

GPS-based Online Control and Alarm System (GOCA)

Leistungsstandards des GOCA-Systems und praktischer Einsatz am Beispiel Staumauer Kops (Illwerke, Österreich)

Irene Feldmeth¹, Reiner Jäger¹ und Rupert Zischinsky²

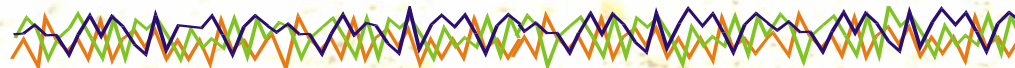
Studiengang Vermessung und Geomatik¹

Institut für Innovation und Transfer (IIT)

Fachhochschule Karlsruhe – University of Applied Sciences

Vorarlberger Illwerke AG, Österreich²

www.fh-karlsruhe.de/iit/goca

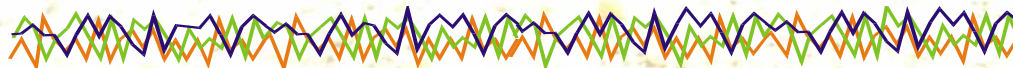


GPS-based online Control and Alarm System (GOCA) – Mittweidaer -Talsperrentag 2002

GPS-based Online Control and Alarm System (GOCA)

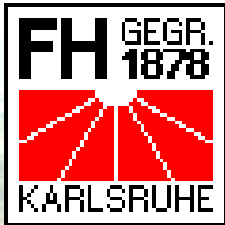
- Ø Einführung
- Ø GOCA System-Komponenten
- Ø GOCA Deformationsanalyse-Software
- Ø Alarmierung
- Ø Überwachung der Kops-Staumauer
- Ø Ausblick

GOCA



GPS-based online Control and Alarm System (GOCA) – Mittweidaer -Talsperrentag 2002

GOCA-Forschungsprojekt



Forschungsprojekt am Studiengang Vermessung und Geomatik / Institut für Innovation und Transfer (IIT),
Fachhochschule Karlsruhe – University of Applied Sciences



- **Kooperationspartner:**

GeoNav GmbH, Wunstorf



- **Externe Kooperationspartner :**

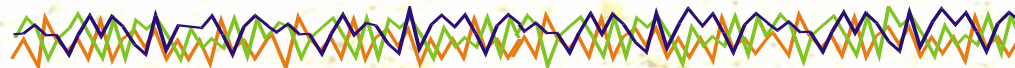
**Ingenieurgesellschaft Dr. Kast und Partner,
Ettlingen**



Vorarlberger Illwerke AG, Österreich



GOCA

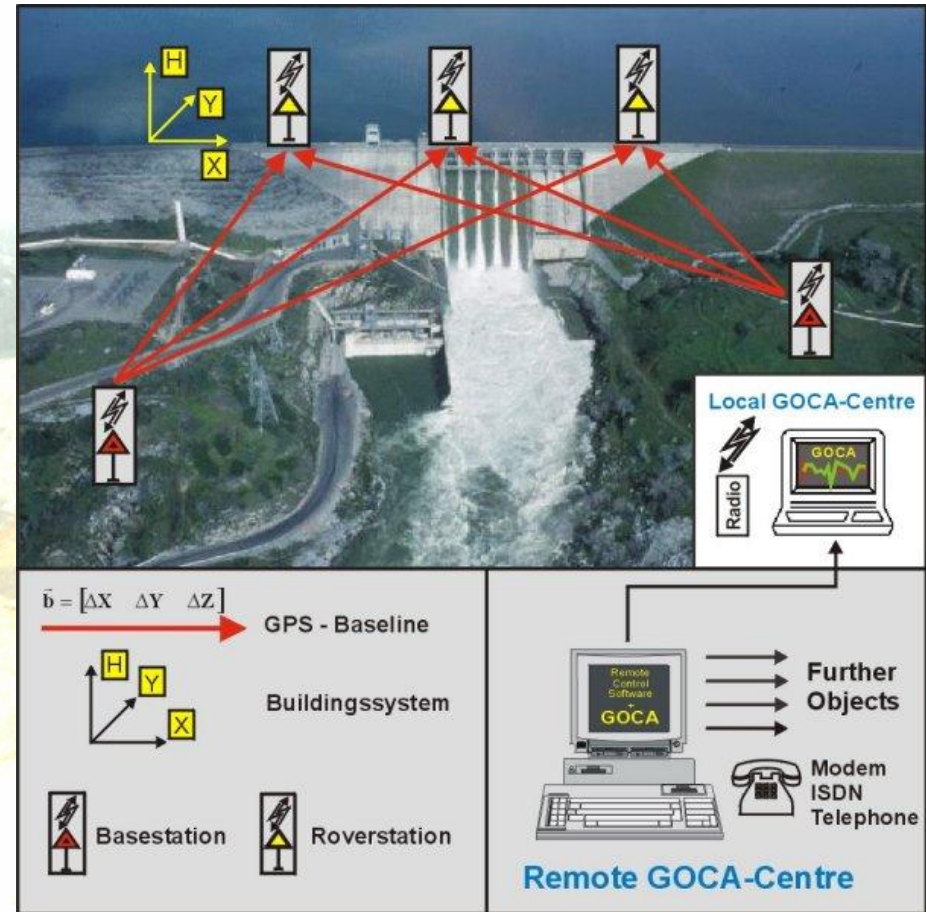


GPS-based online Control and Alarm System (GOCA) – Mittweidaer -Talsperrentag 2002

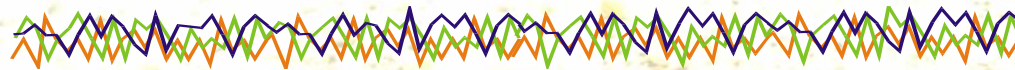
GOCA-Forschungsprojekt

Ziele des Projekts GOCA

- Online 3D- Überwachung mit Hilfe von GPS
- Online Modellierung eines klassischen Deformationsnetzes
- Online Visualisierung sowie Modellierung (Filterung, Trendschätzung) der Objektpunkt-Zeitreihen
- Automatische Alarmierung



GOCA



GPS-based online Control and Alarm System (GOCA) – Mittweidaer -Talsperrentag 2002

GOCA-Einsatzgebiete



Böschung Überwachung Tagebau

Naturkatastrophenschutz



Umweltmonitoring

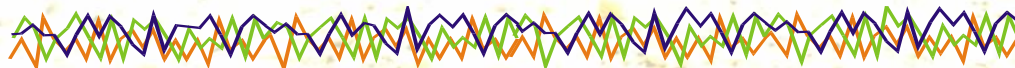


Erfassung von Gletscherbewegungen



Vulkanüberwachung

GOCA



GPS-based online Control and Alarm System (GOCA) – Mittweidaer -Talsperrentag 2002

GOCA-Einsatzgebiete

Bauwerksüberwachung

statische

und

kinetische

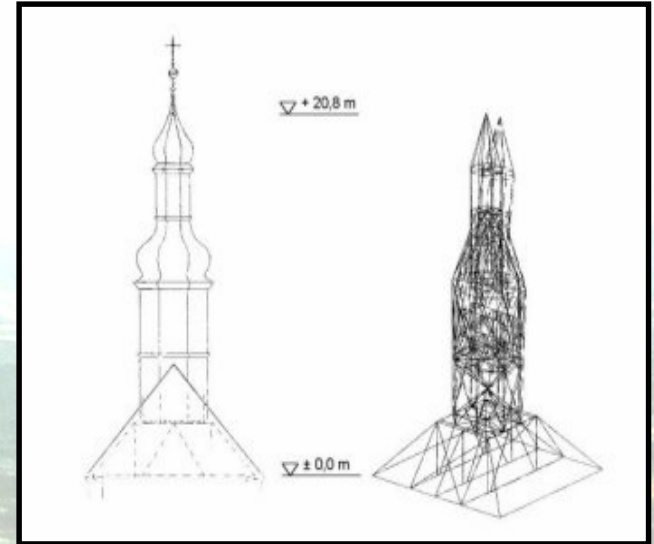
Modellbildungen



Gebäude-
Überwachung
z.B. Senkungen



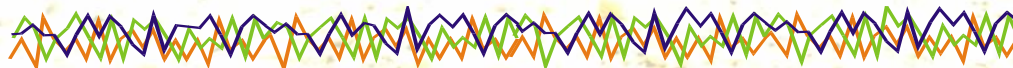
Überwachung von Talsperren



Bauwerkschwingungen



GOCA



GPS-based online Control and Alarm System (GOCA) – Mittweidaer -Talsperrentag 2002

GOCA System-Komponenten

GPS- und Kommunikationshardware:

Jede handelsübliche DGPS-Hardware, die Koordinaten- und Zeitinformation zur Verfügung stellt.

Bisher verwendete GPS-Sensoren:

- Trimble 4600LS
- Leica 200/300
- Leica 500
- GOCA-Empfänger (GeoNav GmbH, Wunstorf)

Datenübertragung zur Zentrale:

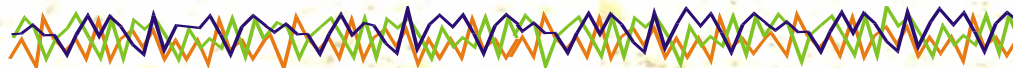
- Mittels Funkmodems oder Sandleitung

Stromversorgung:

- 12 Volt Batterien oder über Stromleitung



GOCA



GPS-based online Control and Alarm System (GOCA) – Mittweidaer -Talsperrentag 2002

GOCA System-Komponenten

Hardwaresteuerungssoftware

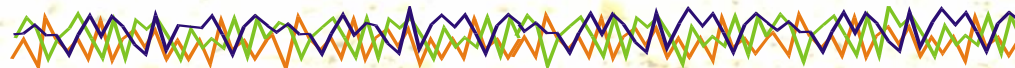
- MONITOR → GeoNav
- DC3 → Dr. Doris Bertges Vermessungstechnik

Daten-Schnittstelle zwischen Hardwaresteuerungssoftware und GOCA - Software

- Identifikation von DPGS-Basisstation und DGPS-Roversensor
- Zeitpunkt der Aufzeichnung
- Baseline-Vektor (DX DY DZ)
- Kovarianzmatrix zum Baseline-Vektor C_{xx}

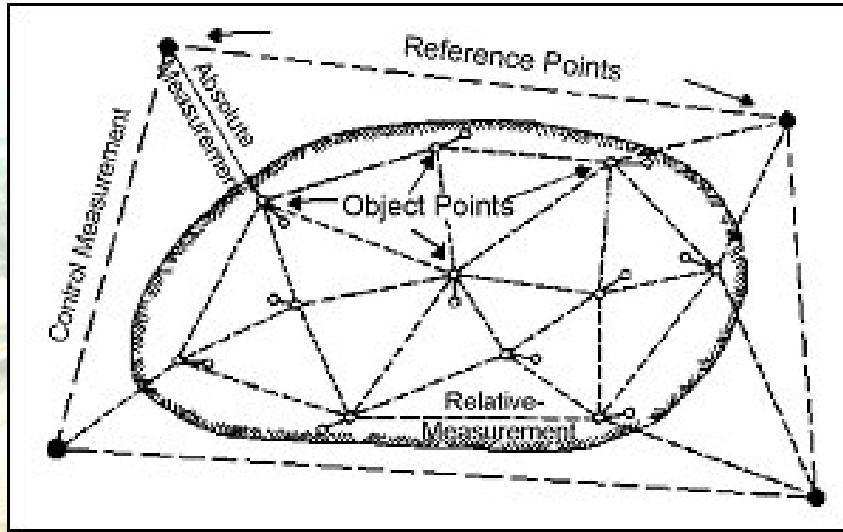
→ Die GOCA-Software ist für beliebige DGPS-Hardwaresysteme offen

GOCA



GPS-based online Control and Alarm System (GOCA) – Mittweidaer -Talsperrentag 2002

GOCA Deformationsanalyse-Konzept

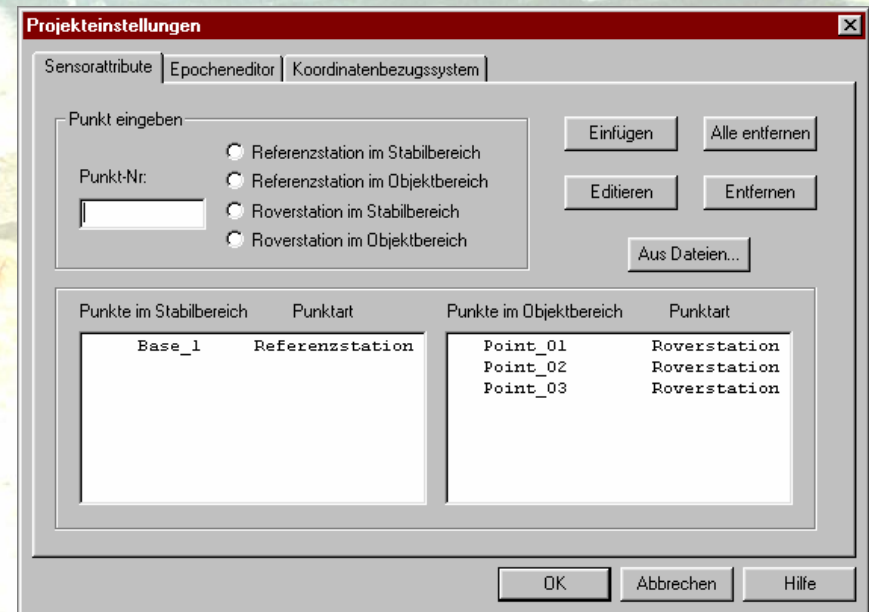


Klassische Unterteilung des Überwachungsgebietes in Stabilbereich und Objektbereich

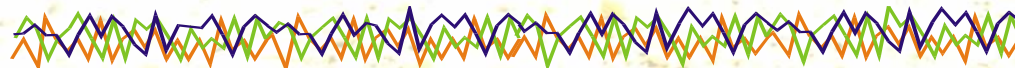
Spezifikation der Sensorattribute in der GOCA-Software

DGPS-Basisstation « DGPS-Roversensor

Stabilpunkt « Objektpunkt



GOCA

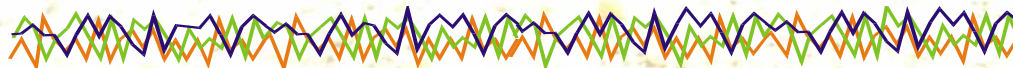


GPS-based online Control and Alarm System (GOCA) – Mittweidaer -Talsperrentag 2002

GOCA-Deformationsanalysesoftware

- Ø Verwaltung von **GOCA-Projekten** (Empfängerdaten, Benutzerkoordinatensystem, Epochen-Manager).
- Ø Bestimmung der Koordinaten der **stabilen Referenzpunkte**.
- Ø Überprüfung der **Stabilität der Referenzpunkte**.
- Ø Kontinuierliche Aufzeichnung von Objektpunkt-Zeitreihen und Visualisierung in einem **Graphikfenster**.
- Ø **Online- und Postprocessing-Filter**, wie Polynome, Splines und gleitender Mittelwert und Visualisierung.
- Ø Online-Abschätzung von Verschiebung, Geschwindigkeit und Beschleunigung basierend auf einem **Kalman-Filter**. Visualisierung der Ergebnisse.
- Ø Berechnung der **Wahrscheinlichkeit für einen Alarm** für jeden Objektpunkt basierend auf den Ergebnissen der Kalman-Filterung.

GOCA



GPS-based online Control and Alarm System (GOCA) – Mittweidaer -Talsperrentag 2002

GOCA – Projektinitialisierung

Beobachtungsgleichungen für die Ermittlung der Referenzpunktkoordinaten x_R

$$\begin{aligned}l_1 + v_1 &= \mathbf{A}_{R,1}(x^0) \cdot dx_{R,1} + \mathbf{A}_{O,1}(x^0) \cdot dx_{O,1} && + l_1(x^0) \\l_2 + v_2 &= \mathbf{A}_{R,2}(x^0) \cdot dx_{R,2} && + \mathbf{A}_{O,2}(x^0) \cdot dx_{O,2} && + l_2(x^0) \\l_3 + v_3 &= \mathbf{A}_{R,3}(x^0) \cdot dx_{R,3} && + \mathbf{A}_{O,3}(x^0) \cdot dx_{O,3} && + l_3(x^0)\end{aligned}$$

$$dx_{R,1} = dx_{R,2} = dx_{R,n}$$

\mathbf{A}_R

Designmatrix der Referenzpunkte

\mathbf{A}_O

Designmatrix der Objektpunkte

l_i

Baselinebeobachtungen

v_i

Verbesserungen

x_R, x_O

Referenz- und Objektpunktkoordinaten

x^0

Näherungskoordinaten

dx_R, dx_O

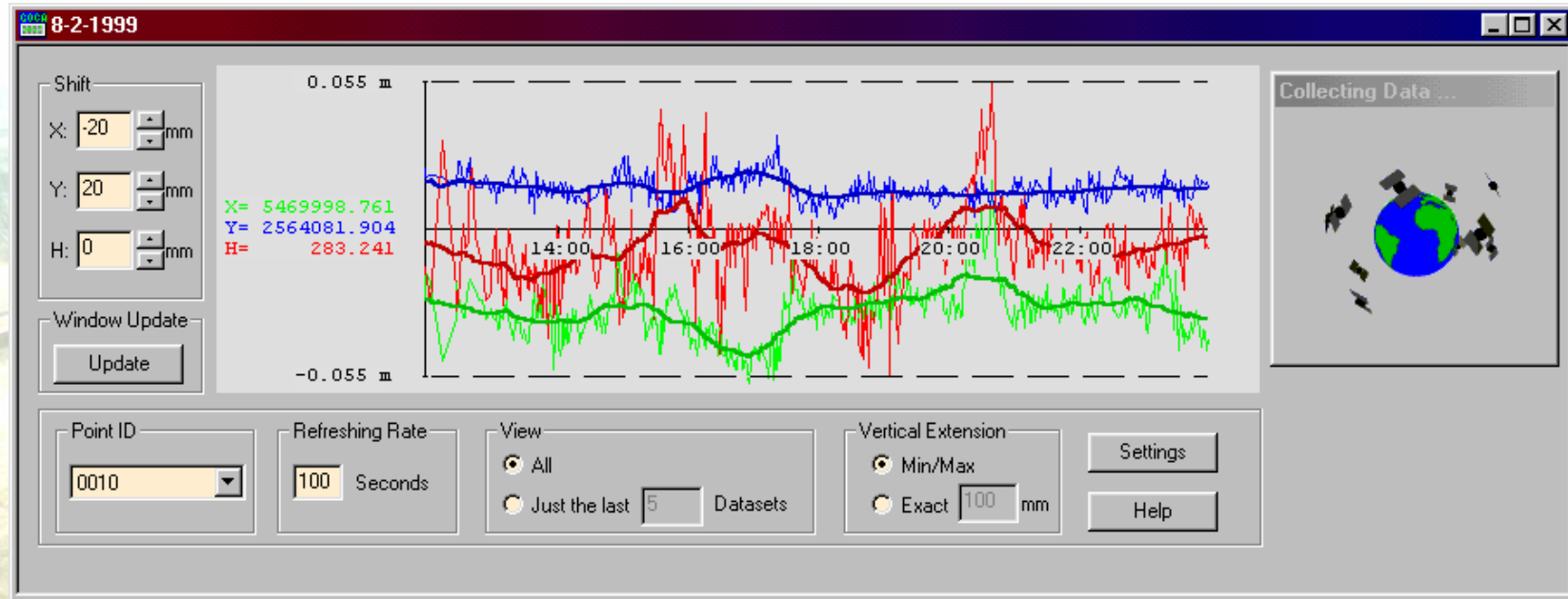
Ausgeglichene Koordinaten

GOCA



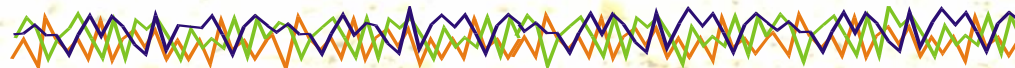
GPS-based online Control and Alarm System (GOCA) – Mittweidaer -Talsperrentag 2002

Ermittlung und Visualisierung von Objektpunktzeitreihen



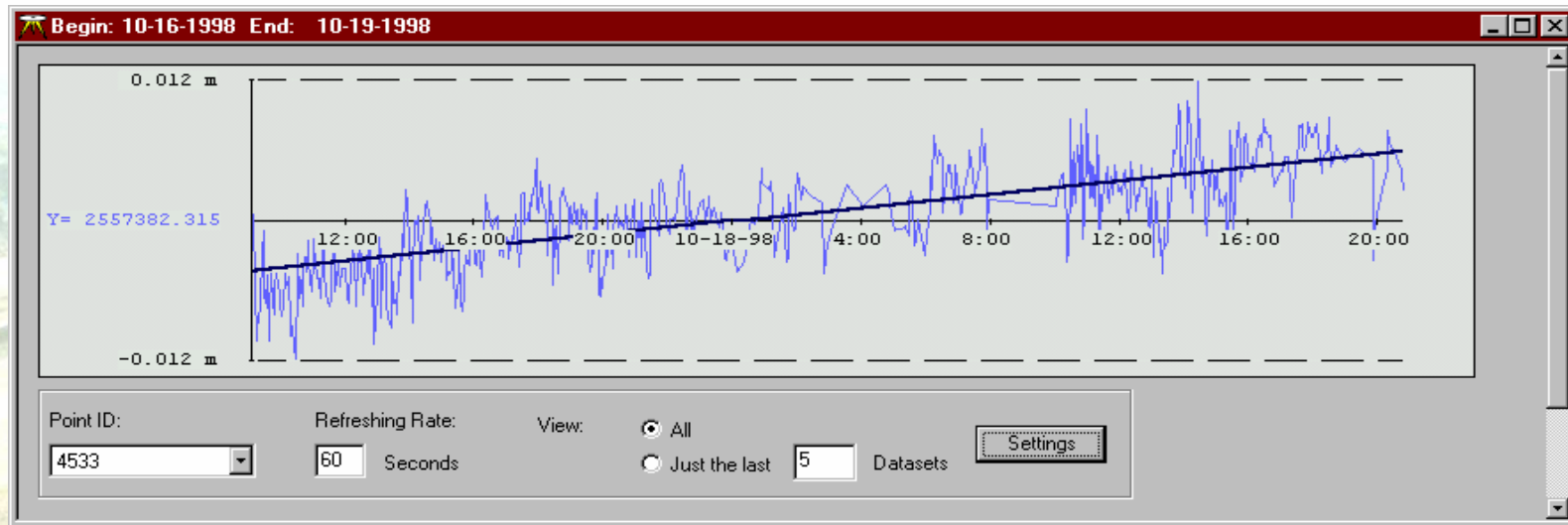
- Ermittlung der Objektpunktkoordinaten basierend auf einer Kleinste-Quadrate-Ausgleichung mit den Beobachtungen eines vorgegebenen Intervalls
- Visualisierung der Objektpunktzeitreihen in einem Graphikfenster
- Auswahl von Sensoren/Aktualisierungsrate. Zoomfunktion
- Ein- und Ausblenden von Koordinatenkomponenten

GOCA



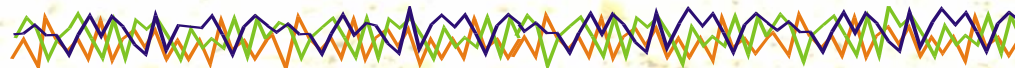
GPS-based online Control and Alarm System (GOCA) – Mittweidaer -Talsperrentag 2002

Basismodule für eine geometrische Deformationsanalyse der Objektpunktzeitreihen



- **Online** während der Datenaufzeichnung
 - Gleitender Mittelwert basierend auf:
 - L2-Norm-Ausgleichung (Kleinste Quadrate Schätzung)
 - Robuste L1-Norm-Ausgleichung
- **Postprocessed** für eine ausgewählte Epoche und einen ausgewählten Objektpunkt
 - Gleitender Mittelwert, Polynome oder Splines basierend auf:
 - L2-Norm-Ausgleichung (Kleinste Quadrate Schätzung)
 - Robuste L1-Norm-Ausgleichung

GOCA



GPS-based online Control and Alarm System (GOCA) – Mittweidaer -Talsperrentag 2002

GOCA – Überprüfung des Referenzpunktfeldes

Test zur Aufdeckung signifikanter Deformationen \tilde{N}_R der Referenzpunkte

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

b

Dimension des Netzes, $b=2$: Lage, $b=1$: Hoehe

$\nabla_{\hat{X}_R}$

geschätzte Deformation im Referenzpunkt x_R

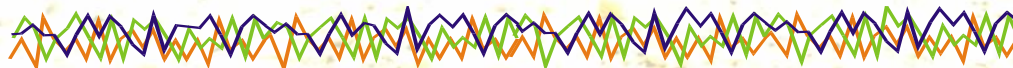
$$\mathbf{Q}_{\nabla_{\hat{X}_R}} = (\mathbf{A}_R^T \mathbf{P} \mathbf{Q}_v \mathbf{P} \mathbf{A}_R)^{-1}$$

Kofaktor-Matrix der Deformation

$\hat{\sigma}^2$

reduzierter a posteriori Varianzfaktor

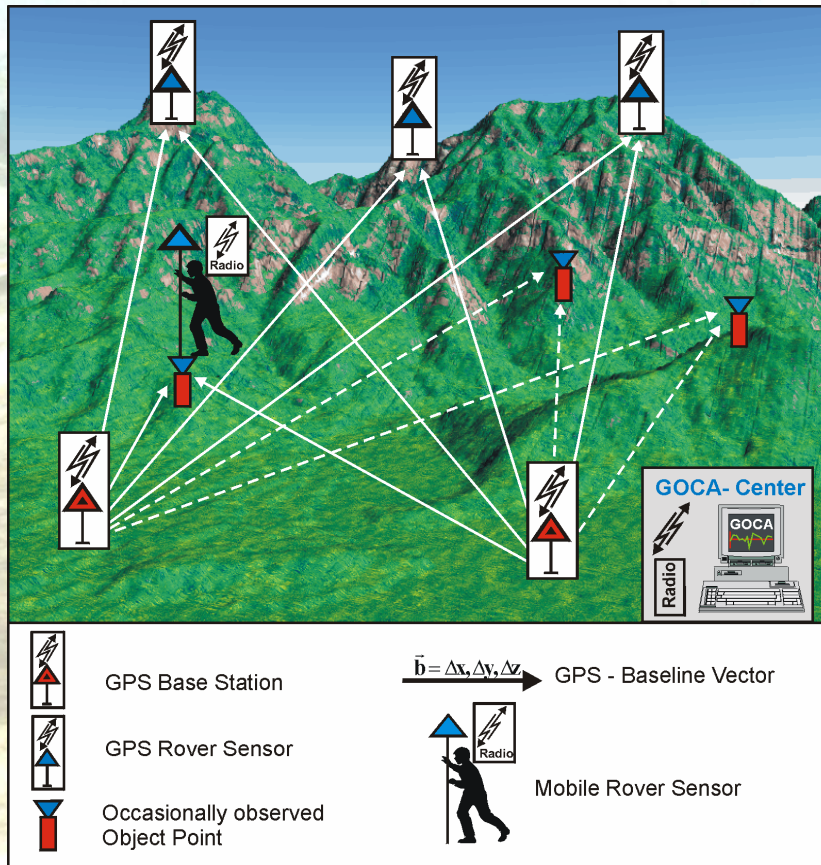
GOCA



GPS-based online Control and Alarm System (GOCA) – Mittweidaer -Talsperrentag 2002

GOCA – Hybrides Systemdesign

Kurzzeitige Besetzung ausgewählter Referenz- und/oder Objektpunkte



a) Besetzung eines Objektpunktes

Ⓜ Fortlaufende Ermittlung, Speicherung und Visualisierung der entsprechenden Objektpunktzeitreihen für die Dauer der Besetzung

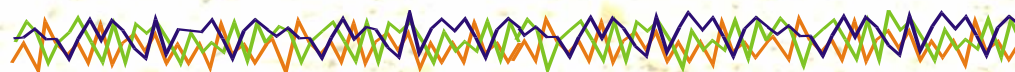
b) Besetzung eines Referenzpunktes

Ⓜ Die Baselinedaten werden aufgezeichnet und können für die Durchführung eines Stabilpunkttestes verwendet werden

Vorteile des Verfahrens:

- Spart Hardwarekosten
- Ermöglicht die Miteinbeziehung von Punkten auf denen eine Permanentbesetzung nicht möglich ist

GOCA



GPS-based online Control and Alarm System (GOCA) – Mittweidaer -Talsperrentag 2002

Kalman-Filter Modul in GOCA

Berechnungsstrategien: **Kleinste-Quadrate Ausgleichung**
Robuste Ausgleichung über L1-Norm

Funktionales Modell:

$$\begin{bmatrix} u_o(k+1) \\ \dot{u}_o(k+1) \\ \ddot{u}_o(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & [\Delta t] & \left[\frac{1}{2}\Delta t^2\right] \\ 0 & 1 & [\Delta t] \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} u_o(k) \\ \dot{u}_o(k) \\ \ddot{u}_o(k) \end{bmatrix} \begin{array}{l} \rightarrow \text{Position} \\ \rightarrow \text{Geschwindigkeit} \\ \rightarrow \text{Beschleunigung} \end{array}$$

Beobachtungen: **Zeitreihen der Objektpunkte $x_o(t)$**

Stochastisches Modell:

$$C_X(i) = \begin{bmatrix} C_X(i)_{i-1} & 0 \\ 0 & C_l(i) \end{bmatrix} \begin{array}{l} \rightarrow \text{Prädiktion} \\ \rightarrow \text{Beobachtung} \end{array}$$

Zustandsvektor:

$$X(i) = [x \quad y \quad \dot{x} \quad \dot{y} \quad \ddot{x} \quad \ddot{y} \quad X_o \quad Y_o]^T$$



Kalman-Filter Modul von GOCA - Einstellungen für den automatischen Alarm -

Vorgabe kritischer Werte für Verschiebung, Geschwindigkeit und Beschleunigung von jedem Objektpunkt

	Lage	Wahrscheinlichkeit	Höhe	Wahrscheinlichkeit
Verschiebung [m]	0.01	95 %	0.02	95 %
Geschwindigkeit [m/d]	0.01	95 %	0.02	95 %
Beschleunigung [m/d²]	0.01	95 %	0.02	95 %

Auswahl des Objektpunktes für den die kritischen Werte gelten

Einstellung der kritischen Werte von jedem Objektpunkt für

Verschiebung

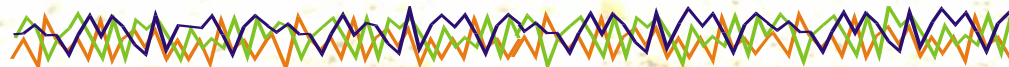
Geschwindigkeit

Beschleunigung

für Lage- und Höhenkomponente

Angabe der Alarmdatei

GOCA



Kalman-Filter Modul von GOCA

- Einstellungen für den automatischen Alarm -

Auswahl des zu beobachtenden Objektpunkts

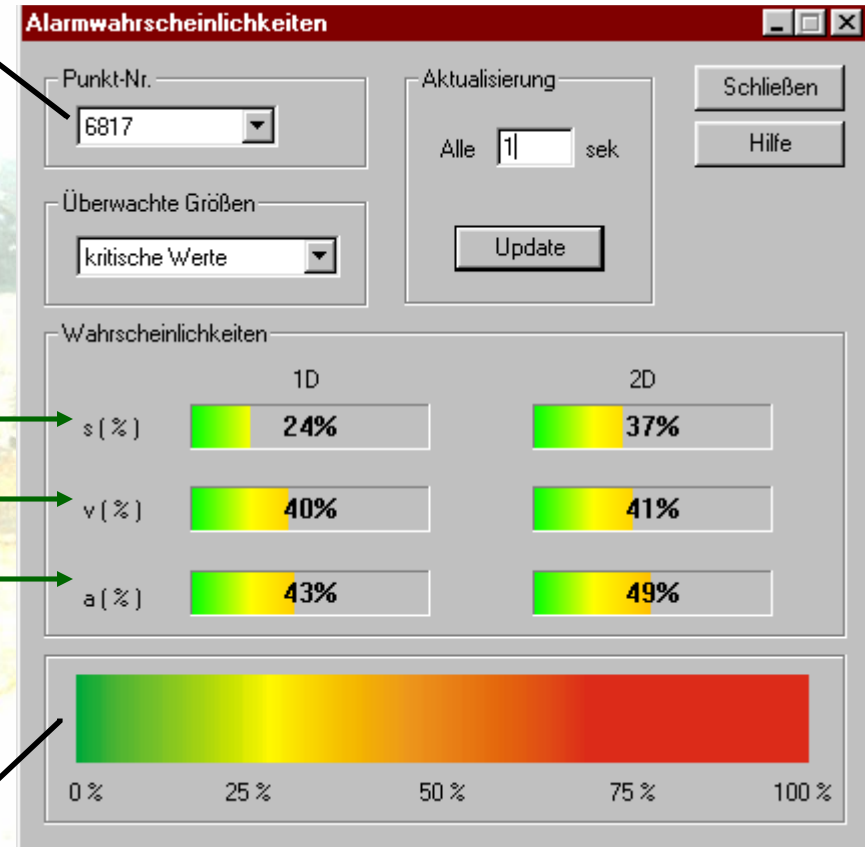
Wahrscheinlichkeit für einen Alarm für Lage- und Höhe in den Komponenten:

Verschiebung

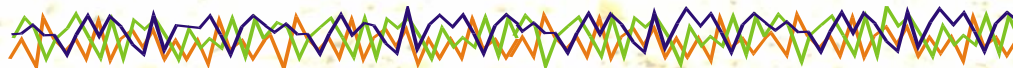
Geschwindigkeit

Beschleunigung

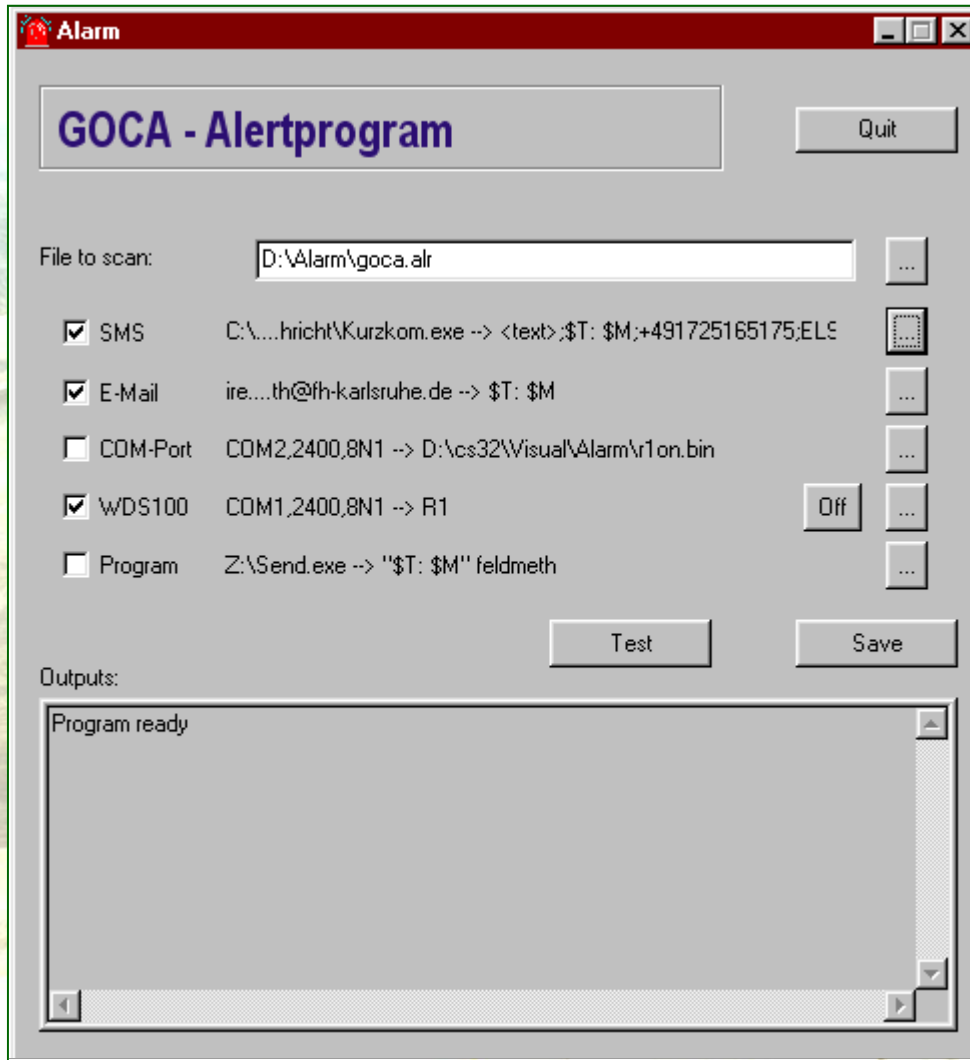
Wahrscheinlichkeit für einen Alarm reicht von grün (0%) bis rot (100%)



GOCA



Alarmierung



- Meldung per SMS an ein mobiles Telefon
- E-Mail an einen Empfänger
- Sequenz an einen seriellen Port ausgeben
- Steuerung eine Relais-Platine
- Starten eines beliebigen externen Programms

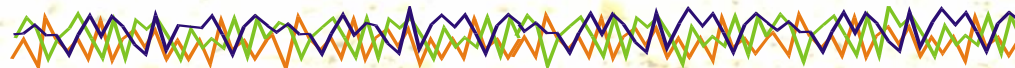
GOCA

GPS-based online Control and Alarm System (GOCA) – Mittweidaer -Talsperrentag 2002

Überwachung der Kops-Staumauer, Illwerke, Österreich - Das Bauwerk -



GOCA



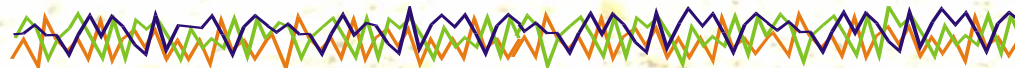
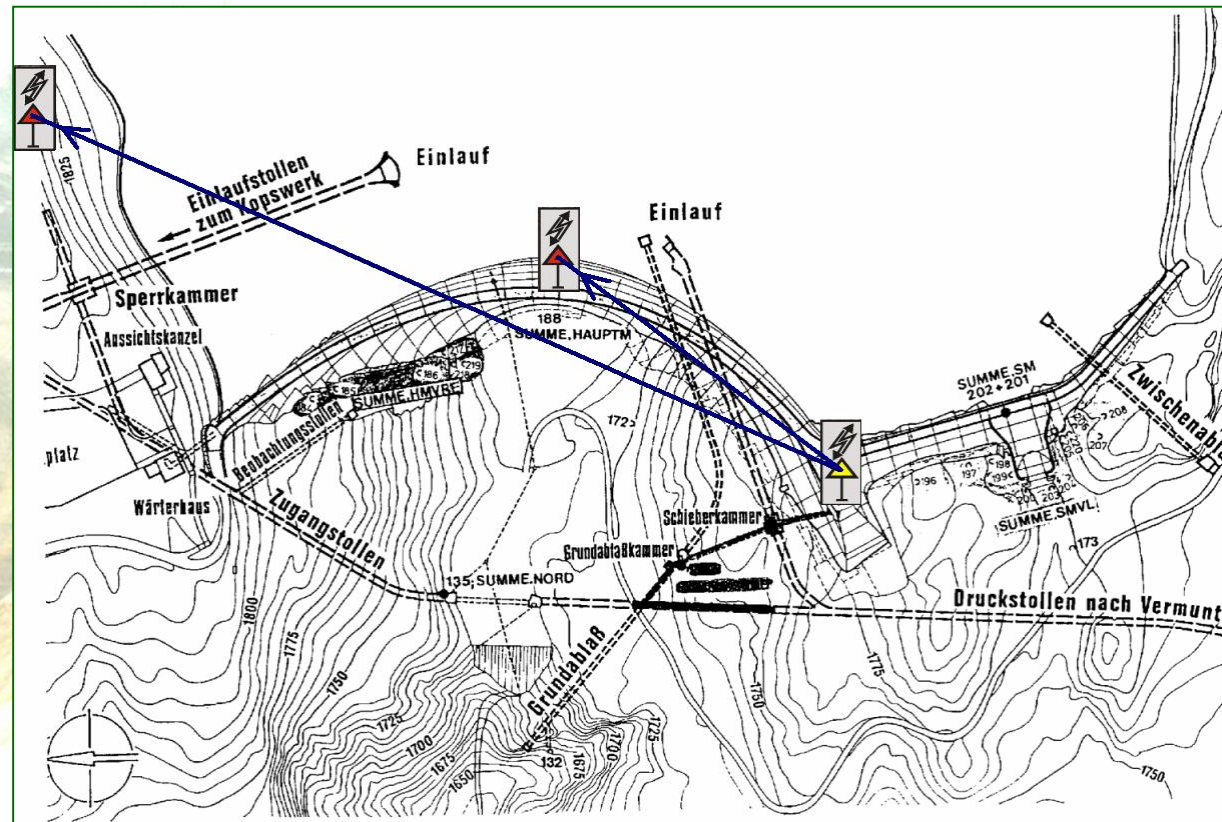
GPS-based online Control and Alarm System (GOCA) – Mittweidaer -Talsperrentag 2002

Überwachung der Kops-Staumauer, Illwerke, Österreich - Das Bauwerk -

Lageplan Kops-Staumauer mit GPS-Beobachtungsdesign

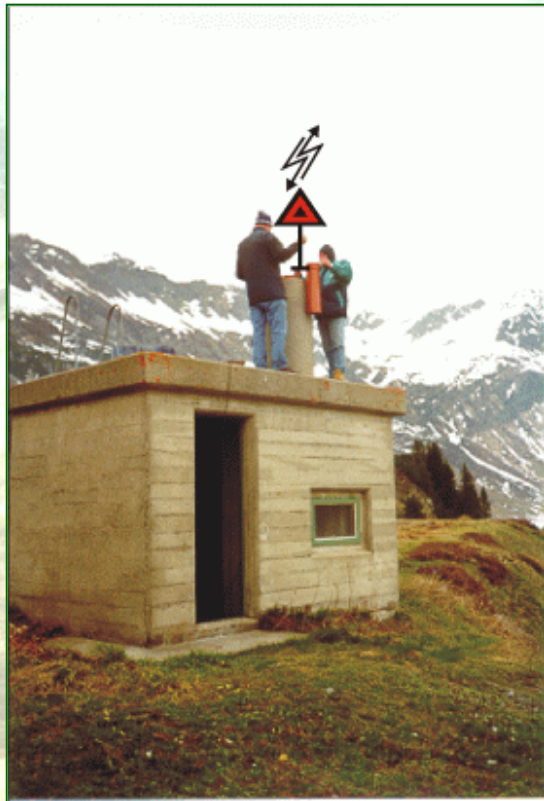
Zwei Objektpunkte:
in Mauermitte (GPS-Rover) und im künstlichen Widerlager (GPS-Basisstation).

Stabilpunkt:
(Rover) links auf dem Betriebsbunker.



GPS-based online Control and Alarm System (GOCA) – Mittweidaer -Talsperrentag 2002

Überwachung der Kops-Staumauer, Illwerke, Österreich - GOCA-Installation -

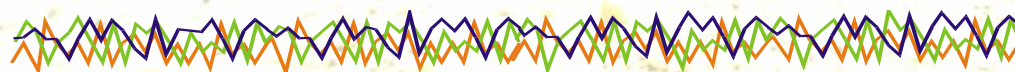


Installation eines
GPS-Rovers als
stabiler Referenzpunkt



Rot: GPS-Rover als **Objektpunkt-1**
im Bereich der Mauermittle
Gelb: GPS-Referenzstation als **Objektpunkt-2**
im künstlichen Widerlager

GOCA



GPS-based online Control and Alarm System (GOCA) – Mittweidaer -Talsperrentag 2002

Überwachung der Kops-Staumauer, Illwerke, Österreich - GOCA-Installation -

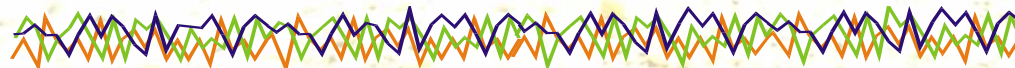


Objektpunkt im Bereich des künstlichen Widerlagers, GPS-Referenzstation

Trimble 4600



GOCA



GPS-based online Control and Alarm System (GOCA) – Mittweidaer -Talsperrentag 2002

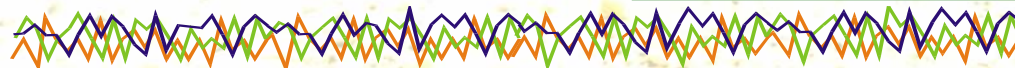
Überwachung der Kops-Staumauer, Illwerke, Österreich - GOCA-Installation -



Referenzpunkt des
Deformationsnetzes,
GPS-Rover
GOCA-Empfänger



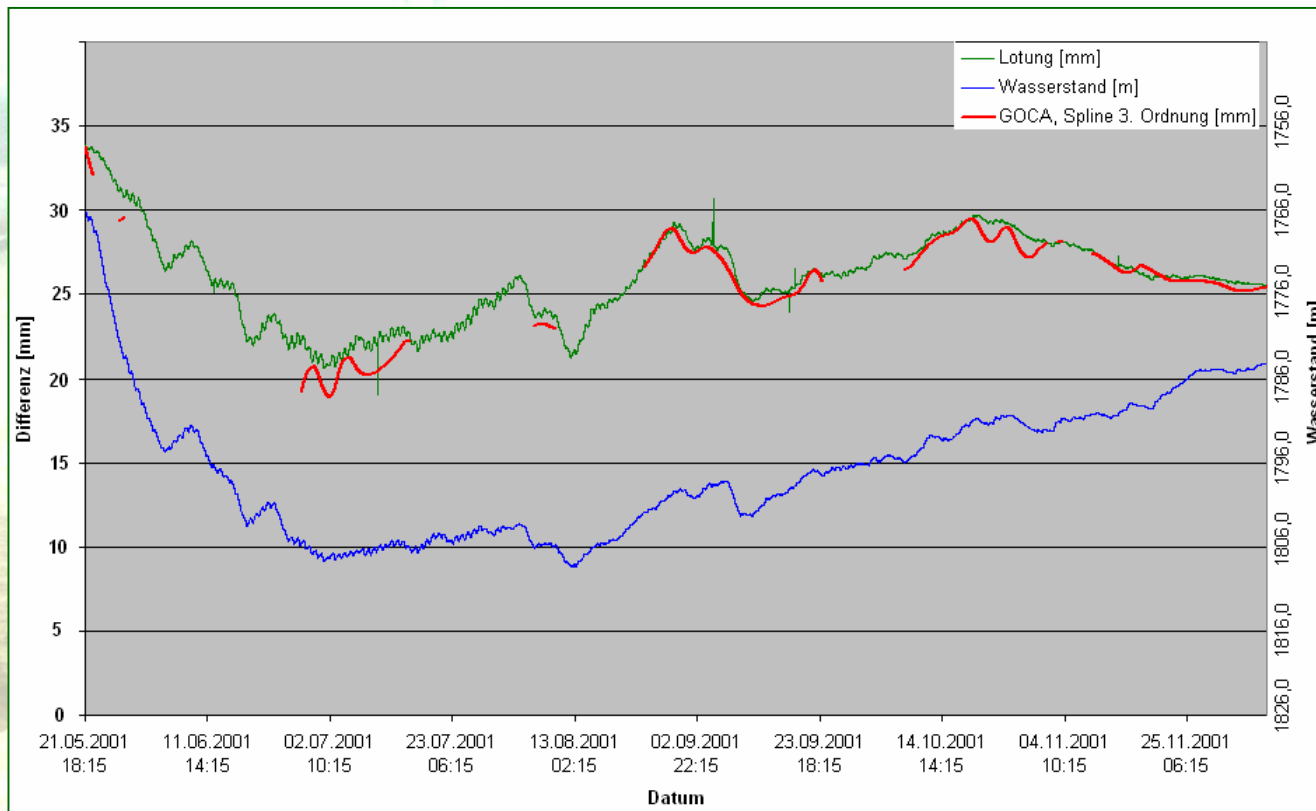
GOCA



GPS-based online Control and Alarm System (GOCA) – Mittweidaer -Talsperrentag 2002

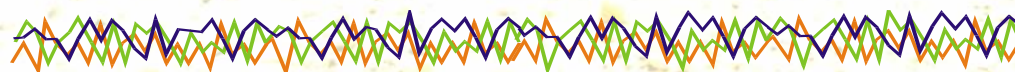
Überwachung der Kops-Staumauer, Illwerke, Österreich

- Auswertung der Messungen -



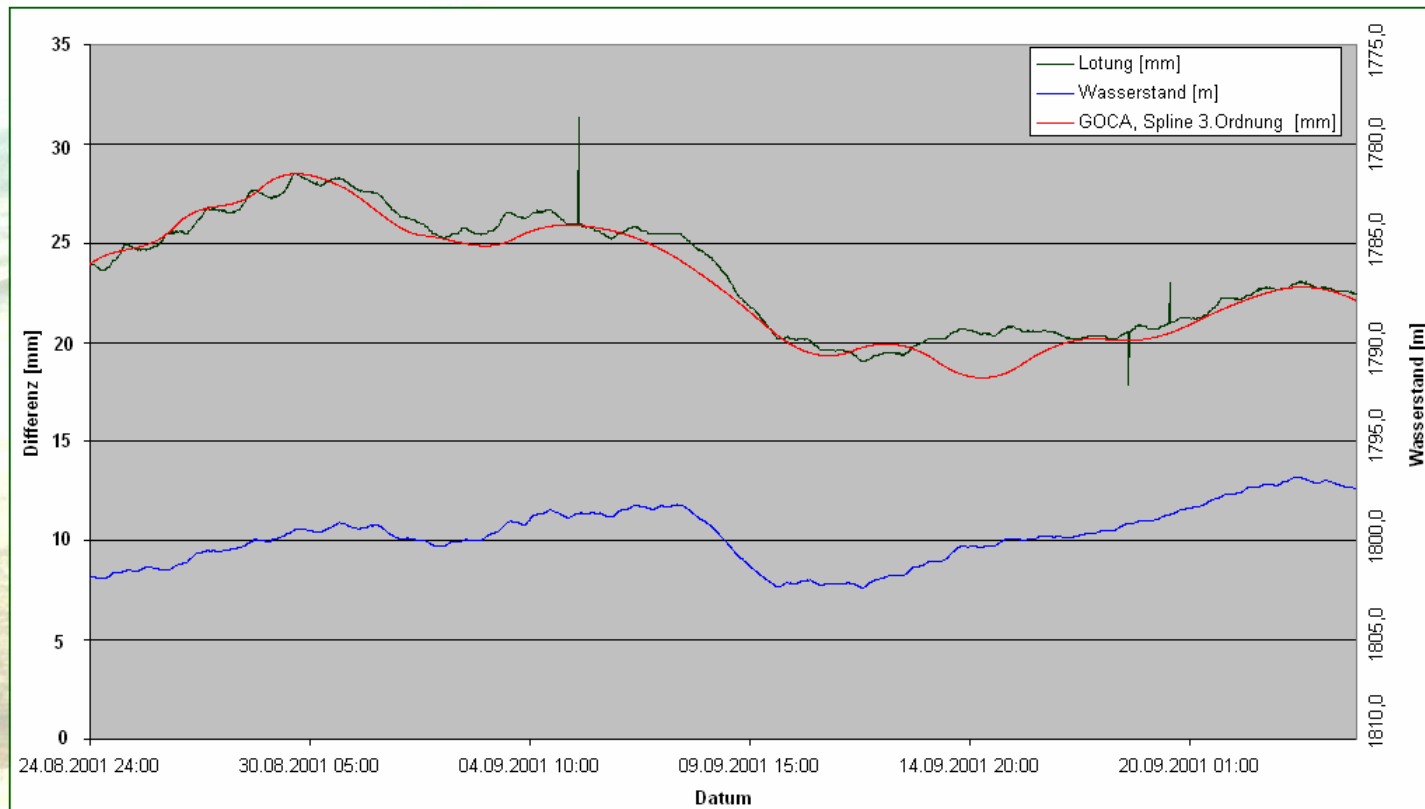
Gegenüberstellung der klassischen Lotungsmessungen und der GOCA-Spline-Auswertung (DGPS-Monitoring).

Bereich der Mauermitte, Zeitraum 21.05.01 - 9.12.01



GPS-based online Control and Alarm System (GOCA) – Mittweidaer -Talsperrentag 2002

Überwachung der Kops-Staumauer, Illwerke, Österreich - Auswertung der Messungen -



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

Bereich der Mauermitte, Zeitraum 24.08.01 - 24.09.01



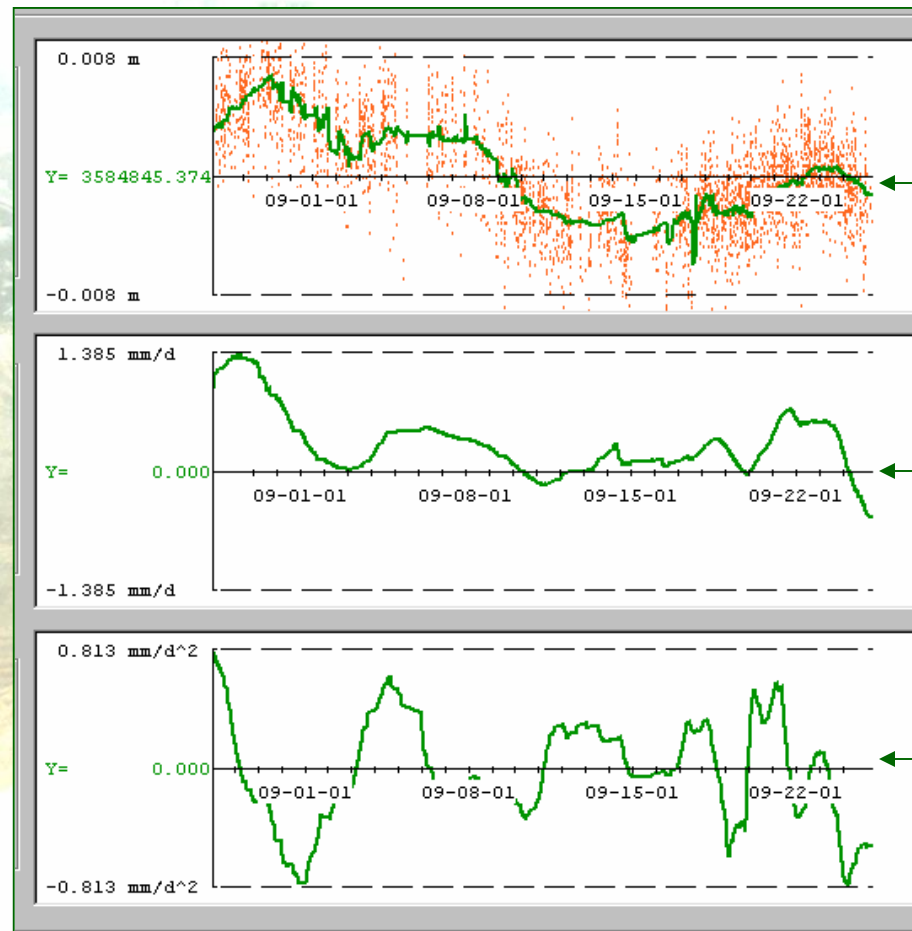
GPS-based online Control and Alarm System (GOCA) – Mittweidaer -Talsperrentag 2002

Überwachung der Kops-Staumauer, Illwerke, Österreich

- Auswertung der Messungen -

Aus dem Kalman-Filter Modell resultierende Verschiebungs-, Geschwindigkeits- und Beschleunigungszeitreihen.

Zeitraum 28. August bis 24. September 2001.



Verschiebung

Geschwindigkeit

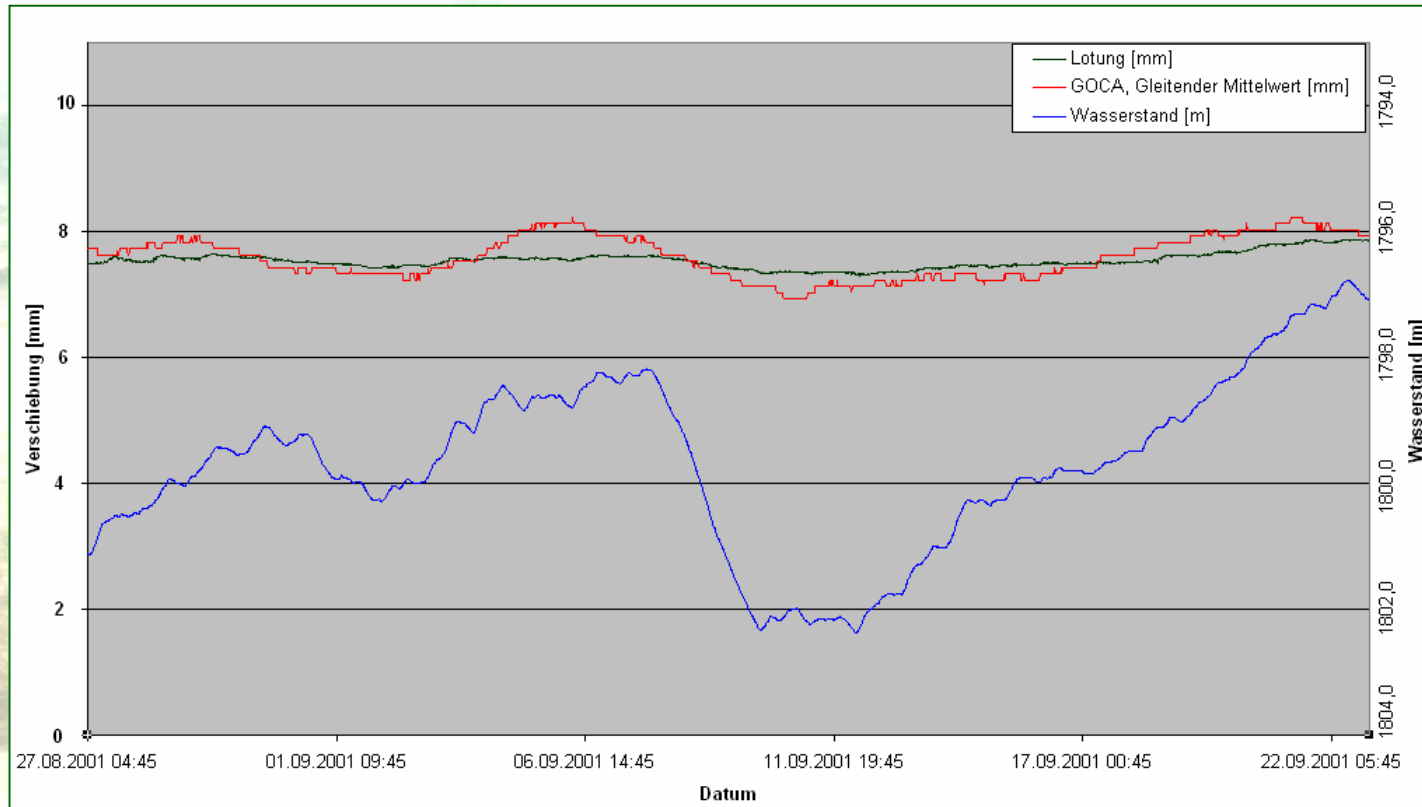
Beschleunigung

GOCA

GPS-based online Control and Alarm System (GOCA) – Mittweidaer -Talsperrentag 2002

Überwachung der Kops-Staumauer, Illwerke, Österreich

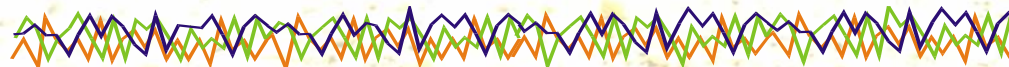
- Auswertung der Messungen -



**Gegenüberstellung der Lotungsmessungen und GOCA-Auswertung.
Objektpunkt im künstlichen Widerlager.**

Zeitraum 27.08.01 - 22.09.01

GOCA

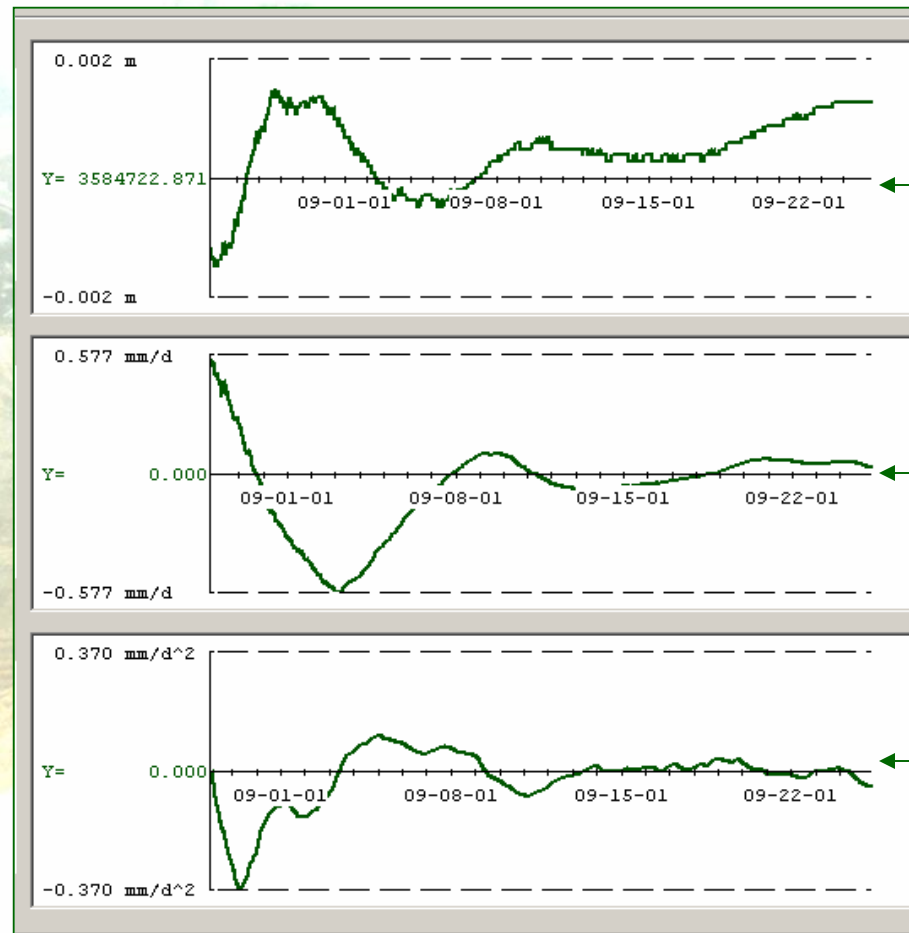


GPS-based online Control and Alarm System (GOCA) – Mittweidaer -Talsperrentag 2002

Überwachung der Kops-Staumauer, Illwerke, Österreich - Auswertung der Messungen -

Aus dem Kalman-Filter Modell resultierende Verschiebungs-, Geschwindigkeits- und Beschleunigungszeitreihen.

Zeitraum 28. August bis 25. September 2001



Verschiebung

Geschwindigkeit

Beschleunigung

GOCA

GPS-based online Control and Alarm System (GOCA) – Mittweidaer -Talsperrentag 2002

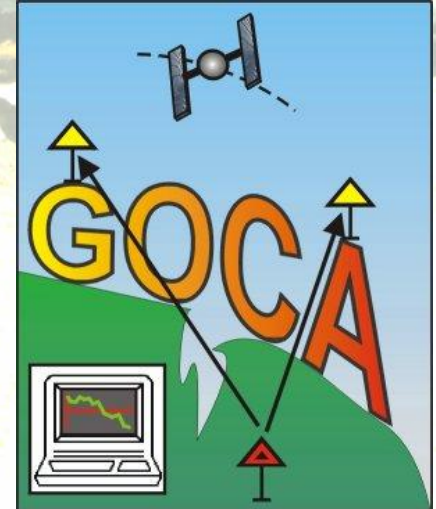
Ausblick

Weiterentwicklungen bei GOCA Software und GOCA- Sensorik

- Robustes L1-Norm Kalmanfilter (zusätzlich zum L2-Norm-Kalmanfilter)
Verschiebung, Geschwindigkeit, Beschleunigung zur Alarmierung
- Durchgängige Genauigkeitsaussagen durch Varianzkomponenten-Schätzung. Visualisierung von Fehlerbändern bzw. Konfidenzintervallen bei Graphiken
- Schnellere L1/L2-Norm Algorithmik für höherfrequente Deformationen & Schwingungen
- Integration von Totalstationssensorik

Weiterentwicklungen bei Zeitreihen-Analyse

- Übergang auf Systemanalyse - Modelle in Anwendung + Forschung



GPS-based online Control and Alarm System (GOCA) – Mittweidaer -Talsperrentag 2002

Projektleitung und Vertrieb

Projektleitung

Fachhochschule Karlsruhe
Hochschule für Technik



Studiengang Vermessung und Geomatik
Institut für Innovation und Transfer (IIT)

Prof. Dr. Reiner Jäger (Sprecher)
Dipl. Ing. (FH) Irene Feldmeth (wiss.
Mitarbeiterin)

Moltkestr. 30; D-76133 Karlsruhe
Tel.: +49 (0)721 / 925-2620; -2590
Fax: +49 (0)721 / 925-2591
Email: reiner.jaeger@fh-karlsruhe.de
irene.feldmeth@fh-karlsruhe.de

Kooperationspartner

Hardware und Vertrieb



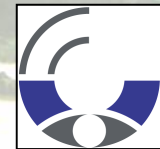
GeoNav GmbH

An der Feldmark 16; D-31515 Wunstdorf
Tel.: +49 (0)5031 / 9551-0
Fax: +49 (0)721 / 9551-11
Email: info@geonav.de

Projektpartner - Bereich Geotechnik

Ingenieurgemeinschaft für Umwelt- und
Geotechnik

Dr.-Ing. Karl Kast
Erlersstr. 21; D-76275 Ettlingen
Tel.: +49(0)7243 / 39223
Fax: +49(0)7243 / 39224
Email: karl.kast@t-online.de



GOCA-Homepage: <http://www.fh-karlsruhe.de/iit/goca/>

GOCA



GPS-based online Control and Alarm System (GOCA) – Mittweidaer -Talsperrentag 2002