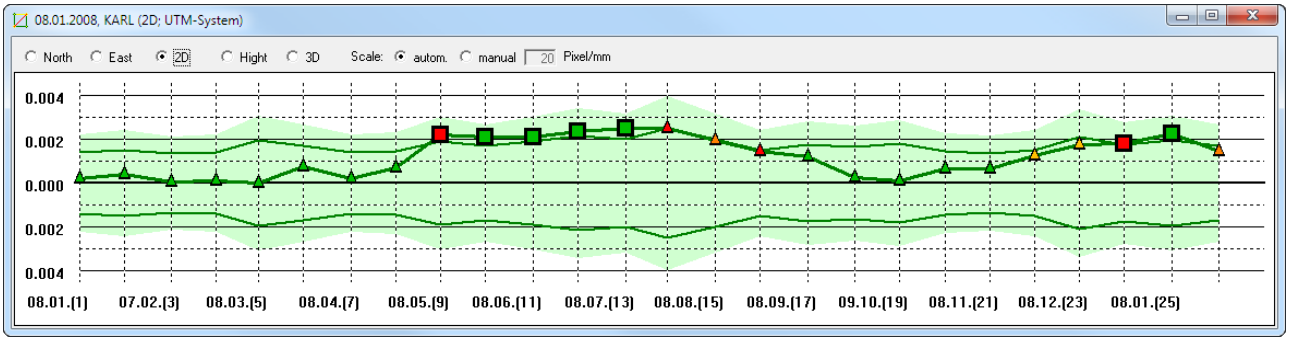
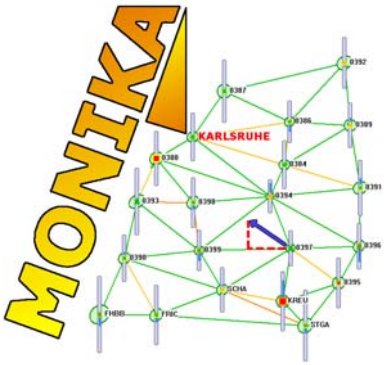
Hochschule Karlsruhe
Technik und Wirtschaft

UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

MONIKA



Referenzstationskoordinaten-Monitoring und Monitoring von Umweltgefahren nach dem Karlsruher Modellansatz (MONIKA)



Institut für Angewandte Forschung

Monika Version 3.0

Author: Peter Spohn

Einleitung

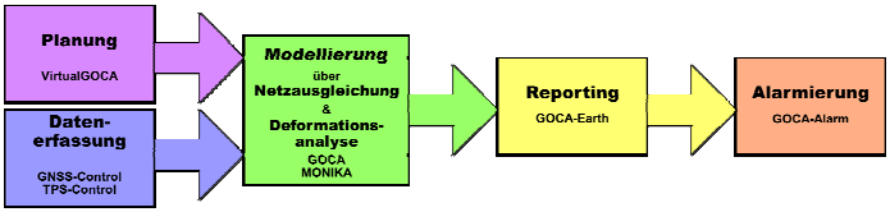


Abbildung 1: allgemeines Ablaufschema einer Geomonitoringkette

Bedingt durch den weltweit fortschreitenden Ausbau von GNSS-Referenzstations-basierten Positionierungs-diensten, wie beispielsweise ***SAPOS*** und *ascos* in Deutschland, etablieren sich diese Dienste zunehmend in vielen Bereichen als interdisziplinäre Querschnittsanwendung zur hochgenauen absoluten Georeferenzierung. Neben diesem eigentlichen Zweck und des dazu seitens des Betreibers garantierten Leistungsvermögens, setzt auch der vernetzte Betrieb von GNSS-Referenzstations-diensten voraus, dass Änderungen der Referenzstationskoordinaten - bereits ab wenigen Millimetern – ad hoc erkannt und durch eine entsprechende Nachführung der geänderten Koordinaten berücksichtigt werden. Aus diesen Gründen hat die Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen (AdV) im Jahre 2006 aus dieser Notwendigkeit heraus den Beschluss gefasst, solche Netze einer permanenten Koordinaten- bzw. Deformations-integritäts-Monitoring zu unterziehen.
MONIKA realisiert diese Forderungen durch eine zweistufige koordinatenbezogene multiepochalen Deformationsanalyse, deren Epochen zueinander sich auch aus unterschiedlichen Referenzpunktmengen zusammensetzen können.

Die MONIKA Anwendung

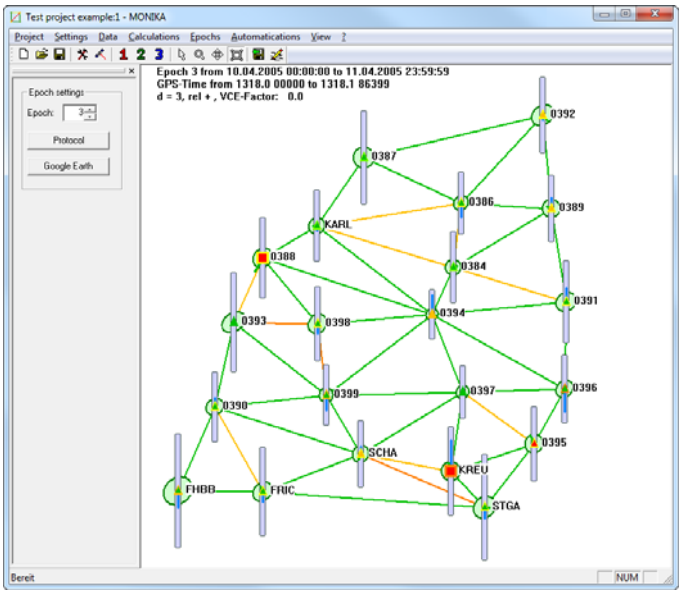


Abbildung 2: MONIKA V3.0 Screenshot

Das C++ basierte Programm MONIKA wurde mit Visual Studio 2010 erstellt. Durch eine objektorientierte Entwicklung sind Erweiter- und Verbesserungen in MONIKA relativ einfach zu realisieren.
Die Anwendung selber orientiert sich dabei an dem, aus anderen Programmen vertrautem, Erscheinungsbild (s. Abb. 2). Alle allgemeinen Funktionen sind in den Punkten der Menüleiste zu finden. Punkt- oder epochenspezifische Funktionen hingegen wurden in einem sich an-passenden Kontextmenü integriert. Im Darstellungsbereich selber wird ab einem bestimmen Projektstand, das Referenz-netz grafisch angezeigt und die wichtigsten Ergebnisse farblich dargestellt. Nach der Deformationsanalyse stehen neben einem ausführlichen HTML-Protokoll, dann auch noch weitere Analyseansichten, wie z.B. eine individuelle Punktliste oder eine Zeitreihengrafik (s. Abb. 3) zur Verfügung.
Analog zu dem mathematischen Berechnungsweg, untergliedert sich auch in der Anwendung die Bearbeitungsschritte. Ausgehend von den GNSS-Rohdaten müssen diese zunächst zu Baselines (z.B. Wanninger-Software "WA1") oder GNSS-Netzen (SINEX) zusammengefasst werden. Mit diesen Daten werden dann die Epochen definiert, wobei auch SINEX- mit RINEX-Daten, sowie relative und absolute Beobachtungen gemischt in der nachfolgenden Epochenausgleichung verarbeitet werden können. Sollten bei der Epochenausgleichung statistisch aufgedeckte Fehler auftreten, so können die betroffenen Beobachtungen deaktiviert und die Epochen erneut 3D ausgeglichen werden. Umfassen die Epochen längere Zeitspannen, kann in MONIKA auch eine Kontinentalplattenrotation berücksichtigen, bevor in einem letzten Schritt die eigentliche Deformationsanalyse berechnet wird. Bei freien Netzen, werden diese mit einer S-Transformation vereinheitlicht.

Weitere Vorteile bietet MONIKA durch seine offenen Baseline- (*.bls) und Epochen-schnittstelle (*.epinfo, *.epkoo, *.epkov), durch welche theoretisch auch Daten aus anderen Programmen angebunden und vor der ersten oder zweiten Berechnungsstufe eingelesen werden können. Alle Epochen- und Deformationsanalyseberechnungen können auch automatisiert werden. Zusammen mit GOCA-GNSS-Control und GOCA-Alarm wird daher die komplette Geomonitoringkette unterstützt.

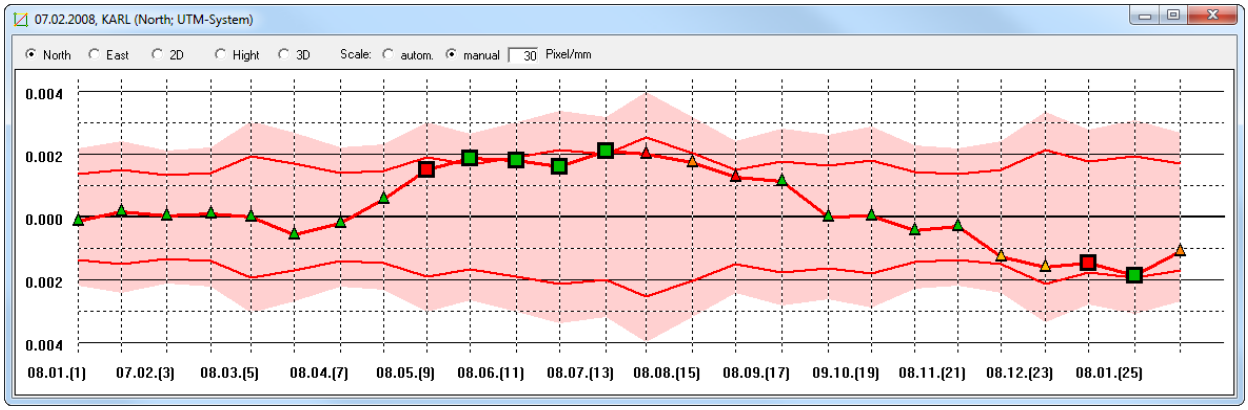


Abbildung 3: Zeitreihe aus MONIKA V3.0

Mathematisches Modell

Ausgehend von aus RINEX-Daten berechneten Baselines oder bereits erzeugten SINEX-Daten, werden diese Daten in einem ersten Schritt zu Epochendefinitionen zusammengefasst. Aus diesen Epochendefinitionen werden dann in der ersten Stufe der Deformationsanalyse über eine strenge 3D-Ausgleichung die Epochen berechnet, inklusive einer umfangreichen Teststatistik. In der zweiten Stufe werden dann wiederum die Epochen, nach einer Vortransformation auf ein einheitliches Datum, zu einer multi-epochalen Deformationsanalyse zusammengefasst (s.F1). In dieser Deformationsanalyse wird darüber hinaus iterativ, über die Modellierung eines Störmodells (s.F2) und dessen statistische Kontrolle, nach deformierten Referenzpunkten gesucht, welche dann für die weitere Berechung der Deformationsanalyse zu Objektpunkten zurückgestuft werden.

$$\begin{bmatrix} \mathbf{l}_{\text{Ref, Ep 1}} \\ \mathbf{l}_{\text{Obj, Ep 1}} \\ \mathbf{l}_{\text{Ref, Ep 2}} \\ \mathbf{l}_{\text{Obj, Ep 2}} \\ \mathbf{l}_{\text{Ref, Ep 3}} \\ \mathbf{l}_{\text{Obj, Ep 3}} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{v}_{\text{Ref, Ep 1}} \\ \mathbf{v}_{\text{Obj, Ep 1}} \\ \mathbf{v}_{\text{Ref, Ep 2}} \\ \mathbf{v}_{\text{Obj, Ep 2}} \\ \mathbf{v}_{\text{Ref, Ep 3}} \\ \mathbf{v}_{\text{Obj, Ep 3}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{A}_{\text{Ref, Ep 1}} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \mathbf{I}_{\text{Obj, Ep 1}} & 0 & 0 \\ \mathbf{A}_{\text{Ref, Ep 2}} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \mathbf{I}_{\text{Obj, Ep 2}} & 0 \\ \mathbf{A}_{\text{Ref, Ep 3}} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \mathbf{I}_{\text{Obj, Ep 3}} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \hat{\mathbf{x}}_{\text{Ref,Def}} \\ \hat{\mathbf{x}}_{\text{Obj, Ep 1}} \\ \hat{\mathbf{x}}_{\text{Obj, Ep 2}} \\ \hat{\mathbf{x}}_{\text{Obj, Ep 3}} \end{bmatrix}$$

F1: Funktionales Modell der Deformationsanalyseausgleichung nach dem Karlsruher Modellansatz am Beispiel von drei Epochen.

$$\mathbf{l} + \mathbf{v}' = \mathbf{A} \cdot \hat{\mathbf{x}}' + \mathbf{B}_{\text{i(Ep}_k\text{)}} \cdot \nabla \mathbf{x}_{\text{i(Ep}_k\text{)}}$$

F2: Erweiterung des funktionalen Modells um einen gezielt modellierten Störparameter am Referenzpunkt i, in der Epoche k.

Neben der statistischen Suche nach deformierten Referenzpunkten und der Berechnung der Deformationen von Referenz- und Objektpunkten mit den jeweiligen Konfidenzbereichen, wird auch ein Epochenkongruenztest, sowie die planerische Sensitivität des Referenzpunktnetzes berechnet.

MONIKA Projekt-Beispiele

Das erste MONIKA Projekt wurde 2006 durch das Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg initiiert. In diesem Projekt werden auch heute noch 37 SAPOS Referenzstationen in einer multiepochalen Deformationsanalyse zusammengefasst. Neben einer robusten statistischen Aufdeckung von deformierten Punkten und deren Klassifizierung als Objektpunkte in der endgültigen Koordinatenberechnung, ist vor allem die Sensitivität der Einzelpunkttest beachtlich. In einigen konkreten Fällen wurden, auf der Grundlage von 24-Stunden-Beobachtungen, schon Verschiebungen in der Lage von 1,5 - 2,0 mm und in der Höhe ab 8 mm hochsignifikant erkannt. Und dies bei einer Fläche des Referenznetzes von über 35000 km².

Ein ähnliches Projekt betreibt auch das Landesamt Rheinland-Pfalz. Neben dem Monitoring der dortigen SAPOS-Referenzstationen, wird hier auch die vulkanisch aktive Eifel-Pflume mit der MONIKA Software überwacht.

Kontinuierliche Auswertungen des EUREF Referenznetzes werden auch von der Hochschule Karlsruhe durchgeführt. Die Sensitivität/Trennschärfe der Deformationen liegt auch hier im Bereich von 2,0 - 2,5 mm für die Lage und 6 - 10 mm für die Höhe. Wöchentliche Ergebnisse werden auf der MONIKA-Homepage (www.monika.ag) veröffentlicht und können mit der MONIKA-Demoversion betrachtet werden.

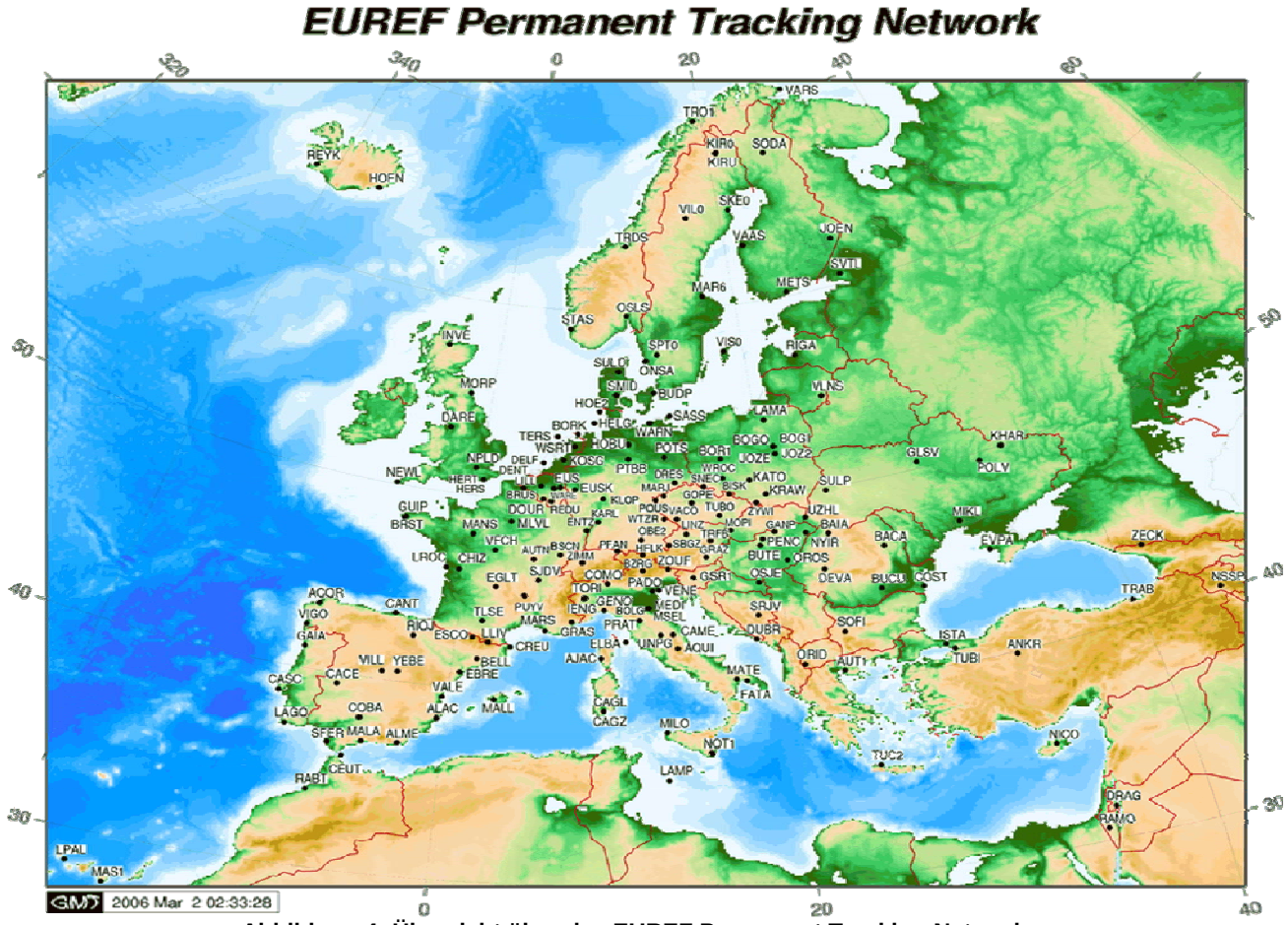


Abbildung 4: Übersicht über das EUREF Permanent Tracking Network

Kontakt (GOCA und MONIKA Projektleitung)

Adresse: Prof. Dr.-Ing. R. Jäger, Hochschule Karlsruhe - Technik und Wirtschaft
Institut für Angewandte Forschung, Molkestraße 30, 76131 Karlsruhe
www.imm.hs-karlsruhe.de
E-Mail: reiner.jaeger@goca.info
Web: www.goca.info und www.monika.ag
Tel.: ++ 49 / (0) 721 / 925 – 2620 . Fax: ++ 49 / (0) 721 / 925 - 2597