



# VirtualGOCA - Ein GoogleEarth basiertes Tool zum interaktiven Design virtueller Sensornetzwerke, zur Modell- und Softwarevalidierung sowie zur Planung und Analyse von Geomonitoringszenarien

Reiner Jäger, Manuel Oswald und Peter Spohn

## Motivation

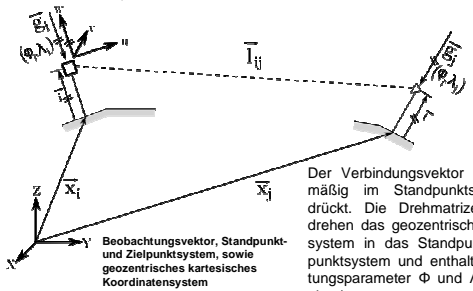
Mit dem Begriff des *Geomonitoring* verbinden sich vielfältige Aufgaben in Geoforschung, Katastrophenschutz und Frühwarnung. Interdisziplinär erfolgt die Aufgliederung jeweiliger Monitoringaufgaben in die Komponenten *Datenerfassung* (Sensornetzwerkbetrieb und Datenkommunikation), *Modellierung* (Reduktionen, Berechnung und statistische Bewertung georeferenzierter Zustandsgrößen, Vorhersagen, Erkennung von Prozessänderungen), *Reporting* (Protokollierung, virtuelle Sensormodelle, Visualisierung) und *Reaktion* (Umsetzung eines Alarmierungsplans).

Die im FuE-Projekt GOCA entwickelten Softwarepakete *VirtualGOCA* und *GOCAEarth* (GoogleEarth Visualisierung von Deformationszustandsgrößen) stehen am Anfang bzw. dritter Stelle der o. g. Monitoringkette.

*VirtualGOCA* leistet in der Verknüpfung von Geometrie- und Schwereräum die Generierung von Online-Sensorrohdaten und stellt diese im offenen GKA-Format (www.goca.info) mit Zeitstempel bereit. Diese realitätsnahen Sensorrohdaten ermöglichen – mit der beliebigen GoogleEarth unterstützten Konfigurierung virtueller Geomonitoringarrays – eine effiziente und kostengünstige Entwicklung und Validierung von Ausgleichungs- und Deformationsanalyse-Modellen. Ausgehend von der virtuellen Datenerfassung mittels *VirtualGOCA* können die o.g. Komponenten (Modellierung, Reporting, Reaktion) aufeinander abgestimmt, getestet und optimiert werden. Ferner erlaubt *VirtualGOCA* ein „Proof of Concept“ sowie die vergleichende Begutachtung und Qualitätsbewertung von Geomonitoring-Software sowie der Verfahrensabläufe.

## Gewinnung der Sensorrohdaten in VirtualGOCA

a) *Schrägstrecken, Richtungen und Zenitdistanzen* sind skalare Funktionale des Verbindungsvektors  $\vec{l}_{ij}$  von Kippachse und Prisma.



Der Verbindungsvektor  $\vec{l}_{ij}$  wird zweckmäßig im Standpunktsystem ausgedrückt. Die Drehmatrizen  $D_1$  und  $D_2$  drehen das geozentrische Koordinatensystem in das Standpunkt- bzw. Zielpunktsystem und enthalten die Lotrichtungsparameter  $\Phi$  und  $\Lambda$  (siehe rechts oben).

Nachfolgende Beziehung gilt für den Übergang zwischen den Koordinaten  $P(x,y,z)$  im einheitlich georeferenzierten und den lokalen (LAV) Standpunktsystemen (u,v,w)

$$\vec{l}_{ij} = \begin{pmatrix} \Delta u \\ \Delta v \\ \Delta w \end{pmatrix} = D_1 \cdot \begin{pmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} + D_2 \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

Berechnung des Beobachtungsvektors in den Standpunktsystemen

Die skalaren Messgrößen im Standpunkt P bestimmen sich dann auf einfache Weise als

$$s_{ij} + v_{ij}^s = \sqrt{\Delta u^2 + \Delta v^2 + \Delta w^2} \quad \text{Schrägstrecke}$$

$$r_{ij} + v_{ij}^r = \arctan\left(\frac{\Delta v}{\Delta u}\right) - o \quad \text{Richtung}$$

$$z_{ij} + v_{ij}^z = \arctan\left(\frac{\sqrt{\Delta u^2 + \Delta v^2}}{\Delta w}\right) - \frac{s_{ij}}{2R} \cdot k \quad \text{Zenitdistanz}$$

o: Orientierungsunbekannte. R: Erdradius. k: Refraktionskoeffizient.

b) *GNSS-Baselines* werden als Koordinatendifferenzen im geozentrisch kartesischen Koordinatensystem generiert. Die Transformation der geographischen Koordinaten  $P(B,L,h=H+N)$  nach in  $P(x,y,z)$  wird von der entsprechenden Fehlerfortpflanzung begleitet, so dass unterschiedliche Lage- und Höhen Genauigkeiten modellierbar sind:

$$C_{XYZ} = F \cdot \begin{pmatrix} \sigma_B^2 & & \\ & \sigma_L^2 & \\ & & \sigma_h^2 \end{pmatrix} \cdot F^T$$

$$F = \begin{pmatrix} -(M+h) \cdot \sin \varphi \cdot \cos \lambda & -(N+h) \cdot \cos \varphi \cdot \sin \lambda & \cos \varphi \cdot \cos \lambda \\ -(M+h) \cdot \sin \varphi \cdot \sin \lambda & -(N+h) \cdot \cos \varphi \cdot \cos \lambda & \cos \varphi \cdot \sin \lambda \\ (M+h) \cdot \cos \varphi & 0 & \sin \varphi \end{pmatrix}$$

c) Terrestrische *physikalische Höhenunterschiede*  $\Delta H$  (lokales Nivellement, Schlauchwaagen) können auf der Basis der im Geometrie- und Schwereräum konsistent georeferenzierten Geomonitoringpunkte  $P(B,L,H+N)$  direkt gebildet werden.

## Höhenbezugsflächenmodellierung (Quasigeoid)

Google Earth liefert über die kml-Schnittstelle nur die geographischen Lagekoordinaten B und L. Als weitere Parameter einer konsistenten Georeferenzierung der Beobachtungen auf bzw. zwischen den Punkten P des Geomonitoringarrays werden mit  $h = H + N$  die physikalische Höhe H und die Geoidundulation N benötigt. H wird realitätsnah aus einem digitalen Oberflächenmodell (ETOPO1) interpoliert. Die *Quasigeoidundulation N* wird nach dem Theorem von Bruns und der Theorie von Molodenski aus einem Geopotentialmodell W und dem GRS80 Referenzschwerfeld U berechnet als:

$$N = \frac{(W-U)_P}{\gamma_Q} = \frac{T_P}{\gamma_Q} \quad \text{Theorem von Bruns und Ogeoidhöhe N nach Molodenski}$$

Prof. Dr. Ing. Reiner Jäger – Projektleitung FuE Projekt GOCA  
Hochschule Karlsruhe - Technik und Wirtschaft (HSKA)  
University of Applied Sciences - Institut für Angewandte Forschung (IAF)  
Moltkestr. 30, D-76133 Karlsruhe  
Tel.: ++ 49 721 925 2620 ; Fax: ++ 49 721 925 2519  
Email: reiner.jaeger@web.de



Für W können EIGEN04C (siehe nachstehende Abb.) oder das EGM 2008 verwendet werden. Für die Lotrichtungsparameter  $\Phi$  und  $\Lambda$  gilt - ausgehend von der o.g. Georeferenzierung der Punkte P in globalen Koordinaten  $P(B,L,h)$  - der nachfolgende Zusammenhang zu den, je nach Ausgleichungsmodellbildungen notwendigen Richtungs- und / oder Zenitdistanzreduktionen infolge Oberflächenlotabweichungen:

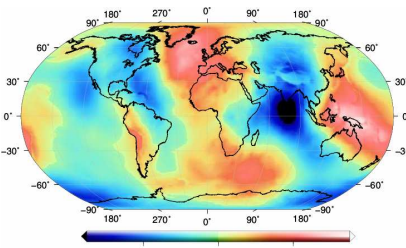
$$\xi = \phi - B \quad \text{Lotabweichung Nord-Süd-Richtung ["]}$$

$$\eta = (\Lambda - L) \cos B \quad \text{Lotabweichung Ost-West-Richtung ["]}$$

Die analytische Bestimmung der für die TPS-Beobachtungsgenerierung benötigten Lotrichtungsparametern ( $\Phi, \Lambda$ ) erfolgt in *VirtualGOCA* aus den Geopotentialmodellen EIGEN04C bzw. EGM2008 als:

$$\Phi = \arctan\left(\frac{-W_x}{\sqrt{W_x^2 + W_y^2}}\right) \quad \Lambda = \arctan\left(\frac{W_y}{W_x}\right) \quad \text{Lotrichtungsparameter}$$

Die nachfolgende Abbildung zeigt die Quasigeoidundulationen N, wie sie nach dem Theorem von Bruns (s.o.) aus dem Geopotentialmodell EIGEN04C des GFZ ermittelt werden.



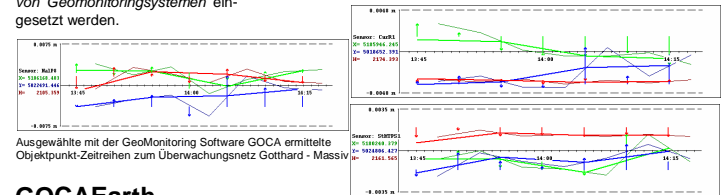
Darstellung der Quasigeoidundulation N [m] basierend auf dem Geopotentialmodell EIGEN04C des GFZ

## VirtualGOCA

Basierend auf dem Geopotentialmodell EIGEN04C des GFZ oder dem EGM 2008 und dem digitalen Oberflächenmodell ETOPO1 des NGDC werden die Rohdaten virtueller geodätischer Sensoren erzeugt und als GKA-Datenschnittstelle zur Verfügung gestellt. Dies sind *Baselines, Schrägstrecken, Richtungen, Zenitdistanzen und Höhenunterschiede* zusammen mit den zugehörigen *stochastischen Modellen*.

Die Sensorpositionen werden in Google Earth realitätsgetreu vorgegeben und über die kml-Schnittstelle an *VirtualGOCA* übergeben, wo auch die Konfiguration des Geomonitoring-Netzes erfolgt. Zusätzlich hat der Anwender die Möglichkeit Genauigkeitsvorgaben für die einzelnen Sensortypen festzulegen. Zur Bewertung der Robustheit eines Geomonitoringkonzeptes bzw. der Netzausgleichungs- und Deformationsanalyse-Software kann nutzerseitig eine Generierung grober Fehler eingestellt werden („Anzahl der groben Messfehler pro Stunde“). Neben den Beobachtungsmodi *Echtzeit* und *Zeitspanne* bietet *VirtualGOCA* die *Auswahl von Deformationsmodellen*, welche simuliert werden können - zum Beispiel *Hirtungsungen*.

Überwachungsnetz Gotthard-Massiv (links). Details des Staumauern-Messdesigns (rechts)



## GOCAEarth

Die Ergebnisse der Deformationsanalyse von GOCA (Stufe 2: fin-Daten, Stufe 3: mve- und sht-Daten) sollen als Verschiebungsvektoren (Lage und Höhe) in GoogleEarth visualisiert werden. Für die lagerichtige Darstellung wurde eine Transformation aller Daten in das Google Earth eigene Koordinaten- und Bildsystem implementiert. So ist sichergestellt, dass auch lokale GOCA-Netze am richtigen Ort visualisiert werden. Die benötigten Passpunkte werden über die kml-Schnittstelle an GOCAEarth übergeben. Bei der Transformation handelt es sich um eine zweidimensionale Ähnlichkeitstransformation zwischen konformen Koordinaten. Für jeden Datentyp sowie für die Sensorposition wird eine eigene kml-Datei angelegt und über einen sogenannten kml-Netzwerklink an Google Earth übergeben. Der Netzwerklink übernimmt auch die Funktion der Aktualisierung der Darstellung der einzelnen kml-Dateien, so dass GOCAEarth nur die entsprechende kml-Datei neu schreiben muss. In den Pop-Up's der Objektpunkte hat der Anwender die Möglichkeit, in tabellarischer Form die Verschiebungsbeträge der einzelnen Datentypen zu analysieren.

Benutzeroberfläche GOCAEarth (links). Visualisierung von Deformationen (Mitte). Tabellarische Übersicht Deformationszuständen (rechts)

GOCA Homepage: <http://www.goca.info>