

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

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

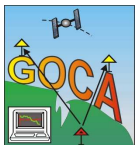
Prof. Dr.-Ing. Reiner Jäger
Dipl.-Ing. (FH) Manuel Oswald

Hochschule Karlsruhe Technik und Wirtschaft (HSKA)
- University of Applied Sciences -



Studiengänge Vermessung & Geomatik
International Programme Geomatics (MSc)
Institut für Angewandte Forschung (IAF)

D-76133 Karlsruhe, Moltkestrasse 30
Email: reiner.jaeger@goca.info
URL: www.goca.info



Reiner Jäger

www.goca.info

CITY BUILD 2008

Moskau, 11.-13. November 2008

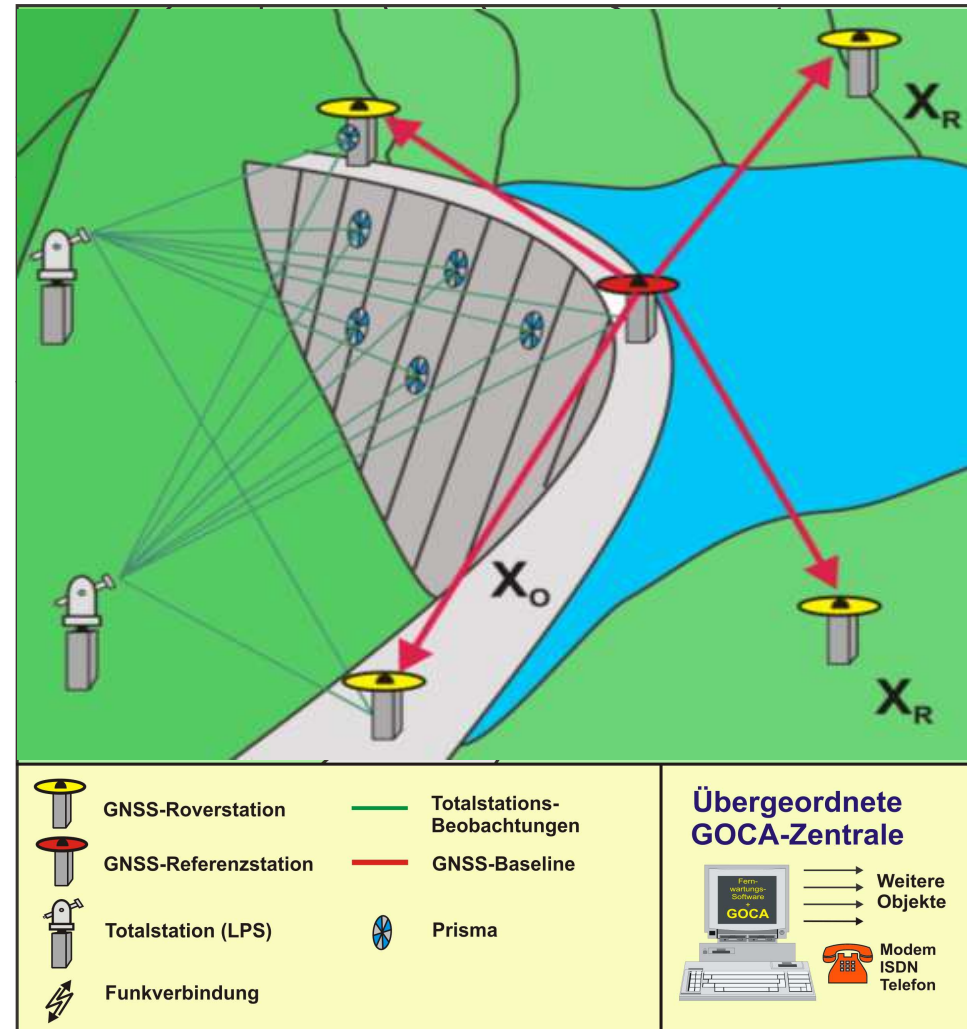


GOCA – System und – Software (Hska)

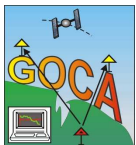
GOCA = GNSS/LPS based Online Control and Alarm System

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.



GOCA Anwendungsgebiete Teil 1 - Naturkatastrophenschutz



Reiner Jäger

www.goca.info

CITY BUILD 2008

Moskau, 11.-13. November 2008



GOCA Anwendungsgebiete – Teil 2

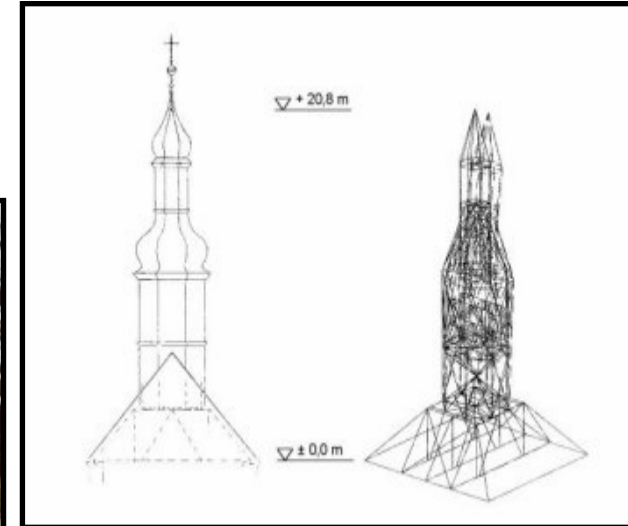
Bauwerks-Monitoring und Deformationsanalyse Statisch & Kinematisch



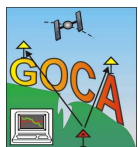
Monitoring und
Deformationsanalyse
von Bauwerken
bspw. im
Bergbaubereich



Baustellen
Monitoring



Bauwerksschwingungen



Reiner Jäger

www.goca.info

CITY BUILD 2008

Moskau, 11.-13. November 2008



Geodätische beobachtungsbezogene Deformationsanalyse - Standards

$y = (x_R; x_{0,1}; x_{0,2})$ – Koordinaten $x(t)$

$$(l_1 - l_1(y^0)) + v_1 = A_{R,1} \cdot dx_R + A_{O,1} \cdot dx_{O,1} + 0 \cdot dx_{O,2}$$

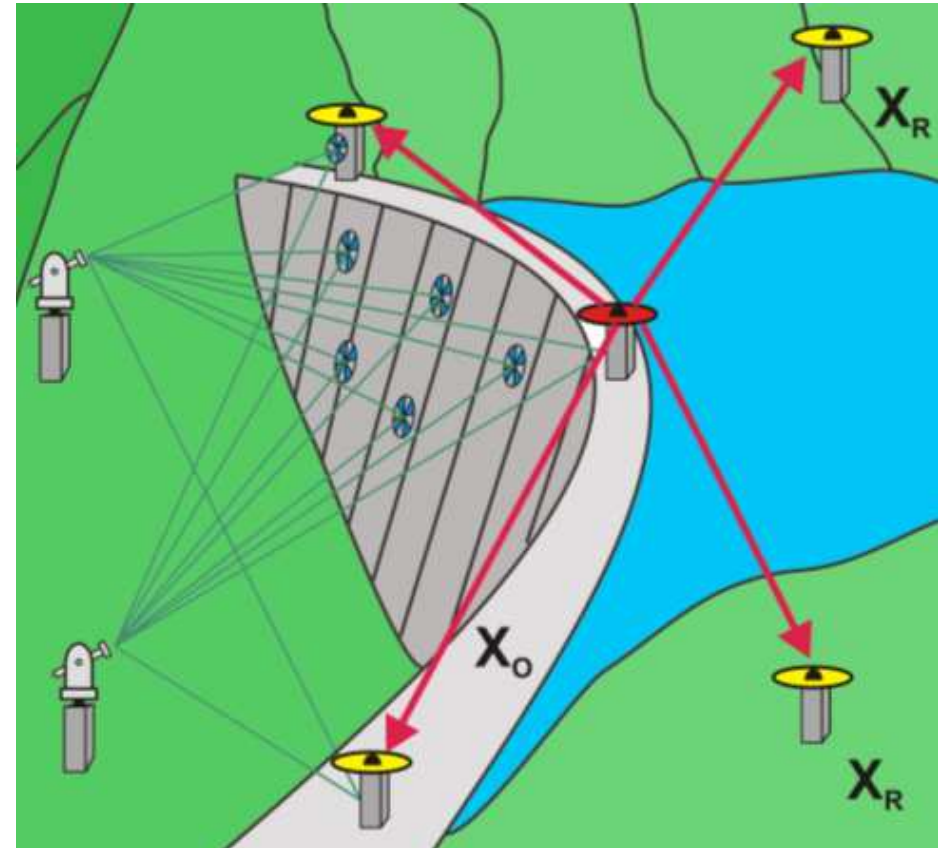
$$(l_2 - l_2(y^0)) + v_2 = A_{R,2} \cdot dx_R + 0 \cdot dx_{O,1} + A_{O,2} \cdot dx_{O,2}$$

Kleinste-Quadrate-Ausgleichung

$$d\hat{y} = (A^T C_l^{-1} A)^{-1} A^T C_l^{-1} \cdot (l - l(y^0))$$

$$\hat{y}(t_1, t_2) = y^0 + d\hat{y} = \begin{bmatrix} x_R^0 + dx_R \\ x_{O1}^0 + dx_{O1} \\ x_{O2}^0 + dx_{O2} \end{bmatrix}$$

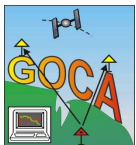
$$C_y = \left[\begin{array}{c|cc} A_R^T C_l^{-1} A_R & A_R^T C_l^{-1} A_{O1} & A_R^T C_l^{-1} A_{O2} \\ \hline A_{O1}^T C_l^{-1} A_R & A_{O1}^T C_l^{-1} A_{O1} & 0 \\ A_{O2}^T C_l^{-1} A_R & 0 & A_{O2}^T C_l^{-1} A_{O2} \end{array} \right]$$



Diskrete Zustandsparameter y

$x_o(t)$ - Objektpunktkoordinaten

$u_o(t, x_i)$ - Objektpunktverschiebungen



Geodätische Deformationsanalyse – Netzagl.-basiert

Mathematisches Modell („Beobachtungsbezogene Deformationsanalyse“):

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

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

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

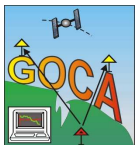
Parameterschätzung (nach Linearisierung mit Näherungsparametern y^0)

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

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 $y(t)$

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



Integrierte Deformationsanalyse - 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“



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

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

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



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

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

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



MONITOR
(C) GeoNav_Trimble

STRUNK & HARMUTH
SYSTEMTECHNIK GMBH

Sensor Control and Communication-Software

Trimble



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

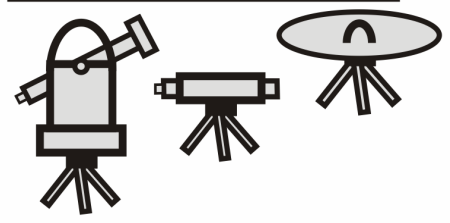
SQL-Server Database

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

Leica
Geosystems



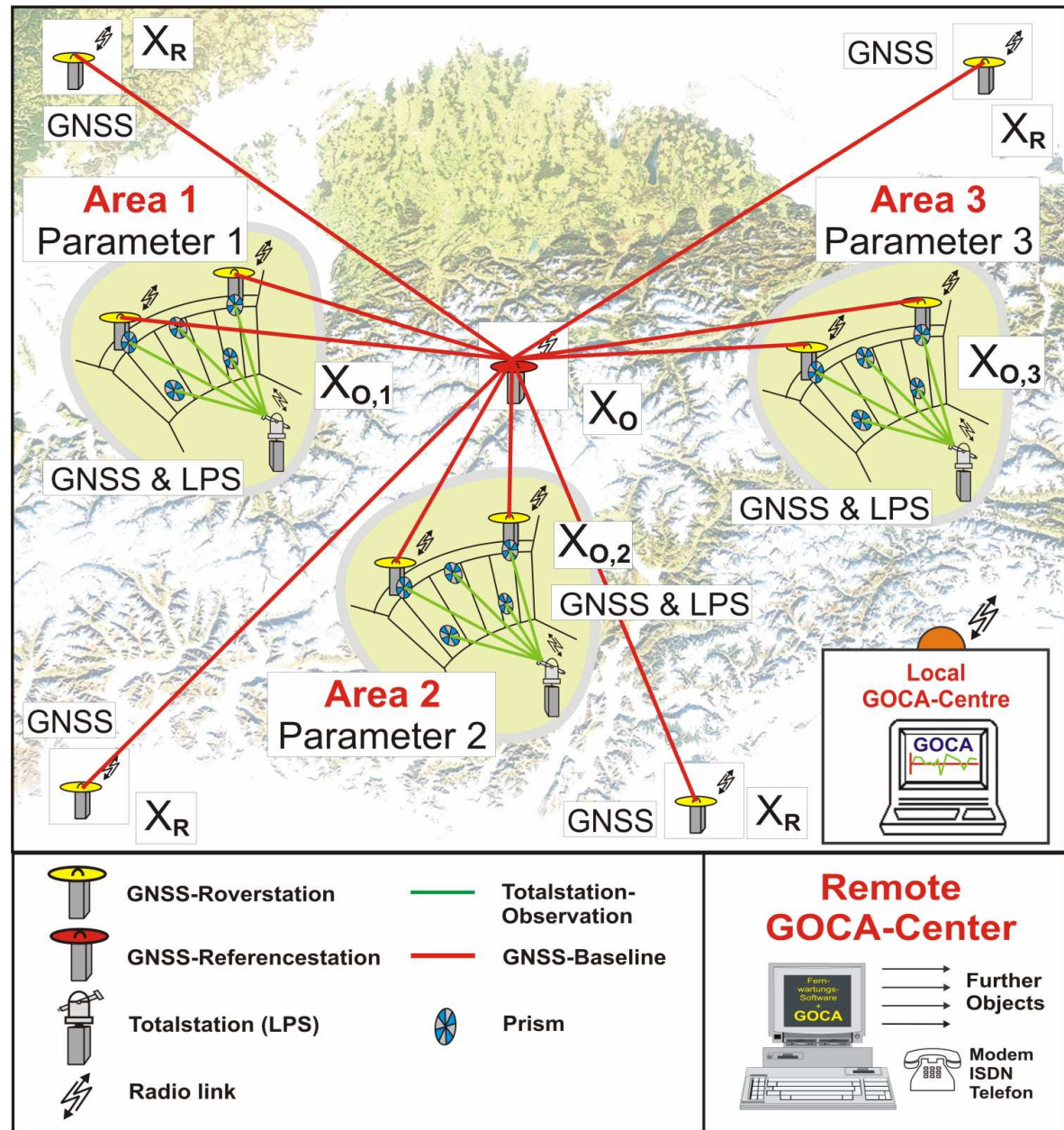
„User-Made“
Sensor Control and Communication-Software




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



GOCA – Netzdesign-Definition

Projekteinstellungen

Sensorattribute | **Netzdesign** | Epocheneditor | Koordinatenbezugssystem | Projektverzeichnis

Sensortypen:

- ☐ GPS-Sensoren
- ☐ Terrestrische Sensoren
- ☒ GPS und terrestrische Sensoren

Netztyp:

- ☐ Lagenetz
- ☐ Höhennetz
- ☒ Lage- und Höhennetz

Parametergruppen:

aktuelle Gruppe: abc

Gruppenname: abc

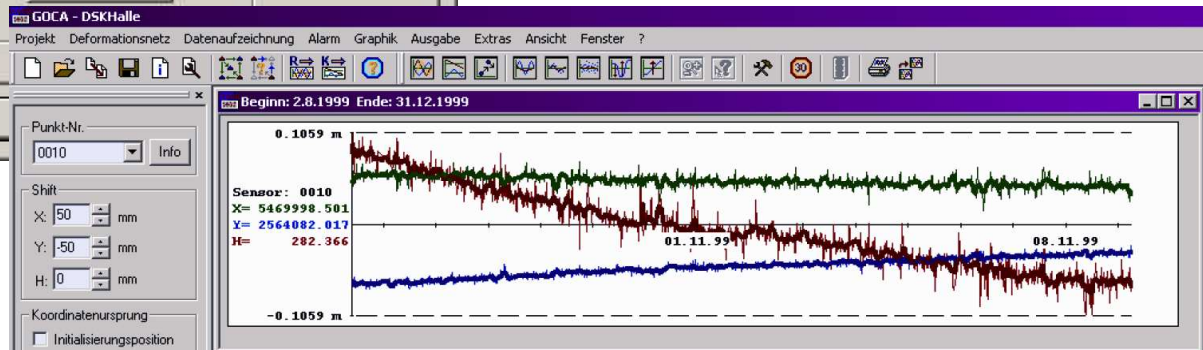
Polynomgrad (Geoid): ohne Parameter

☐ Lagemassstab berechnen

☐ Höhenmassstab berechnen

Neue Gruppe Übernehmen löschen Alle löschen

Stabilpunkte		Objektpunkte	
☒	3	☐	1
☒	4	☐	2
		☐	S1



Reiner Jäger

www.goca.info

CITY BUILD 2008

Moskau, 11.-13. November 2008



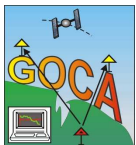
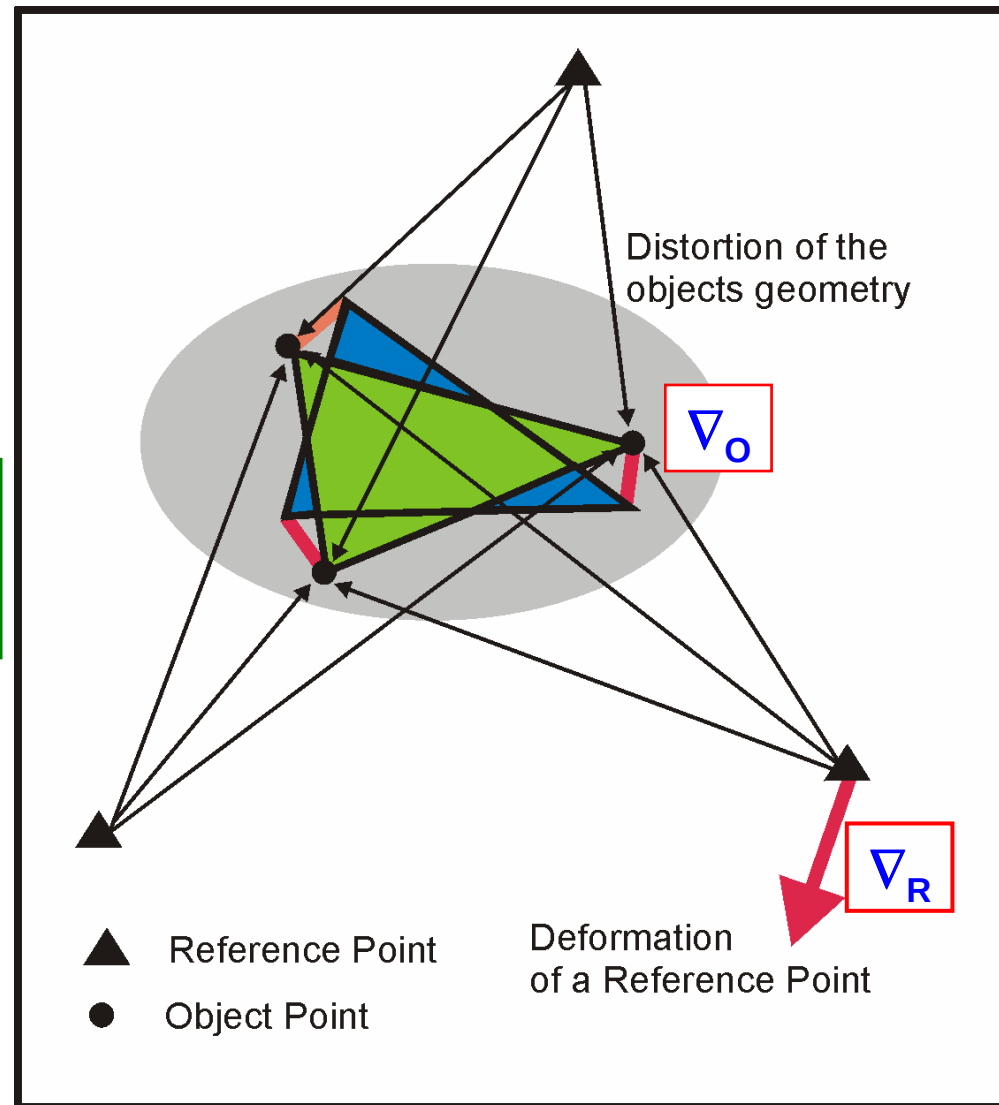
Überprüfung des Referenzpunktfeldes

Test zur Aufdeckung
signifikanter
Deformationen ∇_R
der Referenzpunkte
im beobachtungsbezogenen
Deformationsanalyse-Modell

$$T = \frac{\nabla_{\hat{X}_R}^T \cdot Q_{\nabla_{\hat{X}_R}}^{-1} \cdot \nabla_{\hat{X}_R}}{b \cdot \hat{\sigma}^2} \sim F_{b, r-b}$$

$$Q_{\nabla_{\hat{X}_R}} = (A_R^T P Q_v P A_R)^{-1}$$

Kofaktor - Matrix des
Deformationsvektors

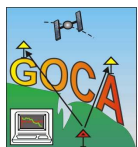
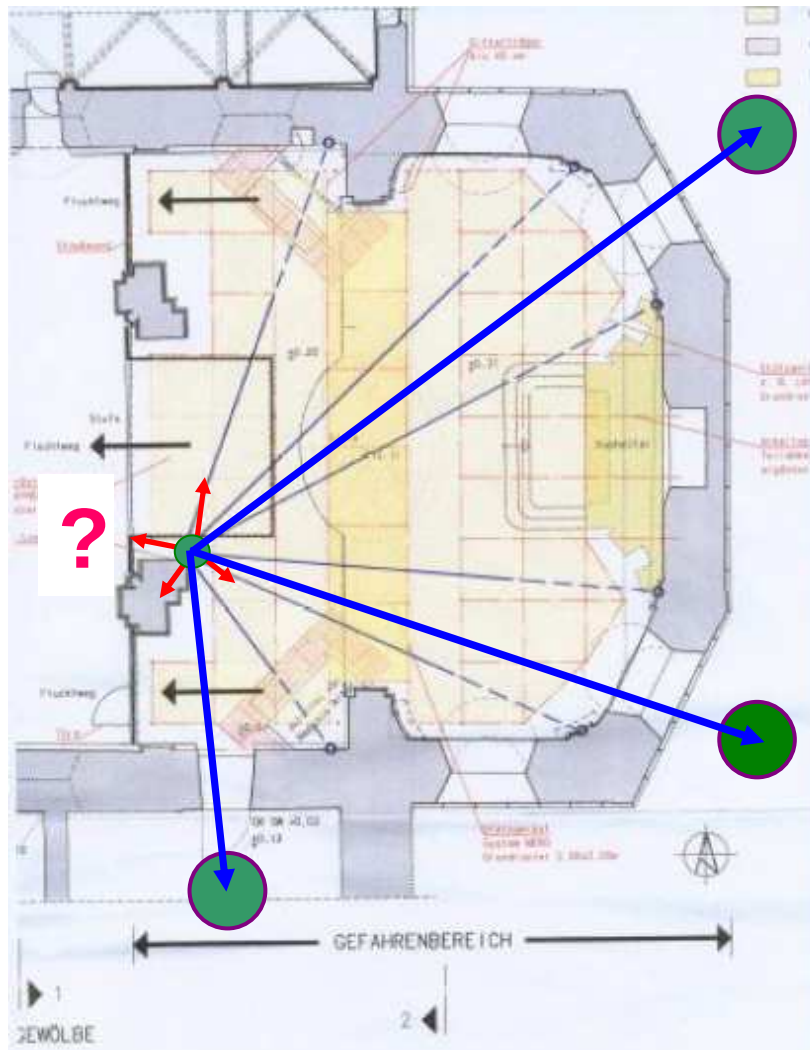


GOCA-Software Version 4.0 - Design and Modellierung

P
U
R
E

L
P
S

A
R
R
A
Y



Reiner Jäger

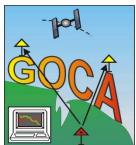
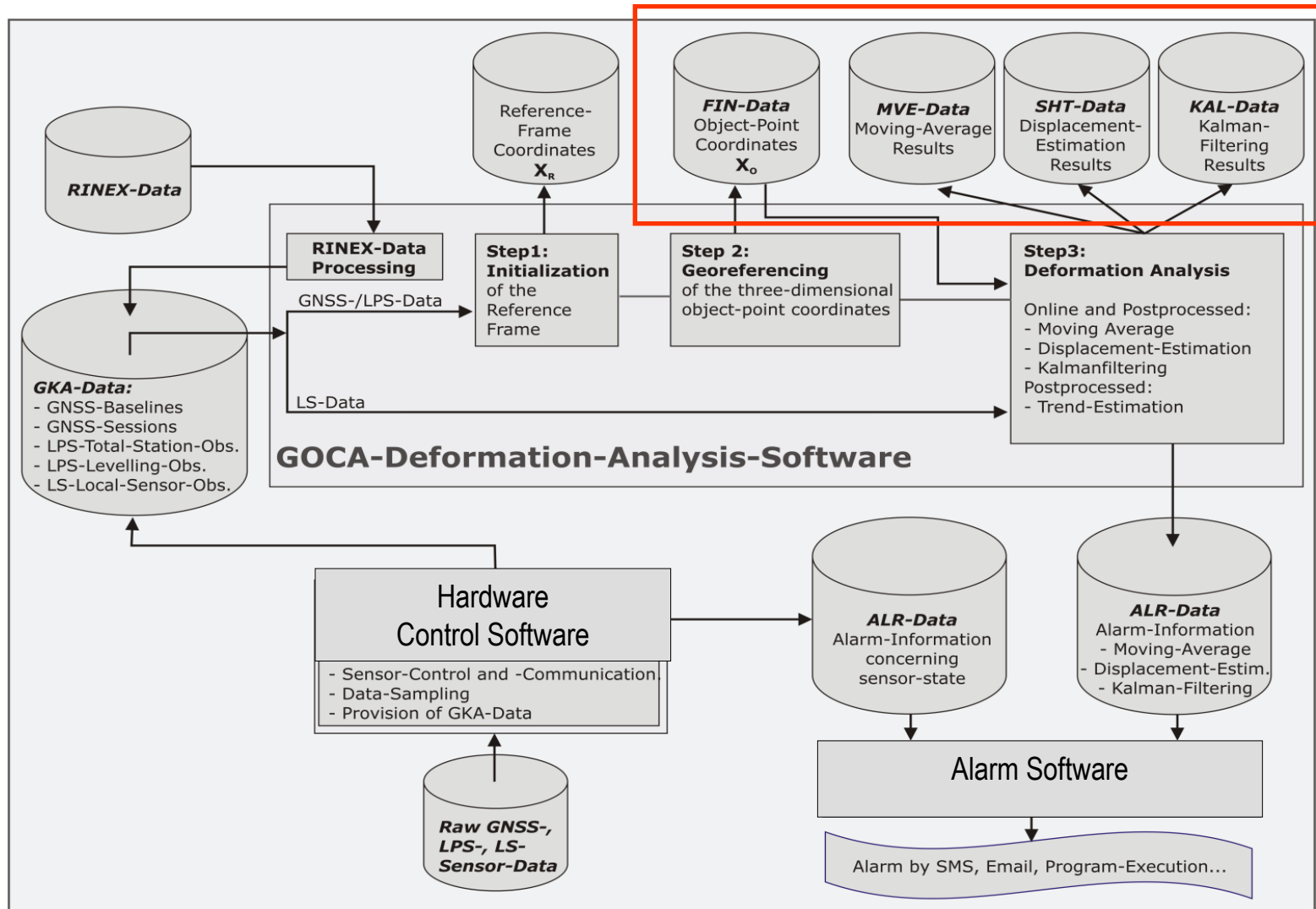
www.goca.info

CITY BUILD 2008

Moskau, 11.-13. November 2008



GOCA-Ablaufschema / Algorithmen und Input/Output-Schnittstellen



GOCA – Online Verschiebung- Schätzung

Displacement-Estimation

General Settings

Name:

Object Points

- ☐ GOCAA18
- ☐ GOCA12
- ☐ GOCA13

Epoch Definition

☒ Epoch 1 = Initialisation

☐ Epoch 1 = fix

☐ Epoch 1 = dynamic

Begin of dynamic or fix Epoch 1:

Date: Time:

Begin dynmic 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)

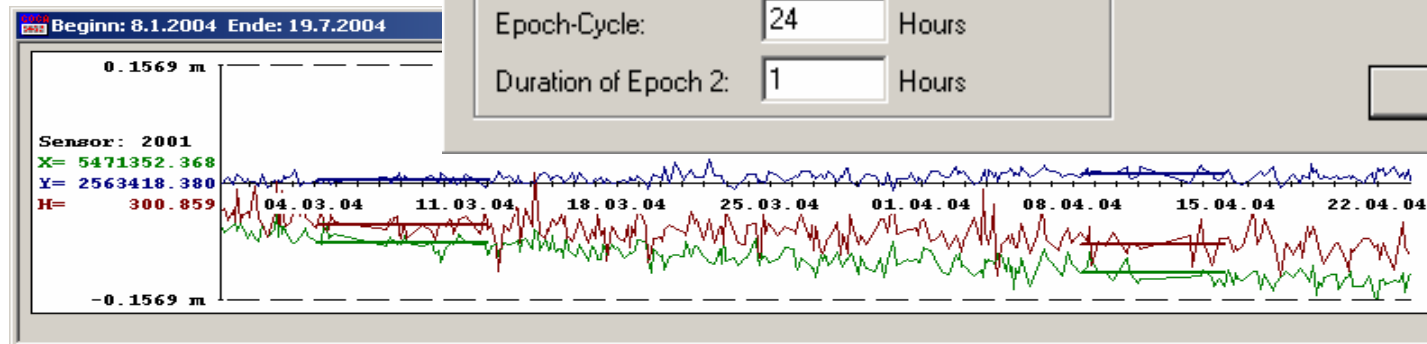
Plan: mm Priority:

Height: mm Priority:

☒ Alert only if A and B simultaneously match

OK

Cancel



Reiner Jäger

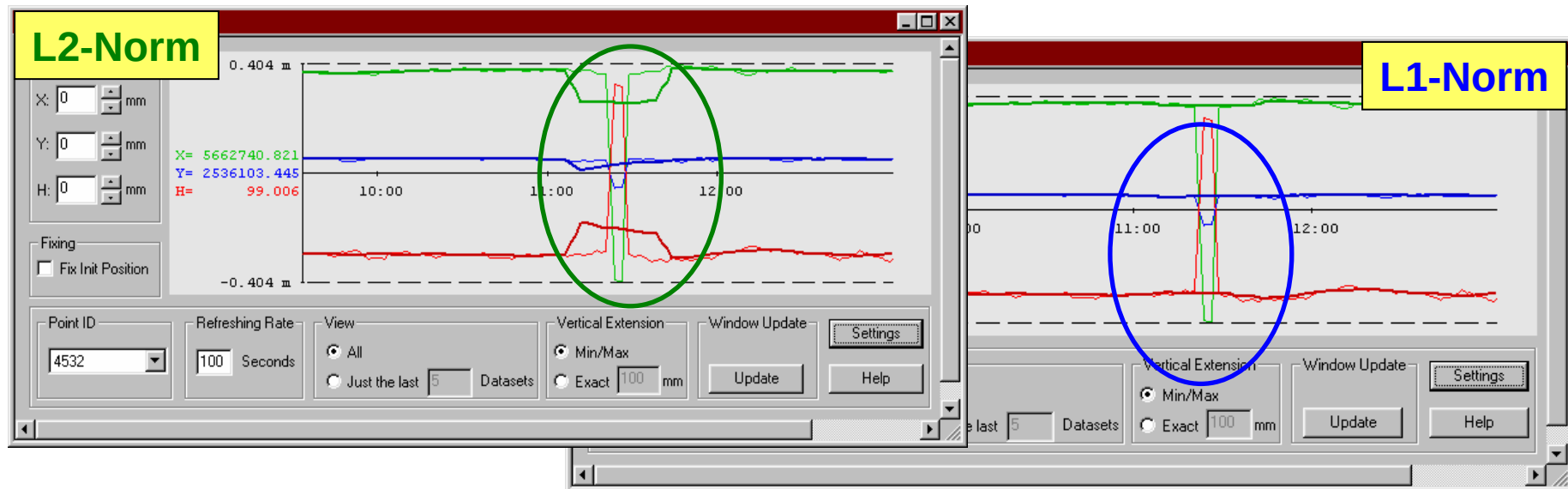
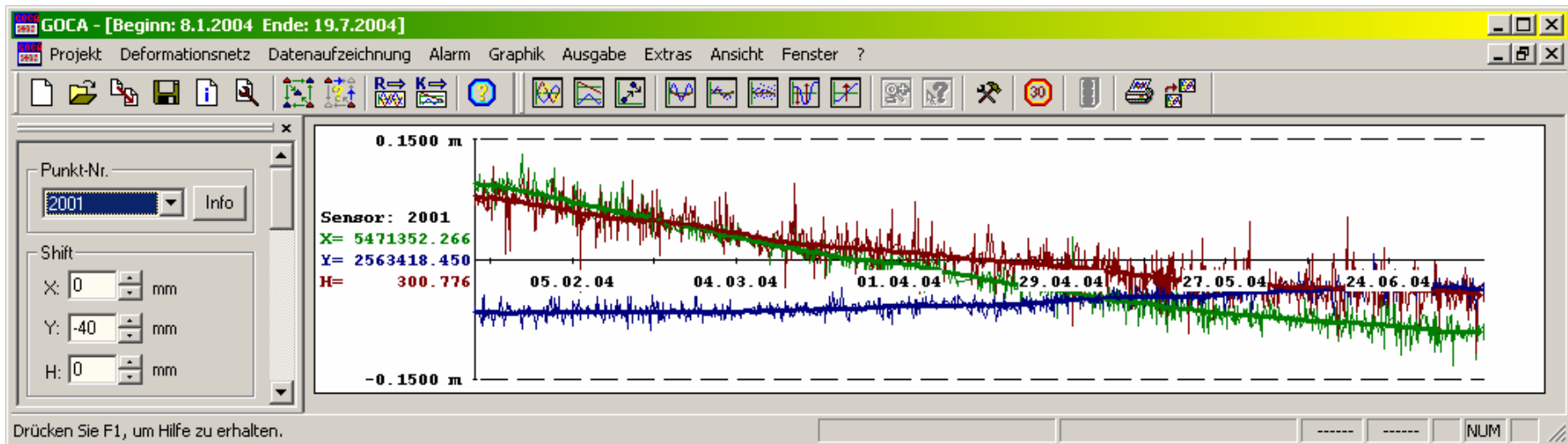
www.goca.info

CITY BUILD 2008

Moskau, 11.-13. November 2008



Ausgleichungsstufe 2 und Filterung (L1-/L2-Schätzung)



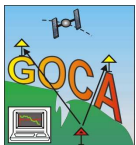
GOCA-Deformationsanalyse – Ausgleichungsstufe 3

• Numerische Ergebnisse der Verschiebungsschätzung

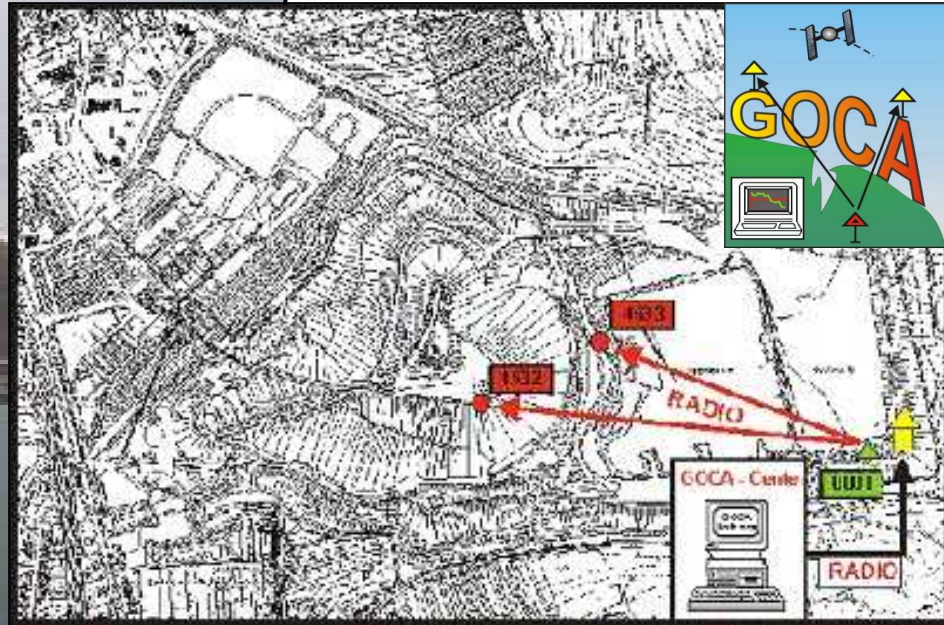
Ergebnis der Verschiebungsschätzung:

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

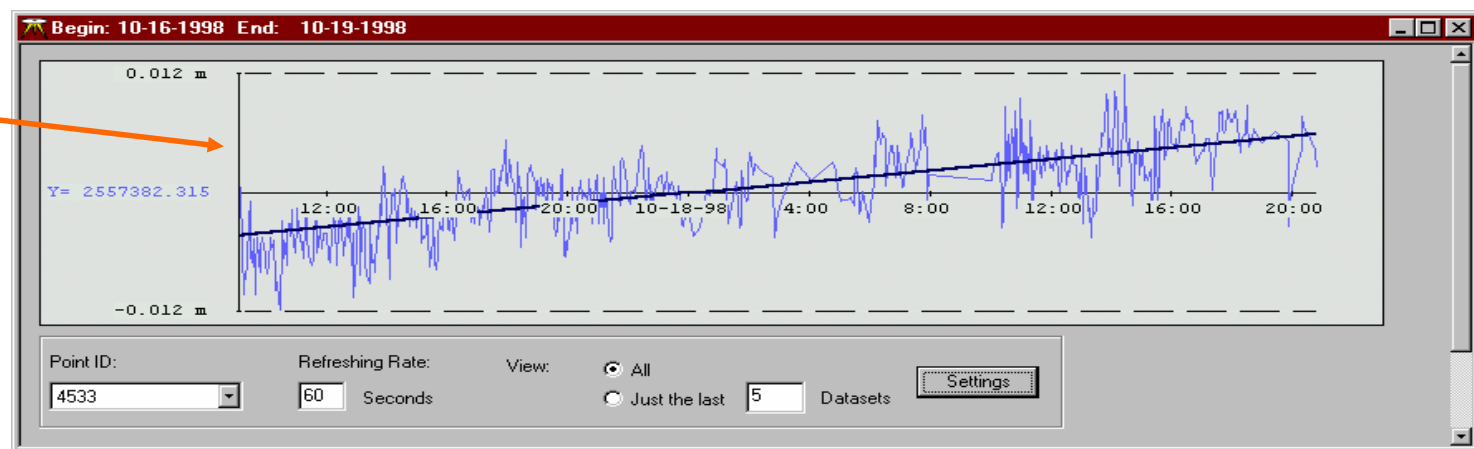
*** signifikant



GOCA- Installationsbeispiel - Kohlehalde



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



Reiner Jäger

www.goca.info

CITY BUILD 2008

Moskau, 11.-13. November 2008

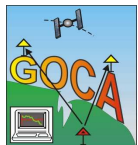


GOCA-Installation zur Gebäude-Überwachung



Lohwies-Halle
(Schulgebäude)

Leica GPS
Sensor auf
dem Dach
der
Lohwies-
Halle



Reiner Jäger

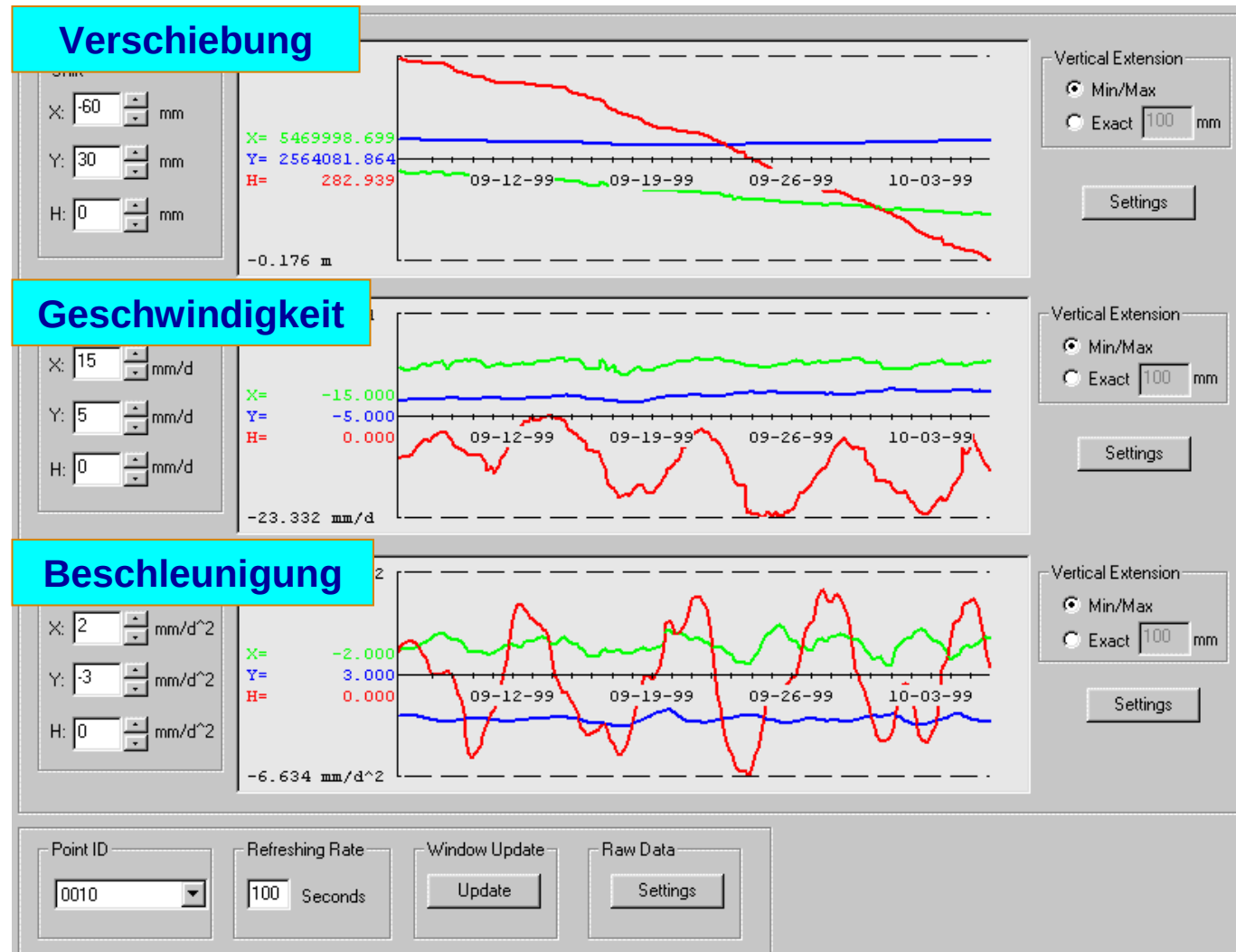
www.goca.info

CITY BUILD 2008

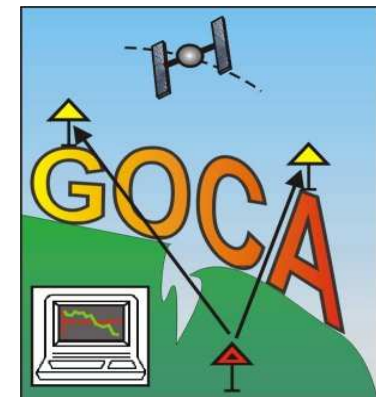
Moskau, 11.-13. November 2008



Integrierte Deformationsanalyse – Parameterintegration



GOCA
Kalmanfilter



Reiner Jäger

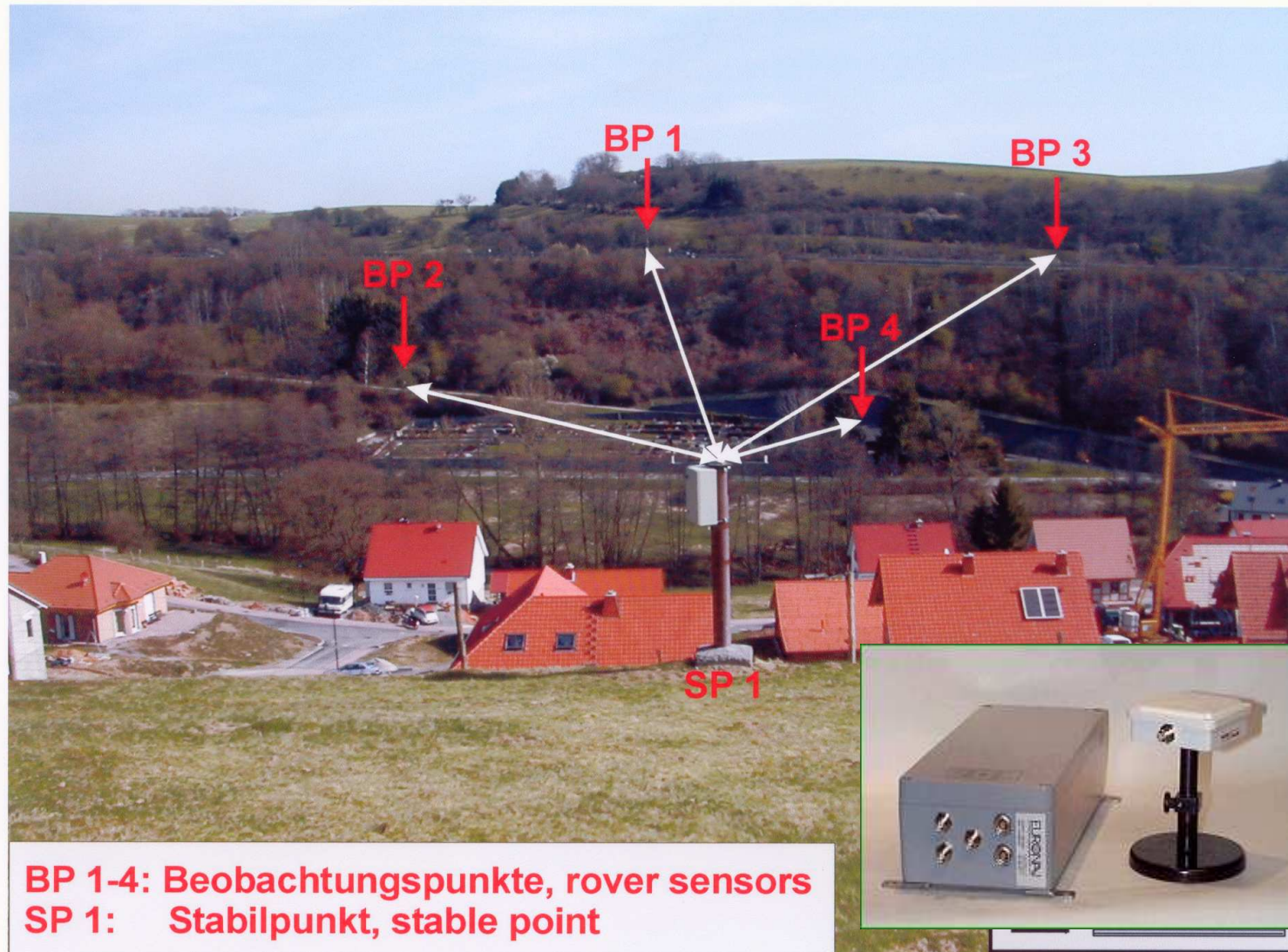
www.goca.info

CITY BUILD 2008

Moskau, 11.-13. November 2008



GOCA Installationsbeispiel: Autobahn-Rutschung A62



Reiner Jäger

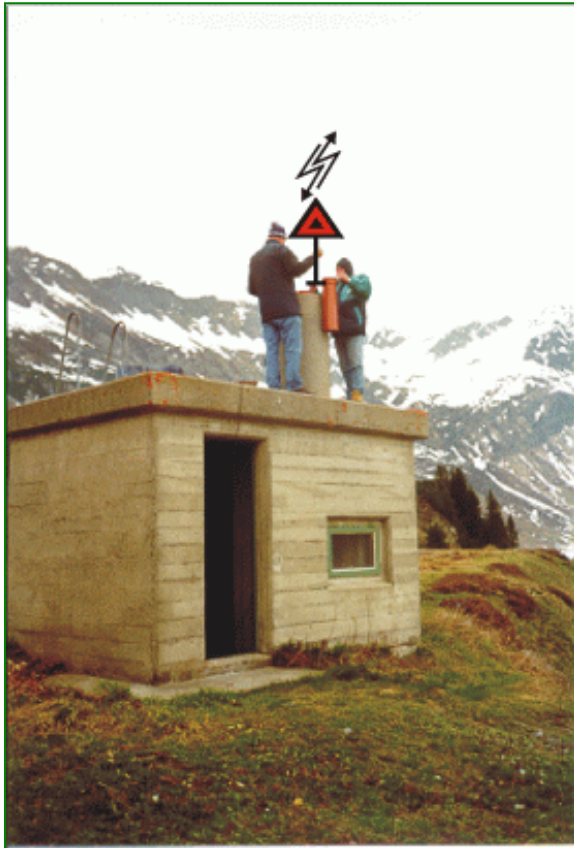
www.goca.info

CITY BUILD 2008

Moskau, 11.-13. November 2008



GOCA-Überwachung Kops-Staumauer, Österreich

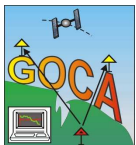


Installation eines
GPS-Rovers als
stabiler Referenzpunkt



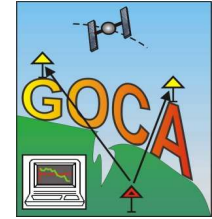
Rot: GPS-Rover als Objektpunkt-1
im Bereich der Mauermitte

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

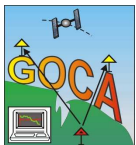


Installations-Beispiele - Tagebau

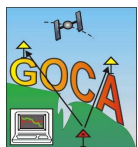
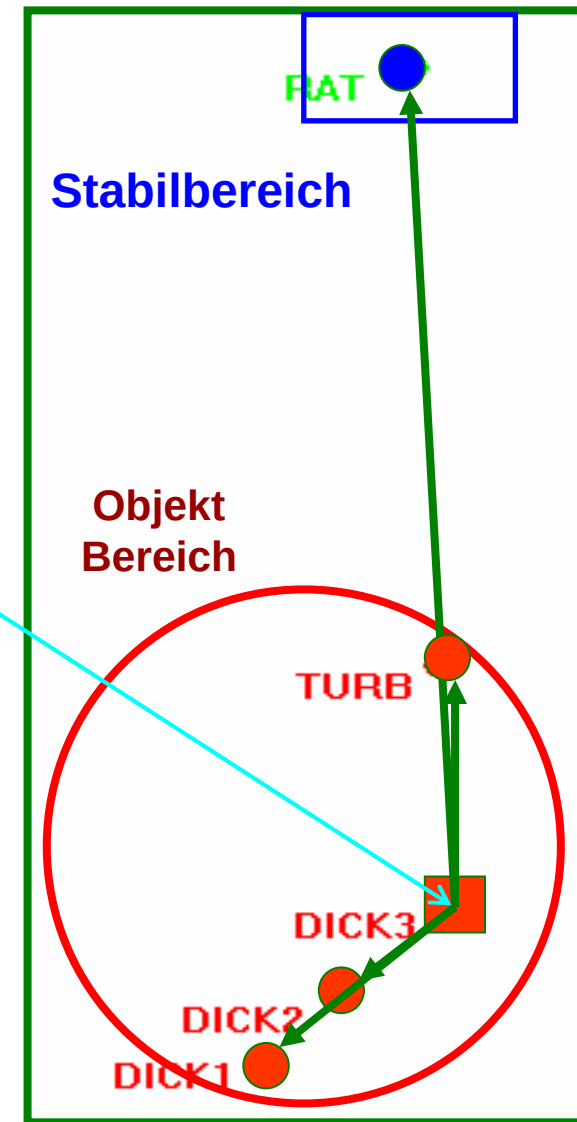
- RWE Rheinbraun (Hambach, Garzweiler, Elsdorf)
- Morila Gold Mines, Mali, Afrika



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



GOCA-Installationsbeispiel: Fabrik Elsdorf (RWE)



Installation : Rössing Mines, Namibia, Afrika

1 Rössing Abbauegebiet



 Rössing

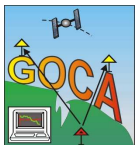
2 GOCA-Installation



3



15 GOCA
Receiver



Reiner Jäger

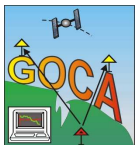
www.goca.info

CITY BUILD 2008

Moskau, 11.-13. November 2008



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



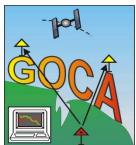
Reiner Jäger

www.goca.info

CITY BUILD 2008 Moskau, 11.-13. November 2008



Installationsbeispiel: GOCA-Überwachung Gotthard Tunnel



Reiner Jäger

www.goca.info

CITY BUILD 2008 Moskau, 11.-13. November 2008

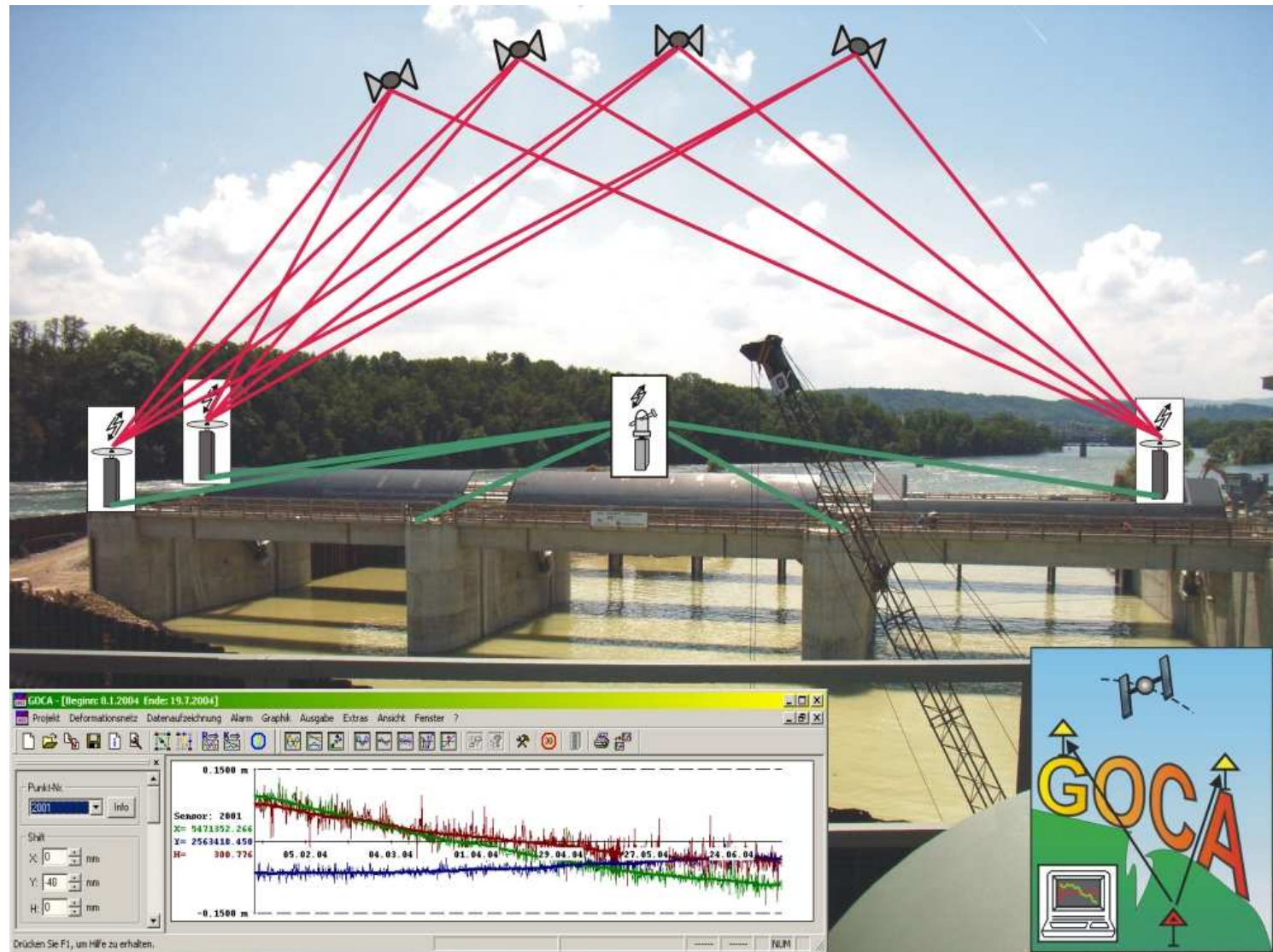


GNSS & LPS

Hybrides
GNSS + LPS

Deformations-
analyse

Wasser
Kraftwerk



Reiner Jäger

www.goca.info

CITY BUILD 2008

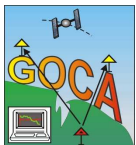
Moskau, 11.-13. November 2008



Installations - Beispiel: Vattenfall, Europe



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



Reiner Jäger

www.goca.info

CITY BUILD 2008

Moskau, 11.-13. November 2008



**GOCA-Deformations-
Analyse
=
GOCA-
Ausgleichungs-
stufe 3**

**Universität der
Bundeswehr
&
TU München**

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

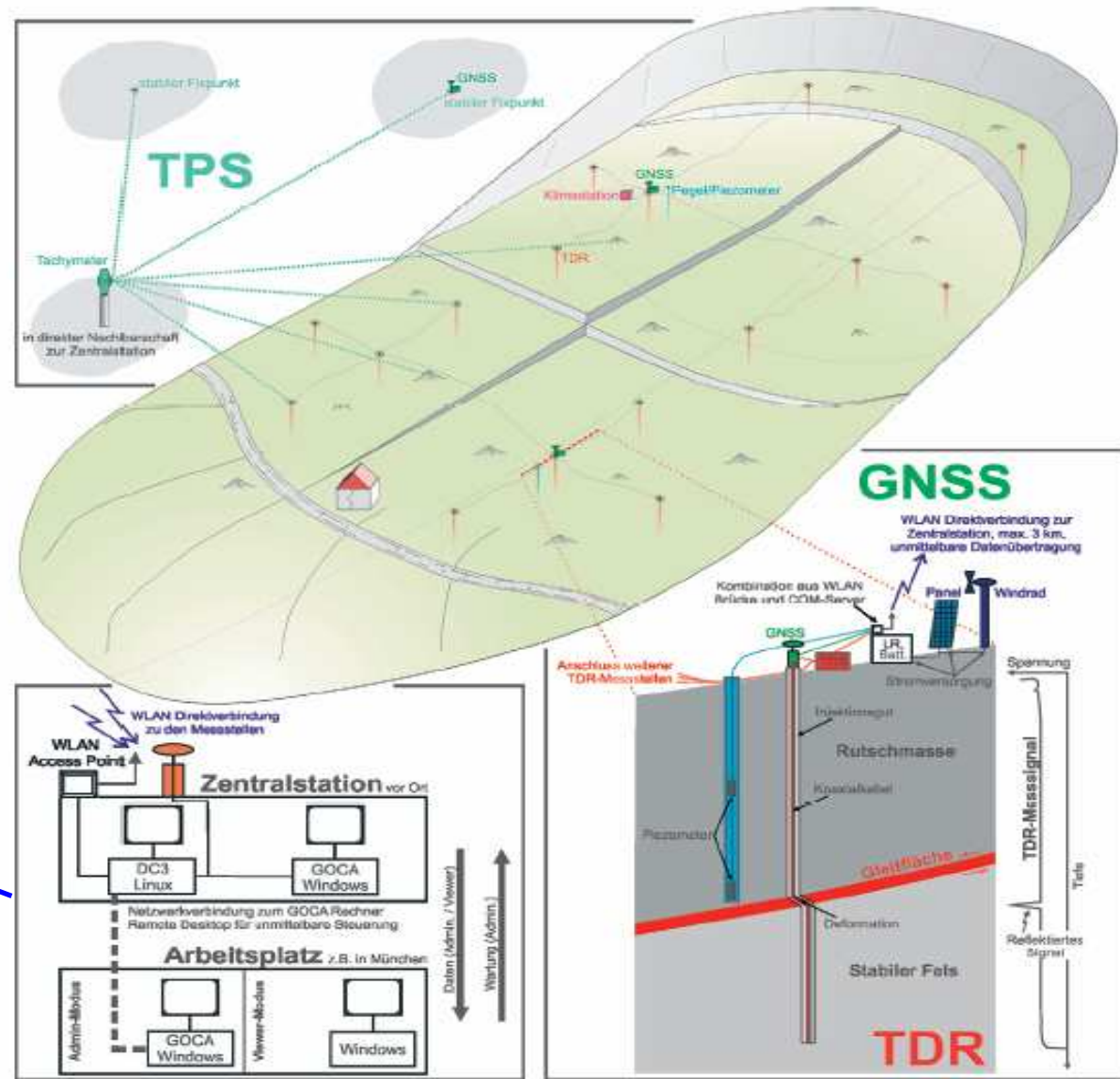


Abb. 4: Integratives Frühwarnsystem (Zeichnung: Singer und Pink)



Reiner Jäger

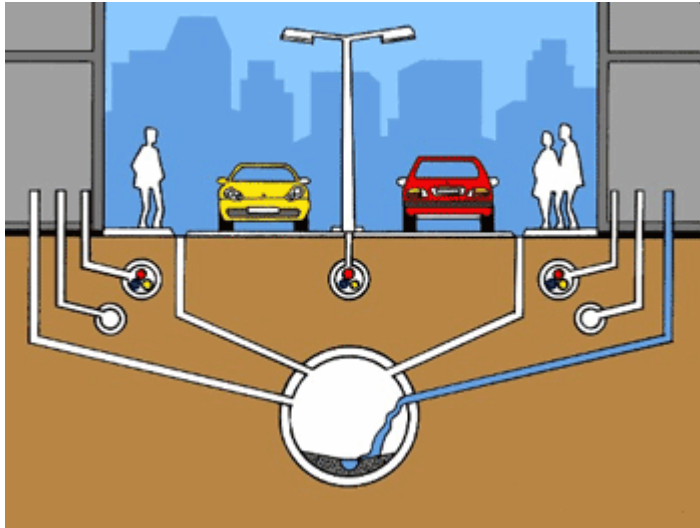
www.goca.info

CITY BUILD 2008

Moskau, 11.-13. November 2008



Aktuelle GOCA-Projekte



Untertunnelungen (GNSS/GPS,LPS)

Monitoring / Deformationsanalyse /
Vorhersage von Dächern (LPS)



Reiner Jäger

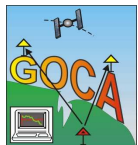
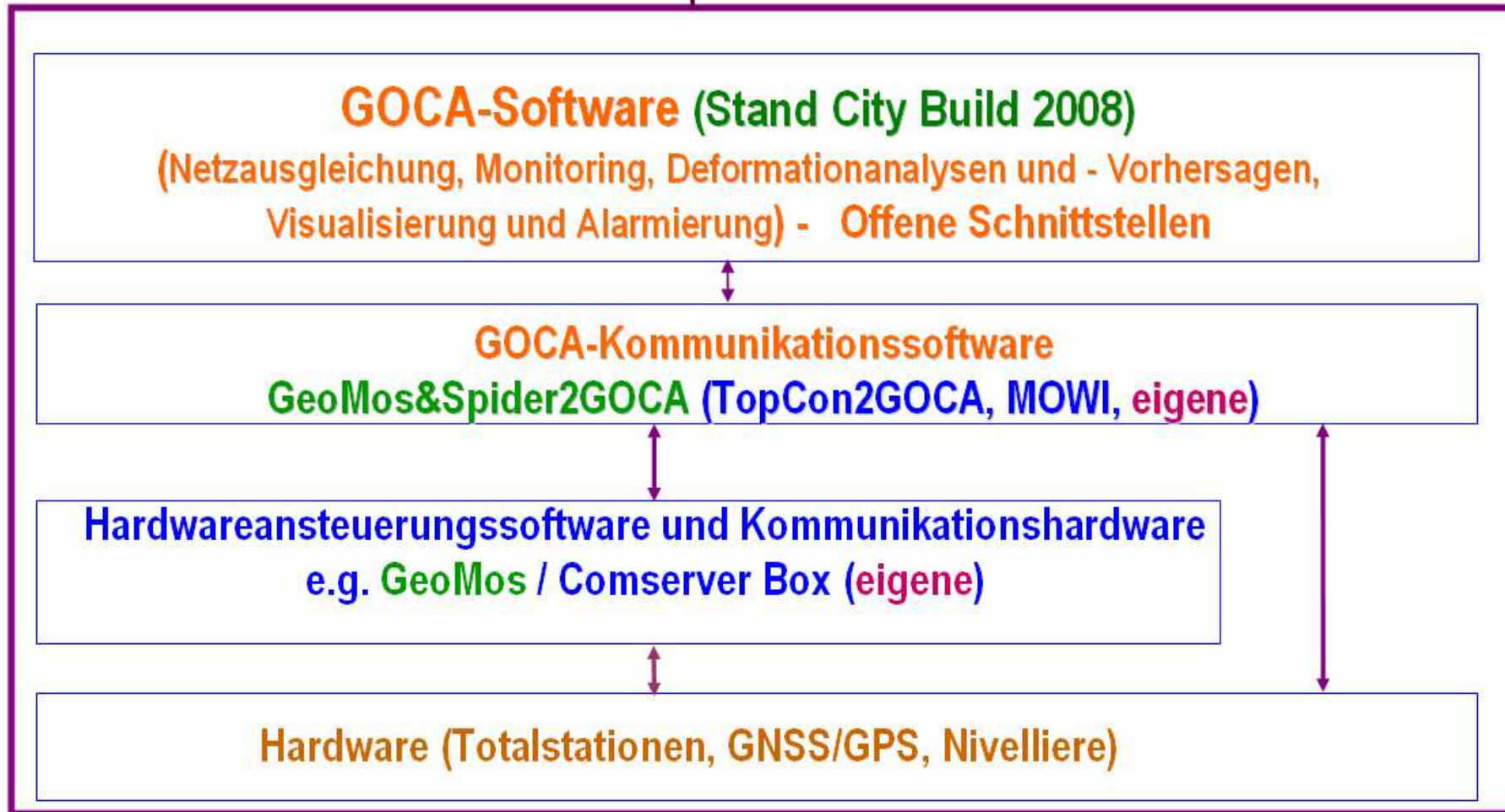
www.goca.info

CITY BUILD 2008

Moskau, 11.-13. November 2008



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



Zusammenfassung

- **GOCA-System**

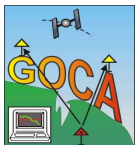
- Voll operables Online- Monitoring-System für GNSS, LPS und lokale Sensoren (LS).
- Großer Nutzerkreis (Hänge, Bergbau, Dämme, Gebäude, Naturkatastrophen, FuE ...).
- Keine Beschränkung in Anzahl und Type der GPS/GNSS-Empfänger, LPS, Nivelliere, etc.
- Keine Einschränkung im Netzdesign, z.B. GNSS-Referenzstation oder Totalstation im Objektbereich

- **GOCA-Software und GOCA_MONIKA-Software**

- Klassisches Deformationsnetz GNSS, LPS and LS (lokale Sensoren) mit allen Standards - ONLINE
- Projektbezogenes Datenmanagement (Online, Nearonline, Postprocessing)
- Permanentes Array (Online, NearOnline) oder herkömmliches Epochen-Design (Postprocessing).
- GNSS Nearonline-Processing-DLL (LGO, WaSoft, B. S. etc.) für GOCA und GOCA_MONIKA.
- Strenge Statistische Konzepte bezüglich Netzausgleichung und Deformationsanalyse.
- Fehler-Elimination durch L2- und L1-Norm - ONLINE (... und Postprocessing)
- ONLINE - Gleitender Mittelwert
- ONLINE - Verschiebungsschätzung
- ONLINE - Kalmanfilter für Verschiebungen – Geschwindigkeit - Beschleunigung
- ONLINE - Alarm Funktion (GOCA_Alert)
- Offene Input GNSS / LPS /LS Datenschnittstelle (GKA)
- Offene Output Datenschnittstelle der Objekt-Punkpositionen bzw. - Zeitreihen (FIN)

- **Verwendung der GOCA-Zeitreihen in anderer Software, z.B. FEM, System-Analyse-Modelle (Anwendung und Forschung)**

GOCA-Homepage: www.goca.info



Reiner Jäger

www.goca.info

CITY BUILD 2008

Moskau, 11.-13. November 2008

