

Permanente Überwachung von Bauwerken mit hybriden Messsystemen

von

M. Bäumker und H.-P. Fitzen
FH Bochum

1 Einleitung

Zur Überwachung von sicherheitskritischen Bauwerken, wie z.B. Staumauern, werden zunehmend vollautomatische Messverfahren eingesetzt. Beispielfhaft seien hier die Lote und Neigungsmesser genannt, mit denen die Verformung eines Bauwerks erfasst wird. Für eine detaillierte Deformationsanalyse sind auch die wirkenden äußeren Einflüsse und Kräfte zu messen. Hierzu werden u.a. Kraftmesser, Dehnungsmessstreifen, Temperatursensoren und Sensoren zur Messung von Pegelständen eingesetzt. Die Datenerfassung erfolgt i.d.R. vollautomatisch und liefert diese in digitaler Form quasi online an einen Zentralrechner weiter, wo bereits eine erste Analyse und grafische Auswertung stattfindet.

Neben diesen klassischen Sensoren, die speziell zur Überwachung von Bauwerken eingesetzt werden, bietet sich seit einigen Jahren das GPS als echtzeitfähiges Verfahren an. Um die hohen Genauigkeitsanforderungen von 1 mm und besser zu erfüllen, sind jedoch spezielle Maßnahmen zur Ausschaltung von Mehrwegeeffekten und Antennenfehlern notwendig. Neben diesen Nachteilen verhindern aber oft auch die Kosten den permanenten Einsatz solcher GPS-Messsysteme an mehreren Objektpunkten gleichzeitig.

Dass diese Nachteile des GPS nicht zwingend zum Ausschluss des GPS-Messverfahrens führen müssen, zeigt das an der FH Bochum entwickelte GPS-Messsystem SMMS, das u.a. seit mehreren Jahren (Juli 1998) zur permanenten Überwachung verschiedener Objektpunkte der Staumauer an der Edertalsperre installiert wurde. Eingesetzt werden bei diesem Verfahren kostengünstige Einfrequenzempfänger, deren Messdaten nach einem speziellen Algorithmus, der die o.a. Nachteile effektiv reduziert, in Echtzeit ausgewertet und direkt dem Talsperreninformationssystem zugeführt werden. Das GPS-Messsystem sowie und dessen Ergebnisse werden nachfolgend beschrieben.

2 Das Real-Time-GPS-Messsystem SMMS (Slow Motion Measurementsystem)

Um das Vandalismusrisiko gering zu halten, können an exponierten Orten, wie z.B. auf der Staumauer der Edertalsperre, nur kostengünstige GPS-Empfänger und -Komponenten eingesetzt werden. Aus diesem Grunde scheiden GPS-RTK-Systeme, die auf der Basis von teuren Zweifrequenzempfängern arbeiten, von vornherein aus. Aus diesem Grunde startete 1995 an der FH Bochum die Entwicklung eines Real-Time-GPS-Messsystems zur permanenten hochgenauen Überwachung von Gebäuden, Staumauern oder ähnlichen Objekten mit kostengünstigen Einfrequenzempfängern. Als besonders geeignet stellten sich bei den Untersuchungen die 8-Kanal-Einfrequenzempfänger ONCORE von Motorola mit Standardantenne heraus. Die Nachteile des höheren Messrauschen und die längere Initialisierungszeit zur Lösung der Mehrdeutigkeiten gegenüber den RTK-Systemen lässt sich durch einen speziellen semi-kinematischen Messmodus (s. Abb. 1) kompensieren, der davon ausgeht, dass die Bewegungen oder Verformungen der zu überwachenden Objekte < 10 cm/min bleiben.

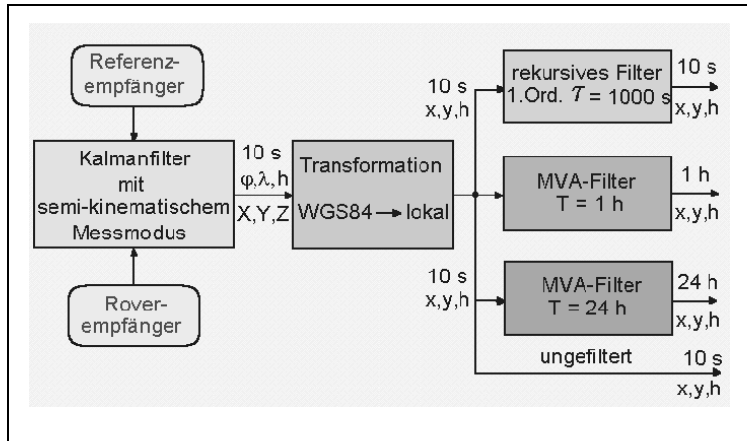


Abb. 1: SMMS-Blockdiagramm mit Semi-kinematischem Messmodus, Koordinatentransformationen und Filterungen

Um die hohen Genauigkeitsanforderungen von 1 mm und besser zu erreichen, müssen zusätzliche Vorkehrungen zur Elimination von Mehrwegeeffekten und Variationen des Antennenphasenzentrums

getroffen werden. Dieses gilt übrigens auch für die teuren GPS-RTK-Systeme. Bei langperiodischen Bewegungen mit Periodendauern > 1 Tag lassen sich hier zur Reduzierung dieser Effekte besonders effektiv rekursive oder Mittelwertfilter einsetzen. Derartige Filter sind bereits in der SMMS-Echtzeit-Software implementiert. Aber auch für kurzperiodische Bewegungen lassen sich die Effekte herausfiltern, wenn quasi permanente Beobachtungen über mehrere Tage vorliegen. Die Koordinaten werden standardmäßig im System WGS84 berechnet. Optional besteht die Möglichkeit, die WGS84-Koordinaten in ein frei wählbares lokales Koordinatensystem zu transformieren.

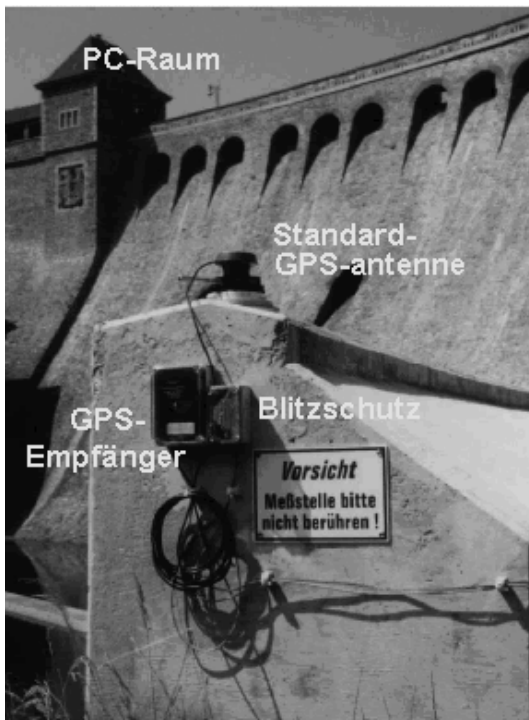


Abb. 2: Installation des GPS-Messsystems am Punkt 210 der Edertalsperre

Die PC-Software wurde so entwickelt, dass mehrere Basislinien auf einem PC unter Verwendung einer oder mehrerer Referenzstationen in Echtzeit berechnet werden können. Jede Anwendung verfügt über ein eigenes Text- und Grafikfenster, in denen die aktuellen Messergebnisse dargestellt werden. Neben diesen detaillierten Einzelinformationen werden von einem weiteren Monitorprogramm die Ergebnisse der letzten 200 Tage, in denen weitere Informationen, wie z.B. die aktuelle Stauhöhe, in grafischer und numerischer Form angezeigt. Ein für jeden Punkt installiertes Ampelobjekt (grün = alles o.k, gelb = geringe Genauigkeit, rot = Ausfall) zeigt den momentanen Status der GPS-Berechnung an.

Durch Anklicken des entsprechenden Messpunktes lassen sich hier zusätzliche Informationen abrufen. Aber auch ältere Messergebnisse können durch Scrollen der Grafik abgerufen werden.

Der PC, auf dem die GPS-Anwendungen ablaufen, kann optional mit einem internen Modem zum Anschluss an das öffentliche Telefonnetz ausgestattet werden. Hierdurch ist eine Fernsteuerung des PC's sowie ein Download der Messergebnisse von jedem anderen PC, der selbstverständlich über eine entsprechende Zugangssoftware und -berechtigung verfügen muss, aus möglich.

3 Hybride Messsysteme zur Überwachung der Staumauer der Edertalsperre

Das GPS-Messsystem SMMS wird seit mehreren Jahren an verschiedenen Bauwerken zur permanenten Überwachung eingesetzt. Aufgrund der verschiedenartigen Messverfahren, die an der Edertalsperre zur Überwachung der Staumauer eingesetzt werden, sollen hier die dort erzielten Ergebnisse exemplarisch vorgestellt werden. Die dort eingesetzten hybriden Messverfahren, zu denen die permanent messenden Schwimm- und Hängelote sowie die ca. halbjährlich durchgeführten Alignementsmessungen zu zählen sind (Abb. 3), lassen einen Vergleich mit dem seit Juli 1998 auf vier Objektpunkten installierten GPS-Messsystem zu. Abb. 4 zeigt einen der Alignementspunkte und die unmittelbar daneben installierte GPS-Antenne. Die GPS-Empfänger der Messpunkte auf der Staumauer (Punkte 205 - 208) befinden sich - für die zahlreichen Besucher der Edertalsperre nicht sichtbar - in den Überläufen der Staumauer. Der im Absperrbereich des Kraftwerks befindliche untere Messpunkt 210 mit GPS-Empfänger, Blitzschutz und GPS-Antenne ist in Abb. 2 dargestellt.

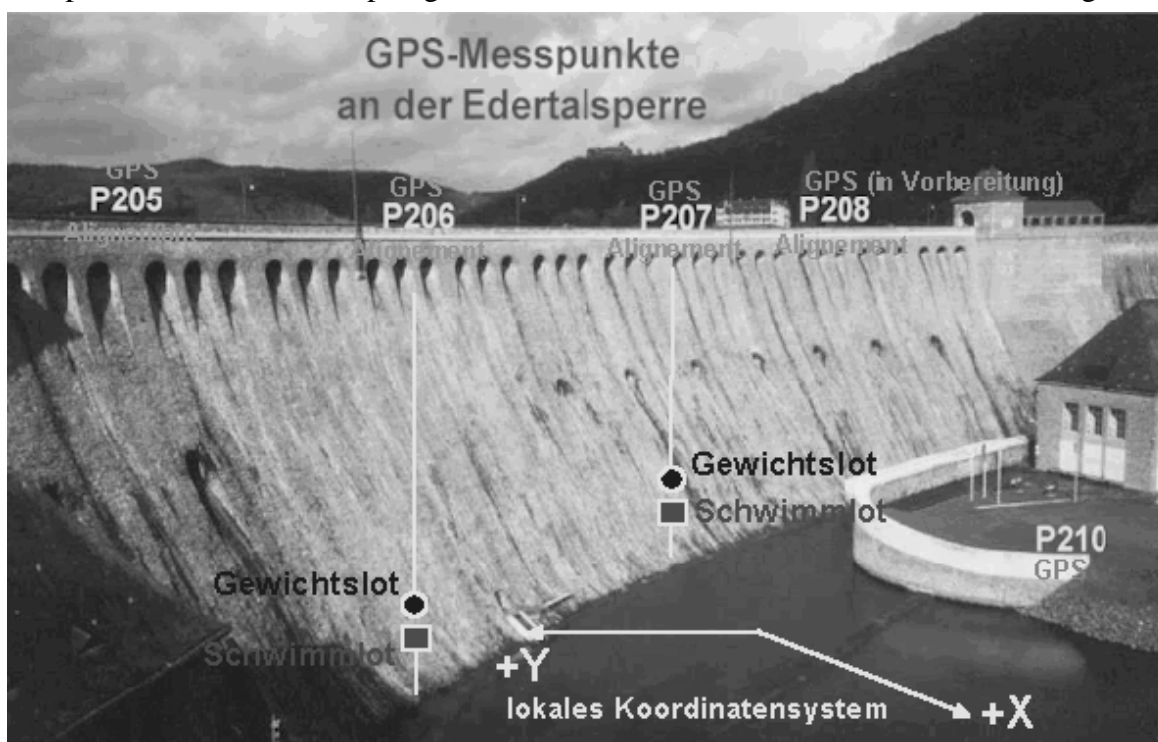


Abb. 3: Hybride Messsysteme zur Überwachung der Staumauer der Edertalsperre

Die Berechnungen der fünf Basislinien erfolgt auf einem PC, der seine aktuellen Berechnungen stündlich dem Talsperreninformationssystem zur Verfügung stellt und zwecks Fernsteuerung auch an das öffentliche Telefonnetz angeschlossen ist. Vom Talsperreninformationssystem erhält der PC täglich die aktuelle Stauhöhe zurück, die zusammen mit den Tagesmittelwerten in einer speziellen Grafik angezeigt werden. Durch Anklicken des entsprechenden Objektpunktes lassen sich weitere Informationen über die aktuelle GPS-Berechnung abrufen. Abb. 4 und Abb. 5 zeigen zwei Screenshots, die per Datenfernverarbeitung erstellt wurden. Die darin enthaltenen Grafiken zeigen die mit dem SMMS ermittelten Koordinatenänderungen für die kritische Verformungsrichtung. Darin ist sehr gut die hohe Korrelation der Verformung der Mauerpunkte mit der Stauhöhe zu erkennen. Die Verformung, die am Messpunkt unterhalb der Mauer wie erwartet nicht festzustellen ist, beträgt zwischen Minimalstau und Maximalstau ca. 20 mm. Die um den 7.10.1998 und um den 17.3.1999 für den unteren Messpunkt 210 erkennbaren Veränderungen

resultieren aus Bewegungsversuchen mit dem Kreuzschlitten, auf dem die GPS-Antenne für Versuchszwecke montiert war.

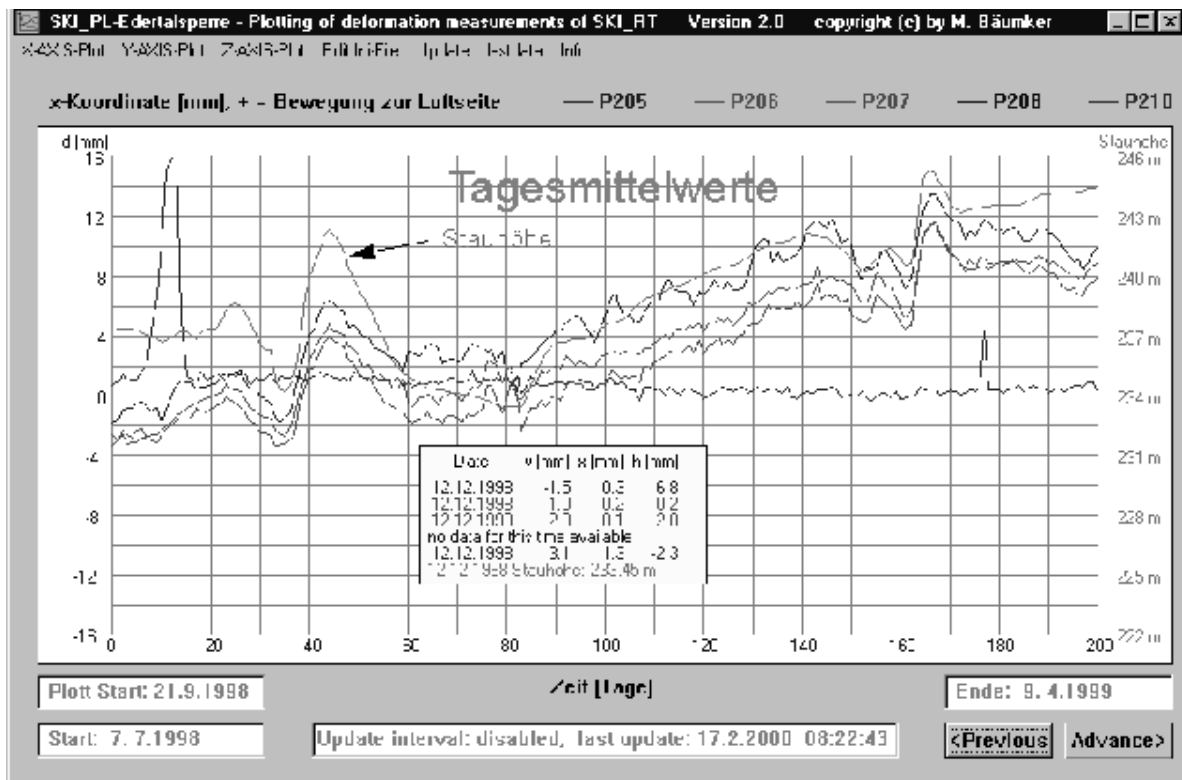


Abb. 4: Screenshot mit den 24h-Filterwerten für die kritische Verformungsrichtung (x-Richtung) und den Stauhöhen

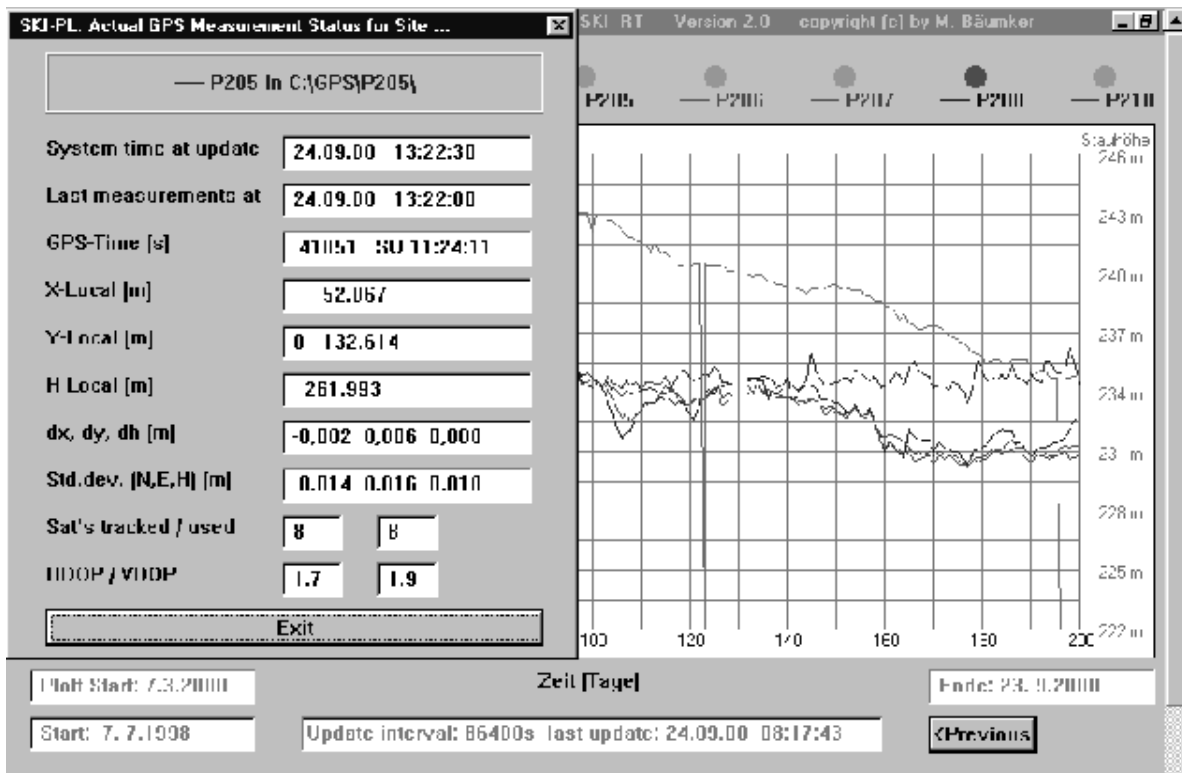


Abb. 5: Screenshot mit zusätzlich eingeblendetem Fenster, in dem die aktuellen GPS-Berechnungen für den Punkt 205 angezeigt werden

Abb. 6 zeigt die Vergleiche der Messergebnisse der beiden permanent messenden Lotanlagen und des ca. monatlich durchgeführten Alignements mit den GPS-Ergebnissen für den Mauerpunkt 206. Hierzu wurden die Ergebnisse der im unteren und oberen Kontrollgang installierten Schwimm- und Gewichtslotte über eine Biegelinie für die Höhe der Mauerkrone, auf der die GPS-Antenne und die Alignementsvorrichtung montiert sind, präzidiert. Die Vergleiche zeigen untereinander eine Übereinstimmung von besser als 1 mm für die Lagekoordinaten.

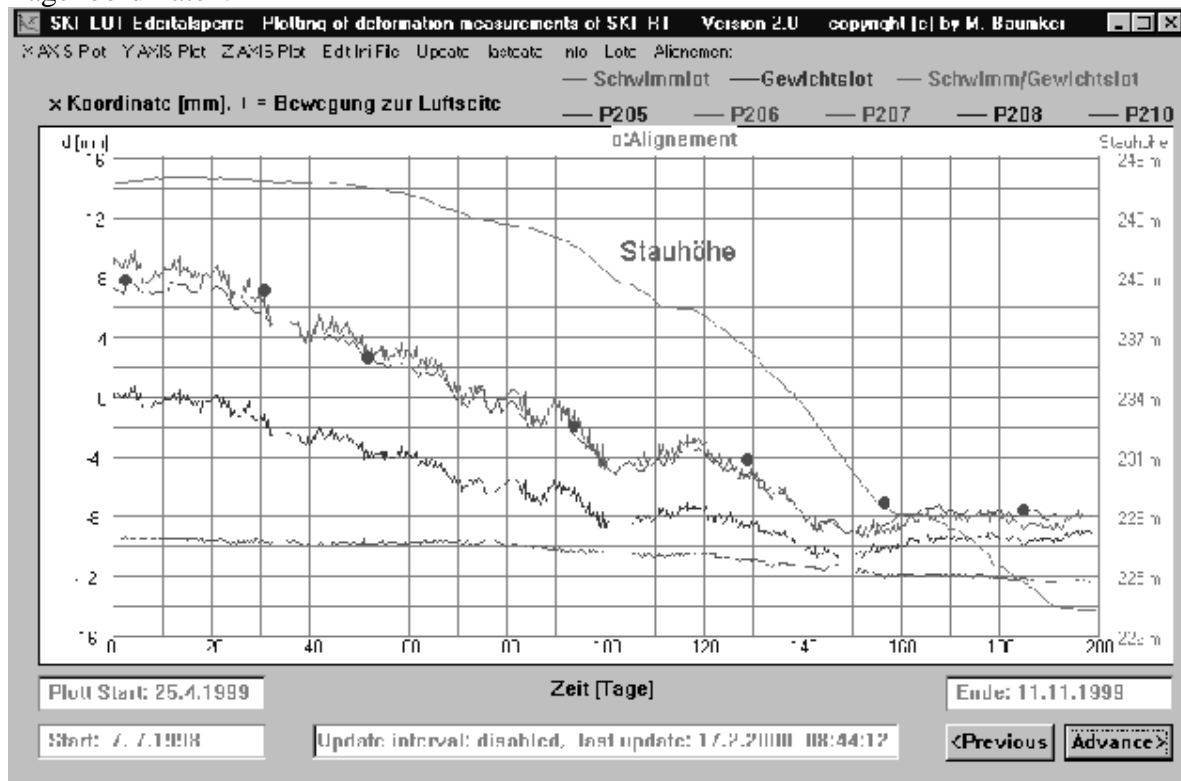


Abb. 6: Vergleich der GPS-Messungen mit den Lot- und Alignementsmessungen

4 Zusammenfassung

Zur permanenten Überwachung von sich langsam bewegenden Objekten, wie z.B. Staumauern, wurde an der FH Bochum ein GPS-Messverfahren auf der Basis kostengünstiger Einfrequenzempfänger entwickelt. Um die hohen Genauigkeitsanforderungen von 1 mm und besser zu erfüllen, werden spezielle Filter zur Reduzierung und Eliminierung der Mehrwegeeffekte und der Variationen des Antennenphasenzentrums eingesetzt. Das Messsystem ist so konzipiert, dass mehrere Basislinien simultan auf einem PC in Echtzeit berechnet werden können und eine Fernwartung über das öffentliche Telefonnetz möglich ist.

Das GPS-Messsystem befindet sich seit mehreren Jahren zur Überwachung verschiedener Bauwerke im Einsatz. Die u.a. an der Edertalsperre erzielten Ergebnisse zeigen im Vergleich mit den dort eingesetzten Lot- und Alignementsmessungen eine Übereinstimmung von besser als 1 mm für die Lagekoordinaten. Aufgrund dieser Ergebnisse werden dort zukünftig die aufwendigen Alignementsmessungen nur noch in größeren Zeitabständen durchgeführt.

5 Dank

Unser Dank gilt dem Wasser- und Schiffsamt Hannoversch-Münden, das die erforderlichen Unterlagen und Daten für den Vergleich zur Verfügung stellte, sowie den engagierten Mitarbeitern der Außenstelle Edertal.

Literatur

- BACKHAUSEN, D.; BÄUMKER, M.; FITZEN, H.-P.: Elimination von Mehrwegeeffekten und Antennenphasenfehlern zur hochgenauen Erfassung von Bauwerksdeformationen mit GPS. Verm.wes. u. Raumordn. 61: S. 157 - 174, 1999.
- BÄUMKER, M., FITZEN, H.-P.: Permanente Überwachungsmessungen mit GPS. In: Ingenieurvermessung 1996, Hrsg. G. Brandstätter u.a., Dümmler Verlag Bonn 1996, Beitrag B 7.
- BÄUMKER, M., FITZEN, H.-P., BACKHAUSEN, D.: Dreidimensionale permanente Überwachung der Edertalsperre mit GPS. In: Ingenieurvermessung 2000, Hrsg. K. Schnädelbach u.a., Wittwer Verlag Stuttgart, S. 155 - 165, 2000.

Anschrift der Verfasser:

Prof. Dr.-Ing. M. Bäumker
Fachhochschule Bochum
Fachbereich Vermessungswesen
und Geoinformatik
Lennershofstr. 140
D-44801 Bochum
e-Mail: Manfred.Baeumker@FH-Bochum.de

Prof. Dr.-Ing. H.-P. Fitzen
Fachhochschule Bochum
Fachbereich Vermessungswesen
und Geoinformatik
Lennershofstr. 140
D-44801 Bochum
e-Mail: Hans-Peter.Fitzen@FH-Bochum.de