



Globale Navigations-Satelliten-Systeme (GNSS)

Einführung Übung 1

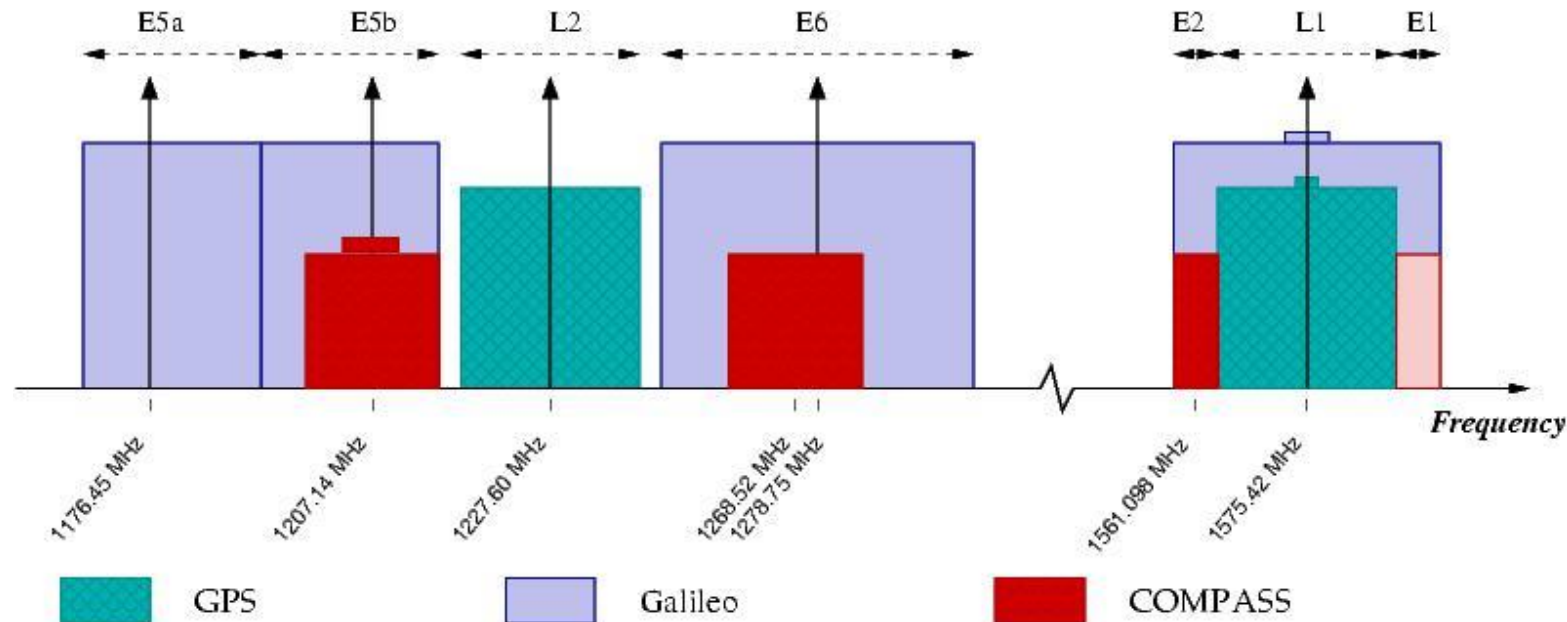
Berechnung einer absoluten Positionierung mit Code-Messungen, Teil 1

Übungsmodus

- 3 Übungen:
 1. Code Positionierung 1
 2. Code Positionierung 2
 3. Phase Positionierung
- Übungen sind Optionale Lernelemente:
 - zwei Übungsberichte oder eine Präsentation zu einem ausgewählten Thema ----> Endnote kann um bis zu 0.25 Notenpunkte verbessert werden (Bonus).
- Material (Folien, Daten, Code) auf polybox
- Einführungssitzung, Selbstarbeit, Support (per Mail), Abgabe (nach ca. 2-3 Wochen, freiwillig) und Diskussion

Code-Messungen

- L1-Frequenz (1575.42 MHz):
 - C/A-Code (Coarse/Acquisition) für die zivile Nutzung, C1
 - P/Y-Code (Precision/encrypted) für die militärische Nutzung, P1
- L2-Frequenz (1227.60 MHz):
 - P/Y-Code, P2 (Wahlweise C/A-Code, C2)
- L5-Frequenz (1176.45 MHz):
 - In neuen Generationen (GPS Block IIF: G25, G01, G24, . . .)



Code-Beobachtungsgleichung

- Geometrie (Stationskoordinaten, Satellitenpositionen)
- Troposphärische Verzögerung
- Ionosphärische Verzögerung
- Empfängeruhrfehler
- Satellitenuhrfehler
- Relativistischer Effekt

$$P_{1k}^j = \rho_k^j + \Delta T_k^j + \Delta I_k^j + c \times (\Delta t_k - \Delta t^j) + \Delta \text{rel}_k^j$$

$$P_{2k}^j = \rho_k^j + \Delta T_k^j + \frac{f_1^2}{f_2^2} \Delta I_k^j + c \times (\Delta t_k - \Delta t^j) + \Delta \text{rel}_k^j$$

Satellitenpositionen: SP3-File

- Standard Product 3 Orbit File (sp3-File)
- Satellitenbahnen (+ Satellitengeschwindigkeiten)
- Gegeben im erdfesten System (. . . , IGS08, IGS2014)
- Öffentlich verfügbar auf dem ftp-server vom International GNSS Service (IGS)/Center for Orbit Determination in Europe (CODE)
 - Ultra-Rapid (um 03, 09, 15, 21 UTC; ~ 3 cm)
 - Rapid (um 17 UTC; ~ 2.5 cm)
 - Final (am jeden Donnerstag; ~ 2.5 cm)
- Für die Übungen: **G3_11032.PRE**

Satellitenpositionen: SP3-File

```

#cV2011 2 1 0 0 0.00000000 97 d IGS08
## 1621 172800.00000000 900.00000000 55593 0.00000000000000
+ 32 G01G02G03G04G05G06G07G08G09G10G11G12G13G14G15G16G17
+ G18G19G20G21G22G23G24G25G26G27G28G29G30G31G32 0 0
+ 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
+ 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
+ 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
++ 5 2 3 2 2 3 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2
++ 2 2 2 2 2 2 2 2 3 2 2 3 2 2 2 0 0
++ 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
++ 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
++ 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
%G G cc GPS ccc cccc cccc cccc cccc cccc cccc cccc cccc
%c cc cc ccc ccc cccc cccc cccc cccc cccc cccc cccc
%f 1.2500000 1.025000000 0.00000000000 0.000000000000000
%f 0.0000000 0.000000000 0.00000000000 0.000000000000000
%i 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
%i 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
/* FINAL ORBIT COMBINATION FROM WEIGHTED AVERAGE OF:
/* cod emr esa gfz grg jpl mit ngs sio
/* REFERENCED TO IGS TIME (IGST) AND TO WEIGHTED MEAN POLE:
/* PCV:IGS05_1617 OL/AL:FES2004 NONE Y ORB:CMB CLK:CMB
* 2011 2 1 0 0 0.00000000
PG01 2870.753467 -22257.308116 -14209.983735 999999.999999
VG01 11507.606621 -13855.239400 24345.915156 999999.999999
PG02 13315.110096 23245.637773 -1366.978710 317.870079
VG02 -1928.026300 2970.287861 30889.505552 999999.999999
  
```

Referenzsystem

Alle vorgekommenen Satelliten
(G: GPS, R: Glonass, E: Galileo)

Genauigkeitscode: $2 \times nn$
millimeters, 0: unknown)

GPS-Zeit

P_X, P_Y und P_Z von G01 in [km]

V_X, V_Y und V_Z von G02 in [dm/s]

Positionzeile von G01

Geschwindigkeitzeile von G02

Bodenspur Satellit

- Gegeben: X-, Y- und Z-Koordinaten im erdfesten System
- Gesucht: Breite und Länge

$$X = R_E \cdot \cos(B) \cdot \cos(L)$$

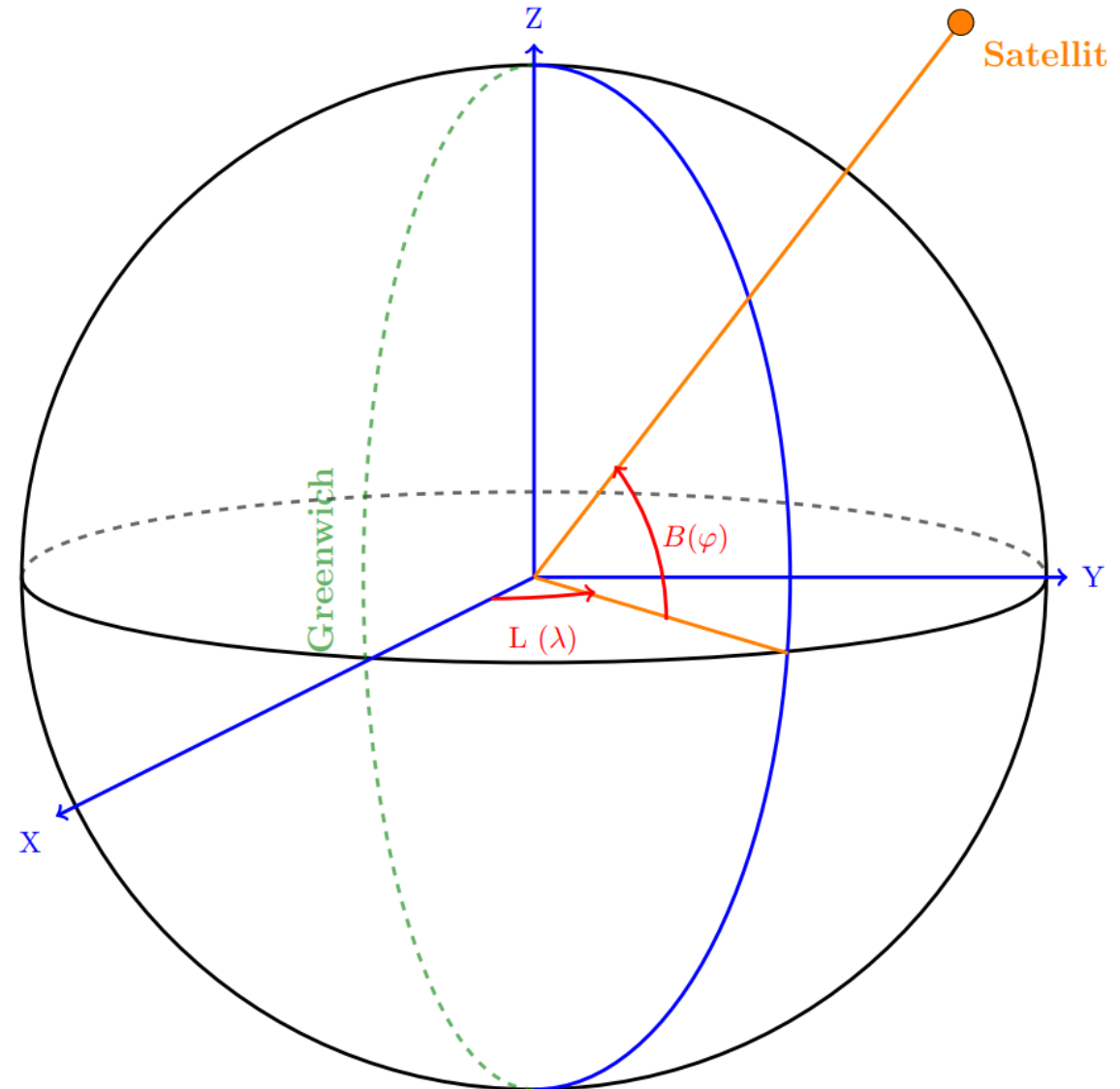
$$Y = R_E \cdot \cos(B) \cdot \sin(L)$$

$$Z = R_E \cdot \sin(B)$$

$$L = \operatorname{atan} \left(\frac{Y}{X} \right)$$

$$B = \operatorname{atan} \left(\frac{Z}{\sqrt{X^2 + Y^2}} \right)$$

- Bodenspur: Plot von L und B



RINEX Format

- Beobachtungstypen
 - Phasen (L1, L2, . . .)
 - Code (C1, P1, P2, . . .)
- Stationsname (Markername, Marker, ...)
- Empfängertyp
- Antennentyp
- Nährungskoordinaten des Empfängers
- Datum und Zeitsystem
- Beobachtungen
 - Empfängerzeit in GPST
 - GPS (+Glonass) Satelliten
 - Unterschiedliche Arten der Beobachtungen

RINEX Format

2.11 OBSERVATION DATA M (MIXED) RINEX VERSION / TYPE
 teqc 2009Dec10 20110202 06:43:59UTCPGM / RUN BY / DATE Übung: ONSA0320.11O
 ONSA MARKER NAME
 10402M004 MARKER NUMBER
 SWEPOS LMV OBSERVER / AGENCY
 AG72YY6YV40 JPS E_GGD 2.6.1 Jan,10,2008 REC # / TYPE / VERS Näherungskoordinaten des
 3370658.8318 711876.9387 5349786.7450 Empfänger im erdfesten System
 0.9950 0.0000 0.0000
 1 1
 7 C1 L1 L2 P1 P2 S1 S2 Beobachtungstypen: C: C/A
 30.0000 Code; P: P/Y Code; L: Phasen:
 15 D: Doppler; S: Signalstärke
 020 AOAD/M_B OSOD
 MSXPIAx86-PIIbcc32 5.0MSWin95->XP486/DX+ COMMENT
 teqc 2009Dec10 20110201 01:00:09UTC COMMENT
 Forced Modulo Decimation to 30 seconds COMMENT
 IMoS GFileSrv 3.59 Lantmäteriet 31.01.2011 COMMENT
 2011 2 1 0 0 0.0000000 GPS TIME OF FIRST OBS
 11 2 1 0 0 0.0000000 0 16R13G14G22G15G32R23R11R12G04R22G12G17 Insgesamt Beobachtungen von
 G09R21G27G25 16 Satelliten in diesem Epoche;
 R13 20633526.540 8 110181882.275 8 85697052.98447 20633525.679 8 20633528.581 7 Reihenfolge der Satelliten
 52.000 46.000
 G14 22390053.550 7 117660524.431 7 91683553.03044 22390053.241 4 22390055.391 4
 46.000 31.000
 G22 25127597.234 5 132046425.290 5 102893323.31441 25127595.346 1 25127597.575 1 Reihenfolge wie in
 39.000 16.000 "Beobachtungstypen" im Header
 G15 24636747.173 5 129466962.135 5 100883354.38941 24636747.861 1 24636750.756 1
 39.000 18.000
 4 Loss of Lock Indicator
 5 Signal Strength Indicator
 Beobachtungen mit 3 Nachkommastellen (wichtig für die Übungen)

Ionosphäre-freie Linearkombination (L3)

- Code-Beobachtungen auf L1 und L2:

$$P_{1k}^j = \rho_k^j + \Delta T_k^j + \Delta I_k^j + c \times (\Delta t_k - \Delta t^j) + \Delta \text{rel} I_k^j$$

$$P_{2k}^j = \rho_k^j + \Delta T_k^j + \frac{f_1^2}{f_2^2} \Delta I_k^j + c \times (\Delta t_k - \Delta t^j) + \Delta \text{rel} I_k^j$$

- Mittels der ionosphärenfreien Linearkombination (L3) wird die ionosphärische Verzögerung (1. Ordnung, 99%) eliminiert:

$$P_{3k}^j = \frac{f_1^2 P_{1k}^j - f_2^2 P_{2k}^j}{f_1^2 - f_2^2} = \rho_k^j + \Delta T_k^j + c \times (\Delta t_k - \Delta t^j) + \Delta \text{rel} I_k^j$$

Satellitenposition zur Sendezeit des Signals

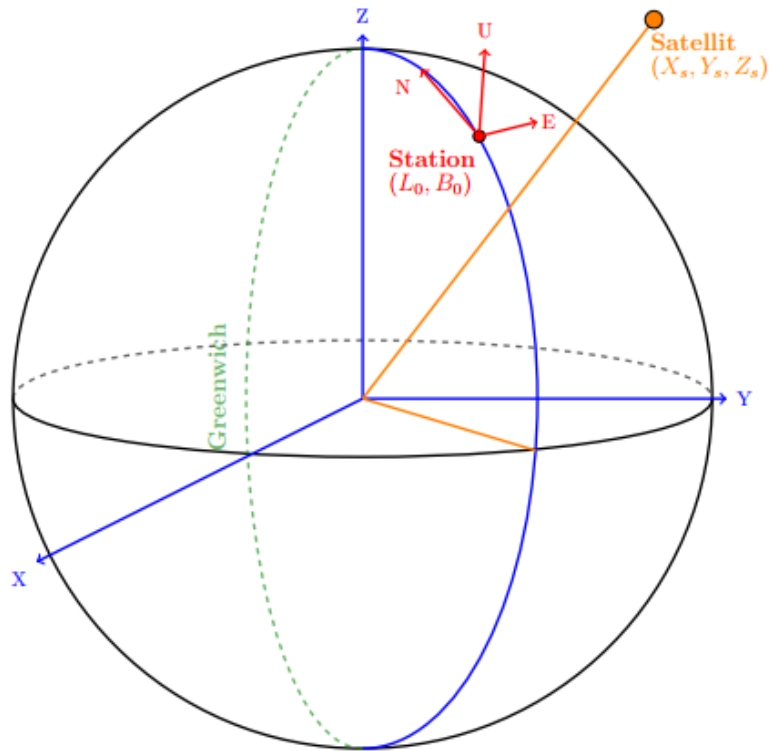
- Empfängerzeit: t_i
- Satellitenposition und Satellitengeschwindigkeit zur Empfängerzeit im SP3-File:

$$\vec{X}^j(t_i), \vec{V}^j(t_i)$$

- Signallaufzeit: τ_k^j
- Signallaufzeit für ionosphärenfreie Linearkombination: $\tau_k^j \approx \frac{P_{3k}^j}{c}$
- Satellitenposition zur Sendezeit des Signals:

$$\vec{X}^j(t_i - \tau_k^j(t_i)) = \vec{X}^j(t_i) - (\vec{V}^j(t_i) + \omega_E \cdot [-y^j(t_i) \ x^j(t_i) \ 0]) \cdot \tau_k^j(t_i)$$

Transformation der Satellitenpositionen vom erdfesten System in topozentrische System



Gegeben: A priori
Stationskoordinaten (X_0, Y_0, Z_0)

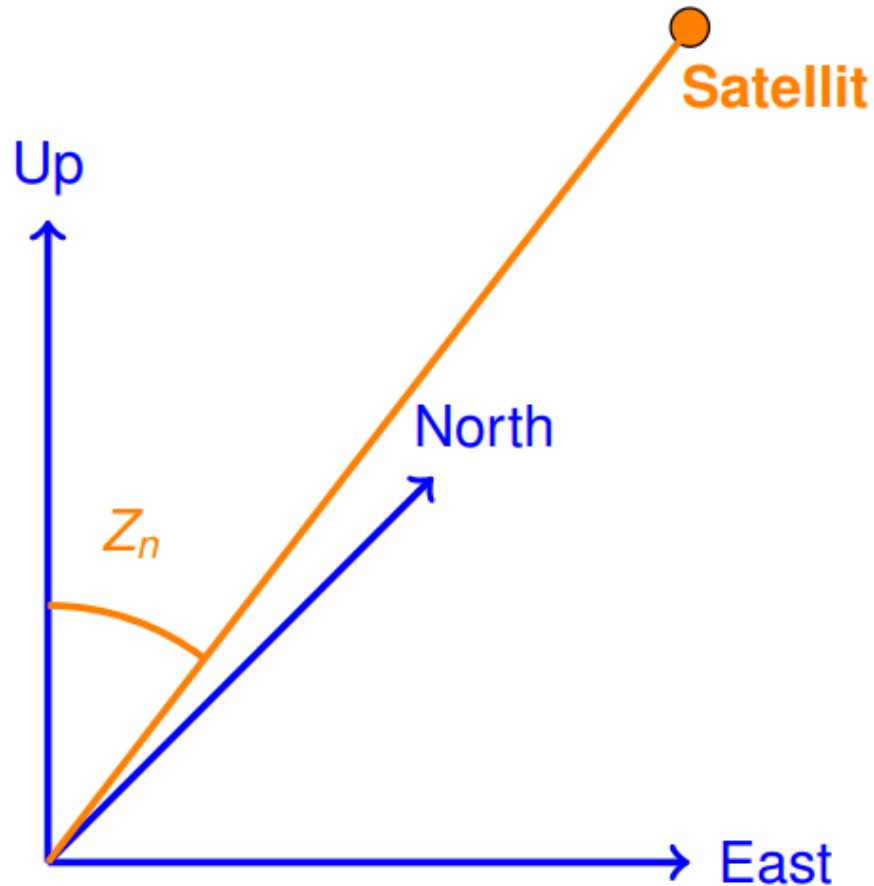
Gerechnet: Breite und Länge der
Station (B_0, L_0)

Satellitenpositionen zur Sendezeit
des Signals (X_s, Y_s, Z_s) ;

Gesucht: Topozentrische
Koordinaten des Satelliten (N, E, U)

$$\begin{bmatrix} -N \\ E \\ U \end{bmatrix} = R_2 \left(\frac{\pi}{2} - B_0 \right) \cdot R_3 (L_0) \cdot (\vec{X}^s - \vec{X}_0)$$

Zenitwinkel



Gerechnet: N, E, U-Koordinaten
des Satelliten zum Station

Gesucht: Zenitwinkel des Satelliten

$$Z_n = \text{atan} \left(\frac{\sqrt{N^2 + E^2}}{U} \right)$$

Troposphärische Laufzeitverzögerung

- Bis ca. 20 km über Erdoberfläche
- Abhängig von: Temperatur, Luftdruck, Luftfeuchtigkeit
- Unabhängig von der Frequenz
- Starke Korrelation mit den Uhrenparametern und der Stationshöhe

$$\Delta trop = f(Z_n) \times \Delta trop^0$$

$$\Delta trop^0 \approx 2.4 \text{ m (Troposphärische Verzögerung in Zenit Richtung)}$$

- Mapping-Function: $f(Z_n) = \frac{1}{\cos(Z_n)}$

- In der Übung:

$$\Delta trop_k^j(t_i) \approx \frac{2.4 \text{ m}}{\cos(Zn_k^j(t_i))}$$

Relativistischer Effekt

- Bewegte Uhr läuft langsamer als statische Uhr: Die Uhr am Satelliten läuft langsamer als die Empfängeruhr
- In der Übung:

$$\Delta rel_k^j(t_i) \approx \frac{2 \cdot \vec{X}^j(t_i - \tau_k^j(t_i)) \cdot \vec{V}^j(t_i)}{c}$$

Abgabe

- Input Daten (auf polybox):
 - G3_11032.PRE (sp3)
 - ONSA0320.11O (RINEX)
- Nützliche (Python) Tipps: siehe nächste Folie
- Deadline (falls Feedback gewünscht): **01.11.2022**
- Abgabe (am besten als pdf) sollte enthalten:
 - Schritte, Formeln, Ergebnissen (Einheiten und signifikante Stellen)
 - Interpretation
 - Code
- Abgabe per Mail an maichinger@ethz.ch
- Besprechung/Diskussion: **03.11.2022 14:45 – 15:30**

Python

- Empfohlen:
 - **Anaconda Environment:** <https://www.anaconda.com/products/individual>
 - Open-source
 - Leichte Installation von gewünschten Packages/Modulen
 - Mitgelieferter Editor: Spyder (Matlab-ähnlich)
- Nützliche Packages:
 - **Numpy** (Standard Package für numerisches Rechnen, bei Anaconda vorinstalliert)
 - **Georinex** (RINEX/sp3/nav Parser): <https://pypi.org/project/georinex/>
- Hilfe:
 - Dokumentation
 - Stackoverflow (<https://stackoverflow.com/>)