

Geodätische Monitoringsysteme mit RTK Low-Cost-GNSS

Geodetic Monitoring Systems with RTK Low-Cost-GNSS

Werner Stempfhuber, Jürgen Alberding

Automatisierte Monitoringsysteme für ingenieurgeodätische Anwendungen werden seit etwa 20 Jahren zur permanenten Überwachung von technischen Objekten oder Erdoberflächen eingesetzt. Durch die moderne Messtechnik wurde hieraus ein attraktives Betätigungsfeld in der Ingenieurgeodäsie geschaffen. Neue Messverfahren wie die Echtzeitanwendung von Low-Cost-GNSS-Empfängern unterstützen diesen Trend zusätzlich. Dieser Beitrag beschreibt die Technologie von GNSS-Einfrequenz-Empfängern für Anwendungen beim geodätischen Monitoring und stellt die modularen Einzelkomponenten dar.

Schlüsselwörter: RTK Low-Cost-GNSS, Einfrequenz-Empfänger, Geodätisches Monitoringsystem, Echtzeitanwendungen

Automated monitoring systems for geodetic engineering applications have been utilised for the permanent monitoring of technical objects or the earth's surfaces for about 20 years. An attractive field of activity in engineering geodesy was designed through the modern measuring technology. New measuring systems such as the real-time application of low-cost GNSS receivers support this trend. This contribution introduces this technology and describes the modular, individual components for applications in geodetic monitoring.

Keywords: RTK low-cost GNSS, Single-Frequency-Receiver, Geodetic Monitoring System, Real-Time-Application

1 EINLEITUNG UND MOTIVATION

Die permanente Überwachung von technischen Bauwerken (Gebäude, Brücken, Tunnel, Türme, Staumauern, Baugruben etc.) und Geländeoberflächen (Gletscher, Rutschhänge, Böschungen, Vulkane, Deponien, Staudämme) werden zunehmend mit geodätischen Monitoringsystemen realisiert. Hierbei werden nicht mehr nur einzelne Messepochen getrennt aufgenommen und ausgewertet. Der gesamte Überwachungsprozess wird heute mit geodätischen und geotechnischen Messsystemen in Echtzeit durchgeführt. Dieses Spezialgebiet der Ingenieurgeodäsie stellt hohe Anforderungen an die Teilbereiche der geodätischen Messtechnik, der verwendeten Registrierungs- und Auswertesoftware sowie der Datenauswertung, -analyse, -filterung und -visualisierung. Die abgeleiteten Objektgrößen (Geometrie- und Umgebungsparameter) des geodätischen Monitoringsystems dienen in der Regel den Bereichen des Bauwesens, der Geowissenschaften, des Anlagen- und Maschinenbaus. Beobachtet werden Änderungen in der Entfernung, im Horizontal- und Vertikalwinkel, in der Längs- und Querneigung, in der Lage, Höhe oder in

3D, von Schwingungen sowie Elementen in linienhafter oder flächenhafter Ausrichtung. Die zeitliche Verknüpfung der Geometriedaten mit den geotechnischen Messdaten (Temperatur, Druck, Windrichtung, Feuchtigkeit, Füllstand etc.) sowie das Expertenwissen ist für die sachliche Interpretation des Objektzustandes zwingend erforderlich.

Im Gegensatz zur Beobachtung und Auswertung einzelner Messepochen haben geodätische Monitoringsysteme durch einen hohen Automatisierungsgrad und der Fernwartung viele Vorteile. Heutzutage können geodätische Echtzeitdaten mit Messraten bis zu 100 Hertz an netzwerkgebundenen Rechnern in unterschiedlicher Form übertragen, ausgewertet und präsentiert werden. Eine weitere wichtige Komponente ist die automatisierte Ausgabe von Hinweisen, Warnungen, Toleranzüberschreitungen oder Alarmmeldungen via SMS oder E-Mail und Berichterstellung. In den Publikationen /Müller 2002/ und /Pink 2007/ wird u.a. eine klare Trennung von geodätischen Monitoringsystemen in allgemeine Produktlösungen kommerzieller Systemhersteller oder projektbezogene Ansätze unterteilt. Kommerzielle Lösungen bieten mittlerweile einen sehr großen Funktionsumfang

und Automatisierungsgrad. Die Einbindung alternativer Messsensoren ist jedoch meist nicht vorgesehen. Eine individuelle Anpassung der Auswertungsprozesse ist für spezielle Projektanforderungen ebenfalls nur bedingt möglich. Die Liste von projektbezogenen Monitoringsystemen ist sehr lang und unübersichtlich. Hierbei werden stets durch einen großen Aufwand die Mess- und Auswertekomponenten für individuelle Problemstellungen angepasst und weiterentwickelt (z.B. Durchmesserlinie Zürich, www.terra.ch). Die Grundlagen der komplexen Zeitreihenauswertungen wurden im Veröffentlichungsband des DVW-Seminars mit dem Titel „Zeitabhängige Messgrößen – Verborgene Schätze in unseren Daten“ behandelt.

2 GEODÄTISCHE MESSENSORIK

Die jeweilige Aufgabenstellung und Genauigkeitsanforderung bei geodätischen Monitoringprojekten ergeben die entsprechende Auswahl der Messverfahren und -sensoren. Grundsätzlich stehen für Beobachtungen von statischen oder quasi-statischen Objekten terrestrische und globale Messsysteme zur Verfügung (Abb. 1).

Dieser Beitrag konzentriert sich vor allem auf die Verwendung von RTK Low-Cost-GNSS Anwendungen für die präzise Bestimmung von Geometrieveränderungen in Überwachungsgebieten. Der Ansatz der Basislinienbestimmung mittels L1-Rohdaten (Code- und Phasenauswertung) wurde in der Vergangenheit in verschiedenen Publikationen behandelt, u.a. /Schwieger 2005/, /Glabsch 2009/, /Realini 2010/ oder /Alkan 2010/ etc. Hierbei wird in der Regel versucht, die Pha-

senmehrdeutigkeitslösung der RINEX-Daten eines Einfrequenz-Empfängers mittels kommerziellen GNSS-Auswerteprodukten zu bestimmen. Automatisierte Auswertungen von einzelnen Beobachtungsböcken im RINEX-Format können von solchen GNSS-Auswerteprodukten mittels Batch-, Shell-Dateien oder Skriptsprachen (z.B. Leica LGO VBScrip) in Monitoringprodukten eingebunden werden. Manche Anbieter ermöglichen die Einbindung von GNSS-Netzwerkberechnungen. Nahezu identische Ergebnisse einzelner Basislinienberechnungen können mit dem Open Source Projekt RTKLib (www.rtklib.com) durch das Modul RTKPost erzielt werden /Takasu 2009/.

Satellitengestützte Echtzeit-Monitoringsysteme erfordern die Verwendung von RTKGNSS-Daten in NMEA-Format. Dies wird seit vielen Jahren mit Zweifrequenz-Empfängern in der Praxis angewendet. Durch die Auswertung der Echtzeit L1-Trägerphasenlösung von Low-Cost-GNSS-Empfängern (High-Sensitivity-GPS-Chips) kann ein optimiertes Gesamtsystem nahezu identische Ergebnisse liefern. Bei kurzen Basislinien ergibt der Ansatz zur Trägerphasen-Mehrdeutigkeitslösung (Integer Least Square Estimation Verfahren nach /Teunissen 1995/ und /Chang 2005/ 3D-Koordinaten im Genauigkeitsniveau einiger Zentimeter. Die Referenzdaten für das RTK-Prozessieren können aus einer eigenen lokalen Referenzstation (Einfrequenz- oder Zweifrequenz-Empfänger in standardisierten Formaten RTCM), oder einem Netzwerk im Format VRS, FKP, MAC, RTCM (via NTRIP) verwendet werden. Die Ausgaberate des NMEA-Datenstrings kann bei Low-Cost-Empfänger bis zu 10Hz (z.B. u-Blox LEA 6T) betragen. Die Initialisierungszeit (time to first fix) beträgt je nach Satellitenkonstellation und Einflussparameter einige Minuten (vgl. Abb. 4, im Ver-

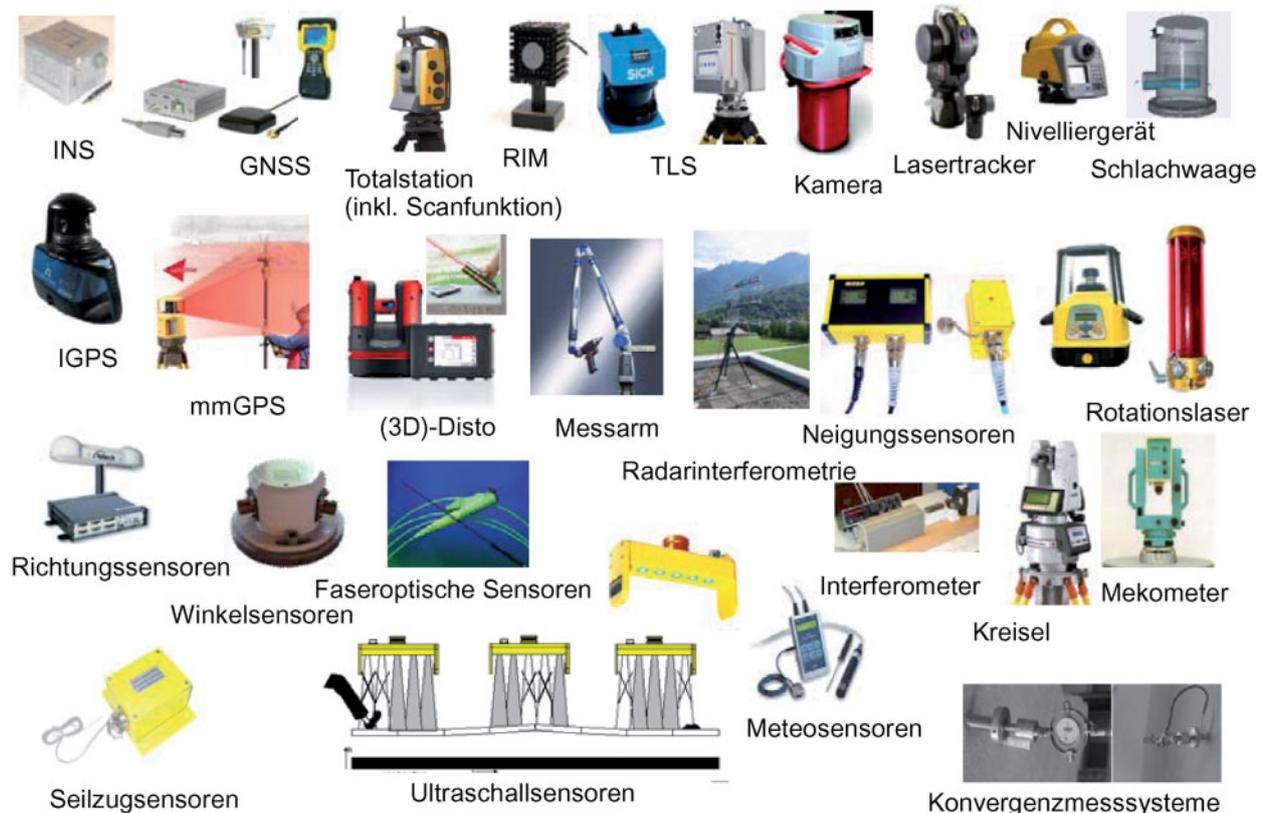


Abb. 1 | Übersicht von Messsensoren für geodätische Monitoringsysteme (unterschiedliche Hersteller)

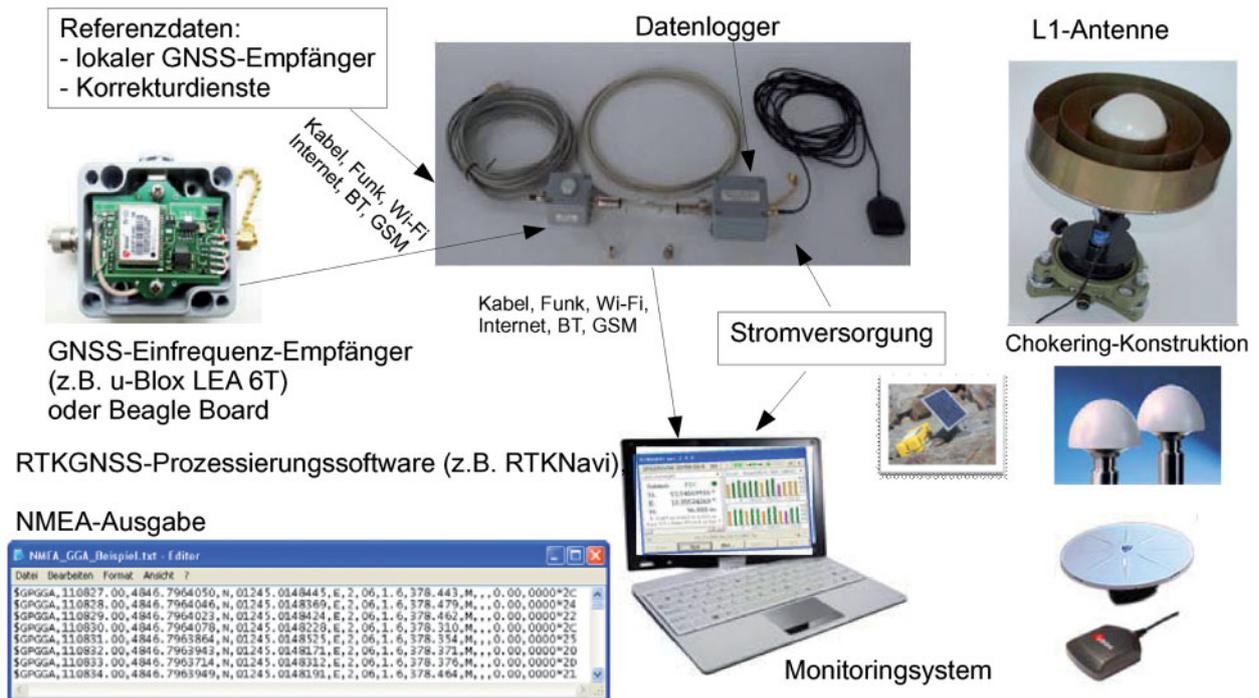


Abb. 2 | Modularer GNSS-Aufbau für RTK Messungen mit Einfrequenz-Empfänger (Echtzeiteinbindung in Monitoringsystemen)

gleich zu geodätischen Zweifrequenz-Empfängern etwas länger). Der modulare Systemaufbau ist für statische, quasi-statische oder aber auch kinematische RTK Low-Cost-GNSS Anwendungen aus *Abb. 2* ersichtlich.

Dieser modulare Systemaufbau ermöglicht eine individuelle Anpassung an die entsprechende Überwachungsaufgabe. Jede einzelne Komponente (GNSS-Antenne, Echtzeitsoftware zur Basislinienberechnung mit L1-Trägerphasen-Mehrdeutigkeitslösung, Einfrequenz-Empfänger und Referenzdaten) ist entsprechend der Anwendung austauschbar oder individuell konfigurierbar. Ein wesentlicher Punkt ist hierbei die Entwicklung eines eigenen Chokering-Adapters zur Optimierung der Satellitensignale /Korth 2011/. Dieser Chokering-Adapter in Kombination mit einer Trimble Bullet III

L1-Antenne wurde bereits auf verschiedenen Antennenkalibrierungseinrichtungen verifiziert. Die Antennenparameter (Phasenzentrumsoffset und Phasenzentrumsvariation) einer Kalibrierung mit und ohne Chokering zeigt *Abb. 3* /Carius 2011/.

Die in der *Abb. 4* dargestellte Visualisierung einer Testmessung mit je ein u-Blox LEA 6T Einfrequenz-Empfänger als Rover und Referenz (kurze Basislinie) zeigt die Initialisierungszeit und das Positionsruschen exemplarisch dar. Das absolute Positionsruschen von wenigen Zentimeter mit gelösten Trägerphasen-Mehrdeutigkeiten wird bei guten GNSS-Bedingungen über den gesamten Beobachtungszeitraum beibehalten. Ein Genauigkeitsunterschied zwischen der Echtzeitauswertung und der nachprozessierten Datenreihe ist nach der Initialisierungszeit im Wesentlichen nicht gegeben.

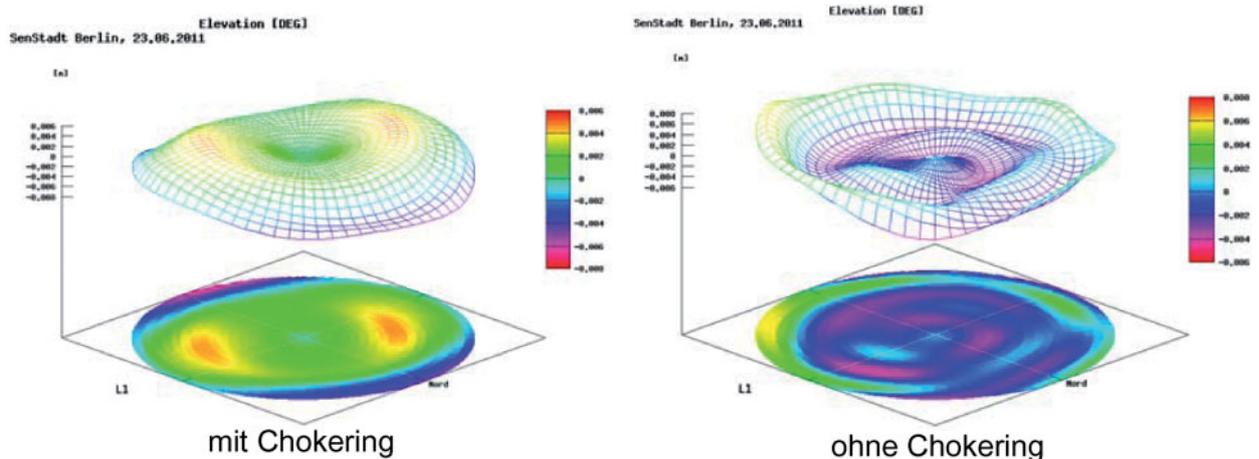
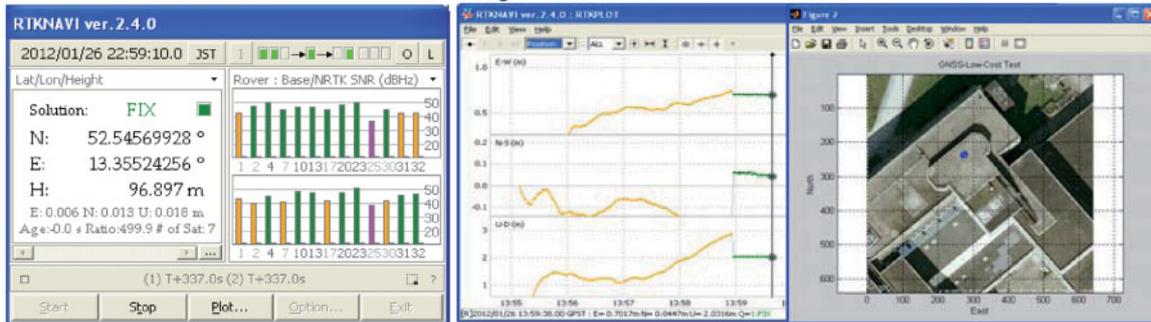


Abb. 3 | Antennenkalibrierung der Trimble Bullet III mit und ohne Chokering-Adapter (Berliner GNSS-Landeskalibriereinrichtung und Prüffeld für GNSS-Equipment)

GNSS Echtzeit-Prozessierung mit RTKNav



NMEA-Datenausgabe (Matlab-Command Window), Übergabe in das Monitoringsystem

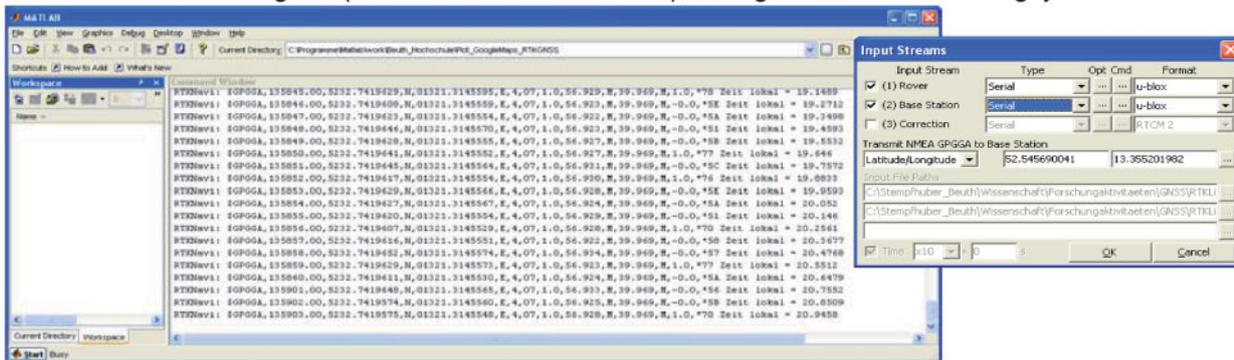


Abb. 4 | RTKGNSS-Testmessungen mit einem Einfrequenz-Empfänger an der Beuth Hochschule für Technik Berlin

Der Algorithmus des Open Source Projekts RTKLib verarbeitet auch GLONASS-Daten. Es ist zurzeit jedoch noch sehr schwierig, einen geeigneten Low-Cost-Empfänger mit gleichzeitiger GPS- und GLONASS-Unterstützung zu finden. In den letzten Jahren setzt sich immer mehr der PPP-Ansatz (Precise Point Position) durch. Dieser Berechnungsalgorithmus ist ebenfalls im RTKPost und RTKNav implementiert. Hierbei werden gegenwärtig verschiedene Testszenarien in unterschiedlichen Studienarbeiten an der Beuth Hochschule für Technik Berlin untersucht. Die Verwendung von Zweifrequenz-Empfängern ist bei diesem ppp-Ansatz sehr zu empfehlen /Hebelbarth 2009/ oder <http://igs.bkg.bund.de/ntrip/ppp>.

Monitoringsysteme für ingenieurgeodätische Anwendungen (vgl. Absatz 3) können in der Regel Echtzeitdaten im Format NMEA 0183 direkt verarbeiten. Der beschriebene Ansatz erfordert neben der Verwendung der GNSS-Hardware und dem Abgreifen der Referenzinformationen die Installation der Software zur Basislinienauswertung (z.B. RTKNav) auf dem Rechner des Monitoringsystems. Die prozessierten NMEA-Daten können z.B. via virtuellen ComPort-Paaren an die Monitoringsoftware in Echtzeit übertragen werden. Gegebenenfalls muss das Format noch geringfügig angepasst werden.

3 SYSTEMPLATTFORM FÜR GEODÄTISCHE MONITORINGSYSTEME

Geodätische Monitoringsysteme bestehen aus verschiedenen Basis-komponenten. Eine sehr einfache Realisierung mit den folgenden Komponenten wurde an der Beuth Hochschule bereits umgesetzt. Im zweiten Teil der Abb. 5 sind die Basiskomponenten von kommerziellen Systemen dargestellt /Stempfhuber 2010/.

Tab. 1 stellt verschiedene geodätische Monitoringsysteme ohne Anspruch auf Vollständigkeit dar.

Firma	Systembezeichnungen
Trimble 4D	4D Control Software
Topcon	DC3
Solexperts	GeoMonitor-System
Leica	GeoMoS (Spider)
Geodata	Eupalinos
Pöyry	2Doc
GOCA	(GNSS/LPS/LS-based Online Control and Alarm Systems)
Sokkia	Geo³Axis
Terra Monitoring	SwissMon und Swisstrolly
SwissPhoto	Detras (basierend auf GeoMoS)
Loxis	Trigonos
Alberding	EuroNet (vgl. Anwendung im Absatz 4)

Tab. 1 | Übersicht geodätischer Monitoringsysteme

Detaillierte Beschreibungen hinsichtlich des Funktionsumfangs und der eingebundenen Sensoren können u.a. aus /Sidler 2009/ entnommen werden.

4 GNSS-MONITORING IN NACHTERSTEDT

Am 18.07.2009 ereignete sich eine folgenschwere Böschungsbewegung im Bereich des Altbergbaus „Nachterstedt“ in Sachsen-

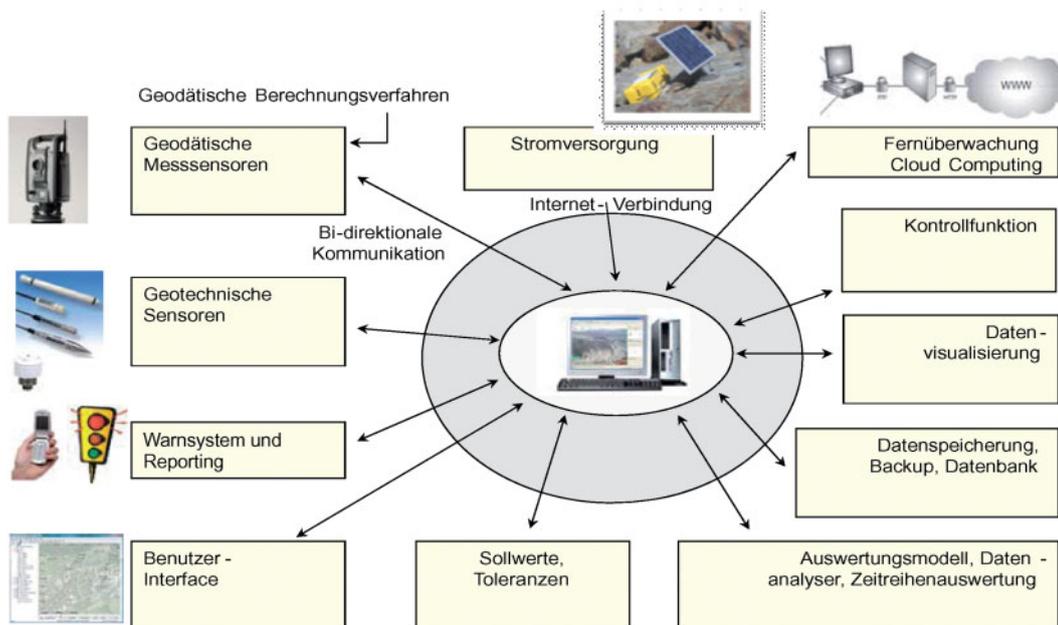
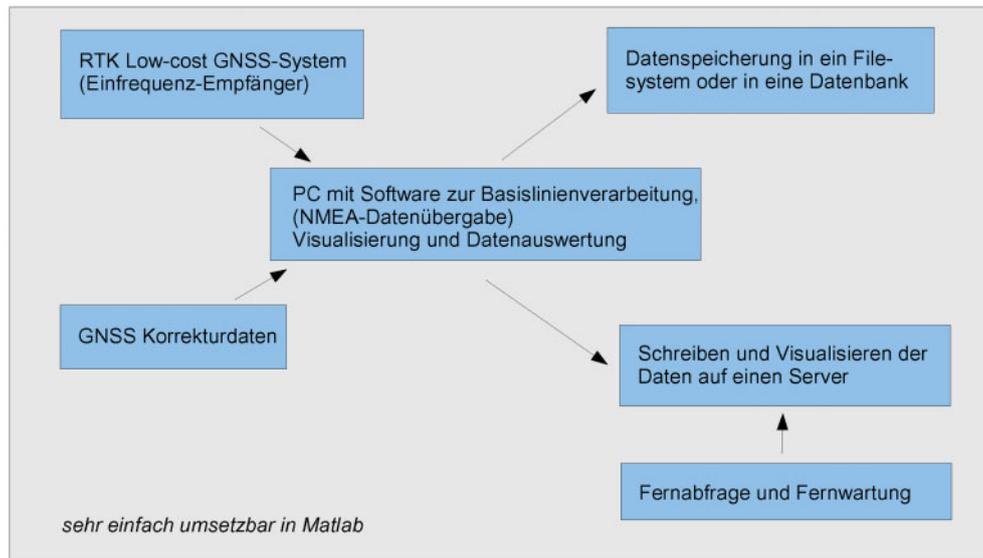


Abb. 5 | Systemkomponenten von projektbezogenen und kommerziellen Monitoringsystemen

Anhalt. Bei einem Böschungsabriss rutschten große Erdmassen mit den sich darauf befindenden Gebäuden in den Conradiasee (Abb. 6). Drei Menschen starben bei diesem Unglück.

Zur nachfolgenden Sicherung und Überwachung der Böschung wurde unter anderem die Installation und der Betrieb eines GNSS-gestützten Monitoringsystems bestehend aus fünf GNSS-Sensoren im Böschungsbereich und einer GNSS-Referenzstation in Auftrag gegeben.

Da dem Auftraggeber (GALA MIBRAG GmbH) die zu diesem Zeitpunkt verfügbaren kommerziellen Monitoringsysteme zu unflexibel und nicht ohne beträchtlichen Kostenaufwand auf die Anforderungen adaptierbar erschienen, wurde die Alberding GmbH mit der Entwicklung einer modular aufgebauten Monitoring-Lösung beauftragt.

4.1 Realisierung vor Ort

Für die Installation der Sensoren wurde der klassische Ansatz mit einer Metallrohrkonstruktion als Geräteträger gewählt. Die GNSS-Antennen befinden sich dabei auf dem Geräteträger und die GNSS-Empfänger zusammen mit Stromversorgung und Kommunikationskomponenten in einer geschützten Metallbox am Fuß des Geräteträgers. Aufgrund der vordefinierten Punktlage in der Nähe von Gebäuden und Bäumen wurden Zweifrequenz-GPS/GLONASS Sensoren des Typs Trimble BX960 (mit Ethernet-Schnittstelle) verwendet. Die lokale GNSS-Referenzstation wurde aus logistischen Gründen am Überwachungscontainer installiert.

Geringe Entfernungen zu den Messpunkten (< 1000 m) und die komplette Sperrung des Böschungsbereichs für die Öffentlichkeit ermöglichten eine oberirdische Verkabelung der Sensoren mit der



Abb. 6 | Bilder des Böschungsabrisses in Nachterstedt vom 18.07.2009

Zentrale am Überwachungscontainer. Die Ethernet-Datenkabel werden für die Datenübertragung und die Konfiguration der GNSS-Sensoren über ein Web-Interface genutzt. Die kabelgebundene Stromversorgung verhindert ein Auswechseln von Akkus vor Ort, so dass nach erfolgter Systeminstallation der sicherheitskritische Bereich nur in Störfällen von Personen betreten werden muss.

4.2 Wahl des Auswerteverfahrens

Für die Prozessierung der GNSS-Messungen wurde das „Near-Online“ GNSS-Verfahren gewählt, wobei die Sensoren ihre Rohdaten zur Batch-Prozessierung an einen Server senden. Das GNSS-Echtzeit-Datenmanagement und das Umformatieren der GNSS-Rohdaten in definierbare RINEX-Dateien (hier 2, 15, 30 und 120 Minuten) wird von der Software „Alberding EuroNet“ durchgeführt, wobei unter anderem GNSS-Sensoren der Hersteller Hemisphere, Javad, Leica, Navis, Novatel, Septentrio, Topcon, Trimble und u-blox unterstützt werden. Die automatische Prozessierung der RINEX-Dateien erfolgt mit der Software WA_1 von Prof. Dr.-Ing. L. Wanninger (TU Dresden).

Als Ergebnis der Near-Online Prozessierung liegen unmittelbar nach den jeweiligen Messintervallen Koordinatendifferenzen mit Kovarianzinformationen als Eingangsgrößen für statistische Tests vor. (Abb. 7). Beim Überschreiten definierbarer Schwellwerte werden Warnungen über E-Mail, SMS oder andere Medien an einen definierbaren Personenkreis ausgelöst.

Gegenüber RTK liegen die Vorteile des Near-Online GNSS-Verfahrens in der höheren Punktgenauigkeit (insbesondere bei längeren Messintervallen) und der Verfügbarkeit der Rohdaten für spätere Langzeituntersuchungen. Durch die Berechnung zentimetergenauer Positionen im Empfänger eignet sich das RTK-Verfahren zur Generierung zeitnaher Warnmeldungen (< 30 Sekunden) für Evakuierungsmaßnahmen. Das Monitoringsystem wurde inzwischen um die RTK-Funktionalität erweitert.

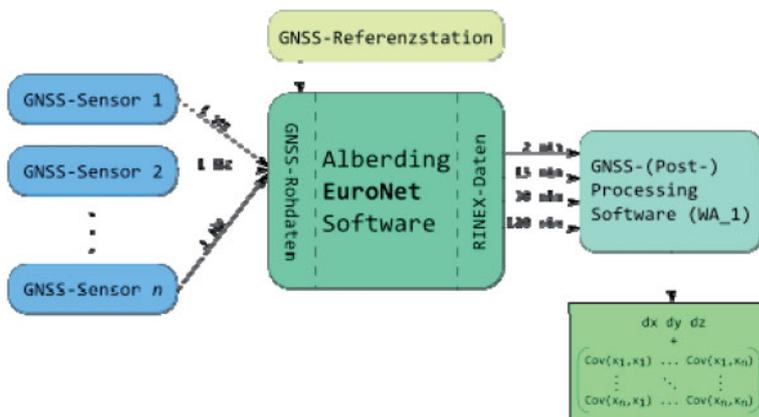
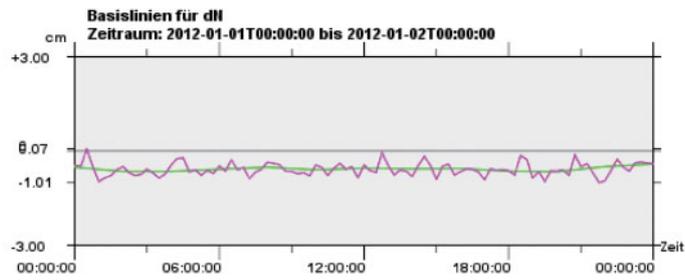


Abb. 7 | Datenfluss in Near-Online GNSS-Verfahren



Vergleich der 15- (magenta) gegen die 120- (grün) Minuten Lösung

Abb. 8 | Status-
übersicht: Vergleich
der 15- (magenta)
gegen die 120-
(grün) Minuten
Lösung

4.3 Visualisierung und Generierung von Berichten

Zur Visualisierung der Prozessierungsergebnisse wurde eine Web-Oberfläche entwickelt, die einen passwortabhängigen Zugriff auf das System von unterschiedlichen Standorten über das Internet erlaubt. Als Schnellinformation erhält der Nutzer eine Statusübersicht, wobei die Punktkoordinaten und die Datenverbindung auf der Basis eines georeferenzierten Luftbildes dargestellt werden. Sind alle Punkte und die Datenverbindungen „grün“ dargestellt, gibt es weder Datenunterbrechungen noch Bewegungen, welche die voreingestellten Schwellwerte überschreiten (Abb. 8).

Bei der detaillierten graphischen Übersicht werden die Ergebnisse getrennt nach Nord-, Ost- und Höhenkomponente dargestellt. Vergleiche können zwischen den Bewegungen der Sensoren als auch zwischen den einzelnen Lösungen pro Sensor gezogen werden. Durch die Speicherung der Lösungsvektoren ist eine Langzeitveränderung der Punktlage im Bereich weniger Millimeter möglich.

Die Ergebnisse der Überwachung werden als PDF-Datei ausgegeben und in definierbaren Formularen als Basis für die Berichterstellung zusammengefasst. Signifikante Böschungsbewegungen konnten über einen Zeitraum von 18 Monaten nicht festgestellt werden.

4.4 Erweiterung auf Low-Cost-GNSS-Empfänger

Prinzipiell beinhaltet die Alberding Monitoringsoftware sämtliche Komponenten zur Verarbeitung der Messdaten von Low-Cost-GNSS-Empfängern. Die erforderliche Beobachtungszeit zur zuverlässigen Lösung der Trägerphasenmehrdeutigkeiten ist besonders bei den Low-Cost-Systemen von der Basislinienlänge und den Beobachtungsbedingungen abhängig. Praktische Tests mit dem u-blox LEA 6T haben ergeben, dass die Software WA_1 bei kurzen Basislinien (<1-2 km) innerhalb von 15-20 Minuten zentimetergenaue Koordinaten liefert.

Die Herausforderungen bei den Low-Cost-GNSS-Empfängern liegen in der Verfügbarkeit geeigneter Sensorsysteme (Low-Cost-GNSS-Modul, GNSS-Antenne, Kommunikation und Stromversorgung) und in der Verkürzung der Beobachtungszeiten (Ziel: < 5 Minuten). Aufgrund starker Abschattungen durch die Bebauung und der Bäume sind Low-Cost-GNSS-Sensoren für das Monitoring-Projekt in Nachterstedt nicht geeignet.

Basierend auf der vorhandenen GNSS-Echtzeit-Datenmanagementsoftware „EuroNet“ der Alberding GmbH und der batch-fähigen GNSS-Prozessierungssoftware WA_1 konnte innerhalb weniger Mo-

nate ein modulares GNSS-Monitoringsystem entwickelt werden, das inzwischen über 1,5 Jahre zuverlässige Messdaten liefert. Für zeitkritische Alarmierungsanwendungen wurde das System um die RTK-Funktionalität ergänzt. Erweiterungen gibt es inzwischen für die Verarbeitung von Tachymetermessungen sowie von Daten geotechnischer Sensoren mit digitaler Schnittstelle.

5 FAZIT UND AUSBLICK

Durch die stetige Weiterentwicklung in der geodätischen Messtechnik stellen Monitoringsysteme heute einen wichtigen und komplexen Aufgabenbereich in der Ingenieurgeodäsie dar. Die kommerziellen Systeme der Hersteller enthalten einen sehr hohen Funktionsumfang. Trotzdem werden auch weiterhin projektspezifische Eigenentwicklungen eingesetzt. Neben den Auswertelgorithmen ist vor allem die Verwendung von neuen und angepassten Messsensoren für die Zukunft interessant. In diesem Artikel wurden die Möglichkeiten einer Verwendung von RTK Low-Cost-GNSS für kinematische Überwachungsaufgaben erläutert. Die Verwendung dieses Ansatzes wird in Zukunft auch in bestehenden Monitoringsystemen implementiert werden. Neben dieser RTK Low-Cost-GNSS-Sensorintegration existieren noch weitere Arbeiten um kostengünstige Messsensoren für die Bereiche Schwingungsmessungen, Distanzmessungen und Bewegungsmessungen einzusetzen.

LITERATUR

- Alkan, R. M. (2010): Development of a Low-cost Positioning System Using OEM GPS Receivers and Usability in Surveying Applications. FIG Congress 2010 Facing the Challenges – Building the Capacity, Sydney.
- Carius, R. (2011): Untersuchungen zur Kalibrierung von GPS-Antennen. Diplomarbeit (unveröffentlicht) an der Beuth Hochschule für Technik Berlin.
- Chang, X.-W.; Yang, X.; Zhou, T. (2005): MLAMBDA: A modified LAMBDA method for integer least-squares estimation. J. Geodesy, vol. 79.
- DVW (2009): Zeitabhängige Messgrößen – Verborgene Schätze in unseren Daten. Beiträge zum 85. DVW-Seminar am 7. und 8. September 2009 in Kassel, Wissner-Verlag.
- Glabsch, J.; Heunecke, O.; Schuhbäck, S. (2009): Hangüberwachungen mittels Low-Cost GNSS im alpinen Raum – Ansätze und Erfahrungen. AHORN 2009, ETH Zürich, www.igp.ethz.ch/AHORN/downloads/OttoHeunecke_AHORN2009_Publication.pdf.
- HeBelbarth, A. (2009): GNSS-Auswertung mittels Precise Point Positioning (PPP). ztv, 5/2009.

Korth, W.; Hofmann, U. (2011): Softwareentwicklung für Positionsbestimmung mit Satelliten. Abschlussbericht Forschungsassistent VI, www.beuth-hochschule.de.

Pink, S. (2007): Entwicklung und Erprobung eines multifunktionalen Geosensornetzwerkes für ingenieurgeodätische Überwachungsmessungen. Dissertation, Universität der Bundeswehr München.

Realini, E.; Yoshida, D.; Reguzzoni, M.; Raghavan, V. (2010): Testing goGPS Low-Cost RTK Positioning With A Wen-Based Track Log Management System, WebMGS 2010, www.isprs.org/proceedings/XXXVIII/4-W13/ID_15.pdf, Como.

Schwieger, V.; Gläser, A. (2005): Possibilities of Low Cost GPS Technology for Precise Geodetic Applications. Proceedings on FIG Working Week 2005, Kairo.

Sidler, A. (2009): Einsatz des Leica GeoMoS-Systems für geodätische Monitoringaufgaben. Bachelorarbeit (unveröffentlicht) an der ETH Zürich.

Stempfhuber, W. (2010): Grundlagen zur Entwicklung von Monitoringsystemen für geodätische Anwendungen. In: Weisbrich S. und Kaden, R. [Hrsg.]: Entwicklerforum Geodäsie und Geoinformationstechnik 2010, Shaker Verlag, Aachen.

Stempfhuber, W. (2009): Geodätische Monitoringsysteme – Stand der Technik und Abgrenzung der gegenwärtigen Systeme. DVW-Schriftenreihe 59/2009, Zeitabhängige Messgrößen - Verborgene Schätze in unseren Daten, Beiträge zum 85. DVW-Seminar am 7. und 8. September.

Werner, M., (2011): Einsatz preisgünstiger GNSS-Geräte für ingenieurgeodätische Überwachungsmessungen. Diplomarbeit (unveröffentlicht) an der TU Dresden.

Takasu, T.; Yasuda, A. (2009): Development of the low-cost RTK-GPS receiver with an open source program package RTKLIB, gpspp.sakura.ne.jp/paper2005/isgps_2009_rtklib_revA.pdf, Jedu.

Teunissen, P. J. G. (1995): The least-square ambiguity decorrelation adjustment: a method for fast GPS ambiguity estimation. J. Geodesy, vol. 70.

AUTOREN

Prof. Dr.-Ing. Werner Stempfhuber

BEUTH HOCHSCHULE FÜR TECHNIK BERLIN
FACHGEBIET – PRAKTISCHE GEODÄSIE
FACHBEREICH III

Luxemburger Str. 10 | D-13353 Berlin
stempfhuber@beuth-hochschule.de



Dipl.-Ing. Jürgen Alberding

ALBERDING GMBH

Lilienthalstraße 25 | 12529 Schönefeld
info@alberding.eu

