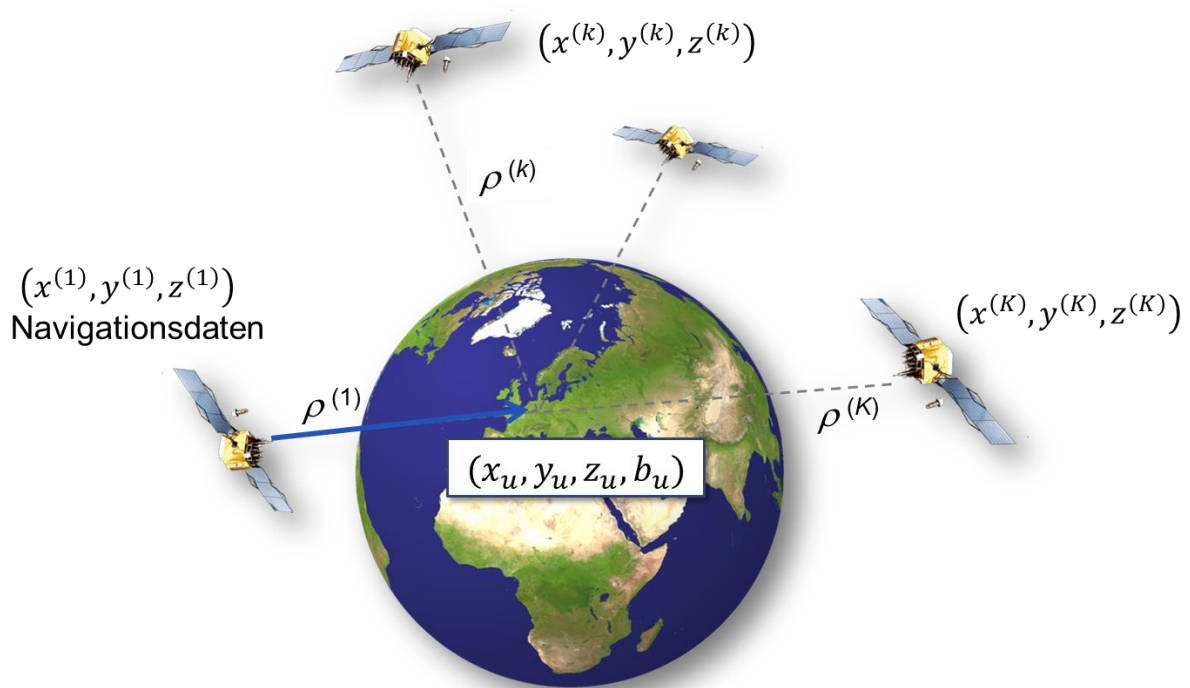


# Praktikum

## *Ortung und Navigation*



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

Stand Version: 05.05.2021



## 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 .....   | 10 |
| Lernziele .....   | 10 |
| Termin 3: Akquisition .....   | 11 |
| Einleitung.....   | 11 |
| Versuchsdurchführung .....  | 11 |
| Programmierung einer einfachen Akquisition .....                          | 11 |
| Beschleunigung der Akquisition .....                                      | 12 |
| Aufnahme der Rohdaten .....   | 12 |
| Erforderliche Hilfsmittel .....   | 12 |
| Lernziele .....   | 12 |
| Termin 4: Extraktion der Navigationsdaten .....                           | 15 |
| Einleitung.....   | 15 |
| Versuchsdurchführung .....  | 15 |
| Dekodierung der Ephemeriden .....   | 15 |
| Aufnahme der Rohdaten .....   | 15 |
| Erforderliche Hilfsmittel .....   | 16 |
| Lernziele .....   | 16 |
| Termin 5 PVT .....  | 17 |
| Einleitung.....   | 17 |

|  |    |
|--|----|
| Versuchsdurchführung .....                               | 17 |
| Positionsbestimmung mit 4 Satelliten.....                | 17 |
| Positionsbestimmung für > 4 Satelliten .....             | 18 |
| Positionsbestimmung auf Basis von RINEX Daten.....       | 18 |
| Erforderliche Hilfsmittel .....                          | 19 |
| Lernziele .....  | 19 |
| Termin 6: Fehlerkorrektor und PVT.....                   | 21 |
| Einleitung.....  | 21 |
| Versuchsdurchführung .....                               | 21 |
| Berechnung des Elevationswinkels für die Satelliten..... | 21 |
| Berechnung der Verzögerung der Ionosphäre .....          | 21 |
| Berechnung der Verzögerung der Troposphäre.....          | 21 |
| Korrektur der Pseudoentfernungen .....                   | 21 |
| Berechnung der Empfängerposition .....                   | 21 |
| Erforderliche Hilfsmittel .....                          | 22 |
| Lernziele .....  | 22 |
| Literatur .....  | 23 |

## 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 MATLAB<sup>1</sup> 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.

---

<sup>1</sup> 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 durchgeführt<sup>2</sup>.

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).

---

<sup>2</sup> 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  $F^3$ unktionen testen. Validieren Sie die Ergebnisse außerdem mit frei verfügbaren Werkzeugen (z.B. [https://www.sapos-bw.de/trafoErg\\_B\\_X.php](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.

---

<sup>3</sup> Nehmen Sie zur Vereinfachung für alle Aufgaben eine Höhe von 100m an.



## 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](http://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>