

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

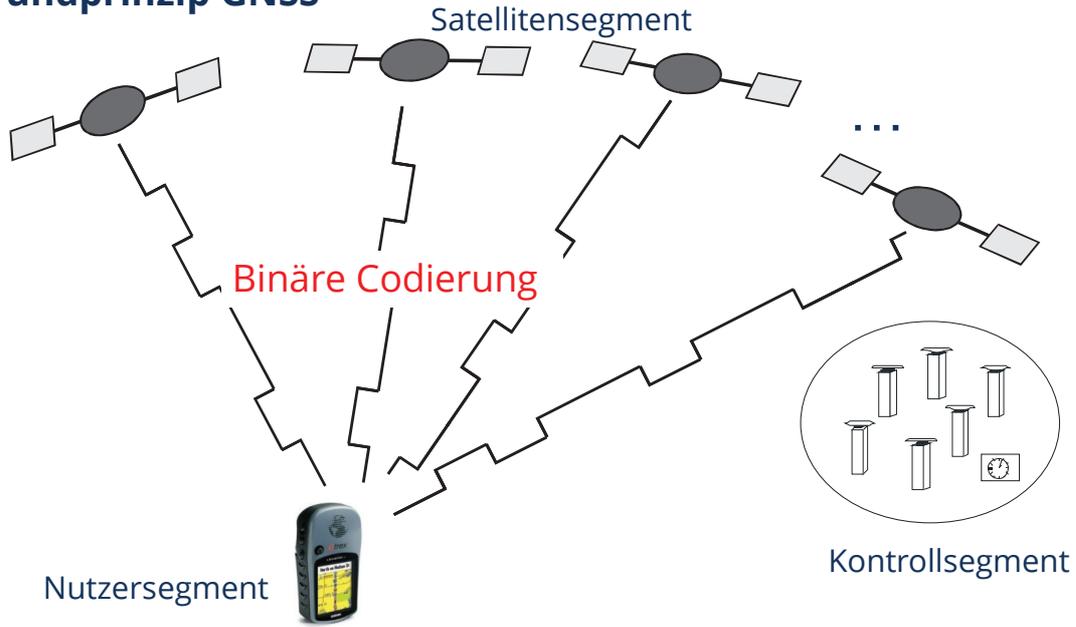
Lambert Wanninger

INTERGEO DIGITAL 2020, Oktober 2020

Überblick

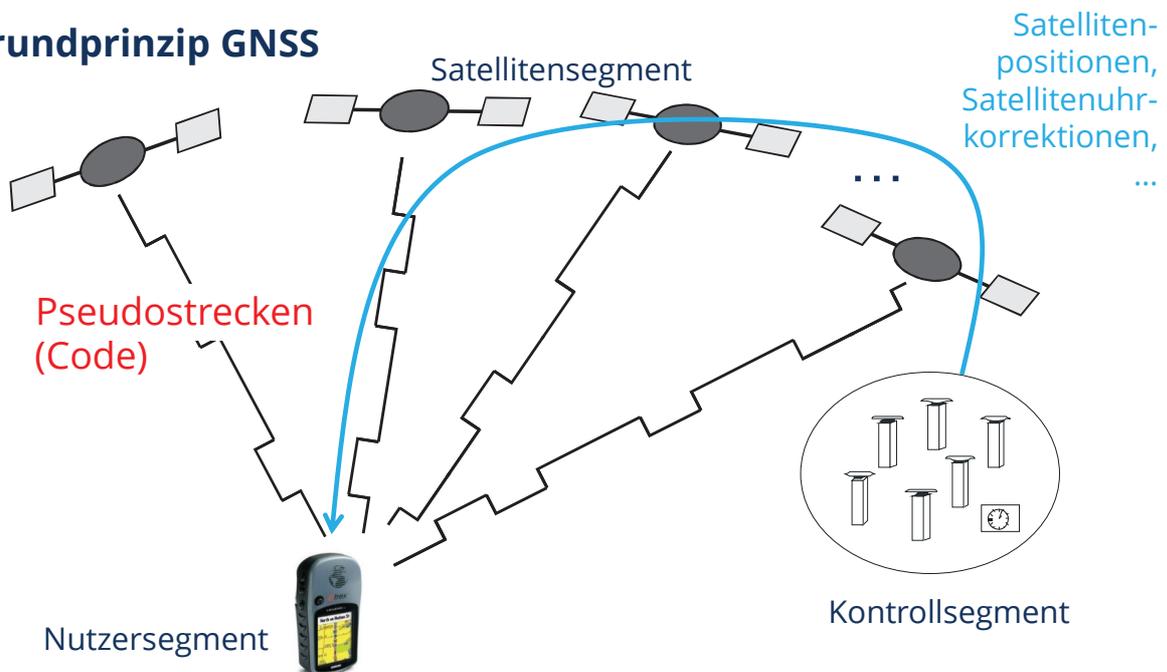
- 1 Grundprinzip GNSS
- 2 cm-genaues GNSS
- 3 PPP-Dienste, u.a. der GNSS-Betreiber
- 4 weitere Aspekte von PPP-RTK

Grundprinzip GNSS



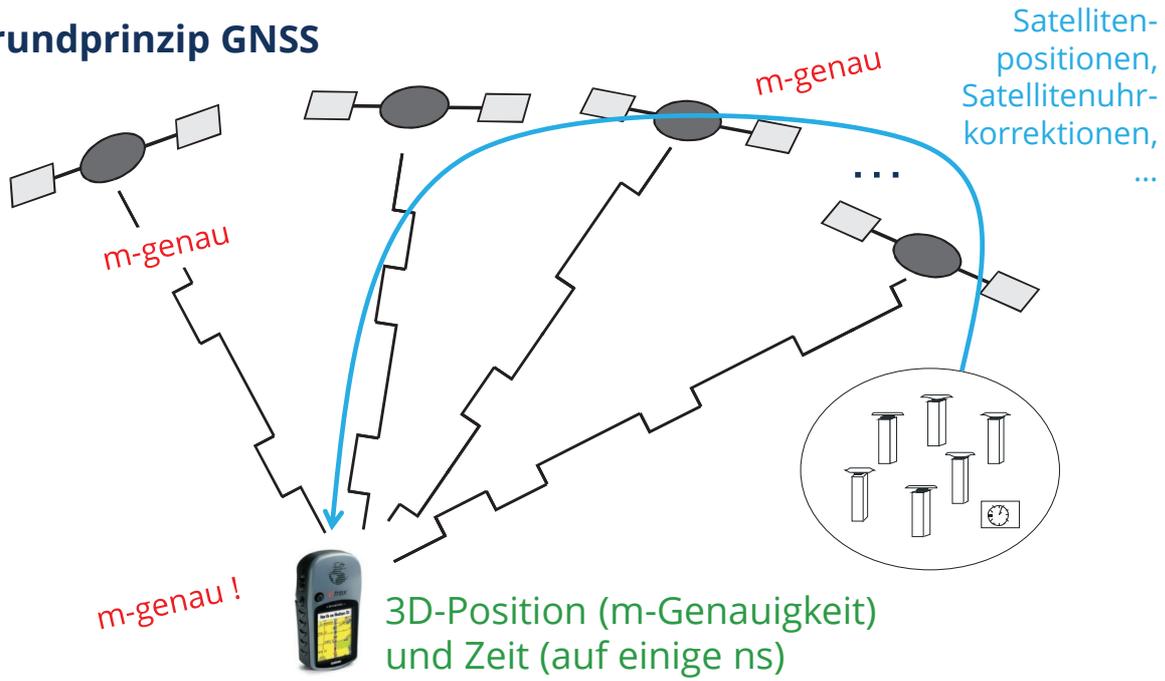
Lambert Wanninger, TU Dresden: GNSS im Umbruch – neue Möglichkeiten der zentimeter-genauen satellitengestützten Positionsbestimmung. INTERGEO DIGITAL 2020, Oktober 2020

Grundprinzip GNSS



Lambert Wanninger, TU Dresden: GNSS im Umbruch – neue Möglichkeiten der zentimeter-genauen satellitengestützten Positionsbestimmung. INTERGEO DIGITAL 2020, Oktober 2020

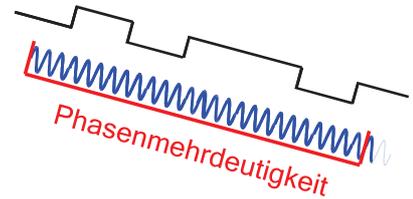
Grundprinzip GNSS



Codemessungen / Phasemessungen

Messgrößen

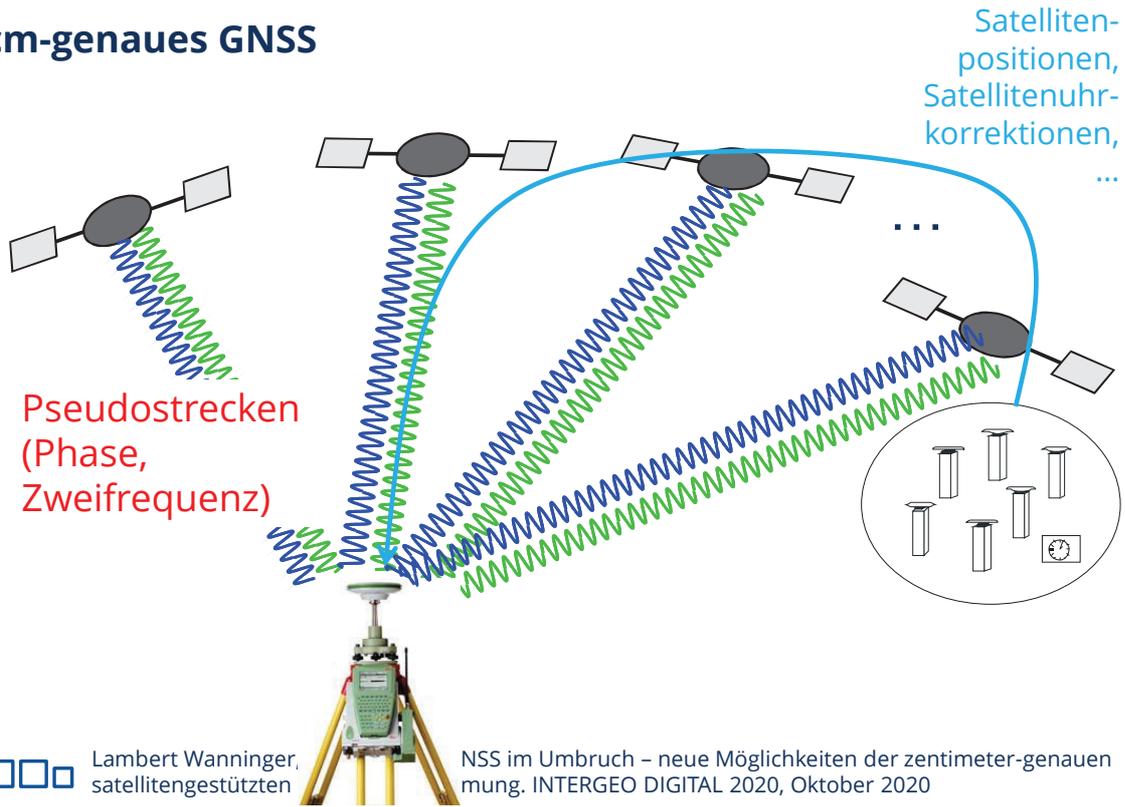
Code (Modulation): dm ... m
 Phase (Trägersignal): mm ... cm
 Doppler (Trägersignal)
 S/N



cm-Genauigkeit: nur mit Phase !

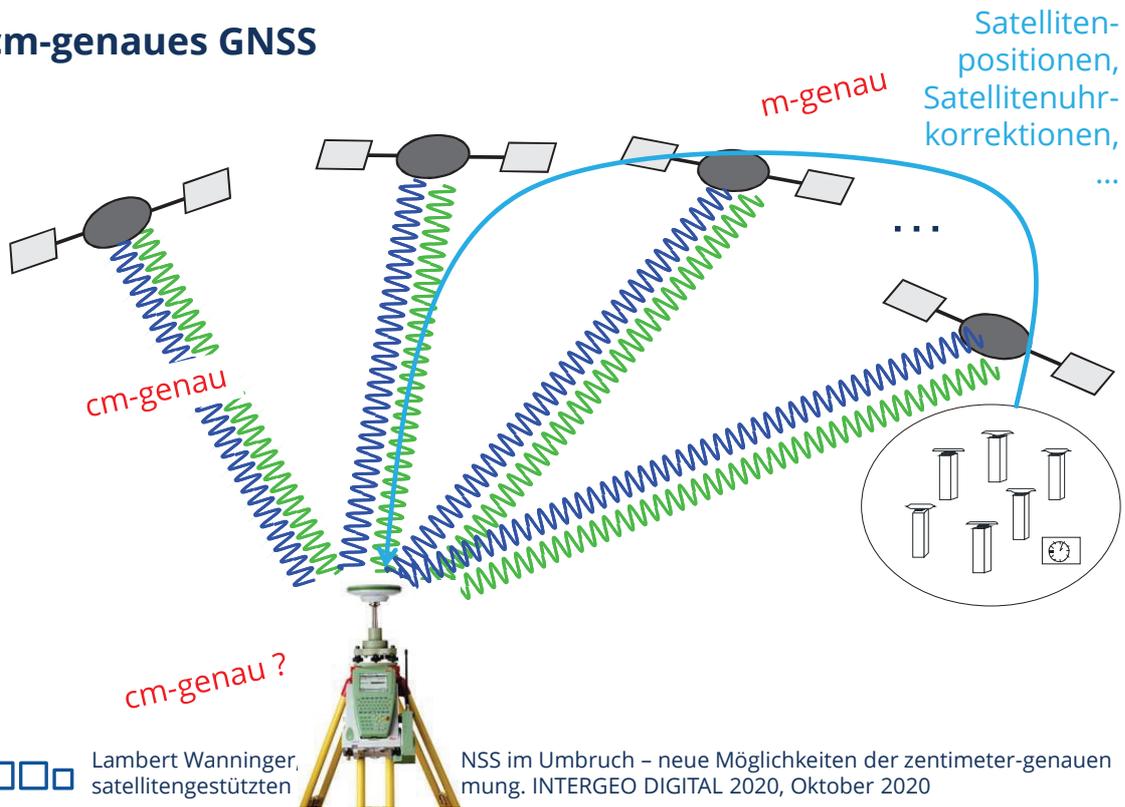


cm-genaues GNSS



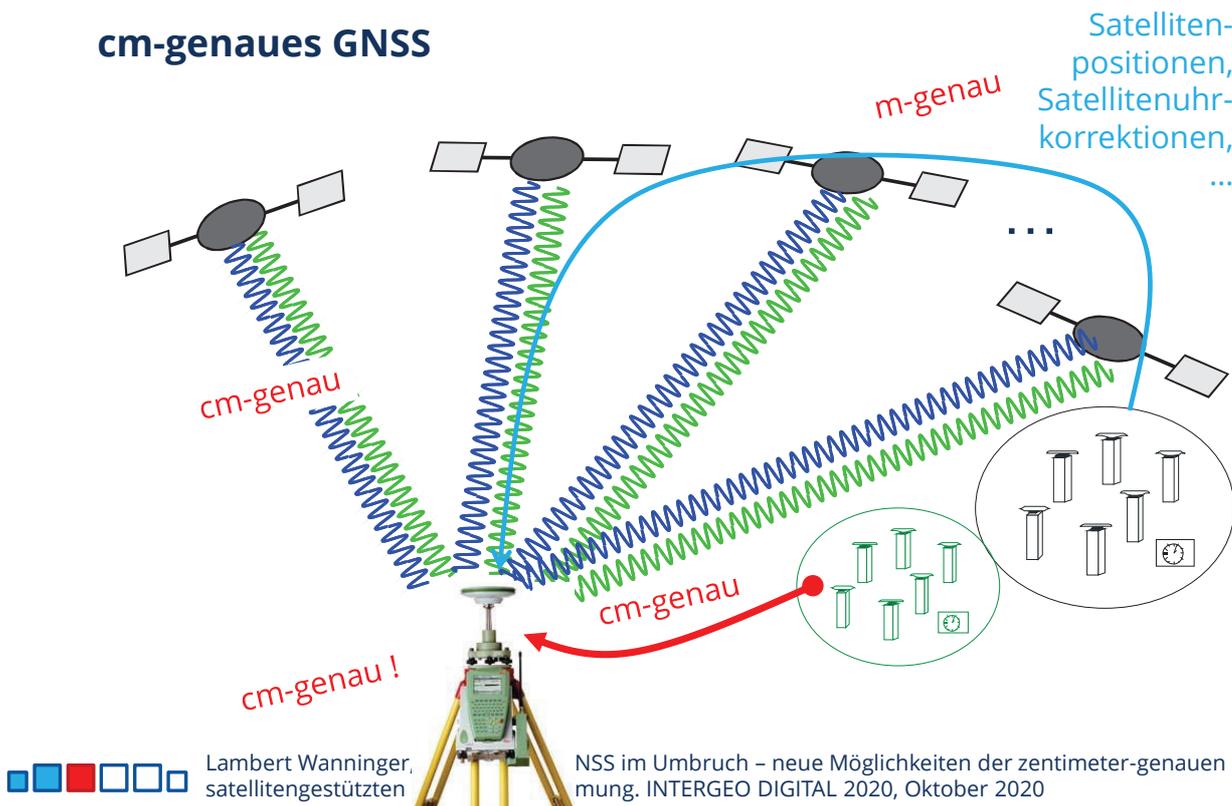
NSS im Umbruch – neue Möglichkeiten der zentimeter-genaue mung. INTERGEO DIGITAL 2020, Oktober 2020

cm-genaues GNSS



NSS im Umbruch – neue Möglichkeiten der zentimeter-genaue mung. INTERGEO DIGITAL 2020, Oktober 2020

cm-genaues GNSS



9

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

500-2000+ bps

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

500-2000+ bps

Code- + Phasen-Korrekturen
→ **RTK / Netz-RTK**



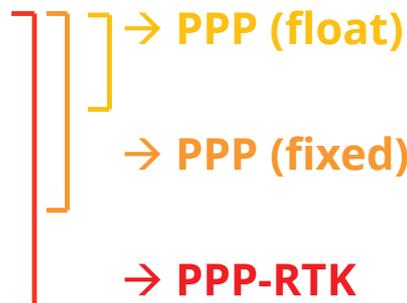
Notwendige Informationen für cm-Genauigkeit

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

500-2000+ bps



Verfahren der cm-genauen Positionsbestimmung

Real Time Kinematic (RTK), Netz-RTK

lokale Informationen → schnelle Mehrdeutigkeitsfestsetzung, schnell cm-Genauigkeit

Precise Point Positioning (PPP)

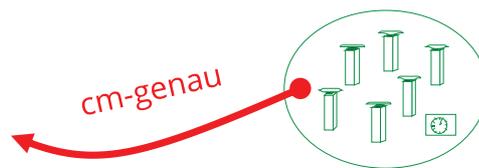
PPP (float): ohne Mehrdeutigkeitsfestsetzung → lange Konvergenzzeiten (Stunde)

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

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



Korrektionsdienste für cm-genaue Positionsbestimmung



Referenzstationen

- Einzelne → **RTK**
- Regionales Netz → **Netz-RTK (z.B. SAPOS)**
- Globales Netz → **PPP(float) / PPP(fixed)**
- Globales Netz mit regionaler Verdichtung → **PPP-RTK**

Kommunikationskanäle

- Mobiltelefon (... 4G/5G)
- andere terrestrische Funkverfahren (z.B. DAB+)
- Satellitengestützte Kommunikation



PPP-Dienste

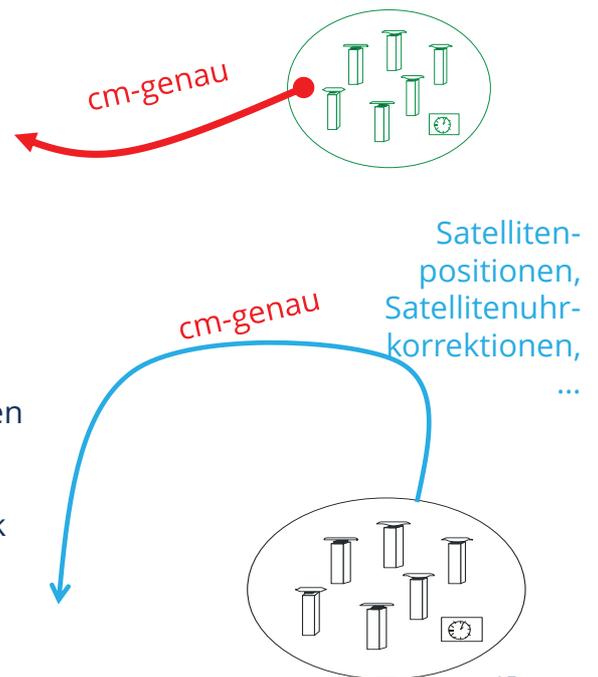
Kommerzielle / staatliche / ... Diensteanbieter

Fugro, GMV, Hemisphere, Hexagon, John Deere, Sapcorda, Topcon, Trimble, ...
CNES, IGS-RTS, JPL, ..., SAPOS, ...

GNSS-Betreiber

GNSS-Satelliten übermitteln notwendige Informationen

- QZSS
- BeiDou
- SBAS: Southern Positioning Augmentation Network
- Galileo



Lambert Wanninger, TU Dresden: GNSS im Umbruch – neue Möglichkeiten der zentimeter-genauen satellitengestützten Positionsbestimmung. INTERGEO DIGITAL 2020, Oktober 2020

15

GNSS mit Zusatzinformationen für phasenbasierte Pos.bestimmung

QZSS – Quasi-Zenit-Satelliten-System, Zusatzsystem zu GPS, 3+ Satelliten, immer min. einer $> 60^\circ$ Elevation über Japan

QZSS-CLAS – *Centimeter Level Augmentation Service*, seit 1.11.2018 in Betrieb

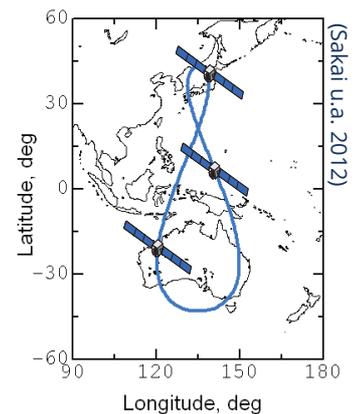
L6 - 1278,75 MHz, **1695 bps**

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

- Orbit-Korrekturen, Uhr-Korrekturen
- instrumentelle Verzögerungen
- ionosphärische/troposphärische Informationen für Japan

→ Genauigkeitsniveau der bestimmten Positionen: einige cm

PPP-RTK



Lambert Wanninger, TU Dresden: GNSS im Umbruch – neue Möglichkeiten der zentimeter-genauen satellitengestützten Positionsbestimmung. INTERGEO DIGITAL 2020, Oktober 2020

16

GNSS mit Zusatzinformationen für phasenbasierte Pos.bestimmung

BDS-3 PPP-Service

B2b – 1207,140 MHz, 3 geostationäre Satelliten, **912 bps**
 ... dm, China + Umgebung
 ab 2020 ?

PPP(float)
 PPP(fixed) ?

Southern Positioning Augmentation Network

(L1/L5 – (1575.42 /) 1176.45 MHz, geostationäre SBAS-Satellit/en, (2x) **212 bps**
 < 20 cm, Australien / Neuseeland
 ab 2025 ?

PPP(float)
 PPP(fixed) ?

Galileo High Accuracy Service (HAS)

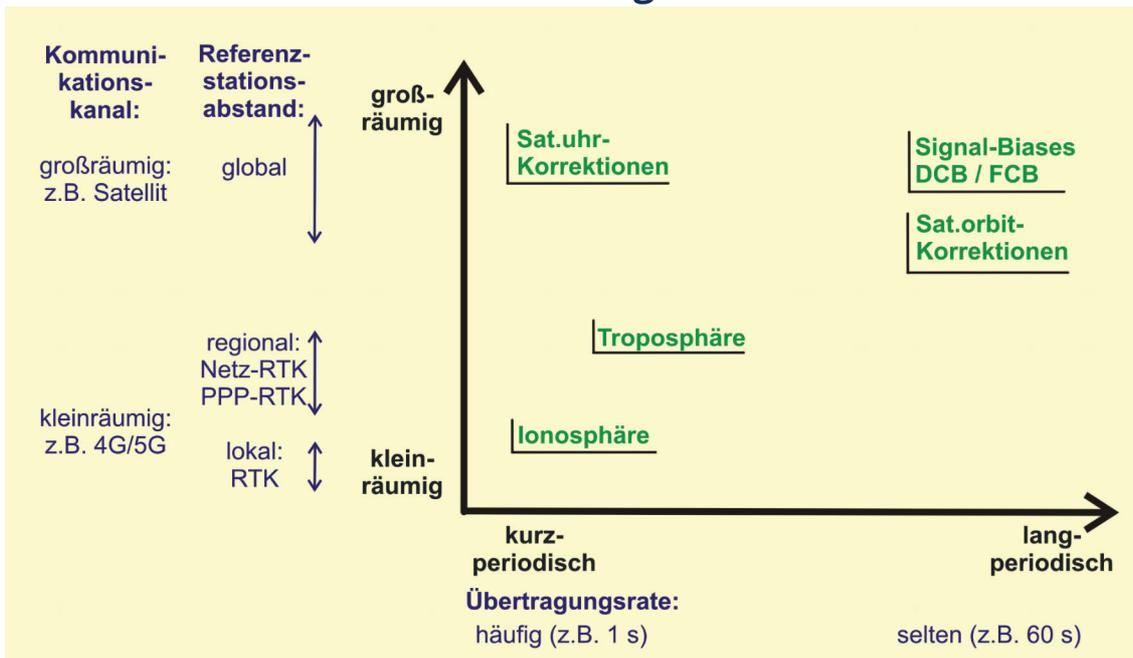
E6b – 1278,75 MHz, alle (max. 20 ?) Galileo-Satelliten, **448 bps pro Satellit → ~2000 bps**
 < 20 cm, Europa + global
 ab 2021 ?

PPP(float)
 PPP(fixed) ?



Lambert Wanninger, TU Dresden: GNSS im Umbruch – neue Möglichkeiten der zentimeter-genauen satellitengestützten Positionsbestimmung. INTERGEO DIGITAL 2020, Oktober 2020

Zeitliche und räumliche Auflösung der Korrekturen



Lambert Wanninger, TU Dresden: GNSS im Umbruch – neue Möglichkeiten der zentimeter-genauen satellitengestützten Positionsbestimmung. INTERGEO DIGITAL 2020, Oktober 2020

Qualitätsstufen der ionosphärischen Korrekturen

(1) kein Modell

(2) globales prädiiziertes Modell

→ z.B. GPS Klob, NeQuickG, BDGIM, ...

(3) (globales) Echtzeit-Modell des vertikalen Elektronengehalts → z.B. SBAS

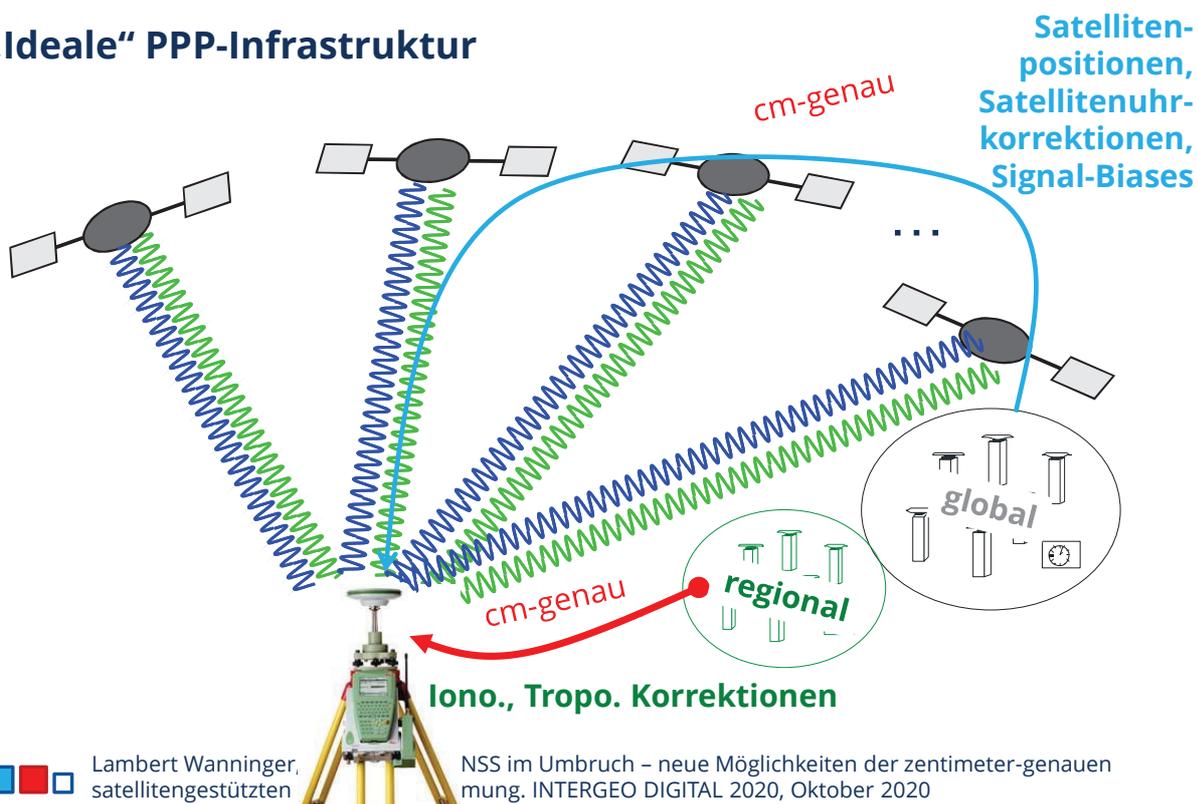
(4) (regionales) Echtzeit-Modell des vertikalen Elektronengehalts in hoher räumlicher Auflösung

für PPP-RTK geeignet:

(5) regionales Echtzeit-Modell des Schrägstrecken-Elektronengehalts für jeden Satelliten individuell → wie bei Netz-RTK



„Ideale“ PPP-Infrastruktur



Schlussfolgerung

Neue Möglichkeiten der zentimeter-genauen satellitengestützten Positionsbestimmung

aus GNSS-Betreiber-Sicht

- manche GNSS haben die Phasenbeobachtungen „entdeckt“
- neue Dienste für Genauigkeiten von wenigen cm - dm
→ Konkurrenz für viele heutige GNSS-Ergänzungsdienste

aus Sicht der Betreiber von Korrektdienstern

- PPP ermöglicht neue Flexibilität
- PPP-RTK verlangt regionale Referenzstationsnetze

aus Nutzer-Sicht

- PPP wird mehr Korrektdienste für cm-genaue Positionsbestimmung ermöglichen
- RTK / Netz-RTK haben den Genauigkeitsstandard für Echtzeit-Positionsbestimmung gesetzt, PPP-RTK wird maximal die selben Leistungen bieten können



Transkript

des Vortrags von Lambert Wanninger „GNSS im Umbruch – neue Möglichkeiten der zentimeter-genauen satellitengestützten Positionsbestimmung“ auf der INTERGEO DIGITAL 2020, Oktober 2020

<1>

Herzlich willkommen zu meinem Vortrag über neue Möglichkeiten der zentimeter-genauen GNSS-Positionsbestimmung.

Mein Name ist Lambert Wanninger und ich bin Professor am Geodätischen Institut der TU Dresden.

<2>

Ich werde den Vortrag mit einigen Grundlagen zu GNSS beginnen. Ich erkläre Ihnen ganz knapp, wie GNSS-Positionsbestimmung allgemein funktioniert und leite dann über zur cm-genauen Positionsbestimmung. Dabei werde ich die bisherigen präzisen Echtzeitverfahren, RTK – Real Time Kinematic und Netz-RTK, den neueren Verfahren des Precise Point Positionings (PPP) gegenüberstellen, um dann im weiteren Vortrag besonders auf die Entwicklung bei PPP einzugehen.

<3>

Bei der GNSS-Positionsbestimmung können die zu bewältigenden Aufgaben auf drei sogenannte Segmente aufgeteilt werden. Das Kontrollsegment, das Satellitensegment und das Nutzersegment. Eine besondere Rolle spielen dabei die hochgenauen Atomuhren, die im Kontrollsegment und in den Satelliten betrieben werden. Wir werden uns in dieser Betrachtung hier erstmal bei den von den Satelliten ausgestrahlten Signalen auf die binäre Signalmodulation, den sogenannten Code, beschränken.

<4>

Die Empfangseinrichtungen im Nutzersegment, nutzen die Signalcodierung, um Pseudostreckenmessungen durchzuführen und daraus die eigene Position zu berechnen. Die Satelliten stellen zum einen die Messsignale zur Verfügung und zum anderen liefern sie den Nutzern die notwendigen Zusatzinformationen, die man zur Positionsbestimmung braucht, insbesondere Satellitenpositionen und Satellitenuhrkorrekturen. Diese Zusatzinformationen werden im Kontrollsegment produziert, an die Satelliten übertragen und von diesen auf ihre Signale aufmoduliert und damit weiter an die Nutzer gegeben.

<5>

Schaut man sich die Genauigkeitsniveaus der einzelnen Informationen an, so ist alles gut aufeinander abgestimmt. Die Codemessungen erlauben eine Meter-genaue Bestimmung der Pseudostrecken, die sogenannten broadcast-Informationen über Satellitenpositionen und -uhren sind Meter-genau und so kann der Nutzer die eigene Position Meter-genau bestimmen.

<6>

Die GNSS-Empfänger liefern aber noch eine zweite Messgröße, die wesentlich genauer ist: mit der Trägerphase lassen sich Pseudostrecken zentimetergenau bestimmen. Um diese Genauigkeitssteigerung nutzen zu können, muss man mit deren Nachteil, der Phasenmehrdeutigkeit, umgehen. D.h. man muss die wahren Werte der ganzzahligen Mehrdeutigkeiten in einem recht aufwendigen Berechnungsverfahren bestimmen.

Nur mit den Phasenmessungen kann Zentimeter-Genauigkeit erreicht werden. Aber das volle Potential der Phasenmessungen kann nur genutzt werden, wenn die wahren ganzzahligen Werte der Mehrdeutigkeiten bestimmt worden sind.

<7>

Verwenden wir also jetzt die Phasenmessungen, bei der das Trägersignal ausgemessen wird. Für die höheren Genauigkeiten müssen wir jetzt (meistens) Signale auf zwei unterschiedlichen Frequenzen nutzen, um ionosphärische Einflüsse korrigieren zu können. Alle GNSS-Satelliten stellen Signale auf 2 oder sogar mehr Frequenzen zur Verfügung.

<8>

Wir wollen zentimetergenaue Positionen bestimmen. Die Signale können wir mit entsprechender Genauigkeit ausmessen. Aber die notwendigen Zusatzinformationen (Satellitenpositionen und -uhrkorrekturen) stehen uns nur mit Meter-Genauigkeit zur Verfügung. Dies wird also nicht funktionieren. Wir bräuchten diese Informationen mit Zentimeter-Genauigkeit.

<9>

Da uns die GNSS-Kontrollsegmente dies nicht liefern, ist man schon vor Jahrzehnten dazu übergegangen, GNSS-Referenzstationen auf bekannten Punkten zu betreiben, damit diese die notwendigen cm-genauen Informationen zur Verfügung stellen. Leider braucht man nun einen zweiten Kommunikationskanal. Es reicht nicht mehr aus, Informationen den Satellitensignalen zu entnehmen. Weitere Informationen, die über andere Kanäle verbreiten werden, müssen empfangbar sein und verarbeitet werden.

<10>

Welche Zusatzinformationen brauchen wir denn, um cm-genaue Positionen bestimmen zu können?

Die Satellitenpositionen und -uhrkorrekturen waren schon erwähnt worden. Dann haben wir instrumentelle Verzögerungen der Code- und Phasensignale in den Satelliten, für die Korrekturen vorliegen müssen, u.a. damit die Bestimmung der ganzzahligen Phasenmehrdeutigkeiten gelingen kann. Diesen Verzögerungen kommt in den letzten Jahren eine immer größere Bedeutung zu, da die Anzahl der von jedem Satelliten ausgesendeten Signale stark zugenommen hat.

Zuletzt sind auch atmosphärische Informationen wichtig. Zwar können wir ionosphärische Einflüsse durch Zweifrequenzmessungen korrigieren, aber die Mehrdeutigkeitsfestsetzung profitiert sehr stark von guten ionosphärischen Korrekturen. Auch die Korrekturen für troposphärisch bedingte Verzögerungen sind wichtig für die zuverlässige und schnelle Mehrdeutigkeitsfestsetzung und auch für eine verbesserte Höhenkomponente.

<11>

Nun, in der Vergangenheit haben wir diese Einflüsse nicht alle voneinander getrennt betrachtet. Bei Real Time Kinematic (RTK) arbeiten wir mit Beobachtungskorrekturen, die alle diese Einflüsse summiert enthalten. Bei Netz-RTK werden diese Einflüsse zumindest zum Teil voneinander separiert, aber der Nutzer erhält meist, für ihn individuell aufbereitet, wieder einfach die Summe dieser Einflüsse.

<12>

Beim Precise Point Positioning ist dies nun anders. Die Einflüsse werden voneinander getrennt und in dieser Form zum Nutzer übertragen. Auf der Nutzerseite werden sie dann einzeln, oder ortsabhängig aufsummiert, als Korrekturen verwendet.

Drei Arten von PPP müssen wir dabei betrachten: PPP (float), PPP (fixed) und PPP-RTK. Sie unterscheiden sich einerseits in der Menge an Informationen, die zur Verfügung gestellt werden muss. In jeder höheren Stufe von PPP sind mehr Informationen notwendig.

<13>

Und zum anderen unterscheiden sie sich in ihren Eigenschaften:

Bei PPP (float) werden die Mehrdeutigkeiten zwar bestimmt aber nicht auf ganze Zahlen festgesetzt. Die Folge sind sehr lange Konvergenzzeiten bis hohe Positionsgenauigkeiten erzielt werden können.

Bei PPP (fixed) werden die Mehrdeutigkeiten auf ganze Zahlen festgesetzt, was nur gelingt, wenn auch Fractional Cycle Biases (die Signal-Biases der Phasen) mitgeliefert wurden. Die Dauer, bis eine Festsetzung der Mehrdeutigkeiten gelingt, kann einige Minuten und länger betragen.

Bei PPP-RTK werden die atmosphärischen Informationen genutzt, um die Mehrdeutigkeitsfestsetzung zu beschleunigen. Im besten Fall geht es so schnell, wie wir es von RTK gewohnt sind.

<14>

Je nach angewandter Technik brauchen Korrektionsdienste unterschiedlich viele Referenzstationen und unterschiedlich dichte Netze von Referenzstationen. Für RTK kommt man mit einer lokalen Referenzstation aus. Für Netz-RTK braucht man ein regionales Netz von Referenzstationen. Für PPP ist ein globales Netz von Stationen notwendig. Und für PPP-RTK dazu noch eine regionale Verdichtung.

Die Kommunikation erfolgt regional über Mobiltelefon oder durch andere terrestrische Funkverfahren. Großflächig können die notwendigen Informationen auch gut über Satellit verteilt werden.

<15>

In den letzten Jahren sind viele PPP-Dienste kommerzieller Anbieter entstanden. Oder man ist dabei, bestehende Netz-RTK-Dienste durch PPP-Dienste zu ergänzen, eigentlich aber mittelfristig zu ersetzen, siehe SAPOS.

Die interessanteste Entwicklung der letzten Jahre ist aber, dass auch GNSS-Betreiber an PPP Gefallen gefunden haben. Die Datenübertragung erfolgt hier großflächig durch die GNSS-Satelliten. Es wurden, und werden in Zukunft, neue Dienste angeboten, mit denen cm- oder zumindest dm-genaue Positionsbestimmungen ohne weitere Korrektionsdienste möglich sind.

<16>

Der erste solche Dienst ist QZSS-CLAS (Centimeter level augmentation service) des japanischen QZSS Systems. QZSS ist ein Zusatzsystem zu GPS und arbeitet zurzeit u.a. mit 3 Satelliten auf leicht-elliptischen inklinierten geosynchronen Bahnen. Der CLAS-Dienst ist seit Ende 2018 in Betrieb und arbeitet einigermaßen zuverlässig. Die ausgesendeten PPP-Korrekturen enthalten auch atmosphärische Korrekturmodelle, so dass es sich um PPP-RTK handelt und Positionen in Echtzeit auf dem Niveau einiger cm bestimmt werden können.

<17>

Die weiteren drei Dienste befinden sich im Aufbau bzw. in ihrer Planungsphase. Alle diese Dienste werden keine kleinräumigen atmosphärischen Korrekturmodelle aussenden, sondern die Informationen, die man für PPP (float) braucht, vielleicht auch die für PPP (fixed). Der PPP-Dienst des chinesischen BDS-Systems und der geplante Dienst für Australien/Neuseeland werden ihre Informationen über geostationäre Satelliten zur Verfügung stellen. Deren Signale sind bekanntermaßen in mittleren und hohen Breiten nur erschwert zu empfangen.

Galileo geht da mit seinem im Aufbau befindlichen High Accuracy Service (HAS) einen anderen und auch anspruchsvolleren Weg. Die für PPP notwendigen Informationen werden über die Galileo-Satelliten selbst ausgestrahlt. Man versucht hier genügend Redundanzen einzubauen, damit ein sicherer Empfang gewährleistet ist. Es wird interessant werden zu erleben, ob nicht nur die geplanten Genauigkeiten erzielt werden können, sondern HAS auch in Bezug auf Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit einen guten Service bieten kann.

<18>

Schauen wir uns noch ein paar Aspekte von PPP-RTK näher an. Die Einflussfaktoren und damit notwendigen Korrekturen unterscheiden sich deutlich in ihrer zeitlichen und räumlichen Auflösung. Das Diagramm zeigt eine Zuordnung der einzelnen Einflussfaktoren zu Bereichen der zeitlichen Auflösung (horizontale Achse) und der räumlichen Auflösung (vertikale Achse). Satellitenuhrkorrekturen und atmosphärische Einflüsse sind eher kurzperiodisch und müssen deswegen häufiger aufdatiert, und auch übertragen werden. Satellitenorbitkorrekturen und Signal-Biases haben langperiodischen Charakter und können deswegen seltener übertragen werden.

Alle die Einflüsse, die direkt mit den Satelliten zusammenhängen wirken großräumig. Sie können gut aus globalen Netzen von Referenzstationen bestimmt und können gut von Satelliten großräumig ausgestrahlt werden. Die atmosphärischen Einflüsse haben starke kleinräumige Anteile, die regionale oder sogar lokale Referenzstationsnetze notwendig machen. Eine regionale Verbreitung gelingt gut mit Mobiltelefonetechnik.

<19>

Eine wichtige Rolle bei PPP-RTK spielt die Qualität der ionosphärischen Korrekturen: welche ionosphärischen Modelltypen ermöglichen eine hohe zeitliche und räumliche Auflösung? Wie aktuell sind die ionosphärischen Korrekturen, wenn sie beim Nutzer ankommen? Die Bandbreite, der bei GNSS eingesetzten ionosphärischen Modelle, ist groß.

Nummer 1: eigentlich braucht man ja gar kein Modell, wenn man Zweifrequenz-Korrekturen verwendet. Aber Sie erinnern sich: dies gilt nur für die Positionslösung selbst, nicht für die schnelle Mehrdeutigkeitsfestsetzung.

Nummer 2: Einfache Prädiktionsmodelle stehen für Einfrequenz-Navigationsnutzer zur Verfügung.

Nummer 3+4: Diese kann man verbessern, wenn auf Echtzeit-Modelle übergegangen wird, und dann noch auf eine höhere räumliche Auflösung.

Aber eigentlich ist nur der Modelltyp Nummer 5 für PPP-RTK geeignet: satellitenindividuelle Echtzeitkorrekturen aus einem regionalen Referenzstationsnetz. Im besten Fall entspricht dies genau den Modellen, die bei vielen Netz-RTK-Realisierungen verwendet werden. Bei begrenztem Datenübertragungsvolumen werden hier aber gerne Abstriche gemacht, wodurch die Qualität von PPP-RTK hinter der von Netz-RTK zurückfallen kann.

<20>

Wie sähe eine „ideale“ PPP-Infrastruktur aus? Ideal aus Nutzersicht wäre, wenn jeder GNSS-Satellit seine Zentimeter-genauen Orbits, Uhrkorrekturen und auch die Code- und Phasensignalverzögerungen selbst aussendet. Damit könnte global PPP (fixed) angewendet werden.

Dies würde aber eine kontinuierliche Kommunikationsverbindung vom Kontrollsegment zu allen Satelliten notwendig machen und ist deswegen sehr aufwändig, insbesondere, wenn man dies auf eine hohe Verfügbarkeit auslegen möchte.

Wenn dieser Teil dann existieren würde, dann bräuchte man für PPP-RTK immer noch regionale Verdichtungen, die aber nur noch für die atmosphärischen Korrekturen in hoher zeitlicher und räumlicher Auflösung zuständig wären. Aufgrund der regionalen Gültigkeit der atmosphärischen Korrekturen, würde eine regionale Kommunikation (Mobiltelefon oder andere terrestrische Funklösung) zur Datenübertragung geeignet sein.

<21>

Die größte Neuerung bei GNSS ist, dass es schon jetzt und noch viel mehr in Zukunft, einzelne Satellitensysteme geben wird, die PPP-Korrekturen direkt von den GNSS-Satelliten übertragen lassen. Dies ermöglicht cm-genaue, oder zumindest dm-genaue, Positionsbestimmung ohne weitere Zusatzdienste.

Damit wird man aber nicht die höchste Qualitätsstufe, das PPP-RTK flächendeckend erreichen. Dafür werden weiterhin Korrektionsdienste notwendig sein, die regionale Referenzstationsnetze betreiben.

Die PPP-Technik bringt dem Nutzer schon heute, und noch viel mehr in Zukunft, mehr Korrektionsdienste, die cm-genaue Positionsbestimmung ermöglichen. Für die Nutzer, die heute Netz-RTK-Dienste zur Verfügung haben, wird sich auch in Zukunft nichts Entscheidendes ändern. Sie müssen aber aufpassen, wenn ihnen als Ersatz für Netz-RTK PPP-RTK-Dienste angeboten werden, die z.T. nicht dieselbe Leistungsfähigkeit haben.

<22>

Ich bedanke mich für Ihre Aufmerksamkeit.