

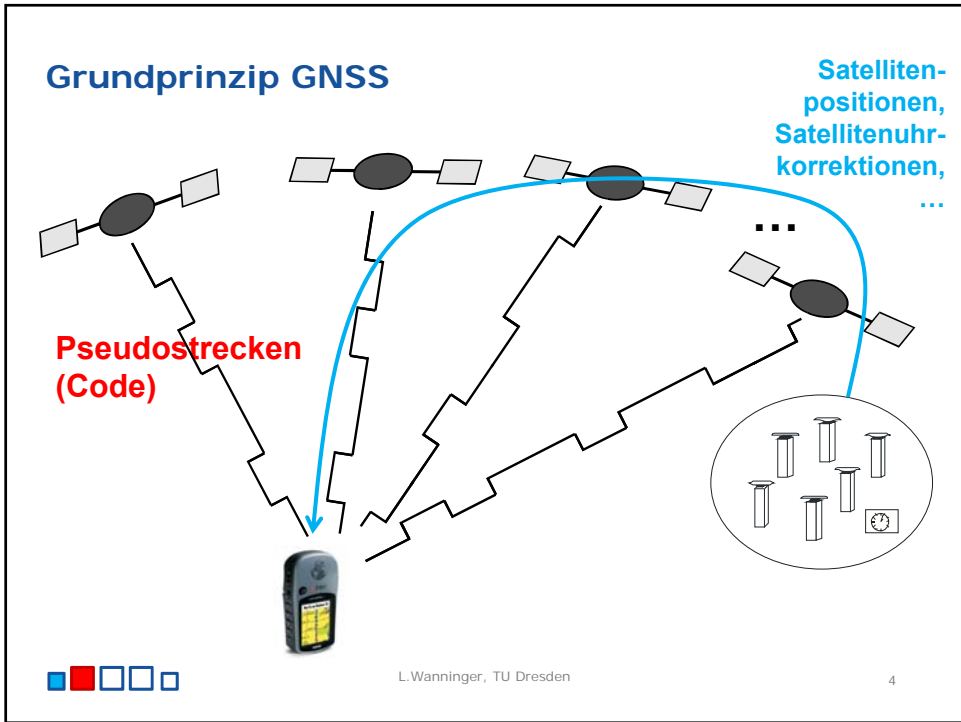
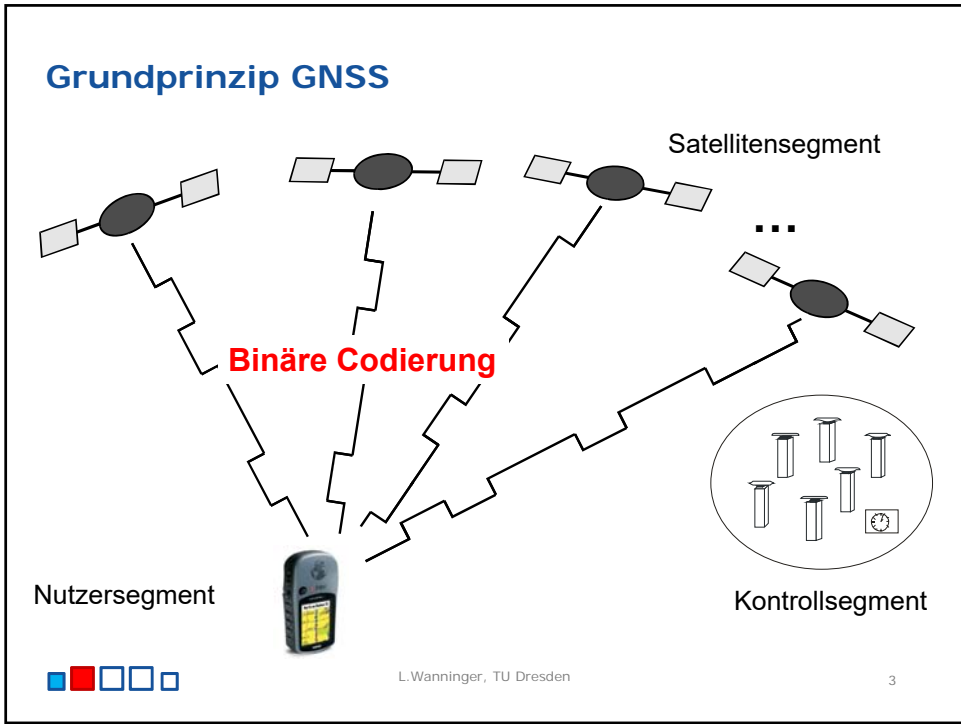
GNSS im Umbruch – neue Möglichkeiten der zentimeter- genauen satellitengestützten Positionsbestimmung

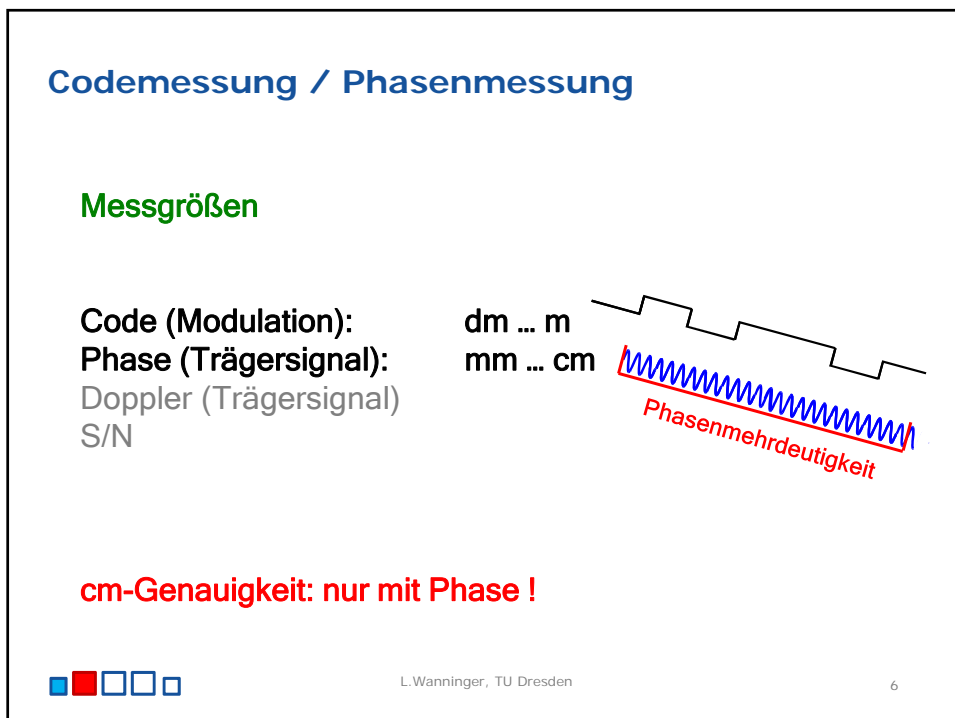
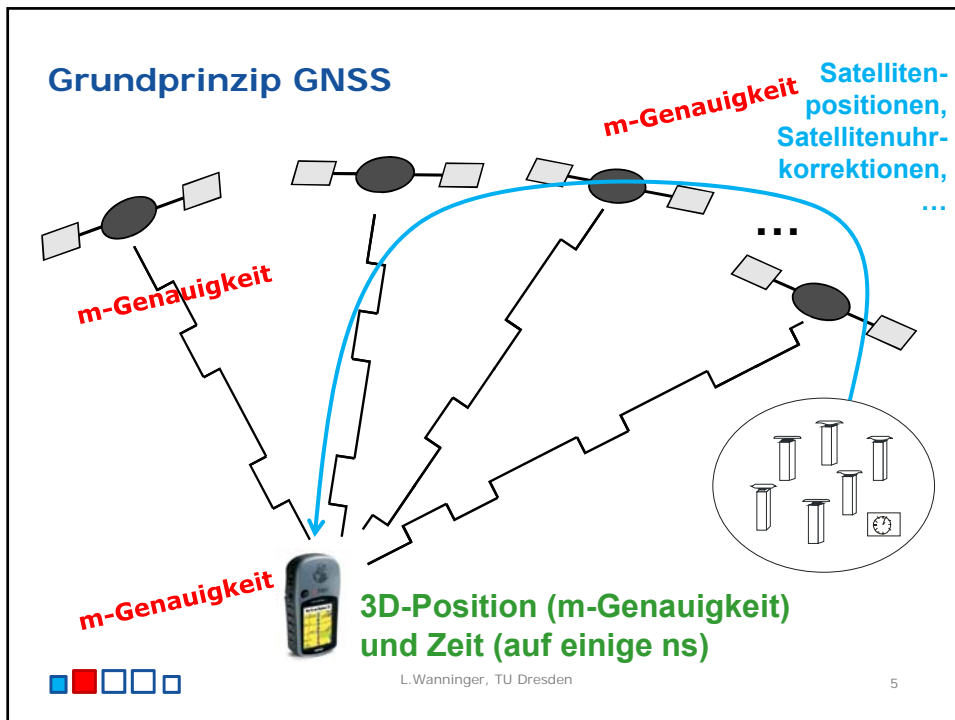
Lambert Wanninger
Geodätisches Institut, TU Dresden

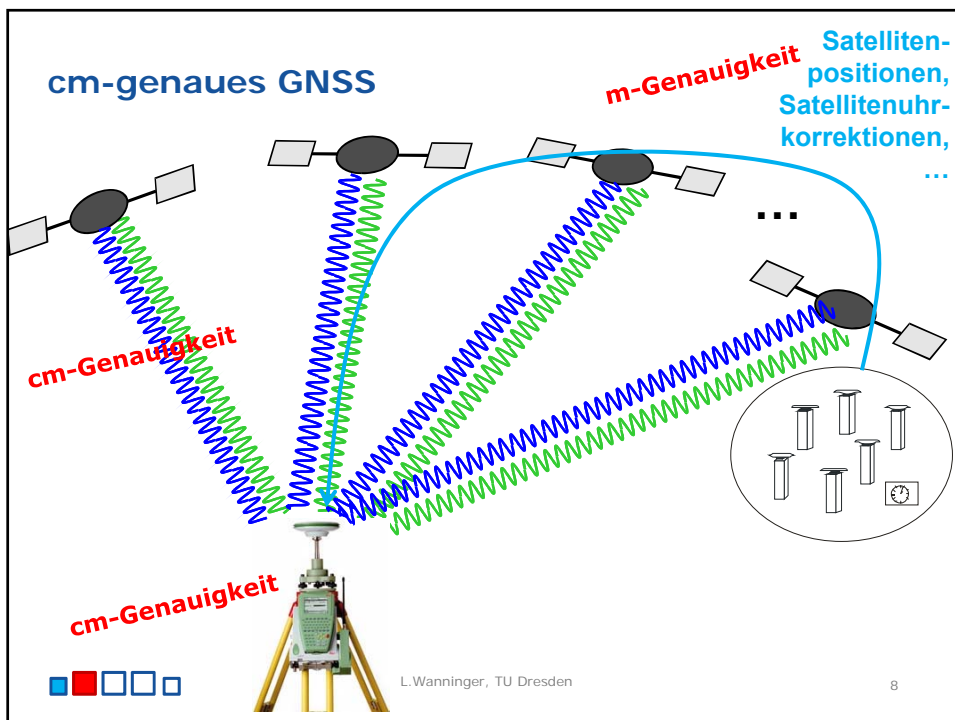
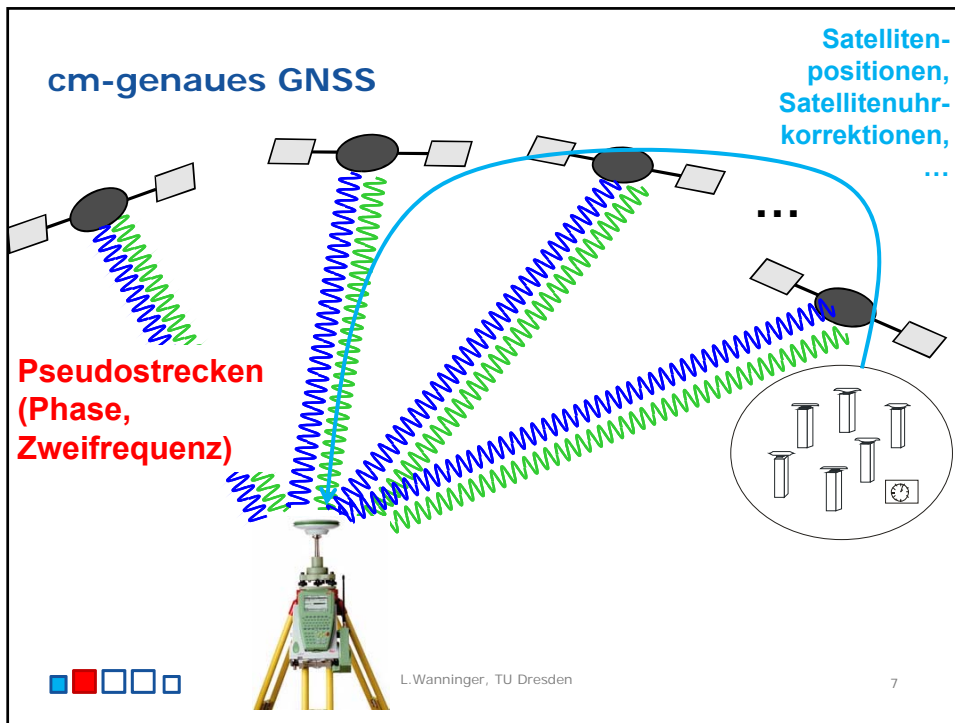
Herbstvorträge DVW-Sachsen, Leipzig, 08.10.2019

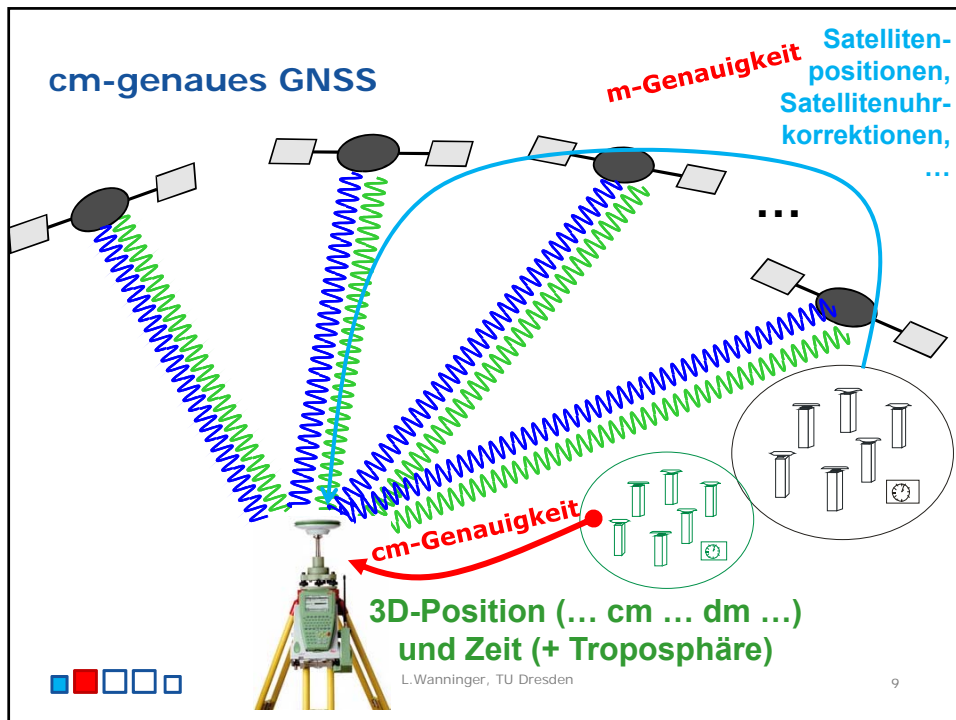
Satellitengestützte Positionsbestimmung: GNSS

- 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

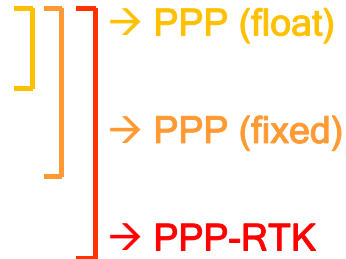
Sat.uhrkorrekturen, 1/10 ns-genau

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

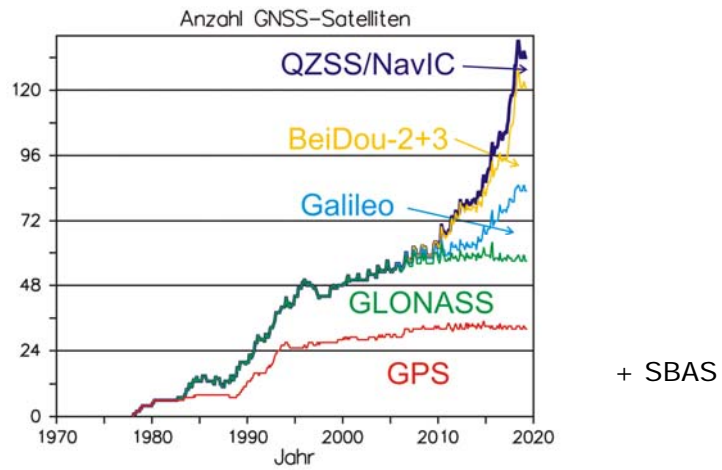
- mehr Satelliten
- mehr Frequenzen
- Signale für genauere Codemessungen (m → dm)
- genauere Ephemeriden (m → dm)

- GNSS mit Zusatzinformationen für phasenbasierte Positionsbestimmung



14

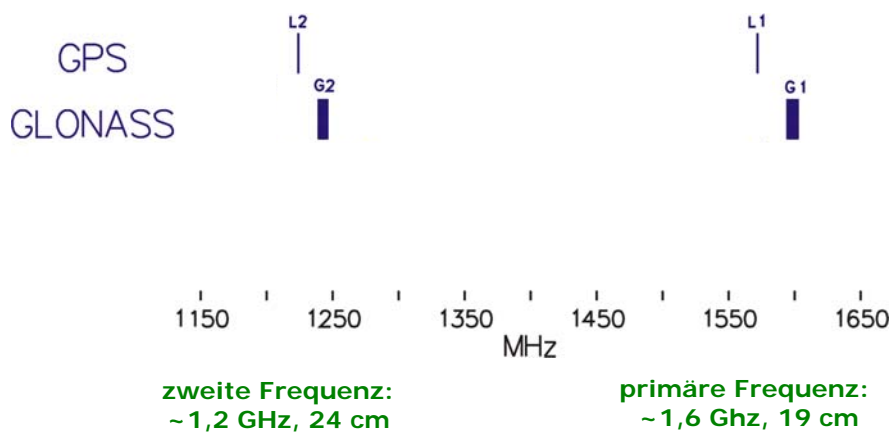
Anzahl GNSS-Satelliten



L.Wanninger, TU Dresden

15

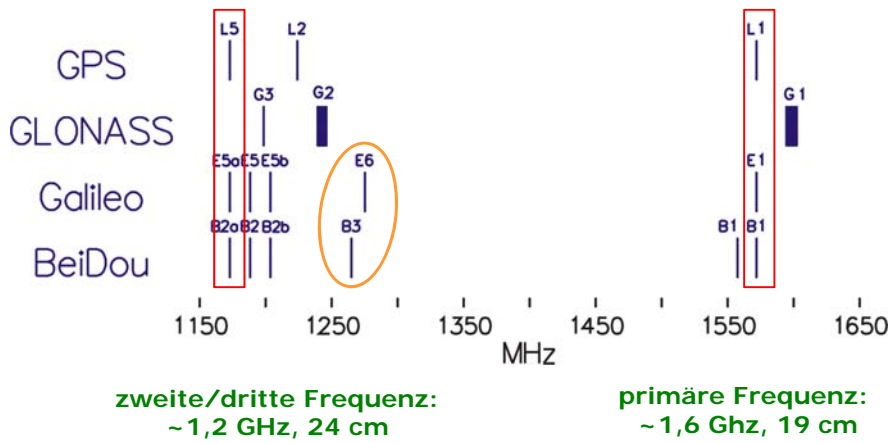
Signalfrequenzen, früher



L.Wanninger, TU Dresden

16

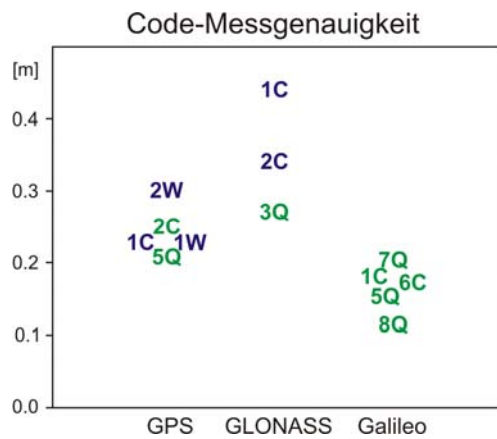
Signalfrequenzen, heute



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

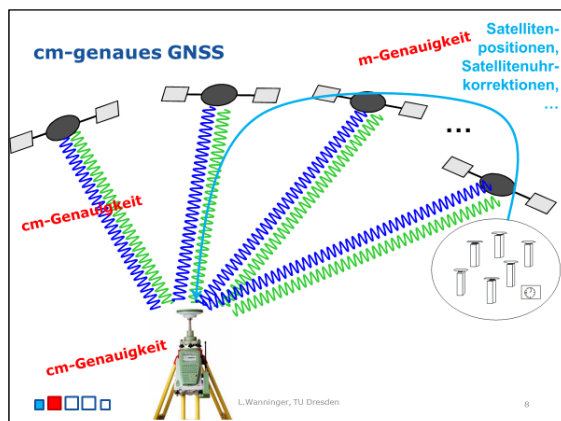


L.Wanninger, TU Dresden

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

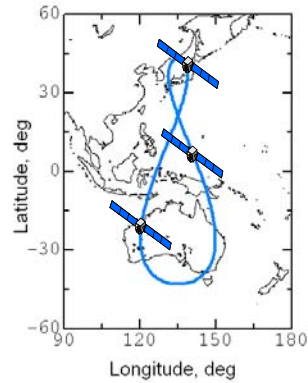
- für Phasenmess.
- *broadcast*-Dienste
(simplex Datenkom.
→ unbegrenzte
Nutzeranzahl)

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

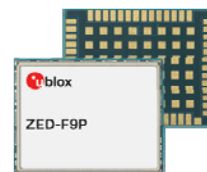


Preisgünstige 2-Freq.-GNSS-Chips mit RTK

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

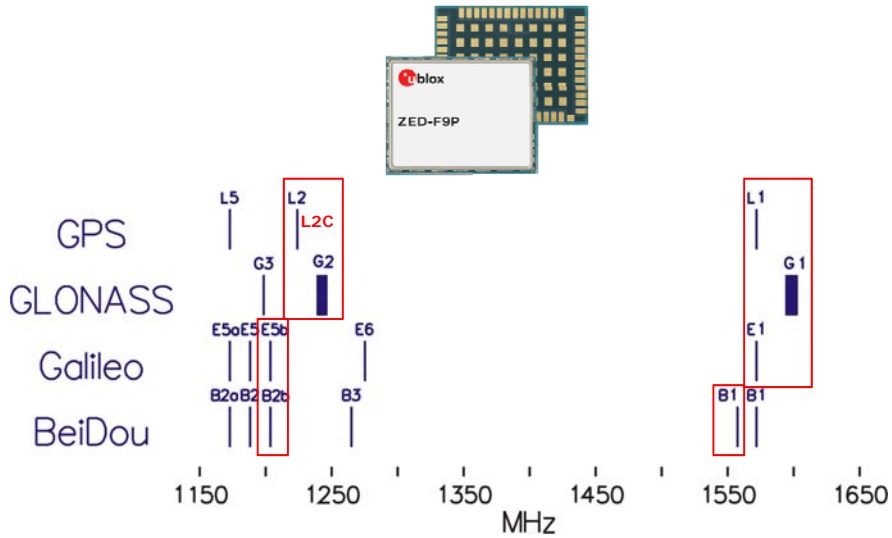


Zielgruppe: Maschinensteuerung, autonomes Fahren

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

GPS	L1/L5
GLONASS	G1
Galileo	E1/E5a
BeiDou	B1-2 (B1/B2a)
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