

# ***RTK für Arme* - Hochpräzise GNSS-Anwendungen mit den kostengünstigsten Trägerphasen-Rohdatenempfängern**

Hagen F. Piotraschke

*OptimalSystem.DE*  
Paul-Gerhardt-Str. 45  
D-04668 Grimma  
hagen@piotraschke.de

**Abstract:** Die für Positionsbestimmungen mit hoher Genauigkeit (Sub-Meter bis Zentimeter) erforderlichen GNSS-Empfänger mit Trägerphasen-Messung sind in der Praxis üblicherweise mehrfrequenzfähig (zumeist L1+L2), im Markt jedoch so teuer, dass potenzielle Anwender häufig bereits an den Investitionskosten für die Hardware scheitern. Diverse L1-Empfänger mit Trägerphasen-Rohdatenausgabe sind aber relativ günstig erhältlich und z.B. für RTK bzw. eine Postprozessierung mit eigenen oder externen Referenzdaten sogar i.V. mit kostenfreier Software nutzbar, unterliegen allerdings dabei auch einigen technischen Einschränkungen. Gleichwohl sind auf Basis dieser kostengünstigen Komponenten auch komplette Systeme bereits in praxistauglicher Weise realisierbar.

## **1 Rahmenbedingungen im derzeitigen GNSS-Markt**

Positionsbestimmungen oberhalb der Erdoberfläche werden bereits seit etlichen Jahren üblicherweise mit Globalen Navigationssatellitensystemen (GNSS) wie NAVSTAR GPS und/oder GLONASS durchgeführt. Um hierbei Genauigkeiten im Submeterbereich bis in den Subzentimeterbereich erreichen zu können, bedarf es v.a. der Trägerphasenmessung dieser Satellitensignale sowie der Auflösung ihrer Mehrdeutigkeiten. Hierfür sind zwar schon diverse Anbieter weltweit mit solchen geodätischen Empfängern (aktuell zumeist als Mehrfrequenzgeräte für L1+L2 von GPS und GLONASS) etabliert, allerdings ist das Preisniveau hierbei auch noch immer im Bereich fünfstelliger Dollarbeträge. Die im Gegensatz dazu in großer Vielfalt erhältlichen Empfänger mit Preisen bis unter 50 US-\$ werten bzw. geben üblicherweise lediglich die Signalkodes der GNSS-Satelliten aus und ermöglichen damit grundsätzlich auch nur Genauigkeiten im Bereich von mehreren Metern. Infolge dieser Marktsituation erfordern präzise GNSS-Positionsbestimmungen somit schon für die dazu notwendige Empfängertechnik Investitionen in einer solchen Höhe, dass eine große Anzahl potenzieller Nutzer mangels hinreichender Kaufkraft diese Messverfahren nicht anwenden kann. So fand z.B. in vielen Entwicklungsländern noch keine Katastervermessung in entsprechender Absolutgenauigkeit statt, da für die hierzu notwendigen Ausrüstungsinvestitionen weder deren Staatshaushalte noch die Mittel aus Entwicklungshilfen genügen. In hochentwickelten Staaten wie Deutschland ist dies zwar volkswirtschaftlich irrelevant, betriebswirtschaftlich jedoch für viele dennoch spürbar.

Beispielsweise besteht hierzulande für viele (v.a. kleinere) Agrarbetriebe dadurch noch immer ein Hindernis zur Anwendung präziser GNSS-Positionierungen, dito für sonstige Landbewirtschafter und -besitzer, die aufgrund der o.g. bipolaren Marktstruktur zumeist entweder mit eigener Technik relativ ungenau messen oder für präzise Vermessungen externe Dienstleister mit entsprechend hohen Einsatzkosten beauftragen müssen. Nun haben jedoch schon mehrere Hersteller (z.B. *u-blox*, *NVS*, *SkyTraq*) von Empfängern für den Massenmarkt auch Modelle mit Trägerphasenmessung und Rohdatenausgabe im Angebot. Diese empfangen zwar nur die L1-Frequenz, sind jedoch sehr kostengünstig (ab Kleinserien-Stückzahlen bereits unter 50 US-\$ je Empfängermodul). Im Gegensatz zu den o.g. geodätischen Geräten ist hier aber eine vollständig integrierte Gesamtlösung für *Real-Time Kinematic* (RTK) oder *Precise Point Positioning* (PPP), wo die Firmware des Empfängers selbst die erwartete hochpräzise Position berechnet, auch nicht in dieser Leistungsfähigkeit verfügbar. Mit der Rohdatenausgabe in offengelegten Binärformaten wurde es für Software von Drittanbietern wie z.B. der RTKLIB [TY09] nun allerdings möglich, die notwendigen Berechnungen auf einem externen Computer durchzuführen (z.B. für RTKLIB auf quasi jedem Windows- oder Linux-System bis hin zur ARM-Komplettplatine unter 30 US-\$), um somit Genauigkeiten im Subdezimeterbereich (für kinematische Messungen) bis in den Subzentimeterbereich (nur für Langzeitmessungen in stationären Messeinrichtungen sicher möglich) realisieren zu können.

## 2 Möglichkeiten und Einschränkungen für L1-Empfänger

Prinzipiell lassen sich also mit diesen L1-Trägerphasen-Rohdatenempfängern i.V. mit einem externen Computer und entsprechender (freier) Software zu einem Bruchteil der Kosten ähnliche Genauigkeiten erreichen wie mit den o.g. Mehrfrequenzempfängern. Entsprechende Systeme wurden in diversen wissenschaftlichen Projekten schon oft realisiert und dabei auch umfassend untersucht und dokumentiert, so dass die technische Umsetzbarkeit sowohl für statische als auch für kinematische [SB11] Messungen als gesichert gelten kann. Eine breite Anwendung in der nichtakademischen Praxis erfolgte bisher trotzdem noch nicht, wofür jedoch auch mitverantwortlich ist, dass die Quellen und Übertragungsmöglichkeiten für die notwendigen Referenz- bzw. Korrekturdaten den Nutzern nicht adäquat verfügbar waren. Erschwerend kommen Einschränkungen für Einfrequenzsysteme hinzu, v.a. hinsichtlich der möglichen Basislinienlänge (Entfernung zur Referenzstation). Nachteilig im Vergleich zu Mehrfrequenzmessungen ist zwar auch die fehlende Kompensation des Ionosphärenfehlers, dies ist für RTK-Anwendungen oder die Postprozessierung mit Referenzdaten einer nahegelegenen Basisstation jedoch kaum relevant. Der für Einfrequenzsysteme zumeist höhere Zeitbedarf bis zum Erreichen der angestrebten Genauigkeit (typisch: der Fix-Lösung) kann zeitkritische Anwendungen mit Echtzeit-Positionierung eventuell so einschränken, dass dann angepasste Arbeitsabläufe notwendig sind (längere Vorlaufzeiten vor Messbeginn). Die aufgrund der Trennung von Hard- und Software in modularen Systemen stärker in Erscheinung tretende Komplexität des gesamten Messverfahrens stellt jedoch insbesondere für potenzielle Anwender ohne geodätisches Fachwissen eine deutliche Einstiegshürde dar. Hierin besteht auch die für entsprechende Systemanbieter vorrangig zu lösende Aufgabe einer weiteren Integration dieser Einzelkomponenten in höchstmöglich gebrauchsfertigen Gesamtlösungen. Derzeit arbeitet der Autor gemeinsam mit seinen Entwicklungspartnern u.a. an diesem Problem.

### 3 Neue Wege und Mittel für RTK & PPP

Der entscheidende Durchbruch, dass o.g. Low-Cost-Hardware nun relativ unkompliziert auch für Präzisionsanwendungen einsetzbar ist, ergab sich zunächst aus der Entwicklung und freien Veröffentlichung von Software mit der Möglichkeit zur direkten Verwendung der jeweiligen (proprietären) Rohdatenformate. Hier hat insbesondere die RTKLIB eine herausragende Bedeutung, da hierin nicht nur die herstellerspezifischen Binärdateien mit GNSS-Signalaufzeichnungen eingelesen und dann in Standardformate wie z.B. RINEX konvertiert werden können (v.a. zur Postprozessierung), sondern v.a. der Direktzugriff in Echtzeit auf lokale und entfernte Datenquellen realisierbar wurde. So ist es z.B. möglich, über einen seriellen Port lokal die Rohdatenausgabe eines GNSS-Moduls von *NVS* oder *u-blox* i.V. mit den NTRIP-Daten einer „Virtuellen Referenzstation“ (VRS) für RTK-Anwendungen zu nutzen und die korrigierten Positionsdaten im üblichen NMEA-Format dann auf ein „virtuelles Nullmodemkabel“ (nur in Software realisierte und miteinander verbundene COM-Ports im selben Betriebssystem) auszugeben, so dass letztlich die auf dem jeweiligen Rechner genutzte Endanwendung (z.B. ein GIS oder Parallelfahrssystem) ohne jeglichen Anpassungsbedarf darauf zugreifen kann, als wäre ein beliebiges GNSS-Gerät mit der standardgemäßen NMEA-Positionsausgabe daran angeschlossen.

Die zweite maßgebliche Voraussetzung dafür, mit so günstigen L1-Rohdatenempfängern schließlich auch adäquate Gesamtsysteme für präzise Positionsbestimmungen realisieren zu können, besteht in der derzeitigen Vielfalt von alternativen Quellen und Kanälen für Referenz- bzw. Korrekturdaten. Im Gegensatz zum ursprünglichen bzw. klassischen RTK-System mit einer UHF-Funkstrecke zwischen der physisch existenten Basisstation und dem *Rover* (der zu bestimmenden Position) gibt es da sowohl diverse kommerzielle Anbieter (v.a. für VRS) als auch kostenfrei verfügbare Angebote (z.B. der IGS-Stationen mit hochgenauen Uhrenfehler- und Bahndaten, aber auch von Rohdatenaufzeichnungen), die über eine Internetverbindung wie z.B. über Mobilfunk unkompliziert in einer jeweils vollständigen RTK- oder PPP-Messeinrichtung einsetzbar sind. Darüber hinaus ist aber auch die Inbetriebnahme und Verwendung einer eigenen Basis mittlerweile wesentlich weniger aufwändig, nicht zuletzt dank der neuen Möglichkeiten für SDR-Funkstrecken, wobei hier v.a. die im 868-Mhz-Band anmeldefrei realisierbaren 500 mW Sendeleistung in praxi tatsächlich erreichbare Reichweiten von 10-40 km erlauben, so dass innerhalb der für reine L1-Systeme eingeschränkten Basislinienlänge RTK-Lösungen hiermit auch gut möglich sind. Ein weiterer Aspekt bezüglich der verbesserten Rahmenbedingungen für die Realisierung von Low-Cost-RTK/PPP liegt zudem in der Verfügbarkeit günstiger Hardware für mobil verwendbare Computer. Während dazu bisher v.a. normale Laptops zum Einsatz gelangten (ungünstige Bauform, relativ kurze Batterielaufzeiten und meist unzureichende Robustheit), sind momentan bereits viele und z.T. auch sehr preisgünstige Lösungen zur Bereitstellung der benötigten Rechner-Plattform realisierbar. Insbesondere ist die RTKLIB schon auf sehr günstigen ARM-Komplettplatinen ohne Einschränkungen zu verwenden, da ihre Ansprüche an die Hardware (Rechenleistung und Arbeitsspeicher) aufgrund ihrer ressourcenschonenden Software-Architektur (in klassischem C) äußerst gering sind. So können z.B. schon auf einem relativ preisgünstigen ARM9-System (als vollbestückte Platinen z.T. unter 30 EUR) bis zu drei parallele Instanzen der RTKNAVI-Anwendung (Teil der RTKLIB) jeweils GNSS-Rohdaten mit 10 Hz vollständig bis zur NMEA-Ausgabe der korrigierten Rover-Position in Echtzeit prozessieren.

## 4 Praxistaugliche Systeme für diverse Einsatzszenarien

Kostenminimale RTK-Systeme auf Basis der o.g. L1-Rohdatenempfänger könnten z.B. für die Katastervermessung in Entwicklungsländern geeignet sein, wo eine Beschaffung von mehrfrequenzfähigen geodätischen Empfängern hierfür noch nicht möglich war und zudem die benötigte Arbeitszeit je Messpunkt auch kein primärer Flaschenhals ist. Da in vielen Entwicklungsländern noch kein adäquates „Netz erster Ordnung“ vorhanden ist, basiert ein aktuelles Konzept darauf, zunächst ein relativ dichtes Netz neuer Festpunkte mit nur wenigen Exemplaren von kombinierten Empfängern für weltweit verfügbare Referenzdaten (z.B. dem kommerziellen *Satellite Based Augmentation System* „StarFire“ und dem hiermit gewährleisteten Lagebezug zum *International Terrestrial Reference Frame*) einzumessen, typischerweise einen Punkt mittig je Dorf. Die dann ohnehin sehr zeitaufwändige Vermessung aller einzelnen Parzellen in Verbindung mit der Erfassung von Metadaten wie z.B. den Nutzungs- und Besitzverhältnissen kann jedoch problemlos auch mit einem der o.g. L1-RTK-Systeme erfolgen, wobei jeweils nur noch der Vektor zum Festpunkt mit einer relativ kurzen Basislinie bestimmt werden muss.

Bei der Entwicklung und Erprobung der rohdatenfähigen L1-Empfänger hat sich jedoch gezeigt, dass deren Verwendung insbesondere in etablierten Strukturen wie dem dichten Referenzstationsnetz in Europa nicht nur prinzipiell möglich, sondern mit ihrem Kosten-Nutzen-Verhältnis für viele Anwendungen relativ vorzüglich ist. Sofern die spezifische Einschränkung von Einfrequenzsystemen (insbesondere das meist schlechtere Verhältnis von Basislinienlänge zur benötigten Initialisierungszeit und damit in Folge die generelle Verfügbarkeit) durch andere Systemkomponenten kompensiert werden kann, wird dieses noch deutlicher. So ist v.a. die Möglichkeit zur Nutzung einer VRS von herausragender Bedeutung, da hier extrem kurze Basislinien erreicht werden (häufig nur wenige Meter). Aber auch PPP-Anwendungen sind in hochentwickelten Ländern wie Deutschland mit solcher Low-Cost-Hardware z.B. dann noch relativ interessant, wenn die Kosten für eine Nutzung von kommerziellen VRS-Diensten gescheut werden, eine Einspeisung präziser Korrekturdaten aus den via Internet frei zugänglichen Quellen jedoch möglich ist.

## Literaturverzeichnis

- [TY09] Takasu, T.; Yasuda, A.: Development of the low-cost RTK-GPS receiver with an open source program package RTKLIB. International Symposium on GPS/GNSS, Jeju 2009.  
[http://gpspp.sakura.ne.jp/paper2005/isgps\\_2009\\_rtklib\\_revA.pdf](http://gpspp.sakura.ne.jp/paper2005/isgps_2009_rtklib_revA.pdf)
- [SB11] Stempfhuber, W.; Buchholz, M.: A Precise, Low-Cost RTK GNSS System for UAV Applications. Conference on Unmanned Aerial Vehicle in Geomatics, Zürich 2011.  
<http://www.isprs.org/proceedings/XXXVIII/1-C22/papers/buchholz.pdf>
- [Ta12] Takasu, T.: PPP Ambiguity Resolution Implementation in RTKLIB v 2.4.2. PPP-RTK & Open Standards Symposium, Frankfurt/M. 2012.  
[http://gpspp.sakura.ne.jp/paper2005/ppprtk\\_201203a.pdf](http://gpspp.sakura.ne.jp/paper2005/ppprtk_201203a.pdf)
- [Je12] Jensen, K.; Larsen, M.; Simonsen, T.; Jørgensen, R.: Evaluating the performance of a low-cost GPS in precision agriculture applications. International Conference on Robotics and associated High-technologies and Equipment for Agriculture, Pisa 2012.  
[http://fieldrobot.dk/download/2012\\_Evaluating\\_the\\_performance\\_of\\_a\\_low-cost\\_GPS\\_in\\_precision\\_agriculture\\_applications.pdf](http://fieldrobot.dk/download/2012_Evaluating_the_performance_of_a_low-cost_GPS_in_precision_agriculture_applications.pdf)