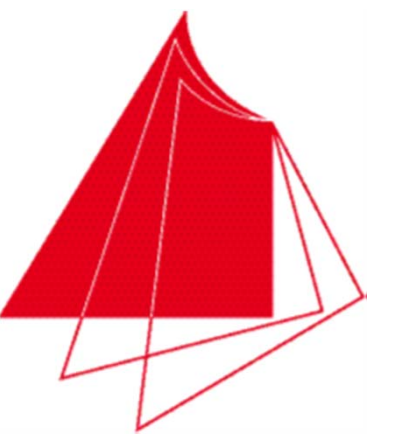




VirtualGOCA - Ein GoogleEarth basiertes Tool zum interaktiven Design virtueller Sensornetzwerke, zur Modell und Software-validierung sowie zur Planung und Analyse von Geomonitoringszenarien

Reiner Jäger, Manuel Oswald und Peter Spohn

Motivation

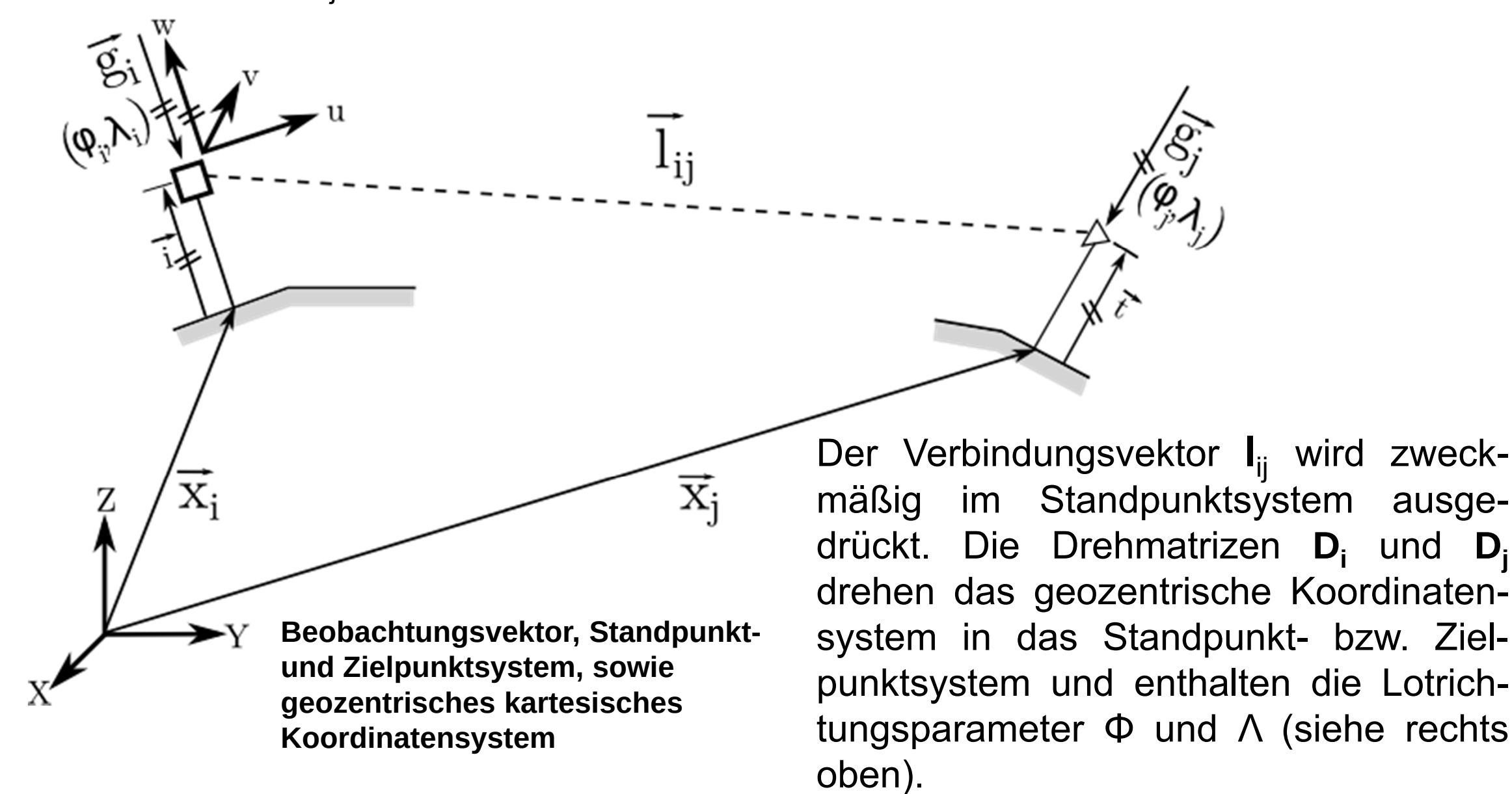
Mit dem Begriff des *Geomonitoring* verbinden sich vielfältige Aufgaben in Geoforschung, Katastrophenschutz und Frühwarnung. Interdisziplinär erfolgt die Aufgliederung jeweiliger Monitoringaufgaben in die Komponenten *Datenerfassung* (Sensornetzwerkbetrieb und Datenkommunikation), *Modellierung* (Reduktionen, 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.



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

$$\vec{l}_{ij} = \begin{pmatrix} \Delta u \\ \Delta v \\ \Delta w \end{pmatrix} = \mathbf{D}_i \cdot \begin{pmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ i \end{pmatrix} + \mathbf{D}_{ij} \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ t \end{pmatrix}$$

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 Höhengenaugkeiten modellierbar sind:

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

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

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

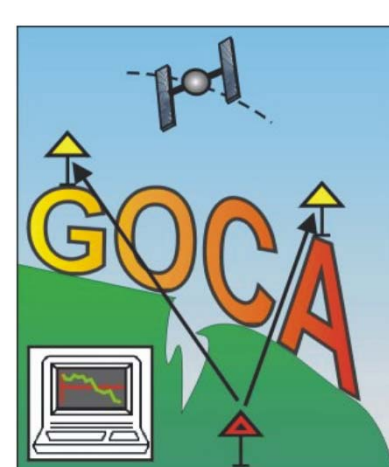
Höhenbezugsflächenmodellierung (Quasigeoid)

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 Referenzschwerefeld U berechnet als:

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

Prof. Dr. Ing. Reiner Jäger – Projektleitung FuE Projekt GOCA

Hochschule Karlsruhe - Technik und Wirtschaft (HKA)
University of Applied Sciences - Institut für Angewandte Forschung (IAF)
Moltkestr. 30, D-76133 Karlsruhe
Tel.: ++ 49 721 925 2620 ; Fax: ++ 49 721 925 2591
Email: reiner.jaeger@hs-karlsruhe.de



Für W können EIGEN04C (siehe nachstehende Abb.) oder das EGM 2008 verwendet werden. Für die Lotrichtungsparameter Φ und Λ 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:

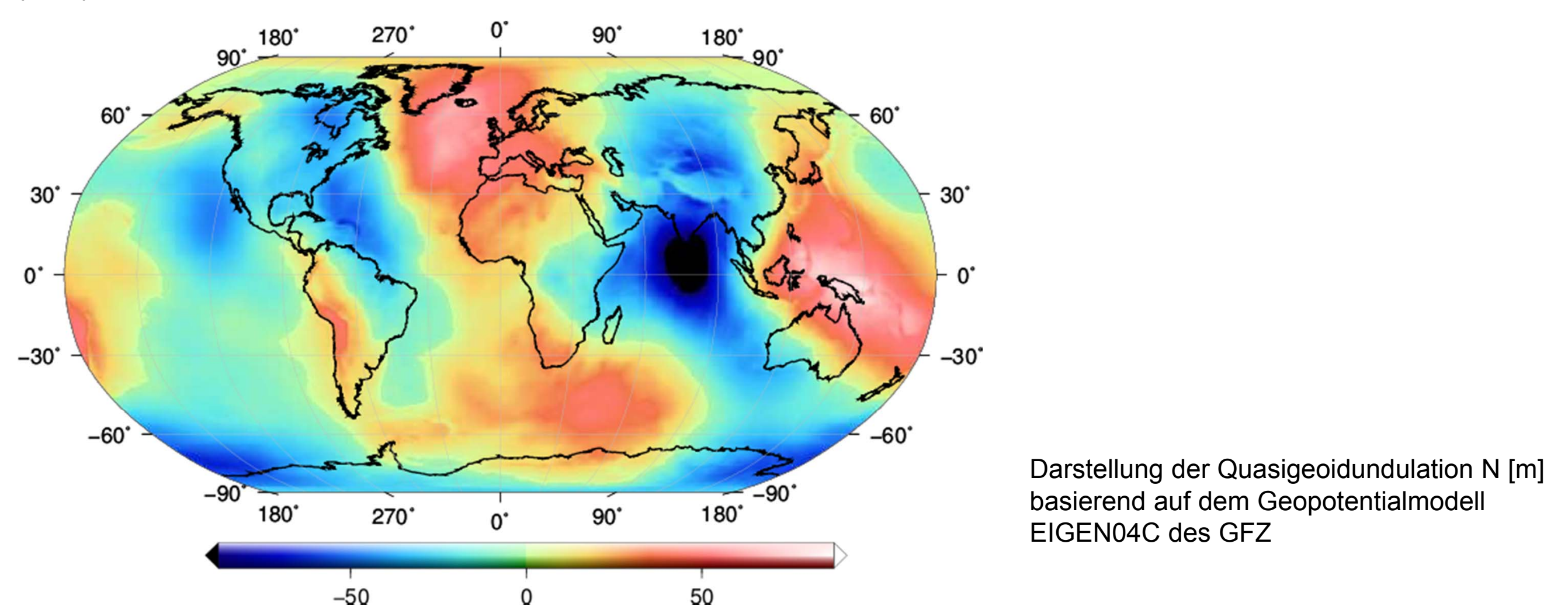
$$\xi = \phi - B \quad \text{Lotabweichung Nord-Süd-Richtung ["]}$$

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

Die analytische Bestimmung der für die TPS-Beobachtungsgenerierung benötigten Lotrichtungsparameter (Φ, Λ) erfolgt in *VirtualGOCA* aus den Geopotentialmodellen EIGEN04C bzw. EGM2008 als:

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

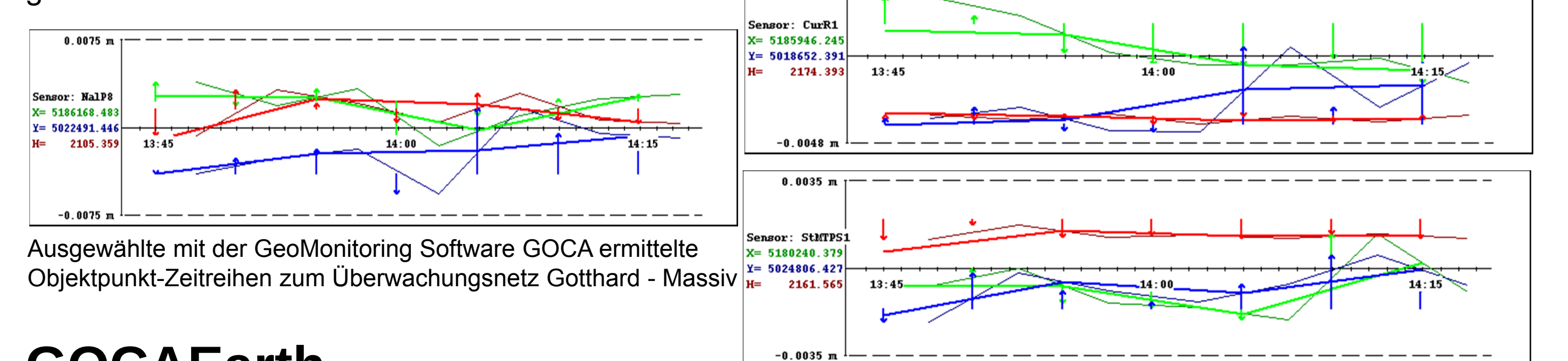
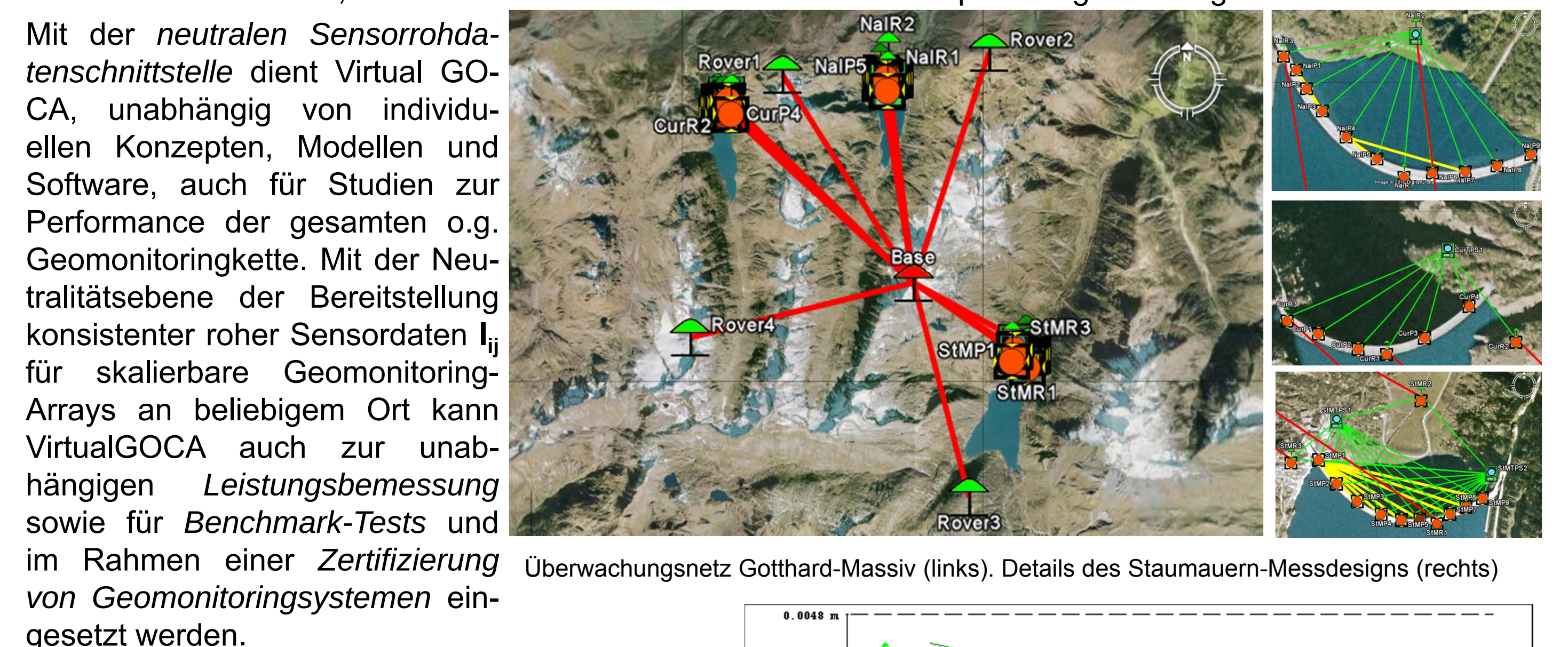
Die nachfolgende Abbildung zeigt die Quasigeoidundulationen N, wie sie nach dem Theorem von Bruns (s.o.) aus dem Geopotentialmodell EIGEN04C des GFZ ermittelt verwendet.



VirtualGOCA

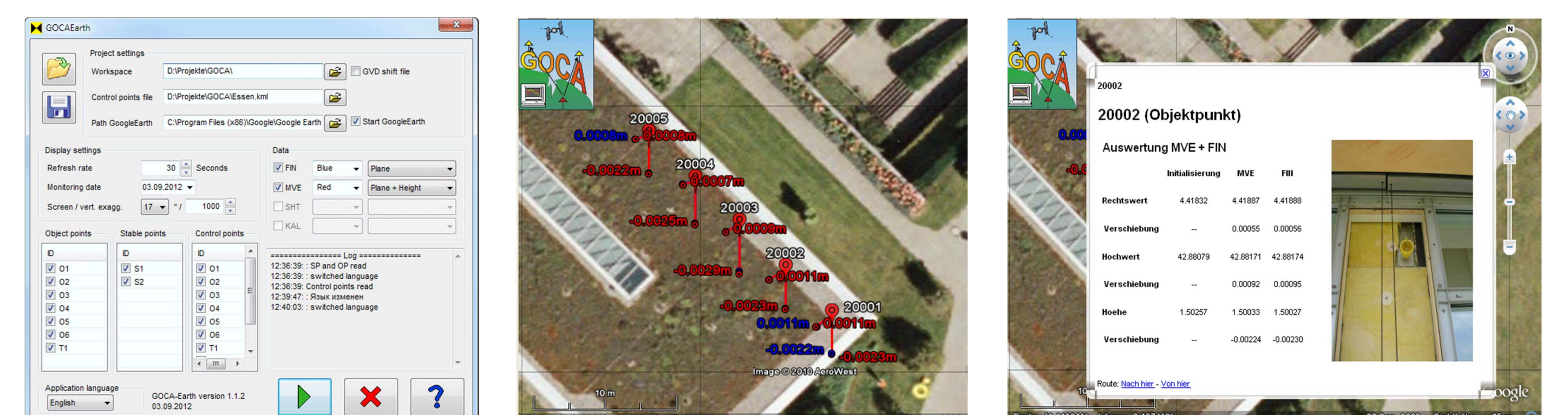
Basierend auf dem Geopotentialmodell EIGEN04C des GFZ oder dem EGM 2008 und dem digitalen Oberflächenmodell ETOPO1 des NGDC werden die Rohdaten virtueller geodätischer Sensoren erzeugt und als GKA-Datenschnittstelle zur Verfügung gestellt. Dies sind *Baselines, Schrägstrecken, Richtungen, Zenitdistanzen*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



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>