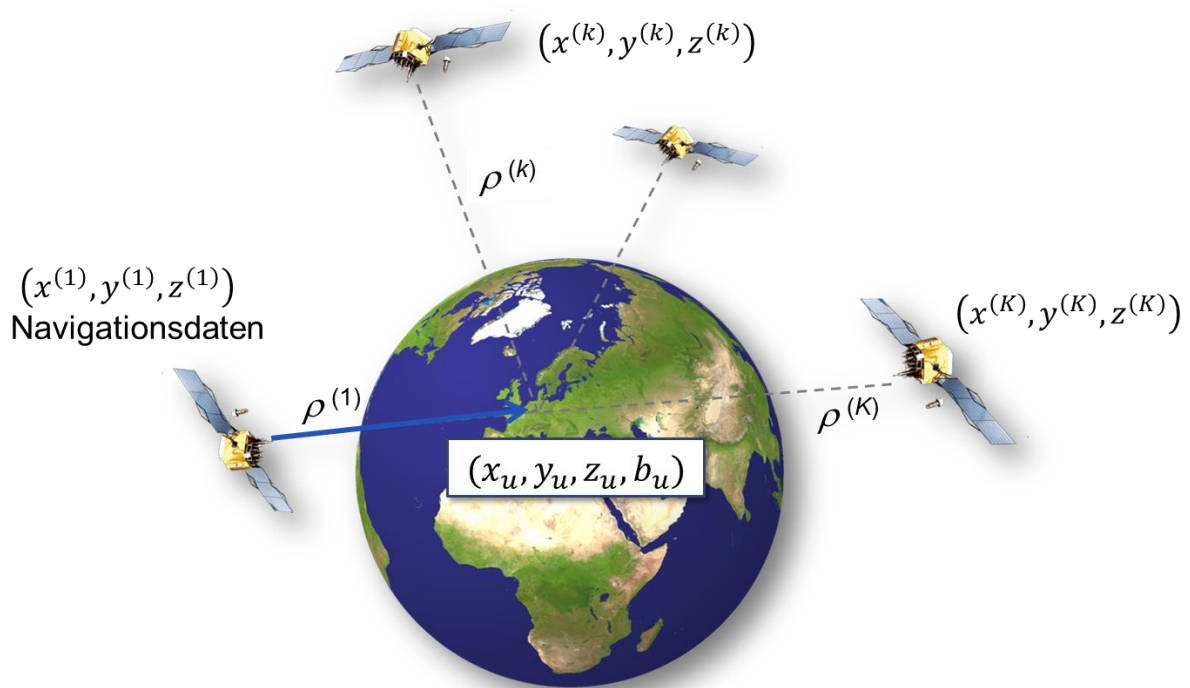


Praktikum

Ortung und Navigation



Prof. Dr.-Ing. Götz C. Kappen
Labor für Nachrichtentechnik
Fachbereich Elektrotechnik und Informatik
FH Münster
Email: goetz.kappen@fh-muenster.de

Stand Version: 19.05.2021

Inhalt

| | |
|---|----|
| Einleitung und generelle Regeln..... | 5 |
| Termin 1: Traditionelle Navigation und Koordinatensysteme | 7 |
| Einleitung..... | 7 |
| Versuchsdurchführung | 7 |
| Navigation mit Landmarken und Kompass (entfällt in Corona Semestern)..... | 7 |
| Koordinatentransformation | 7 |
| Erforderliche Hilfsmittel | 8 |
| Lernziele | 8 |
| Termin 2: Bestimmung der Satellitenposition | 9 |
| Einleitung..... | 9 |
| Versuchsdurchführung..... | 9 |
| Einlesen der RINEX Daten..... | 9 |
| Erforderliche Hilfsmittel | 11 |
| Lernziele | 11 |
| Termin 3: Akquisition | 13 |
| Einleitung..... | 13 |
| Versuchsdurchführung..... | 13 |
| Programmierung einer einfachen Akquisition | 13 |
| Beschleunigung der Akquisition | 14 |
| Aufnahme der Rohdaten | 14 |
| Erforderliche Hilfsmittel | 14 |
| Lernziele | 14 |
| Termin 4: Extraktion der Navigationsdaten | 17 |
| Einleitung..... | 17 |
| Versuchsdurchführung..... | 17 |
| Dekodierung der Ephemeriden | 17 |
| Aufnahme der Rohdaten | 17 |
| Erforderliche Hilfsmittel | 18 |
| Lernziele | 18 |
| Termin 5 PVT | 19 |
| Einleitung..... | 19 |

| | |
|--|----|
| Versuchsdurchführung | 19 |
| Positionsbestimmung mit 4 Satelliten..... | 19 |
| Positionsbestimmung für > 4 Satelliten | 20 |
| Positionsbestimmung auf Basis von RINEX Daten..... | 20 |
| Erforderliche Hilfsmittel | 21 |
| Lernziele | 21 |
| Termin 6: Fehlerkorrektor und PVT..... | 23 |
| Einleitung..... | 23 |
| Versuchsdurchführung..... | 23 |
| Berechnung des Elevationswinkels für die Satelliten..... | 23 |
| Berechnung der Verzögerung der Ionosphäre | 23 |
| Berechnung der Verzögerung der Troposphäre..... | 23 |
| Korrektur der Pseudoentfernungen | 23 |
| Berechnung der Empfängerposition | 23 |
| Erforderliche Hilfsmittel | 24 |
| Lernziele | 24 |
| Literatur | 25 |

Einleitung und generelle Regeln

Die Navigation ist seit jeher ein wichtiger Teil des menschlichen Lebens. Wir finden in unserem alltäglichen Leben den Weg (z.B. der Weg zum Bäcker, zur Hochschule) meist mit Landmarken (z.B. Straßenkreuzungen, Gebäuden). In diesem Praktikum werden diese rudimentären, in der Vorlesung beschriebenen, Navigationstechniken angesprochen und praktisch angewendet. Durch die Anwendung werden schnell die Probleme und Einschränkungen sichtbar.

Nach dem einführenden ersten Termin befasst sich ein Großteil des folgenden Praktikums mit der Satellitennavigation. Hierbei wird in den Beispielen meist auf das amerikanische NAVSTAR GPS zurückgegriffen, da es nach wie vor das bekannteste und am besten dokumentierte System ist [1]-[9].

Als Simulations- und Berechnungsumgebung wird vorzugsweise MATLAB¹ verwendet. Sollten Ihnen hier Kenntnisse fehlen, greifen Sie bitte z.B. auf die im ILIAS vorhandene MATLAB-Einführung oder entsprechende Literatur zurück.

Das Praktikum findet vorzugsweise in Zweiergruppen statt. Im Einzelfall kann das Praktikum auch alleine oder in Dreiergruppen durchgeführt werden. Größere Gruppen sind nicht zulässig. Zur erfolgreichen Teilnahme am Praktikum und der Zulassung zur Prüfung benötigen Sie sechs Testate. Testate werden vergeben, wenn alle erforderlichen Aufgaben erfolgreich bearbeitet und dokumentiert wurden, d.h. für das Abtestat ist zu jedem Versuch eine Dokumentation mit einem Textverarbeitungsprogramm zu erstellen, welche die Vorgehensweise und die Ergebnisse umfasst. Die Abgabe der Dokumentation und der Software-Funktionen erfolgt spätestens zum nachfolgenden Praktikumstermin.

Die Praktikumstermine, welche maßgeblich auf MATLAB basieren und keine ausschließlich an der Hochschule vorhandenen Hilfsmittel benötigen, können von Ihnen vorbereitet und zum Praktikums-termin vorgestellt werden. Bei der Vorstellung muss in jedem Fall klar werden, dass die Aufgabe von Ihnen bearbeitet wurde. Darüber hinaus bieten Ihnen die Praktikumstermine Gelegenheit Fragen zu stellen und Hilfestellung zu erhalten. In jedem Fall sind die Programmieraufgaben in Skripte oder Funktionen zu kapseln und vorzuzeigen bzw. die Funktionalität zu präsentieren.

¹ MATLAB wird ab hier als bevorzugte Sprache erwähnt. Sie dürfen aber eine Programmiersprache Ihrer Wahl verwenden. Wichtig ist, dass erkenntlich ist, dass das Programm von Ihnen erstellt wurde und Sie den Code erläutern können. Die Verwendung offener Werkzeuge wie z.B. Octave, Python oder C/C++ ist ebenfalls möglich, da in der Regel keine MATLAB spezifischen Funktionen verwendet werden. Ersetzen Sie daher in allen folgenden Versuchen gedanklich MATLAB durch eine Programmiersprache Ihrer Wahl. Ein sicherer Support von Dozentenseite kann allerdings nur für MATLAB sichergestellt werden.

Termin 1: Traditionelle Navigation und Koordinatensysteme

Einleitung

In diesem Versuch sollen die ersten Erfahrungen mit traditionellen Navigationsinstrumenten gesammelt werden. Der Versuch soll neue Begriffe einführen und zudem eine Sensibilität für die Schwierigkeiten der traditionellen Navigationsinstrumente schaffen. Hierzu wird ein auf Landmarken- und Kompass-basierendes Geocaching-Spiel zurückgegriffen. Abschließend sollen kurz die Vorteile und Vereinfachungen bei GPS-basierter Navigation aufgezeigt werden.

Die verschiedenen Koordinatensysteme die bei GPS und den übrigen Navigationssystemen zu verschiedenen Zeitpunkten der Positionsschätzung verwendet werden, stellen einen weiteren Schwerpunkt in diesem Versuch dar. Die Koordinatensysteme und die Transformationsvorschriften wurden in der Vorlesung beschrieben und sollen im Praktikum in MATLAB realisiert werden.

Versuchsdurchführung

Navigation mit Landmarken und Kompass (entfällt in Corona Semestern)

Für diesen Versuch erhalten Sie einen Umschlag, in dem sich Positionsinformationen und Informationen für eine Koppel- und Landmarkennavigation befinden, die Sie nachfolgend verwenden sollen.

1. Versuchen Sie den ersten Cache durch Verwendung Ihres Mobiltelefons und/oder Google Earth zu finden.
2. Versuchen Sie den zweiten Cache mit Hilfe der gestellten Koppelnavigationen (Richtung, Schrittzahl) zu finden. **Ausgangspunkt ist der Fundort des ersten Caches.**
3. Versuchen Sie den dritten Cache durch die Beschreibung mit Landmarken zu finden. **Ausgangspunkt ist der Fundort des zweiten Caches.**
4. Versuchen Sie den vierten Cache mit den Messungen einer Zeitverzögerung eines Audiosignals zu finden
 - a. Ein an den jetzt bekannten drei Cache-Fundorten gleichzeitig ausgesendetes Audiosignal wird an dem gesuchten Punkte mit der in den Unterlagen gegebenen Verzögerung empfangen. Nehmen Sie eine Schallgeschwindigkeit von 343 m/s an.

Diskutieren Sie die Ergebnisse im Versuchsprotokoll. Welchen Vor- und Nachteil haben die einzelnen Methoden, von welchen Randbedingungen hängt die Genauigkeit ab? **Die jeweilige Wegbeschreibung oder Berechnungsgrundlage gehört zum Versuchsprotokoll!**

Koordinatentransformation

Dieser Versuch wird vollständig in der Software MATLAB durchgeführt².

1. Entwickeln Sie eine MATLAB-Funktion (`g2c.m`), welche als Eingangsparameter geografische Koordinaten (Länge, Breite und Höhe) erhält und daraus kartesische Koordinaten (X, Y, Z) berechnet (verwenden Sie das WGS84 Bezugssystem).
Nutzen Sie die Funktion, um die in Ihrem Umschlag gegebenen Koordinaten zu transformieren.
(Im Corona-Semester verwenden Sie hier die Position 52°08'35.7764"N 7°19'16.6976"E).

² Für diesen Versuch benötigen Sie die Folien aus Kapitel 2 der Vorlesung.

Als Vorarbeit:

- a. Schreiben Sie eine MATLAB-Funktion (`dec2dez.m`) die aus der Darstellung in Grad, Minuten, Sekunden (plus Nachkommastellen) die Darstellung in Grad und Dezimalstellen berechnet.
 - b. Entwickeln Sie außerdem die Umkehrfunktion (`dez2dec.m`), die aus der dezimalen Darstellung, in die die Darstellung in Minuten und Sekunden transformiert.
 - c. Machen Sie einen Screenshot, der die Position in Google-Maps darstellt. Da Google-Maps auch eine Umrechnung vornimmt, können Sie das Ergebnis aus a. überprüfen.
2. Entwickeln Sie die inverse Funktion (`c2g.m`), die kartesische Koordinaten in geografische Koordinaten transformiert.
 3. Schreiben Sie ein MATLAB Testscript in dem Sie Funktionen testen. Validieren Sie die Ergebnisse außerdem mit frei verfügbaren Werkzeugen³
(z.B. https://www.sapos-bw.de/trafoErg_B_X.php)
 4. Bestimmen Sie die Länge des S-Gebäudes der FH Münster auf verschiedenen Wegen:
 - a. Nutzen Sie die integrierte Messfunktion von Google-Maps. Dokumentieren Sie durch einen Screenshot die gemessene Strecke.
 - b. Bestimmen Sie die Länge auf Basis der geografischen Koordinaten und vergleichen Sie Ihre Ergebnisse. Bitte erläutern Sie in dieser Aufgabe den von Ihnen gewählten Weg der Längenbestimmung. Welche vereinfachten Annahmen haben Sie unter Umständen genutzt.

Erforderliche Hilfsmittel

Dieser Abschnitt beschreibt die erforderlichen Hilfsmittel, die Sie benötigen, um den Versuch durchzuführen. Vermerkt ist, ob Sie die Hilfsmittel gestellt kriegen oder ob Sie diese mitbringen müssen (ein Exemplar pro Gruppe genügt).

1. Kompass (wird gestellt)
2. Schrittzähler (wird gestellt)
3. Umschlag mit den Vorgabedaten
4. Vorlesungsunterlagen (von Ihnen mitzubringen)
5. Mobiltelefon und Rechner.

Lernziele

Nach Abschluss dieses Praktikumsversuches sollen Sie in der Lage sein:

1. Die Funktionalität eines Kompasses und die Navigation mit einem Kompass im Detail zu erläutern.
2. Eine Wegbeschreibung zu erstellen, welche einem Dritten das Auffinden einer geografischen Lokalität mit Hilfe eines Kompasses und einem Schrittzähler ermöglicht.
3. Eine Koordinatentransformation (kartesisch \leftrightarrow geografisch) in MATLAB zu entwickeln und die verschiedenen, für GPS relevanten, Koordinatensysteme zu beschreiben und deren Verwendung zu erläutern.

³ Nehmen Sie zur Vereinfachung für alle Aufgaben eine Höhe von 100m an.

Termin 2: Bestimmung der Satellitenposition

Einleitung

Dieser Versuch besteht aus zwei Teilen. Im ersten Teil arbeiten Sie mit einer Software für kommerzielle Empfänger der Firma u-blox. Sie erhalten einen aufgezeichneten Datensatz und sollen aus diesem Datensatz sichtbare Satelliten ablesen und mit den Daten des bekannten Trimble Tools vergleichen. Zudem sollen verschiedene statistische Werte und Kennwerte aus den Zeitreihen aus der Software entnommen werden. Da wir die Software u-center im Praktikum weiter einsetzen werden soll dieser Versuch auch dazu dienen, den Umgang zu erlernen.

Im zweiten Teil dieses Versuchs stehen die Satelliten, deren Umlaufbahnen und die zur Satellitenpositionsbestimmung relevanten Daten im Mittelpunkt. Zu Beginn soll das Standardformat RINEX verwendet werden, um aus den darin enthaltenen Daten die Satellitenposition zu einer bestimmten Zeit zu bestimmen. Nachfolgend soll das Programm so angepasst werden, dass es ebenfalls die Almanach-Daten [13] im Standard-Textformat verwenden kann. (Wie unterscheiden sich die Positionen der Satelliten bei der Verwendung der Almanach Daten und der Ephemeriden?) Es soll eine einfache Software entwickelt werden, welche es ermöglicht die sichtbaren Satelliten auf Basis der Almanach-Daten vorherzusagen. Ein Vergleich mit der Trimble Planning Software [12] dient der Verifikation.

Versuchsdurchführung

Einführung in die Software u-center

Kommerzielle Empfänger verwenden häufig ein proprietäres Datenformat. In diesem Praktikum greifen wir auf die Hardware und Software des Herstellers u-blox zurück (Daten haben die Endung *.ubx). u-center ist die Software des Empfängerherstellers u-blox, welche eine sehr tiefgehende Betrachtung der Eingangs- und Ausgangsdaten, sowie der internen Daten von Navigationsempfängern erlaubt. Zusätzlich ist die Konfiguration von Empfänger über u-center möglich. Die Software arbeitet mit den im Labor vorhandenen Empfängern zusammen⁴ und erlaubt die Betrachtung in Echtzeit, das Aufzeichnen und Wiedergeben sowie die Analyse⁵.

1. Laden Sie die aktuellste Version der Software u-center⁶.
2. Öffnen Sie die aufgezeichneten Daten (AufnahmeUblox.ubx).
3. Lassen Sie sich die folgenden Informationen anzeigen und übernehmen Sie die geforderten Plots per Screenshot und Copy&Paste in Ihr Versuchsprotokoll
 - a. Bestimmen Sie das **Datum und den Zeitraum der Aufzeichnung**.
 - b. Vergleichen Sie die **Messung mit der Vorhersage aus dem Trimble Planning Tool**. Beschränken Sie sich auf die Satelliten des amerikanischen Systems Navstar GPS.
 - c. Zeigen Sie den **Positionsplot** über der Zeit, um einen ungefähren Eindruck von der Genauigkeit der Messung zu erhalten. Passen Sie die Auflösung so an, dass Sie alle Messwerte bei höchster Genauigkeit sehen.

⁴ Im CORONA-Semester werden die Daten aufgezeichnet und über das ILIAS-System zur Verfügung gestellt.

⁵ Hierzu erfolgt eine Einführung in der Vorlesung.

⁶ <https://www.u-blox.com/en/product/u-center?lang=de>

- d. Zeigen Sie eine **statistische Auswertung und die Zeitreihendarstellung für die berechnete Höhe über Grund** (Height above Earth; HAE) an.

Einlesen der RINEX Daten

RINEX ist im Gegensatz zu *.ubx ein lesbares und kein binäres Datenformat. Die exakte Beschreibung findet man in [14]⁷. In der Vorlesung wurde zudem eine erste Einführung in das Datenformat und die weitere Datenverarbeitung gegeben.

1. Laden Sie die aktuellen RINEX-Daten für das Datum, welches Sie in der vorherigen Aufgabe stimmt haben, von [11]. Nutzen Sie die Daten der Station aus Delft.
2. Auf dem Server der TU Delft⁸ erhalten Sie die Daten verschiedener Stationen mit jeweils unterschiedlicher Aufzeichnungsfrequenz. Nutzen Sie den Link „Download daily RINEX Files (30 sec) (all stations)“.

Dutch Permanent GNSS Array (DPGA)

The Dutch Permanent GPS Array (DPGA) consists of about 18 continuously operating GPS (and GLONASS) receivers in the Netherlands. GNSS data to the [International GNSS Service \(IGS\)](#), [EUREF Permanent GNSS Network \(EPN\)](#), [EUMETNET GPS water vapour program](#) educational applications.

Latest news

Since Thursday 4 February 2021, 15:00 UTC, the high-rate RINEX-3 files for stations AMEL, APEL, EIDS, IIMU, SCHI, TERS, TXE2 and streams), High-rate RINEX-3 files for the stations CBW1 and VLIE are still generated from data streams. [4 February 2021]
Tuesday 26 January, around 9:00 UTC, this server migrated to new hardware. It runs now a virtual server with Redhat Enterprise 8 but no data was lost. [26 January 2021]

[older news items...](#)

GNSS Local Data Center Delft (GNSS-LDC-Delft)

Hourly and daily RINEX data from the Dutch Permanent GPS Array are available through this web site (<http://gnss1.tudelft.nl/doga/>)

[Download daily RINEX files \(30 sec\) \[http | ftp \]](#)

[Download hourly RINEX files \(30 and/or 10 sec\) \[http | ftp \]](#)

[Download high-rate RINEX files \(1 sec\) \[http | ftp \]](#)

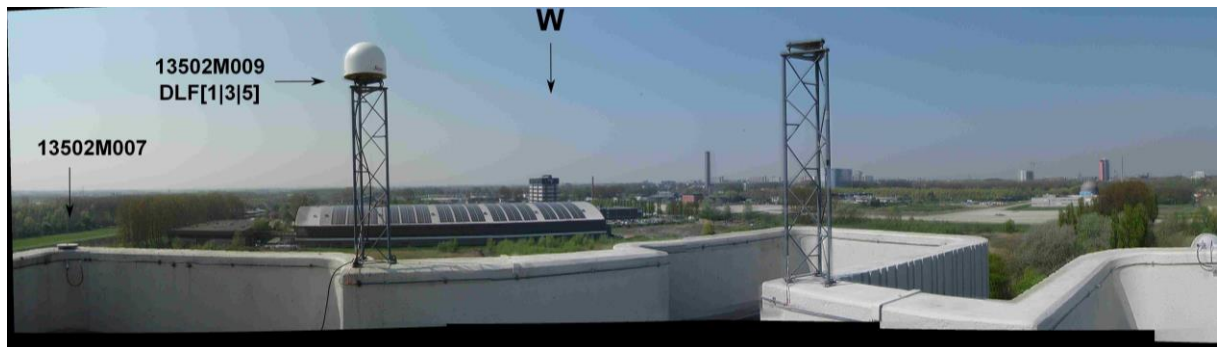
[Check availability and latency of daily rinex2 data](#)

[Check availability and latency of hourly rinex2 data](#)

(Selected stations only)

Die Daten sind komprimiert abgelegt. Laden und extrahieren Sie daher die RINEX *.nav Daten und Observationsdaten im Rinex 2.* Format⁹.

Die verwendeten Antennen, Empfänger und weitere Details können Sie sich unter <http://gnss1.tudelft.nl/dpga/station/Delft.html#DELFT> anschauen. Hier finden Sie auch Informationen über die Umgebung und die Anbringung der Antennen.



⁷ Die RINEX Beschreibung finden Sie als PDF-Datei im ILIAS unter „Literatur“

⁸ Wegen der räumlichen Nähe dürfen Sie davon ausgehen, dass die sichtbaren Satelliten in Steinfurt und in Delft ungefähr die gleichen sind.

⁹ Die Daten sind komprimiert. Zur Extraktion verwenden Sie bitte das Kommandozeilentool (bevorzugt) oder das JAVA-basierte Werkzeug.



3. Verwenden Sie die Funktion *rdRinex.m*, die Sie im ILIAS finden, um die Rinex-Daten zu dekodieren. Schreiben Sie jetzt eine Funktion, die **Ephemeriden für die Zeit aus dem vollständigen Datensatz extrahiert, die Sie laut Trimble Tool sehen müssten**.
4. Speichern Sie die Navigationsdaten der sichtbaren Satelliten in einer Datei (zweispaltig, Name des Parameters - Wert)
5. Bestimmen Sie die aktuellen Satellitenposition für mindestens vier der Satelliten¹⁰ in kartesischen Koordinaten.
6. Bestimmung des Azimut- und Elevationswinkels für den Empfängerstandort (TU Delft). Hierzu sollten Sie Satellitenkoordinaten in das ENU-Koordinatensystem transformieren (siehe Vorlesung Kapitel 2)
7. Bestimmung der sichtbaren Satelliten. Verwenden Sie eine Elevationsmaske von 10°.
8. Vergleich der bestimmten sichtbaren Satelliten mit den in den **Observationsdaten** sichtbaren Satelliten. Woher könnten Unterschiede herrühren?
9. Vergleich der sichtbaren Satelliten mit den Ergebnissen der Trimble Planning Software [12]. Woher könnten hier Unterschiede herrühren?

Erforderliche Hilfsmittel

Dieser Abschnitt beschreibt die erforderlichen Hilfsmittel, die Sie benötigen, um den Versuch durchzuführen. Vermerkt ist, ob Sie die Hilfsmittel gestellt kriegen oder ob Sie diese mitbringen müssen (ein Exemplar pro Gruppe genügt).

1. Eine Version der RINEX-Formatbeschreibung Version 2.10
2. Rechner mit MATLAB
3. Internet-Zugriff
4. Vorlesungsunterlagen
5. GPS ICD (am Einfachsten in elektronischer Form)

Lernziele

Nach Abschluss dieses Praktikumsversuches sollen Sie in der Lage sein:

1. Das universelle Datenformat RINEX zu beschreiben, die Unterschiede zwischen einer Observations- und einer Navigationsdatei zu erläutern und die zur Positionsbestimmung relevanten Inhalte aus den Dateien mit MATLAB zu extrahieren.

¹⁰ Verwenden Sie nur die zuerst auftretenden Navigationsdaten in den RINEX Files. Die Daten treten wegen der 24 Stunden Aufnahmezeit für die Satelliten mehrfach auf.

2. Die erforderlichen Schritte durchzuführen, um mit Hilfe von verfügbaren Ephemeris-Daten die sichtbaren Satelliten für eine geografische Position zu bestimmen.
3. Mit Hilfe der Almanach-Daten und dem Werkzeug Trimble-Planning Tool die sichtbaren Satelliten zu einem gewissen Zeitpunkt zu bestimmen.

Literatur

- [1] GPS ICD
- [2] Zogg, J.M, GPS und GNSS: Grundlagen der Ortung und Navigation, uBlox, 2011.
- [3] Borre, K., et al., A Software-Defined GPS and Galileo Receiver: A Single-Frequency Approach, Birkhäuser Boston, 2006.
- [4] Misra, P., Enge, P., Global Positioning System: Signals, Measurements and Performance, Ganga-Jamuna, 2001.
- [5] Mansfeld, Satellitenortung und Navigation: Grundlagen, Wirkungsweise und Anwendung globaler Satellitennavigationssysteme, 2010.
- [6] Kaplan, E., Understanding GPS: Principles and Applications, 2006.
- [7] Parkinson, B., Global Positioning System: Theory and Application, 1996.
- [8] Hofmann-Wellenhof, B., Global Positioning System: Theory and Practice, 2001.
- [9] Tsui, J. B.-Y., Fundamentals of Global Positioning System Receivers: A Software Approach, 2005.
- [10] Institute of Navigation, www.ion.org
- [11] TU Delft, <http://gnss1.tudelft.nl/dpga/>
- [12] Trimble, <http://www.trimble.com/gnssplanningonline>
- [13] US Navigation Center. <http://www.navcen.uscg.gov/?pageName=gpsAlmanacs>
- [14] NASA, <ftp://igscb.jpl.nasa.gov/igscb/data/format/rinex210.txt>