



**GEO++**

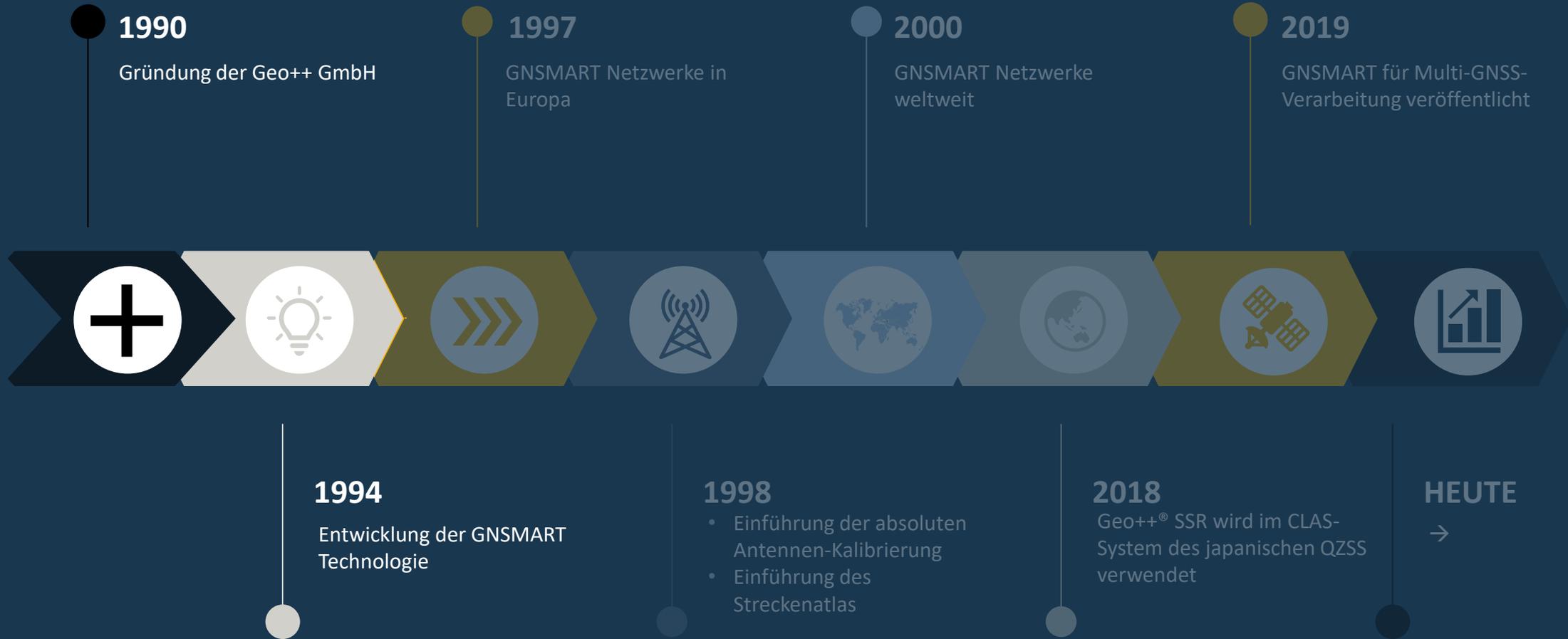
**Neue Entwicklungen und Möglichkeiten mit  
GNSS-Korrekturdiensten**

**Eposa Anwendertreffen**

Wien, 17. Oktober 2024

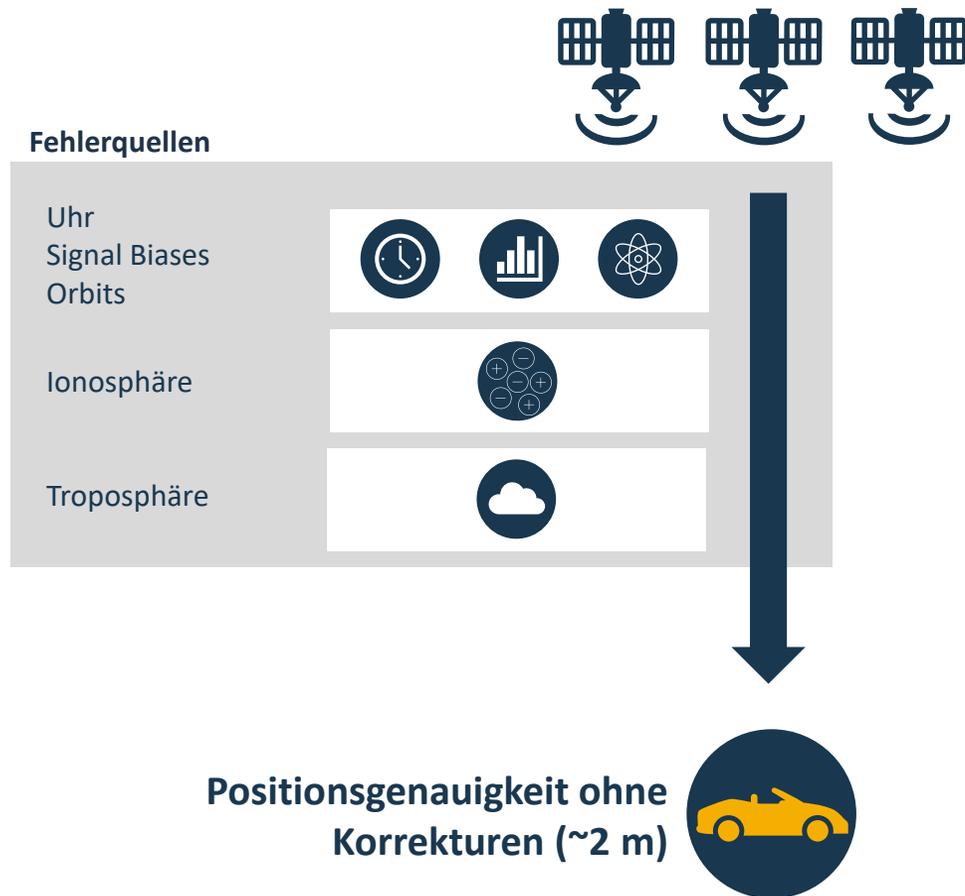


# ÜBER GEO++ FIRMENGESCHICHTE



# GNSMART

## GNSS FEHLERBUDGET



### Fehlerquellen bei den Satelliten

- Orbitfehler (0,2 ... 5 m)
- Uhrfehler (0,2 ... 10 m)
- Code-Bias (0 ... 1 m)
- Phasen-Bias (0 .. 2 Pi)
- Satellitenantenne PCV + GDV

### Signalverzögerungen durch

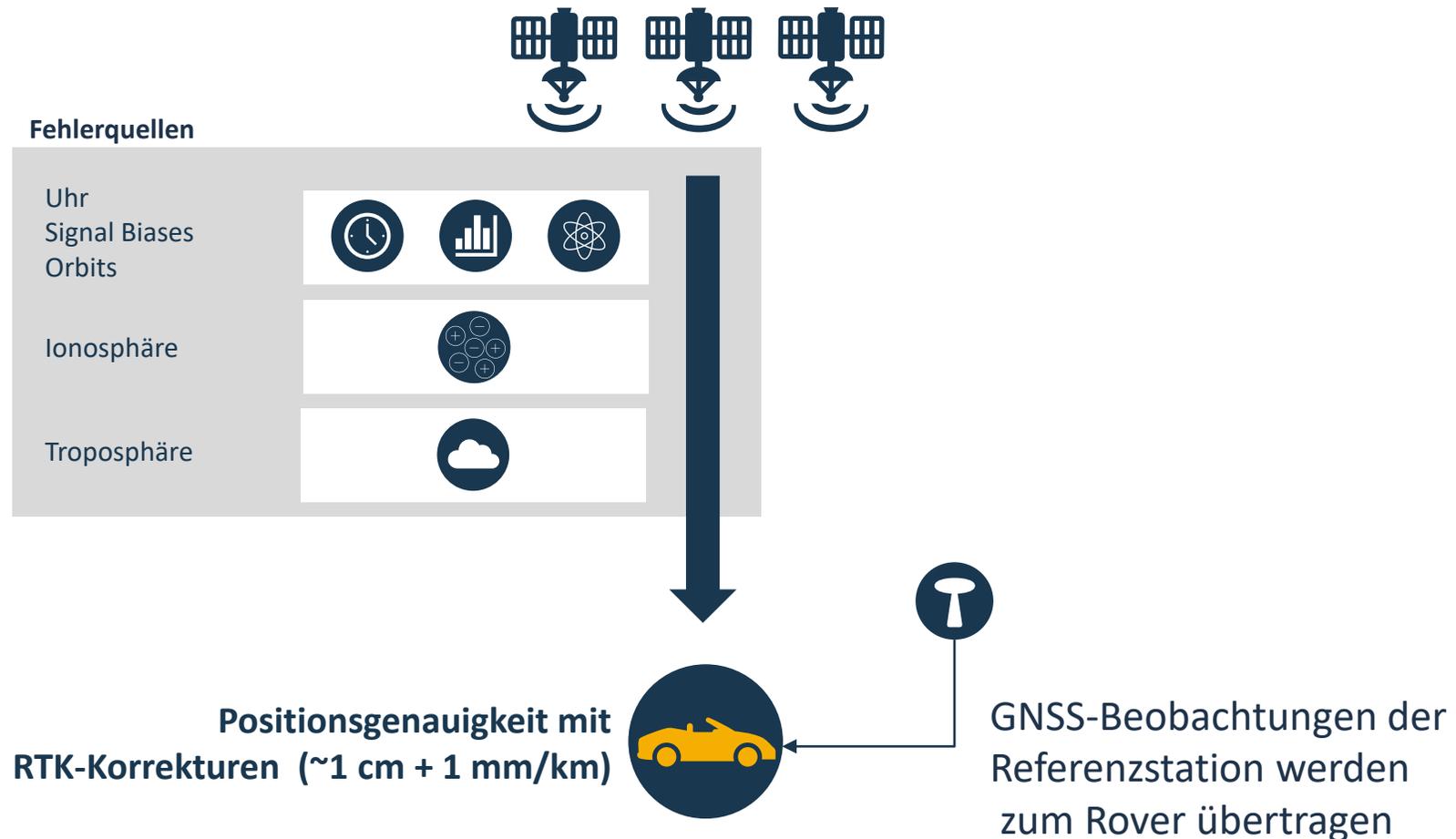
- Ionosphäre (0,5 .. 100 m)
- Troposphäre (0 .. 2 m)
- Wasserdampf (0 .. 0,5 m)

### Fehlerquellen des Empfängers

- Empfangsantenne (mm bis m)
- Multipath Nearfield
- Multipath Farfield
- Messrauschen



# GNSMART SINGLE-BASE-RTK



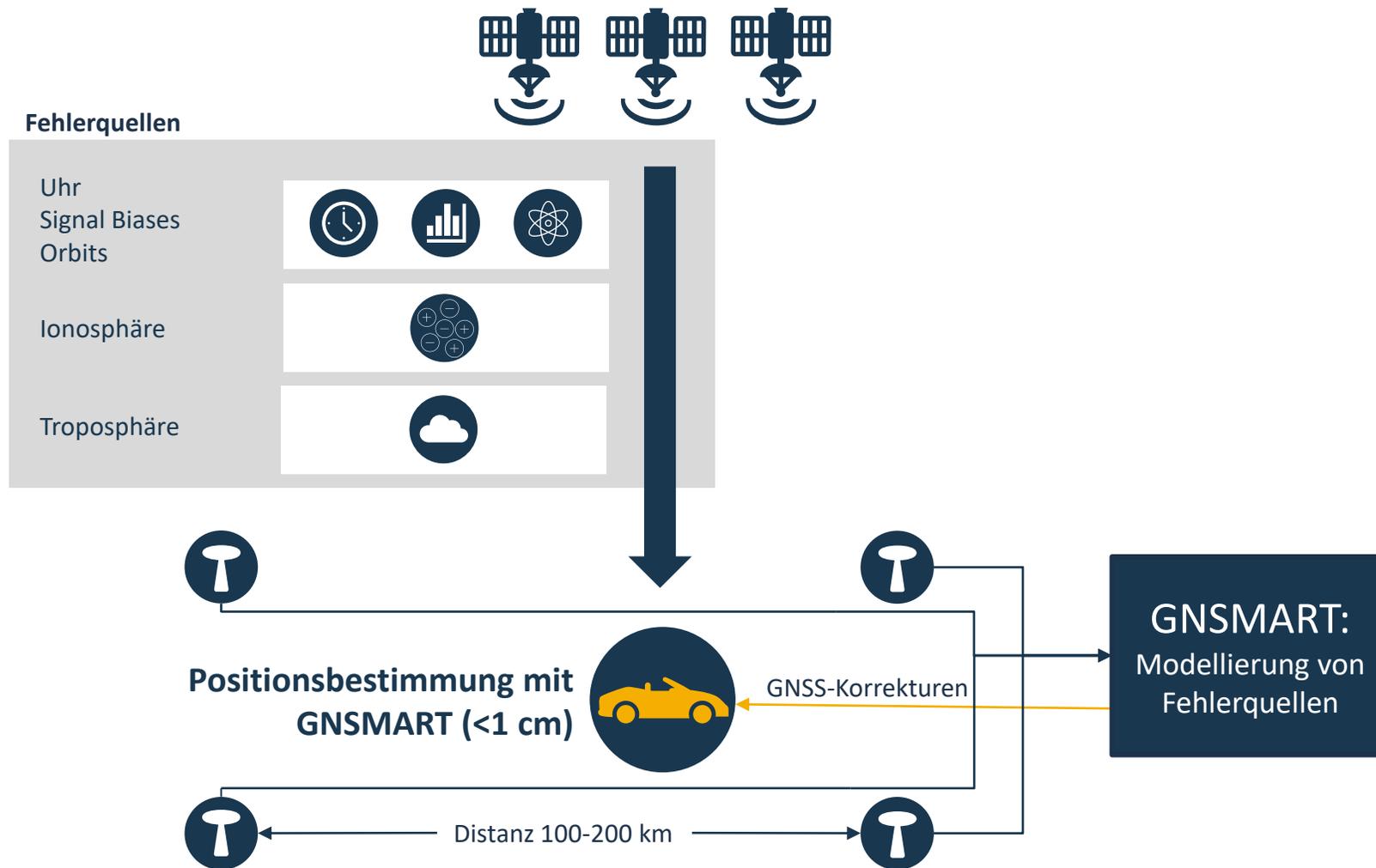
## Fehlerbudget Single Base RTK:

- Messrauschen der Referenzstation
- Multipath der Referenzstation
- Distanzabhängige Fehler
- Messrauschen des Rovers
- Multipath des Rovers



# GNSMART

## POSITIONIERUNG MIT NETZWERK-RTK



### Fehlerbudget Single Base RTK-Korrekturen:

- Messrauschen der Referenzstation
- Multipath der Referenzstation
- Distanzabhängige Fehler
- Messrauschen des Rovers
- Rover-Antennenfehler
- Multipath des Rovers

### Fehlerbudget GNSMART-Korrekturen:

- ~~Messrauschen der Referenzstation~~
- ~~Multipath der Referenzstation~~
- ~~Distanzabhängige Fehler~~
- Messrauschen des Rovers
- Rover-Antennenfehler
- Multipath des Rovers

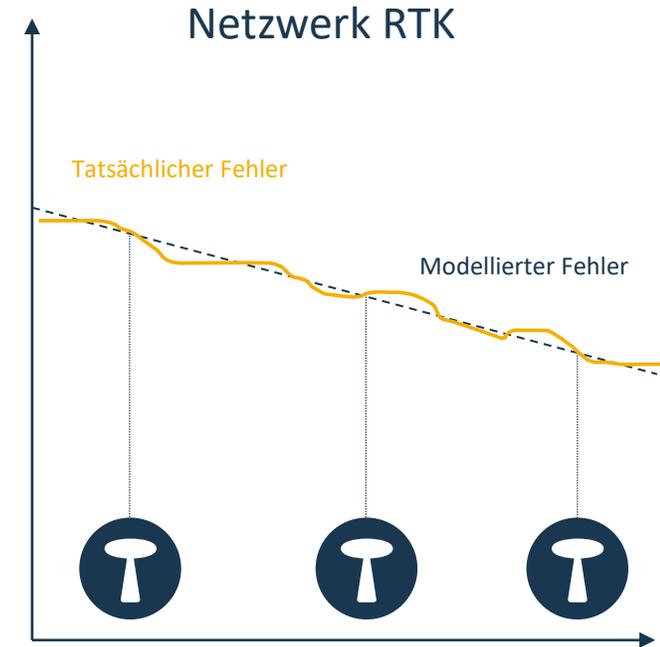
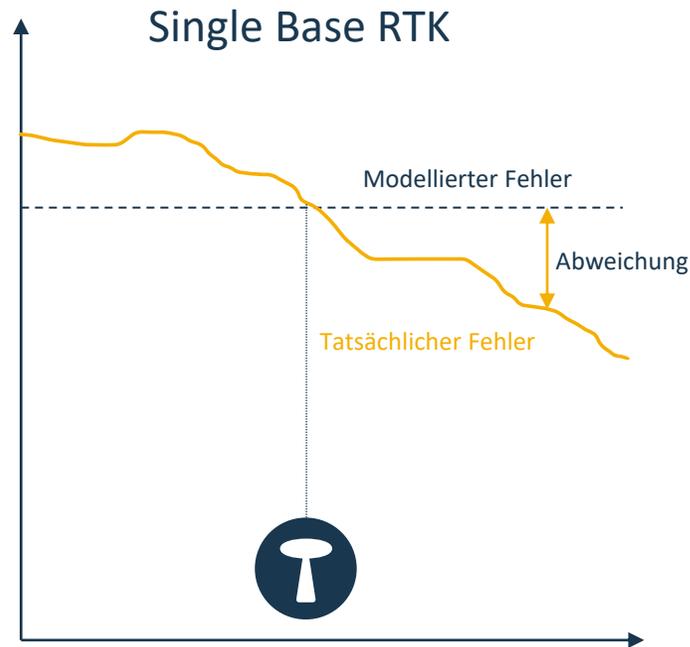


# GNSMART

## SINGLE BASE VS NETZWERK RTK

- Netzwerk RTK bietet höhere Genauigkeit und Zuverlässigkeit über größere Distanzen
- Besser geeignet für großflächige Projekte
- Insgesamt eine präzisere und flexiblere Lösung im Vergleich zu Single Base RTK

Umso besser die Physikalischen Effekte, die die Fehler verursachen, verstanden und modelliert sind, desto besser kann zwischen Referenzstationen interpoliert, bzw. aus der Netzabdeckung heraus extrapoliert werden.



# GNSMART – ANWENDUNGSBEREICHE



Unsere Kunden bieten **GNSMART Korrekturdienste** für verschiedene Branchen an:

- **Landwirtschaft:** Maschinensteuerung
- **Vermessung:** Exakte Vermessung
- **Transport & Verkehr:** Positionierung, Autonomes Fahren
- **Bauwesen:** Maschinensteuerung und Bauüberwachung
- **Wissenschaftliche Forschung:** Geodätische Messungen und Forschung



# ÜBER GEO++

## FIRMENGESCHICHTE



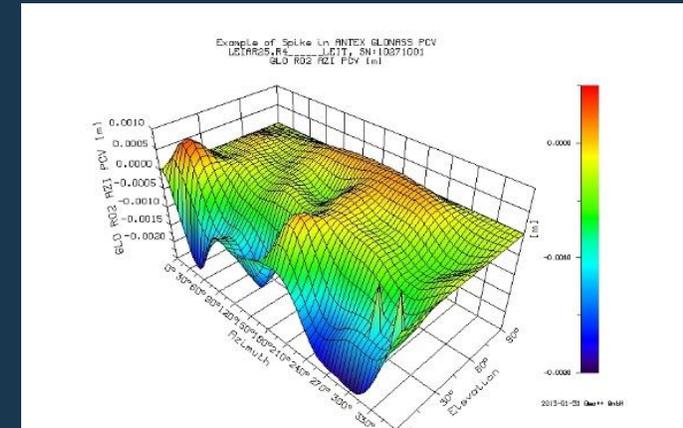
# ÜBERBLICK ANTENNENKALIBRIERUNG



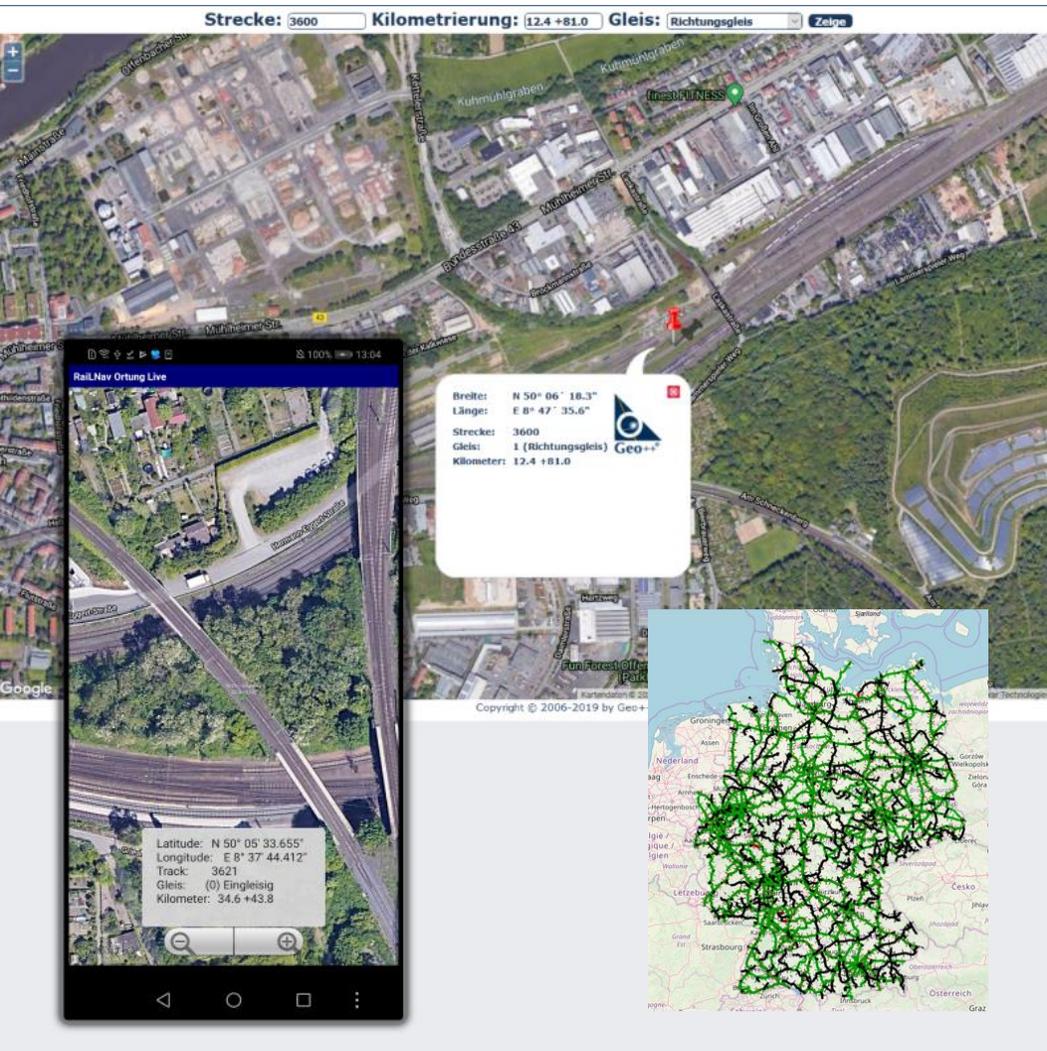
**Fehlerquelle:** Phasenzentrums-Variationen,  
Gruppenlaufzeits-Variationen

**Behebungsansatz:** Absolute Roboterkalibrierung

- Die DUT-Antennen werden um ihren Antennenreferenzpunkt rotiert und Änderungen der Phasen- sowie Code-Lagen beobachtet
- Phasenzentrumsvariationen sowie Gruppenlaufzeitvariationen werden für GNSS Empfangs- und -sendeantennen geschätzt.



# ÜBERBLICK STRECKENATLAS



## Überblick:

- Digitale Karte des Schienennetzes der DB InfraGO
- Seit 1998 im Einsatz für präzise Verortung und Dokumentation

## Funktionen:

- Echtzeitverortung von Zügen auf Gleisebene (Map-Matching)
- Erstellung von Höhenprofilen für energieoptimiertes Fahren

## Technologie:

- Transformation von Trassierungselementen (Klothoiden, Bögen, Graden) in echtzeitfähige Datenbank
- Kontinuierliche Updates auf Basis von Daten der DB InfraGO

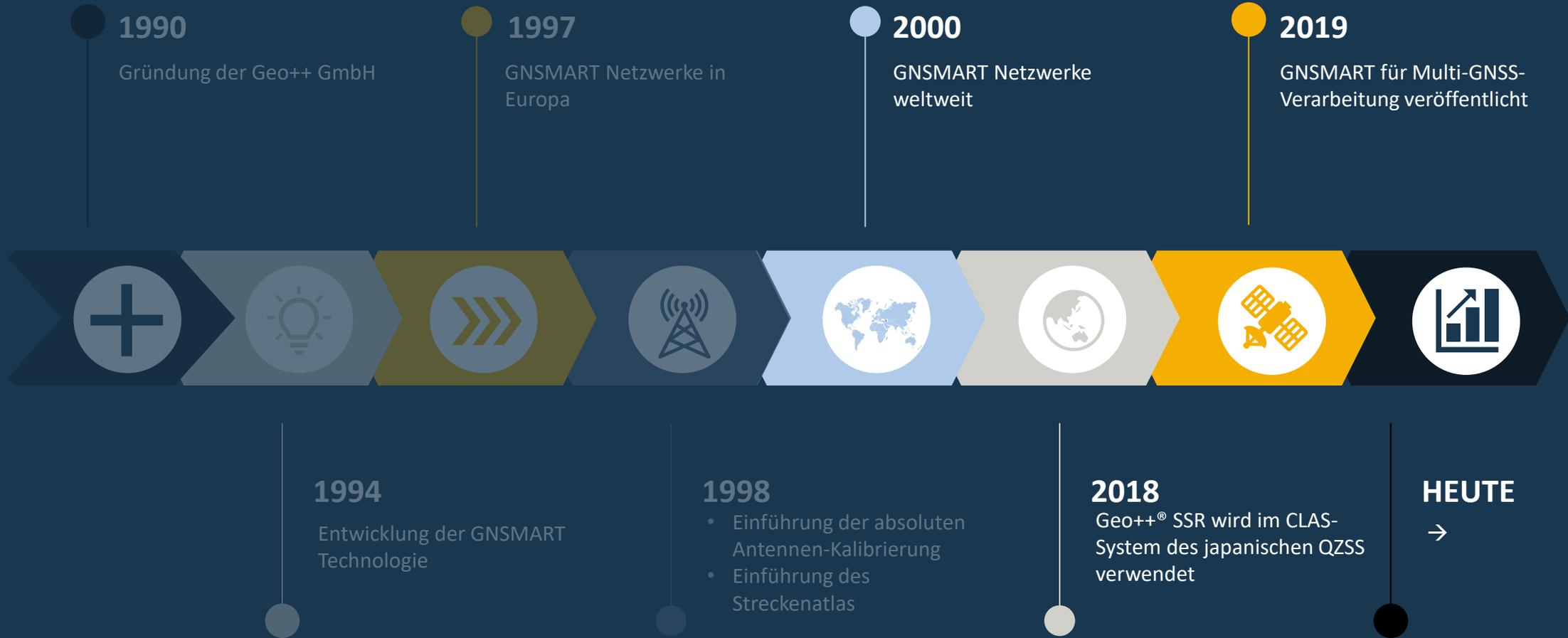
## Vorteile:

- Höchste Genauigkeiten der Streckeninformation
- Vollständigkeit des Schienennetzes
- Erhöhung der Positionierungsgüte durch Map-Matching

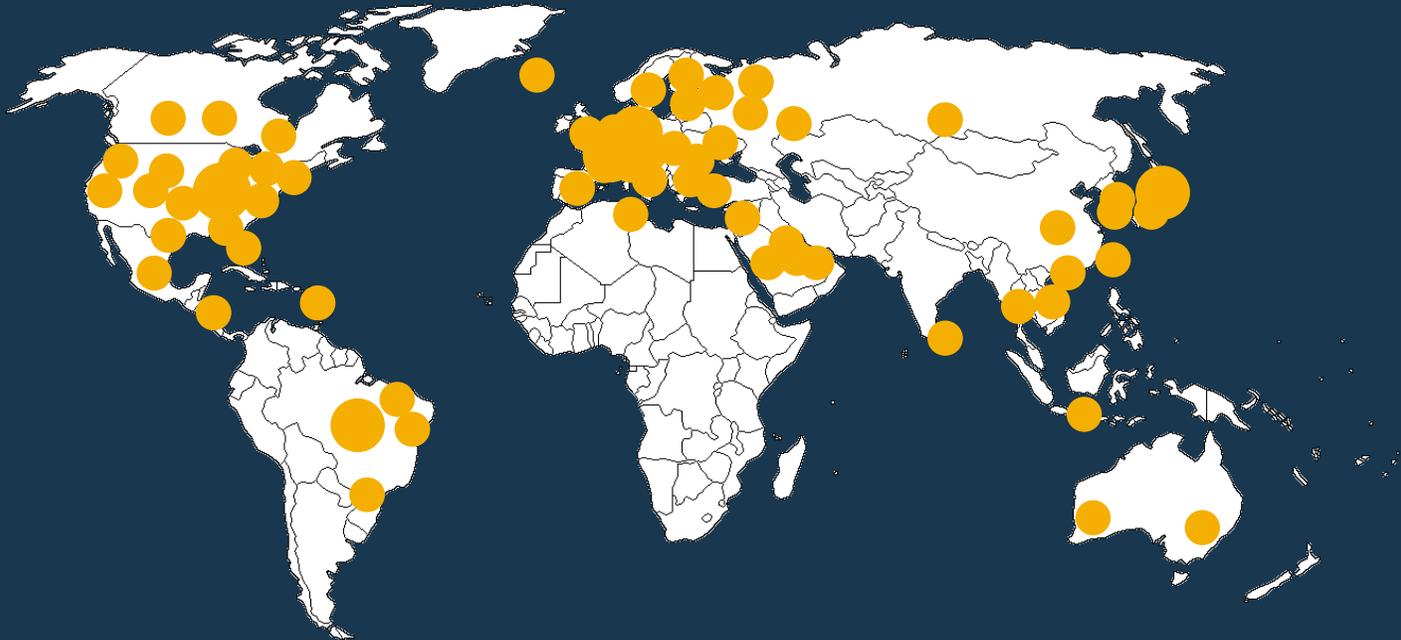


# ÜBER GEO++

## FIRMENGESCHICHTE



# ÜBER GEO++ HEUTE



Geo++ Kunden

## Geo++: Weltweit führendes Unternehmen im Bereich GNSS-Korrekturen

- Kernprodukt: GNSMART

## Stetige Weiterentwicklung seit 1994

- Optimierung und Anpassung an neue GNSS-Systeme und Technologien
- Laufende Verbesserungen zur Steigerung der Genauigkeit und Zuverlässigkeit

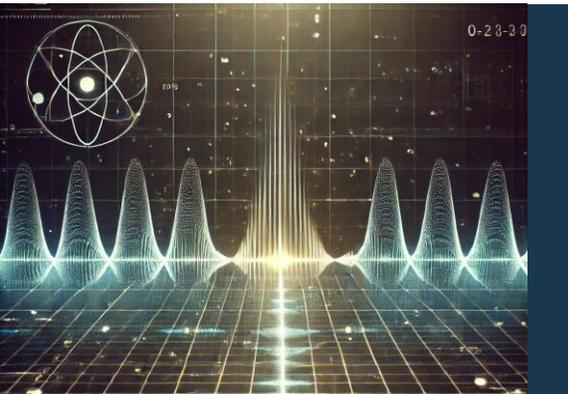


# AKTUELLE FORSCHUNGSPROJEKTE



## Numerische Wettermodelle

Die Verwendung numerischer Wettermodelle führt zu höherer Stabilität der Lösung und besserer Höhenbestimmung der Rover



## Zeit und Frequenzübertragung

Mithilfe von GNSS-Korrekturen kann nicht nur die Position eines GNSS-Empfängers sondern auch dessen Zeitschätzung um Größenordnungen verbessert werden.

## Smartphone als Rover

Nutzung von Smartphone-GNSS-Messungen. Eine (PPP-)RTK-App würde präzise Positionierung einem sehr großen Personenkreis zugänglich machen.



## Fahrzeug-Kalibrierung

Der Nahfeldeinfluss von Fahrzeugen ist wesentlich größer als die PCV/GDV der verbauten Antenne. Für eine präzise Positionierung muss das Gesamtsystem kalibriert werden.

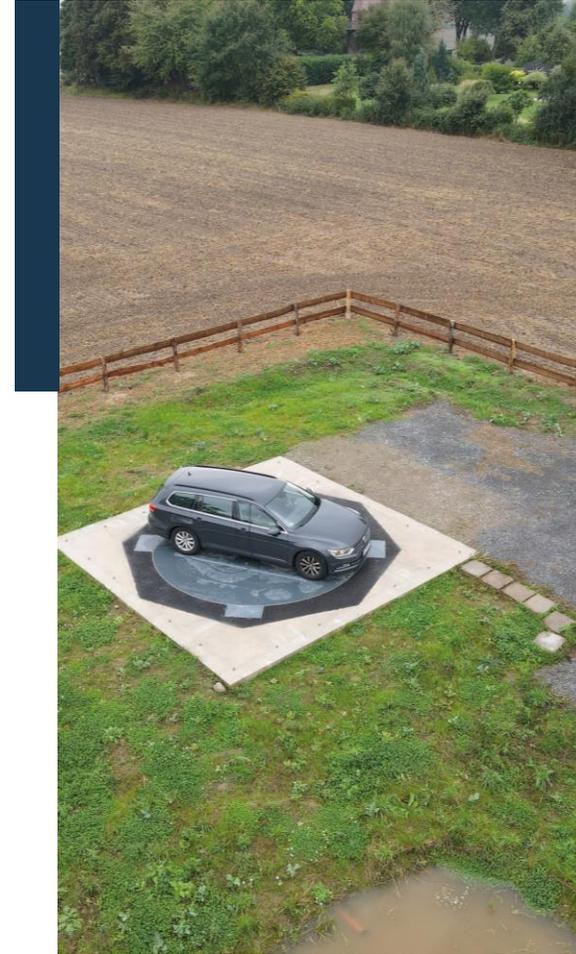


# AKTUELLE FORSCHUNGSPROJEKTE

## FAHRZEUGKALIBRIERUNG

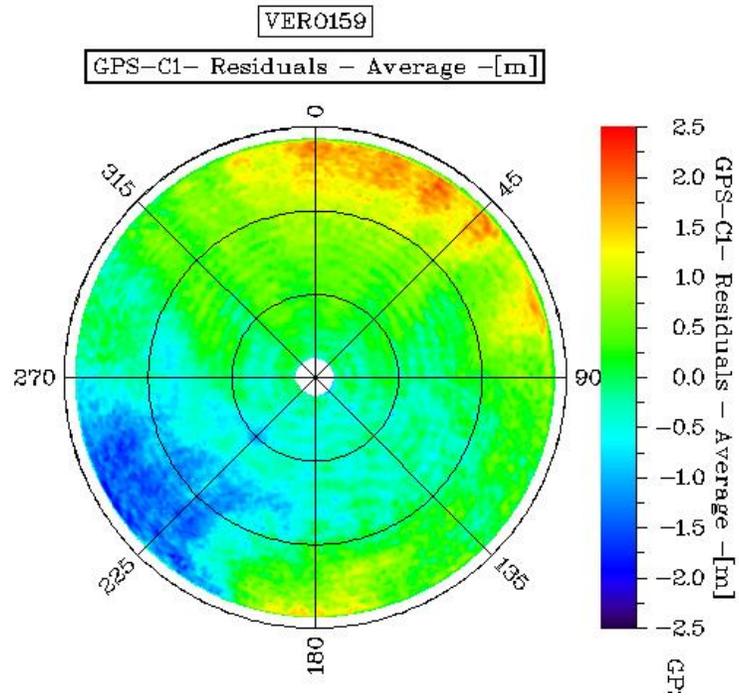
### Kalibrierungsprinzip:

- Fahrzeug wird um Hochachse gedreht
- Differenzielle Messung zur Basisstation
- Vertikale Verknüpfung durch Elevationsänderung der Satelliten



# AKTUELLE FORSCHUNGSPROJEKTE

## FAHRZEUGKALIBRIERUNG



### Beispiel-Ergebnisse für VW Passat

- Sharkfin-Antenne
- Code-Fehler bis zu 2,5m



# AKTUELLE FORSCHUNGSPROJEKTE

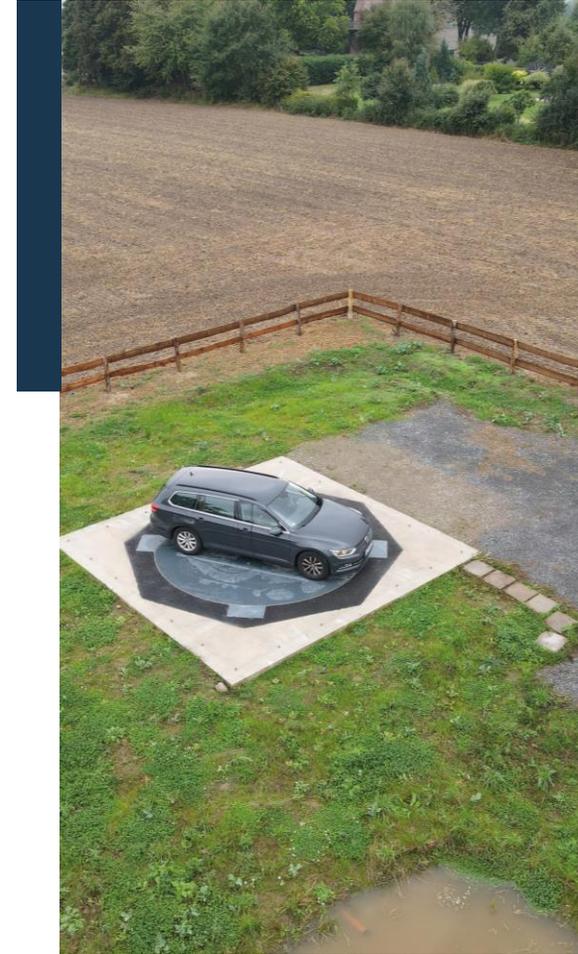
## FAHRZEUGKALIBRIERUNG

### Ergebnisse:

- Besseres TTF
- Höhere Genauigkeit
- Fehlerabschätzung

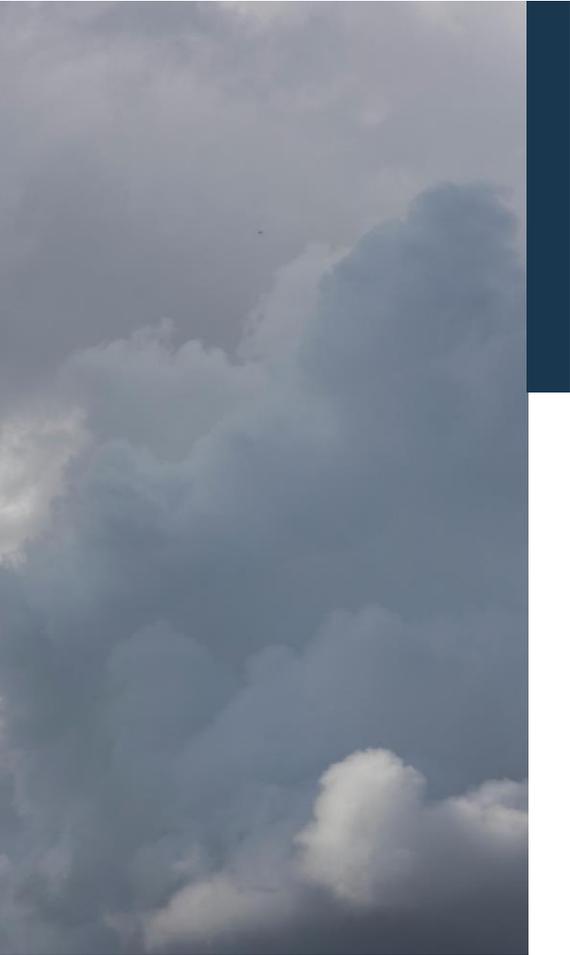
### Anwendungen:

- Autonomes Fahren
- Mobile-Mapping-Systeme
- Landwirtschaft
- Bauwesen



# AKTUELLE FORSCHUNGSPROJEKTE

## NUMERISCHE WETTERMODELLE



### **AeroQGrav:**

AeroQGrav ist ein Projekt, in dem Fluggravimetrie mit Quantensensoren erforscht wird. Bewegte Gravimeter messen die Summe aus Gravitation und geometrischer Beschleunigung. Für eine genaue Gravitationsmessung muss daher auch eine stabile Positionsbestimmung (insbesondere Höhe) realisiert werden.

### **Positionsbestimmung mit GNSS:**

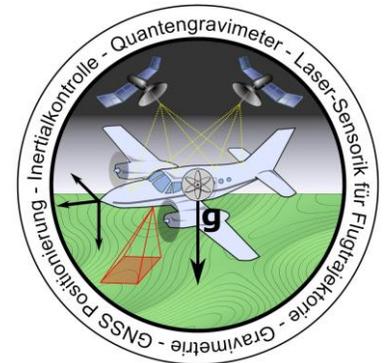
Die Zielpräzision der GNSS-Höhenbestimmung in AeroQGrav ist 1mm über einen Zeitbereich von 1s bis 1000s. Die dominierenden Fehlerquellen nach Korrektur durch ein lokales Referenznetz sind:

- GNSS-Antennenfehler inkl. Nahfeld -> Kalibrierung
- Lageänderungen -> Multi-Antennen-Rover
- Troposphären-Modell-Fehler -> Numerische Wettermodelle

### **Nutzer/Nutzen:**

Bessere Troposphärenmodelle in GNSMART erlauben eine bessere Interpolation und Extrapolation der Troposphäre bei der Generierung von Korrekturen.

Insbesondere in Regionen mit großen Höhenunterschieden erwarten wir verbesserte Höhengenaugigkeiten von RTK-Anwendungen.



# AKTUELLE FORSCHUNGSPROJEKTE

## NUMERISCHE WETTERMODELLE

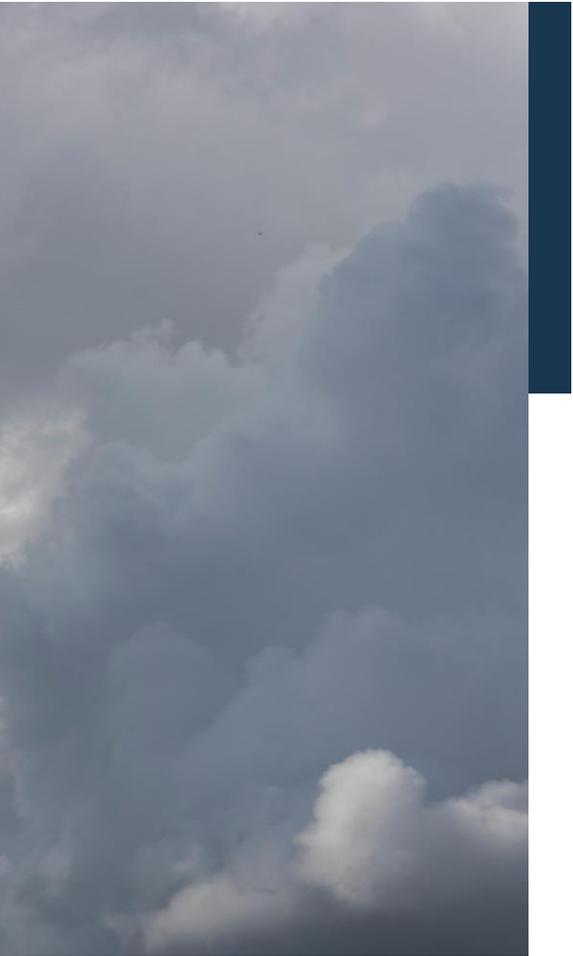


Vergleich Standard-Modell vs. Numerisches Wettermodell:



# AKTUELLE FORSCHUNGSPROJEKTE

## NUMERISCHE WETTERMODELLE



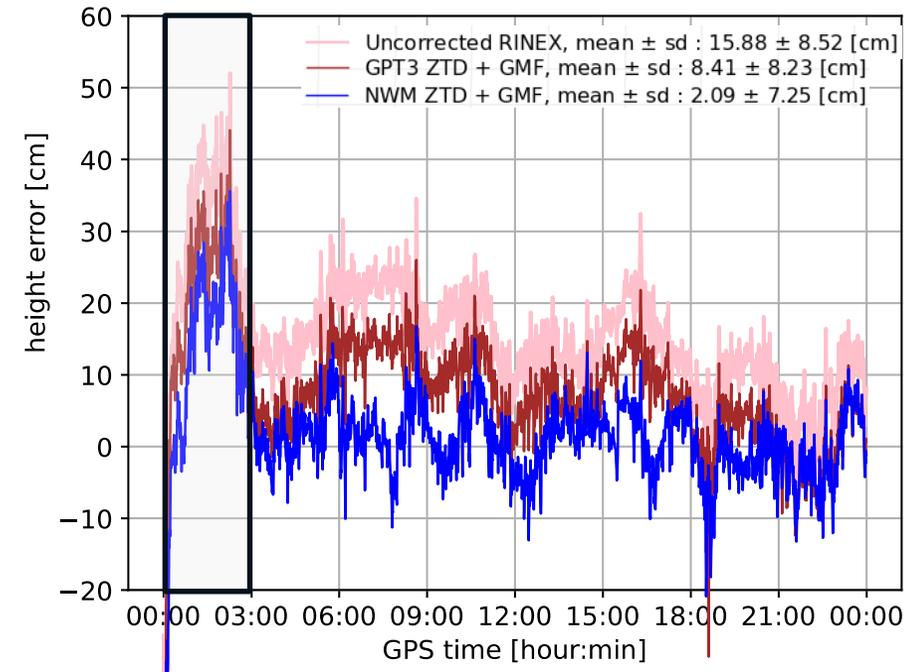
### Beispiel: Verbesserung der Höhe in PPP-Prozessierungen durch Numerische Wettermodelle:

#### Experiment:

- Rover-Software:RTKLIB
- PPP-Kinematik
- Iono-Free
- GPS (L1/L2) + GAL (E1/E5a)

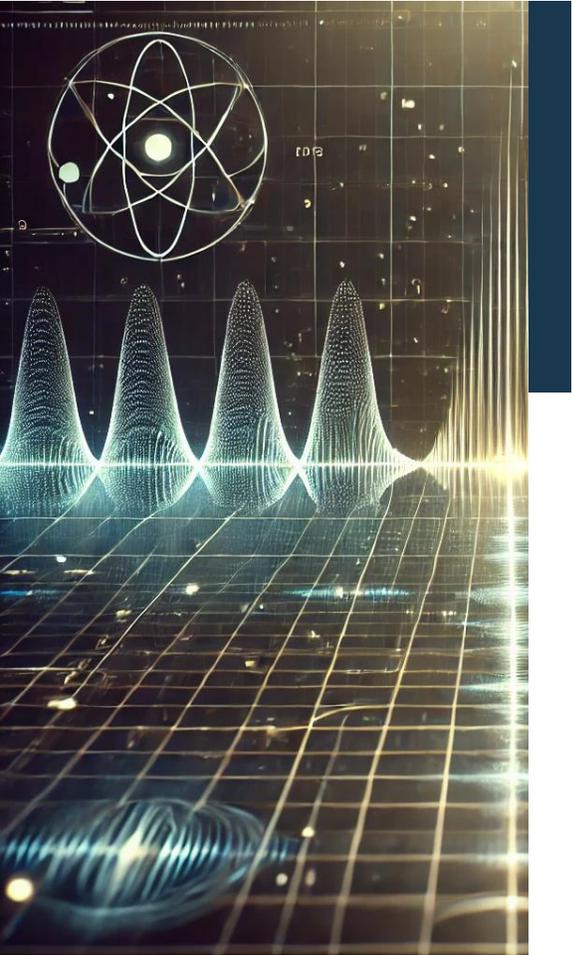
#### Ergebnis:

NWM reduzieren den Höhenfehler um 86,7% gegenüber unkorrigiertem Standardmodell



# AKTUELLE FORSCHUNGSPROJEKTE

## ZEIT UND FREQUENZÜBERTRAGUNG



### **KOFREF:**

KOFREF ist ein Projekt von Geo++ und DLR-SI (Hannover), das sich auf die Entwicklung von kompakten Frequenzreferenzen für quantenphysikalische Experimente konzentriert, um die Frequenzstabilität über GNSS zu übertragen.

### **Idee von KOFREF:**

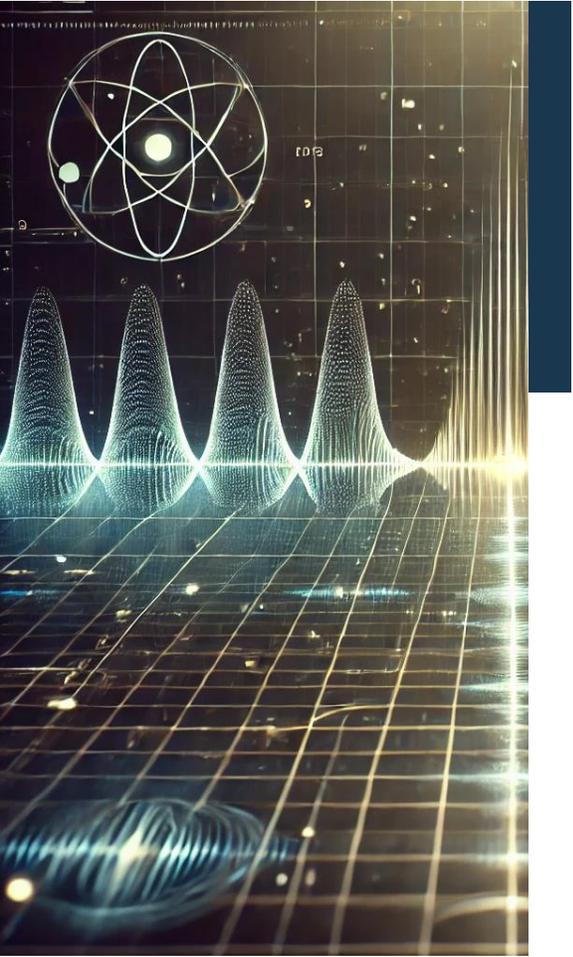
Genau wie GNSS Korrekturen die Positionsschätzung eines Rovers um Größenordnungen verbessern können, indem eine Referenzstation mit bekannter Position verwendet wird, können sie die Zeit- und Frequenzschätzung einer an einen GNSS-Empfänger angeschlossenen Uhr um Größenordnungen verbessern, wenn die Referenzstation an eine Genaue Uhr angeschlossen wird.

### **Nutzer/Nutzen:**

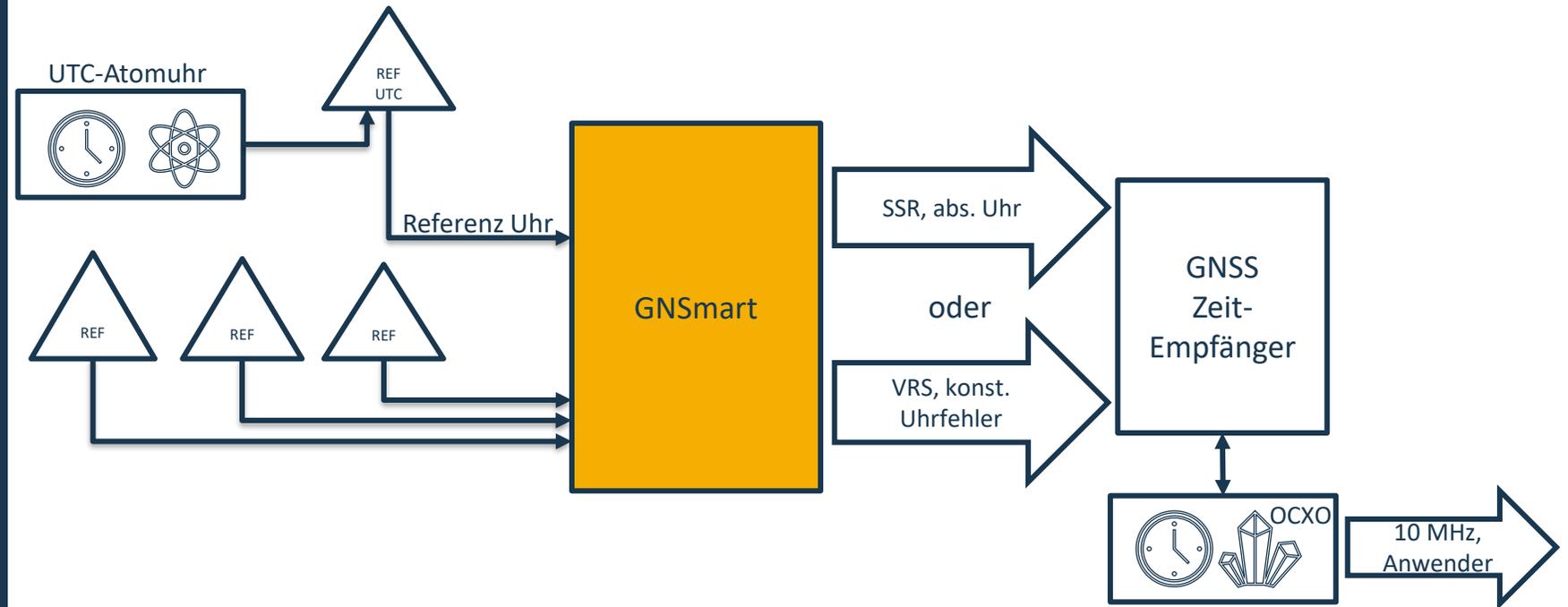
Neben Quantenmechanischen Sensoren / Computern, jede Anwendung die von besserer Synchronisation, Frequenz oder Absolutzeit profitiert.



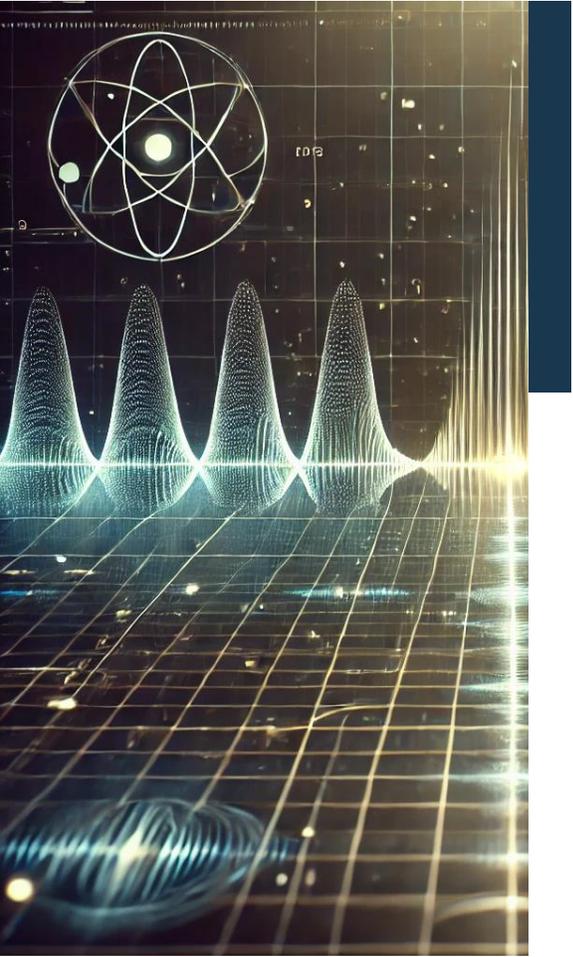
# AKTUELLE FORSCHUNGSPROJEKTE ZEIT UND FREQUENZÜBERTRAGUNG



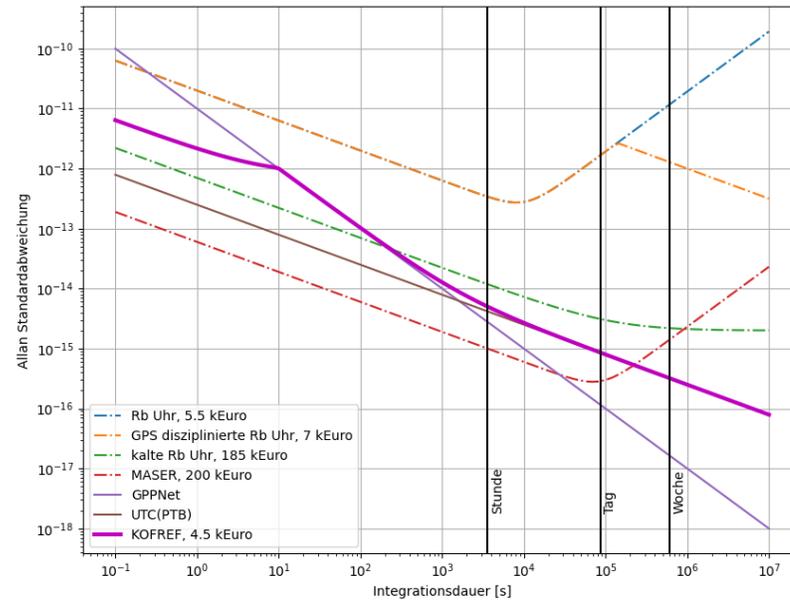
Funktionsweise KOFREF:



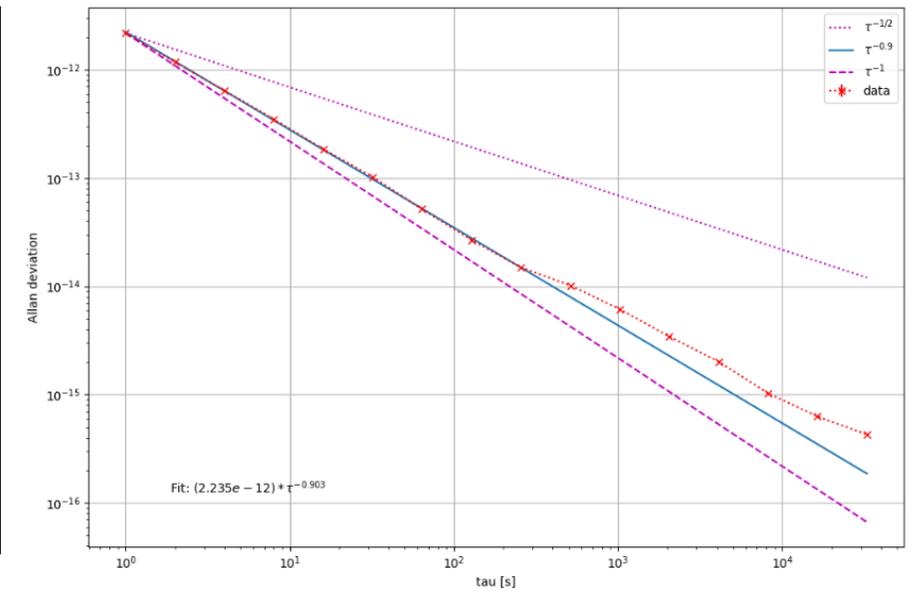
# AKTUELLE FORSCHUNGSPROJEKTE ZEIT UND FREQUENZÜBERTRAGUNG



Erwartete Performance:



erste Tests an Short-Baseline:



# AKTUELLE FORSCHUNGSPROJEKTE SMARTPHONES ALS ROVER

## Android GNSS Raw Data:

- GNSS-Rohdaten werden vom Android-Betriebssystem bereitgestellt
- Zugängliche (PPP-)RTK-App würde präzise Positionierung einem sehr großen Personenkreis zugänglich machen

## Herausforderungen:

- GNSS-Chips: GNSS-Chips sind nicht auf die Nutzung von Phasenmessungen ausgelegt: Messungen müssen für Verwendung in RTK-Algorithmen angepasst werden.
- Schlechte PCV und GDV: Smartphone-Antennen weisen sehr schlechte Phasenzentrumsvariationen (PCV) und Gruppenlaufzeitvariationen (GDV) auf: eine Kalibrierung ist notwendig
- Multipath-Empfindlichkeit: Hohe Sensitivität gegenüber Multipath-Effekten: es sind neue Algorithmen erforderlich



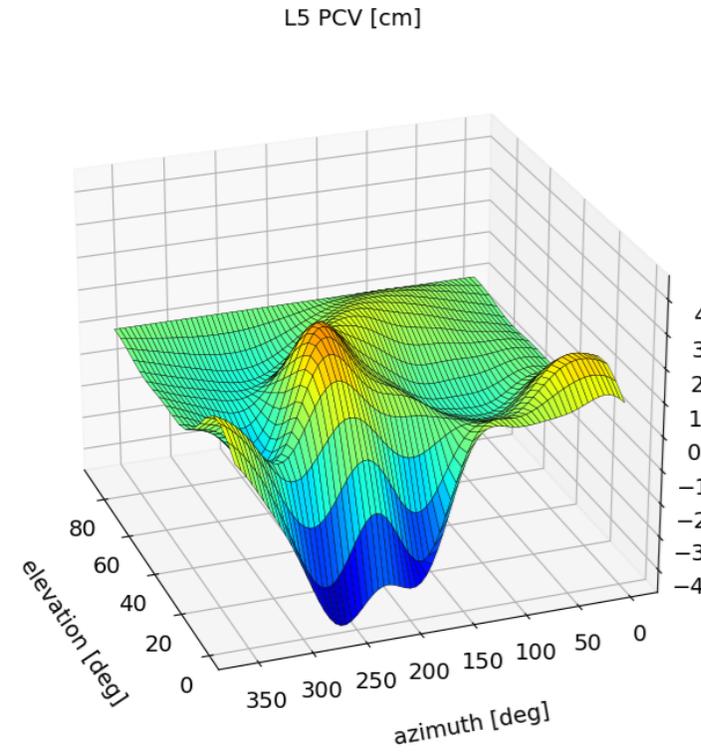
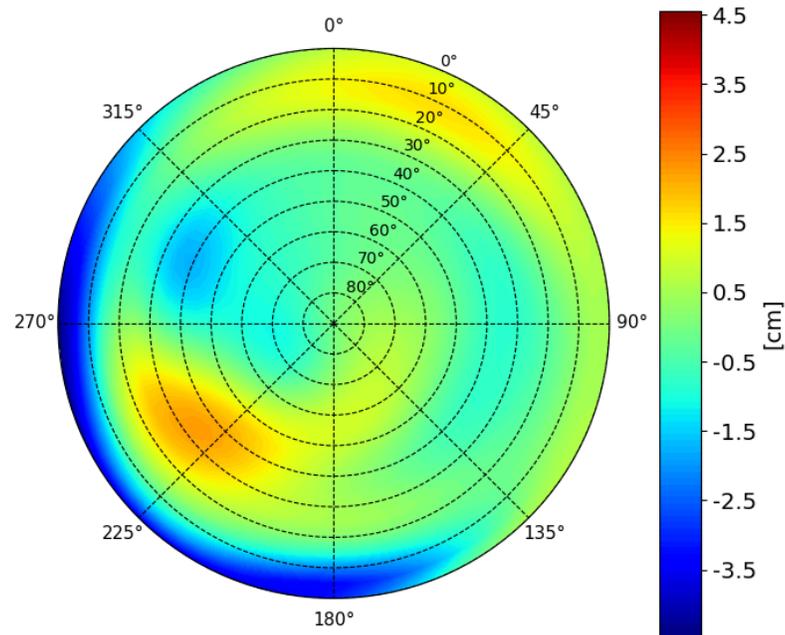
# AKTUELLE FORSCHUNGSPROJEKTE SMARTPHONES ALS ROVER

Absolute Antennenkalibrierung eines Smartphones



# AKTUELLE FORSCHUNGSPROJEKTE SMARTPHONES ALS ROVER

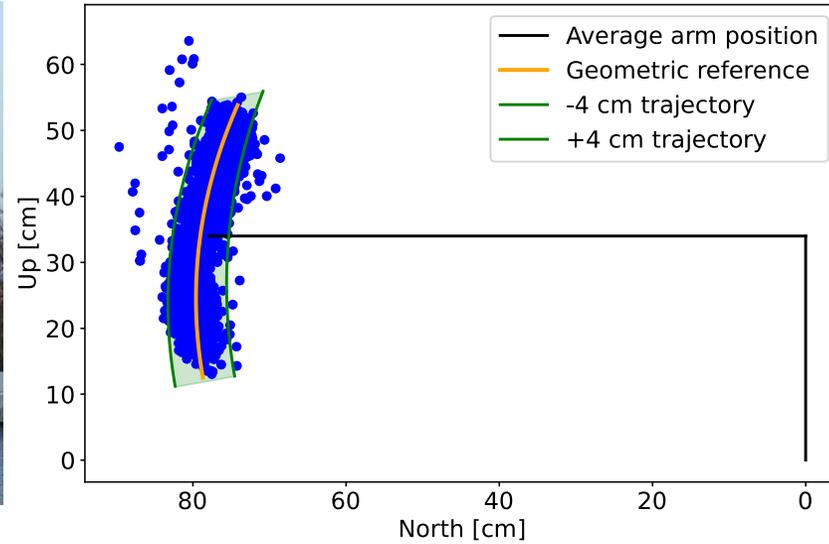
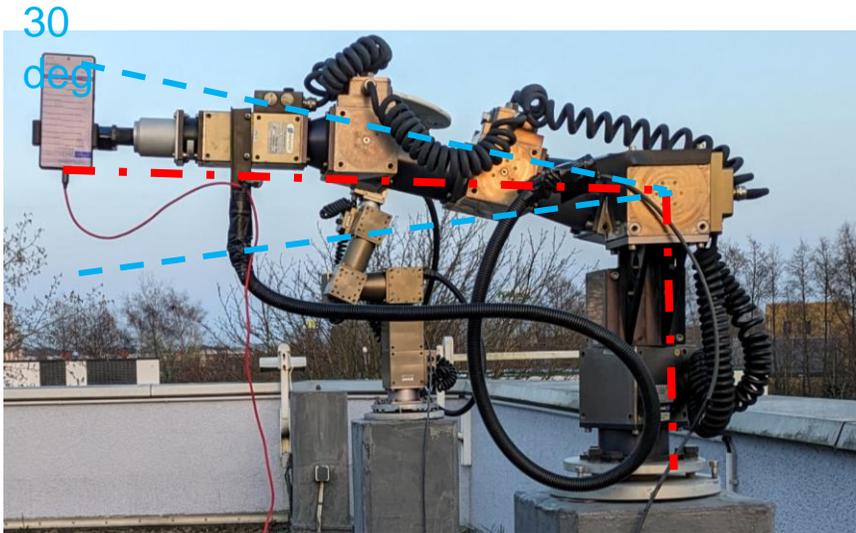
Beispiel: Pixel 7 Pro L5 PCV



# AKTUELLE FORSCHUNGSPROJEKTE

## SMARTPHONES ALS ROVER

Kinematische Tests mit "Arm-Simulator"

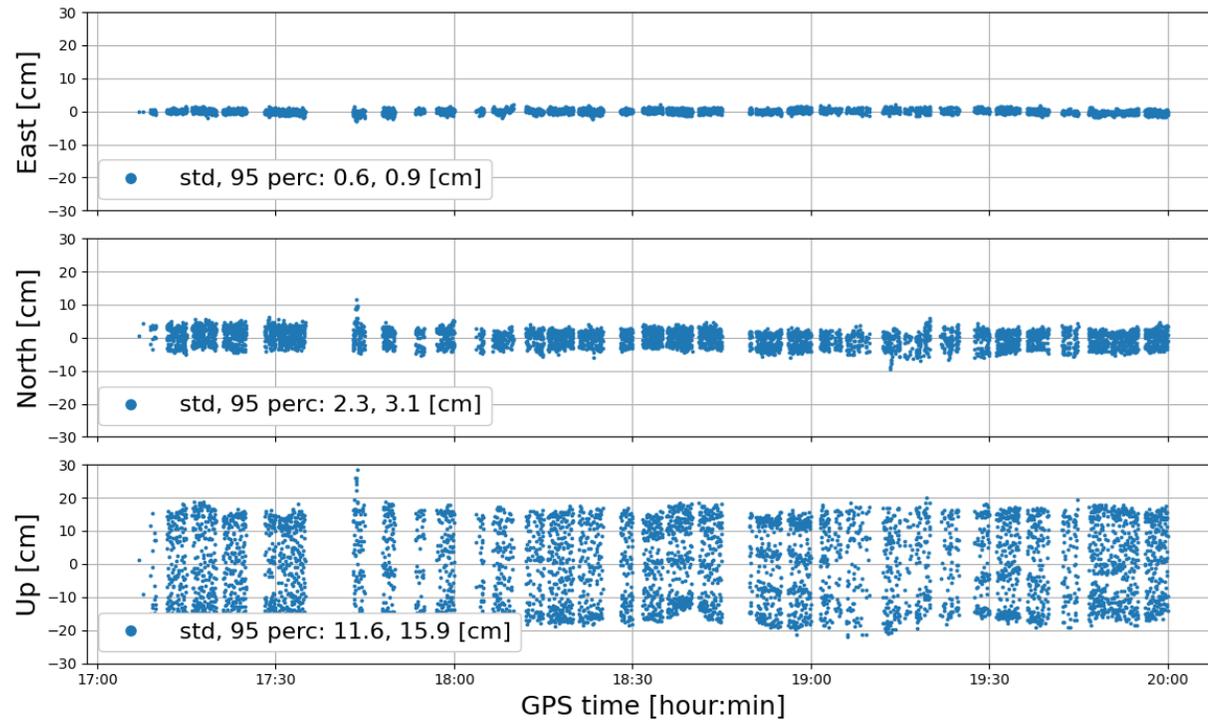


Die Breite des Telefons beträgt 7,6 cm.

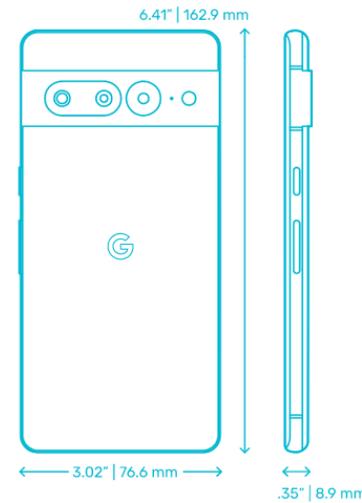


# AKTUELLE FORSCHUNGSPROJEKTE SMARTPHONES ALS ROVER

## Kinematische Ergebnisse: Abweichung von den Mittelwerten



## Handymaße



<https://www.dimensions.com/element/google-pixel-7-pro>



# AKTUELLE FORSCHUNGSPROJEKTE SMARTPHONES ALS ROVER

Smartphone RTK-Leistung:

- Kalibriertes Smartphone
- Roboterarm-Szenario
- 5 min Neustart-Intervall
- Short Baseline

Item	Wert	Ziel
Average time to first fix	88 s	<30s
Percentage of fixed intervals	92%	>95%
Precision	< 1cm	< 5cm



**Vielen Dank für die  
Aufmerksamkeit!**

