

Technical Report Nr. 1301

Präzise Positionsbestimmung mit Low-Cost-GPS und Postprocessing

Februar 2013

Josua Stähli und Stefan Keller

Impressum

Hauptautor: Josua Stähli. Koautor und Leitung: Prof. Stefan Keller. Anschrift: Geometa Lab des Instituts für Software an der HSR Hochschule für Technik, Rapperswil (Schweiz). Die HSR ist ein Mitglied der Fachhochschule Ostschweiz. Lizenz: CC-BY-SA 2.0. Web: www.gis.hsr.ch

Abstract

Dieser Technical Report ist mit dem Ziel entstanden, mit günstigen GPS-Empfängern eine möglichst genaue Positionsbestimmung durchzuführen. Als Test-Geräte kamen dabei zwei jeweils etwa 500 Franken teure GPS-Empfänger zum Einsatz. Die Empfänger enthalten ein Modul namens NEO-6P von der Firma u-blox. Die Geräte verarbeiten die Satelliten-Signale mit einem Precise Point Positioning genannten Algorithmus, welcher Ungenauigkeiten bei der Positionsbestimmung verringert. Die damit erhaltenen Koordinaten wichen unter optimalen Bedingungen selten stärker als einen Meter von der „wahren“ Position ab.

Die verwendeten GPS-Empfänger sind auch in der Lage, die empfangenen Signale der Satelliten unverarbeitet auszugeben. Das ist eine Voraussetzung, damit diese Rohdaten anschliessend am PC durch das sogenannte Postprocessing zu genauen Koordinaten verarbeitet werden können. Dazu sind Korrekturdaten nötig, die teilweise kostenpflichtig sind, aber auch von freien Quellen erhältlich sind. Auf diese Weise war eine auf wenige Dezimeter genaue Positionsbestimmung möglich, bei längerer Wartezeit von etwa einer Stunde sogar auf wenige Zentimeter genau.

Mit den genannten Hardware und Verfahren sind also Genauigkeiten erreichbar, die weit besser sind als jene von üblichen GPS-Empfängern dieser Preisklasse. Jedoch wurde diese hohe Genauigkeit nur unter optimalen Bedingungen erreicht, das heisst, wenn möglichst wenige Hindernisse das Sichtfeld zum Himmel einschränkten. Sobald Reflexionen ins Spiel kamen, beispielsweise durch nahe stehende Gebäudefassaden, waren mit diesen Verfahren keine Vorteile mehr erkennbar. Zudem waren diese Genauigkeiten nur im Stillstand und bei einer mehrminütigen Wartezeit erreichbar. Sind die nötigen Voraussetzungen gegeben, können mit günstiger Ausrüstung erstaunlich genaue Resultate erzielt werden.

Inhalt

1	Einleitung	4
1.1	Motivation	4
1.2	Vorgehen	4
1.3	Anwendungsfälle	4
2	GPS Grundlagen	6
2.1	GPS und GNSS	6
2.2	Funktionsweise	6
2.3	Genauigkeit	7
2.4	Satellite Based Augmentation System (SBAS).....	8
2.5	Differential GPS/GNSS und Real Time Kinematic (RTK)	9
2.6	Precise Point Positioning (PPP).....	9
3	Ausrüstung	11
3.1	Hardware	11
3.2	Software	13
3.3	Entstandene Kosten.....	13
4	Feldexperimente.....	14
4.1	Einleitung	14
4.2	Testrecken	14
4.3	Test 1: Warmlaufzeit	15
4.4	Test 2: Genauigkeit „zu Fuss“	16
4.5	Test 3: Wald	18
4.6	Test 4: Genauigkeit mit statischer Messung	19
4.7	Test 5: Genauigkeit mit langer statischer Messung	20
4.8	Vergleich NEO-6P / 60CSx	21
5	Postprocessing.....	22
5.1	Datengrundlage	22
5.2	Onlinedienste	22
5.3	RTKLIB	22
5.4	Rohdaten konvertieren.....	23
5.5	Postprocessing	24
5.6	Referenzdaten	25
5.7	Ergebnisse.....	26
6	Fazit	29

1 Einleitung

1.1 Motivation

Ein handelsüblicher GPS/GNSS-Empfänger erreicht unter normalen Bedingungen eine Genauigkeit¹ von fünf bis zehn Metern, bessere Geräte auch mal bis zu zwei Metern. Genauigkeiten im Submeter- oder sogar Subdezimeter-Bereich waren lange professionellen GPS/GNSS-Empfängern vorbehalten, die für Privatpersonen nicht erschwinglich sind. Dieser Report will Möglichkeiten aufzeigen, wie auch mit kostengünstiger Hardware (sogenannte Low-Cost GPS-Empfänger), eine deutlich höhere Positionierungsgenauigkeit erreicht werden kann. Das ist insbesondere dann möglich, wenn der Empfänger gute Empfangsbedingungen hat, das heisst, nicht zu viele Hindernisse in der Nähe sind.

Das Ziel bestand nun darin, Erfahrungen mit Verfahren zu sammeln, die die Genauigkeit eines günstigen GPS-Empfängers steigern sollen. Eines dieser Verfahren nennt sich Precise Point Positioning, die von uns verwendete GPS-Hardware hat einen entsprechenden Algorithmus bereits integriert. Weitere Verfahren zum Verarbeiten der GPS-Signale werden von Computerprogrammen geboten.

1.2 Vorgehen

Anhand von verschiedenen Tests wird in diesem Report das Genauigkeitspotential von einem günstigen GPS-Empfänger aufgezeigt. Dazu kommt das GPS-Modul NEO6-P von u-blox zum Einsatz, sowie die Antenne TW2410 von Tallysman. Zusätzlich wurde ein Stativ mit darauf montierter Grundplatte zur Abschirmung von reflektierten Signalen verwendet, was die Genauigkeit weiter steigern soll. Gewisse Tests sind zusätzlich mit dem Handgerät GPSMAP 60CSx von Garmin durchgeführt worden, welches als Repräsentant eines weit verbreiteten GPS-Empfängers diente und somit eine Vergleichsmöglichkeit bieten sollte.

Die verbesserte Positionierungsgenauigkeit wird in diesem Bericht auf zwei Arten erreicht. Der NEO-6P hat bereits eine Technologie zur genaueren Positionsbestimmung integriert. Der Empfänger verwendet einen sogenannten Precise Point Positioning Algorithmus, der mithilfe von Korrekturdaten Störungen in den Satellitensignalen herausrechnet. Diese Korrekturdaten erhält der Empfänger von SBAS-Satelliten, es ist also weder ein Internetzugang noch der Betrieb einer Referenzstation notwendig, der NEO-6P funktioniert autonom.

Bei der zweiten Variante, die hier vorgestellt wird, kommt Open Source Software zum Einsatz. Die Methode nennt sich Postprocessing, das heisst, die Satellitensignale werden nachträglich von den Störungseinflüssen befreit. Dazu muss der Empfänger die Möglichkeit bieten, die aufgezeichneten Satellitensignale als Rohdaten zu exportieren.

1.3 Anwendungsfälle

Ein professioneller GPS- bzw. GNSS-Empfänger bietet einen höheren Komfort als die hier vorgestellten Methoden. Es sind weder lange Wartezeiten noch ein nachträgliches Verarbei-

¹ Das Paper „GNSS Accuracy: Lies, Damn Lies and Statistics“ gibt eine gute Erläuterung von dem Begriff „Genauigkeit“: <http://www.frankvandiggelen.com/wp-content/uploads/2009/03/2007-gps-world-accuracy-article-0107-van-diggelen-1.pdf>

ten nötig, um die in diesem Report erreichten Genauigkeiten zu erhalten. Jedoch kosten solche Geräte schnell 10'000 Franken und mehr.

Zielgruppe sind daher Personen, für die ein professionelles Gerät nicht erschwinglich ist, aber trotzdem eine Positionierungsgenauigkeit wollen, die über jene von handelsüblichen Empfängern hinausgeht. Insbesondere der NEO-6P bietet für seinen Preis eine gute Genauigkeit und kann ohne zusätzlichen Aufwand wie das Betreiben einer Referenzstation oder Nachbearbeitung verwendet werden. Mit einem grösseren Aufwand, welcher insbesondere mit einer längeren Wartezeit und teilweise dem Zukauf von kostenpflichtigen Korrekturdaten verbunden ist, kann die Genauigkeit nochmals deutlich gesteigert werden.

Als Anwender kommen beispielsweise GIS-Nutzer wie Förster, Agronomen und Landschaftsarchitekten in Frage, die die Umgebung mit angemessener Genauigkeit digitalisieren wollen. Auch für Freizeitaktivitäten wie Geocaching oder dem Mappen für OpenStreetMap kann die gesteigerte Genauigkeit interessant sein.

2 GPS Grundlagen

2.1 GPS und GNSS

GPS (Global Positioning System) ist ein System aus Satelliten, das in den 1970er Jahren vom US-Verteidigungsministerium entwickelt wurde. Mit einem passenden Empfänger kann es dazu verwendet werden, seine aktuelle Position als 3D-Koordinate, die Geschwindigkeit, sowie die genaue Zeit zu bestimmen. Weil dabei keine Daten mit den Satelliten ausgetauscht werden, sondern nur die von den Satelliten ausgesendeten Signale empfangen werden, gibt es keine Beschränkung in der Nutzerzahl. Das System besteht aus ungefähr 30 Satelliten, wobei jeweils, je nach Position, etwa 10 davon im Sichtfeld eines Empfängers liegen.

GNSS ist ein Oberbegriff von GPS und steht für Global Navigation Satellite System. Neben dem amerikanischen GPS gibt es noch das russische GLONASS, das chinesische BeiDou und das sich im Aufbau befindliche Galileo von Europa. Durch die weite Verbreitung des GPS werden Empfänger, die mehrere Navigationssatellitensysteme unterstützen, manchmal umgangssprachlich trotzdem nur als GPS-Empfänger bezeichnet.

2.2 Funktionsweise

Damit ein Empfänger seine Position bestimmen kann, muss er die Signale von mindestens vier Satelliten empfangen. Das Signal eines Satelliten enthält unter anderem Informationen zu seiner Position und seiner Uhrzeit. Aus der Differenz zwischen der Satellitenzeit und dem Zeitpunkt, wo das Signal empfangen wurde, berechnet ein Empfänger seine Distanz zu dem Satelliten. Im Idealfall, wenn die Empfängeruhr absolut synchron zur Weltzeit UTC ist, gilt: Für das Herausfinden der 3D-Position (X, Y und Z oder Länge, Breite und Höhe) auf der Erdoberfläche ergibt diese Distanz-Berechnung zum Satelliten einen Kreis, wo jede Position darauf als wahre Position in Frage kommt. Mithilfe von drei Satelliten wird es möglich, einen Schnittpunkt der Kreise zu berechnen, um so die tatsächliche 3D-Position zu erhalten (Abbildung 1). Da die Empfängeruhr nie absolut synchron zur UTC-Zeit ist, bedarf es einen vierten Satelliten, um alle vier unbekannten Grösse (X, Y, Z und die Zeit T) zu bestimmen.

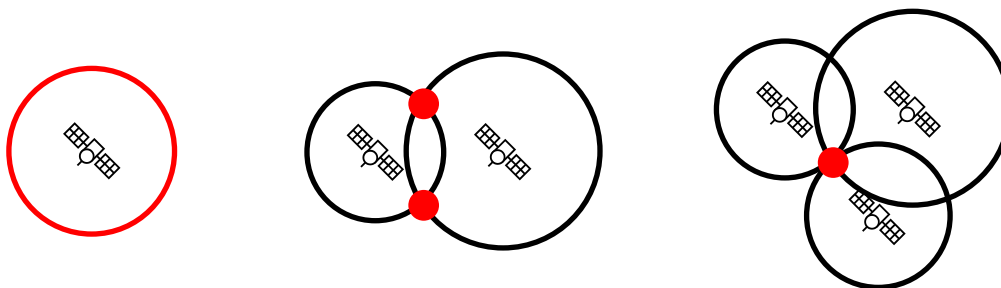


Abbildung 1: Schematische Darstellung der in Frage kommenden Positionen bei 1, 2 und 3 Satelliten.

Die neusten Satelliten strahlen die Signale in drei Frequenzen aus (mit L1, L2 und L5 bezeichnet, L5 erst seit 2011). Handelsübliche Empfänger empfangen nur die Frequenz L1. Professionelle Geräte können zwei oder drei Frequenzen empfangen, womit eine deutlich genauere Positionsbestimmung möglich wird.

2.3 Genauigkeit

Ein handelsüblicher GPS-Empfänger kann eine Genauigkeit von wenigen Metern erreichen, professionelle Geräte kommen in den Zentimeterbereich. Das Berechnen der Position mithilfe der Satellitendistanzen kann aus mathematischer Sicht beliebig genau getan werden. Jedoch gibt es eine Menge an Faktoren, die das Ergebnis verfälschen:

- **Reflexion der Satellitensignale:** Stehen Hindernisse wie Gebäude und Vegetation in unmittelbarer Nähe des Empfängers, dann entsteht das Problem von Multipath. Ein Teil der Signale erreicht den Empfänger nicht direkt, sondern wird zuerst an einem Hindernis reflektiert. Der vom Signal zurückgelegte Weg wird so grösser und damit stimmt die vom Empfänger berechnete Distanz zum Satelliten nicht mehr. Da die Satelliten ständig in Bewegung sind, und somit die Reflexionen unterschiedlich stark sind, handelt es sich dabei nicht um einen konstanten Fehler. Ein nasser Boden erhöht die Signalreflexion zusätzlich.
- **Laufzeitverzögerung in der Atmosphäre:** Sowohl die Ionosphäre als auch die Troposphäre bremsen die Geschwindigkeit der Satellitensignale. Die Sonne bewirkt in der Ionosphäre die Freigabe von Elektronen, welche wiederum Reflexionen der Signale hervorrufen. Je nach Sonnenaktivität ist der Einfluss auf die Laufzeit der Signale ganz unterschiedlich. In der Atmosphäre werden die Signale durch eine unterschiedliche Wasserdampfkonzentration abgebremst. Der Effekt ist nicht so stark wie der in der Ionosphäre, jedoch ist der Einfluss je nach Wetterlage immer wieder anders. Je nach Lage eines Satelliten müssen seine Signale einen unterschiedlich langen Weg durch die Atmosphäre zurücklegen. Der durch die Atmosphäre hervorgerufene Fehler ist damit sowohl Orts- als auch Zeitabhängig.
- **Ungünstige Anordnung der Satelliten:** Je besser die Satelliten vom Betrachter aus gesehen verteilt sind (wenn die Signale von möglichst vielen Himmelsrichtungen kommen), desto genauer kann die Position berechnet werden. Ungünstig ist es, wenn die Satelliten vom Betrachter aus gesehen in einer Linie stehen, beispielsweise wenn das Sichtfeld nur in eine Himmelsrichtung frei ist. Bildlich gesprochen ist in einer solchen Situation weniger klar, wo die Schnittpunkte der Distanzkreise der verschiedenen Satelliten liegen, weil sich diese stärker überschneiden (Abbildung 2).

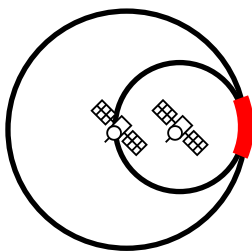


Abbildung 2: Schematische Darstellung einer ungünstigen Satellitenkonstellation.

- **Satellitenuhr- und Umlaufbahn-Fehler:** Die Satelliten enthalten Atomuhren und sind damit sehr genau. Jedoch haben bereits kleinste Abweichungen einen Einfluss auf die Genauigkeit. Neben der Zeit sendet der Satellit auch seine Position, genauer Informationen zu seiner Umlaufbahn. Ein Satellit befindet sich zwar in einer konstanten Umlaufbahn, jedoch kann es durch Gravitationskräfte von Sonne und Mond zu

leichten Abweichungen kommen. Die Bahndaten der Satelliten und die Satellitenuhren werden jedoch regelmässig überprüft und korrigiert.

- **Rundungsfehler:** Bei dem Empfänger entstehen Ungenauigkeiten einerseits durch Rundungen bei der Positionsberechnung und andererseits durch die ungenaue Uhr, die zwar ständig mit den Satellitenuhren synchronisiert wird, aber trotzdem nur eine beschränkte Genauigkeit aufweisen kann.

Mit verschiedenen Methoden und Algorithmen versucht man, diese Störungsfaktoren zu mindern bzw. zu korrigieren, damit die errechnete Position des Empfängers genauer wird. In den nächsten drei Abschnitte über SBAS, Differential GPS und Precise Point Positioning werden solche Methoden vorgestellt. Durch den Empfang von den zwei Frequenzen L1 und L2 sind professionelle GPS-Empfänger in der Lage, die durch die Ionosphäre verursachte Verzögerung der Signale zu berechnen. Das ist möglich, weil die Ionosphäre die Geschwindigkeit der beiden Frequenzen unterschiedlich stark beeinflusst.

Für das Vergleichen der Genauigkeit verschiedener GPS-Empfängern werden unter anderem folgende Begriffe verwendet (Quelle: kowoma.de):

- Präzision (precision) definiert, wie stark die Messpunkte um ihren „Durchschnittspunkt“ verstreut sind.
- Richtigkeit (trueness) definiert, wie genau der Mittelpunkt aller Messpunkte mit der „wahren“ Position übereinstimmt.
- Genauigkeit (accuracy) definiert, wie stark die Messpunkte um die „wahre“ Position verstreut sind.
- CEP (Circular Error Probable) ist ein Mass, das für eine Menge von Messpunkten angibt, wie weit der „schlechteste“ Punkt von der „wahren“ Position entfernt ist. Der CEP wird normalerweise zusammen mit einer Prozentzahl berechnet. CEP 95% bedeutet, dass 95% der „genausten“ Punkte genommen und dann geschaut wird, wie weit der ungenaueste von der wahren Position entfernt ist. Dadurch werden einzelne Ausreisser nicht mitgezählt, die das Ergebnis sonst unbrauchbar machen könnten.

Die Begriffe Präzision, Richtigkeit und Genauigkeit kann man beispielweise mit „hoch“ und „gering“ bzw. „gut“ und „schlecht“ spezifizieren. Eine hohe Genauigkeit ist nur dann gegeben, wenn sowohl die Präzision hoch, als auch Richtigkeit gut ist. Der CEP-Wert wird beispielsweise in Metern angegeben und ist ein konkretes Mass für die „Genauigkeit“.

2.4 Satellite Based Augmentation System (SBAS)

Satellite Based Augmentation System (SBAS) bezeichnet ein System aus Satelliten, das ein vorhandenes Satellitennavigationssystem ergänzt. Das zusätzlich ausgestrahlte Signal der SBAS-Satelliten enthält Informationen, die ein GPS-Empfänger zur Fehlerkorrektur einbeziehen kann und somit eine genauere Position erhält.

EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service) ist ein in Europa erschaffenes SBAS. Das ausgesendete Signal enthält unter anderem eine interpolierte Karte über den Zustand der Ionosphäre über Europa, womit ein GPS-Empfänger die durch Signalverzögerung entstandenen Fehler in der Positionsbestimmung herausrechnen kann. Neben einer Verbesserung der Genauigkeit kann SBAS innerhalb weniger Sekunden mitteilen, wenn die GPS-Genauigkeit nicht mehr zuverlässig ist, beispielsweise wenn ein GPS-Satellit einmal

falsche Daten liefern sollte. Dadurch steigt das Vertrauen in die Positionsangabe eines Navigationssystems, was besonders bei sicherheitskritischen Anwendungen wichtig ist, wie in der Luftfahrt oder bei dem Manövrieren von Schiffen.

Neben dem europäischen System gibt es noch WAAS (Nordamerika) und MSAS (Japan), weitere befinden sich im Aufbau.

2.5 Differential GPS/GNSS und Real Time Kinematic (RTK)

DGPS (verallgemeinert DGNSS) ist ein Verfahren, bei dem der Empfänger zusätzlich ein Korrektursignal von einer Referenzstation erhält. Diese Referenzstation besteht auch aus einem weiteren GPS-Empfänger, dessen Position mit hoher Genauigkeit bekannt ist. Aus der bekannten Position und der momentan errechneten Position findet die Referenzstation heraus, wie stark die GPS-Signale momentan verzögert sind. Mit diesem Korrekturverfahren werden Genauigkeiten von unter einem Meter möglich.

Real Time Kinematic (RTK) ist ein Verfahren, welches bei einem bewegten Empfänger sehr genaue Positionierungsergebnisse liefert. Wie beim DGPS werden Korrekturdaten einer feststehenden Referenzstation empfangen und in Echtzeit verarbeitet. Dabei werden die Phase des Trägersignals ausgewertet und Mehrdeutigkeiten bei der Berechnung in Echtzeit herausgerechnet.

Realtime (Echtzeit) und Postprocessing (Nachverarbeitung) sind entgegengesetzte Begriffe. Bei Realtime stehen die Resultate nach max. 1-3 Sekunden Verzögerung bereit. Postprocessing erzeugt Resultate im Nachhinein – das kann sein, dass die Daten von einem statischen (z.B. Referenzstation) oder einem kinematischen (bewegten) Rover kommen. BNC und RTKLIB beispielsweise sind Real-time Software, wobei RTKLIB auch das Postprocessing beherrscht.

2.6 Precise Point Positioning (PPP)

Precise Point Positioning (PPP) bezeichnet eine Technik bzw. ein Algorithmus für das Verarbeiten von GPS-Daten, um die Genauigkeit der Positionsbestimmung zu erhöhen. Wie der PPP-Algorithmus aussieht, ist nicht klar definiert. Gewisse eignen sich für bewegte Messungen, also kinematische Positionsbestimmung, andere setzen voraus, dass sich der Empfänger nicht bewegt, um so einen einzelnen Punkt genau zu bestimmen. Mit PPP werden cm-genaue Positionen möglich, neue Algorithmen dringen sogar in den Millimeter-Bereich vor. Grundsätzlich sind mit einem professionellen Zweifrequenzempfänger bessere Ergebnisse möglich, als mit einem handelsüblichen Einfrequenzempfänger. Aber auch mit günstigen Empfängern sind gute Ergebnisse erzielbar, insbesondere bei Messungen im Stillstand und längerer Wartezeit, weil die errechnete Position, mit gewissen Schwankungen, immer näher zu seiner wahren Position konvergiert. Im Gegensatz zu anderen Verarbeitungsmethoden – wie beispielsweise dem DGPS – wird bei PPP keine Referenzstation benötigt. Mit zusätzlichen Daten, beispielsweise genauen Satellitenbahnen und Satellitenuhren, ist eine weitere Genauigkeitssteigerung möglich. Solche Daten werden beispielsweise vom International GNSS Service (IGS) oder dem European Space Operations Center (ESOC) zur Verfügung gestellt.

PPP arbeitet mit verschiedenen Korrekturmodellen, um die verschiedenen Fehlerquellen zu minimieren. Je nach Algorithmus und verfügbarer Daten können unter anderem folgende Faktoren in das Korrekturmodell mit einbezogen werden:

- Korrektur der Phasenbeobachtungen wegen der Abweichung Phasenfront und Rotation (Lage- und Höhenfehler von einigen mm)
- Korrektur der Stationskoordinaten wegen der Verformung der Erde durch Anziehungskräfte von Sonne und Mond (Höhenfehler von bis zu einigen dm, Lagefehler von bis zu einigen cm)
- Korrektur von küstennahen Stationen wegen der Reaktion der Erdoberfläche auf die Belastung der ozeanischen Gezeiten (Höhenfehler von bis zu 5 cm)
- Korrektur der Stationskoordinaten wegen der Verlagerung der Erdachse bezüglich der Erdkruste (Lagefehler von wenigen cm)
- Eliminierung des Laufzeitverzögerungs-Fehlers in der Ionosphäre durch Zweifrequenz-Messungen
- Eliminierung des Laufzeitverzögerungs-Fehlers in der Troposphäre durch Berücksichtigung vom atmosphärischen Druck, wasserdampfpartialdruck und Temperatur

3 Ausrüstung

3.1 Hardware

Für diesen Report war ein passendes Testgerät nötig. Die Möglichkeit der Rohdatenausgabe war die wichtigste Anforderung an den GPS-Empfänger, weil nur so ein nachträgliches Verarbeiten möglich ist. Ausserdem musste das Gerät auch in dem Sinne günstig sein, dass es für eine Privatperson noch erschwinglich ist. Die Produkte der Firma u-blox schienen als geeignet, da sie mehrere Positionierungs-Module mit Rohdatenausgabe im Angebot haben. Die Entscheidung fiel auf das Modul NEO-6P. Das spezielle am NEO-6P ist ein eingebauter Precise Point Positioning (PPP) Algorithmus, welcher eine höhere Positionierungsgenauigkeit verspricht, ohne dass eine Nachbearbeitung am PC nötig wäre. Diese Implementierung des PPP-Algorithmus beruht insbesondere auf einer geschickten Verarbeitung der Korrekturdaten von SBAS-Satelliten. Darüber hinaus glättet der Algorithmus das Ergebnis mit dem sogenannten carrier-smoothing, was in dieser günstigen Preisklasse eine Seltenheit ist. Diese Verfahren spielen ihre Stärke insbesondere im Stillstand oder bei langsamer Bewegung des Empfängers aus.

Die Positionierungs-Module von u-blox sind – wenn auch der wesentlichste – nur ein Bestandteil eines GPS-Empfängers. u-blox selber bietet nicht direkt fertige Lösungen an, sondern nur diese Module. Die Verarbeitung zu einem fertigen Produkt übernahm die Firma OptimalSystem aus Deutschland (www.optimalsystem.de). Sie verbaute das NEO-6P Modul einerseits in eine Art USB-Stick und andererseits in ein wetterfestes Gehäuse als Logger.



Abbildung 3: NEO-6P kompakt verbaut in einem „USB-Stick“.

Während der kompakte NEO-6P (Abbildung 3) zusammen mit einem Laptop betrieben werden muss, kann der Logger (Abbildung 4) auch unabhängig von einem PC Daten aufzeichnen. Dieses Gerät verfügt auch über eine Bluetooth-Antenne, über die die aufgezeichneten Daten live empfangen werden können.

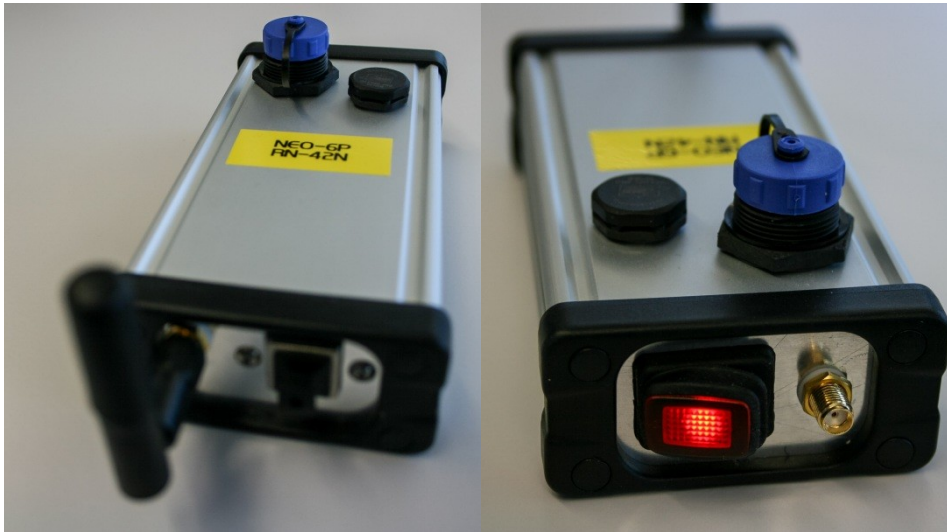


Abbildung 4: NEO-6P als autonomer Logger in wetterfestem Gehäuse.

Zusätzlich ist eine Antenne für den Empfang der Satellitensignale notwendig. Hierfür ist die TW2410 von Tallysman zum Einsatz gekommen (Abbildung 5).



Abbildung 5: Tallysman TW2410 Antenne mit SMA-Steckverbinder.

Die Antenne wurde zusammen mit einem Stativ auf einer Grundplatte befestigt (Abbildung 6). Dadurch kann der Wirkungsgrad der Antenne erhöht werden. Die vom Boden reflektierten Satellitensignale werden geringfügig vermindert (weniger Multipath). Reflektierte Signale von nahe stehenden Hindernissen wie Gebäudefassaden werden so jedoch nicht abgeschirmt.



Abbildung 6: Logger zusammen mit Antenne, Grundplatte und Stativ.

3.2 Software

Für die Aufzeichnung der ausgegebenen Daten vom NEO-6P wurde die Software u-center von u-blox verwendet. Mit der Software lassen sich alle einstellbaren Parameter vom NEO-6P verändern, unter anderem kann man auch festlegen, ob auch die Rohdaten mitausgegeben werden sollen. Gespeichert werden die geloggten Daten in dem u-blox eigenen binären UBX-Format.

Es gibt verschiedene Tools, die das Postprocessing der Rohdaten des Empfängers unterstützen. In diesem Report wird insbesondere auf RTKLIB eingegangen. RTKLIB ist Open Source und unterstützt unterschiedliche Verfahren der Nachbearbeitung.

3.3 Entstandene Kosten

Der NEO-6P als USB-Stick und Logger kostete jeweils etwa 500 Franken, wobei die Grundplatte für die Antenne enthalten war. Die Antenne selber kostete nochmals etwa 150 Franken.

Der Preis des als Vergleichsgerät dienenden Garmin GPSMAP 60CSx betrug etwa 650 Franken.

4 Feldexperimente

4.1 Einleitung

Der NEO-6P musste seine Leistungsfähigkeit in mehreren Tests unter verschiedenen Bedingungen beweisen. Gemessen wurde beispielsweise die Zeit, die der Empfänger benötigt, bis die Positionsbestimmung möglich ist. Weiter wurde geschaut, wie genau der NEO-6P seine Position bestimmt und zwar unter freiem Himmel, zwischen Gebäuden sowie im Wald. Im Falle des Vorhandenseins von Vermessungsbolzen, standen hochgenau Referenzdaten durch die amtliche Vermessung zur Verfügung. In den anderen Fällen wurde die Genauigkeit mithilfe von Luftaufnahmen in Google Earth abgeschätzt.

Einige der Tests wurden gleichzeitig mit dem GPSMAP 60CSx (MTK-Chipsatz) von Garmin durchgeführt. Dieser GPS-Empfänger ist als ein genaues und bewährtes Gerät bekannt und liegt preislich auf einem ähnlichen Niveau wie die Empfänger mit dem NEO-6P.

Die Genauigkeiten werden gewöhnlich als Circular error probable in Meter angegeben. „CEP 50%“ beispielsweise bedeutet, dass man 50% der genauesten Punkte nimmt und dann angibt, wie viele Meter der ungenaueste Punkt der verbliebenen Punkte vom Referenzpunkt entfernt ist. Berechnet wurden die Werte mithilfe der Software DNRGPS vom Department of Natural Resources Minnesota.

4.2 Testrecken

Teststrecke 1:

Rapperswil, HSR, ca. 250 m lang. Vgl. Abbildung 7.

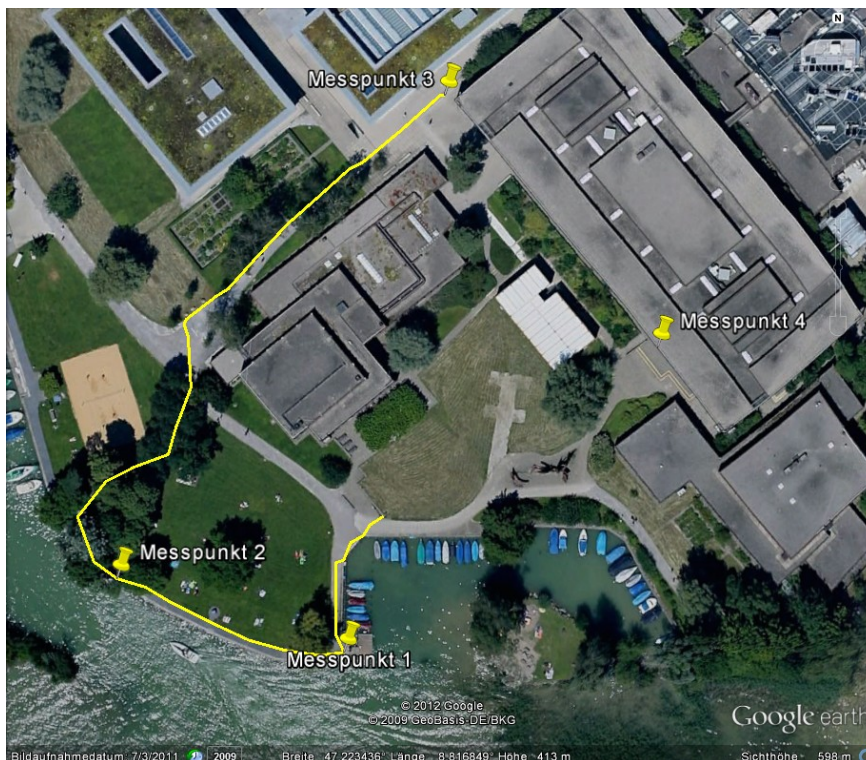


Abbildung 7: Teststrecke 1 auf dem HSR-Gelände.

Messpunkte (Vermessungsbolzen, Angaben in WGS84):

	Longitude (X)	Latitude (Y)	Elevation (H)	Beschreibung
Messpunkt 1	8.8164881°	47.22234887°	454.4281 m	Wenig Hindernisse
Messpunkt 2	8.815744112°	47.22251979°	454.4215 m	Einzelne Bäumen
Messpunkt 3	8.816822556°	47.2235848°	455.0676 m	Zwischen Gebäuden
Messpunkt 4	8.817487681°	47.22303931°	455.4843 m	Zwischen Gebäuden

Teststrecke 2:

Bonstetten, Wald, ca. 1.8 km lang. Vgl. Abbildung 8.

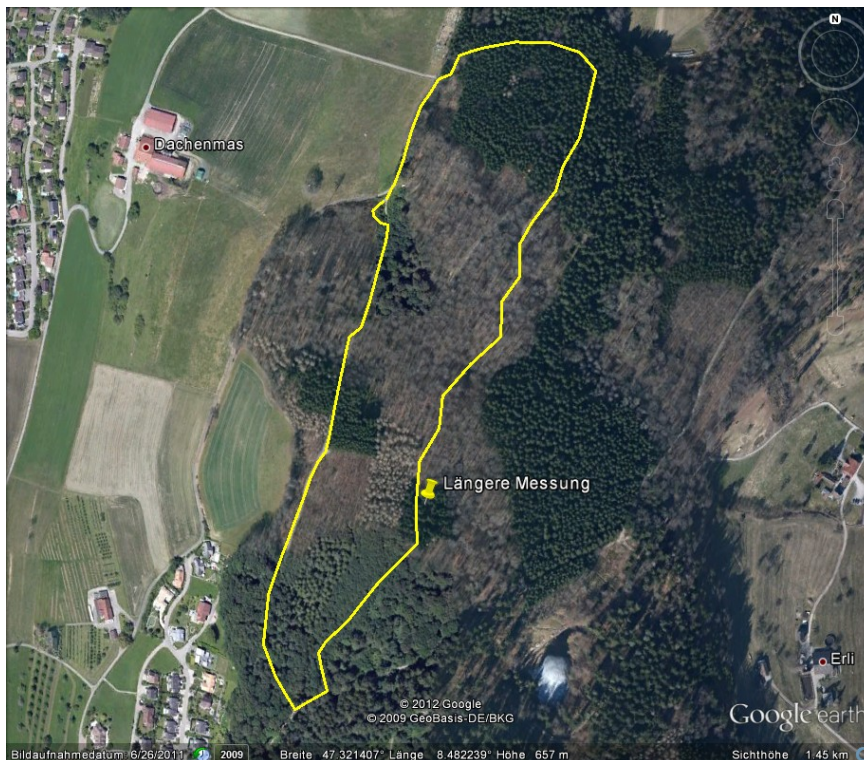


Abbildung 8: Teststrecke 2 im Wald.

Die „wahren Positionen“ wurden auf dieser Teststrecke mithilfe der Luftaufnahmen abgeschätzt mit der Annahme, dass diese höchstens ein paar Meter daneben liegen.

4.3 Test 1: Warmlaufzeit

Ziel:

Messen der Zeit bis Positionsbestimmung möglich (Time-To-First-Fix/ 3D fix) und bis SBAS-Signal einberechnet wird (DGPS). Die Messungen wurden jeweils an verschiedenen Tagen durchgeführt und es gab keine Hindernisse in direkter Nähe der GPS-Antenne.

Vorgehen:

Gleichzeitiges testen von NEO-6P und 60CSx. Direkte Zeitmessung beim 60CSx und Aufzeichnung vom NEO-6P zur anschliessenden Auswertung.

Ergebnis:

NEO-6P:

	Cold	Warm	Hot
Messung 1	TTFF: 58 s DGPS: 3 min 3 s		
Messung 2	TTFF: 17 s DGPS: 3 Min 20 s		
Messung 3	TTFF: 25 s DGPS: 6 Min 30 s	TTFF: 20 s	TTFF: 1 s
Messung 4	TTFF: 33 s DGPS: 2 Min 54 s	TTFF: 20 s	TTFF: 1 s
Messung 5	TTFF: 36 s DGPS: 4 Min 14 s	TTFF: 30 s DGPS: 5 Min 6 s	TTFF: 1 s DGPS: 2 Min 56 s

NEO-6P Herstellerangaben:

	Time-To-First-Fix
Cold Start	32 s
Warm Start	32 s
Hot Start	1 s

60CSx: (Kein Kaltstart möglich)

Messung 1	TTFF: 35 s DGPS: 8 min
Messung 2	TTFF: 22 s DGPS: > 10 min
Messung 3	TTFF: 30 s DGPS: 2 min 15 s
Messung 4	TTFF: 33 s DGPS: 7 min 30 s
Messung 5	TTFF: 32 s DGPS: 2 min 40 s

Fazit:

Die Zeit für den ersten Fix (Time-To-First-Fix) war an der gleichen Position jeweils sehr unterschiedlich. Die Herstellerangaben von 32 Sekunden für cold und warm start sind auf jeden Fall erreichbar und scheinen einen guten Durchschnittswert zu sein.

Bei freier Sicht nach Süden werden die Signale der SBAS-Satelliten meistens nach spätestens fünf Minuten zur Fehlerkorrektur miteinbezogen.

Ein direkter Vergleich mit dem 60CSx ist nur bedingt möglich, weil bei diesem Gerät Almanachdaten im Gerät gespeichert werden und ein cold start daher nicht direkt möglich ist.

4.4 Test 2: Genauigkeit „zu Fuss“

Ziel:

Herausfinden der Positions-Genauigkeit in Abhängigkeit von unterschiedlichen Warmlaufzeiten und Wartezeiten bei den Messpunkten:

Zeit Start\Messung	Ohne Warten	15 Sekunden	60 Sekunden
1 Minute	Messung 1	Messung 2	Messung 3
5 Minuten	Messung 4	Messung 5	Messung 6
10 Minuten	Messung 7	Messung 8	Messung 9

Vorgehen:

Durchführung mit alle Kombinationen von Aufwärmzeit und Wartezeit bei den Messpunkten.
Ort ist die Teststrecke 1 (Messpunkte 1-3).

Ergebnis:

Circular error probable in Meter

Messpunkt 1:

		Messzeit			
		Ohne Warten	15 Sekunden	60 Sekunden	
Aufwärmzeit	1 Minute	50% = 1.23 95% = 1.34	50% = 0.30 95% = 0.34	50% = 0.42 95% = 0.97	Durchschnitt: 50% = 0.65 95% = 0.88
	5 Minuten	50% = 0.55 95% = 1.33	50% = 0.75 95% = 0.96	50% = 0.82 95% = 2.11	Durchschnitt: 50% = 0.71 95% = 1.47
	10 Minuten	50% = 0.34 95% = 1.08	50% = 0.45 95% = 0.55	50% = 0.23 95% = 0.48	Durchschnitt: 50% = 0.34 95% = 0.7
		Durchschnitt: 50% = 0.71 95% = 1.25	Durchschnitt: 50% = 0.50 95% = 0.62	Durchschnitt: 50% = 0.49 95% = 1.19	

Messpunkt 2:

		Messzeit			
		Ohne Warten	15 Sekunden	60 Sekunden	
Aufwärmzeit	1 Minute	50% = 0.72 95% = 0.91	50% = 1.07 95% = 1.17	50% = 1.53 95% = 2.88	Durchschnitt: 50% = 1.11 95% = 1.65
	5 Minuten	50% = 0.89 95% = 1.07	50% = 1.47 95% = 1.81	50% = 1.27 95% = 3.45	Durchschnitt: 50% = 1.21 95% = 2.11
	10 Minuten	50% = 1.26 95% = 1.91	50% = 4.23 95% = 5.00	50% = 3.42 95% = 4.09	Durchschnitt: 50% = 2.97 95% = 3.67
		Durchschnitt: 50% = 0.96 95% = 1.30	Durchschnitt: 50% = 2.26 95% = 2.66	Durchschnitt: 50% = 2.07 95% = 3.47	

Messpunkt 3:

		Messzeit			
		Ohne Warten	15 Sekunden	60 Sekunden	
Aufwärmzeit	1 Minute	50% = 2.87 95% = 3.85	50% = 3.05 95% = 3.79	50% = 5.76 95% = 6.36	Durchschnitt: 50% = 3.89 95% = 4.67
	5 Minuten	50% = 2.77 95% = 3.81	50% = 5.92 95% = 8.40	50% = 1.48 95% = 2.69	Durchschnitt: 50% = 3.39 95% = 4.97
	10 Minuten	50% = 6.61 95% = 9.37	50% = 11.51 95% = 11.9	50% = 8.23 95% = 8.66	Durchschnitt: 50% = 8.78 95% = 9.98
		Durchschnitt: 50% = 4.08 95% = 5.68	Durchschnitt: 50% = 6.83 95% = 8.03	Durchschnitt: 50% = 5.16 95% = 5.90	

Fazit:

Ein klarer Trend der Genauigkeit in Abhängigkeit von Aufwärmzeit und Messzeit ist nicht sichtbar. Bei dem 1. Messpunkt, der im Gegensatz zu den anderen Messpunkten nur wenige Hindernisse rundherum hat, kann man am ehesten sagen, dass bei längerer Aufwärm- und Messzeit die Genauigkeit besser wird. Bei den anderen Messpunkten war der Trend unerwarteterweise genau umgekehrt. Es spielten sicher auch noch andere Einflüsse eine Rolle, beispielsweise die Konstellation der Satelliten an den jeweiligen Tagen sowie die jeweils unterschiedliche Störung des Satellitensignals durch die Ionosphäre und Troposphäre.

Anhand vom Messpunkt 1 kann man sagen, dass der NEO-6P auch bei kurzer Aufwärmzeit und kurzer Messzeit genaue Positionsangaben liefern kann. Jedoch kann die Genauigkeit auch sehr schlecht werden, wenn Hindernisse wie Bäume und Gebäude im Weg sind. In diesem Fall merkt man auch bei bestehendem SBAS-Empfang keine Verbesserung durch die Fehlerkorrekturen mit PPP.

4.5 Test 3: Wald

Ziel:

Untersuchung des Verhaltens im Wald. Bleibt die Spur konstant oder gibt es starke Ausreisser? (Abschätzung der Genauigkeit mit Google Earth).

Vorgehen:

15 Minuten warmlaufen lassen ausserhalb des Waldes, danach Ablaufen der Teststrecke 2 im Wald. Zwischendurch längere Messung an einem Punkt während 10 Minuten.

Ergebnis:

Grüne Spur: NEO-6P. Blaue Spur: 60CSx. Siehe Abbildungen 9 und 10.



Abbildung 9: Übersicht (links) und Ergebnis der 10 Minuten Messung.

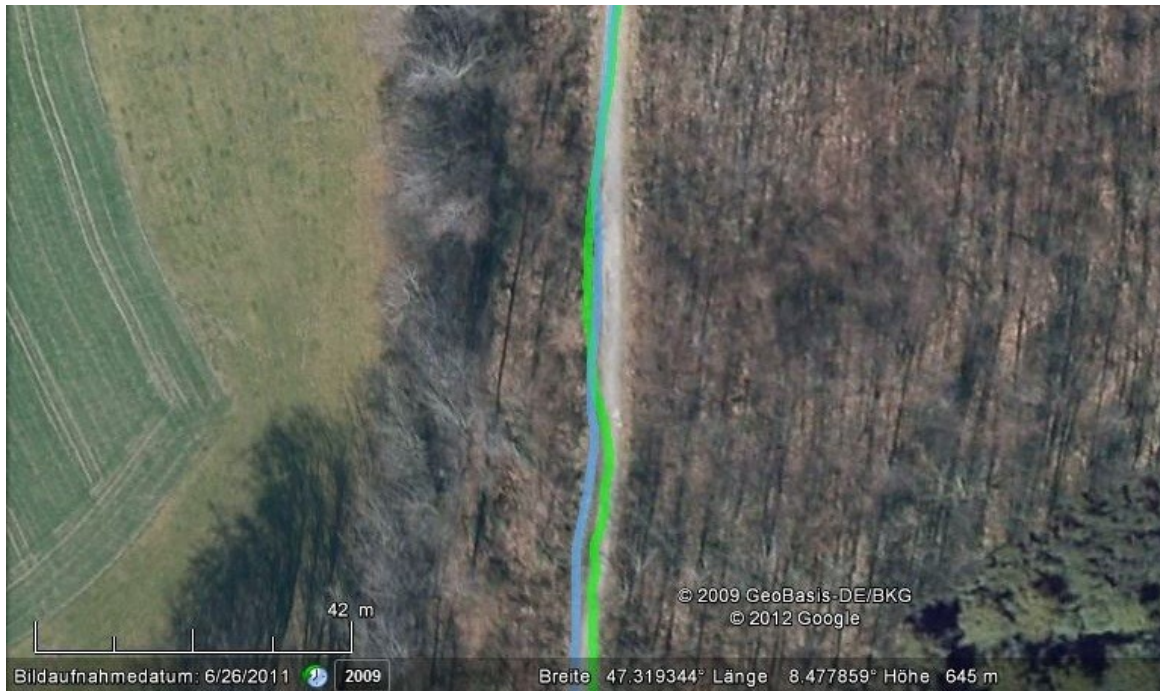


Abbildung 10: Abschätzung der Genauigkeit mit den Satellitenbildern in Google Earth.

Fazit:

Die aufgenommene Spur von NEO6-P wies am Schluss nur einen Ausreisser von ca. 20 Metern zur geschätzten wahren Position aus. Ansonsten war die Spur relativ konstant und wich selten mehr als 2 Meter von dem auf dem Satellitenbild sichtbaren Weg ab (nur geschätzte Distanzmessung). Die Spur vom 60CSx war ähnlich genau und konstant.

Bei der 10 Minuten Punktmessung im Wald (hohe Bäume und dicht beieinander) streuten sich die Punkte nur wenig um den Mittelpunkt dieser Punkte (Durchschnitt aller X- und Y-Werte, die genauen Koordinaten sind nicht bekannt). CEP in Meter: 50% = 0.89, 95% = 1.72. Der 60CSx unterschied sich am Anfang um etwa 3 Meter zur Position des NEO-6P, bewegt sich dann aber während der 10 Minuten Messung in einer mehr oder weniger geraden Linie vom ursprünglichen Punkt um etwa 7 Meter weg.

4.6 Test 4: Genauigkeit mit statischer Messung

Ziel:

Messen der Positions-Genauigkeit bei einem Fixpunkt und längerer Messung am Ort.

Vorgehen:

15 Minuten warmlaufen lassen und danach 15 Minuten Messung. Durchführung an vier verschiedenen Tagen und Verwendung von 60CSx zum Vergleichen. Als Ort der Messung dienten dabei der Messpunkt 1 (gute Empfangsbedingungen) und Messpunkt 4 (schlechte Empfangsbedingungen) der Teststrecke 1. Da es sich bei den Messorten um Vermessungspunkte handelt, standen uns Koordinaten mit Genauigkeiten im Millimeterbereich zur Verfügung.

Ergebnis:

Circular error probable in Meter

Messpunkt 1 von Teststrecke 1:

	NEO-6P	60CSx
Messung 1	50% = 0.83 95% = 0.91	50% = 2.39 95% = 2.47
Messung 2	50% = 0.74 95% = 0.90	50% = 2.50 95% = 2.62
Messung 3	50% = 0.74 95% = 0.87	50% = 1.80 95% = 2.00
Durchschnitt	50% = 0.77 95% = 0.89	50% = 2.23 95% = 2.36

Messpunkt 4 von Teststrecke 1:

	NEO-6P	60CSx
Messung 1	50% = 4.44 95% = 7.32	50% = 12.12 95% = 14.38
Letzte 4 Minuten von Messung 1	50% = 1.46 95% = 1.97	50% = 11.22 95% = 11.82

Fazit:

Der Messpunkt 1 hat fast keine Hindernisse um sich. Die gemessenen Punkte waren ungefähr zwischen 20 cm und 100 cm vom Referenzpunkt entfernt. Kein Punkt bei den Messungen war ungenauer als einen Meter. Der 60CSx war jeweils um etwa 2 Meter vom Referenzpunkt entfernt.

Beim 2. Messpunkt waren die Bedingungen für den Empfang der GPS-Signale sehr schlecht, der Blick zum Himmel war nur in Richtung Südwest frei. Die Position pendelte anfangs stark um den Referenzpunkt aber nach 11 Minuten stabilisierte sich die Position etwas und das pendeln war kleiner. Die Position vom 60CSx war deutlich ungenauer.

4.7 Test 5: Genauigkeit mit langer statischer Messung

Ziel:

Messen der Positions-Genauigkeit bei einem Fixpunkt. Im Gegensatz zum vorherigen Test wurde die Wartezeit nochmals deutlich erhöht. Ort ist wiederum der Messpunkt 1 von Teststrecke 1.

Vorgehen:

15 Minuten warmlaufen lassen und danach 90 Minuten Messung.

Ergebnis:

Circular error probable in Meter

50% = 0.64

95% = 0.82

Fazit:

Die Genauigkeit hat sich gegenüber den 15 Minuten Messungen bei Test 4 nur geringfügig verbessert. Jedoch wird sich mit dem Postprocessing im Kapitel 5 zeigen, dass sich durch die lange Messung ein deutlich besseres Ergebnis erzielen lässt

4.8 Vergleich NEO-6P / 60CSx

Das Garmin GPSMAP 60CSx gilt als ein ausgereiftes und genaues Gerät. Das Ergebnis war für dieses Preissegment gut, unter optimalen Bedingungen betrug die Abweichung der angegebenen Position zum Referenzpunkt nur etwa 2 Meter. Ein entscheidender Vorteil ist, dass es unabhängig von einem Laptop funktioniert und Karten auf dem Gerät anzeigen kann.

Der PPP-Algorithmus vom NEO-6P hatte einen spürbaren Einfluss auf die Genauigkeit. Die Abweichungen betrug im Optimalfall stets weniger als einen Meter. Trotz dem ähnlichen Preissegment wie beim 60CSx holt der NEO-6P noch deutlich mehr aus den frei verfügbaren GPS-Signalen heraus. Der NEO-6P als USB Stick musste während der Aufnahme an einem Laptop angeschlossen sein, der NEO-6P Logger konnte auch autonom betrieben werden.

Sind die Bedingungen verschlechtert, beispielweise im Wald oder durch nahe Gebäudewandfassaden, verschwinden jedoch die Vorteile des PPP-Algorithmus, die Ablenkung durch reflektierte Signale ist zu stark. Das Garmin 60CSx schlägt sich hier teilweise besser, indem es die Position stärker glättet. Damit wird zwar nicht unbedingt die Positionsgenauigkeit erhöht, aber die ausgegebene Position springt weniger hin und her.

5 Postprocessing

5.1 Datengrundlage

Bei den im letzten Kapitel beschriebenen Feldexperimenten sind nicht nur die durch den NEO-6P verarbeiteten Positionsangaben aufgezeichnet worden, sondern gleichzeitig auch die so genannten Rohdaten. Das sind die unverarbeiteten digitalisierten Signale, die durch die Antenne von den Satelliten empfangen wurden.

Mit diesen Rohdaten und einer geeigneter Software kann die jeweilige Position mit einer anderen Methode errechnet werden, als dies der GPS-Empfänger tut. Je nach Verfahren werden dazu weitere Daten benötigt, beispielsweise Informationen, wie stark die GPS-Signale zu dem entsprechenden Zeitpunkt durch verschiedene Einflüsse gestört waren.

Ziel war es zu schauen, ob damit noch eine höhere Genauigkeit möglich ist und ob sich der zusätzliche Aufwand lohnt.

5.2 Onlinedienste

Eine komfortable Art des Postprocessings bieten Onlinedienste. Beispiele:

- APPS vom California Institute of Technology: <http://apps.gdgps.net/>
- CSRS von Natural Resources Canada:
http://www.geod.nrcan.gc.ca/online_data_e.php
- magicGNSS von GMV: <http://magicgnss.gmv.com/>

Diese Onlinedienste versprechen, mit einem PPP-Algorithmus Rohdaten zu hochgenauen Positionsangaben zu verarbeiten. Jedoch haben diese Dienste gemeinsam, dass ihre Algorithmen auf die Daten von Zweifrequenzempfänger ausgerichtet sind, womit diese für unsere Daten nicht in Frage kommen.

5.3 RTKLIB

Es musste also eine geeignete Software her, die entsprechende Verarbeitungsmethoden auch für einen Einfrequenzempfänger unterstützt. Ein Beispiel ist der BKG Ntrip Client (BNC), der einen PPP-Algorithmus sowohl zur Echtzeit- als auch nachträglichen Verarbeitung bietet. Die Entscheidung der zu verwendenden Software viel auf RTKLIB (in der Version 2.4.1). Diese Toolsammlung bietet eine Vielzahl an Möglichkeiten, GPS-Daten zu konvertieren und zu verarbeiten.

RTKLIB ist eine Sammlung von Open Source Programmen, die das Verarbeiten von Daten aus GNSS-Empfängern ermöglichen. Unterstützt werden Real-time und Postprocessing, statische und kinematische Messungen, sowie eine Vielzahl von Formaten und Protokollen, darunter auch proprietäre.

Folgende Tools sind unter anderem in der Sammlung enthalten:

- **RTKNAVI:** Empfängt in Echtzeit Rohdaten von einem GPS-Empfänger und berechnet daraus mit einer wählbaren Methode die aktuelle Position. Es sind mehrere Eingangsquellen möglich, beispielsweise zusätzlich zum Empfänger eine Referenzstation oder ein Ntrip Server.

- **RTKPOST:** Im Gegensatz zu RTKNAVI verarbeitet RTKPOST Rohdaten erst im Nachhinein, hier spricht man vom Postprocessing. Die Funktionen und Einstellungsmöglichkeiten sind ansonsten ähnlich.
- **RTKPLOT:** Visualisierungswerkzeug zum Anzeigen von durch GPS-Empfänger erzeugten Daten.
- **RTKCONV:** Kann verschiedene Formate lesen und in das Standardformat RINEX (Receiver Independent Exchange Format) konvertieren. RINEX wird unter anderem für das Tool RTKPOST benötigt.
- **NTRIPSRCBROWS:** Verbindet sich mit einem NTRIP Server und zeigt verfügbare Datenquellen an.

5.4 Rohdaten konvertieren

Die Daten des NEO-6P liegen im UBX-Format vor, ein proprietäres Format der Firma u-blox. Das RTKLIB-Tool RTKPOST kann dieses Format nicht direkt lesen, jedoch ist ein Tool namens RTKCONV enthalten (Abbildung 11), das verschiedenste Formate in das von RTKPOST lesbare Rinex-Format umwandelt.

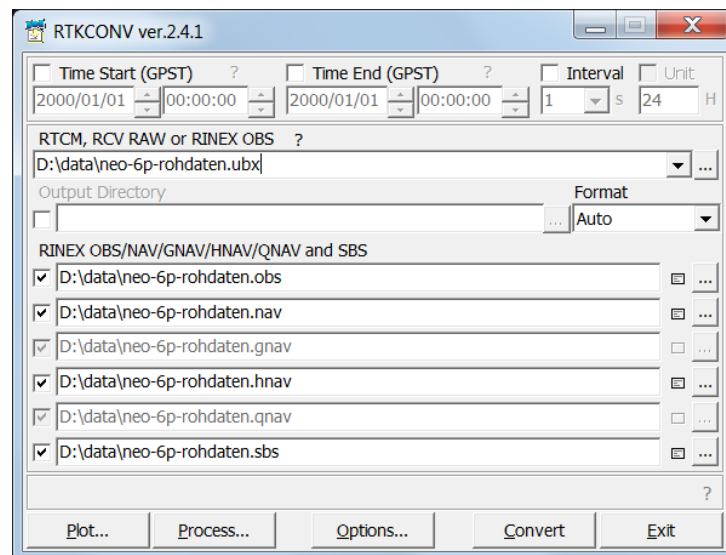


Abbildung 11: RTKCONV – Konvertiert GPS-Daten in das Rinex-Format.

Gleichzeitig können die Daten durch Zeitangaben beschnitten werden. Damit kann man beispielsweise sicherstellen, dass das Ergebnis durch schlechte Signale in der Aufwärmphase nicht verfälscht wird. Wichtig ist, dass die Zeit der GPS-Uhr angegeben werden muss (~UTC). Am besten schaut man sich die UBX-Datei mit RTKPLOT an, dort wird Start- und Endzeit der Aufzeichnung in der Statusleiste angegeben (Abbildung 12). Ein klicken auf „Convert“ in RTKCONV startet den Konvertierungsprozess.

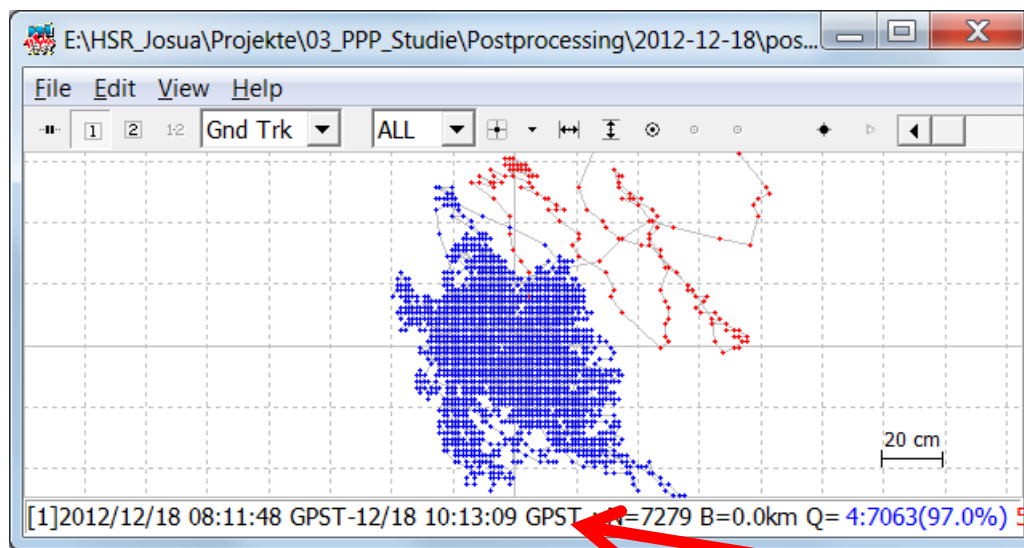


Abbildung 12: Auslesen der GPS-Zeit, während der die Messung stattgefunden hat.

5.5 Postprocessing

Sind die UBX-Rohdaten mit RTKCONV konvertiert, können diese in RTKPOST verwendet werden. Folgendes sind einige der Methoden, die das Tool zur Verarbeitung der Daten bietet:

DGPS/DGNSS:

Korrektur mithilfe der Daten einer Korrekturstation, von der die Koordinaten sehr genau bekannt sind. RTKLIB erkennt auf diese Weise Fehler in der Laufzeit der Satellitensignale, die beispielsweise durch die Ionosphäre verursacht wurden.

Static:

Carrier-based Static positioning. Setzt eine Messung im Stillstand voraus und benötigt die Korrekturdaten einer Referenzstation.

Die ausgegebenen Punkte sind mit einer Farbe versehen, die eine Angabe der zu erwartenden Genauigkeit liefern (Quality flag): **Fixed** (grün), **Float** (gelb), **DGPS** (blau) und **Single** (rot). Fixed (grün) steht also für die maximal zu erwartende Qualität, Single (rot) für eine unzuverlässige Genauigkeit.

PPP Static:

Ein Precise Point Positioning Algorithmus für Messungen im Stillstand.

Abbildung 13 zeigt einen Teil des Einstellungen-Dialogs.

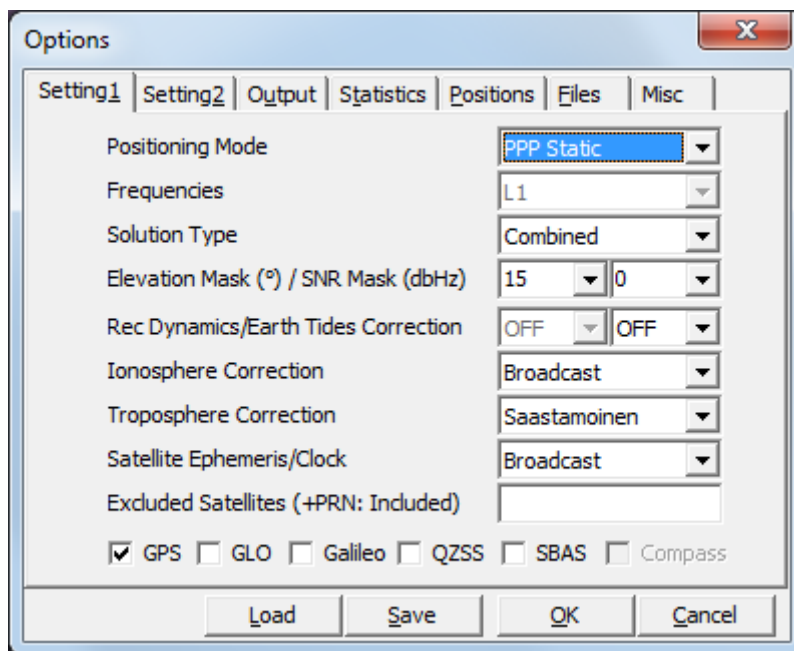


Abbildung 13: Eigenschaftfenster von RTKPOST.

5.6 Referenzdaten

Swisstopo (swipos):

In der Schweiz stellt das Bundesamt für Landestopografie swisstopo sowohl kostenlose als auch kostenpflichtige Korrekturdaten zur Verfügung. Kostenlos empfangen werden können die Daten von einer Referenzstation in Luzern über das Ntrip-Protokoll². Dieses Protokoll ist grundsätzlich für die Echtzeitauswertung der GPS-Signale ausgelegt, weil nur die jeweils aktuellen Korrekturdaten empfangen werden. Es besteht aber die Möglichkeit, die mit Ntrip empfangenen Daten zu dem jeweiligen gebrauchten Zeitpunkt aufzuzeichnen, dann ist mit den kostenlosen Daten auch ein Postprocessing möglich.

Das kostenpflichtige Angebot, erreichbar unter www.swipos.ch, bietet mehrere Vorteile. Man kann einerseits Daten herunterladen, die mehrere Monate alt sind und andererseits stehen etwa 30 Referenzstationen zur Verfügung, die über die ganze Schweiz verteilt sind. Durch das Wählen einer Station, die möglichst nahe bei der zu verbessernden Position liegt, kann ein genaueres Ergebnis erzielt werden. Zudem befinden sich die Daten bereits in dem vom RTKLIB lesbaren RINEX-Format. Die Kosten belaufen sich auf CHF 0.50 pro Datenminute. Für den Test 4 aus Kapitel 4 bedeutet das beispielsweise, dass für jede einzelne 15-Minuten-Messung ca. CHF 7.50 aufgewendet werden muss, um den Messbereich zeitlich mit einer Station abzudecken.

Ntrip Broadcaster:

Die Seite www.rtcn-ntrip.org/home bietet eine weltweite Übersicht von frei verfügbaren Ntrip Servern.

² <http://www.swisstopo.admin.ch/internet/swisstopo/de/home/products/services/swipos/nav.html>

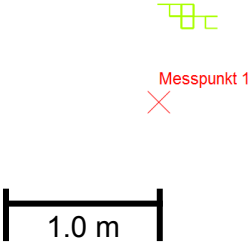
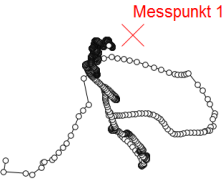
5.7 Ergebnisse

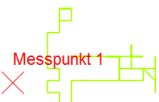
Als Testdaten dienten die Messungen von Test 4 und 5 im Kapitel 4. Bei diesen Tests wurden die Rohdaten der Satellitensignale jeweils mitaufgezeichnet. Es werden die beiden Verfahren PPP Static und Static von RTKLIB mit der direkten Ausgabe des NEO-6P verglichen. Beim PPP werden zuerst alle und dann nur die letzten zehn Punkte betrachtet, weil das Ergebnis konvergieren, also genauer werden soll. Beim Static-Verfahren werden auch zuerst alle und dann nur die Fixed-Punkte mit der grünen Farbe betrachtet, die tendenziell genauer sein sollten.

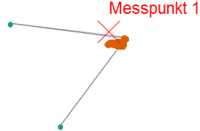
Für das Static-Verfahren wurden kostenpflichtige Korrekturdaten von der swipos verwendet, für den PPP-Algorithmus sind keine weiteren Daten beschafft worden.

Die folgenden Grafiken geben eine Übersicht über die einzelnen Messungen und Verarbeitungsverfahren. Die Genauigkeit ist als Circular error probable in Metern angegeben.

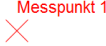
Test 4, Messpunkt 1 (je 15 Minuten):

Messung 1				
NEO-6P: PPP	RTKLIB: PPP Static		RTKLIB: Static	
				
Alle Punkte	Alle Punkte	Letzte 10	Alle Punkte	Fixed (grün)
50% = 0.83	50% = 0.30	50% = 0.19	50% = 0.13	50% = 0.13
95% = 0.91	95% = 1.12	95% = 0.19	95% = 0.30	95% = 0.30

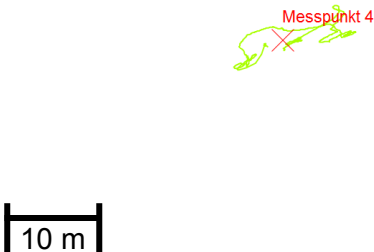
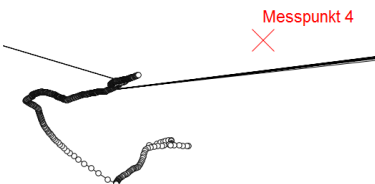
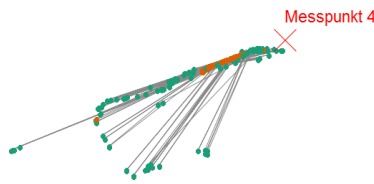
Messung 2				
NEO-6P: PPP	RTKLIB: PPP Static		RTKLIB: Static	
				
Alle Punkte	Alle Punkte	Letzte 10	Alle Punkte	Fixed (grün)
50% = 0.74	50% = 1.07	50% = 0.96	50% = 0.13	50% = 0.03
95% = 0.90	95% = 1.25	95% = 0.96	95% = 0.19	95% = 0.04

Messung 3				
NEO-6P: PPP	RTKLIB: PPP Static		RTKLIB: Static	
				
Alle Punkte	Alle Punkte	Letzte 10	Alle Punkte	Fixed (grün)
50% = 0.74	50% = 0.45	50% = 0.55	50% = 0.13	50% = 0.63
95% = 0.87	95% = 0.57	95% = 0.57	95% = 0.19	95% = 0.93

Test 5, Messpunkt 1 (90 Minuten):

NEO-6P: PPP	RTKLIB: PPP Static		RTKLIB: Static	
				
Alle Punkte	Alle Punkte	Letzte 10	Alle Punkte	Fixed (grün)
50% = 0.64	50% = 1.88	50% = 1.77	50% = 0.02	50% = 0.01
95% = 0.82	95% = 1.92	95% = 1.77	95% = 0.13	95% = 0.02

Test 4, Messpunkt 4 (15 Minuten):

NEO-6P: PPP	RTKLIB: PPP Static		RTKLIB: Static	
				
Alle Punkte	Alle Punkte	Letzte 10	Alle Punkte	Fixed (grün)
50% = 4.44	50% = 18.82	50% = 13.80	50% = 8.62	50% = 4.38
95% = 7.32	95% = 25.67	95% = 14.00	95% = 19.07	95% = 23.18

Auswertung:

Der PPP-Algorithmus hat zu unterschiedlich guten Resultaten geführt. Meistens war die Genauigkeit vergleichbar mit dem PPP-Algorithmus des NEO-6P, teilweise sogar noch deutlich besser (CEP 95% = 19 cm). Das Betrachten der letzten zehn Punkte hat nicht immer das genauere Ergebnis geliefert, obwohl das Ergebnis konvergieren sollte. Hier wurde wahrscheinlich gerade eine schlechte Stelle des sich einpendelnden Ergebnisses erwischt. Man muss dazu sagen, dass die 15 Minuten der ersten drei Messungen eine kurze Zeit für einen PPP-Algorithmus ist. Dabei ist jedoch gerade das schlechte Ergebnis der 90 Minuten schwierig zu verstehen. Dagegen muss man wieder sagen, dass das PPP-Verfahren seine Stärken erst mit Zweifrequenzempfängern richtig ausspielen können³.

Das Static-Verfahren hat fast konsequent Ergebnisse im Dezimeter und Zentimeter Bereich geliefert. Nötig dazu waren die kostenpflichtigen Daten der swipos. Seltsamerweise waren bei einer Messung die als Fixed angegebenen grünen Punkte zwei Ausreisser, ansonsten boten die Fixed-Punkte das genauere Ergebnis. Bei der 90-Minuten Messung war kein einziger Fixed-Punkt weiter als 2 cm vom Referenzpunkt entfernt.

Beim Messpunkt 4 mit den schlechten Empfangsbedingungen hat das Postprocessing stets zu einem schlechteren Resultat geführt als die Ausgabe des NEO-6P. Bei den grünen Punkten kann man auch nicht von wirklichen „Fixen“ reden. Die Verarbeitungsmethoden erfordern also Daten von genügend vielen Satelliten, um gut zu funktionieren. Evtl. hätten auch eine längere Wartezeit und die Verwendung einer teureren Antenne zu einem besseren Ergebnis geführt.

³ In der Vorversion von RTKLIB 2.4.2 ist der PPP Static-Algorithmus für Einfrequenzempfänger nicht einmal mehr verfügbar.

6 Fazit

In diesem Report konnte gezeigt werden, dass man mit bestimmter GPS-Ausrüstung der unteren Preisklasse (hier das PPP-basierte Modul NEO6-P mit Antenne) unter bestimmten Umständen Genauigkeiten im unteren Meter, oder – dann mit Postprocessing – im Zentimeterbereich erreichen kann.

Die guten Genauigkeiten wurden aber nur unter bestimmten Bedingungen erreicht, das heisst, nur im Stillstand und bei einer mehrminütigen Wartezeit (Viertelstunde bis zu einer Stunde). Zudem dürfen Hindernisse das Sichtfeld zum Himmel nicht einschränken. Sobald Reflexionen ins Spiel kamen – beispielsweise durch nahe stehende Gebäudefassaden – waren keine Vorteile mehr erkennbar.

Für Zentimetergenauigkeit müssen zusätzlich Daten (bzw. Dienste) dazugekauft und mit Postprocessing aufbereitet werden.

Professionelle GPS/GNSS-Produkte bieten nach wie vor einen höheren Komfort, kosten dafür aber auch das Zehnfache und mehr.

Sind jedoch die nötigen Voraussetzungen gegeben, können mit günstiger Ausrüstung von weit unter tausend Schweizer Franken erstaunlich genaue Resultate erzielt werden.

■