

# HYDROGRAPHISCHE NACHRICHTEN

Journal of Applied Hydrography

06/2023

HN 125

3D-Positionierung  
auf See

60km



# GNSS für die 3D-Positionierung auf See

Ein Beitrag von FRANK HINSCHKE

Der Artikel liefert einen Überblick über aktuelle GNSS-Technologien, die für die zentimetergenaue Positionsbestimmung auf See verwendet werden. Genauer betrachtet werden die Netzwerk-RTK-Lösung und das Precise Point Positioning. Erklärt wird, wie die Korrekturdaten in Echtzeit auf das Schiff übertragen werden.

GNSS | GPS | GLONASS | BeiDou | Galileo | DGNSS | Korrekturdaten | Netzwerk-RTK | PPP  
GNSS | GPS | GLONASS | BeiDou | Galileo | DGNSS | correction data | network RTK | PPP

The article provides an overview of current GNSS technologies used for centimetre-precise positioning at sea. It takes a closer look at the network RTK solution and Precise Point Positioning. It explains how the correction data is transmitted to the ship in real time.

## Autor

Frank Hinsche ist Service und Support Specialist in Berlin bei der Leica Geosystems GmbH mit Sitz in München.

[frank.hinsche@leica-geosystems.com](mailto:frank.hinsche@leica-geosystems.com)

## Vorbemerkung

Schon unsere Vorväter sahen, dass eine genaue Positionierung – damals noch 2D – ganz entscheidend von dem Problem der Entfernung abhing. Anders ausgedrückt, sie sahen, dass die Lösung dieses Entfernungsproblems auch das Problem der exakten Ortsbestimmung lösen würde. Damals ging es allerdings um die akustische Reichweite, nämlich darum, die Mittagskanone zu hören, um die Uhrzeit zu bestimmen. Die Geschichte hat uns in der Folge gezeigt, dass mit einer genauen Uhr – oder einer Uhr mit einer genauen Zeitdifferenz – viel gewonnen werden kann.

Warum jetzt dieser Rückblick?

Auch wenn man heute die Problematik der Ortsbestimmung mit aktuellen und neuen Verfahren betreibt, spielt immer wieder die Messung der Zeitdifferenz eine Rolle, nur eben in anderen Größenordnungen als früher. Heute beschäftigen uns die Laufzeit des Satellitensignals zur Erde, die Zeitdifferenz zwischen Satellitenuhr und Empfängeruhr, die Zeitfehler der Satellitenuhr über die Nutzungszeit sowie die Zeitfehler durch relativistische Effekte. Und doch bleibt auch das Problem der Entfernung bestehen. Denn von ihr hängt die Genauigkeit und die differenzielle Positionierung ab.

## GPS und GNSS

Springen wir in das 20. Jahrhundert. Die Chancen, die damals GPS bot, hat man schnell erkannt und genutzt. Aus GPS wurde in den letzten Jahren GNSS, weil eben nicht nur das amerikanische NAVSTAR-GPS-System mit aktuellen Empfängern genutzt werden kann, sondern alle vier globalen Systeme – neben GPS sind dies auch GLONASS, BeiDou und Galileo. Aktuelle Empfängergenerationen verwenden alle Satellitensysteme und nut-

zen in Kombination alle Signale, die gemeinsam ausgewertet werden, sodass eine Position in 3D bestimmt werden kann. Die Vorteile von GNSS – das globale einheitliche Koordinatensystem, die Möglichkeit, rund um die Uhr messen zu können – gelten weiterhin, auch wenn man vielleicht, was die Koordinatensysteme der vier Satellitensysteme angeht, geodätische »Tricks« der Transformation anwenden muss. Es gilt weiterhin: GPS/GNSS bietet viele Vorteile, da es global 24 Stunden verfügbar ist, und somit jederzeit eine 3D-Position in einem einheitlichen globalen Koordinatensystem bestimmt werden kann. Das ist aber mittlerweile nur die halbe Wahrheit. Warum? Allein ist diese Position nur auf den Meter genau. Um genauer zu werden, braucht man Korrekturdaten von einer festen Referenzstation.

## Echtzeitkorrekturen

Wenn wir heute von GNSS sprechen, meinen wir genauer gesagt differenzielles GNSS (DGNSS), also die Kombination aus dem eigenen GNSS-Signal in Verbindung mit Korrekturdaten, die man von einem Provider erhält, als Ersatz für die eigene Referenzstation. Mit diesen Korrekturen werden mit bestimmten Algorithmen die Phasenmehrdeutigkeiten aufgelöst oder fixiert und es wird eine RTK-Lösung bestimmt. Das Ergebnis ist dann eine exakte geodätische 3D-Position mit einer Genauigkeit bis zu einem Zentimeter.

Hier werden zwei Dinge deutlich: Zum einen hat jeder Empfänger eigene Berechnungswege, die zur Lösung führen. Zum anderen müssen die Korrekturdaten zum Rover kommen. Unter Umständen kommt noch ein dritter Aspekt hinzu: Kann jeder Empfänger jedes Korrekturdatenformat verstehen?

Fangen wir mit den Korrekturdaten an. Aktuell werden Korrekturdaten zu allen vier globalen Satellitensystemen im standardisierten RTCM-Format 3.x von Providern ausgesandt. Wie aber bei jedem Standardformat ist der Prozess ein langer Weg und behindert eine schnelle Anpassung an das technisch Mögliche. Es gibt also kleine Differenzen in der Interpretation, die aber tatsächlich durch Interoperabilitätstests der großen namhaften Hersteller minimiert werden, sodass eine Messung möglich ist. In Deutschland kann man mit jedem Empfänger jeden Provider nutzen und man erhält eine Zentimeterlösung.

Wie schaut es nun mit den Algorithmen aus? Auch hier ist der Stand der Technik so weit, dass mit den RTCM-Korrekturdaten ein Arbeiten möglich ist. Die Unterschiede hängen eher davon ab, wie mit den Daten in kinematischen Anwendungen umgegangen wird. Ebenso hängt es vom Fokus des Herstellers ab, in welchem Maße dieser die Zuverlässigkeit oder Initialisierungsgeschwindigkeit priorisiert.

Das große Problem, speziell bei der Verwendung auf See, ist der Weg. Wie kommen die Korrekturdaten von den Referenzstationen an Land zu dem Empfänger auf dem Schiff?

### Weg der Korrekturdaten

Korrekturdaten werden heute entweder über Funk oder über mobiles Internet versendet. Der einfachste Weg ist sicher die Übertragung per Funk. Referenzstation und Schiff besitzen je ein Funkgerät. Diese Funkgeräte arbeiten auf derselben Frequenz, sodass die Korrekturdaten empfangen werden und im Empfänger verarbeitet werden können. Dies kann jedoch nur funktionieren, wenn der Funkempfang gegeben ist, was von der Leistung des Funkradios (Sender) abhängig ist. Hier ist also ein physikalisches Moment (Leistung und Ausbreitungsweg und die Erdkrümmung) und ein rechtlicher Aspekt (erlaubte Leistung) zu betrachten. Bleibt also mobiles Internet. Hier ist die Reichweite nahezu unbegrenzt, wenn sie nicht an den Funkmasten der Mobilfunk-Provider hängen würde und die Funkmasten auf See nicht irgendwann fehlen würden. Es gibt also auch hier de facto ein Entfernungsproblem.

### Genauigkeit

Die Genauigkeit wird in der Regel an der Basislinienlänge zwischen Referenzstation (an Land) und Rover (auf dem Schiff) festgemacht. Bei heutigen Echtzeitvermessungen kommen allerdings Korrekturdaten zum Einsatz, die einer Vernetzungslösung zugrundeliegen. Diese Daten werden mathematisch so behandelt, dass der GNSS-Fehlerhaushalt besser bestimmt wird, als dies ein Rover in der Einzellösung kann. Das Ganze hat den Vorteil, dass diese Netzwerklösung eine Homogenisierung der

Genauigkeit im gesamten Netz berechnet. Hier haben wir aber wieder das geometrische Problem, da die Referenzstationen alle an der Küste sind und somit die Netzmaschen eine natürliche Grenze bilden. Man spricht deswegen jetzt von einer Netzwerk-RTK-Lösung (NRTK-Lösung). Die Übermittlung der Daten ist durch die Nutzung des mobilen Internets möglich, aber wieder hat man das Problem der Infrastruktur – und damit ein Reichweitenproblem. Es müssen also andere Wege gefunden werden. Ein möglicher Weg wäre die Berechnung entfernungsunabhängiger Lösungen, die dazu noch die klassische Übertragung der Korrekturdaten nicht nutzen würde.

### Precise Point Positioning (PPP)

Das PPP-Verfahren wird schon länger untersucht. Bei PPP wird der GNSS-eigene Fehlerhaushalt geschätzt und nicht durch die Verknüpfung mit anderen GNSS-Daten aus einem Netzwerk für den eigenen Rover berechnet. Da bei allen RTK-Verfahren der Rover zur Fixierung der Daten eine Referenzstation benötigt, muss dieses »Datenvolumen« zum Rover gebracht werden, denn dieser führt die eigentliche Berechnung für das letzte Stück der Basislinie durch. Bei PPP-Verfahren ist diese Datenmenge deutlich geringer, da sich nicht alle Korrekturen sekundlich ändern. Vielmehr reicht es, Korrekturen, die zum Beispiel den Satellitenorbit, die Ionosphäre und Troposphäre betreffen, längerperiodisch an den Rover zu übermitteln. Allerdings müssen diese Korrekturen auch erst einmal berechnet werden, um sie dann zu übertragen. Natürlich muss dies auch für alle verwendeten GNSS-Systeme geschehen. Der verwendete GNSS-Rover benötigt dazu ebenfalls einen Echtzeitalgorithmus, der die PPP-Daten verarbeiten kann, um eine zentimetergenaue Lösung zu berechnen. Die Korrekturen werden hierbei auch aus einem klassischen, terrestrischen GNSS-Referenznetzwerk gewonnen, nur bereitet in diesem Fall die Software, die die Daten der Referenzstationen auswertet, die PPP-Korrekturen auf. Damit die Daten zu einer Initiierung des Rovers führen, benötigt man eine sogenannte Initialisierungszeit, die bis vor Kurzem noch bei circa 15 Minuten oder mehr lag. Mittlerweile ist diese Zeit auf rund drei Minuten Erstinitialisierung reduziert worden. Das heißt, dass man danach im Prinzip ein Echtzeitsystem auf PPP-Korrekturen hat. Diese so ermittelten Korrekturen sind abhängig von der Größe des Referenznetzwerks. Ist dieses ein lokales, sind die Korrekturen auch in etwa an diese Größe gebunden; und wird das Netzwerk verlassen, wird eventuell extrapoliert. Handelt es sich um ein globales Netzwerk, wie etwa bei VERIPOS, können Korrekturen global bestimmt und angewendet werden.

Gerade in der aktuellen Zeit werden diese Daten immer wichtiger. Denken wir an das Offshore-Ge-

schäft, welches immer relevanter wird. Man denke an die Windparks, die außerhalb der Küstenzone liegen. Diese Bauarbeiten benötigen zentimetergenaue Positionen, die mit Hilfe von GNSS geliefert werden. Dieser Bedarf muss bedient werden. Früher wurden eigene Referenzstationen in den Parks installiert, die durch eine Bestimmung im Postprocessing an das Festlandnetz angebunden wurden. Damals musste Fachpersonal beauftragt werden, um diese lokalen Referenzen zu bestimmen. Aber auch dieser Weg hatte das Reichweitenproblem, wegen der Länge der Basislinie. Somit sind wir wieder bei der Übertragung von PPP-Daten, die bestimmt, in einem globalen Netz an einen GNSS-Empfänger, der diese Daten empfängt und mit seiner Algorithmik präzise Positionen berechnet, übertragen werden müssen. So ist eben auch das Bohren von Fundamenten weit vor der Küste mit den normalen GNSS-Empfängern möglich. PPP ist überall möglich, egal ob Nordsee oder Atlantik oder sonst wo auf der Welt.

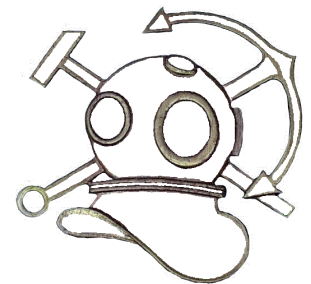
### Datenübertragung zum Schiff

Bleibt also noch die letzte Frage offen, wie kommen die Daten aufs Schiff?

Die bereitgestellten Daten können auch über den herkömmlichen Weg, also mobiles Internet, abgerufen werden. Dazu bietet sich das Ntrip-Protokoll an, wie bei normalen NRTK-Daten. Was aber, wenn man sich außerhalb der Reichweite von Mobilfunk aufhält? Dann kann eigentlich nur noch der Satellit helfen. Die globalen Dienstleister nutzen dafür Kommunikationssatelliten. Die berechneten Korrekturdaten werden zum Uplink auf globalen Kommunikationssatelliten bereitgestellt. Da sie deutlich komprimierter sind als normale RTCM-Daten kann der Versand über diesen Weg auch in einem wirtschaftlichen Kostenrahmen und mit entsprechender Güte erfolgen. Über das L-Band erfolgt dann der Downlink über die GNSS-Antenne zum Empfänger, der dann die GNSS-Daten von den Korrekturen trennt und sie im RTK-Algorithmus wieder zusammenführt. Als Ergebnis erhält der Nutzer wie gewohnt eine zentimetergenaue Position. Damit sein Bauwerk dann genau dort errichtet wird, wo es geplant wurde.

Was für den Bau gilt, kann der Peilung nur Recht sein. Über das beschriebene Verfahren können auch kinematische Bewegungen korrigiert und es

**Fa Niederkofler**  
**ROV – Operateur. Sonaruntersuchung**  
**Forschungs- Ingenieur- Berufstaucharbeiten**  
**Bachweg 10**  
**A – 6091 Götzens**  
[rovdienst@gmail.com](mailto:rovdienst@gmail.com)  
**+43 670 7751755**  
**VAT.: ATU70034278**



Ihr Fachkundiger Tauchbetrieb im Alpenland.

können zu jeder Zeit kinematisch präzise GNSS-Koordinaten geliefert werden. Ganz so wie man es von Standard-DGNSS gewohnt ist. Das Messen ist nicht nur offshore möglich, sondern auch im Landesinneren, wo es keine Referenznetze gibt. Zum Beispiel ist dies mit Empfängern der aktuellen Generation von Leica Geosystems möglich. Den größeren Nutzen zieht die Vermessungs- oder Peilmannschaft, wenn sie im Landesinneren in eine Mobilfunklücke hineinfährt, aus dem HxGN SmartNet Global Service. Mit dem sogenannten Bridging kann die präzise Position, auch ohne NRTK-Dienst, überbrückt werden. Wenn das Mobilfunknetz dann wieder in ausreichender Güte vorhanden ist, verbindet sich der Empfänger automatisch wieder mit dem NRTK-Dienst und verwendet die normalen NRTK-Daten. Dieses Verfahren wird erfolgreich am Oberrhein auf WSA-Peilschiffen angewendet.

## Zusammenfassung und Ausblick

Kommerzielle Betreiber von Netzwerk-GNSS-Korrekturdaten-Diensten bieten in letzter Zeit ihren Kunden immer mehr PPP-Dienste an. In unterschiedlichen Genauigkeiten (von 2 bis 3 Zentimetern bis zu circa 10 Zentimetern), in unterschiedlich definierten Gebieten (Land, See oder Kontinent), als Überbrückung von Mobilfunklücken oder als einzige »differenzielle« Positionierungsmöglichkeit über Satellit oder Mobilfunk. Große Möglichkeiten bietet hier das Offshore-Geschäft und die Dienstleistungen, die damit verbunden sind. Daneben ist aber auch die industrielle Landwirtschaft ein Markt, der diese Daten benötigt. In Zukunft wird auch der Consumer-Markt, der mit autonomem Fahren einhergeht, von diesen Entwicklungen profitieren. Weitere Märkte werden weitere Entwicklungen fördern beziehungsweise fordern. Es bleibt spannend. //

### Weiterführende Literatur

Freitag, Martin (2022): PPP-RTK-Dienst der Adv – Jetzt wird es ernst. Vortrag auf der Intergeo in Essen

Heßelbarth, Anja (2018): GNSS in der Hydrographie. In: Hydrographie 2018 – Trend zu unbemannten Messsystemen; 170. DVW-Seminar und 32. Hydrographentag, Lindau, Wißner-Verlag, Seite 47–64

Hexagon (2023a): HxGN SmartNet Global. <https://hexagon.com/de/products/hxgn-smartnet/services/ppp-rtk>

Hexagon (2023b): TerraStar Correction Services. <https://novatel.com/products/gps-gnss-correction-services/terrastar-correction-services>

Hexagon (2020): Global Breakthrough in PPP Technology:

»RTK From the Sky«. White paper, [https://www.thegpstime.com/wp-content/uploads/2020/11/RTK-From-the-Sky\\_White-Paper\\_reduced-size-3.pdf](https://www.thegpstime.com/wp-content/uploads/2020/11/RTK-From-the-Sky_White-Paper_reduced-size-3.pdf)

Leica Geosystems (2023): Leica Viva GS10 & GS25 –

Hochpräzise Empfänger. <https://leica-geosystems.com/de/products/gnss-systems/receivers/leica-viva-gs10-gs25>

Schmitz, Martin; Gerhard Wübbena; Jannes Wübbena;

Temmo Wübbena (2021): SSR und zukünftige GNSS-Anwendungen. BfG-Kolloquium »Big, Smart, Geo Data«