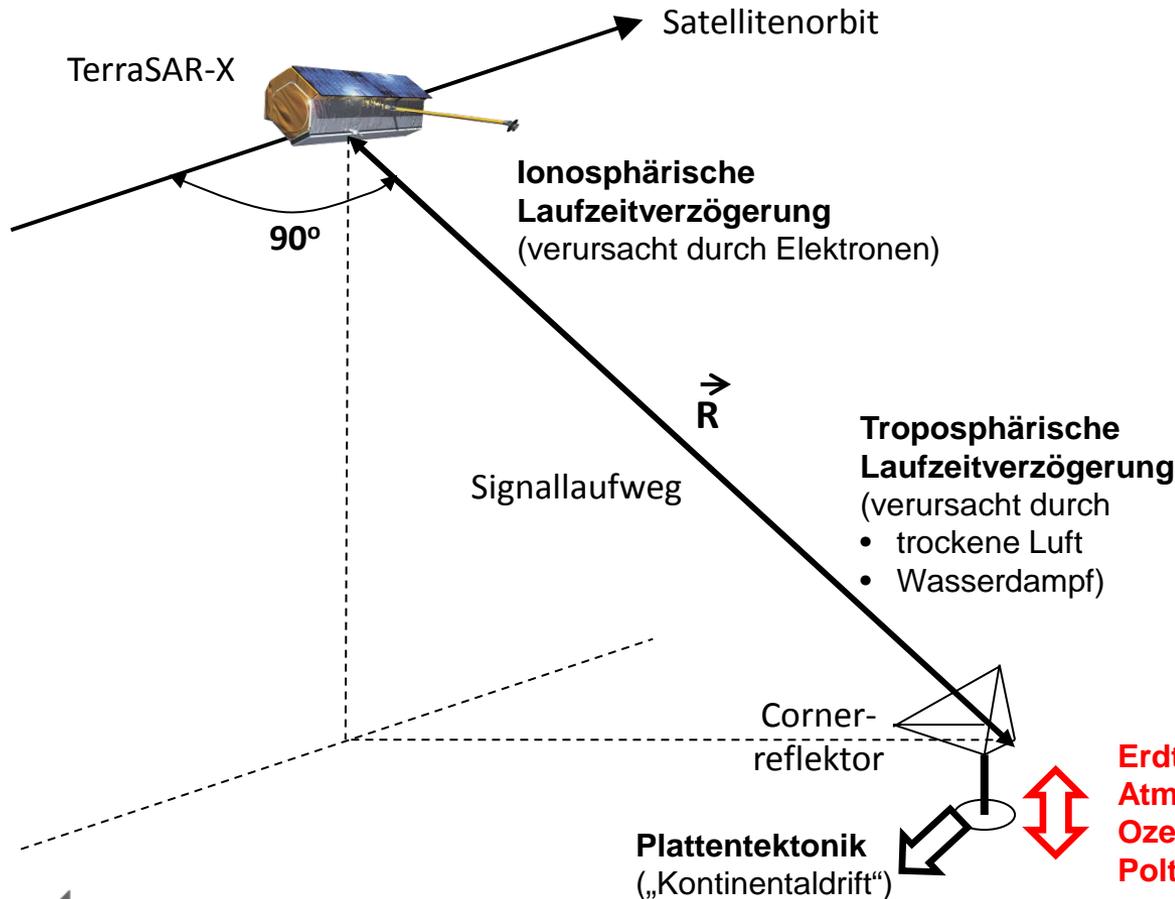
=> Laufzeitverzögerungen in der Ionosphäre und in der Troposphäre müssen korrigiert werden

Ferner:

Berücksichtigung (=Korrektur) von geodynamischen Effekten



Korrekturen bei der Abstandsmessung mit SAR:



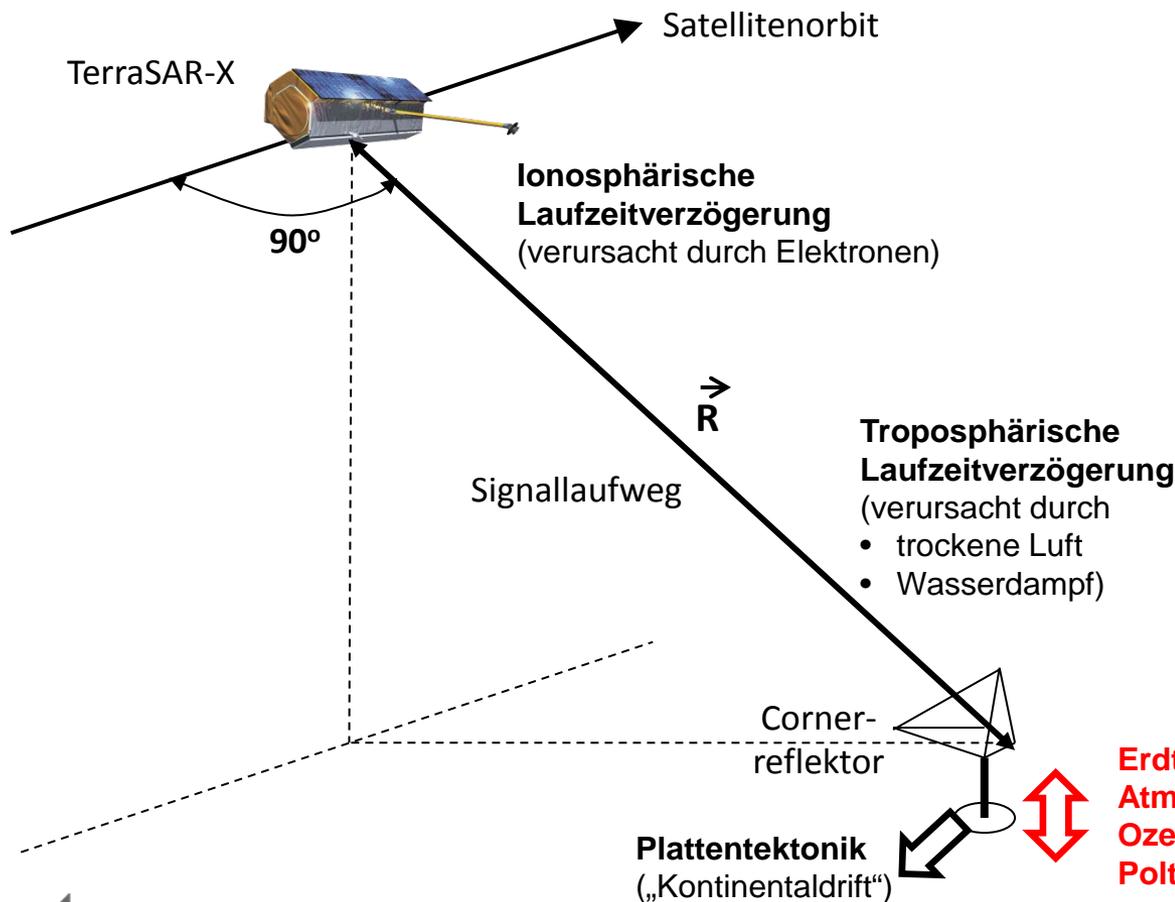
Umrechnung der Signallaufzeit in räumliche Distanz zunächst auf Basis der Vakuumlichtgeschwindigkeit.

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

Ferner:
Berücksichtigung (=Korrektur) von geodynamischen Effekten



Korrekturen bei der Abstandsmessung mit SAR:



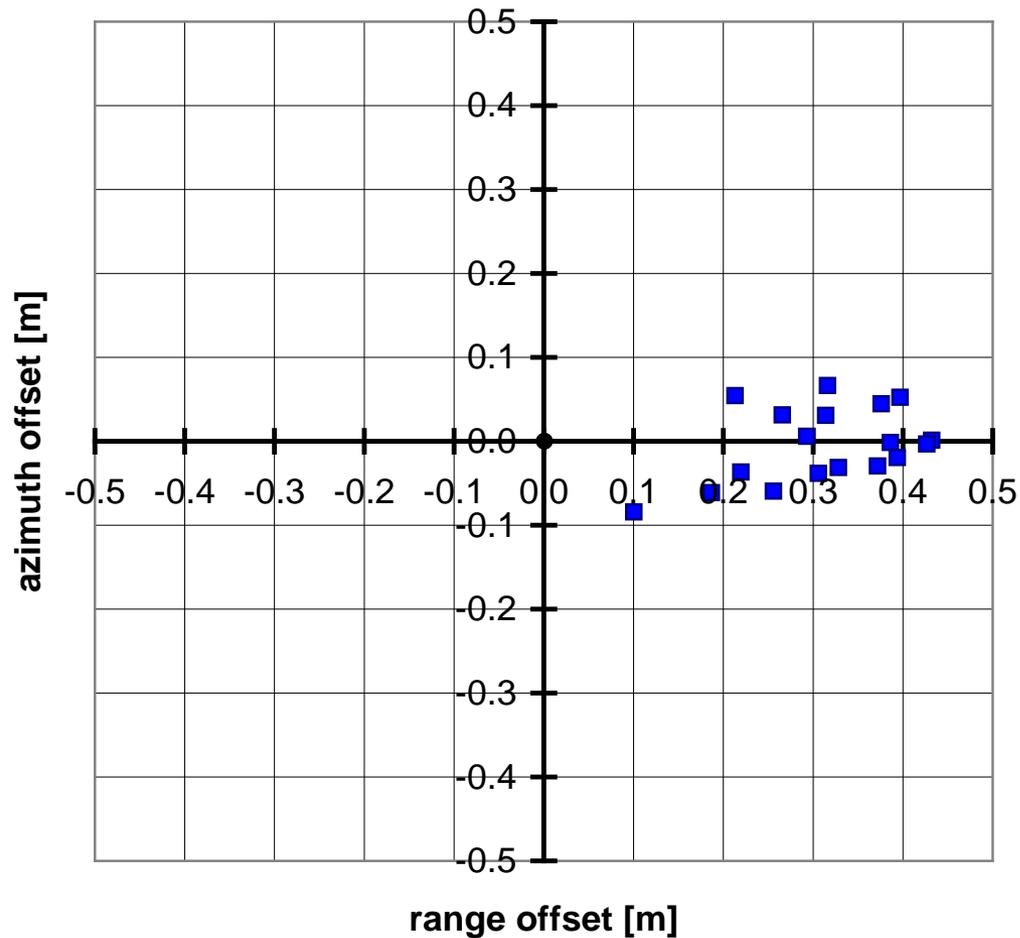
Umrechnung der Signallaufzeit in räumliche Distanz zunächst auf Basis der Vakuumlichtgeschwindigkeit.

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

Ferner: Berücksichtigung (=Korrektur) von geodynamischen Effekten



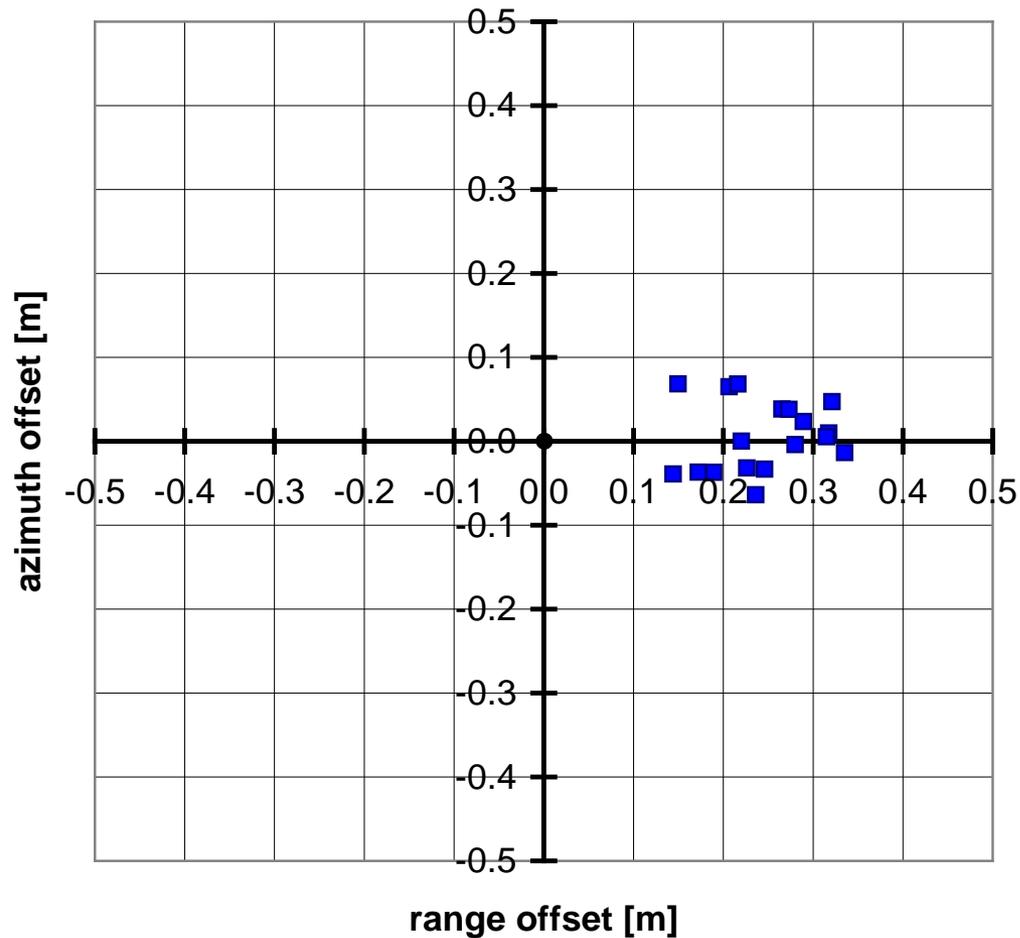
2D-Localization Accuracy of TerraSAR-X



azimuth offset = -0.4 ± 4.4 cm
range offset = 31.0 ± 9.1 cm



2D-Localization Accuracy of TerraSAR-X

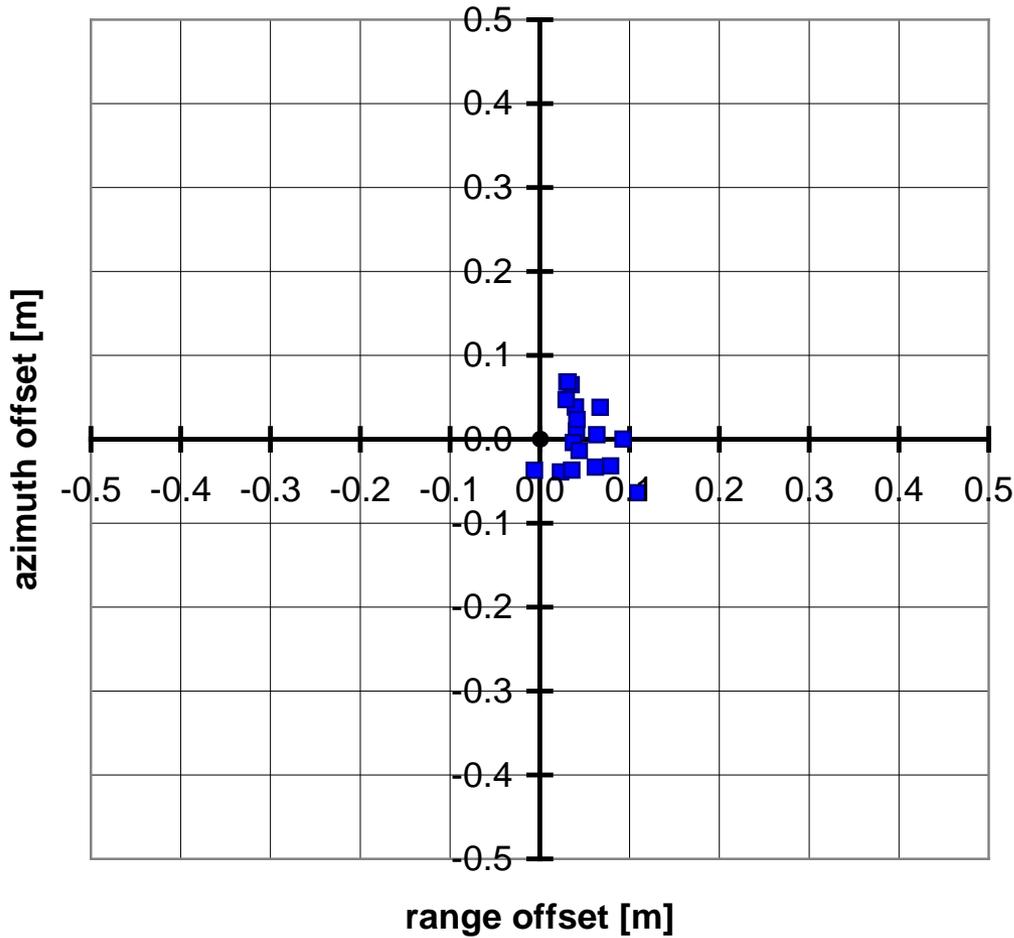


solid earth tides considered

azimuth offset = 0.6 ± 4.2 cm
range offset = 24.5 ± 5.9 cm



2D-Localization Accuracy of TerraSAR-X

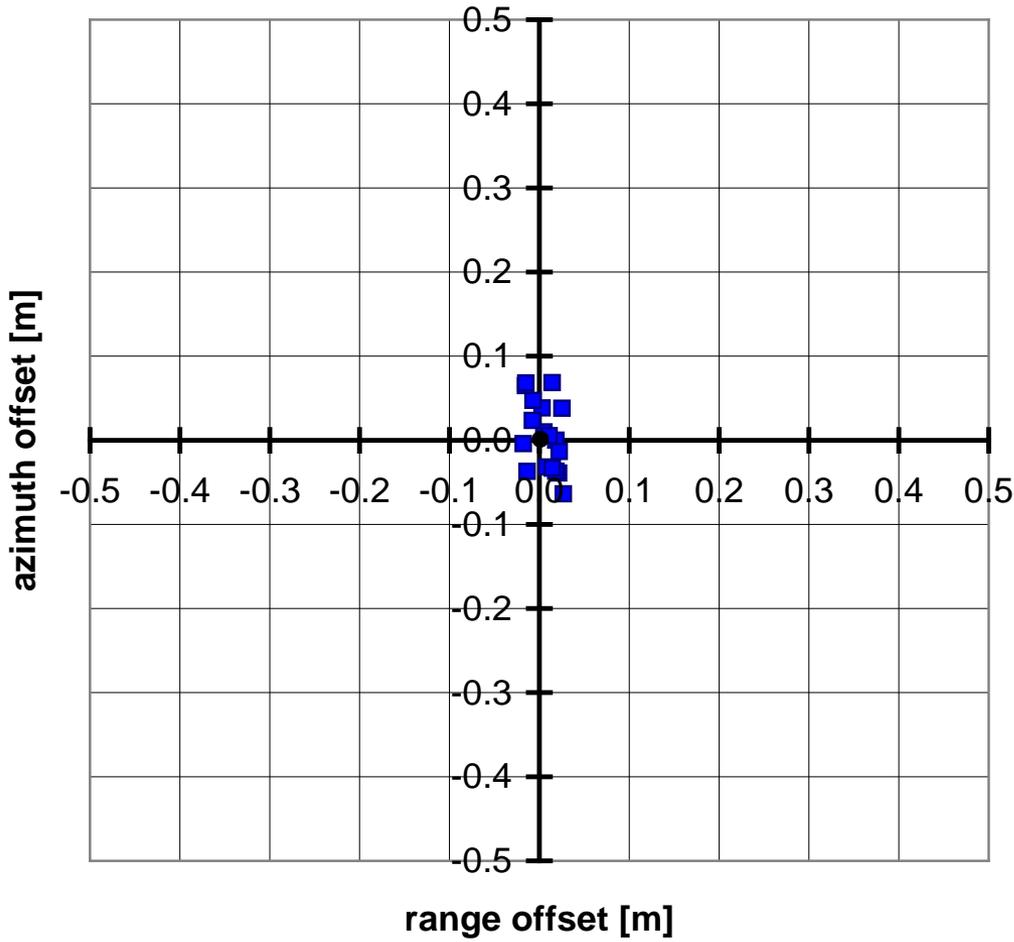


solid earth tides considered
troposphere delay considered

azimuth offset = 0.6 ± 4.2 cm
range offset = 4.8 ± 2.7 cm

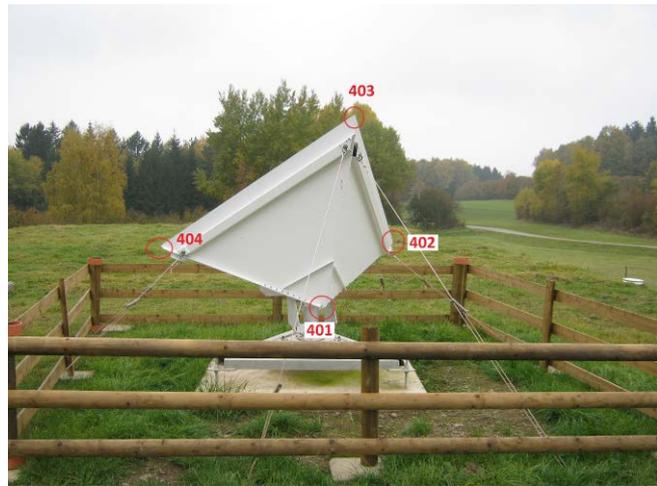


2D-Localization Accuracy of TerraSAR-X

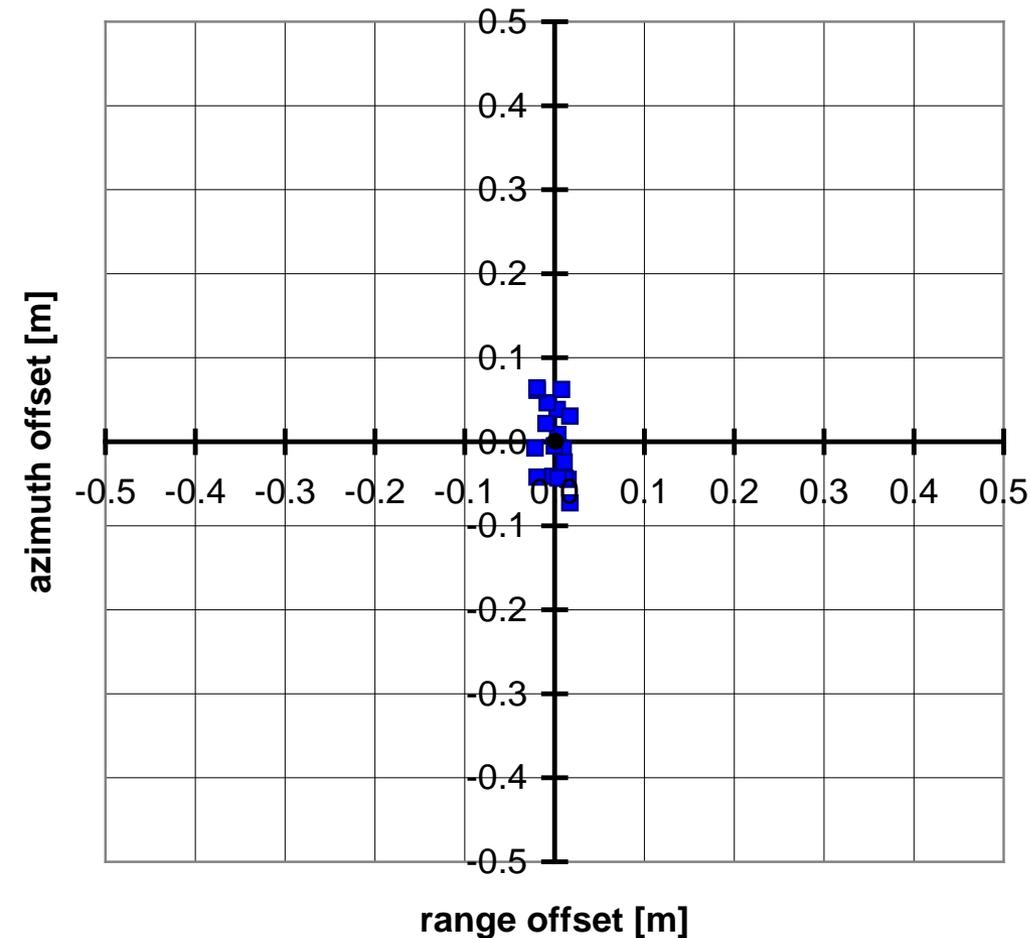


solid earth tides considered
troposphere delay considered
ionosphere delay considered

azimuth offset = 0.6 ± 4.2 cm
range offset = 0.6 ± 1.5 cm



2D-Localization Accuracy of TerraSAR-X

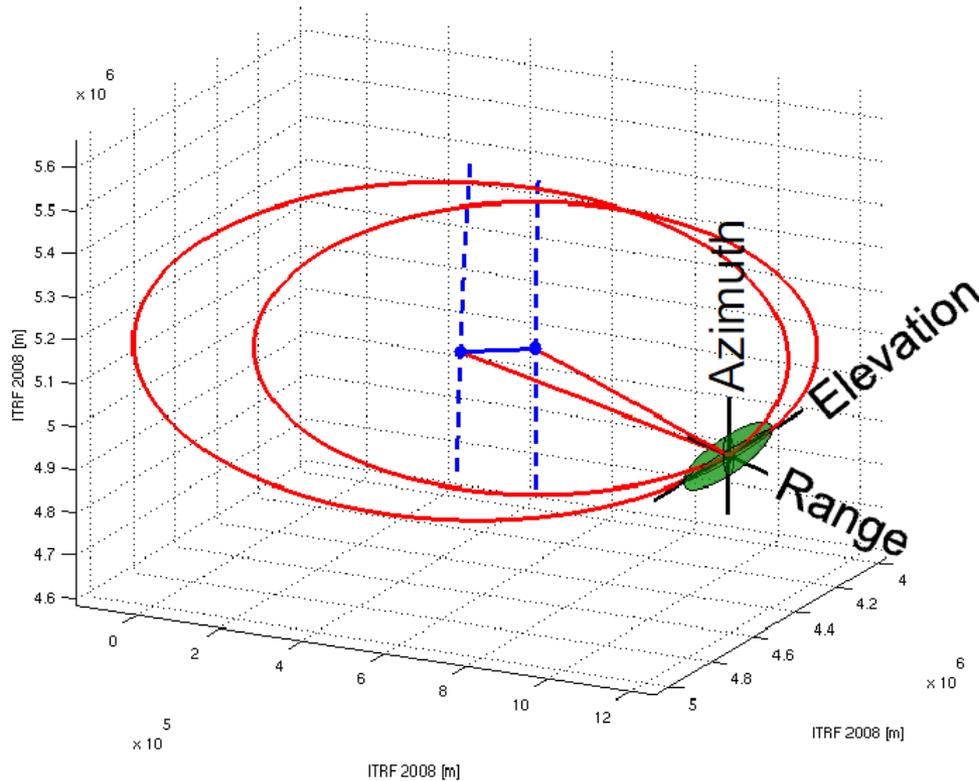


solid earth tides considered
troposphere delay considered
ionosphere delay considered
continental drift considered

azimuth offset = 0.0 ± 4.3 cm
range offset = 0.0 ± 1.3 cm



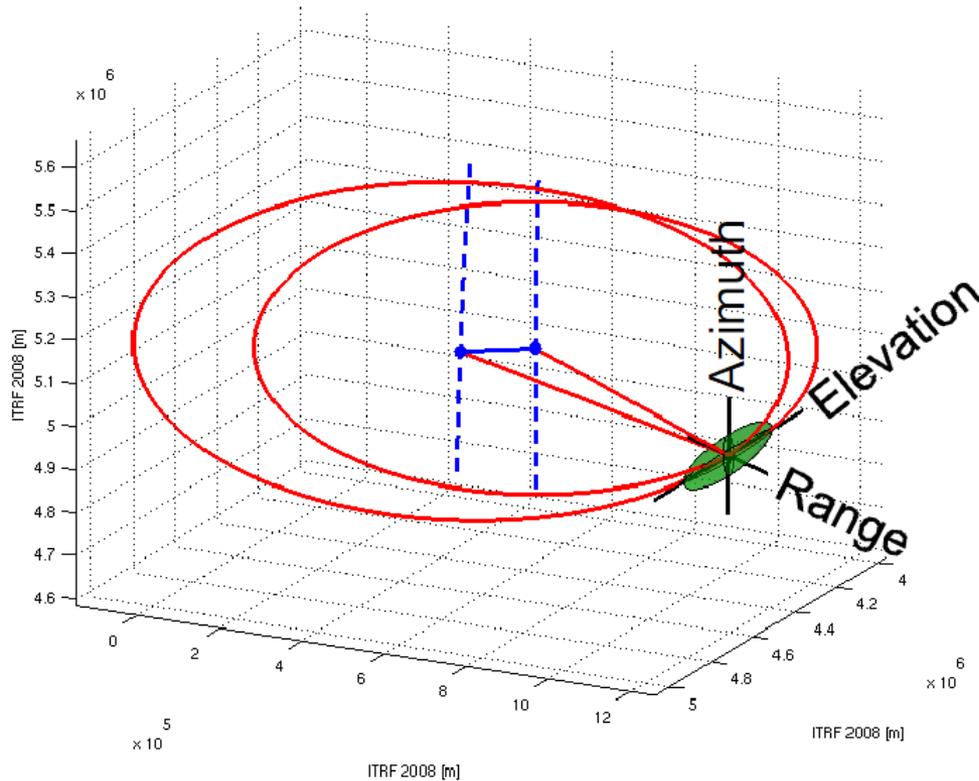
3-D Stereo-SAR-Lokalisierung



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



3-D Stereo-SAR-Lokalisierung

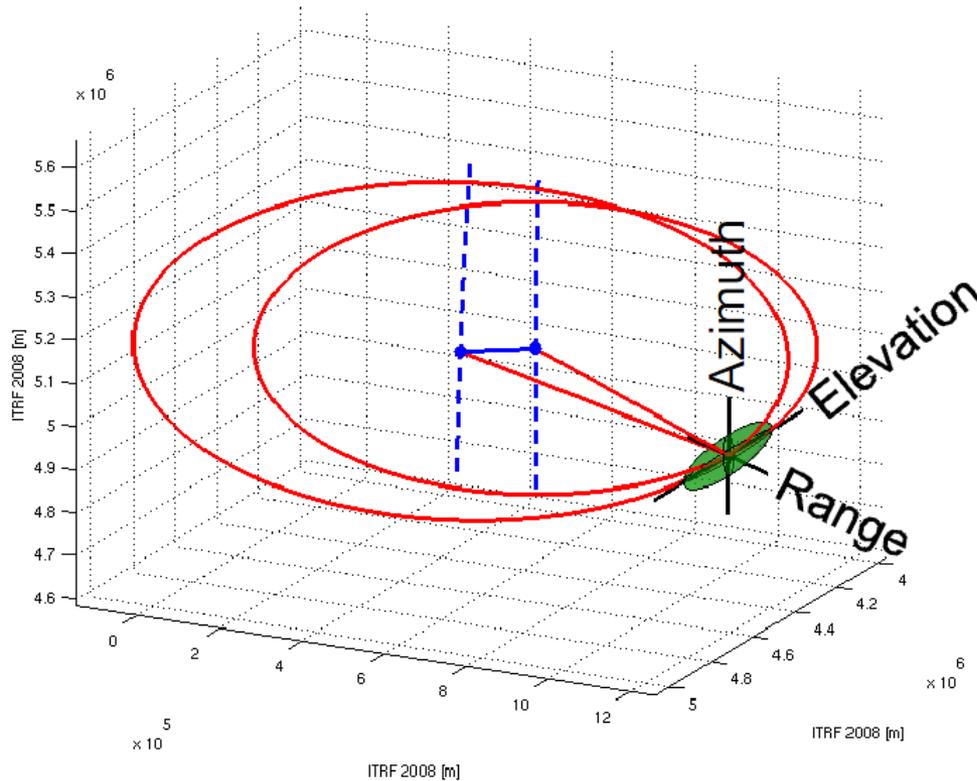


Auswertung der 2D-Positionsmessungen aus 2 (oder mehr) SAR-Aufnahmen mit unterschiedlicher Aufnahmegeometrie

Berechnung des Schnittpunktes der Kreislinien



3-D Stereo-SAR-Lokalisierung



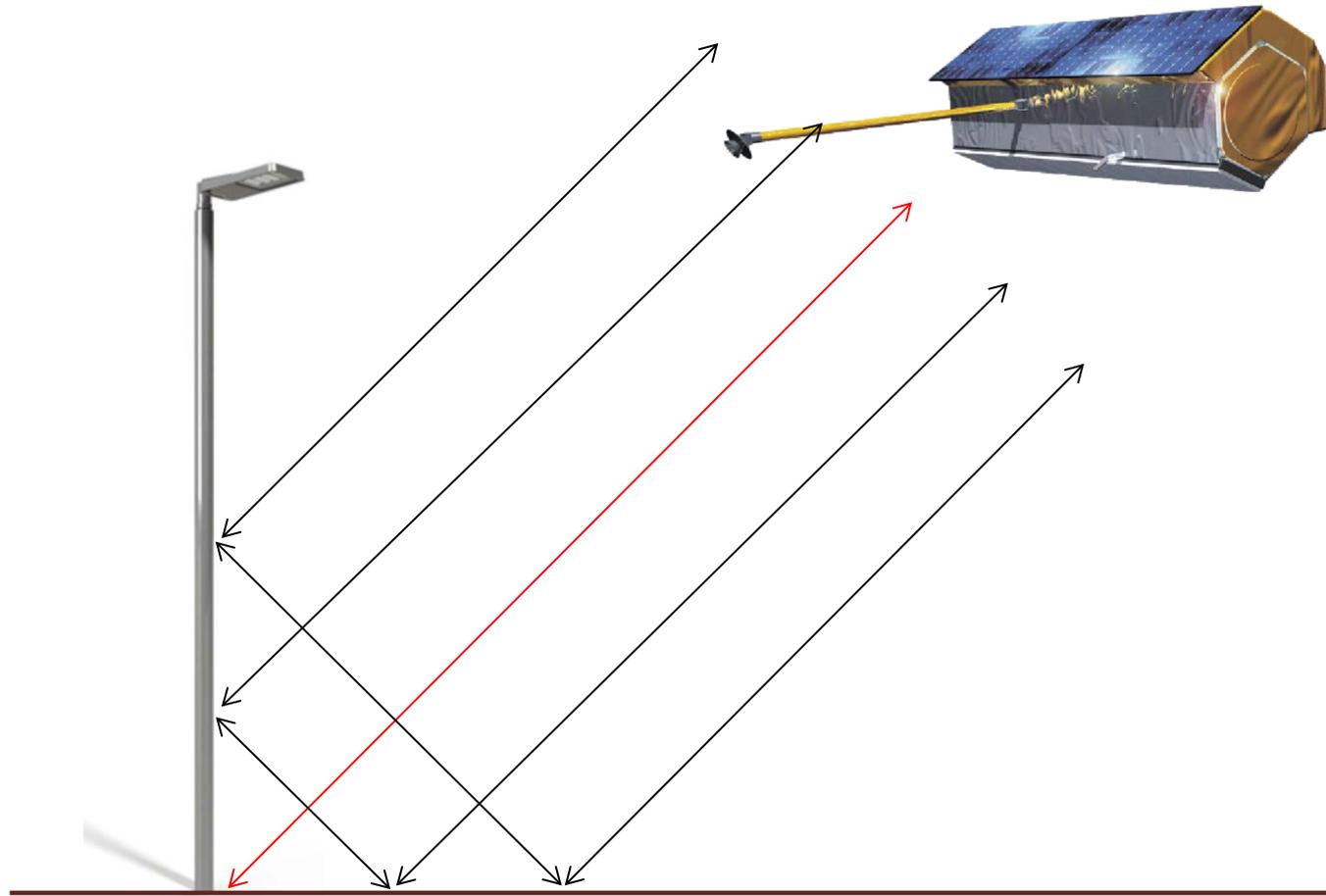
Auswertung der 2D-Positionsmessungen aus 2 (oder mehr) SAR-Aufnahmen mit unterschiedlicher Aufnahmegeometrie

Berechnung des Schnittpunktes der Kreislinien

=> Bestimmung von 3D-Koordinaten.



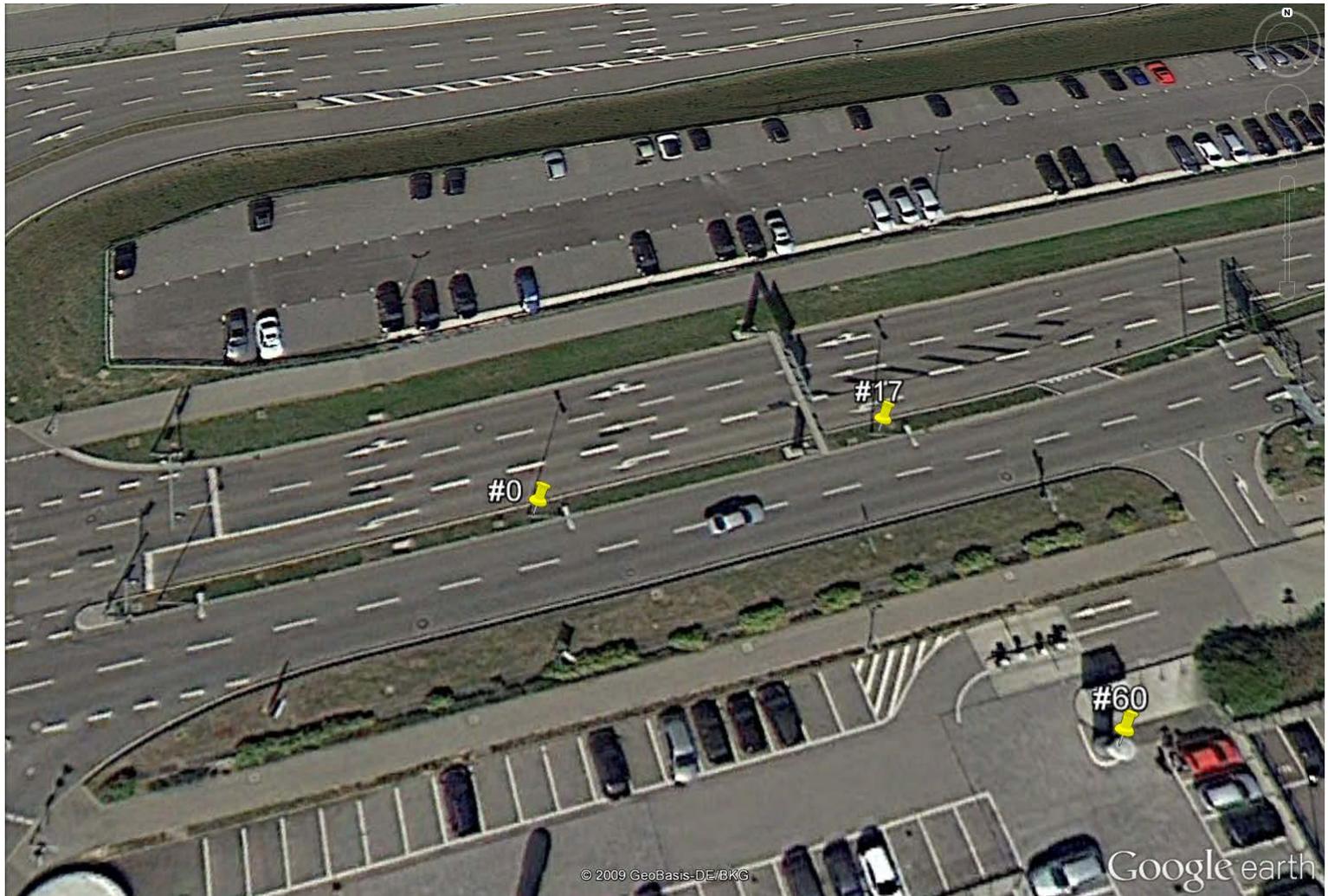
Mast und Boden bilden einen Corner Reflector



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



Beispiel für die automatische Detektion und Lokalisierung von geeigneten Objekten



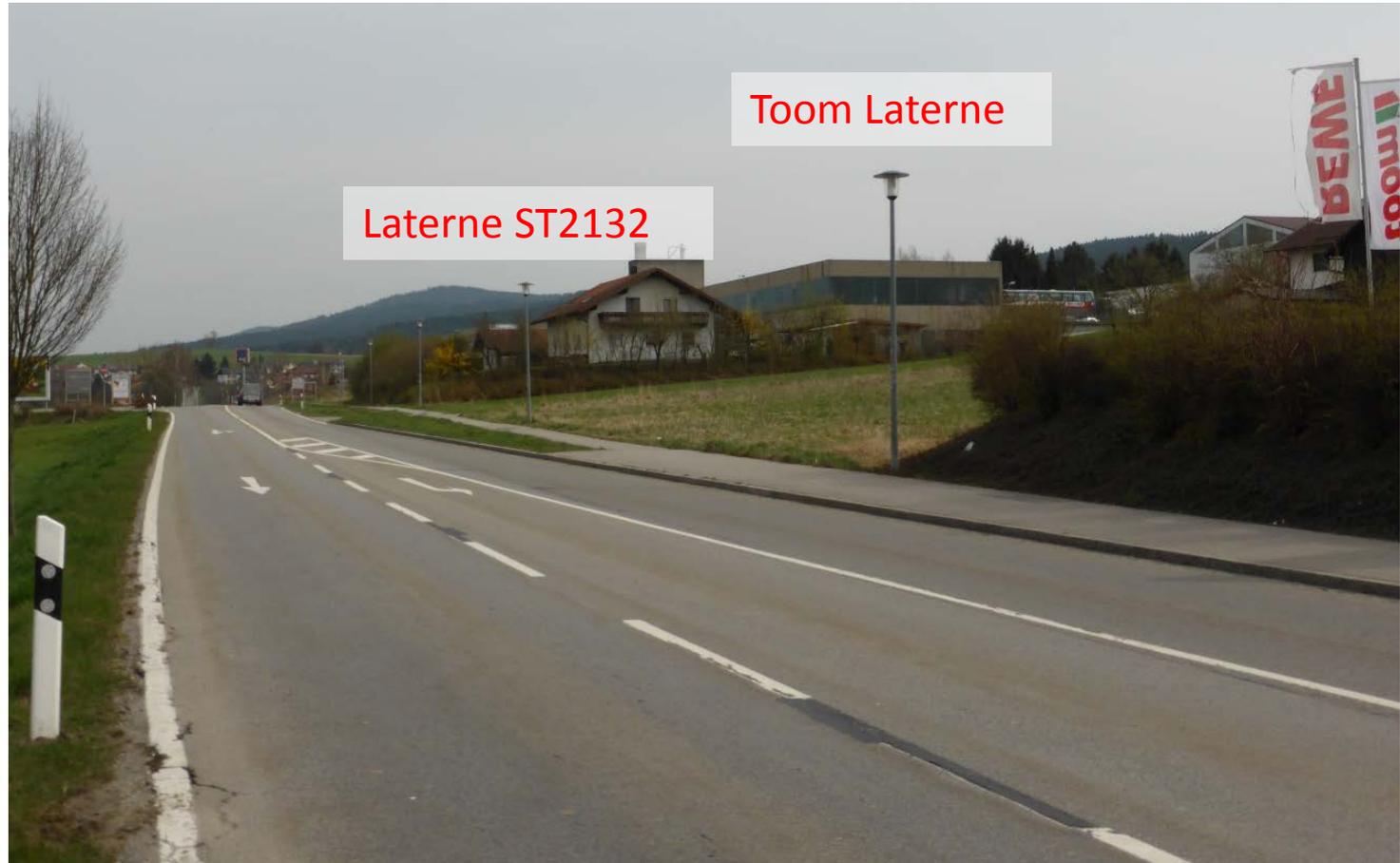
Beispiel für die automatische Detektion und Lokalisierung von geeigneten Objekten



Positionen: TerraSAR-X Luftbild: Google Earth



Validierung der ermittelten 3D-Koordinaten



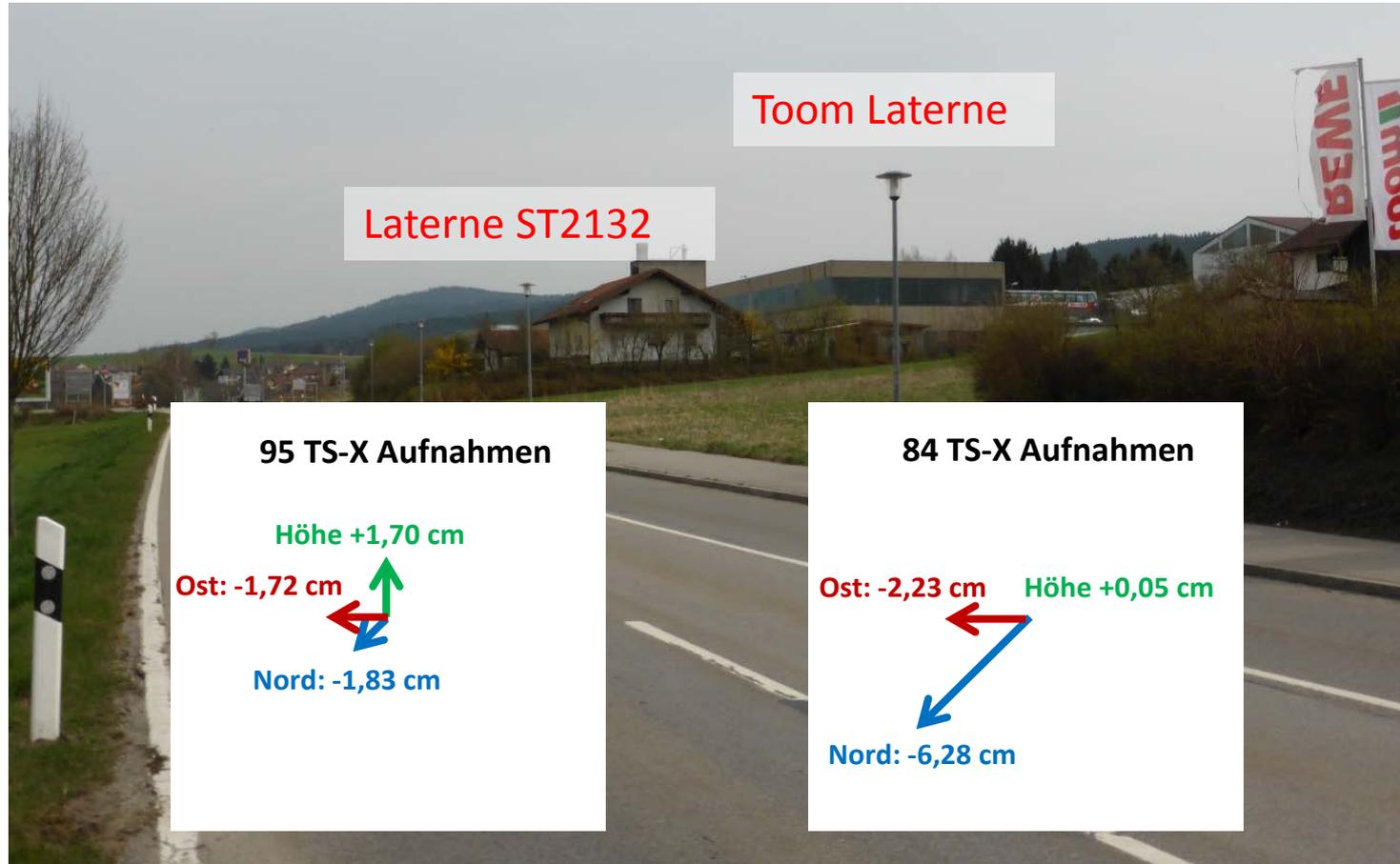
Validierung der ermittelten 3D-Koordinaten

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



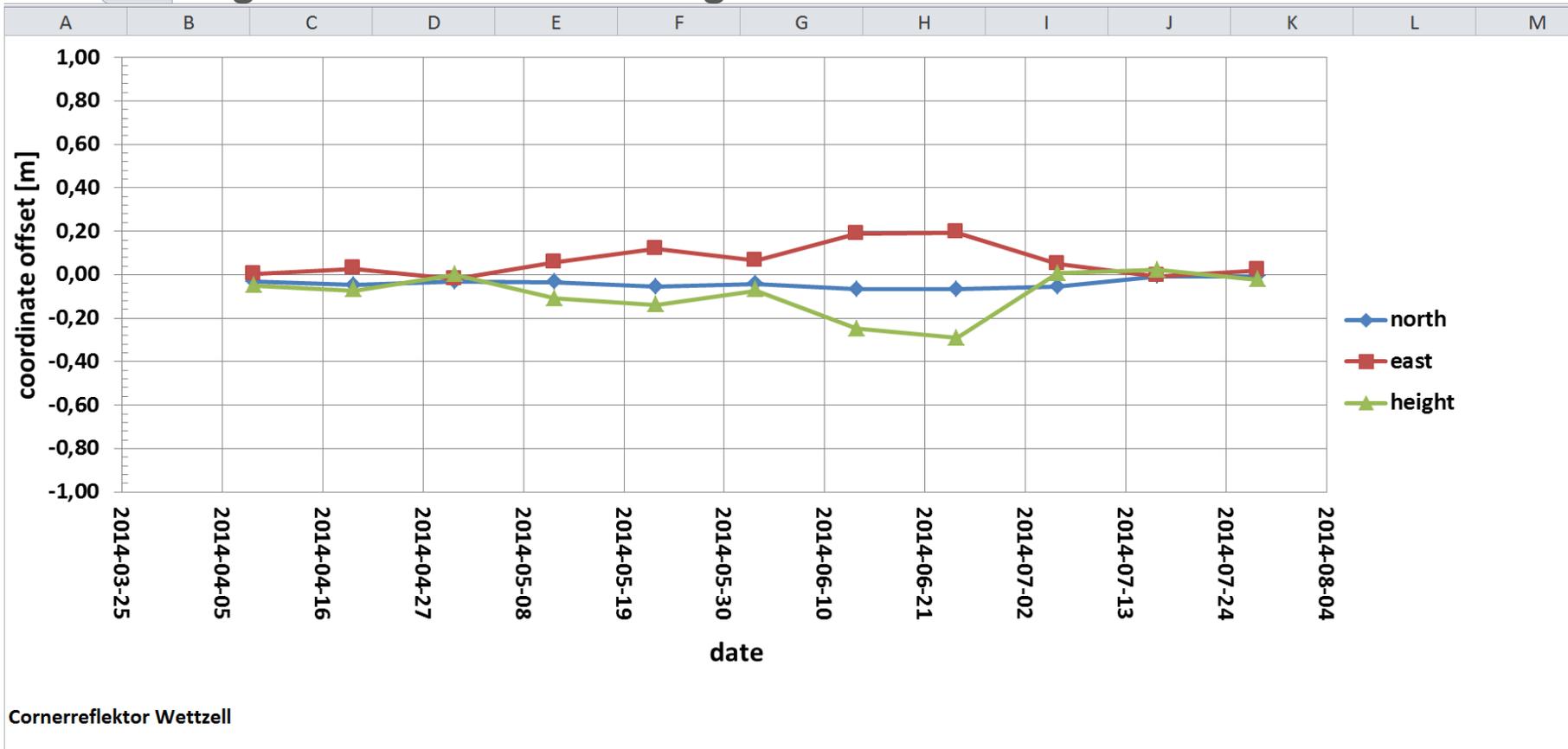
Validierung der ermittelten 3D-Koordinaten

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



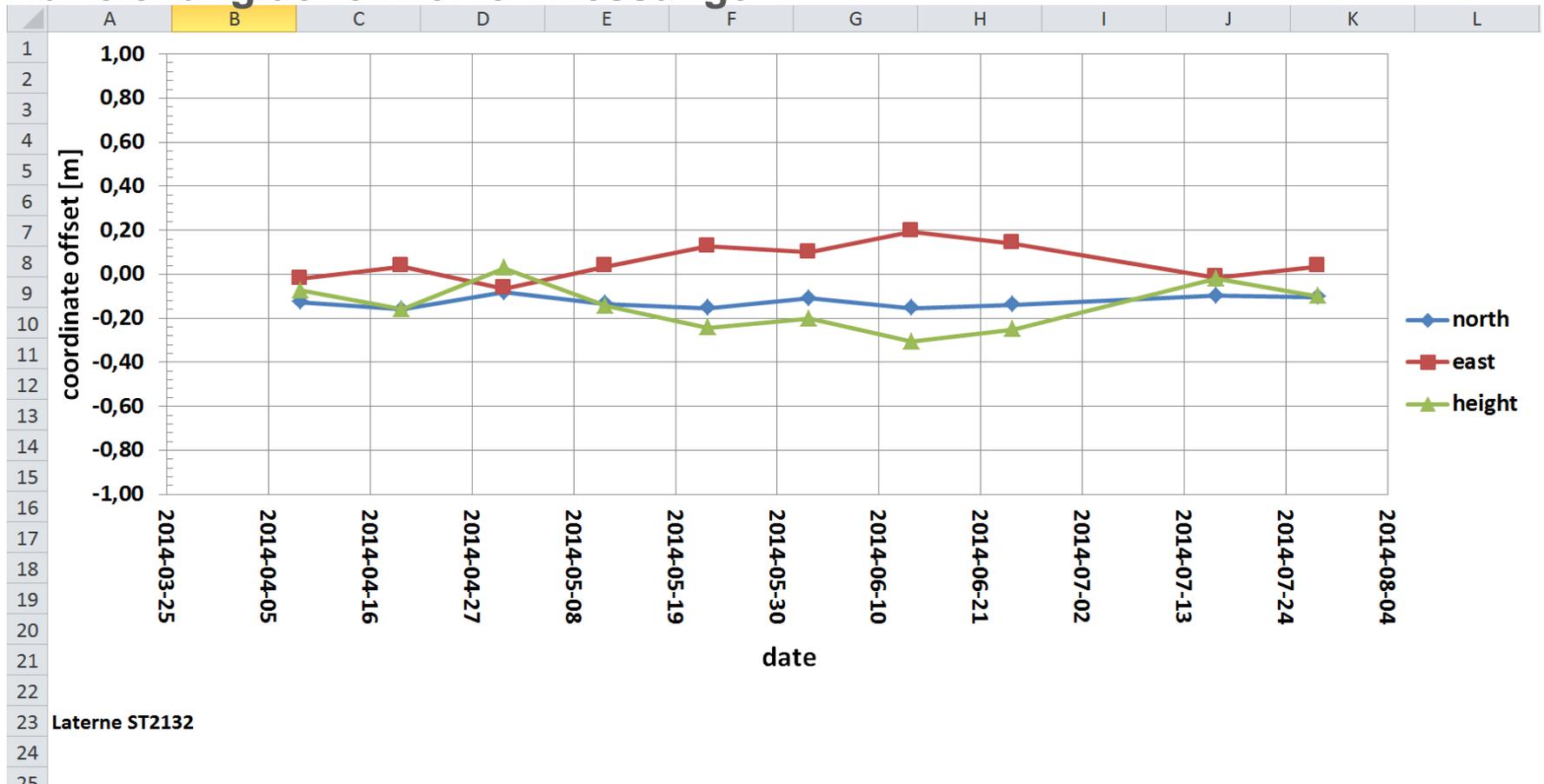
Validierung der ermittelten 3D-Koordinaten

Abweichung der einzelnen Messungen



Validierung der ermittelten 3D-Koordinaten (2)

Abweichung der einzelnen Messungen



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®

high precision mapping
for automated vehicles
with remote sensing

