

GNSS/LPS/LS based Control and Alarmsystem (GOCA)

Ein geodätischer Beitrag zum Geo-/Anlagen-/Gebäude-Monitoring, zur Deformationsanalyse und -Vorhersage und zum Katastrophenschutz -

Prof. Dr.-Ing. Reiner Jäger



Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft
Faculty of Geomatics
Department Vermessung&Geomatik
International Study Programme Geomatics (MSc)
www.g.hs-karlsruhe.de

Institut für Angewandte Forschung (IAF)
Moltkestrasse 30, D-76133 Karlsruhe
www.goca.info



Honorary Professor of the Siberian State Academy of Geodesy



Reiner Jäger

www.goca.info

GOCA-Präsentation 230-Jahre-Feier MIIGAİK, 25.-27. Mai 2009

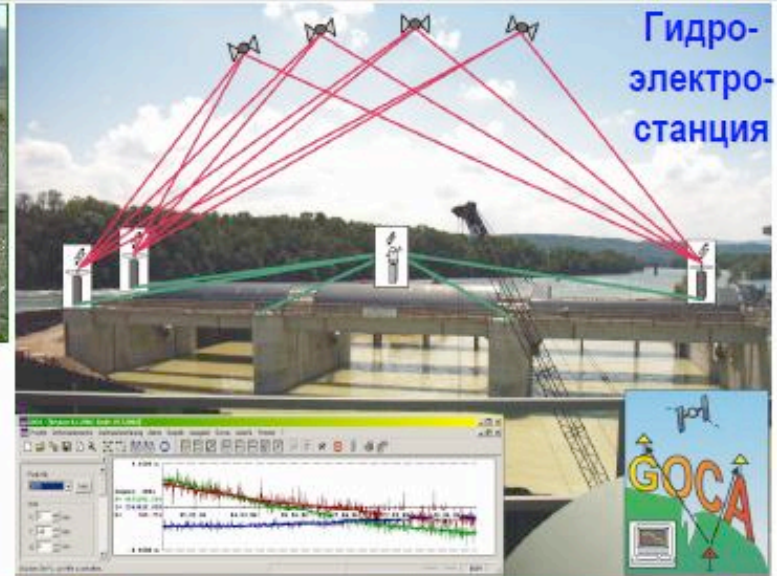


Защита от катастроф на основе GNSS/LPS GOCA (GNSS/LPS Online Control & Alarmsystem)

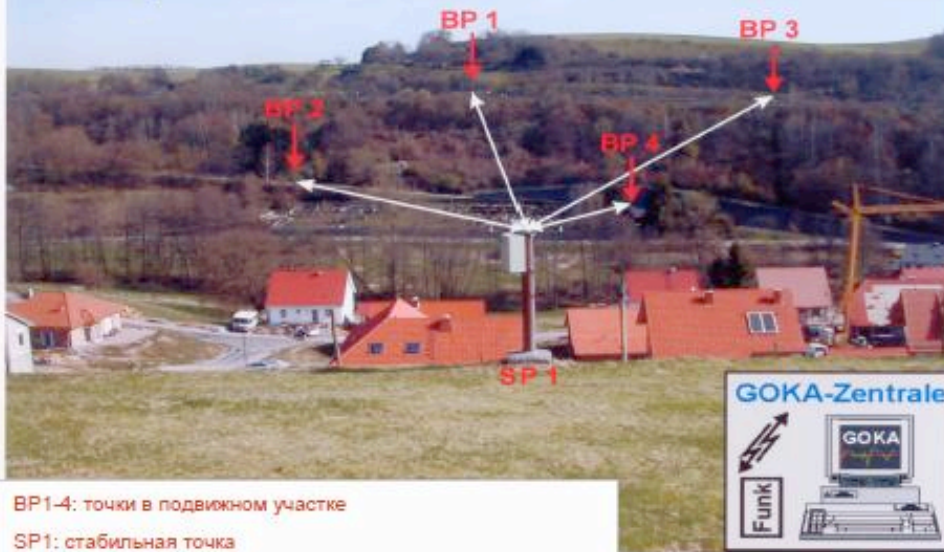


GOCA – онлайн-система непрерывного наблюдения за деформациями, основанная на точных спутниковых (GNSS) и наземных геодезических наблюдениях (LPS).

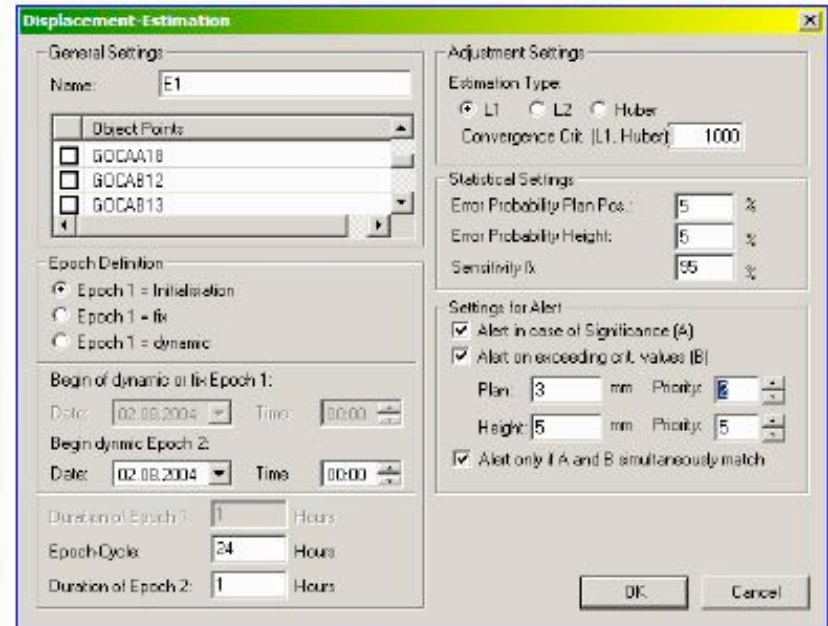
Разработки: концепт системы, алгоритмы и ПО
Применение: обнаружение и прогноз деформаций, оповещение при критических состояниях. Система раннего оповещения при природных явлениях (оползни, вулканы), для геотехнических сооружений (туннели, горные разработки, плотины) и зданий. Более 30 установок по всему миру.



Автострада А62 – наблюдение за откосом



BP1-4: точки в подвижном участке
 SP1: стабильная точка



Reiner Jäger

www.goca.info

GOCA-Präsentation 230-Jahre-Feier MIGAİK, 25.-27. Mai 2009



GOCA Anwendungsgebiete Teil 1 - Naturkatastrophenschutz



Reiner Jäger

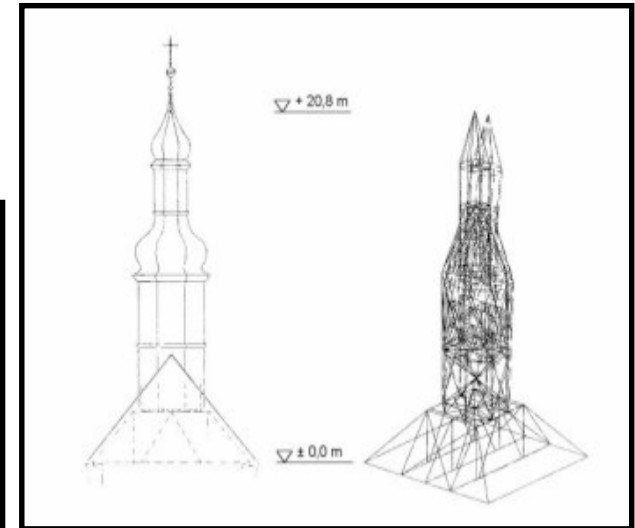
www.goca.info

GOCA-Präsentation 230-Jahre-Feier MIGAİK, 25.-27. Mai 2009



GOCA Anwendungsgebiete – Teil 2

Bauwerks-Monitoring und Deformationsanalyse Statisch & Kinematisch



Bauwerksschwingungen



Monitoring und
Deformationsanalyse
von Bauwerken
bspw. im
Bergbaubereich



Baustellen
Monitoring



Reiner Jäger

www.goca.info

GOCA-Präsentation 230-Jahre-Feier MII/GAIK, 25.-27. Mai 2009



Standards des Geodätischen Monitoring (Deformationsanalyse)
FIG Commission 6 and Working Groups (~ 1975 - 2009)



Linachtalsperre

Absolute Deformationsnetz mit Partitionierung in Stabilbereich x_R und Objektbereich x_O



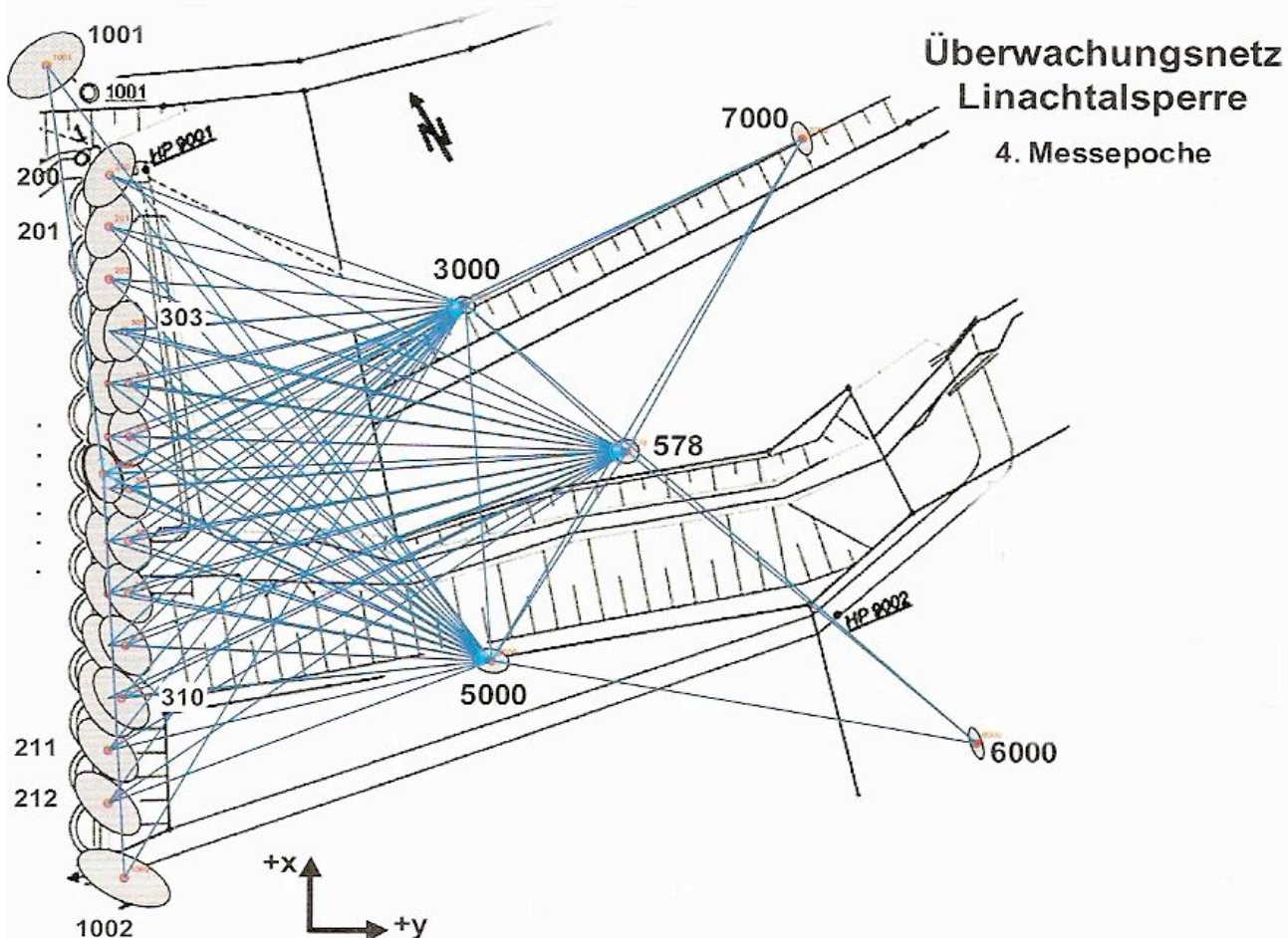
Reiner Jäger

www.goca.info

GOCA-Präsentation 230-Jahre-Feier MII GAIK, 25.-27. Mai 2009



Standards des Geodätischen Monitoring (Deformationsanalyse) FIG Commission 6 and Working Groups (~ 1975 - 2009)



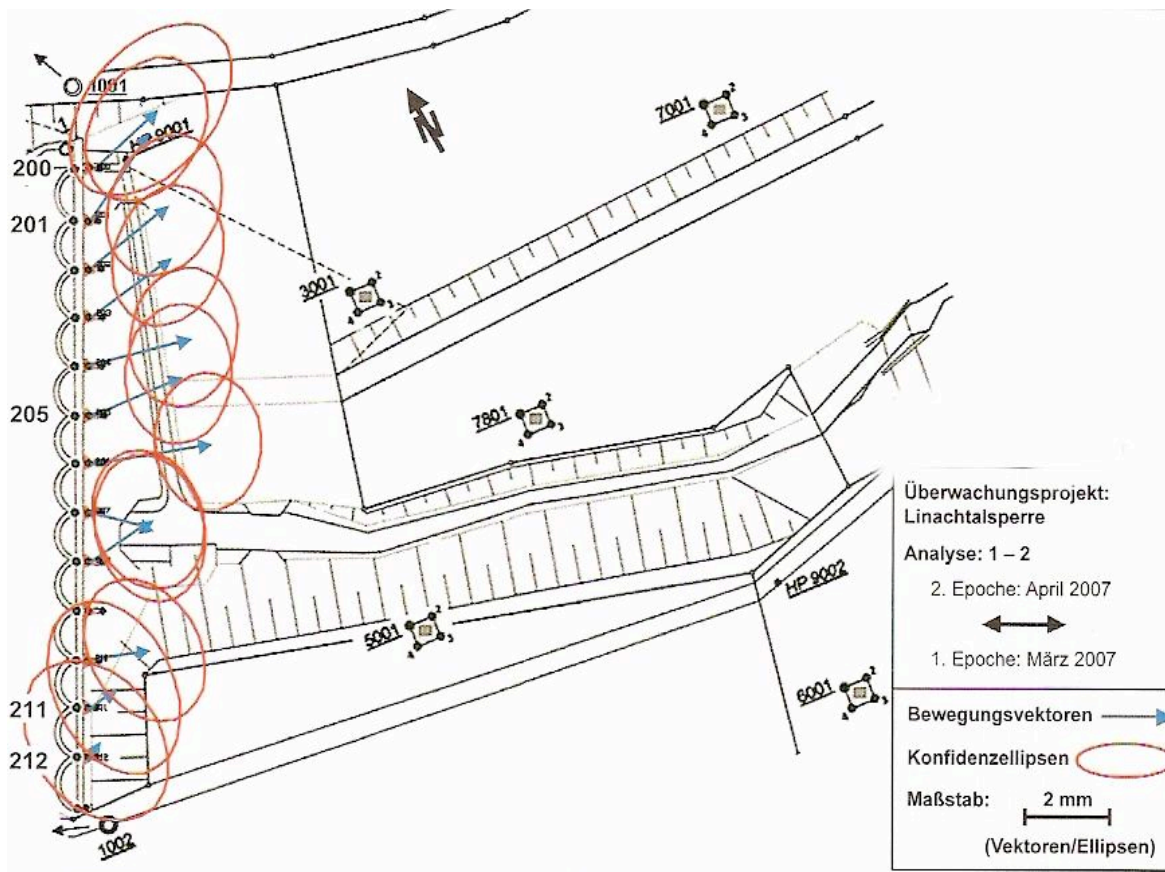
Netzausgleichung mit allen Messungen in Epochen bzw. Intervallen. Koordinaten des Stabilbereiches x_R identisch, Objektkoordinaten $x_O(t)$ zeitabhängig



Standards des Geodätischen Monitoring (Deformationsanalyse)

FIG Commission 6 and Working Groups (~ 1975 - 2009)

Objektpunkt-Verschiebungen + statistischer Test



an der Linachtalsperre

Fachbeitrag

pekte festgelegten Standorte für die Referenzpunkte aller Voraussicht nach langfristig ihre Lage nicht verändern und die relativ zu den Referenzpunkten geschätzten Änderungen in den Objektpunktkoordinaten die Deformation des Überwachungsobjektes zwischen entsprechenden Messepochen repräsentieren.

Die grundlegende Problematik bei der Berechnung von Deformationsanalysen liegt darin, dass sich aufgrund der Stochastizität der durchgeführten Beobachtungen die geschätzten Epochenkoordinaten im Rahmen der Messgenauigkeit unterscheiden werden, selbst wenn keine realen Deformationen vorliegen. Hier gilt es also durch Anwendung statistischer Tests zwischen vorliegendem Messrauschen und eigentlicher Deformation zu unterscheiden.

Das hier zur Anwendung kommende koordinatenbezogene Verfahren zur Deformationsanalyse geht von den Ergebnissen x_i (Koordinaten) und $C_{x,i}$ (Kovarianzmatrizen) der Einzelepochenanpassungen aus. Es bietet gegenüber den beobachtungsbezogenen Verfahren der Deformationsanalyse den Vorteil, dass lediglich die Endergebnisse der Einzelepochenanpassungen nicht aber das hierzu verwendete Beobachtungsmaterial für die nachfolgenden Analysen zu archivieren sind. Nachfolgend wird kurz auf die einzelnen Stufen des Analysekonzepts eingegangen, wie es in Karlsruhe in dem Softwarepaket CODEKA2D umgesetzt und z. B. in (Jäger et al. 2005) näher beschrieben ist. Dabei werden nur die Schritte der Deformationsanalyse näher erläutert, auf die bei Vorstellung der Beispiele in Kap. 5.2 Bezug genommen wird.



Reiner Jäger

www.goca.info

GOCA-Präsentation 230-Jahre-Feier MII/GAIK, 25.-27. Mai 2009

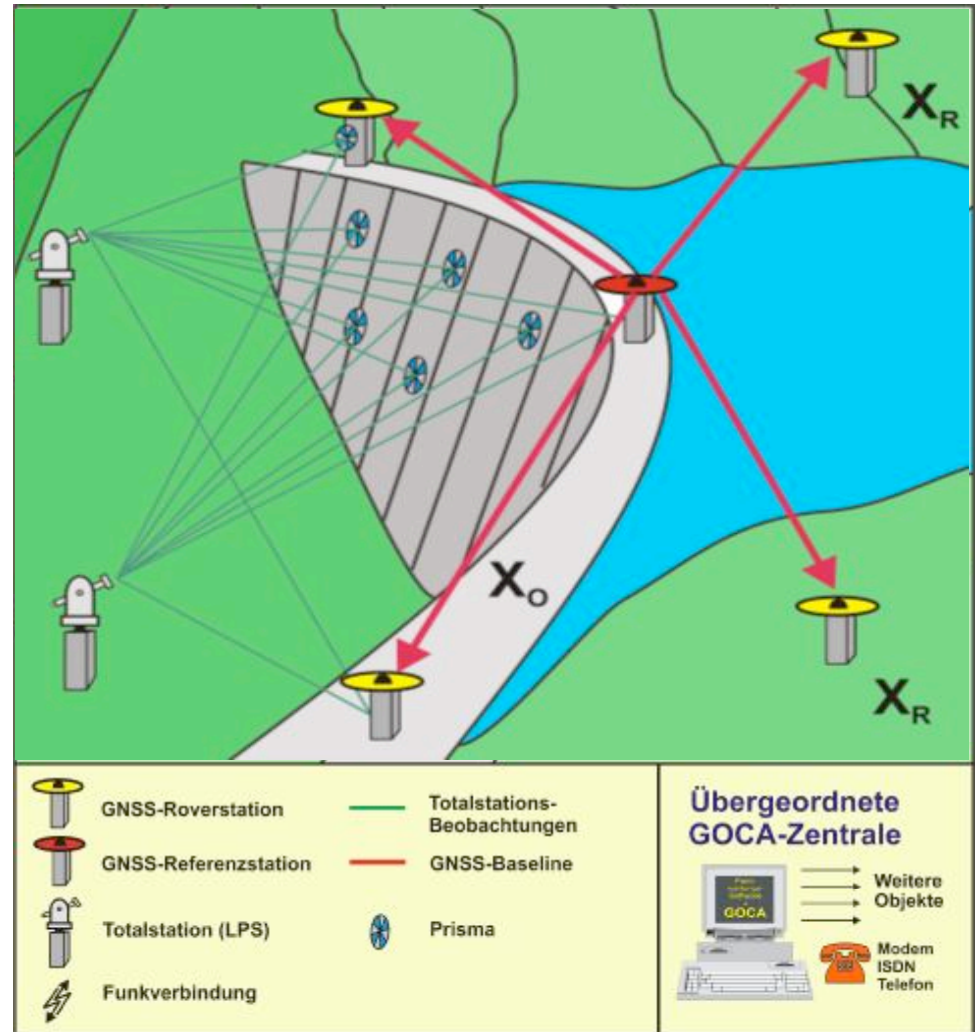


GOCA – System und – Software (HSKA)

GOCA = GNSS/LPS based Online Control and Alarm System

Ziele des GOCA_Systems

- Online 3D- Monitoring mittels GNSS/GPS/LPS (Totalstationen, Nivelliere etc.) und zusätzlich LS.
- Online 3D-Georeferenzierung der Objektpunkte im Datum der Referenz- oder Stabilpunkte im Sinne einer klassischen Deformationsnetzes (GNSS/LPS).
- Online Deformationsanalyse (Verschiebungsschätzungen, Kalmanfilterung bzgl. Koordinaten/Verschiebungen und LS-Zustandsgrößen $z(t)$. Statistische Tests.
- Automatische Alarmierung.



Reiner Jäger

www.goca.info

GOCA-Präsentation 230-Jahre-Feier MIIGAİK, 25.-27. Mai 2009

GOCA

GOCA - Sensorintegration

**Absolutes Deformationsnetz $y = (x_R, x_o(t))$
Geodätische Netzausgleichung**



**Standardsensoren $l=l(x)$
GPS/GNSS, Totalstationen
Nivelliere, Schlauchwaagen**

**Sensor-
Integration**

**Gemeinsame Ausgleichung der $l(x,t)$:
Eindeutiger Satz 3D-Koordinaten pro Objektpunkt und Zeit t**



„Lokale LPS Gruppen“



$$\Delta H_{o_{ij,GPS}}(t) + v = \Delta \hat{H}_{o_{ij}}(t)$$

$$\Delta R_{e_{ij,GPS}}(t) + v = \Delta \hat{R}_{e_{ij}}(t)$$

$$\Delta h_{ij,GPS}(t) + v = \Delta \hat{h}_{ij}(t)$$



$$\Gamma_{ij}(t) + v = \arctan\left(\frac{\Delta \hat{R}_{ij}}{\Delta \hat{H}_{ij}}\right)^t - \hat{o}$$

$$s_{ij}(t) + v = (\hat{m} \cdot \sqrt{\Delta \hat{R}_{ij}^2 + \Delta \hat{H}_{ij}^2})^t$$

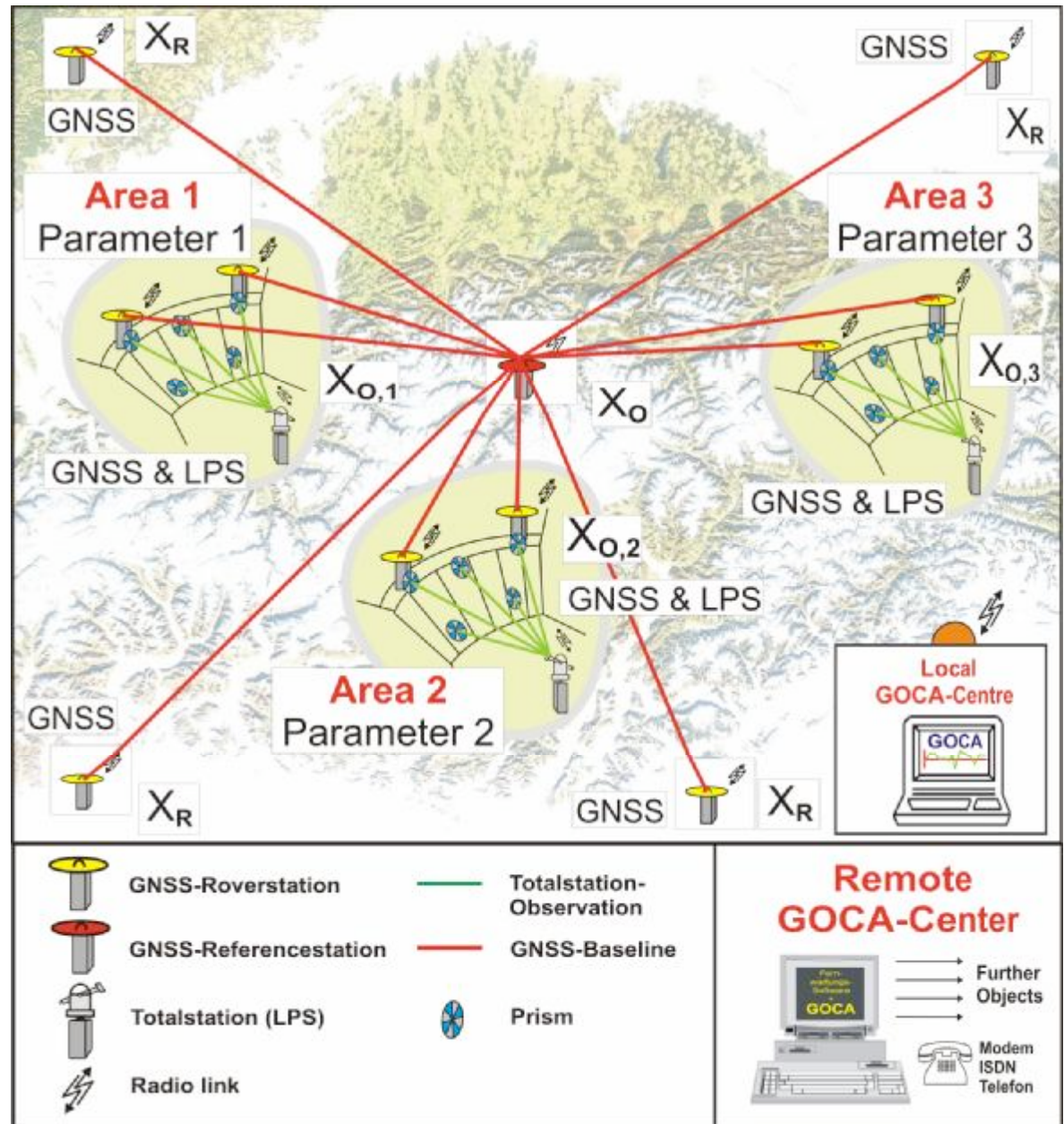
$$\Delta H_{ij}(t) + v = \Delta \hat{h}_{ij}(t) + \hat{A} \cdot \Delta R_{e_{init}} + \hat{B} \cdot \Delta H_{o_{init}} + \Delta \hat{m}_h \cdot \Delta h$$



GOCA-Software Version 4.0

-Design und
Modell-
bildung

- Reines GNSS Array
- Reines LPS Array
- GNSS & LPS Array
- Mehrere Gebiete
- GNSS als Referenz-Rahmen X_R
- Sonderfall: 1 Gebiet



Reiner Jäger

www.goca.info

GOCA-Präsentation 230-Jahre-Feier MIGAİK, 25.-27. Mai 2009



GOCA – Netzdesign-Definition

The screenshot displays the 'Projektinstellungen' (Project Settings) dialog box in the GOCA software. The 'Netzdesign' (Network Design) tab is active. Under 'Sensortypen' (Sensor Types), 'GPS und terrestrische Sensoren' (GPS and terrestrial sensors) is selected. Under 'Netztyp' (Network Type), 'Lage- und Höhennetz' (Position and height network) is selected. The 'Parametergruppen' (Parameter Groups) section shows the current group as 'abc' with a group name of 'abc' and a polynomial degree of 'ohne Parameter' (no parameters). There are checkboxes for 'Lagemassstab berechnen' (Calculate scale) and 'Höhenmassstab berechnen' (Calculate height scale). Two lists are shown: 'Stabilpunkte' (Stable points) with points 3 and 4 checked, and 'Objektpunkte' (Object points) with points 1, 2, and S1 unchecked. Buttons for 'Neue Gruppe' (New group), 'Übernehmen' (Apply), 'löschen' (Delete), and 'Alle löschen' (Delete all) are at the bottom.

Below the settings dialog, the main application window 'GOCA - DSK Halle' is visible. It shows a toolbar and a data plot window titled 'Beginn: 2.8.1999 Ende: 31.12.1999'. The plot displays three data series (green, red, and blue) over time, with a vertical line at 01.11.99. The plot shows fluctuations around a mean value of 0. The sensor information is: Sensor: 0010, X= 5469938.501, Y= 2564982.817, H= 282.564. The plot axes range from -0.1059 m to 0.1059 m.



Reiner Jäger

www.goca.info

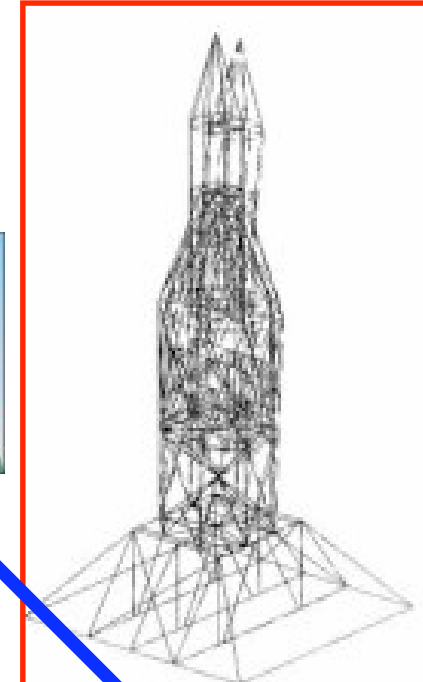
GOCA-Präsentation 230-Jahre-Feier MIGAİK, 25.-27. Mai 2009



GOCA Stufe 3 - Kalmanfilterung („KAL-Files“)

Deskriptive Model – Simple Kalman-Filter

$$\begin{bmatrix} \mathbf{u}_O(t + \Delta t) \\ \dot{\mathbf{u}}_O(t + \Delta t) \\ \ddot{\mathbf{u}}_O(t + \Delta t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{I} & [\Delta t] & \left[\frac{1}{2} \Delta t^2 \right] \\ \mathbf{0} & \mathbf{I} & [\Delta t] \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{I} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \mathbf{u}_O(t) \\ \dot{\mathbf{u}}_O(t) \\ \ddot{\mathbf{u}}_O(t) \end{bmatrix}$$



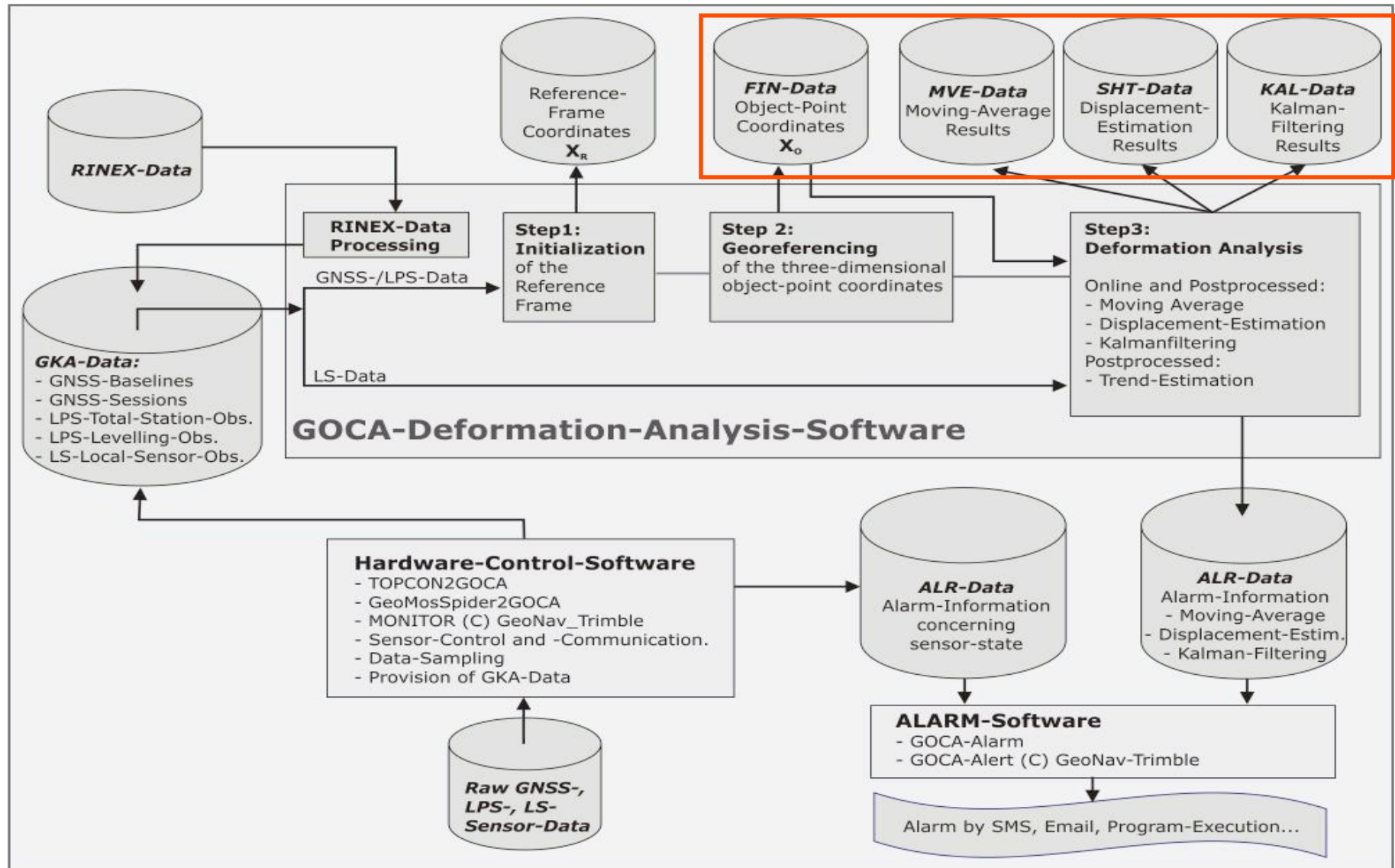
Systemanalyse-Modell – Erweiterter Kalman- Filter

E.g. bei Eigenschwingungen:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{u}_O(t + \Delta t) \\ \dot{\mathbf{u}}_O(t + \Delta t) \\ \ddot{\mathbf{u}}_O(t + \Delta t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{I} & [\Delta t] & \left[\frac{1}{2} \Delta t^2 \right] \\ \mathbf{0} & \mathbf{I} & [\Delta t] \\ \mathbf{0} & [-\mathbf{M}(\mathbf{p}_M)^{-1} \cdot \mathbf{K}(\mathbf{p}_K) \cdot \Delta t] & [\mathbf{I} - \mathbf{M}(\mathbf{p}_M)^{-1} \cdot \mathbf{C}(\mathbf{p}_C) \cdot \Delta t] \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \mathbf{u}_O(k) \\ \dot{\mathbf{u}}_O(k) \\ \ddot{\mathbf{u}}_O(k) \end{bmatrix}$$



GOCA-Ablaufschema / Algorithmen und Input/Output-Schnittstellen



MONITOR
(C) GeoNav_Trimble



Sensor Control and Communication-Software




TOPCON_2_GOCA
(C) GOCA Team Karlsruhe



Sensor Control and Communication-Software



Offene „GKA“ Schnittstelle

GOCA
Monitoring und Deformationsanalyse Software

RINEX-Schnittstelle

GeoMoS/Spider_2_GOCA
(C) GOCA Team Karlsruhe


SQL-Server Database

GeoMoS Monitor or Spider (C) Leica Geosystems as Sensor Control and Communicationssoftware




„User-Made“

Sensor Control and Communication-Software

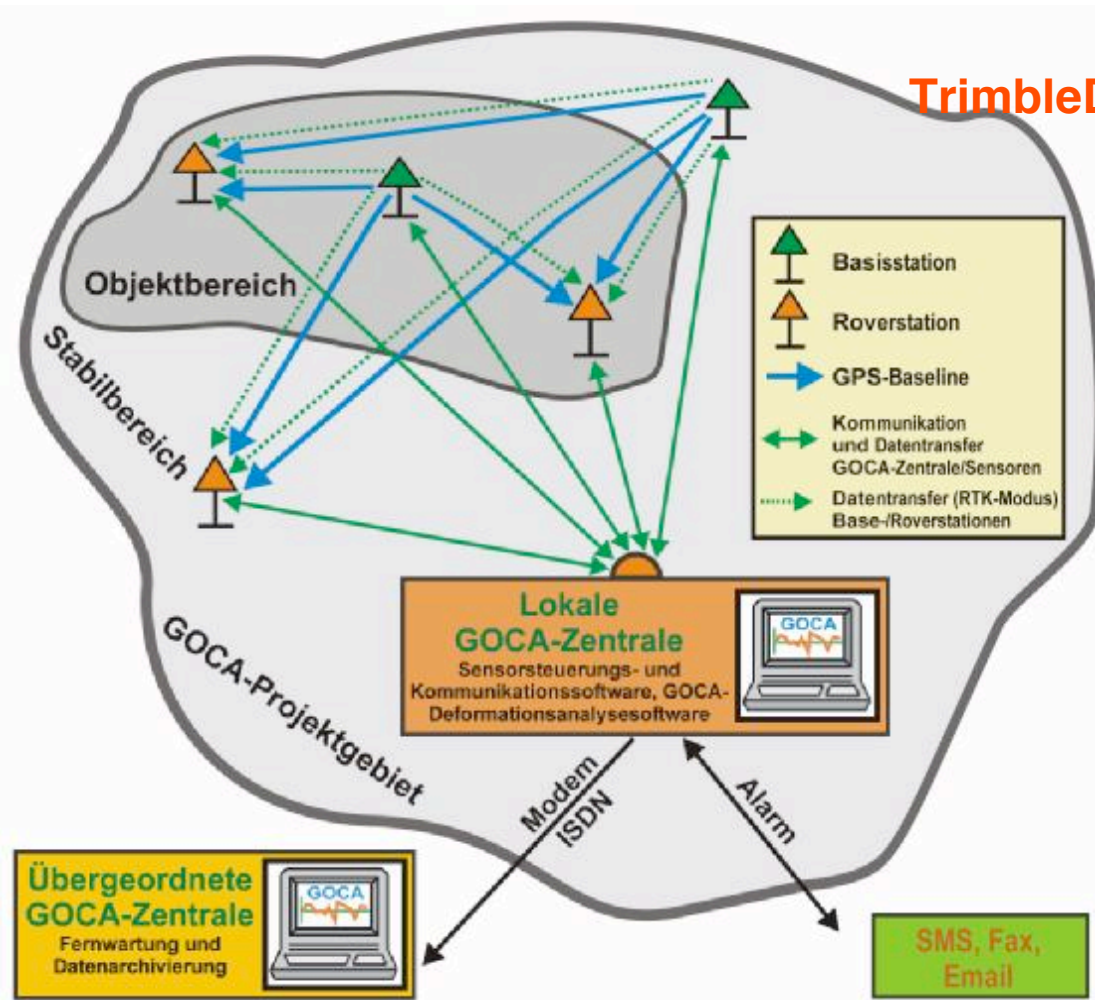



GOCA-Datenkommunikation

Trimble

MOWI©GeoNav_Trimble

TrimbleDataCollector©GeoNav_Trimble



Vattenfall Europe



Reiner Jäger

www.goca.info

GOCA-Präsentation 230-Jahre-Feier MIGAİK, 25.-27. Mai 2009

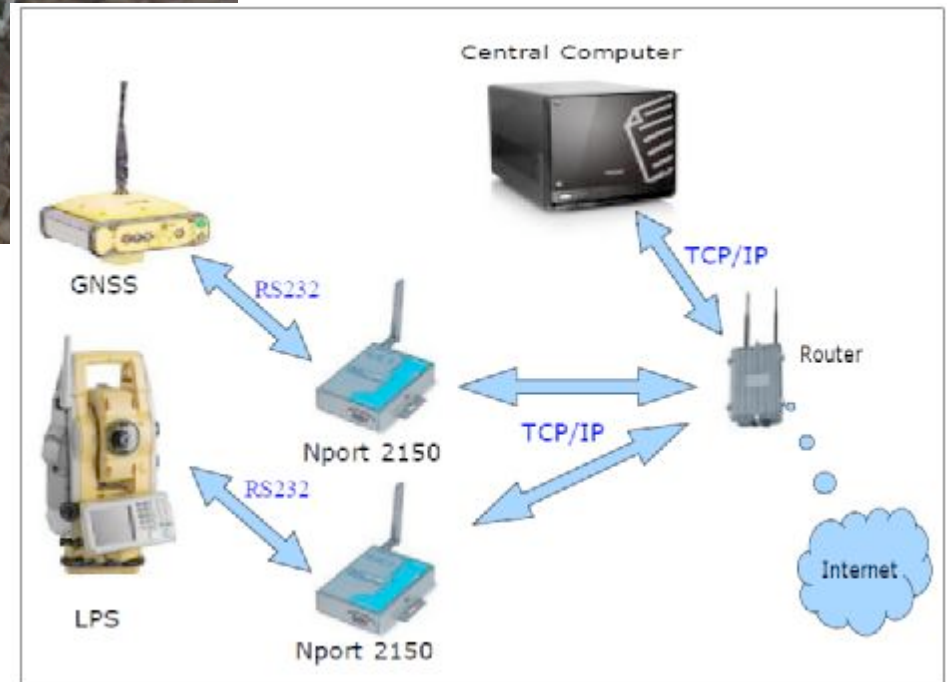


GOCA-Datenkommunikation. Realisierung bei Topcon



Topcon

Topcon_2_GOCA © HSKA



Reiner Jäger

www.goca.info

GOCA-Präsentation 230-Jahre-Feier MII/IAIK, 25.-27. Mai 2009



Datenkommunikation bei Leica-Geosystems

RTK Einstellungen

Stationen

Netzpunktname	Sensortyp	Antennentyp	Antennenhöhe
PC-LEICA		AT502	0.0000
LEI2		AT502	0.0000
LEI3		AT502	0.0000

Basis-Rover-Zuordnung

Basisstationen

Netzpunktname
LEI2

Roverstationen zur gewählten Basis

Netzpunktname
PC-LEICA
LEI3

Hauptpfad der RTL Dateien: D:\RT-Positioning

**GeoMOS/Spider
_2_GOCA
© GOCA-Projekt
Karlsruhe**



**LeicaGeosystems, Düsseldorf
(Arbeitssitzung 2.5.2009)**

Linedriver Box

WLAN => UMTS => Büro

- GeoMos-Ansteuerung
- Temperatur, Luftdruck

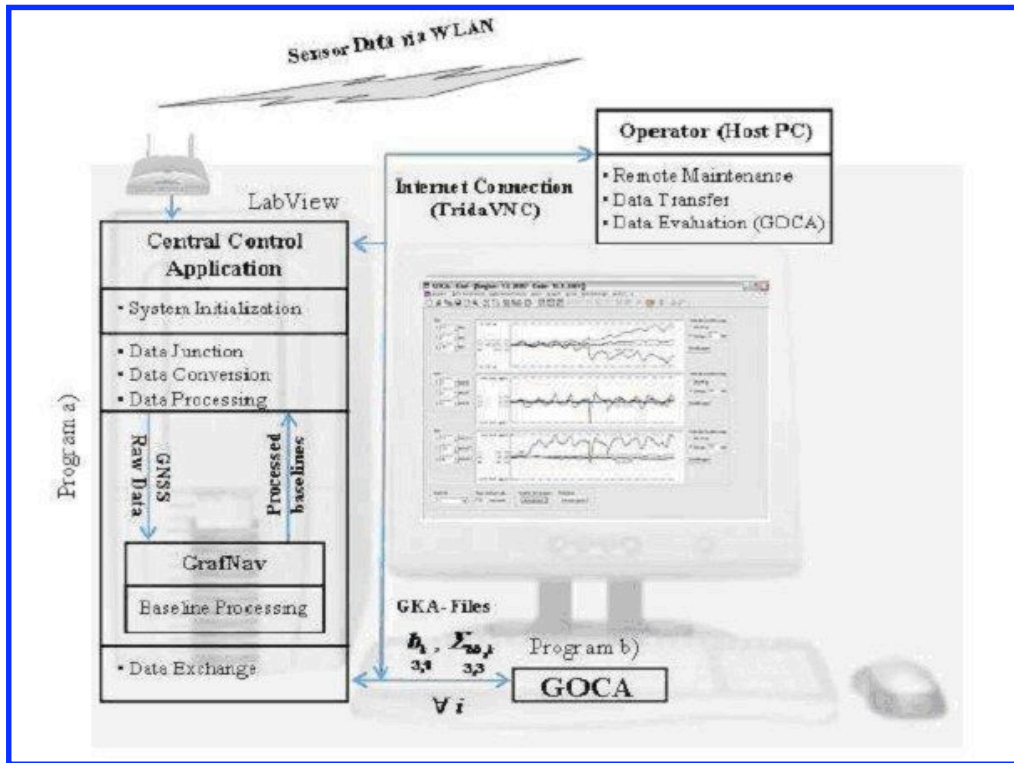


Reiner Jäger

www.goca.info

GOCA-Präsentation 230-Jahre-Feier MIGAİK, 25.-27. Mai 2009





Satelliten-Kommunikation

Beispiel

Installationen von GOCA
in den Alpen
AlpEWAS
(Frühwarnsysteme)



GOCA-Alarm

Displacement-Estimation

General Settings
 Name:

Object Points
 GOCAA18
 GOCAB12
 GOCAB13

Epoch Definition
 Epoch 1 = Initialisation
 Epoch 1 = fix
 Epoch 1 = dynamic

Begin of dynamic or fix Epoch 1:
 Date: Time:

Begin dynamic Epoch 2:
 Date: Time:

Duration of Epoch 1: Hours
 Epoch-Cycle: Hours
 Duration of Epoch 2: Hours

Adjustment Settings
 Estimation Type:
 L1 L2 Huber
 Convergence Crit. (L1, Huber):

Statistical Settings
 Error Probability Plan Pos.: %
 Error Probability Height: %
 Sensitivity β : %

Settings for Alert
 Alert in case of Significance (A)
 Alert on exceeding crit. values (B)
 Plan: mm Priority:
 Height: mm Priority:
 Alert only if A and B simultaneously match

OK Cancel

GOCA-Alarm

Einstellungen | Alarm-Blitzer | Alarm-eMail | Alarm-SMS

Alarmdatei

Adressbuch

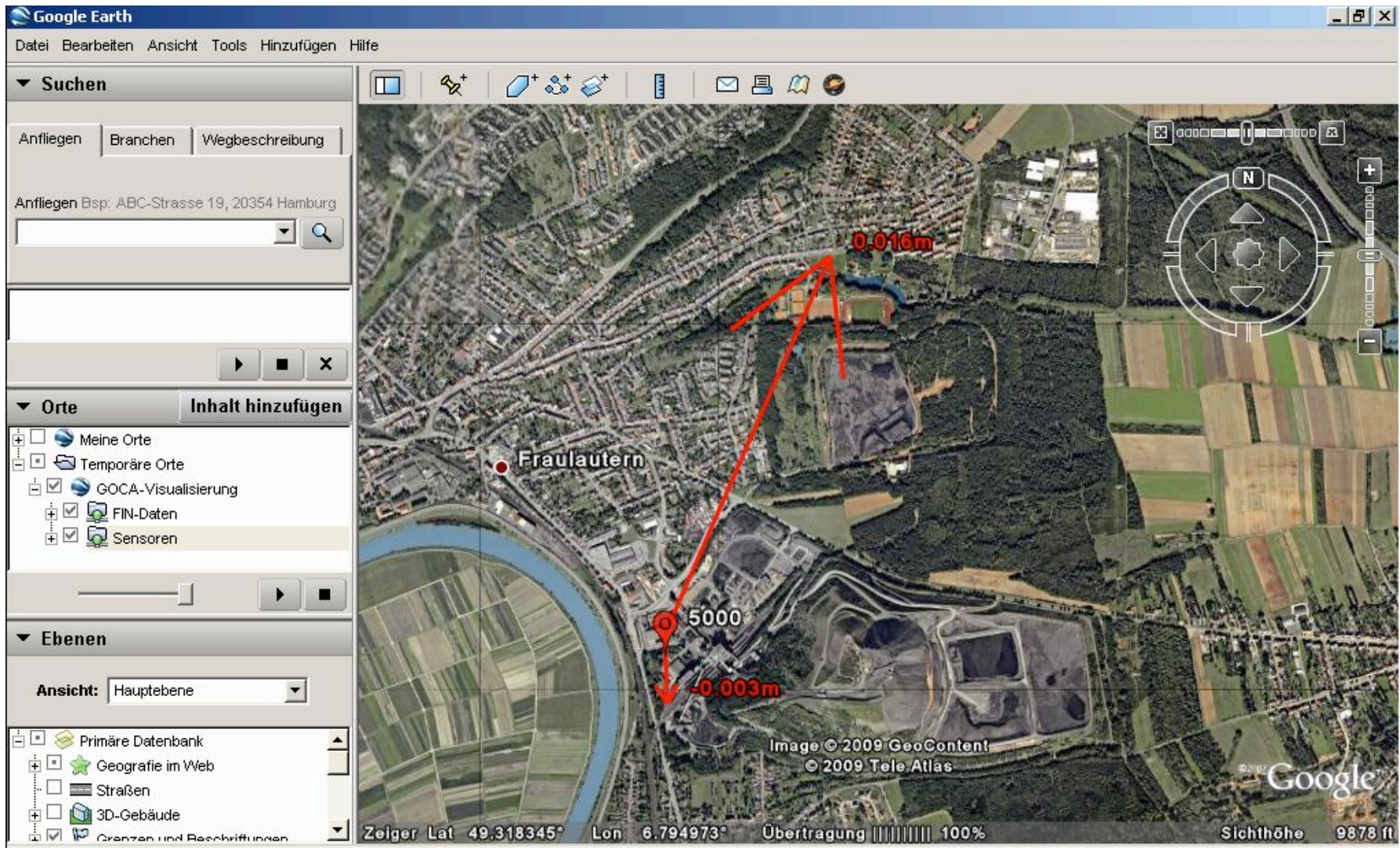
Name	Handynummer	eMailadresse
Hans Meier	01761234567	
Peter Müller	01767654321	

Sprachen

zusätzliche Alarme



Visualisierung mit GOCAEarth



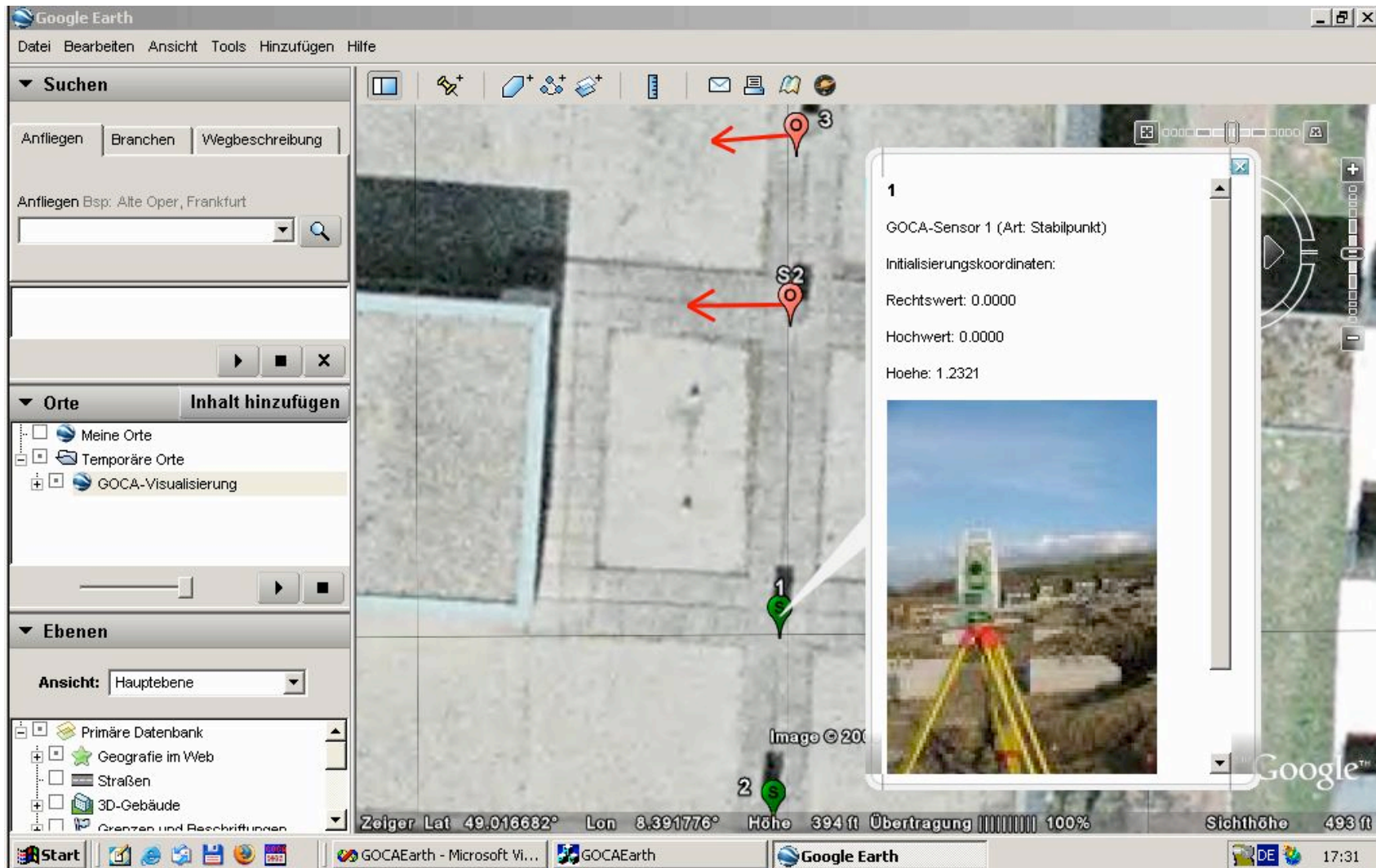
Reiner Jäger

www.goca.info

GOCA-Präsentation 230-Jahre-Feier MIGAİK, 25.-27. Mai 2009



Visualisierung mit GOCAEarth



Reiner Jäger

www.goca.info

GOCA-Präsentation 230-Jahre-Feier MIGAİK, 25.-27. Mai 2009



GOCA-Projekte in Russland

GEOMOS/SPIDER_2_GOCA

Hochschule Karlsruhe
 Technik und Wirtschaft
 University of Applied Sciences



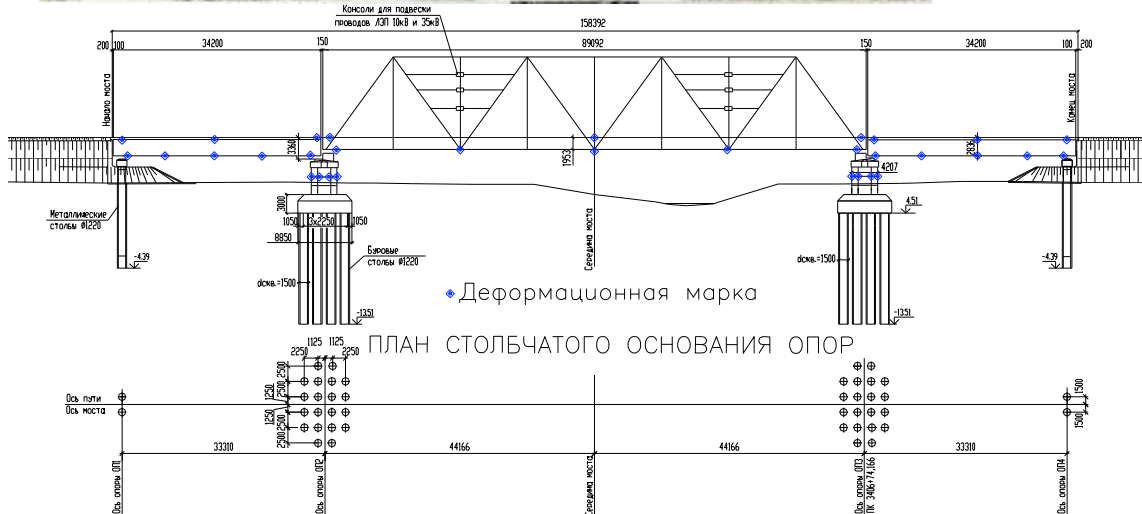
Reiner Jäger

www.goca.info

GOCA-Präsentation 230-Jahre-Feier MIGAİK, 25.-27. Mai 2009



GOCA-Projekte in Russland



Stabilpunktsituation



Nur möglich mit
GNSS + LPS



Reiner Jäger

www.goca.info

GOCA-Präsentation 230-Jahre-Feier MIIGAİK, 25.-27. Mai 2009



Geodätisches Monitoring Mainz – Hochschule Karlsruhe

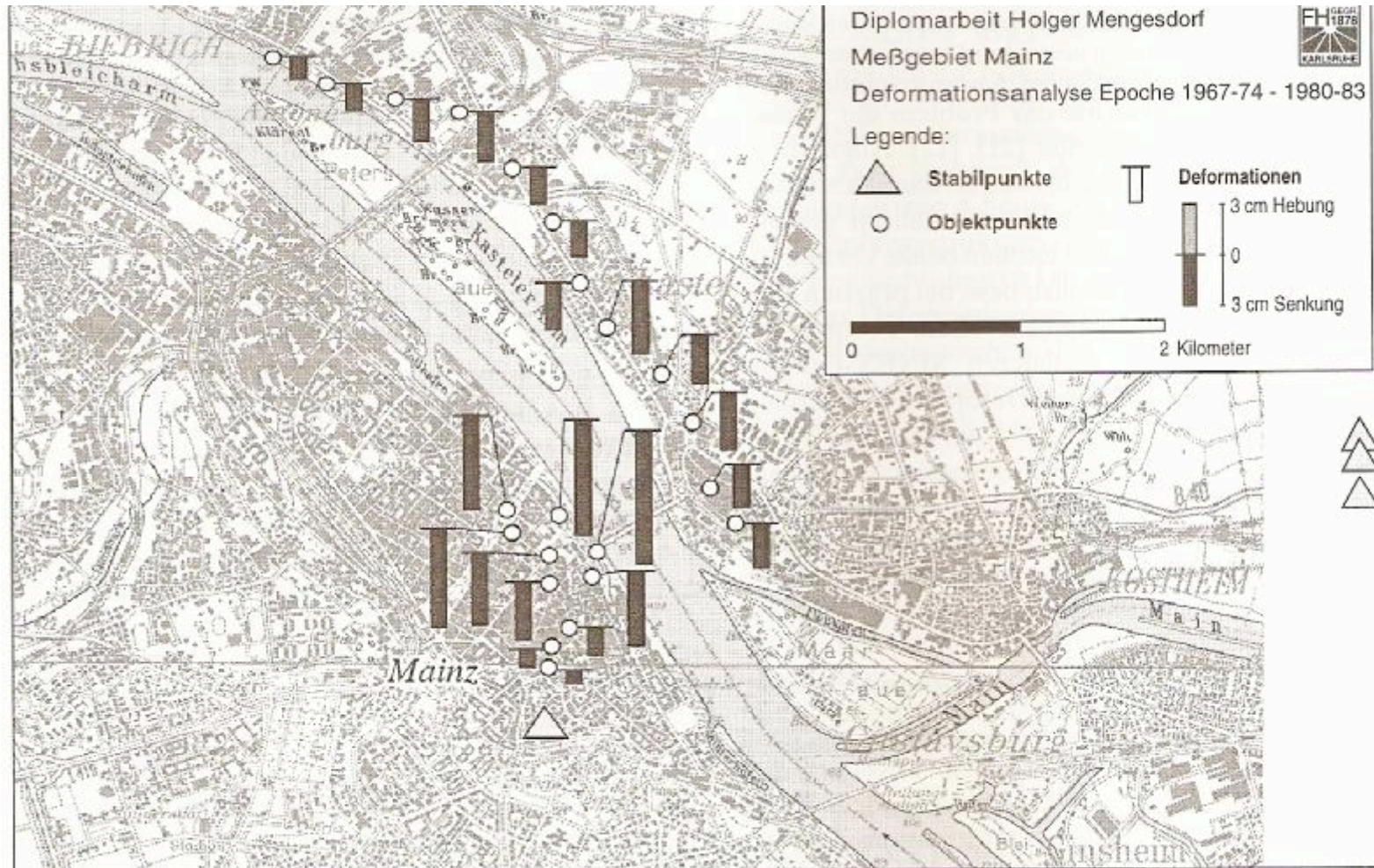


Abb. 3: Ergebnisse der Deformationsanalyse Epoche 2 – Epoche 3



GOCA-Installation zur Gebäude-Überwachung



Lohwies-Halle
(Schulgebäude)

Leica GPS
Sensor auf
dem Dach
der
Lohwies-
Halle



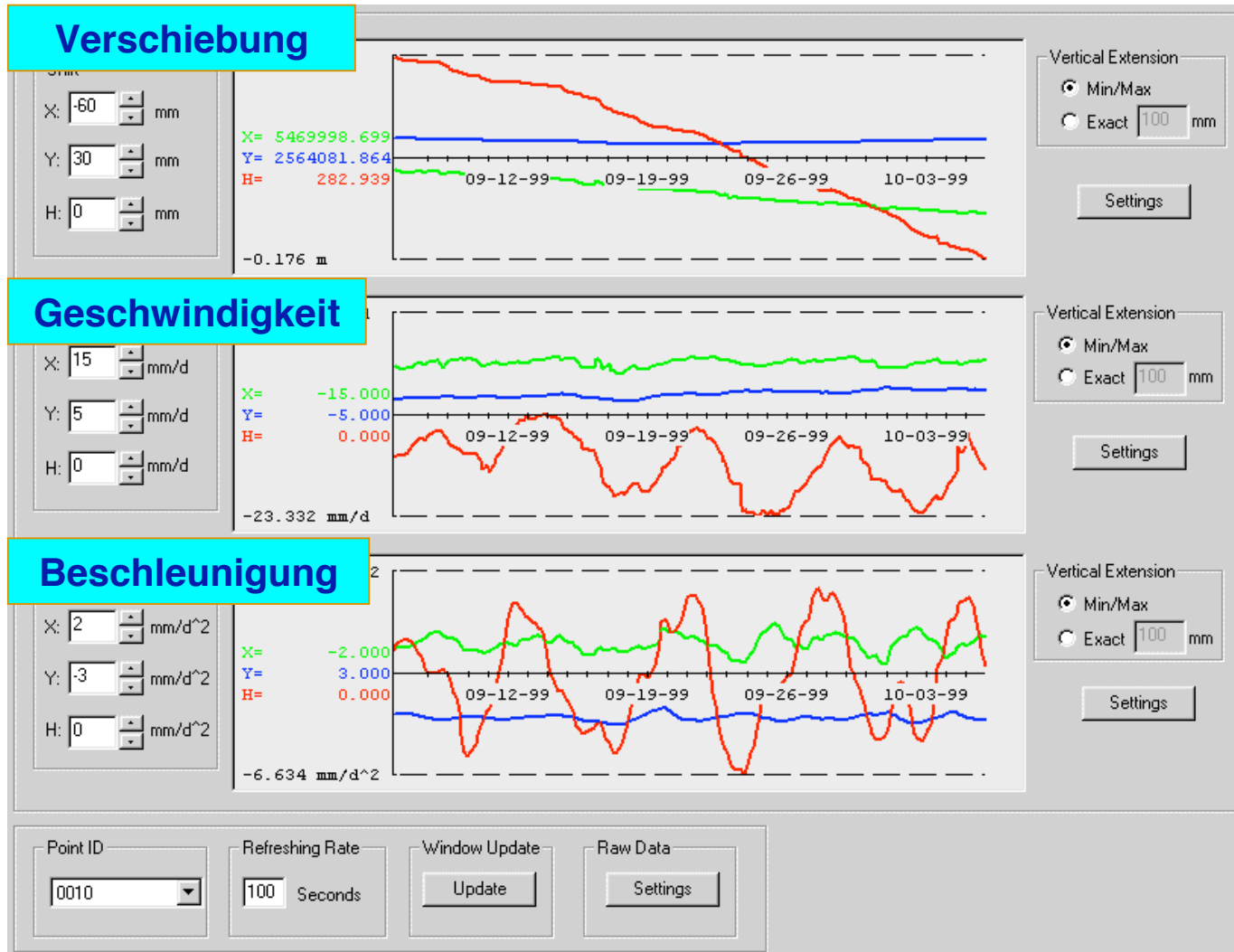
Reiner Jäger

www.goca.info

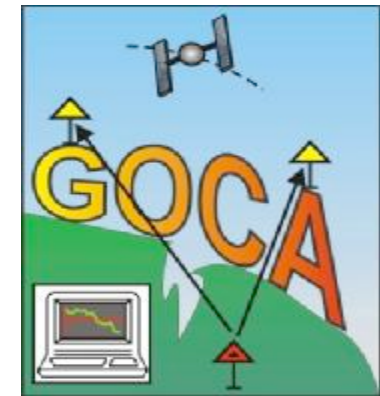
GOCA-Präsentation 230-Jahre-Feier MIIGAIK, 25.-27. Mai 2009



GOCA-Installation zur Gebäude-Überwachung



GOCA
Kalmanfilter



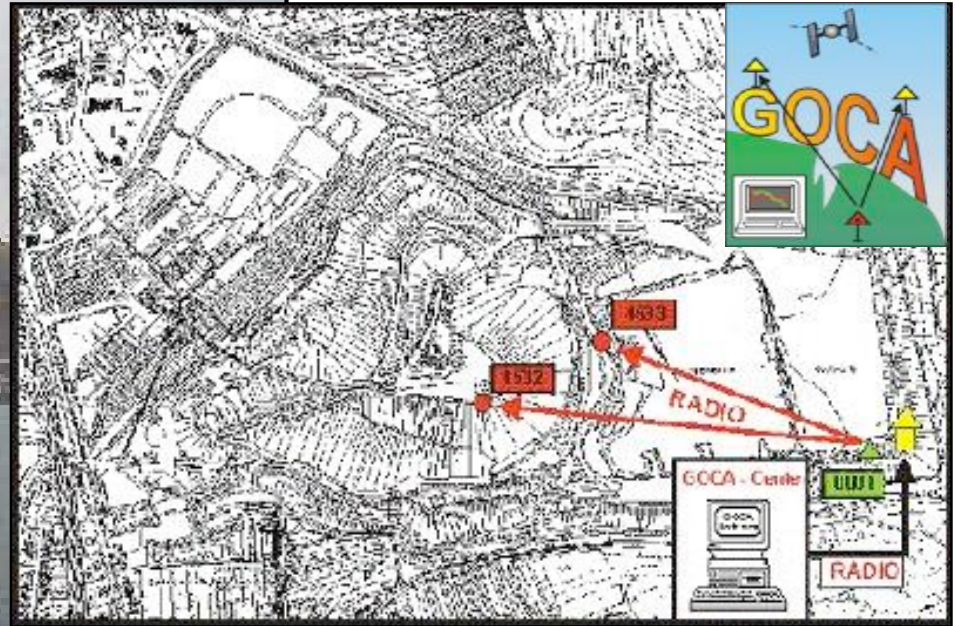
Reiner Jäger

www.goca.info

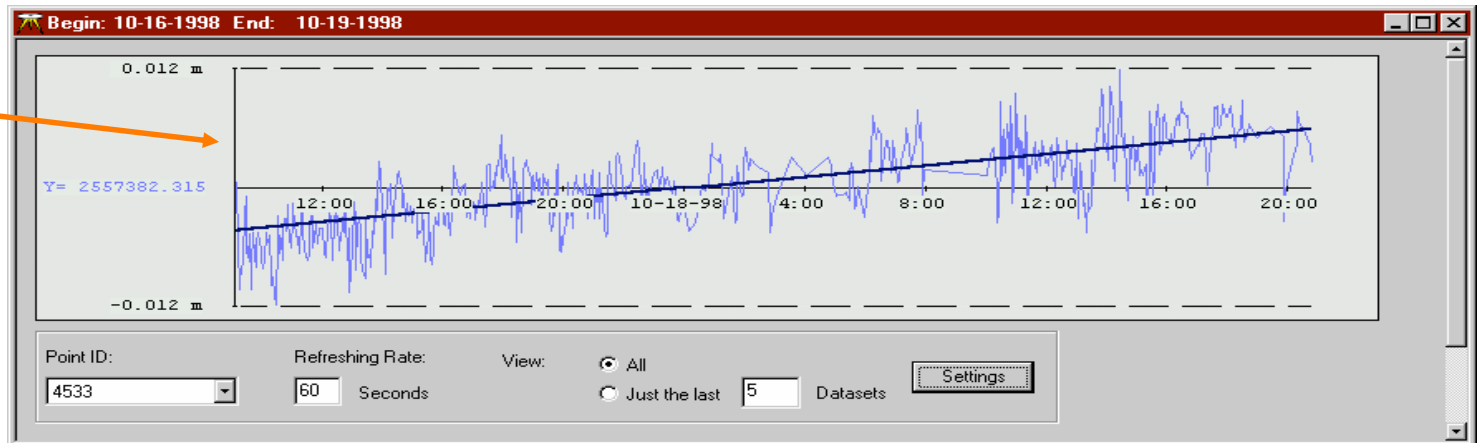
GOCA-Präsentation 230-Jahre-Feier MIIGAIK, 25.-27. Mai 2009



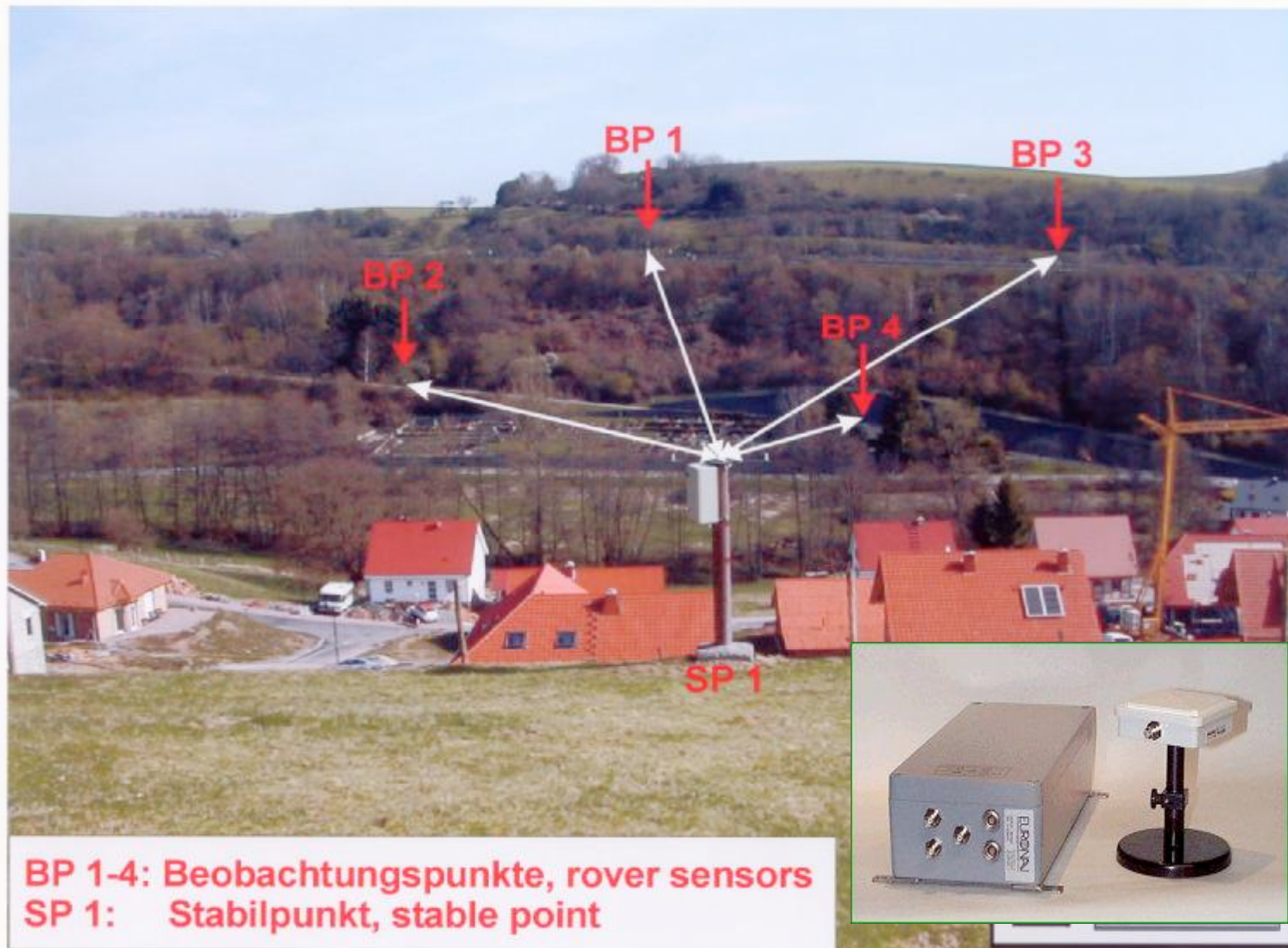
GOCA- Installationsbeispiel - Kohlehalde



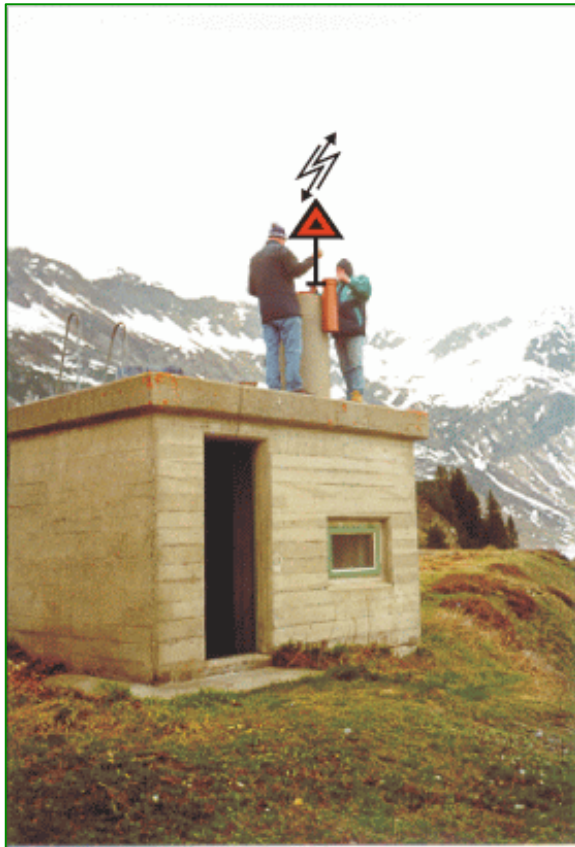
Zeitreihen
Objektpunkt
Koordinaten
 $y =:x_o(t)$ bzw.
 $y =:u_o(t)$



GOCA Installationsbeispiel: Autobahn-Rutschung A62



GOCA-Überwachung Kops-Staumauer, Österreich



**Installation eines
GPS-Rovers als
stabiler Referenzpunkt**



**Rot: GPS-Rover als Objektpunkt-1
im Bereich der Mauermitte**

**Gelb: GPS-Referenzstation als Objektpunkt-2
im künstlichen Widerlager**



GOCA-Überwachung Kops-Staumauer, Illwerke, Österreich

**Kops Damm mit GPS-
Beobachtungsdesign**

2 Objekt Punkte:

Dammmitte

(GPS-Rover)

und

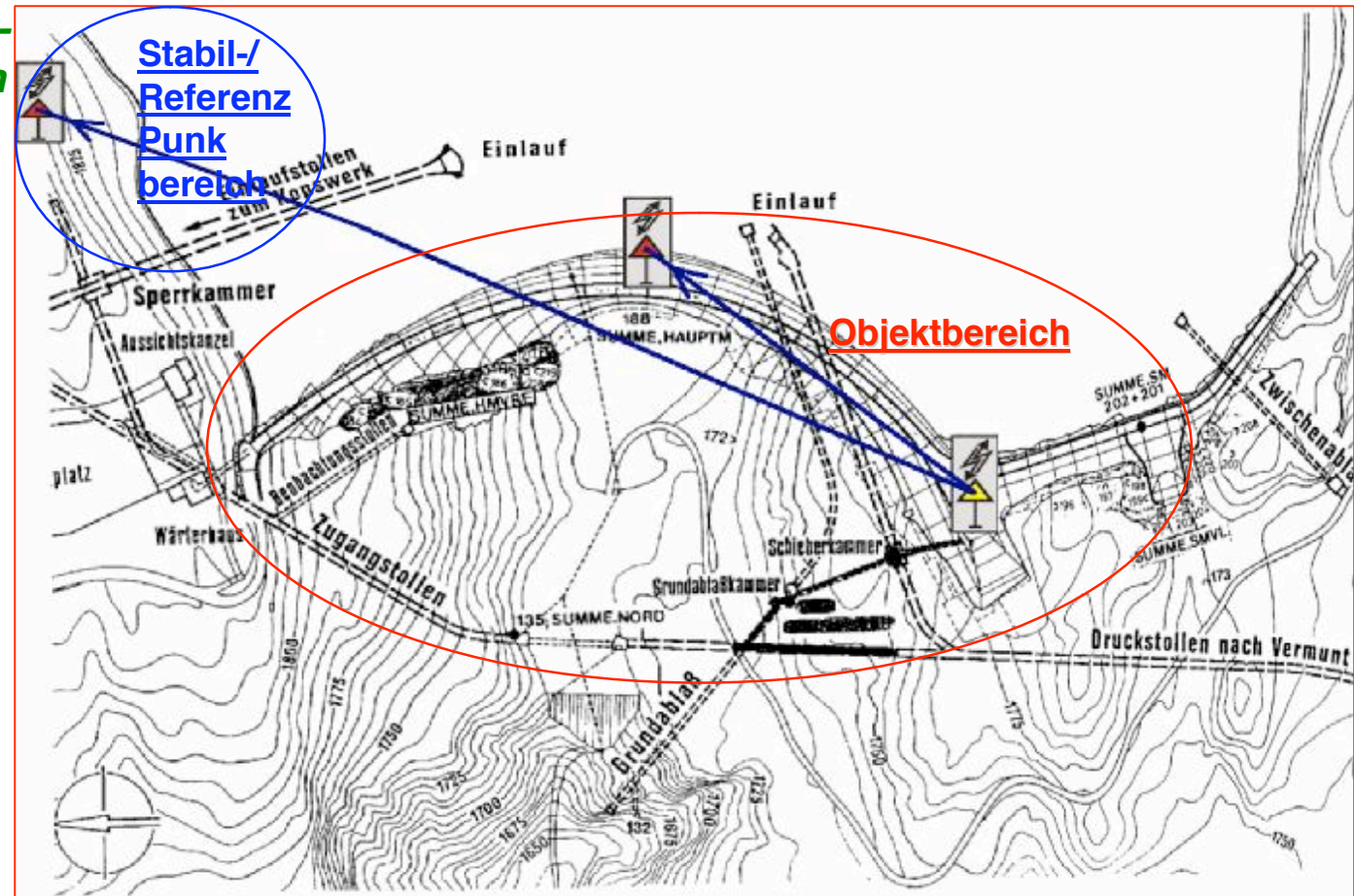
Künstliches

**Widerlager (GPS-
Referenzstation).**

Stabiler

Referenzpunkt:

**(Rover) links auf
einem Bunker.**



Reiner Jäger

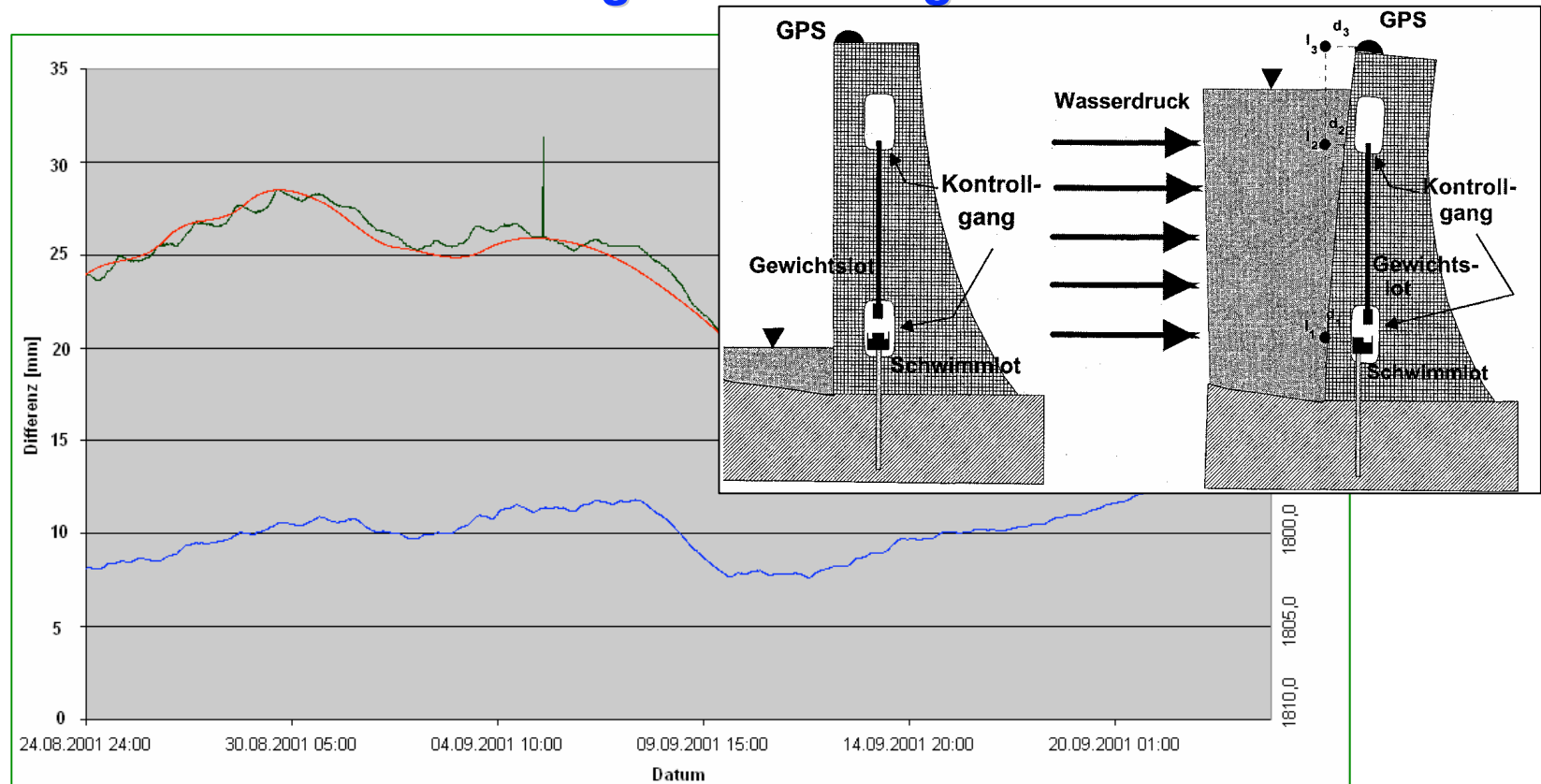
www.goca.info

GOCA-Präsentation 230-Jahre-Feier MII GAIK, 25.-27. Mai 2009



GOCA-Überwachung Kops-Staumauer, Illwerke, Österreich

- Auswertung der Messungen -



Gegenüberstellung der klassischen Lotungsmessungen und der GOCA-Auswertung (DGPS-Monitoring). Mauermitte

Übereinstimmung im $< 1\text{mm}$ Bereich



Reiner Jäger

www.goca.info

GOCA-Präsentation 230-Jahre-Feier MII GAIK, 25.-27. Mai 2009



GOCA-Präsentationen

LONG TERM BEHAVIOUR OF DAMS Impressum

LTBD09

2nd International Conference
12th - 13th October 2009, Graz, Austria (Europe)



News 

[Home](#)

- [Aims & Scope](#)
- [Post Conference Tours](#)
- [Important Dates](#)
- [Venue](#)
- [Accommodation](#)
- [Registration](#)
- [Submissions](#)
- [Sponsors](#)
- [Exhibition](#)

Welcome to LTBD09

2nd International Conference

LONG TERM BEHAVIOUR OF DAMS

12th - 13th October 2009, Graz, Austria (Europe)

under the auspices of



Reiner Jäger

www.goca.info

GOCA-Präsentation 230-Jahre-Feier MIGAİK, 25.-27. Mai 2009



Installations-Beispiele - Tagebau

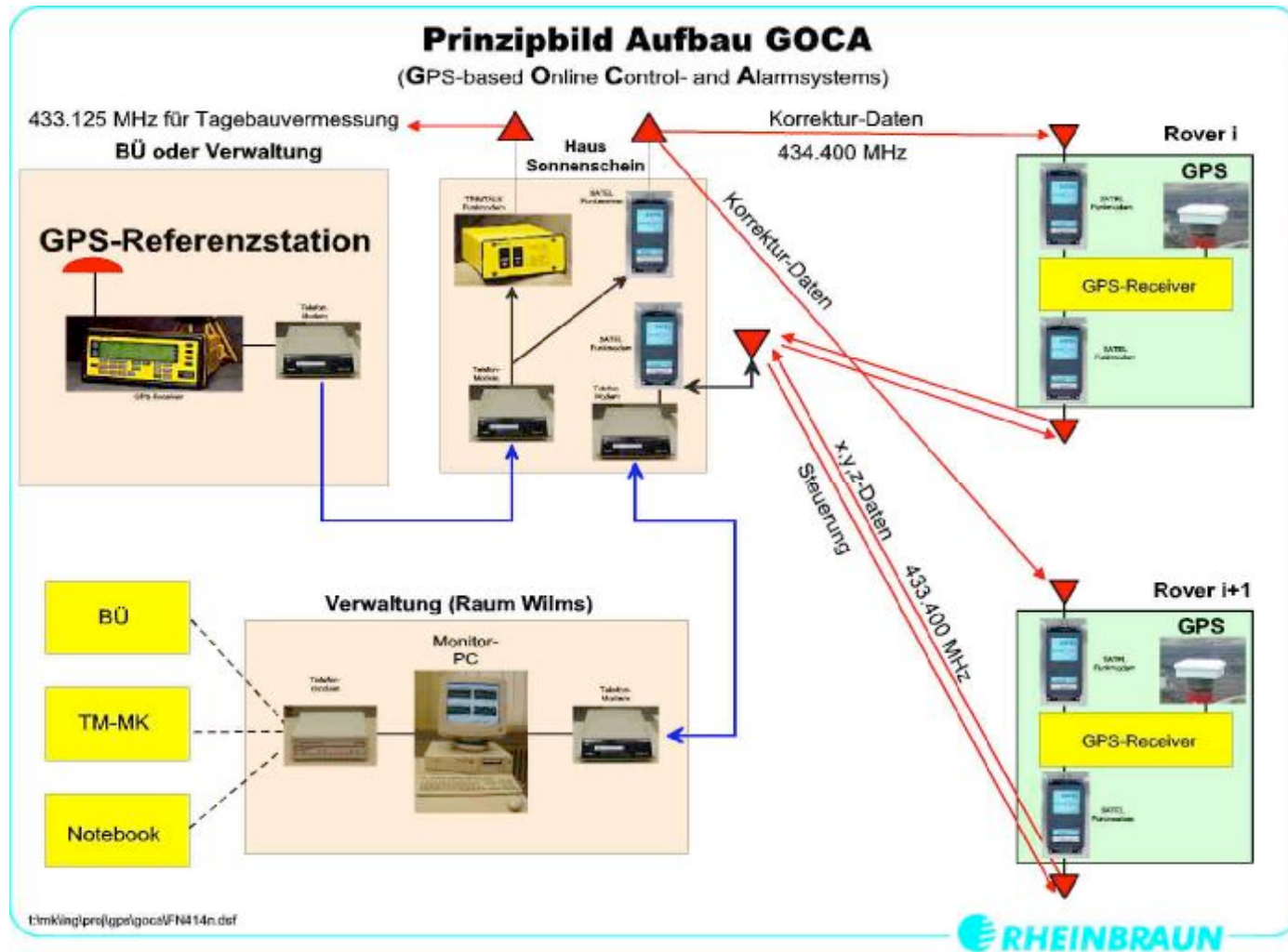
- RWE Rheinbraun (Hambach, Garzweiler, Elsdorf)
- Morila Gold Mines, Mali, Afrika



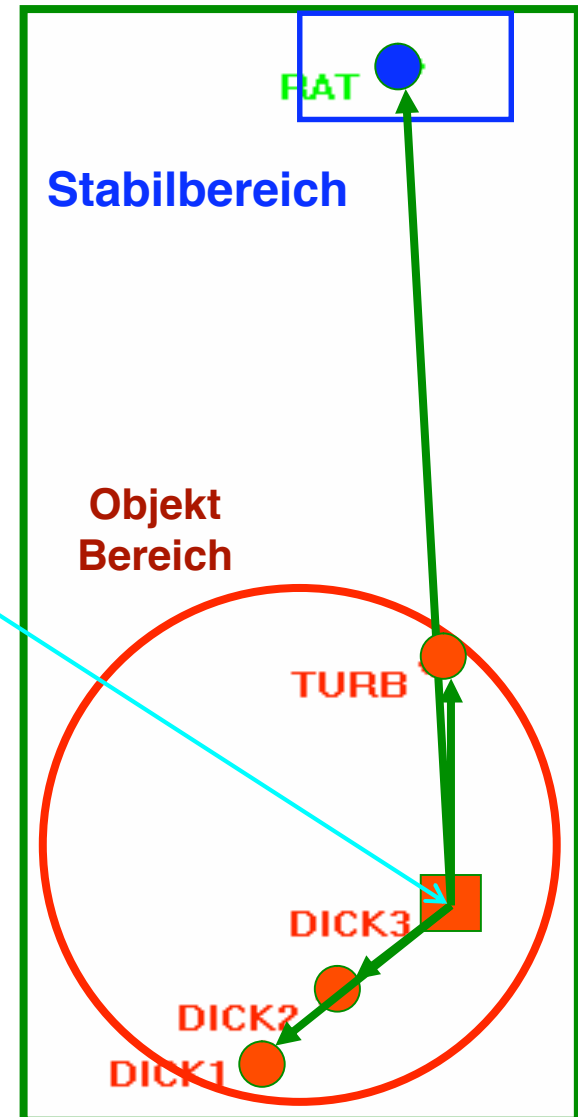
**Böschung-Monitoring im
Braunkohle-Tagebau Garzweiler (8 Empfänger)**



Installationsbeispiel 1 - Rheinbraun/Garzweiler



GOCA-Installationsbeispiel: Fabrik Elsdorf (RWE)



Installation : Rössing Mines, Namibia, Afrika

1 Rössing Abbaugebiet



2 GOCA-Installation



3



15 GOCA
Receiver



Reiner Jäger

www.goca.info

GOCA-Präsentation 230-Jahre-Feier MIGAUK, 25.-27. Mai 2009



GOCA-Installationsbeispiel - Palabora Kupfer Mine, Süd Afrika (2004)



Reiner Jäger

www.goca.info

GOCA-Präsentation 230-Jahre-Feier MIIGAİK, 25.-27. Mai 2009

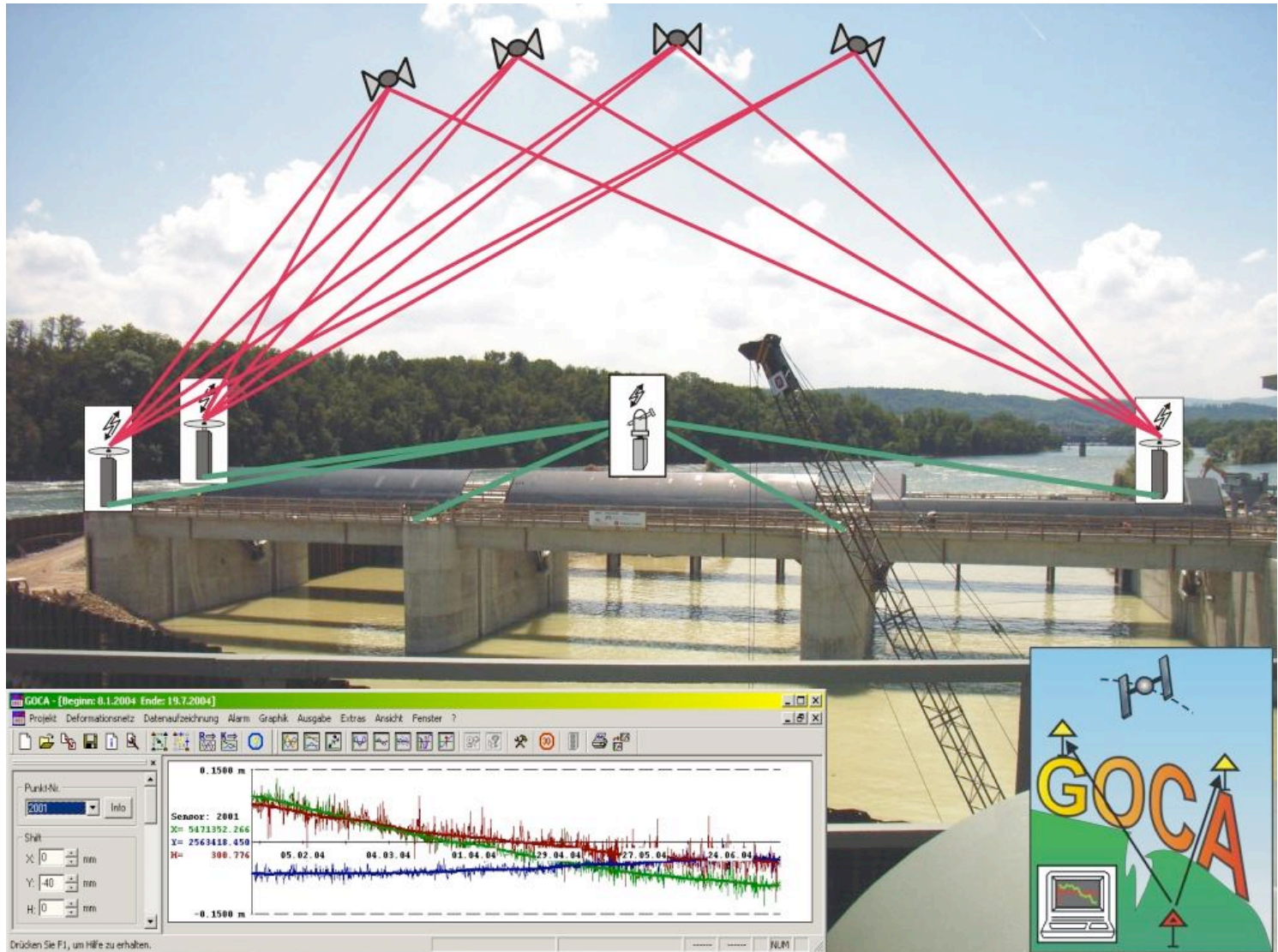


GNSS & LPS

Hybrides
GNSS + LPS

Deformations-
analyse

Wasser
Kraftwerk



Reiner Jäger

www.goca.info

GOCA-Präsentation 230-Jahre-Feier MIGAİK, 25.-27. Mai 2009



Installations - Beispiel: Vattenfall, Europe



Braunkohletagebau
Trimble Receiver (rechts oben)
GOCA-Centre mit GOCA-Software =>



Reiner Jäger

www.goca.info

GOCA-Präsentation 230-Jahre-Feier MIIGAIK, 25.-27. Mai 2009



**GOCA-
Installationsbeispiel
apls-EWAS
(Early Warning
System)**

**Universität der
Bundeswehr
&
TU München**

**GOCA-Software
in mehreren
Frühwarnsystemen
Alpen für aktive
Hangrutschungen**

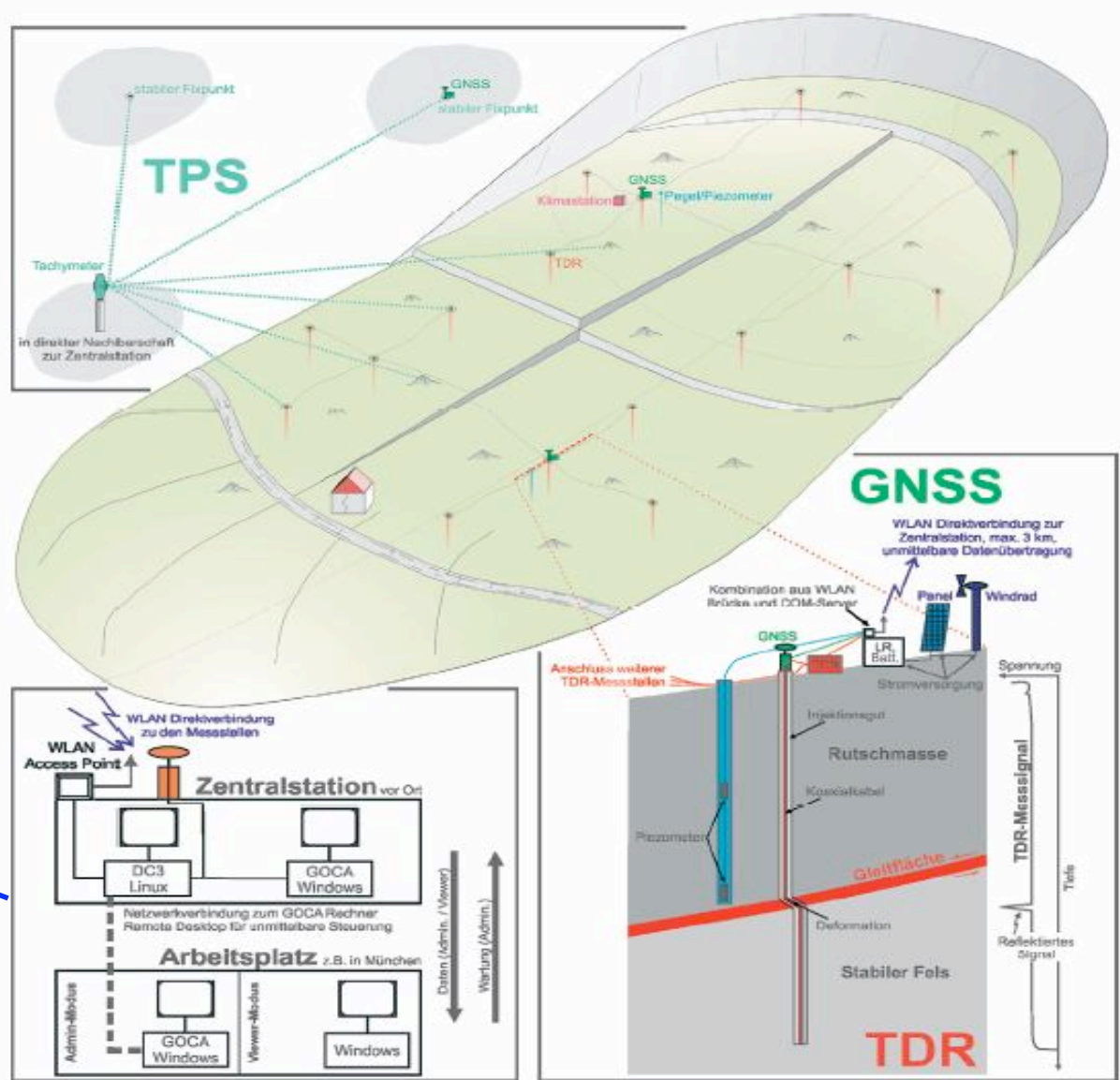
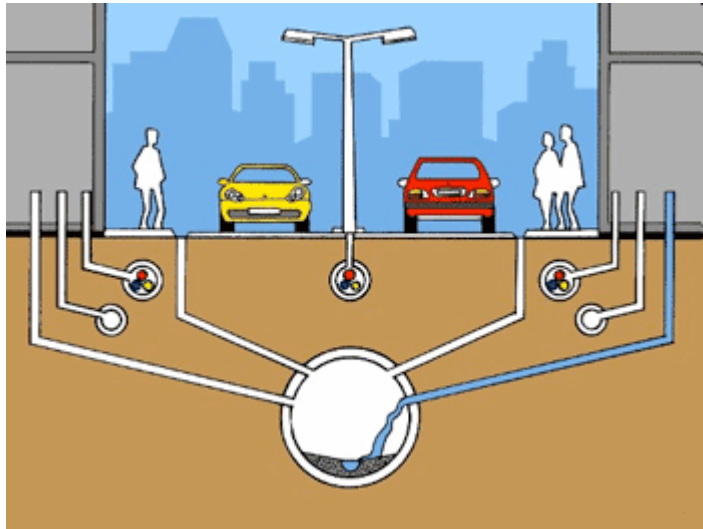


Abb. 4: Integratives Frühwarnsystem (Zeichnung: Singer und Pink)



Tunnelprojekte, Brückenprojekte und Gleisanlagen (DB)



Untertunnelungen (GNSS/GPS, LPS)



GeoMonitoring als Dienstleistung (Systeminstallation, geodätische Betreuung + **Monitoring-System**)

GOCA-Software

(Netzausgleichung, Monitoring, Deformationanalysen und - Vorhersagen, Visualisierung und Alarmierung) - **Offene Schnittstellen**

GOCA-Kommunikationssoftware

GeoMos&Spider2GOCA (TopCon2GOCA, MOWI, **eigene**)

Hardwareansteuerungssoftware und Kommunikationshardware
e.g. **GeoMos** / Comserver Box (**eigene**)

Hardware (Totalstationen, GNSS/GPS, Nivelliere)



Standards des Geodätischen Monitoring (Deformationsanalyse) FIG Commission 6 and Working Groups (seit 1979)

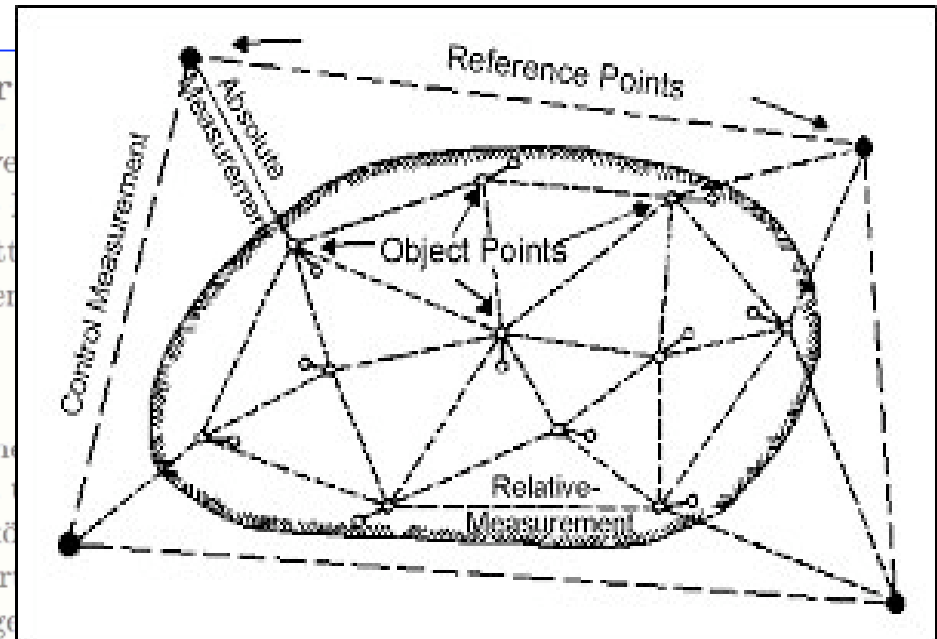
2.2 Überblick über Software

Dieser Abschnitt gibt einen Überblick über Verfahren, die in der Geodäsie eingesetzt werden. Im Zusammenhang mit dem im vorigen Abschnitt beschriebenen Monitoring-System. Die Liste der in diesem Abschnitt vorgestellten Softwarepakete ist im Anhang A.1 zu finden.

2.2.1 GeoMos

GeoMos [33] dient zur automatisierten Datenerfassung und -verarbeitung. Es können verschiedene Sensoren angeschlossen werden. Diese Sensoren liefern geotechnische Sensoren. Die erfassten Werte können zu bestimmten Zeitpunkten ausgewertet werden. Der Export der Daten ist als Bestandteil des Systems wie ein Meldungsmanagement-System in Kenntnis gesetzt werden können. Neben der Datenerfassung bietet das System auch noch Funktionen zur Datenanalyse. Diese Funktionen realisieren z.B. die Darstellung der Daten in Weg-Zeit-Diagrammen, mit denen Bewegungstendenzen auf der Basis von Koordinatenvergleichen aufgezeigt werden können.

Bezugnehmend auf den in Abschnitt 2.1 beschriebenen Datenfluss realisiert die Software also die Stufen der Datenerfassung und der Visualisierung. Eine Ausgleichung der Beobachtungen oder eine Deformationsanalyse unter Einbeziehung der Genauigkeitsinformationen ist in das System nicht integriert. Da die Daten nach ihrer Erfassung in einer Datenbank abgelegt werden und somit eine standardisierte Schnittstelle zum Zugriff bereitsteht, können sowohl die Ausgleichung wie auch die Deformationsanalyse durch andere Software durchgeführt werden.



Dissertation
R. Zimmermann.
DGK,
Reihe C
2004



Geodätische beobachtungsbezogene Deformationsanalyse - Standards

$\mathbf{y} = (\mathbf{x}_R; \mathbf{x}_{O,1}; \mathbf{x}_{O,2})$ – Koordinaten $\mathbf{x}(t)$

$$(\mathbf{I}_1 - \mathbf{I}_1(\mathbf{y}^0)) + \mathbf{v}_1 = \mathbf{A}_{R,1} \cdot d\mathbf{x}_R + \mathbf{A}_{O,1} \cdot d\mathbf{x}_{O,1} + \mathbf{0} \cdot d\mathbf{x}_{O,2}$$

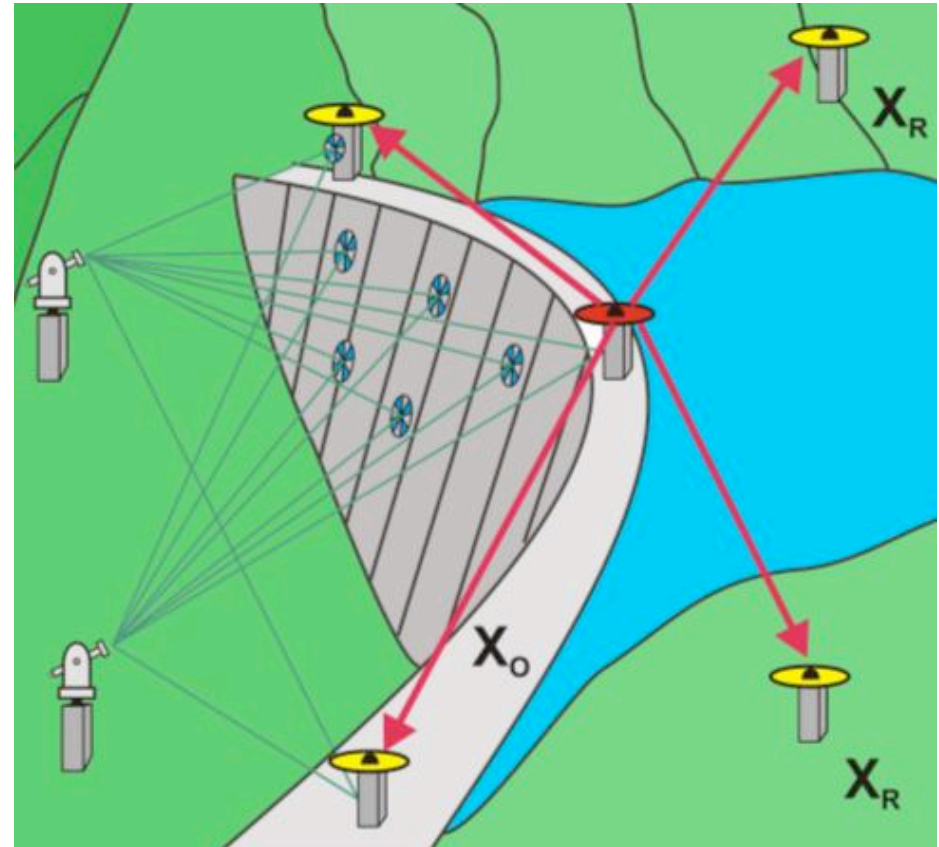
$$(\mathbf{I}_2 - \mathbf{I}_2(\mathbf{y}^0)) + \mathbf{v}_2 = \mathbf{A}_{R,2} \cdot d\mathbf{x}_R + \mathbf{0} \cdot d\mathbf{x}_{O,1} + \mathbf{A}_{O,2} \cdot d\mathbf{x}_{O,2}$$

Kleinste-Quadrate-Ausgleichung

$$d\hat{\mathbf{y}} = (\mathbf{A}^T \mathbf{C}_1^{-1} \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{C}_1^{-1} \cdot (\mathbf{I} - \mathbf{I}(\mathbf{y}^0))$$

$$\hat{\mathbf{y}}(t_1, t_2) = \mathbf{y}^0 + d\hat{\mathbf{y}} = \begin{bmatrix} \mathbf{x}_R^0 + d\mathbf{x}_R \\ \mathbf{x}_{O1}^0 + d\mathbf{x}_{O1} \\ \mathbf{x}_{O2}^0 + d\mathbf{x}_{O2} \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{C}_y = \begin{bmatrix} \mathbf{A}_R^T \mathbf{C}_1^{-1} \mathbf{A}_R & \mathbf{A}_R^T \mathbf{C}_1^{-1} \mathbf{A}_{O1} & \mathbf{A}_R^T \mathbf{C}_1^{-1} \mathbf{A}_{O2} \\ \mathbf{A}_{O1}^T \mathbf{C}_1^{-1} \mathbf{A}_R & \mathbf{A}_{O1}^T \mathbf{C}_1^{-1} \mathbf{A}_{O1} & \mathbf{0} \\ \mathbf{A}_{O2}^T \mathbf{C}_1^{-1} \mathbf{A}_R & \mathbf{0} & \mathbf{A}_{O2}^T \mathbf{C}_1^{-1} \mathbf{A}_{O2} \end{bmatrix}$$



Diskrete Zustandsparameter \mathbf{y}

$\mathbf{x}_o(t)$ - Objektpunktkoordinaten

$\mathbf{u}_o(t, \mathbf{x}_i)$ - Objektpunktverschiebungen



Geodätische Deformationsanalyse – Netzagl.-basiert

Mathematisches Modell („Beobachtungsbezogene Deformationsanalyse“):

Beziehung zwischen Beobachtungsdaten (l) und Zustandsparametern y.
Stochastische Modelle C_1 der Beobachtungsfehler ε zu zwei allgemeinen Zeitpunkten t_1 und t_2

$$l(t_1) - \varepsilon(t_1) = \tilde{I}(y(t_1)) \quad ; \quad C_1(t_1)$$

$$l(t_2) - \varepsilon(t_2) = \tilde{I}(y(t_2)) \quad ; \quad C_1(t_2)$$

Parameterschätzung (nach Linearisierung mit Näherungsparametern y^0)

Ansatz:
$$\sum_{i=1}^n \rho(\bar{v}_i) = \sum_{i=1}^n \rho((C_1^{-\frac{1}{2}} \cdot A)_i \cdot d\hat{y} - (C_1^{-\frac{1}{2}} \cdot (l - I(y^0))))_i) = \text{Min } |d\hat{y}$$

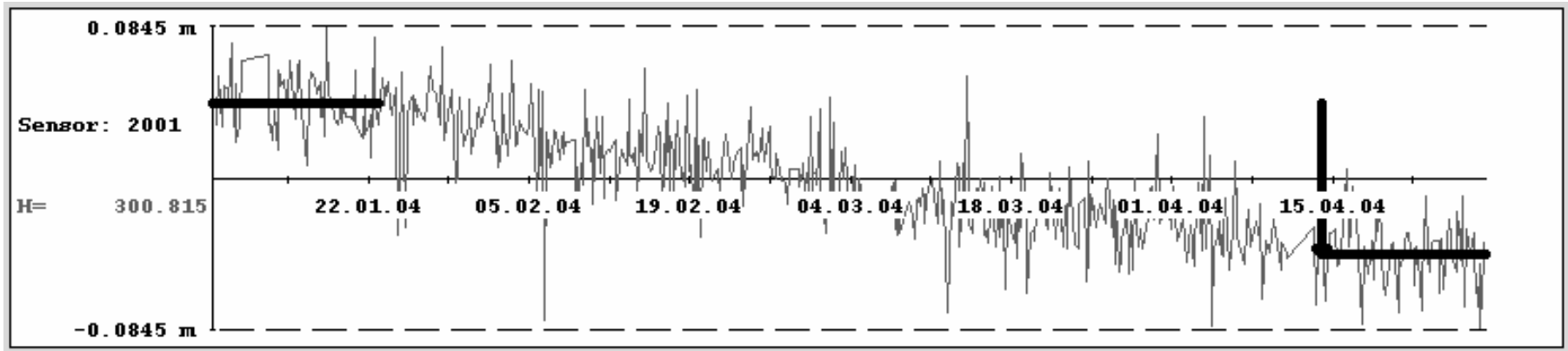
Wahl des Schätzprinzips:
$$\rho(\bar{v}_i) = \frac{1}{2} \bar{v}_i^2 \quad (\quad \rho(\bar{v}_i) = \frac{1}{2} |\bar{v}_i| \quad \dots \quad \rho(\bar{v}_i) = \begin{cases} \frac{1}{2} \bar{v}_i^2 & \forall |\bar{v}_i| \leq k \\ |\bar{v}_i| & \forall |\bar{v}_i| > k \end{cases})$$

Ergebnis = Zustandsparameter y(t)

$$\hat{y} = y^0 + d\hat{y}$$



GOCA Stufe 3 – Online Verschiebungs-Schätzung

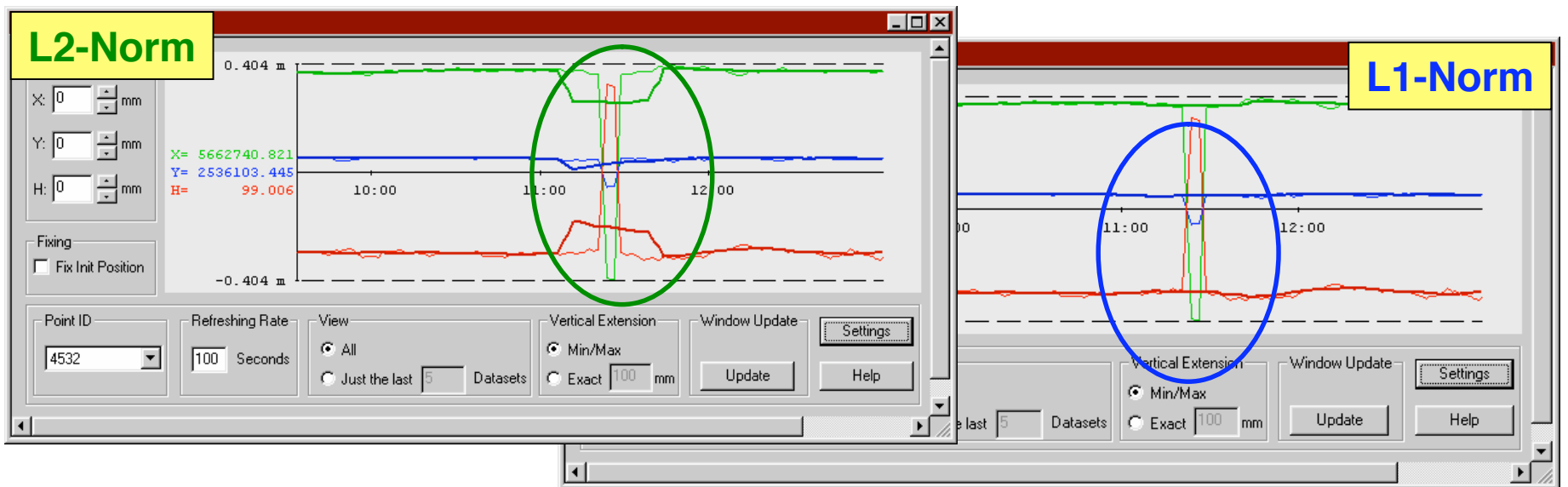
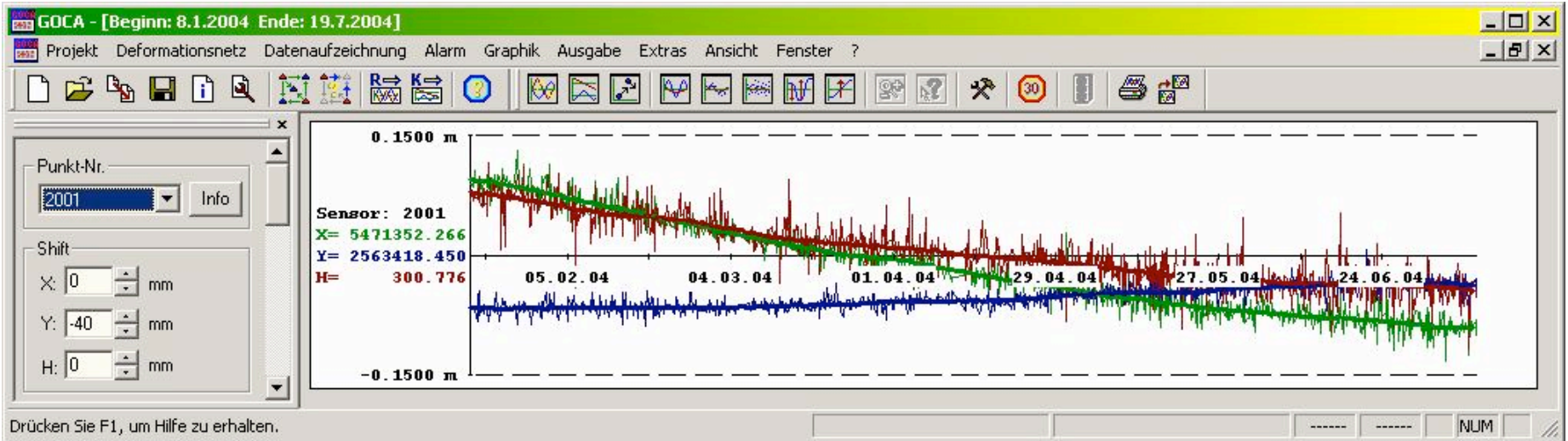


$$\begin{bmatrix} \mathbf{l}_{t_0} \\ \mathbf{l}_t \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{v}_{t_0} \\ \mathbf{v}_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{E}_1 & \mathbf{0} \\ \mathbf{E}_2 & \mathbf{E}_2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \mathbf{x}_0 \\ \mathbf{u}(t) \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{y}(t) = (\mathbf{x}_0, \mathbf{u}(t))^T$$



GOCA Stufe 2 („FIN-Files“) und Moving-Average („MVE-Files“)



Reiner Jäger

www.goca.info

GOCA-Präsentation 230-Jahre-Feier MIGAİK, 25.-27. Mai 2009



GOCA – Stufe 3

Online

Verschiebung-
Schätzung

Displacement-Estimation

General Settings
Name:
Object Points:
 GOCAA18
 GOCCAB12
 GOCCAB13

Epoch Definition
 Epoch 1 = Initialisation
 Epoch 1 = fix
 Epoch 1 = dynamic

Begin of dynamic or fix Epoch 1:
Date: Time:

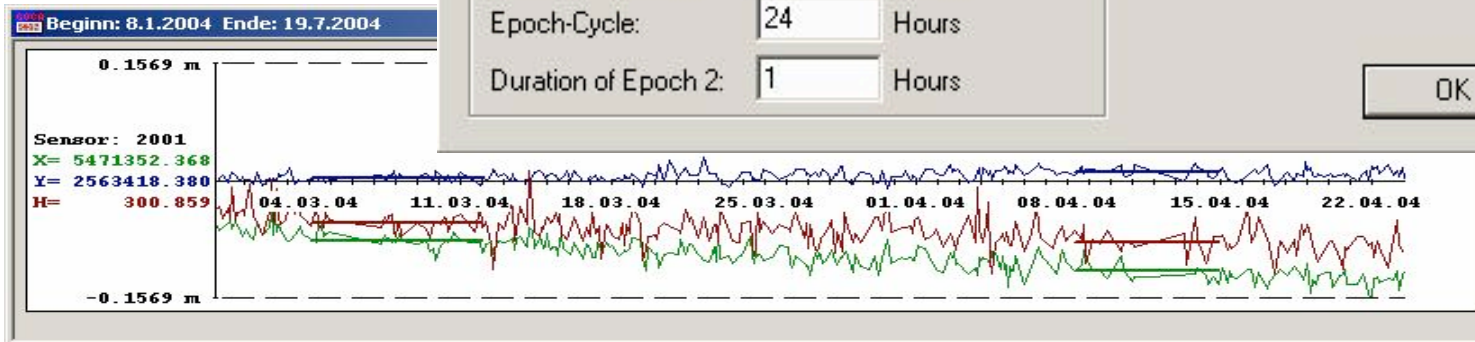
Begin dynamic Epoch 2:
Date: Time:

Duration of Epoch 1: Hours
Epoch-Cycle: Hours
Duration of Epoch 2: Hours

Adjustment Settings
Estimation Type:
 L1 L2 Huber
Convergence Crit. (L1, Huber):

Statistical Settings
Error Probability Plan Pos.: %
Error Probability Height: %
Sensitivity B: %

Settings for Alert
 Alert in case of Significance (A)
 Alert on exceeding crit. values (B)
Plan: mm Priority:
Height: mm Priority:
 Alert only if A and B simultaneously match



Reiner Jäger

www.goca.info

GOCA-Präsentation 230-Jahre-Feier MIGAİK, 25.-27. Mai 2009



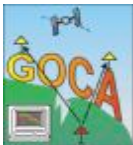
GOCA-Stufe 3 Online-Verschiebungsschätzung

• Numerische Ergebnisse der Verschiebungsschätzung („SHT-Files“)

Ergebnis der Verschiebungsschätzung:

Zeit = 26.06.2003 00:59:00	Rechts	=	-0.0007
	TRechts	=	1.3
	Kritischer Wert	=	3.3
	Genauigkeit	=	0.00055
	Konfidenzbereich	=	0.00183
	Sensitivitätsbereich	=	0.00255
Zeit = 26.06.2003 00:59:00	Hoch	=	-0.0011
	THoch	=	1.3
	Kritischer Wert	=	3.3
	Genauigkeit	=	0.00080
	Konfidenzbereich	=	0.00265
	Sensitivitätsbereich	=	0.00368
Zeit = 26.06.2003 00:59:00	Hoehe	=	-0.0048
	THoehe	=	3.7
	Kritischer Wert	=	3.3
	Genauigkeit	=	0.00130
	Konfidenzbereich	=	0.00433
	Sensitivitätsbereich	=	0.00601

*** signifikant



Deformationssystem – Identifikation

Parametrische Identifikation – Systemklasse: Mechanik

Zeitreihen der Verschiebungen u (GOCA)

? Schaden p ?



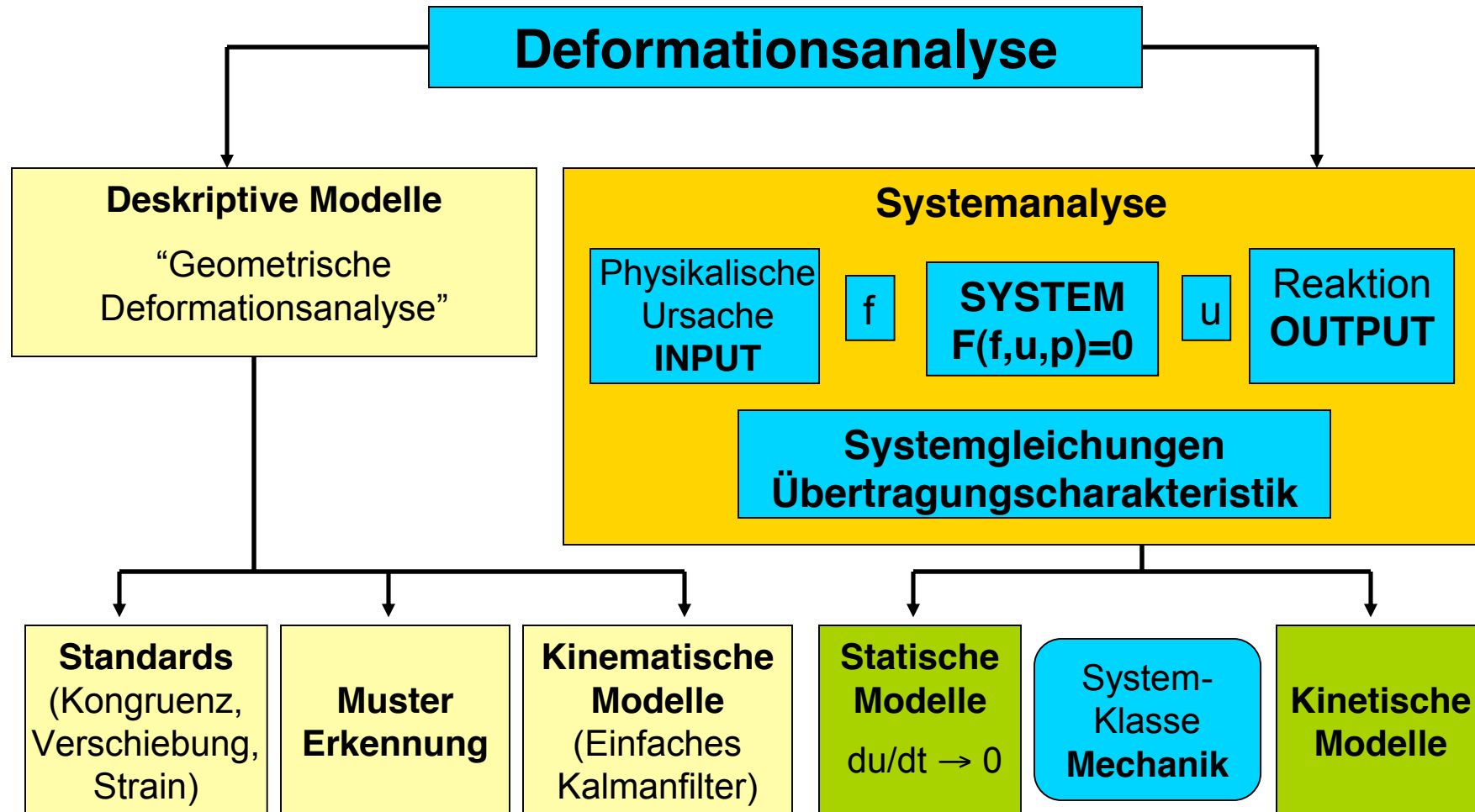
Reiner Jäger

www.goca.info

GOCA-Präsentation 230-Jahre-Feier MIIGAIK, 25.-27. Mai 2009



Von deskriptiven Modellen zur Systemanalyse



Integrierte Systemanalyse-basierte Modellierung - FEM (Statisch)

System-Gleichungen
 $K \cdot u = f$

$K(p, \Delta p)$

Steifigkeitsmatrix

p = Material Parameter

Δp = Änderungen (Schaden, z.B. Risse)

PhD TU Graz, 2007

FEM-Elemente

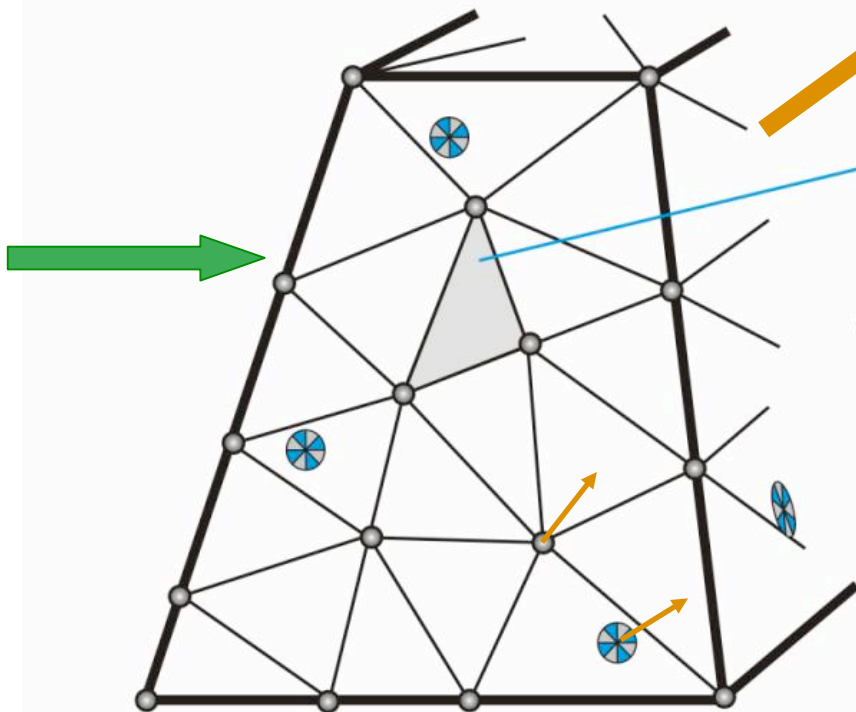
$$u_{i,E} = N_E \cdot \begin{pmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \end{pmatrix} = N_E \cdot u_{E\text{-Nodes}}$$

N_E = Formfunktionen

Geodätische Verschiebungen u_{geod}

$$u_{\text{geod}} = N_E(x_{\text{geod}}) \cdot \begin{pmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \end{pmatrix} = N_E(x_{\text{geod}}) \cdot E \cdot u$$

$E = (0,1)$ -Matrix \Rightarrow Geod. Design (FOD)



Knoten des geodätischen Netzes

Knoten des FE-Modells



Integrierte System Analysis basierte Modellierung - FEM (Static)

FEM- / System- Parts (Static) & *Parameter-Integration*

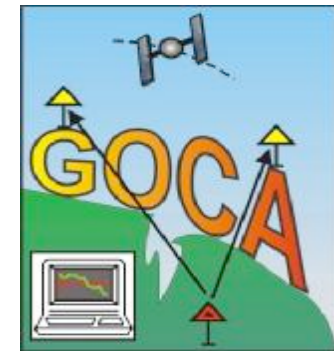
PHD TU Graz, 2007

$$\mathbf{0}_{\text{sys}} + \mathbf{v}_{\text{sys}} = \hat{\mathbf{u}} - \mathbf{K}(\hat{\mathbf{p}}_k, \Delta\hat{\mathbf{p}})^{-1} \cdot \hat{\mathbf{f}} \quad \text{and} \quad \mathbf{C}_{\text{sys}} \Rightarrow \mathbf{0}$$

$$\mathbf{p}_k + \mathbf{v}_p = \hat{\mathbf{p}}_k \quad \text{und} \quad \mathbf{C}_{p_k}$$

$$\mathbf{f} + \mathbf{v}_f = \hat{\mathbf{f}} \quad \text{und} \quad \mathbf{C}_f$$

Geod. Monitoring & Network Adjustment



$$\mathbf{u}_{\text{geod}} + \mathbf{v}_{\text{geod}} = \mathbf{N}_E \cdot \mathbf{E}_{\text{geod}} \cdot \hat{\mathbf{u}} \quad \text{and} \quad \mathbf{C}_{u,\text{geod}}$$

Sensor-Integration

$$\mathbf{l}_{\text{geom}} + \mathbf{v}_{\text{geom}} = \mathbf{l}_{\text{geom}}(\mathbf{N}_E, \mathbf{E}_{\text{geom}}, \hat{\mathbf{u}}) \quad \text{and} \quad \mathbf{C}_{\text{geom}} \quad \text{Local Extensiometers, Strain}$$

$$\boldsymbol{\varepsilon} = \mathbf{L} \cdot \mathbf{N}_E \cdot \mathbf{E}_{\text{geom}} \cdot \hat{\mathbf{u}}$$

$$\mathbf{l}_{\text{phys}} + \mathbf{v}_{\text{phys}} = \mathbf{l}_{\text{phys}}(\mathbf{N}_E, \mathbf{E}_{\text{phys}}, \hat{\mathbf{u}}, \hat{\mathbf{p}}_k, \Delta\hat{\mathbf{p}}) \quad \text{and} \quad \mathbf{C}_{\text{phys}} \quad \text{Local pressure, stress}$$

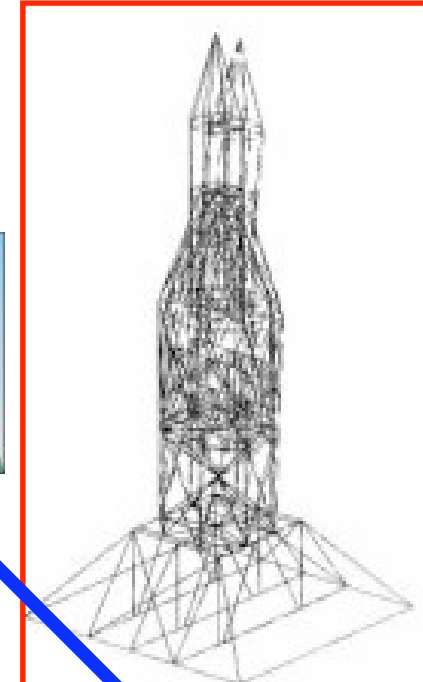
$$\boldsymbol{\sigma} = \mathbf{D}(\mathbf{p}_k) \cdot \mathbf{L} \cdot \mathbf{N}_E \cdot \mathbf{E}_{\text{phys}} \cdot \hat{\mathbf{u}}$$



GOCA Stufe 3 - Kalmanfilterung („KAL-Files“)

Deskriptive Model – Simple Kalman-Filter

$$\begin{bmatrix} \mathbf{u}_O(t + \Delta t) \\ \dot{\mathbf{u}}_O(t + \Delta t) \\ \ddot{\mathbf{u}}_O(t + \Delta t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{I} & [\Delta t] & \left[\frac{1}{2} \Delta t^2 \right] \\ \mathbf{0} & \mathbf{I} & [\Delta t] \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{I} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \mathbf{u}_O(t) \\ \dot{\mathbf{u}}_O(t) \\ \ddot{\mathbf{u}}_O(t) \end{bmatrix}$$



Systemanalyse-Modell – Erweiterter Kalman-Filter

E.g. bei Eigenschwingungen:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{u}_O(t + \Delta t) \\ \dot{\mathbf{u}}_O(t + \Delta t) \\ \ddot{\mathbf{u}}_O(t + \Delta t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{I} & [\Delta t] & \left[\frac{1}{2} \Delta t^2 \right] \\ \mathbf{0} & \mathbf{I} & [\Delta t] \\ \mathbf{0} & [-\mathbf{M}(\mathbf{p}_M)^{-1} \cdot \mathbf{K}(\mathbf{p}_K) \cdot \Delta t] & [\mathbf{I} - \mathbf{M}(\mathbf{p}_M)^{-1} \cdot \mathbf{C}(\mathbf{p}_C) \cdot \Delta t] \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \mathbf{u}_O(k) \\ \dot{\mathbf{u}}_O(k) \\ \ddot{\mathbf{u}}_O(k) \end{bmatrix}$$



Present Developments => GOCA and Laser Scanners

Correlated Topocentric (LAV) 3D coordinates



$$\mathbf{x}_{\text{LScan}}^{\text{LAV}} = \begin{bmatrix} \Delta \mathbf{x}_1 \\ \Delta \mathbf{x}_2 \end{bmatrix}_{\text{LScan}}^{\text{LAV}}$$

$$\text{and } \mathbf{C}_{\text{LScan}}^{\text{LAV}} = \begin{bmatrix} \mathbf{C}_{11} & \mathbf{C}_{12} \\ \mathbf{C}_{21} & \mathbf{C}_{22} \end{bmatrix}$$



Transformation to ECEF

$$\Delta \mathbf{x}_{\text{LS}}^{\text{ECEF}} = \mathbf{R}_{\text{LAV}}^{\text{ECEF}}(\varphi_0, \lambda_0) \cdot \Delta \mathbf{x}_{\text{LScan}}^{\text{LAV}}$$

$$\mathbf{R}_{\text{LAV}}^{\text{ECEF}}(\varphi, \lambda) = \begin{bmatrix} -\cos \lambda \cdot \sin \varphi & -\sin \lambda \cdot \sin \varphi & \cos \varphi \\ -\sin \lambda & \cos \lambda & 0 \\ \cos \lambda \cdot \cos \varphi & \sin \lambda \cdot \cos \varphi & \sin \varphi \end{bmatrix}^T$$



Present Developments => GOCA and Laser Scanners

Observation Equations for Laser Scanners in GOCA-SW

$$\begin{bmatrix} \Delta N(\varphi) \\ \Delta E(\lambda) \\ \Delta h \end{bmatrix}_{\text{LScan},1}^{\text{ECEF}} + \begin{bmatrix} v_N \\ v_E \\ v_h \end{bmatrix}_1 = \begin{bmatrix} \Delta N + \partial \Delta N(d\varphi(\mathbf{d})) \\ \Delta E + \partial \Delta E(d\lambda(\mathbf{d})) \\ \Delta h + \partial \Delta h(\mathbf{d}) \end{bmatrix} \quad \text{and} \quad \mathbf{C}_{\text{LScan}}^{\text{ECEF}} = \begin{bmatrix} \mathbf{C}_{11} & \mathbf{C}_{12} \\ \mathbf{C}_{21} & \mathbf{C}_{22} \end{bmatrix}_{\text{LScan}}^{\text{ECEF}}$$



... Followed by „residual interpolation“ for x_2

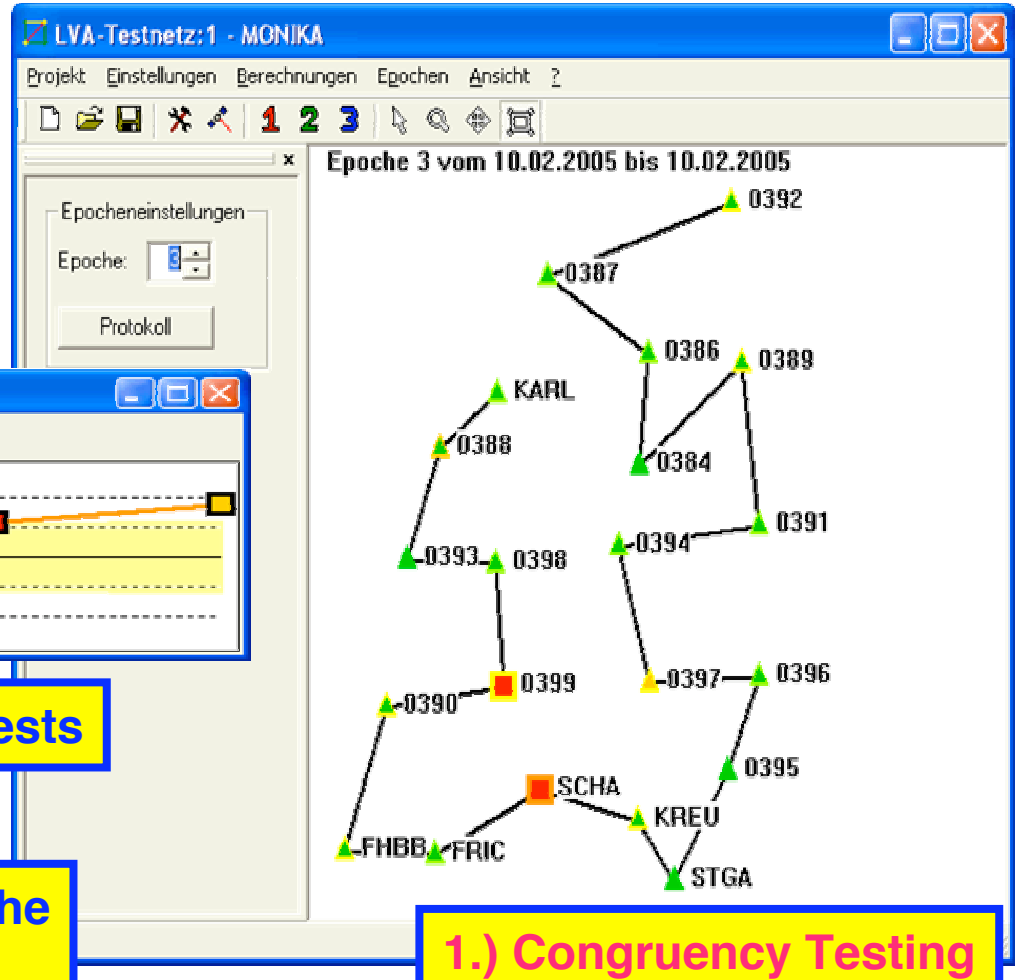
$$\begin{bmatrix} v_{\Delta N} \\ v_{\Delta E} \\ v_{\Delta h} \end{bmatrix}_2 = \mathbf{C}_{21} \cdot \mathbf{C}_{22}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} v_{\Delta N} \\ v_{\Delta E} \\ v_{\Delta h} \end{bmatrix}_1$$

... Followed by strict georeferencing of x_2 in the monitoring frame using the parameters \mathbf{d}



GNSS – Reference-Stations-Coordinate MONitoring KA Model - MONIKA

MONIKA Step 3 – Coordinate related Reference- Points Deformation Analysis



2.) Additionally: Object-Points + Tests

3.) Additionally: Full spectrum of the
Deformationsanalysis Features of
the GOCA-software (www.goca.info)

1.) Congruency Testing



GOCA-Input-/Output-Schnittstellen

Sowohl die Input- als auch die verschiedenen Output-Schnittstellen der GOCA-Deformationsanalysesoftware basieren primär auf offenen Textdateien, welche auch einem Datenbank-basierten Konzept zugänglich sind. Input- und Output-Daten werden dabei wie im GNSS-Bereich üblich (z.B. RINIEX-Files) als tageweise Dateien abgelegt. Das Format der Tagesdateien lautet entsprechend (yymmdd.<ext>, z.B. 060211.gka).

Input-Schnittstelle:

- **GKA-Dateien:** GOCA-Input für GNSS- und LPS-Daten (Online-, NearOnline-, Post-Processing)
- **RINEX** für NearOnline GNSS-Processing

Output-Schnittstellen:

- **FIN-Dateien:** GOCA-Output Ausgleichungsstufe 2 in Form der im Datum der Referenzpunkte georeferenzierten dreidimensionalen Objektpunktpositionen mit Kovarianzinformation und Zeitstempel.
- **ALR-Dateien:** GOCA-Output Ausgleichungsstufe 3 für nachgewiesene kritische Deformationen.
- **SHT-Dateien:** GOCA-Output Ausgleichungsstufe 3 für Online-Verschiebungsschätzungen
- **KAL-Dateien:** GOCA-Output Ausgleichungsstufe 3 für Kalmanfilterung.
- **MVE-Dateien:** GOCA-Output Ausgleichungsstufe 3 für gleitende Mittelwerte



GOCA-Input-Schnittstelle – GKA-Dateien

Die GOCA-Input-GKA-Datei enthält:

- Typkennung (z.B. #GOKA01 für GNSS-Baseline-Beobachtungen, #GOKA11 für LPS-Totalstationsbeobachtungen usw.)
- Je nach Typkennung Beobachtungsdaten der jeweiligen Sensoren, z.B für Tachymeter
 - Stand-/Zielpunkte
 - Schrägstrecken, Zenitdistanzen und Richtungen mit Genauigkeiten
- Zeitstempel (GPS-Woche, GPS-Tag und GPS-Zeit)

Spezifikation des Gesamtumfangs der GKA-Input-Schnittstelle im GOCA-Handbuch Version 4.0

Aus-
schnitt
aus einer
GOCA
GKA-
Datei:

```
Version40
#GOKA10
1000,0,0,0.0000,5,5431236.7460,3455581.3020,142.5250
300,0,0,0.0000,5,5431225.6000,3455587.8000,142.4800
302,0,0,0.0000,5,5431242.0600,3455588.9100,142.4800
303,0,0,0.0000,5,5431248.3200,3455589.3600,142.4800
#END10
#GOKA11
1000,,0,0,0,0.0000
300,,1385,2,228.0000,1,0,12.919653,0.000400,0.000000,399.999365,0.000090,100.236447,0.000090,0.000000
302,,1385,2,235.0000,1,0,9.290810,0.000400,0.000000,294.702323,0.000090,100.298499,0.000090,0.000000
303,,1385,2,241.0000,1,0,14.113067,0.000400,0.000000,272.182081,0.000090,100.206311,0.000090,0.000000
```



GOCA-Output-Schnittstelle – FIN-Dateien

Die aus der Ausgleichungsstufe 2 resultierenden FIN-Dateien enthalten:

- Punktkennung
- Dreidimensionale Objektpunktposition im Datum der Referenzpunkte
- Kovarianzinformation zur Objektpunktposition
- Zeitstempel

Ausschnitt
aus einer
GOCA FIN-
Datei:

6881	2535924.7377	5659643.7722	90.2752	53
0.00000276177716743021	0.00000080358719814112	0.00000000000000000000	0.00000000000000000000	
0.00000080358719814112	0.00000209546716903030	0.00000000000000000000	0.00000000000000000000	
0.00000000000000000000	0.00000000000000000000	0.00000000000000000000	0.00003504878833584970	
6820	2535948.4258	5659546.8113	89.4980	88
0.00000224793867985225	0.00000065272076904751	0.00000000000000000000	0.00000000000000000000	
0.00000065272076904751	0.00000173520258736198	0.00000000000000000000	0.00000000000000000000	
0.00000000000000000000	0.00000000000000000000	0.00000000000000000000	0.00002860963767930605	
6881	2535924.7384	5659643.7725	90.2720	88
0.00000257566226730015	0.00000074545256489817	0.00000000000000000000	0.00000000000000000000	
0.00000074545256489817	0.00000201632544756715	0.00000000000000000000	0.00000000000000000000	
0.00000000000000000000	0.00000000000000000000	0.00000000000000000000	0.00003285249592945346	
6820	2535948.4256	5659546.8140	89.5008	148
0.00000237113621584713	0.00000068481342210457	0.00000000000000000000	0.00000000000000000000	
0.00000068481342210457	0.00000189053146810365	0.00000000000000000000	0.00000000000000000000	
0.00000000000000000000	0.00000000000000000000	0.00000000000000000000	0.00003033002503336391	
6881	2535924.7374	5659643.7728	90.2715	174
0.00000221563803335190	0.00000064003642281972	0.00000000000000000000	0.00000000000000000000	
0.00000064003642281972	0.00000176213425146370	0.00000000000000000000	0.00000000000000000000	
0.00000000000000000000	0.00000000000000000000	0.00000000000000000000	0.00002833059322783813	



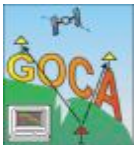
GOCA-Output-Schnittstelle – ALR-Dateien

Die aus der Ausgleichungsstufe 3 resultierenden ALR-Dateien enthalten:

- Punktkennung
- Zeitstempel
- Alarmtyp (gleitender Mittelwert, Verschiebungsschätzung, Kalmanfilter)
- Priorität
- Differenztyp, Schätzertyp (L1-/L2-Norm), Irrtumswahrscheinlichkeit, Krit. Wert, Testgrösse,
- Deformationswert

Ausschnitt aus einer GOCA ALR-Datei

```
#GOCA_ALARM,20041218082400,MP1,OnlineMveAve,10,$P0,3,0,0.000000,0.020000,0.000000,0.022145,E
#GOCA_ALARM,20041218082500,MP1,OnlineMveAve,10,$P0,3,0,0.000000,0.020000,0.000000,0.021740,E
#GOCA_ALARM,20041218082600,MP1,OnlineMveAve,10,$P0,3,0,0.000000,0.020000,0.000000,0.021191,E
#GOCA_ALARM,20041218082700,MP1,OnlineMveAve,10,$P0,3,0,0.000000,0.020000,0.000000,0.020358,E
#GOCA_ALARM,20041218080000,MP1,Epoch1_fix_Restl.Sensoren,21,$P1,3,0,1.000000,0.002590,17.070794,0.020407,E
#GOCA_ALARM,20041218080000,MP1,Epoch1_fix_Restl.Sensoren,26,$P1,3,0,1.000000,0.020000,0.000000,0.020407,E
#GOCA_ALARM,20041227173300,MP1,OnlineMveAve,10,$P0,0,0,0.000000,0.020000,0.000000,0.020053,E
#GOCA_ALARM,20041227173400,MP1,OnlineMveAve,10,$P0,0,0,0.000000,0.020000,0.000000,0.020066,E
#GOCA_ALARM,20041227173500,MP1,OnlineMveAve,10,$P0,0,0,0.000000,0.020000,0.000000,0.020159,E
#GOCA_ALARM,20041227173600,MP1,OnlineMveAve,10,$P0,0,0,0.000000,0.020000,0.000000,0.020090,E
#GOCA_ALARM,20041227173700,MP1,OnlineMveAve,10,$P0,0,0,0.000000,0.020000,0.000000,0.020319,E
#GOCA_ALARM,20041227170000,MP1,Epoch1_fix_Restl.Sensoren,21,$P1,0,0,1.000000,0.002586,30.043586,0.021827,E
#GOCA_ALARM,20041227170000,MP1,Epoch1_fix_Restl.Sensoren,26,$P1,0,0,1.000000,0.020000,0.000000,0.021827,E
#GOCA_ALARM,20041227173800,MP1,OnlineMveAve,10,$P0,0,0,0.000000,0.020000,0.000000,0.020853,E
#GOCA_ALARM,20041227173900,MP1,OnlineMveAve,10,$P0,0,0,0.000000,0.020000,0.000000,0.020987,E
#GOCA_ALARM,20041227174000,MP1,OnlineMveAve,10,$P0,0,0,0.000000,0.020000,0.000000,0.021025,E
```



GOCA-Output-Schnittstelle – SHT-Dateien

Die aus der Ausgleichungsstufe 3 resultierenden SHT-Dateien enthalten:

- Punktkennung
- Dreidimensionale Objektpunktposition im Datum der Referenzpunkte
- Zeitstempel
- Dreidimensionale Verschiebungen
- Alarmkennung für Lage und Höhe (0: kein Alarm, 1: Alarm wurde ausgelöst)

Ausschnitt aus einer GOCA SHT-Datei:

MP4	5467720.34829	5704626.71277	64.81314	3600
	0.00044	0.00135	-0.00343	
	0		0	
MP3	5467760.55467	5704663.92850	64.67952	3600
	-0.00071	0.00077	-0.00410	
	0		0	
MP1	5468039.52083	5704437.19274	65.72307	3600
	-0.00087	0.00122	0.00236	
	0		0	
MP4	5467720.34767	5704626.71128	64.82344	7200
	-0.00018	-0.00013	0.00687	
	0		0	
MP3	5467760.55486	5704663.92588	64.68587	7200
	-0.00052	-0.00185	0.00226	
	0		0	

