

HYDROGRAPHISCHE NACHRICHTEN

Journal of Applied Hydrography

06/2023

HN 125

3D-Positionierung
auf See

60km



»Konvergenzzeiten treten idealerweise nur bei der Fahrt ins Einsatzgebiet auf«

Ein Interview mit LAMBERT WANNINGER

Lambert Wanninger ist Geodät und Professor am Geodätischen Institut der Technischen Universität Dresden. Seit den 1990er-Jahren liegt sein Forschungsschwerpunkt auf der präzisen GNSS-Positionierung. Im Interview mit den *Hydrographischen Nachrichten* erklärt er, welche GNSS-Techniken im Küstenbereich für die hochgenaue Positionierung eingesetzt werden können und was auf hoher See an Genauigkeiten zu erwarten ist. Außerdem denkt er über den Einsatz von Smartphones und noch kleineren Geräten für die Positionsbestimmung nach.

GNSS | RTK | Netz-RTK | PPP | PPP-RTK | Konvergenzzeit | LEO-GNSS-Konstellation | Smartphone
GNSS | RTK | network RTK | PPP | PPP-RTK | convergence time | LEO GNSS constellation | smartphone

Lambert Wanninger is a geodesist and professor at the Geodetic Institute of the Technical University of Dresden. Since the 1990s, his research has focused on precise GNSS positioning. In this interview with *Hydrographische Nachrichten – Journal of Applied Hydrography*, he explains which GNSS techniques can be used in coastal areas for high-precision positioning and what accuracies can be expected on the high seas. He also considers the use of smartphones and even smaller devices for positioning.

Interviewer

Das Interview mit Prof. Lambert Wanninger haben Lars Schiller and Patrick Westfeld im Mai per E-Mail geführt.

Textbearbeitung: Lars Schiller

Hydrographen wissen, wie man die Gewässertiefe misst. Doch zu wissen, wie tief das Wasser an einem bestimmten Ort ist, genügt nicht, solange die Koordinaten des Orts nicht bekannt sind. Diese Koordinaten müssen gleichzeitig erfasst werden. Wie stellt man das auf einem fahrenden Schiff an?

Im Satellitenzeitalter, im Zeitalter von GNSS, ist dies einfacher denn je und das mit einer technischen Lösung, die global und ununterbrochen funktioniert. Der Vorteil von Schiffen auf dem offenen Meer ist, dass die GNSS-Antennen so angebracht werden können, dass Messungen normalerweise ohne Signalabschattungen gelingen. Im Binnenbereich, teilweise auch in Hafenbereichen, muss man dagegen mit Signalunterbrechungen durch Bauwerke (zum Beispiel bei Brücken) und durch Uferbewuchs rechnen, sodass GNSS nicht mehr vollkommen unterbrechungsfrei zur Verfügung steht. Aber ansonsten ist dies doch eine ideale Situation: die gesamte, notwendige GNSS-Infrastruktur steht staatlicherseits finanziert und damit für den einzelnen Nutzer kostenlos zur Verfügung und man muss sich nicht weiter drum kümmern. Man muss sich nur einen geeigneten GNSS-Empfänger anschaffen, wobei es da einen funktionierenden Markt mit vielen Anbietern gibt.

Dies alles gilt, solange die Standardgenauigkeit von ein paar Metern ausreicht. Bei höheren Genauigkeitsansprüchen kann heutzutage zum Teil global, zum Teil auch nur regional auf geeignete Zusatzdienste zurückgegriffen werden. Geht es

um Dezimeter- oder sogar Zentimetergenauigkeit, dann sind diese Dienste aber oft kostenpflichtig und setzen einen geeigneten Kommunikationskanal für diese Zusatzinformationen und die entsprechende Auswertesoftware voraus.

So ein Schiff bewegt sich nicht nur linear in Fahrtrichtung vorwärts, sondern es rollt und stampft. Dadurch verändert sich die Position der GNSS-Antenne gegenüber der Position des Echolots. Was muss alles beachtet werden, um dem Echolot die richtigen Koordinaten zuzuordnen?

Es ergibt sich hier das übliche Problem zweier zu einem Gesamtsystem zu vereinigenden Messsensoren, die unterschiedliche Referenzpunkte haben und vielleicht auch zeitlich nicht synchronisiert sind. Erschwerend kommt hinzu, dass der Raumvektor vom Referenzpunkt der GNSS-Antennen zum Referenzpunkt des Echolotes zwar im Schiffskoordinatensystem recht stabil ist, aber dieses sich gegenüber dem globalen kartesischen System ständig verdreht aufgrund des Rollens, Stampfens und Gierens des Schiffes. Diese Lagewinkel müssen also erfasst werden, was mit inertialen Messsystemen gelingt und/oder mit GNSS-Multi-Antennen-Systemen. Bei der flugzeuggestützten Laserbathymetrie treten entsprechende Probleme auf.

Die Genauigkeit einer GNSS-Messung liegt bei vielleicht einem Meter. Wenn es genauer werden soll, braucht es Korrekturdaten von einer Referenzstation. Doch was geschieht auf dem Meer, wo es keine Referenzstationen gibt? Wie nah muss die

nächste Referenzstation sein, um zu brauchbaren Koordinaten zu kommen?

GNSS-Code-Messungen haben im günstigsten Fall Genauigkeiten auf dem Meterniveau. Die Zusatzinformationen, die notwendig sind, um aus Code-Messungen Positionen zu rechnen, nämlich die Ephemeriden (Satellitenorbit- und -uhrinformationen) werden durch die Satelliten selbst zur Verfügung gestellt und weisen auch Genauigkeiten auf dem Meterniveau auf. Damit werden dann Positionsgenauigkeiten auf dem Meterniveau erreicht.

Für deutlich höhere Genauigkeiten muss eine ganz andere Art von GNSS-Messungen und Auswertungen durchgeführt werden. Es muss auf die Phasenbeobachtungen übergegangen werden und es sind genauere und zum Teil weitere Zusatzinformationen notwendig, die aus den Beobachtungen von Referenzstationen gewonnen werden. Klassischerweise geschieht dies mit Verfahren der relativen Positionsbestimmung, zum Beispiel mit dem Verfahren, welches als Real-Time Kinematic (RTK) bekannt ist und eine zentimetergenaue Positionsbestimmung nach sehr kurzen Konvergenzzeiten von normalerweise kürzer als ein bis zwei Minuten ermöglicht. Dies funktioniert aber zuverlässig nur bis zu einigen Kilometern Abstand zur Referenzstation.

Und wenn man nun ein ganzes Netz an Referenzstationen zusammenschaltet?

Dann können diese Entfernungen deutlich vergrößert werden. Voraussetzung ist, dass das Netz der Referenzstationen die Nutzerstation umgibt. Die Referenzstationsbeobachtungen werden vorausgewertet und Korrekturen, insbesondere für Refraktionseinflüsse, werden flächenhaft interpoliert (Netz-RTK). Dies führt dann zu sogenannten Virtuellen Referenzstationen, die auf der Basis der Korrekturmodelle für die jeweilige Nutzerposition speziell gerechnet werden.

Aber auf hoher See funktioniert das dann auch nicht, weil der Abstand zu den Referenzstationen an Land dann doch schnell dafür zu groß ist.

Hier kommt jetzt Precise Point Positioning ins Spiel. Welchen Vorteil bringt PPP?

Das klassische PPP beschränkt sich auf die Ephemeriden als Zusatzinformationen. Hier werden nun aber die Satellitenorbit- und -uhrinformationen im besten Fall mit Zentimetergenauigkeit zur Verfügung gestellt. Verwendet der Nutzer die Phasenbeobachtungen eines Mehrfrequenzempfängers, so sind Positionen mit wenigen Zentimetern Genauigkeit erzielbar, aber erst nach einer Konvergenzzeit von vielen oder sehr vielen Minuten. Für viele hydrographische Anwendungen auf See ist dies aber gut einsetzbar. Die Konvergenzzeiten treten idealerweise nur einmal am Anfang auf – bei der Fahrt ins Einsatzgebiet. Können Signalunterbrechungen vollständig vermieden werden,



Professor Lambert Wanninger

dann geht das hohe Genauigkeitsniveau auch nicht wieder verloren.

Alle Verfeinerungen von PPP haben immer das Ziel, die Konvergenzzeiten zu verringern. Dafür werden weitere Zusatzinformationen benötigt.

Das Beste aus beiden Welten – sehen Sie Potenzial in der Kombination von Netz-RTK und PPP?

In seiner höchsten Verfeinerungsstufe wird aus PPP dann PPP-RTK. Es hat dieselben Eigenschaften wie Netz-RTK. Voraussetzung ist ein relativ dichtes Netz von Referenzstationen, genau wie bei Netz-RTK. Und stehen dann alle diese Informationen zur Verfügung, dann werden auch die Konvergenzzeiten so kurz wie bei RTK oder Netz-RTK. Netz-RTK und PPP-RTK unterscheiden sich in der Art der Parametrisierung der Korrektionsmodelle. PPP-RTK

»PPP-RTK wird auf hoher See nicht funktionieren. Aber im Binnenbereich und im Küstenbereich wird sich die Technik in den nächsten Jahren sicherlich ausbreiten«

Professor Lambert Wanninger

bietet da viele Vorteile bei der Datenkomprimierung und am Ende damit bei deren Aussendung. Auf Nutzerseite werden diese Daten normalerweise in die Daten einer Virtuellen Referenzstation gewandelt und diese dann für RTK verwendet.

PPP-RTK wird in dieser Form auf hoher See nicht funktionieren, da der Abstand zu Referenzstationen an Land dann wieder zu groß sein wird. Aber im Binnenbereich und zum Teil im Küstenbereich ist dies die Technik, die sich in den nächsten Jahren sicherlich ausbreiten wird. Nutzer werden aber nicht wirklich unterscheiden können, ob sie nun gerade Netz-RTK oder PPP-RTK verwenden.

Bei der hydrographischen Tiefenmessung kommt es darauf an, zu wissen, welche Lage das Echolot während der Messung hatte. Da lassen sich auch im Post-Processing noch Korrekturen anbringen. Wenn es aber darum geht, Objekte an einer vorgegebenen Stelle zu positionieren, zum Beispiel beim Bau von Offshore-Windkraftanlagen, dann wird die hochgenaue Position sofort benötigt. Welche Methoden bieten sich dann an?

Alle erwähnten Techniken (GNSS an sich oder mit Zusatzdiensten: RTK, Netz-RTK, PPP, PPP-RTK) sind echtzeitfähige Techniken, die dann natürlich auch im Post-Processing funktionieren. Bei Echtzeitanwendungen sind die Hürden für eine zuverlässige Datenverarbeitung aber höher. Beim Post-Processing besteht ein gewisses Potenzial, bessere Ergebnisse zu erzielen.

Heutzutage gibt es nicht nur GPS-Satelliten, sondern auch Satelliten von GLONASS, BeiDou und Galileo. Wie gelingt es, die Signale verschiedener GNSS-Konstellationen gemeinsam auszuwerten?

In der Frühphase der GNSS, als es noch nicht mal diesen Begriff gab, sondern nur GPS genutzt wur-

de, da war die GNSS-Welt noch recht übersichtlich mit zwei Signalfrequenzen und gerade mal so vielen Satelliten, dass eine kontinuierliche Positionsbestimmung unter guten Empfangsbedingungen möglich war. Heute sind wir bei vier vollständigen Systemen angelangt, die von zivilen Anwendern nie einzeln, sondern immer nur gemeinsam genutzt werden. Diese haben schon einzeln inzwischen mehr als zwei Signalfrequenzen und wenn die Signale und Frequenzen aller vier Systeme betrachtet werden, dann fällt es schwer bei allen Nummern und Bezeichnungen den Überblick zu behalten. Alle vier Systeme werden von ihren Betreibern sorgsam unabhängig von den anderen Systemen gehalten. So definiert jedes System sein eigenes geodätisches Referenzsystem, seine eigene Systemzeit. Und bei den Beobachtungsstationen in den Kontrollsegmenten gibt es offiziell keine Überschneidungen.

Und doch sind die Unterschiede zwischen den vier GNSS gering: alle nutzen dasselbe Messprinzip, ähnliche Signalfrequenzen und -codierungen, ähnliche Satellitenorbits, sehr ähnliche Referenzsysteme und so weiter. Im Endeffekt ist es nicht besonders viel komplexer, die Signale und Beobachtungen von allen vier Systemen auszuwerten als nur die von GPS.

Dabei spielen sicher internationale Standards eine wichtige Rolle. Wie und wo wird das geregelt? Und klappt das immer reibungslos?

Im Bereich GNSS sind Standards meist Formatbeschreibungen für den Austausch von Daten, also zum Beispiel das, was mit den Abkürzungen RTCM, RINEX oder NMEA beschrieben wird. Sie müssen veröffentlicht und von vielen Beteiligten, also Firmen oder Institutionen, die Produkte im Bereich GNSS herstellen oder Dienste anbieten, akzeptiert sein, damit sie ihren Zweck erfüllen. Bei GNSS betreffen sie insbesondere die Beobachtungsdaten der Empfänger und alle Produkte, die aus Referenzstationsbeobachtungen berechnet werden, und am Ende dann auch die berechneten Positionen. Idealerweise sind möglichst viele Beteiligte am Standardisierungsprozess beteiligt, sodass das Ergebnis weite Akzeptanz findet. Viele Beteiligte bedeutet aber natürlich auch, dass der Standardisierungsprozess zeitintensiv und für alle nervenaufreibend ist. Und die Ergebnisse stellen auch nicht immer alle zufrieden.

Deckt ein Beteiligter alle Stufen der GNSS-Positionsbestimmung mit seinen Produkten ab, so ist er nicht mehr unbedingt auf veröffentlichte Standards angewiesen. Er kann seine eigenen hausinternen, nicht veröffentlichten Datenformate verwenden, um die Daten zu senden, zu empfangen oder zu speichern. Dies bietet natürlich eine wesentlich größere Flexibilität bei notwendigen Erweiterungen oder Veränderungen der Formate. Hat ein solcher Beteiligter genügend Marktmacht,

so kommt er vielleicht auch auf die Idee, den Standardisierungsprozess zu boykottieren, also zu versuchen, die Weiterentwicklung der offenen Standards zu verzögern oder sogar zu verhindern. Da kommt es nun auf die anderen Beteiligten an, ob sie dagegen gemeinsam vorgehen oder unterschiedliche Interessen verfolgen.

Andere beteiligte Firmen, die nur einzelne Stufen der GNSS-Positionsbestimmung abdecken, sind auf diese Standards angewiesen, damit ihre Produkte in der Kette von Messungen–Korrekturen–Positionen verwendet werden können.

GNSS-Systeme werden immer kleiner, leistungsstärker und vor allem auch preiswerter. Können wir uns eines Tages hochgenau und in Echtzeit mit dem Smartphone positionieren?

In der ganz frühen Phase von GPS, also vor etwa 40 Jahren, gab es die Idee, dass es irgendwann sehr preiswerte Geräte in der Größe von Armbanduhren geben würde, die auf der Basis von Satellitensignalen, die eigene Position auf Millimeter oder zumindest Zentimeter bestimmen könnten. Damals dachte man bei solchen Geräten natürlich nicht an Smartphones, die in Ihrer Kombination von Kommunikation, Kamera, großer Rechenleistung,

GNSS-Empfänger und vielen weitere Sensoren nicht vorstellbar waren.

Die heutigen Smartphones bieten gute Voraussetzungen für hochgenaue GNSS-Positionsbestimmung. Alle haben einen GNSS-Chip integriert, manche von diesen können sogar Zwei-Frequenz-Signale verarbeiten und liefern auch Phasenbeobachtungen, die Voraussetzungen für hohe Genauigkeiten sind. Und dann ist es natürlich faszinierend, wie weit sie verbreitet sind.

Es gibt in einigen Smartphones GNSS-Chips, die für eine zentimetergenaue Positionsbestimmung geeignet wären. Aber die verbauten GNSS-Antennen haben nicht die entsprechenden Eigenschaften. Und es gibt bisher keine Antennen mit den notwendigen Eigenschaften, die in die heutigen rechteckigen, superflachen Smartphones passen würden.

Müsste man also mit zusätzlichen, externen Antennen arbeiten?

Aber dann bräuchten Smartphones einen geeigneten Antennenanschluss. Und dann wären sie nicht mehr die massenhaft verbreiteten Smartphones, sondern Spezialgeräte. Wenn sie mit besseren Antennen ausgerüstet würden und sie



OBTAIN COMPREHENSIVE HYDROGRAPHIC DATA IN DEEP WATER AND COASTAL REGIONS

We draw on our vast experience and extensive resources, including a fleet of dedicated survey vessels and airborne systems, to deliver a high-quality service that meets your data objectives.

To find out more visit
fugro.com

auch robuster und wetterfester gebaut würden, dann wäre man bei einer Geräteklasse, die es auch schon ansatzweise gibt, aber nie so weit verbreitet sein wird wie Smartphones.

Welche Rolle spielt zu GNSS komplementäre Sensortechnologie?

Komplementäre Sensortechnologie spielt in allen Anwendungsbereichen eine große Rolle, weil GNSS so starken Restriktionen unterliegt. GNSS funktioniert ja nur draußen und nur, wenn es nicht zu viele Signalabschattungen gibt. Dies gilt umso

»Es gibt keine GNSS-Antennen, mit den notwendigen Eigenschaften, die in die heutigen rechteckigen, superflachen Smartphones passen würden«

Professor Lambert Wanninger

mehr für die zentimetergenaue Positionsbestimmung, bei der man auf kontinuierliche Messungen, zumindest über einen kurzen Zeitraum, angewiesen ist. Sind die Signale aber häufig unterbrochen oder gibt es längere Signallücken, so ist ergänzende, komplementäre Sensortechnologie notwendig. Oder es wird sich bei dieser

Anwendung ganz von GNSS verabschiedet und auf andere Messtechniken ausgewichen, die aber von anderen Einschränkungen betroffen sind.

Welche technischen Entwicklungen stehen uns bei GNSS noch bevor?

Mit die interessanteste Entwicklung für eine nächste Generation von GNSS sind Satellitenkonstellationen, die sich in nur einigen hundert Kilometer Höhe befinden, in sogenannten LEO-Bahnhöhen, also wesentlich tiefer als die jetzigen GNSS-Satelliten in über 20.000 Kilometer Höhe. Konzepte und Verwirklichungen werden dazu insbesondere von privaten Firmen in Nordamerika und China vorangetrieben. Hier sieht man deutlich die Einflüsse einer privatisierten Raumfahrt. Von europäischer Seite ist aber auch die ESA aktiv und wird in den nächsten Jahren eine kleine Testkonstellation aufbauen. Aus der Sicht der Positionsbestimmung liefern Satelliten in niedrigen Orbits Signale, die eine vielfach stärkere Dopplerfrequenzverschiebung aufweisen, was ergänzende Techniken in der Positionsbestimmung mit Phasenbeobachtungen ermöglichen wird. Aber warten wir ab, wie die Entwicklung weitergeht. Private Investoren sind

daran interessiert, profitable Geschäftsmodelle zu verwirklichen. Doch werden LEO-GNSS-Konstellationen jemals profitabel sein, wenn die heutigen GNSS-Signale kostenfrei zur Verfügung stehen?

Welches Anwendungspotenzial sehen Sie in der Weiterentwicklung der Technologie?

Ich erwähnte zuvor die Vorstellung von der Armbanduhr mit integriertem Positionssensor, die uns millimeter- oder zumindest zentimetergenau unsere Position mitteilen kann, also hochgenaue Positionen für alle und am besten auch noch überall. Wenn man dies als ultimatives Ziel sieht, dann wird GNSS dabei eine wichtige Rolle spielen, aber aufgrund seiner Beschränktheit auch niemals der einzige Sensor sein. Smartphones mit ihrer Integration von GNSS, inertialen Sensoren, digitalen Karten und so weiter sind ja eine Entwicklung in diese Richtung. Aber auch sie sind noch sehr, sehr weit vom ultimativen Ziel entfernt.

Mit welcher Forschungsfrage beschäftigen Sie sich zurzeit?

Wir beschäftigen uns am Geodätischen Institut mit Fragestellungen rund um zentimetergenaue GNSS-Positionsbestimmung, also im Prinzip mit der geodätischen/vermessungstechnischen Nutzung von GNSS. Vor über einem Jahrzehnt standen hier die Probleme um die Erweiterung von GPS auf vier globale GNSS im Vordergrund. In den letzten Jahren war es dann die technische Entwicklung zu preisgünstigen, hochwertigen GNSS-Chips, die neue Massenmarktprodukte und -anwendungen ermöglichen. Augenblicklich sehe ich das größte Entwicklungspotenzial im Bereich der Korrekturdienstleistungen für verschiedene Arten des PPP, welche die zentimetergenaue Positionsbestimmung stark vereinfachen wird und für den Nutzer vermehrt kostenfrei zur Verfügung stehen werden.

Was möchten Sie gerne besser können?

Ich hätte gerne ein besseres Sprachtalent. Mit Deutsch und Englisch und Bruchstücken romanischer Sprachen ist mein Kopf gut ausgelastet. Leider sind kein Talent und keine Kapazität für das Lernen von zum Beispiel ostasiatischen Sprachen vorhanden.

Was wissen Sie, ohne es beweisen zu können?

Die Fähigkeiten der Menschheit werden oft maßlos überschätzt. //