

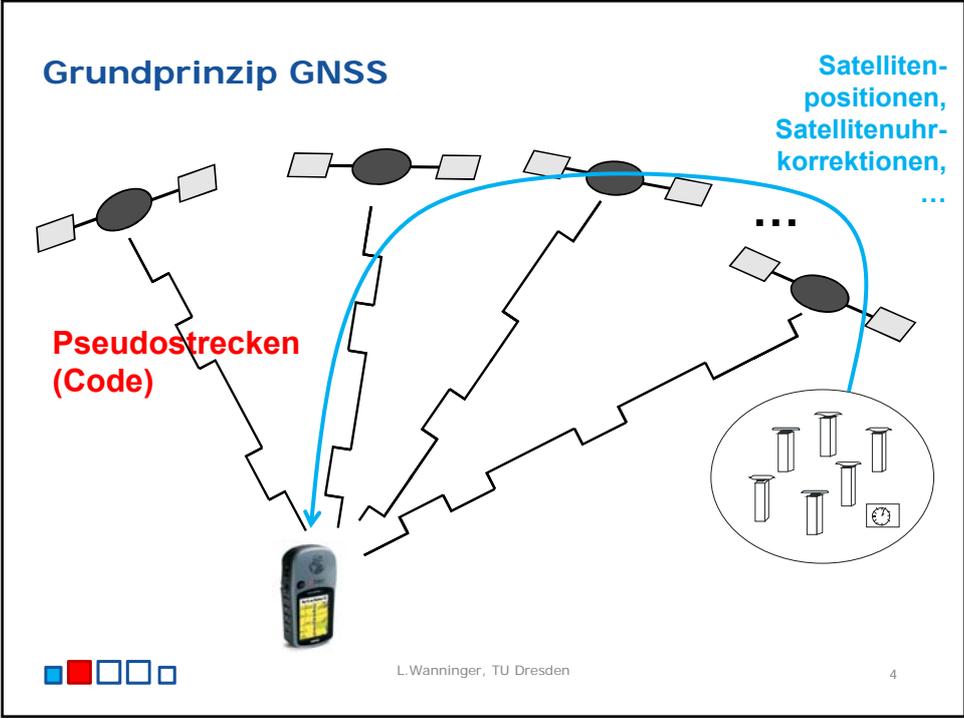
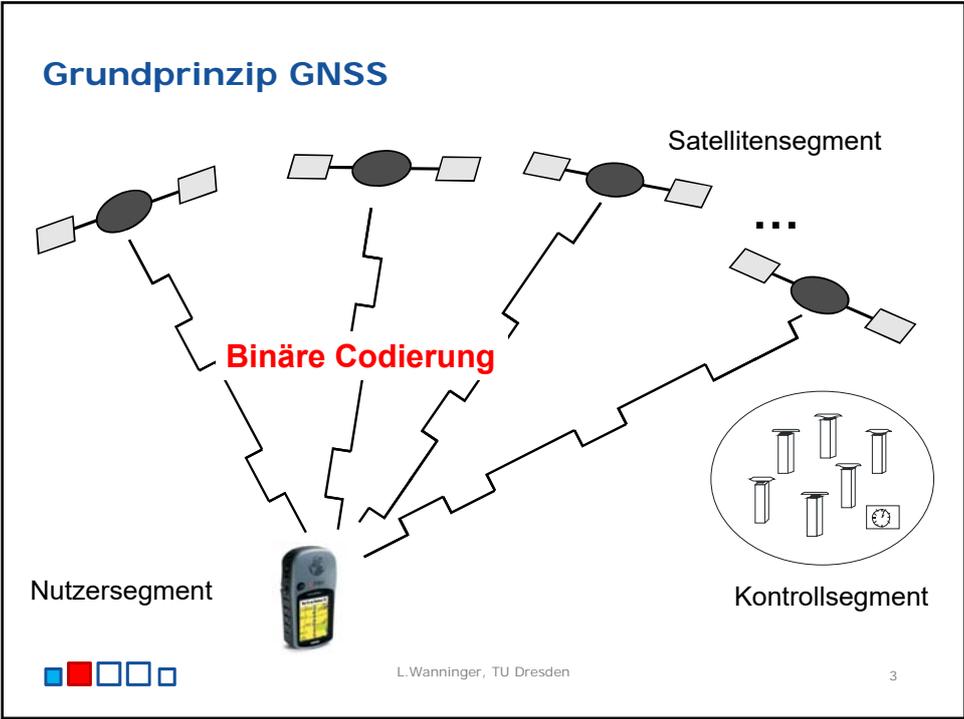
# GNSS im Umbruch – neue Möglichkeiten der zentimeter- genauen satellitengestützten Positionsbestimmung

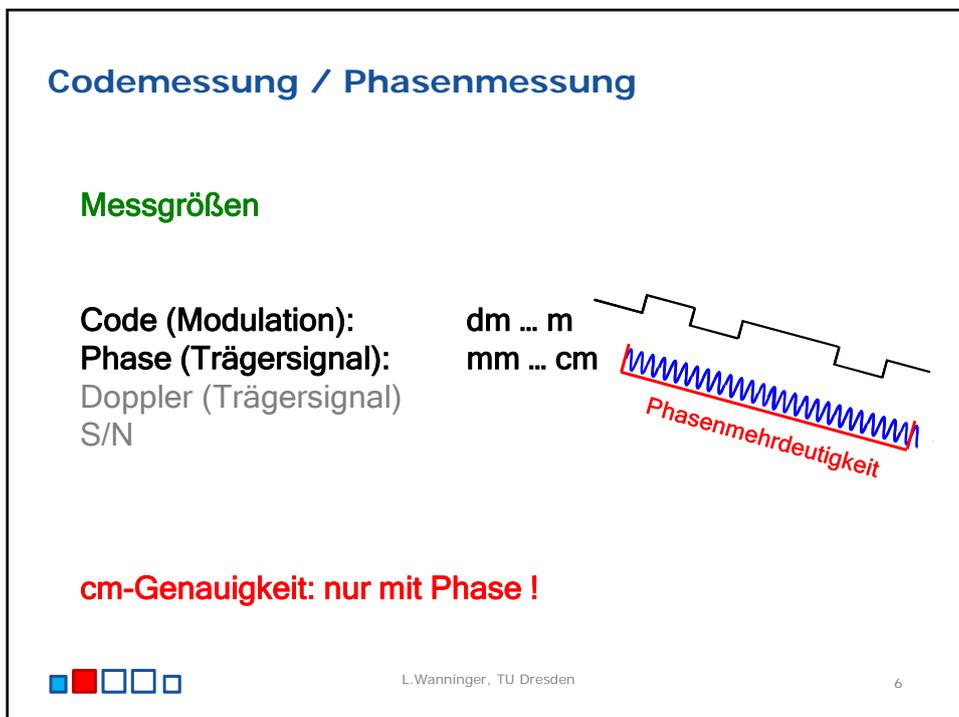
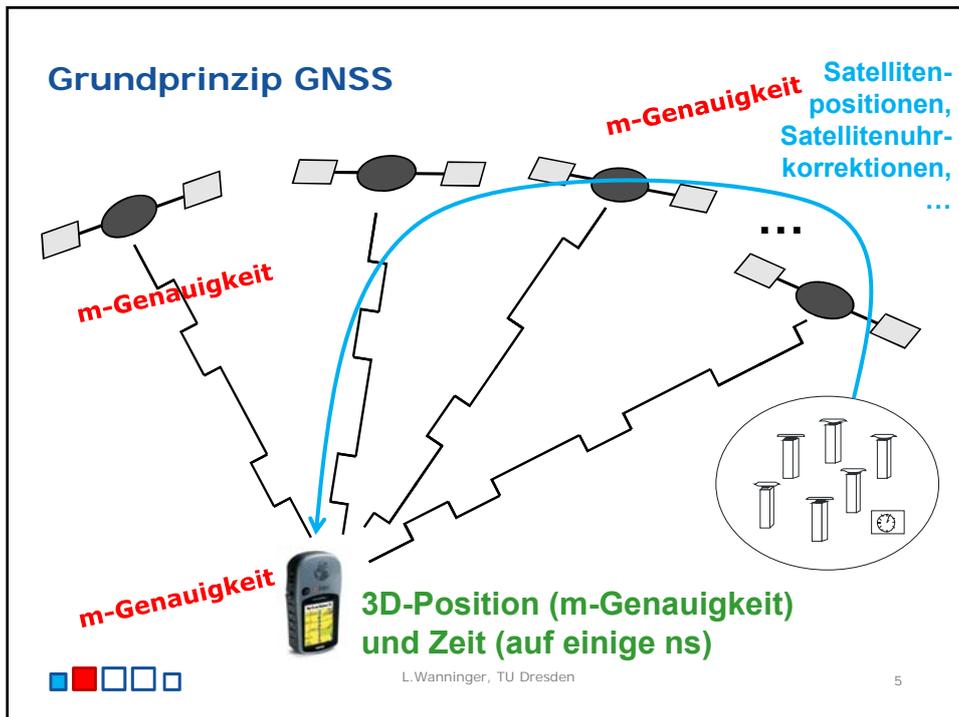
Lambert Wanninger  
Geodätisches Institut, TU Dresden

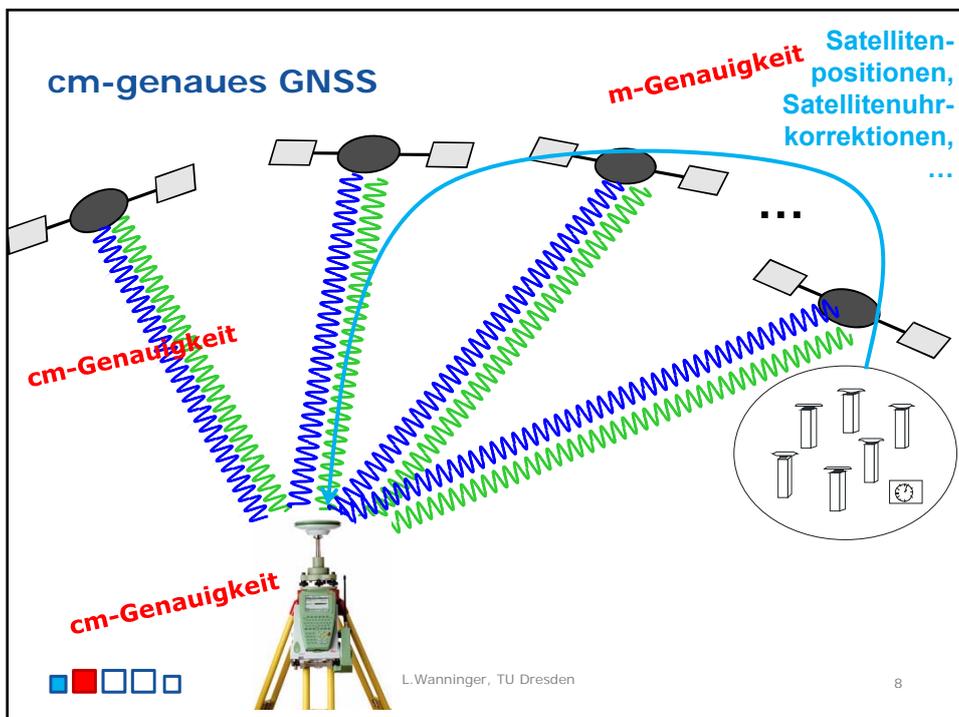
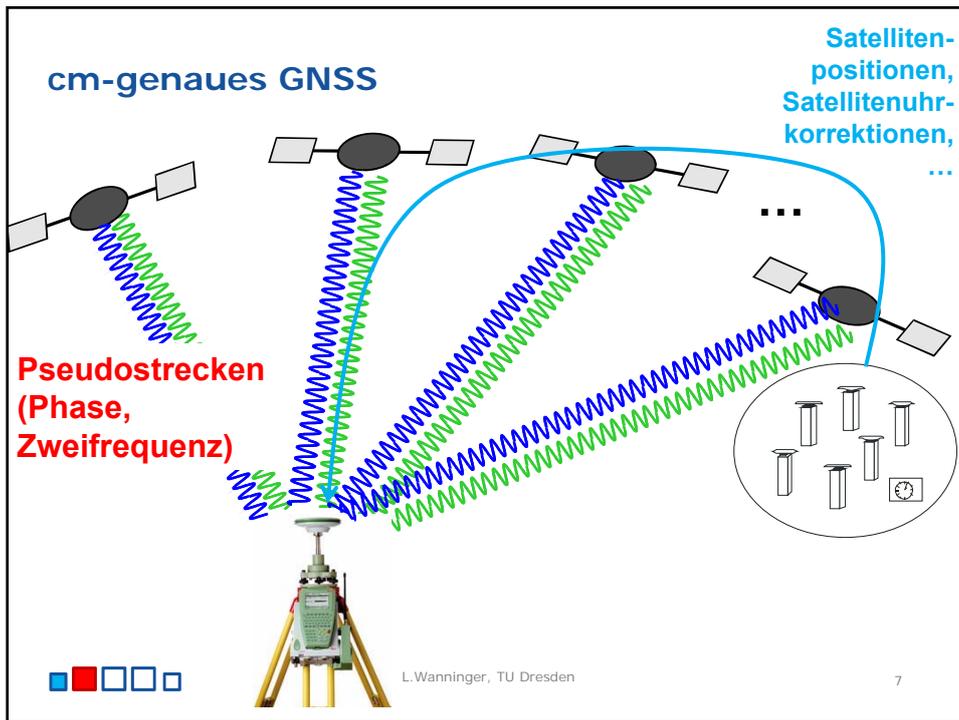
Herbstvorträge DVW-Sachsen, Leipzig, 08.10.2019

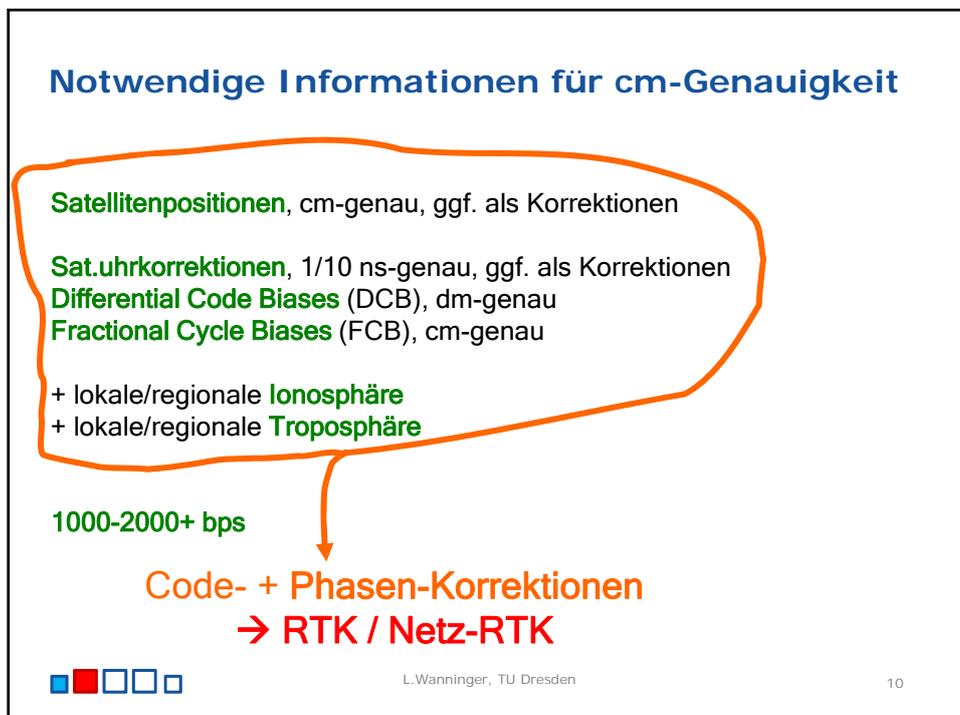
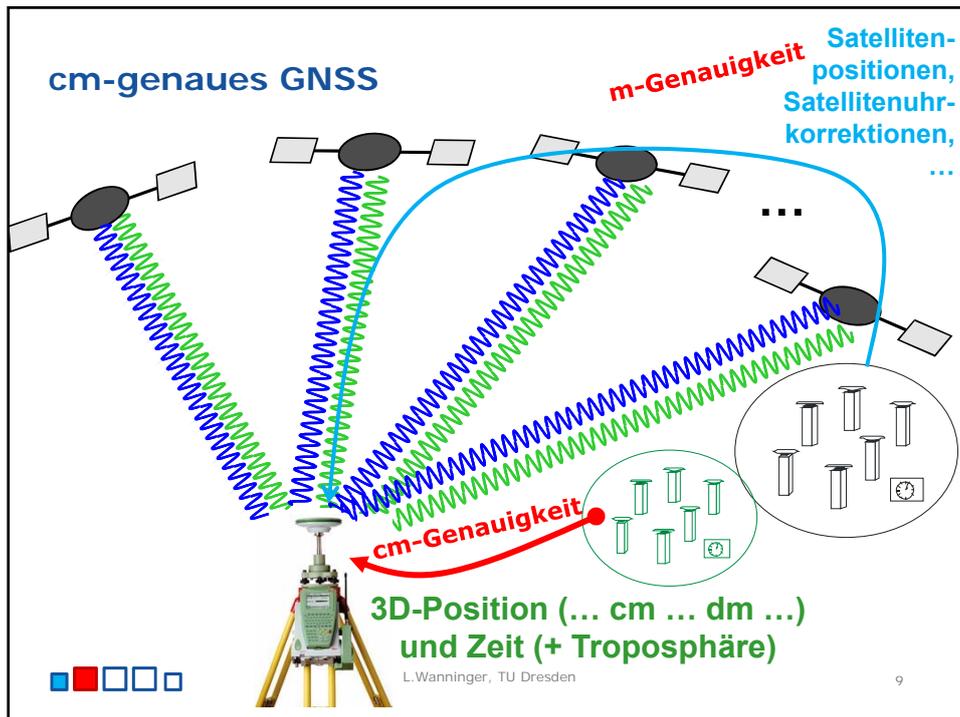
## Satellitengestützte Positionsbestimmung: GNSS

- 1 Grundprinzip der Positionsbestimmung  
Metergenauigkeit / Zentimetergenauigkeit  
Realisierungen RTK und PPP**
- 2 Weiterentwicklungen durch GNSS-Betreiber**
- 3 Veränderungen im Nutzersegment**









## Notwendige Informationen für cm-Genauigkeit

Satellitenpositionen, cm-genau

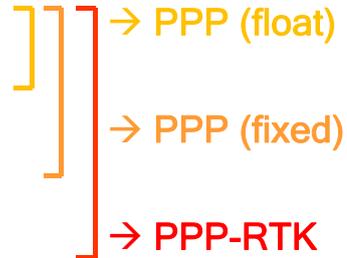
Sat.uhrkorrekturen, 1/10 ns-genau

Differential Code Biases (DCB), dm-genau

Fractional Cycle Biases (FCB), cm-genau

+ lokale/regionale Ionosphäre

+ lokale/regionale Troposphäre



1000-2000+ bps



L.Wanninger, TU Dresden

11

## cm-genaue Pos.bestimmung / Korrektionsdienste

### Real Time Kinematic (RTK), Netz-RTK

lokale Informationen → schnelle Mehrdeutigkeitsfestsetzung,  
schnell cm-Genauigkeit

### Precise Point Positioning (PPP)

**PPP (float):** ohne Mehrdeutigkeitsfestsetzung → lange Konvergenzzeiten (Stunden)

**PPP (fixed):** Mehrdeutigkeitsfestsetzung ohne lokale Informationen: Konvergenzzeiten von mindestens einigen Minuten

**PPP-RTK:** mit lokalen Informationen: schnelle Mehrdeutigkeitsfestsetzung, schnell cm-Genauigkeit



12

## Korrektionsdienste



### Referenzstationen

Einzelne

Regionales Netz

Globales Netz

Globales Netz mit regionaler Verdichtung

→ RTK

→ Netz-RTK (z.B. SAPOS)

→ PPP(Float) / PPP(Fixed)

→ PPP-RTK

### Kommunikationskanäle

Mobiltelefon

Terrestrische Funknavigation (z.B. DAB)

Satellitengestützte Kommunikation



L. Wanninger, TU Dresden

13

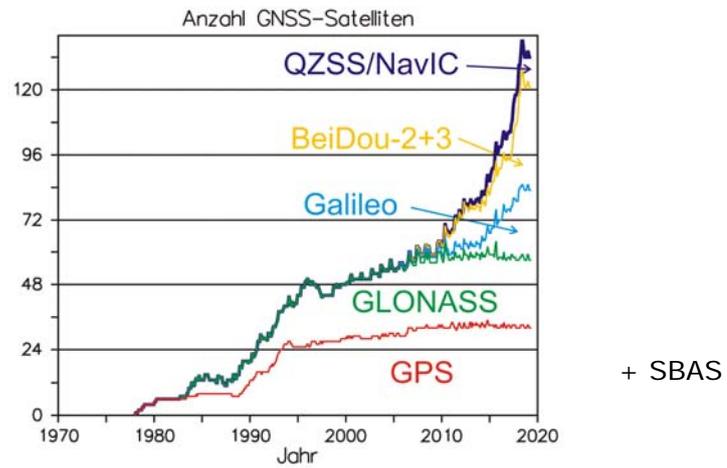
## Weiterentwicklungen durch GNSS-Betreiber

- mehr Satelliten
- mehr Frequenzen
- Signale für genauere Codemessungen (m → dm)
- genauere Ephemeriden (m → dm)
  
- GNSS mit Zusatzinformationen für phasenbasierte Positionsbestimmung



14

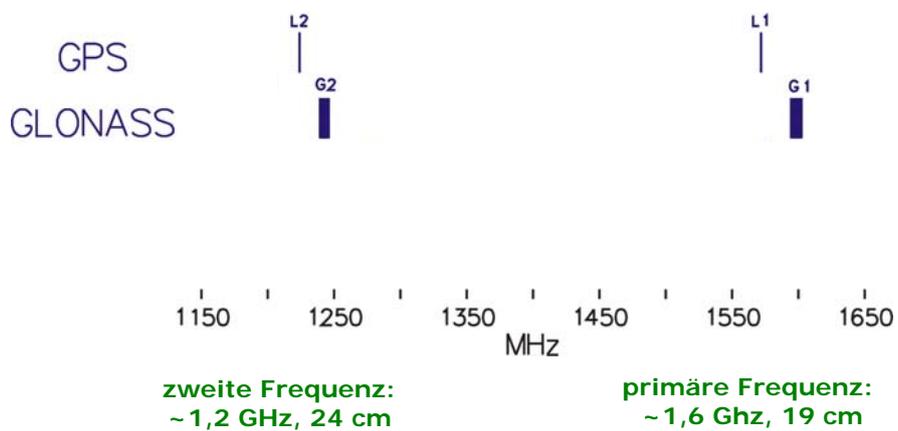
## Anzahl GNSS-Satelliten



L.Wanninger, TU Dresden

15

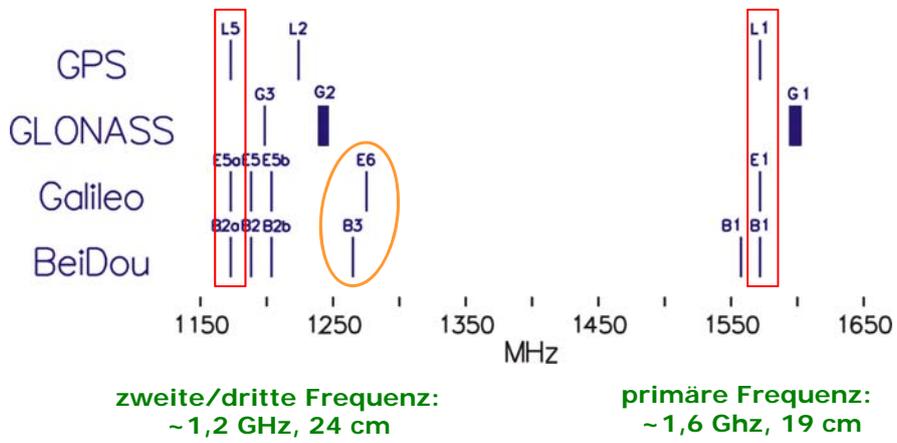
## Signalfrequenzen, früher



L.Wanninger, TU Dresden

16

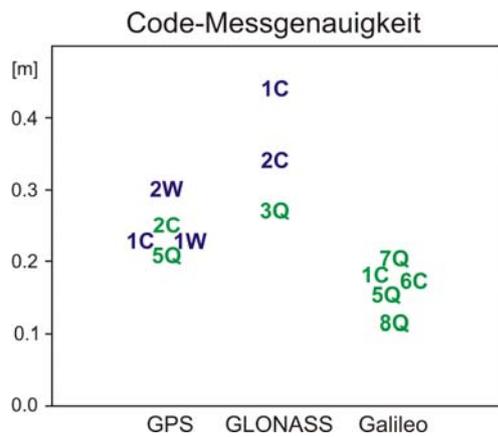
## Signalfrequenzen, heute



L.Wanninger, TU Dresden

17

## Codemessgenauigkeit neuer Signale



Septentrio PolaRx5,  
10 Elevationsmaske

→ Auswirkungen auf schnelle Mehrdeutigkeitsfestsetzung



L.Wanninger, TU Dresden

18

## Genauigkeiten der *broadcast*-Ephemeriden

### SISRE – Signal in Space Ranging Error

(Fehler der broadcast-Orbits und Uhrkorrekturen)

|                |        |
|----------------|--------|
| GPS            | 50 cm  |
| GLONASS        | 100 cm |
| Galileo        | 15 cm  |
| BeiDou-2 (MEO) | 90 cm  |

Stand: April 2017  
(Steigenberger und Montenbruck, 2017)

### Genauigkeitssteigerung:

- wenig Auswirkungen auf Genauigkeit von cm-genauer Positionsbestimmung
- Auswirkungen auf Datenvolumen von Korrektionsdiensten

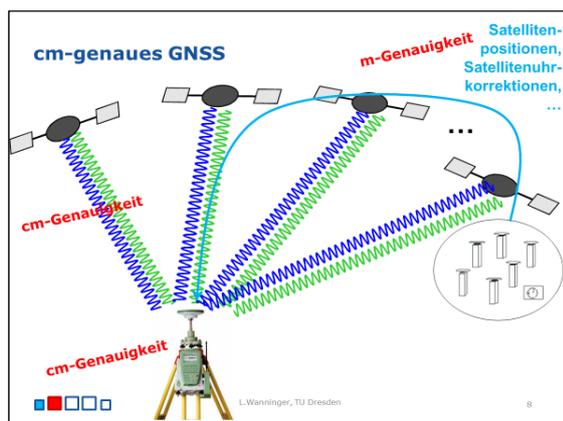


L.Wanninger, TU Dresden

19

## GNSS mit Zusatzinformationen für phasenbasierte Positionsbestimmung

erste Dienste von GNSS-Betreibern für Phasenmessungen



L.Wanninger, TU Dresden

20

### NEU:

Satelliten-  
positionen,  
Satellitenuhr-  
korrekturen,  
...

cm-Genauigkeit

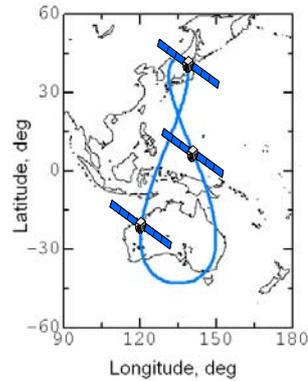
- für Phasenmess.
- *broadcast*-Dienste  
(simplex Datenkom.  
→ unbegrenzte  
Nutzeranzahl)

## QZSS

**QZSS** – Quasi-Zenit-Satelliten-System

Zusatzsystem zu GPS

3+ Satelliten,  
immer einer  $> 60^\circ$  Elevation über Japan



(Sakai u.a. 2012)



L.Wanninger, TU Dresden

21

## QZSS-CLAS

**CLAS** – *Centimeter Level Augmentation Service*

seit 1.11.2018 in Betrieb

Signal L6 (1278,75 MHz) mit Datensignal

Datenvolumen: **1700 bit/s**

Korrekturen für GPS/GLONASS/Galileo/QZSS-Zweifrequenz-Signale:

- Orbit-Korrekturen
- Uhr-Korrekturen
- instrumentelle Verzögerungen
- ionosphärische Informationen

**PPP-RTK**

Alter der Korrekturen: 10 - 20 s

Time to First Fix:  $< 60$  s

→ Genauigkeitsniveau der bestimmten Positionen: einige cm



L.Wanninger, TU Dresden

22

## Weitere geplante GNSS/PPP-Dienste

### BDS-3 PPP-Service

B2b – 1207,140 MHz, ~1000 bps  
3 geostationäre Satelliten  
... dm, China + Umgebung  
ab 202?

PPP(float)  
PPP(fixed) ?

### Galileo High Precision Service

E6b – 1278,75 MHz, 450 bps pro Satellit  
alle Galileo-Satelliten  
< 20 cm, Europa + global  
ab 2020/21

PPP(float)  
PPP(fixed) ?

Beide Dienste werden wohl nicht so genau werden wie QZSS-CLAS.



## GNSS mit Zusatzinformationen für phasenbasierte Positionsbestimmung

### erste Dienste von GNSS-Betreibern für phasenbasierte Positionsbestimmung:

- QZSS-CLAS
- BDS PPP
- Galileo High Precision Service

### in Konkurrenz zu privaten Diensten für phasenbasierte Positionsbestimmung auf der Grundlage von PPP:

Omnistar, Fugro, Veripos, Trimble RTX, NavCom, Terrastar, Hemisphere Atlas, ...



## Veränderungen im Nutzersegment

### Massenempfänger mit 2-Freq.-Phase:

- Preisgünstige 2-Freq.-GNSS-Chips mit RTK
- Smartphones mit 2-Freq.-Phasenmessungen

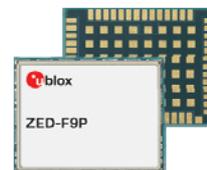


## Preisgünstige 2-Freq.-GNSS-Chips mit RTK

### Mehrfrequenzempfänger erobern den Massenmarkt

seit 2018: 4 GNSS, 2 Frequenzen, inkl. RTK-Engine  
für ~ 120 Euro

17,0 mm x 22,0 mm x 2,4 mm  
0,2 W

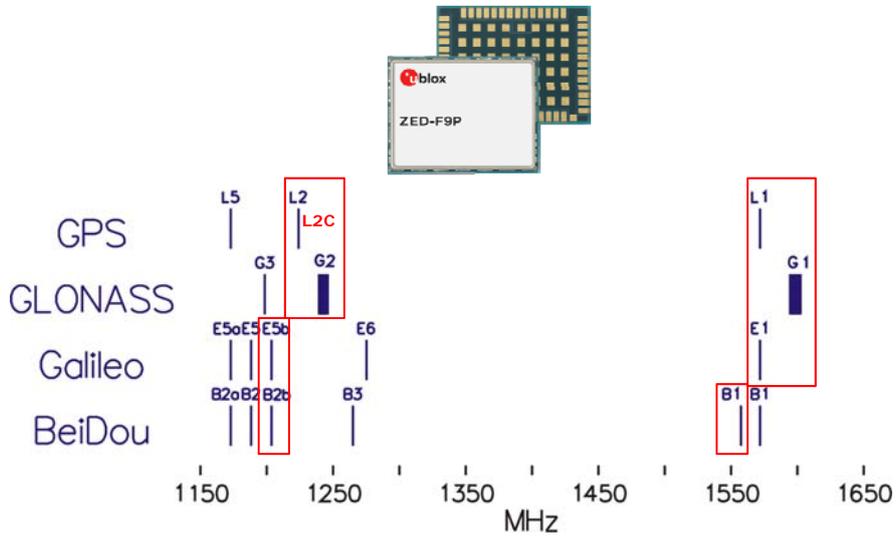


**Zielgruppe: Maschinensteuerung, autonomes Fahren**

für geodätische Anwendungen ohne Einschränkungen geeignet



## Preisgünstige 2-Freq.-GNSS-Chips mit RTK



L. Wanninger, TU Dresden

27

## Smartphones mit 2-Freq.-Phasenmessungen

seit 2018: Smartphone Zweifrequenz-GNSS-Chips für 4+ GNSS,  
z.T. mit Phasendaten,  
z.T. für Mehrdeutigkeitsfestsetzung geeignet

|                |                      |
|----------------|----------------------|
| <b>GPS</b>     | <b>L1/L5</b>         |
| GLONASS        | G1                   |
| <b>Galileo</b> | <b>E1/E5a</b>        |
| BeiDou         | B1-2 <b>(B1/B2a)</b> |
| QZSS ...       |                      |

Broadcom BCM47755,  
HiSilicon Kirin 980

z.B.



seit 2016: Android ermöglicht Zugriff  
auf GNSS-Messungen  
→ Analyse der Messungen möglich



L. Wanninger, TU Dresden

28

## Smartphones mit 2-Freq.-Phasenmessungen

ungeeignete Antenne für hochpräzise Messungen

- starke Mehrwegeeinflüsse
- Phasenzentrum nur ungefähr bestimmbar (1-2 cm)

wenn Mehrdeutigkeitsfestsetzung erfolgreich  
→ Positionsgenauigkeit von wenigen – einigen cm

Zwischenbilanz:

- RTK / PPP-RTK erscheint möglich
- Potential für cm-Genauigkeit vorhanden



L.Wanninger, TU Dresden

29

## Schlußfolgerungen

### cm-genaue GNSS-Positionsbestimmung in rasanter Entwicklung

- (a) steigende Anzahl öffentlicher (und privater) PPP-Dienste besonders interessant:
  - PPP-Korrekturen von GNSS-Satelliten:
  - QZSS-CLAS und Galileo HPS u.a.
- (b) Ausbreitung von Empfängern, die Zweifrequenz-Phasenmessungen bereitstellen:
  - Massenprodukte für Autonomes Fahren, Smartphones



L.Wanninger, TU Dresden

30