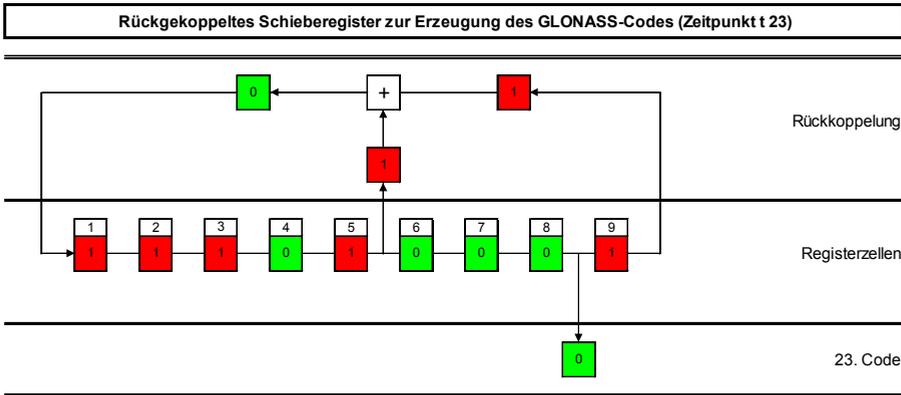
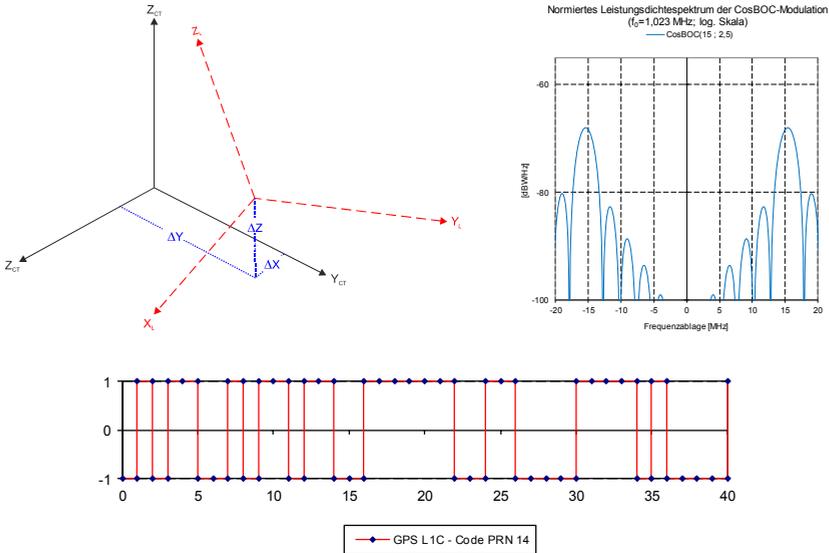


Anhang J: Excel-Tabellen und -Grafiken



J.1 Einführung

Bei der Nutzung globaler Navigationssatellitensysteme (GNSS) fallen eine Vielzahl von Berechnungen an, um die sich der Nutzer des GNSS in der Regel nicht zu kümmern hat, sie werden durch das GNSS selbst, durch den Satellitenempfänger oder durch die weiterverarbeitenden Programme erledigt. Damit ist die Versuchung groß, sich um die Hintergründe dieser Systeme nicht zu kümmern. Wer dies konsequent verweigert, muss schließlich zu dem

Ergebnis kommen: „Bei solchen Messinstrumenten – gemeint sind RTK-Empfänger – kann man nicht nachmessen, nichts kontrollieren, nichts prüfen – nur hoffen und glauben.“

Auf der Website <http://www.vermessung-und-ortung-mit-satelliten.de> stehen Excel-Tabellen und -Grafiken zur Verfügung, die einen Beitrag dazu leisten, Hintergründe von GNSS zu veranschaulichen. Der Autor hat in seiner aktiven Zeit als Lehrender an einer Fachhochschule die Erfahrung gemacht, dass eine gut strukturierte Excel-Tabelle hervorragend geeignet ist, relativ komplizierte Formelsysteme verständlich zu vermitteln. Dieses Ziel könnte man auch mit anderen Programmen verfolgen, Excel hat jedoch den Vorteil, dass es sehr weit verbreitet ist.

Mit Excel-Tabellen entstehen selbstverständlich nur „Kochrezepte“. Wer aber ein derartiges Kochrezept mit Verstand durchliest, besser noch das Rezept nachkocht – also seine eigene Tabelle schreibt – hat z. B. die Chance, die hinter der Umwandlung von GK-Koordinaten in ellipsoidische Koordinaten stehende Differenzialgeometrie auf dem Ellipsoid besser zu verstehen, als wenn er nur zur Formelsammlung greift. Dies gilt ähnlich für andere Berechnungen im Zusammenhang mit den GNSS.

Die zur Verfügung stehenden Tabellen und Programme werden im nachfolgenden Text mit einigen Erläuterungen dokumentiert. Nach dem Öffnen der Excel-Grafiken und -Programme muss die Ausführung von Makros aktiviert werden. Bei einigen Tabellen sind auch Visual Basic Programme (VBA) integriert. In den entsprechenden Mappen/Tabellen ist vermerkt, durch welche Tastenkombination die Programme aufgerufen werden.

J.2 Auflistung der Tabellen

J.2.1 Bahninformationen

- Satellitensichtbarkeit aus Almanachdaten (GPS)
- Satellitenkoordinaten aus Ephemeriden-Daten (GPS)
- Satellitenkoordinaten durch Runge-Kutta-Integration (GLONASS)
- Bodenspuren der GNSS (GPS, GLONASS, Compass, Galileo)
- Bodenspuren des japanischen Quasi-Zenith-Satelliten-Systems (QZSS)
- Bodenspuren des indischen regionalen Navigationssatellitensystems (IRNSS)

J.2.2 PRN-Folgen

J.2.2.1 Gold-Codes

- GPS_CA (PRN 1) Visualisierung (VBA)
- GPS_CA mit AKF bzw. KKF (VBA)
- GPS_L5 mit AKF bzw. KKF (VBA)
- Galileo_E5a_b mit AKF bzw. KKF (VBA)

J.2.2.2 Maximalfolgen

- GLONASS_CA Visualisierung (VBA)
- GPS_L2C mit AKF bzw. KKF (VBA)
- Maximalfolgen mit AKF (VBA)

J.2.2.3 Weil-Codes

- GPS_L1C mit AKF (VBA)
- GPS_L1C mit AKF bzw. KKF (VBA)
- Legendre-Folgen (VBA)

J.2.2.4 Kasami-Codes

- Berechnung von Kasami-Codes der Länge $N=63$ (vba)
- Berechnung der GLONASS-CDMA-Codes (vba)

J.2.3 Signale

- SinBOC-Visualisierung der Phasensprünge (VBA)
- SinBOC-Visualisierung von Spreizsignal, AKF und PSD (VBA)
- CosBOC-Visualisierung von Spreizsignal, AKF und PSD (VBA)
- CBOC(6,1,1_11)-Visualisierung von Spreizsignal, AKF und PSD (VBA)
- TMSBOC(6,1,4_33)-Visualisierung von Spreizsignal, AKF und PSD (VBA)
- Spektraldichten der GNSS
- Spektraldichte der Multiplexed-BOC-Modulation
- Spektraldichten auf L1 (GPS, Galileo)

J.2.4 Transformationen

J.2.4.1 Datumstransformationen

- GK (DHDN) transformiert nach UTM (ETRS)
- UTM (ETRS) transformiert nach GK (DHDN)

J.2.4.2 Koordinatentransformationen

- GK-Koordinaten aus ellipsoidischen Koordinaten und umgekehrt
- UTM-Koordinaten aus ellipsoidischen Koordinaten und umgekehrt

J.3 Erläuterung der Tabellen

J.3.1 Bahninformationen

Die im Bereich „Bahninformationen“ zur Verfügung gestellten Tabellen werten die Bahndaten verschiedener GNSS aus.

- Satellitensichtbarkeit aus Almanachdaten (GPS)
Unter Verwendung von GPS-Almanachdaten wird berechnet, unter welchem Azimut und unter welcher Zenitdistanz ein GPS-Satellit in Abhängigkeit vom Standort des Beobachters und der Beobachtungszeit gesehen wird. Der eingegebene Beobachtungsstandort und der berechnete Satellitensubpunkt werden grafisch dargestellt. Man kann zwischen drei unterschiedlichen Satelliten auswählen. Dateneingaben und Ergebnisausgaben erfolgen im Tabellenblatt „Sat-Sichtbarkeit“.

- **Satellitenkoordinaten aus Ephemeriden-Daten (GPS)**
Mithilfe von GPS-Ephemeriden werden die geozentrischen/kartesischen Koordinaten eines GPS-Satelliten in Abhängigkeit von der Beobachtungszeit berechnet. Die Einzelschritte der Berechnung werden dokumentiert. Man kann zwischen drei unterschiedlichen Satelliten auswählen. Dateneingaben und Ergebnisausgaben erfolgen im Tabellenblatt „Sat-Koordinate“.
- **Satellitenkoordinaten durch Runge-Kutta-Integration (GLONASS)**
Unter Verwendung von GLONASS-Bahndaten werden durch ein VBA-Programm die geozentrischen/kartesischen Koordinaten eines GLONASS-Satelliten in Abhängigkeit von der Beobachtungszeit berechnet. Man kann zwischen vier unterschiedlichen Satelliten auswählen. Die Eingaben der Berechnungsparameter erfolgen im Dialog. Einzelschritte der Berechnung und das Endergebnis werden in den Tabellenblättern „Ergebnis“ und „Protokoll“ dokumentiert.
- **Bodenspuren der GNSS (GPS, GLONASS, Compass, Galileo)**
Durch ein interaktives VBA-Programm werden wahlweise die Bodenspuren (Groundtracks) der GNSS *GPS*, *GLONASS*, *COMPASS* und *Galileo* berechnet und geplottet. Die Auswahl des Systems sowie die Festlegung der Anzahl der „Beobachtungstage“ erfolgt im Dialog.
- **Bodenspuren des japanischen Quasi-Zenith-Satelliten-Systems (QZSS)**
Durch ein VBA-Programm werden die Bodenspuren (Groundtracks) der japanischen QZSS-Satelliten berechnet und geplottet.
- **Bodenspuren des indischen regionalen Navigationssatellitensystems (IRNSS)**
Berechnung und Erstellung eines Plots der Bodenspuren der Satelliten des indischen IRNSS. Die Bodenspuren *eines* Satellitenumlaufs werden geplottet.

J.3.2 PRN-Folgen

Die im Bereich „PRN-Folgen“ (mit vier Unterbereichen) zur Verfügung gestellten VBA-Programme dienen der Erläuterung der bei den verschiedenen GNSS verwendeten PRN-Folgen (s. dazu auch Anhang D).

J.3.2.1 Gold-Codes

- **GPS_CA (PRN 1) Visualisierung (VBA)**
Die Entstehung des GPS-C/A-Codes (PRN 1) wird durch Anwendung eines interaktiven VBA-Programms Schritt für Schritt grafisch dargestellt und erläutert.
- **GPS_CA mit AKF bzw. KKF (VBA)**
Die 32 GPS-C/A-Codes können durch Anwendung eines VBA-Programms berechnet und grafisch dargestellt werden (einschließlich der AKF bzw. KKF).
- **GPS_L5 mit AKF bzw. KKF (VBA)**
Die 32 GPS-L5-Codes können durch Anwendung eines VBA-Programms berechnet und grafisch dargestellt werden (einschließlich ihrer AKF).
- **Galileo_E5a_b mit AKF bzw. KKF (VBA)**
Die vier Galileo-E5-Codes (einschließlich der AKF) von 25 Galileo-Satelliten können durch ein VBA-Programm berechnet und grafisch dargestellt werden (einschließlich ihrer AKF).

J.3.2.2 Maximalfolgen

- Maximalfolgen mit AKF (VBA)
Binäre Maximalfolgen werden durch ein interaktives VBA-Programm unter Verwendung der Simulation eines Fibonacci-Schieberegister erzeugt. Die Binärfolgen werden geplottet und ihre AKF berechnet und geplottet.
Tabelle J.1 enthält eine Auswahl von zu aktivierenden Rückkopplungsstellen, die zu Maximalfolgen führen.

Tabelle J.1: Auswahl von Parametern zur Erzeugung von Maximalfolgen

Anzahl Registerzellen	Rückkopplungszellen								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
4	0	0	1	1					
5	0	1	1	1	1				
5	0	1	0	0	1				
6	0	0	0	1	0	1			
7	0	0	1	0	0	0	1		
8	1	0	0	0	1	1	0	1	
9	0	0	0	1	1	0	0	1	1

- GLONASS_CA Visualisierung (VBA)
Die Entstehung des GLONASS-C/A-Codes wird durch Anwendung eines interaktiven VBA-Programms Schritt für Schritt grafisch dargestellt und erläutert.
- GPS_L2C mit AKF bzw. KKF (VBA)
32 GPS-L2CM-Codes werden durch Anwendung eines VBA-Programms berechnet und geplottet (einschließlich ihrer AKF).

J.3.2.3 Weil-Codes

- Legendre-Folgen (VBA)
Legendre-Folgen und ihre AKF werden durch Anwendung eines VBA-Programms berechnet und geplottet.
- GPS_L1C mit AKF (VBA)
32 GPS-L1C-Codes und ihre AKF können durch Anwendung eines VBA-Programms berechnet und geplottet werden.
- GPS_L1C mit AKF bzw. KKF (VBA)
Je zwei von 32 GPS-L1C-Codes und ihre KKF bzw. AKF werden durch Anwendung eines VBA-Programms berechnet und geplottet.

J.3.2.3 Kasami-Codes

- Berechnung von Kasami-Codes der Länge $N=63$ (vba)
Es können sieben unterschiedliche Kasami-Codes durch Anwendung eines VBA-Programms berechnet und geplottet werden.
- Berechnung der GLONASS-CDMA-Codes (vba)
Es können 31 unterschiedliche GLONASS-CDMA-Codes durch Anwendung eines VBA-Programms berechnet und geplottet werden.

J.3.3 Signale

Die in dem Bereich „Signale“ zur Verfügung gestellten VBA-Programme und Tabellen dienen der Erläuterung der BOC- und BPSK-Modulation und ermöglichen die Erstellung von Plots der bei den GNSS entstehenden Spektraldichten und AKF.

- SinBOC-Visualisierung der Phasensprünge (VBA)
Die Entstehung der bei SinBOC-Modulationen im Trägersignal vorkommenden Phasensprünge wird mithilfe eines VBA-Programms anhand von interaktiv entstehenden Plots aufgezeigt.
- SinBOC-Visualisierung von Spreizsignal, AKF und PSD (VBA)
Anhand von interaktiv entstehenden Plots wird die Entstehung des Basisbandsignals einer SinBOC-Modulation erläutert. Die bei der Modulation entstehenden AKF mit ihren mehrfach auftretenden Extremwerten und die zugehörige Spektraldichteverteilungen werden geplottet.
- CosBOC-Visualisierung von Spreizsignal, AKF und PSD (VBA)
Anhand von interaktiv entstehenden Plots wird die Entstehung des Basisbandsignals einer CosBOC-Modulation erläutert. Die bei dieser Modulation entstehende AKF mit ihren mehrfach auftretenden Extremwerten und die zugehörige Spektraldichteverteilung werden geplottet.
- CBOC(6,1,1_11)-Visualisierung von Spreizsignal, AKF und PSD (VBA)
Mithilfe eines VBA-Programms wird das bei der CBOC(6,1,1/11)-Modulation des Galileo-E1-Signals entstehende Spreizsignal, dessen AKF und PSD geplottet.
- TMBOC(6,1,4_33)-Visualisierung von Spreizsignal, AKF und PSD (VBA)
Mithilfe eines VBA-Programms wird das bei der TMBOC(6,1,1/11)-Modulation des GPS-L1C-Pilotsignals entstehende Spreizsignal, seine dessen und PSD geplottet.
- Spektraldichten der GNSS
In vier Tabellenblättern werden die zu den Modulationen
 - BPSK,
 - SinBOC,
 - CosBOC,
 - AltBOCgehörenden normierten Leistungsdichten im logarithmischen und linearen Maßstab geplottet. Die die Modulationen beschreibenden Parameter sind frei wählbar.
- Spektraldichte der Multiplexed-BOC-Modulation
Das normierte Leistungsdichtespektrum der für GPS und Galileo geplanten Multiplexed-BOC-Modulation wird geplottet. Zur Veranschaulichung können die Parameter für die Modulation in der Tabelle verändert werden, auch wenn sie von den USA und Europa festgelegt sind.
- Spektraldichten auf L1 (GPS, Galileo)
Mit der interaktiv zu erzeugenden Grafik soll demonstriert werden, wie zukünftig das L1-Frequenzband gemeinsam von Galileo und GPS genutzt wird. Durch Aktivieren bzw. Deaktivieren von Kontrollkästchen wird gesteuert, welche der insgesamt sieben Kanäle geplottet werden. Dabei wird zwischen der Signalausstrahlung „in Phase“ und der Signalausstrahlung „in Quadratur“ unterschieden.

J.3.4 Transformationen

Die im Bereich „Transformationen“ (mit zwei Unterbereichen) zur Verfügung gestellten Tabellen ermöglichen die Berechnung gängiger Datums- und Koordinatentransformationen.

J.3.4.1 Datumstransformation

- GK (DHDN) transformiert nach UTM (ETRS)
Gauß-Krüger-Koordinaten des DHDN werden in UTM-Koordinaten im System ETRS89 umgerechnet. Die erforderlichen Parameter zur Datumstransformation können verändert werden.
- UTM (ETRS) transformiert nach GK (DHDN)
UTM-Koordinaten des Systems ETRS89 werden in Gauß-Krüger des DHDN umgerechnet. Die erforderlichen Parameter zur Datumstransformation können verändert werden.

J.3.4.2 Koordinatentransformation

- GK-Koordinaten aus ellipsoidischen Koordinaten und umgekehrt
Umrechnung ellipsoidische Koordinaten in Gauß-Krüger-Koordinaten bzw. Umrechnung von Gauß-Krüger-Koordinaten in ellipsoidische Koordinaten. Es können vier unterschiedliche Ellipsoide ausgewählt werden.
- UTM-Koordinaten aus ellipsoidischen Koordinaten und umgekehrt
Umrechnung ellipsoidischer Koordinaten in UTM-Koordinaten bzw. Umrechnung von UTM-Koordinaten in ellipsoidische Koordinaten. Es können vier unterschiedliche Ellipsoide ausgewählt werden.

