

BMBF-Forschungsprojekt GeoKlimB – Teil 2: Einrichtung und Betrieb dreier Geosensor-Felder am Alaufstieg der BAB A8

BMBF Research Project GeoKlimB – Part 2: Installation and Operation of three Geosensor-Networks at the “Alb Ascent“ of the German Motorway A8

Ralf Plinninger¹, Michael Alber², Martin Brodbeck³, John Singer⁴, Martin Scherbeck⁵

¹ Dipl.-Geol. Dr.rer.nat. Ralf J. Plinninger, Dr. Plinninger Geotechnik, Bernried, Deutschland, rp@plinninger.de

² Prof. Dr.-Ing. Michael Alber, Arbeitsgruppe Ingenieurgeologie / Felsbau, Ruhr-Universität Bochum, Deutschland, michael.alber@ruhr-uni-bochum.de

³ Dipl.-Geol. Dr.rer.nat. Martin Brodbeck, Sachgebiet Straßenbau und Geotechnik, Regierungspräsidium Stuttgart, Deutschland, martin.brodbeck@rps.bwl.de

⁴ Dipl.-Geol. Dr.rer.nat. John Singer, Geologisches Institut, ETH Zürich, Schweiz, john.singer@erdw.ethz.ch

⁵ M.Sc. Martin Scherbeck, Arbeitsgruppe Ingenieurgeologie / Felsbau, Ruhr-Universität Bochum, Deutschland, martin.scherbeck@ruhr-uni-bochum.de

Zusammenfassung

Im Rahmen des BMBF-Forschungsprojekts „GeoKlimB“ wurden im Jahr 2012 Geosensor-Netzwerke in drei ausgewählten und charakteristischen Untersuchungsfeldern ("Hochdamm", "Braunjura-Einschnitt" und "Weißjurfelsen") im Bereich des Alaufstiegs der Bundesautobahn A8 zwischen der Ausfahrt Aichelberg und dem Behelfsanschluss Hohenstadt aufgebaut, die seitdem betrieben werden. Ziel ist die integrative Echtzeit-Erfassung (Monitoring) und Visualisierung von Messwerten zu den Veränderungen im Untergrund (u.a. Setzungen, Porenwasserdruck, Bauwerks- und Felsneigungen, Änderung von Kluftöffnungsweiten) und deren Korrelation mit den in anderen Teilprojekten erfassten Klimadaten und Grundwassermodellen. Alle Messdaten der drei Sensornetzwerke laufen in zentralen Datenerfassungseinheiten mit autarker Stromversorgung und GPRS-Datenfernübertragungsmodul auf und werden von dort aus automatisch auf einen Server übertragen. Der Zugriff der Projektpartner auf die Daten erfolgt unter Verwendung der im Rahmen eines weiteren BMBF-Vorhabens entwickelten „alpEWAS“ - Steuerungs- und Visualisierungssoftware.

Schlüsselworte: Geomonitoring, Geodatenerfassung

Abstract

Heavy rain, floods and other exceptional hydrological events have significantly increased in the last decade as a result of global climate change. Medium and long-term climate prediction indicate a further intensification of such trends. Especially in the Alpine region, but also in the low mountain ranges of Germany, the stability of natural slopes and existing earth structures, such as dams, embankments and cuts will be affected by the changing groundwater conditions. As part of the BMBF-funded research project "Integrative Service: Identification, Assessment and Monitoring of Georisks as a result of changing climatic observations (GeoKlimB)" a interdisciplinary approach shall be tested in a demonstration area. On the basis of modeled climate scenarios for the next decades changes in precipitation and groundwater conditions shall be estimated and their impact on geohazards shall be predicted by use of geoscientific methods from the fields of engineering geology, hydrogeology and climatology. As part of the subproject "Geomonitoring" three geosensor networks have been installed in 2012 in selected and distinctive fields ("Hochdamm Dam", "Braunjura Cut" and "Weißjura Rock Towers") along the alignment of the A8 motorway between the exits Aichelberg and Hohenstadt. The aim is the integrative real-time acquisition and visualization of measured values relating to changes in ground conditions and structures (including settlements, pore water pressure, as well as changes in inclination and joint aperture of structures and rock bodies) and their correlation with the data collected in other projects regarding climate data and groundwater models. All measured data of the three sensor networks are acquired in three automatic data acquisition units with independent power supply and GPRS data transmission. Access of the project partners to the data is done using the "alpEWAS" - control and visualization software.

Keywords: Geomonitoring, Geotechnical Data Acquisition

1 Das Gesamtprojekt „GeoKlimB“

Platzregen, Überschwemmungen und andere hydrologische Ausnahme-Ereignisse haben in den letzten zehn Jahren als Folgen des Klimawandels stark zugenommen. Mittel- und langfristige Klimaprognosen lassen eine weitere Verstär-

kung dieses Trends erwarten. Insbesondere im alpinen Raum, aber auch in den Mittelgebirgen wird die Stabilität natürlicher Hänge und bereits existierender Erdbauwerke, wie Dämme, Böschungen und Einschnitte von den sich verändernden Wasserverhältnissen im Untergrund nachhaltig beeinflusst werden.



Bislang existieren nur lokale und methodisch stark differierende Koppelungen zwischen Klimamodellierung, Geologie und Geomechanik zur Erfassung, Bewertung und Verfolgung von Georisiken. Diese Art integrativer Dienstleistungen wird jedoch langfristig für die Verhinderung oder Verminderung von klimabedingten Schäden unverzichtbar sein.

Im Rahmen des BMBF-finanzierten Forschungsvorhabens "Integrative Dienstleistung: Erfassung, Bewertung und Monitoring von Georisiken als Folge sich verändernder klimatischer Beobachtungen (GeoKlimB)" soll eine solche interdisziplinäre Herangehensweise in einem Demonstrationsprojekt validiert werden. Auf Basis modellierter Klimaszenarien für die nächsten Jahrzehnte sollen veränderte Niederschlags- und Grundwasserverhältnisse abgeschätzt werden und deren Auswirkungen auf Georisiken durch geowissenschaftliche Methoden aus dem Bereich der Ingenieurgeologie, Hydrogeologie und Klimatologie prognostiziert werden.

Zur Validierung wurde die Region „Mittlere Schwäbische Alb“ ausgewählt. Diese Region ist durch ihr starkes Relief, rutschanfällige Schichtglieder sowie zahlreiche aktive Massenbewegungen bekannt. Für diese Validierung wurden drei repräsentative Untersuchungsfelder im Bereich des Alaufstieges der Bundesautobahn A8 Karlsruhe - München, ausgewählt.

Der vorliegende Beitrag befasst sich schwerpunktmäßig mit den 2012 abgeschlossenen Leistungen des Teilprojekts „Geomonitoring“, im Rahmen dessen drei Geosensor-Netzwerke in den Versuchsfeldern aufgebaut wurden. Weitere Details zum Gesamtprojekt sowie den Versuchsfeldern werden im ebenfalls im Rahmen dieser Tagung vorgestellten Beitrag „GeoKlimB - Teil 1: Erfassen, Bewerten und Verfolgen von Georisiken als Folge des sich verändernden Klimas“ von SCHERBECK et al. (2013) dargestellt.

2 Auslegung der Geosensor-Netzwerke

2.1 Überblick

Die drei Untersuchungsfelder liegen an der Bundesautobahn A8 zwischen den Autobahnanschlussstellen Aichelberg und Hohenstadt und decken damit den morphologisch bedeutendsten Teil des sog. „Alaufstieges“ ab (siehe Abb. 1).

Jedes der Untersuchungsfelder repräsentiert unterschiedliche geologische Verhältnisse und bautechnische Situationen:

- Untersuchungsfeld 1, „Hochdamm“: Steinschütt-damm auf anstehendem Opalinuston (Dogger α),
- Untersuchungsfeld 2 „Braunjura-Einschnitt“ Frei ge-böschter bzw. mit Raumgitterwand und Rückverankerung gesicherter Einschnitt in der Eisensandstein-Formation (Dogger β),
- Untersuchungsfeld 3 „Weißjura-Felsen“: Potenziell instabile Felstürme und Kluffkörper im Unteren Massenkalk (Malm).

2.2 Untersuchungsfeld „Hochdamm“

Der sog. „Hochdamm“ unmittelbar östlich der Anschluss-stelle Aichelberg wurde beim Neubau der Autobahntrasse in den 1980er-Jahren aus z.T. veränderlich festem Schüttmaterial errichtet, das im weiter südöstlich liegenden Ein-schnittsbereich (siehe Abs. 2.4) anfiel. Zum Zeitpunkt der Errichtung handelte es sich um eines der höchsten Bauwerke dieser Art in Europa. Aus Setzungs- und Inclinometer-messungen ist bekannt, dass die Verformungen nicht abge-schlossen sind. Eine Zunahme der Verformungen ist mit fortschreitendem Zerfall des Schüttmaterials sowie durch ein steigendes Wasserdargebot zu befürchten.

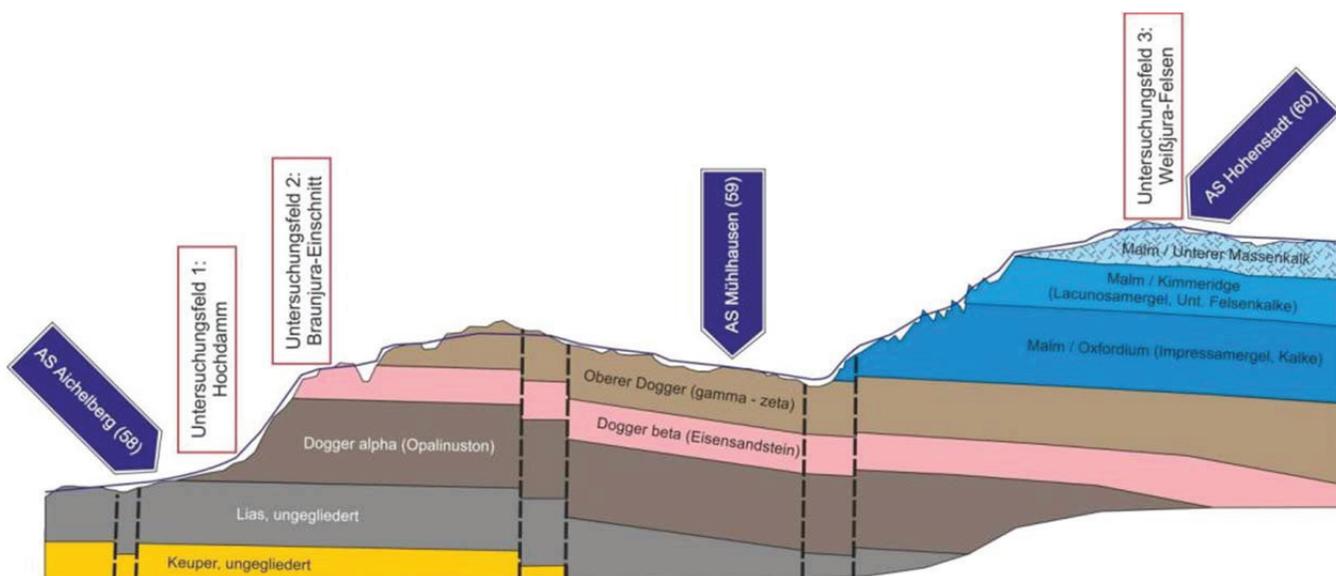


Abb. 1: Schematischer geologischer Schnitt entlang der Trasse der BAB A8 (blaue Linie) zwischen den Anschlussstellen (AS) Aichelberg und Hohenstadt mit Lage der Untersuchungsbereiche (umgezeichnet nach Vorlage des RP Stuttgart).

Fig. 1: Schematic geological cross-section along the alignment of the A8 motorway (blue line) between the Exits Aichelberg and Hohenstadt (redrawn according to a plan by RP Stuttgart).

Im Untersuchungsfeld "Hochdamm" wurden im Rahmen des vorliegenden Projekts vier zusätzliche Kernbohrungen errichtet, die mit Teufen von 11,5 m bis 26 m jeweils in die Dammaufstandsfläche einbinden. Diese Bohrungen dienen einerseits der Gewinnung von Probenmaterial für die Durchführung der ingenieurgeologischen Laborversuche, andererseits der messtechnischen Bestückung des Dammkörpers. Die messtechnische Instrumentierung im „Hochdamm“ umfasst:

- 4 Mehrfach-Stangenextensometer (5-, 3- und 2-fach) mit elektrischen Linearwegaufnehmern zur Erfassung der vertikalen Verformung in verschiedenen Höhenniveaus,
- 4 Schwingsaiten-Porenwasserdruckgeber, Messbereich 200 kPa im Bohrlochtieftsten bzw. in einer als besonders wasserwegsam erachteten Sandlage zur Erfassung des Wasserstands im Dammkörper,
- 4 Temperatugeber zur Erfassung der Temperaturentwicklung in einer Teufenlage von -5,0 m u. GOK,
- sowie die Ausrüstung einer bereits existierenden Inklinometermessstelle aus den 1980er-Jahren mit einer Inklinometerkette aus 3 einaxialen Ketteninklinometergebern, Messbereich $\pm 10^\circ$.

Eine methodische Besonderheit stellt die Anwendung des sog. "fully-grouted"-Installationsverfahrens für die vier Schwingsaiten-Porenwasserdruckgeber dar, die mit dem Glasfaserstrang der Stangenextensometer in die Dämmer suspension der Ringraumverfüllung eingebettet wurden. Dieses Verfahren, mit dem international durchweg positive Erfahrungen vorliegen (siehe u.a. SIMEONIA et al, 2011), erlaubte die einfache und kosteneffektive Kombination von Verformungs- und Wasserstandsbeobachtung in nur einem einzigen Bohrloch.

2.3 Untersuchungsfeld „Braunjura-Einschnitt“

Der Einschnitt oberhalb der Grünbrücke „Aichelberg“ wurde ebenfalls im Zuge der Neutrassierung der Autobahntrasse Ende der 1980er-Jahre errichtet. Er schneidet sandflaserige Ton-/Schluffsteine und Sand- bis Kalksandsteine des Dogger β („Eisensandstein“) an. Der Einschnitt ist größtenteils frei geböschet, nur der untere Böschungsbereich ist durch Gitterwände und Anker gesichert.

Aus Inklinometer- und Ankerkraftmessungen ist bekannt, dass Kriech- sowie Rutscherscheinungen nicht abgeschlossen sind. Durch eine fortschreitende Destabilisierung der veränderlich festen Ton-/Schluffsteinlagen und eine Zunahme des Wasserangebotes ist mit einer Beschleunigung der Kriech- und Rutscherscheinungen zu rechnen.

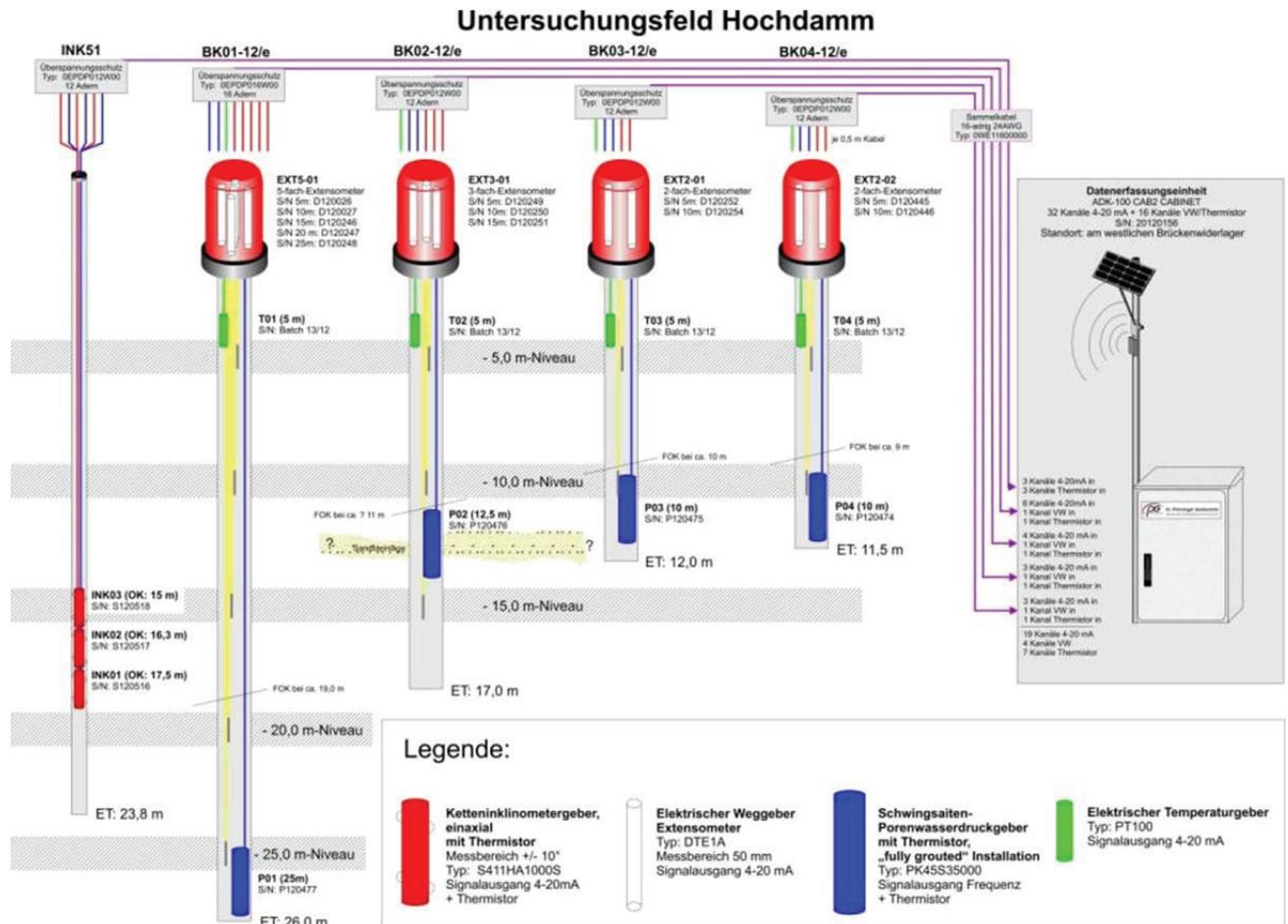


Abb. 2: Schematische Darstellung des Geosensor-Netzwerks im Bereich des Untersuchungsfelds „Hochdamm“.

Fig. 2: Schematic layout of the geosensor-network in the investigation area „High Dam“.



Im Untersuchungsfeld "Braunjura" sind die Messinstrumentierungen entlang von drei Messprofilen orientiert, die einen Abschnitt von rd. 250 m entlang der Raumgitterwand an der südwestlichen Böschungsseite des Einschnitts erfassen.

Bei der Konzeption der messtechnischen Instrumentierung wurde versucht, den Aufwand für zusätzliche Aufschlüsse und Instrumentierungen durch die Nachrüstung bereits vorhandener Messstellen weitgehend zu optimieren. Eine ursprünglich geplante Nachrüstung der für die Rückverhängung der Raumgitterwand installierten Litzenanker mit elektrischen Ankerkraftmessgebern ließ sich jedoch nicht mit technisch und finanziell vertretbarem Aufwand bewerkstelligen und wurde daher zugunsten anderer Instrumentierungen verworfen.

Zwei zusätzliche Kernbohrungen mit 29,5 m und 18 m Tiefe dienen zur Gewinnung frischen Probenmaterials für ingenieurgeologische Laboruntersuchungen, als auch gleichzeitig der Einrichtung von zwei zusätzlichen Porenwasserdruck-Messstellen.

Die messtechnische Instrumentierung im „Braunjura-Einschnitt“ umfasst:

- 3 Einaxiale Oberflächen-Neigungsgeber, Messbereich $\pm 10^\circ$ an der Oberkante dreier vertikaler Raumgitterwand-Streben,
- 2 wiedergewinnbare, elektrische Porenwasserdruckge-

ber, Messbereich 200 kPa, angedockt an in sandstein-führenden Niveaus eingebaute, spezielle Filterelemente,

- 2 Inklinometerketten aus je 3 einaxialen Ketteninklinometer-Gebern, Messbereich $\pm 10^\circ$ als Nachrüstung zweier bereits existierenden Inklinometermessstelle aus den 1980er-Jahren,
- 1 elektrischer Porenwasserdruckgeber, Messbereich 200 kPa, eingehängt in eine bestehende Pegelmessstelle.

2.4 Versuchsfeld „Weißjura“

Das Untersuchungsfeld „Weißjura“ befindet sich unmittelbar am sogenannten „Albtrauf“, dem nordwestlich ausgerichteten Steilabfall der Schwäbischen Alb, unweit der Ortschaft Drackenstein. Das morphologisch steile Gelände wird aus verkarsteten und geklüfteten Kalksteinen des Weißen Juras (Malm) gebildet. Die potenzielle Gefahr von Felsstürzen und Steinschlägen ist vergleichbar mit geologisch identischen Situationen im unmittelbaren Einflussbereich der bestehenden A8 zwischen den Anschlussstellen Mühlhausen und Hohenstadt. Mit steigendem Wasserdargebot sind erhöhte Erosionsraten sowie steigende Klufwasserdrücke zu erwarten, die insbesondere zu einer Destabilisierung der weniger festen mergelig-tonigen Schichten führen können.

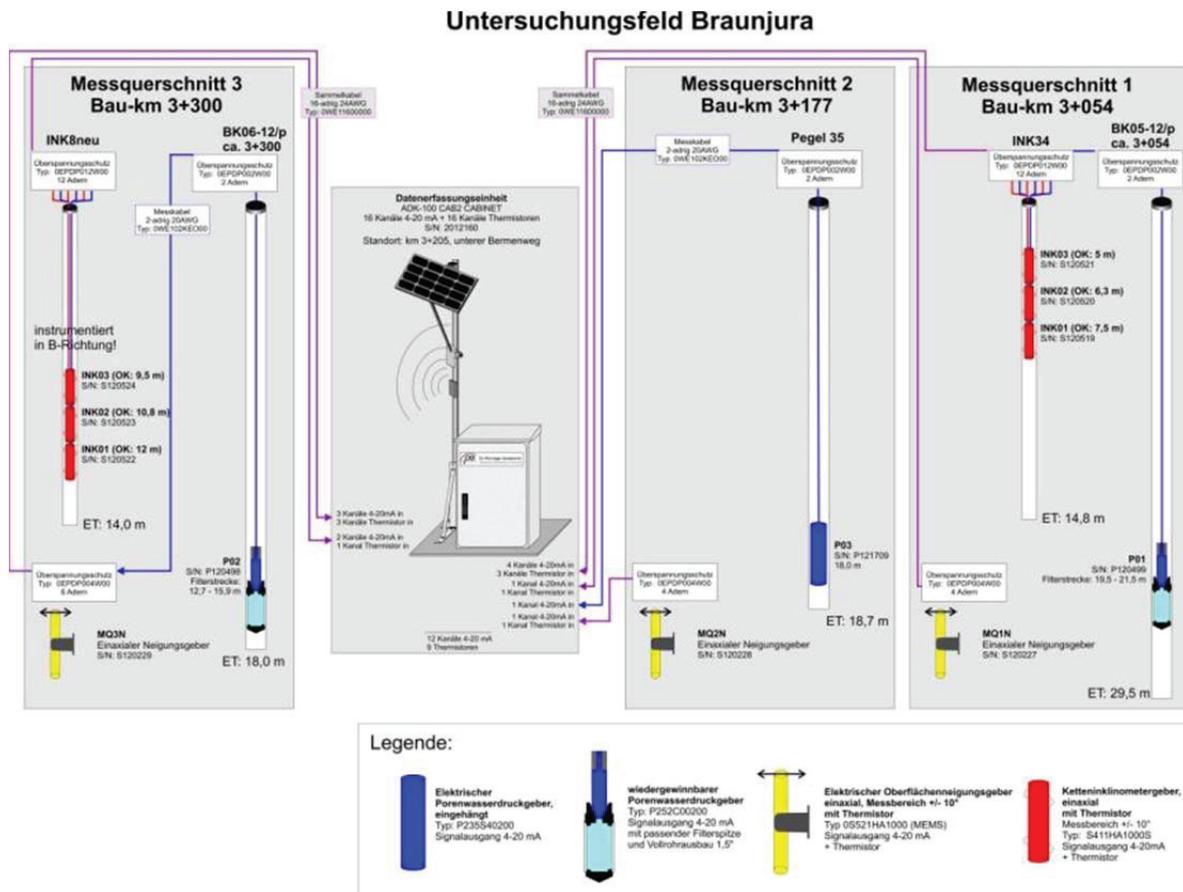


Abb. 3: Schematische Darstellung des Geosensor-Netzwerks im Bereich des Untersuchungsfelds „Braunjura-Einschnitt“.
Fig. 3: Schematic layout of the geosensor-network in the investigation area „Dogger Cut“.

Untersuchungsfeld Weißjura

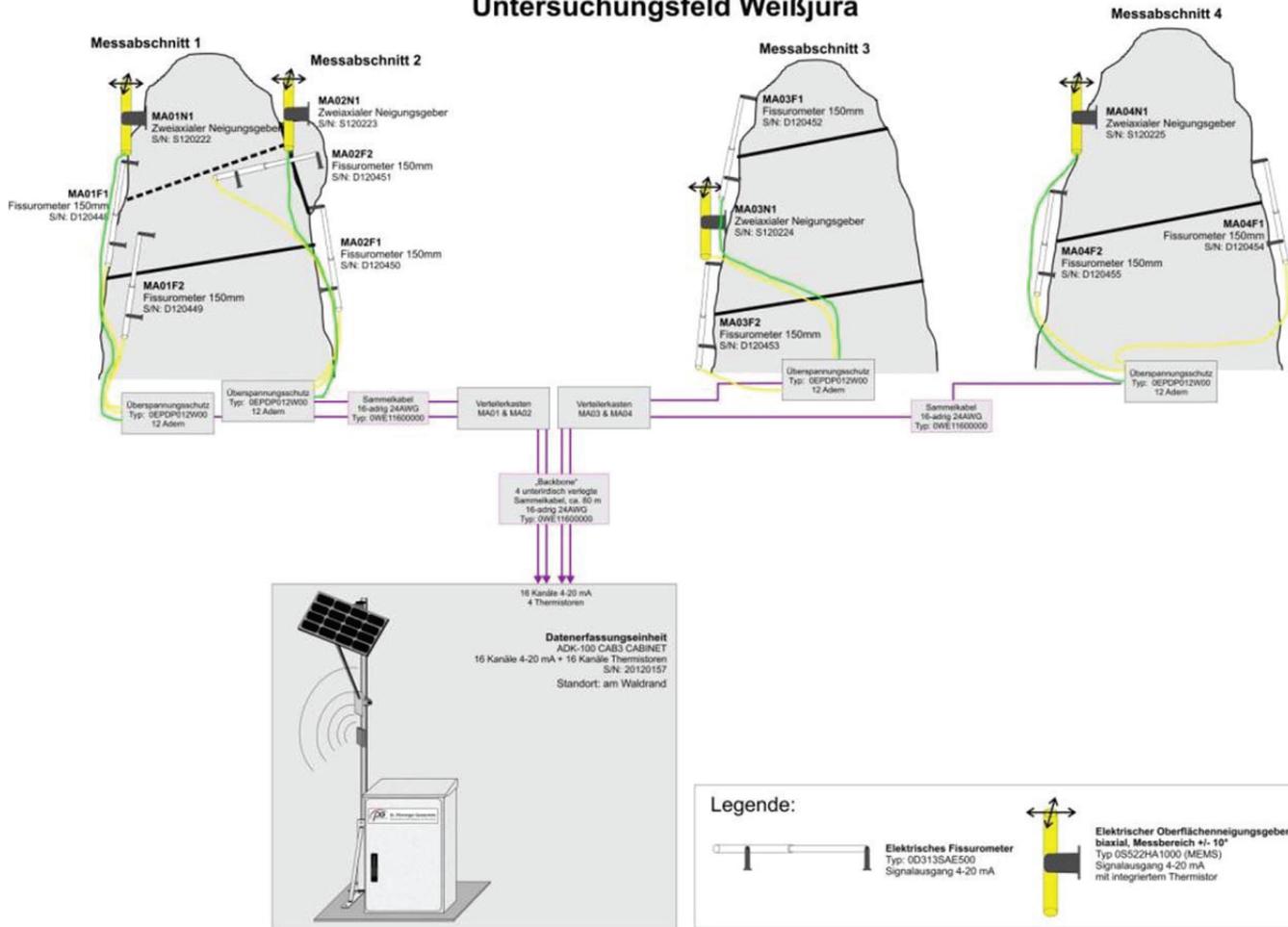


Abb. 4: Schematische Darstellung des Geosensor-Netzwerks im Bereich des Untersuchungsfelds „Weißjura-Felsen“.
 Fig. 4: Schematic layout of the geosensor-network in the investigation area „Malm Rock Towers“.

Im Untersuchungsfeld "Weißjura" werden in insgesamt vier Messabschnitten drei Felstürme überwacht. Die messtechnische Instrumentierung jedes dieser Messabschnitte umfasst:

- je 1 zweiachsigler Oberflächen-Neigungsgeber, Messbereich ± 10° zur Erfassung der Neigungsveränderung potenziell bereits vom Anstehenden gelöster Felskörper.
- sowie je 2 elektrische Kluftweitengeber mit 150 mm Messbereich zur Überwachung der Bewegungen entlang klaffender Kluftflächen.

Die Installationsarbeiten im Sommer 2012 gestalteten sich als deutlich aufwändiger und langwieriger als ursprünglich erwartet. Bereits im Zuge der Konzeption war erkannt worden, dass alle Installations- und Verkabelungsarbeiten in den steilen, z.T. senkrechten Wänden mit Seilsicherungen ausgeführt werden mussten. Bei den Installationsarbeiten zeigte sich aber zusätzlich, dass das Befestigen der Kluftweiten- und Neigungsgeber in den heterogenen Riffschutt-kalken durch das ständige Ausbrechen der Bohrlöcher stark erschwert wurde.

Schließlich musste im Herbst 2012 fast die gesamte Datensammel- und Messverkabelung mit einer Länge von rd. 1 km aufgrund Nagerverbiss ausgetauscht werden. Die

Neuverlegung der Messkabel erfolgte daraufhin vollständig in Panzerschutzrohren entlang zwischen Bäumen gespannter Aufhängedrähte.

3 Datenerfassung und -visualisierung

3.1 Autarke Datenerfassungsstationen

Alle Messdaten eines Untersuchungsfeldes laufen jeweils in einer zentralen Datenerfassungseinheit vom Typ SIGGEO ADK-100 auf (Abb. 5) und werden dort - unabhängig von der weiteren Verarbeitung - zunächst auf einem internen 4 MB Flash-Memory gespeichert.

Die Stromversorgung erfolgt bei allen drei Stationen mittels 100W-Solarpaneele, die eine 12V-Pufferbatterie mit einer Kapazität von 100 Ah aufladen. Die Temperatur in der Einhausung sowie der Spannungszustand der Batterie werden mitgeloggt und erlauben eine ständige Überwachung dieser technischen Parameter. Die bis dato aufgezeichneten Daten bestätigen, dass mit dieser Auslegung und bei den derzeit gefahrenen Abtastraten von 2 Abtastung pro Stunde selbst bei schlechtesten Witterungsverhältnissen und Schneefall eine dauerhafte autarke Stromversorgung sichergestellt werden kann.



Abb. 5: Autarke Datenerfassungsstation. Erkennbar der GFK-Schrank für Loggereinheit, Laderegler und Pufferakku sowie der 3,0 m hohe Mast mit Solarpaneel und GSM-Antenne.

Fig. 5: Data acquisition unit. The unit consists of a glassfibre cabinet housing the logger, power supply and battery and a 3.0 m high steel pole carrying solar panel and GSM antenna.

3.2 Datenverwaltung und -zugang

Für die Konfiguration der Datenerfassungsanlagen sowie den Datenaustausch und deren Visualisierung wird die im Rahmen des BMBF-Projekts alpEWAS (Forschungs- und Entwicklungsprogramm GEOTECHNOLOGIEN, siehe THURO et al, 2010) entwickelte Software eingesetzt.

Die Datenerfassungsstationen übermitteln die gespeicherten Rohdaten in regelmäßigen Abständen (derzeit alle 24 h) via FTP auf einen Webserver. Dort werden die Daten von der „alpEWAS-Control“ Software sofort auf Plausibilität geprüft und – sofern notwendig – weitere Prozessierungsschritte, wie z.B. die Umrechnung der Rohdaten (z.B. Stromstärke) in verwertbare Messwerte (z.B. Wasserdruck, Deformation etc.) vorgenommen. Sowohl die erfassten Rohdaten als auch die prozessierten Messwerte werden anschließend in einer SQL-Datenbank gespeichert, die einen sofortigen Online-Zugriff auf die Daten ermöglicht.

Die „alpEWAS-Contol“ Software bietet des Weiteren Funktionen für die passive (Überprüfung der einlaufenden Daten) und aktive (direkte Ansteuerung und Statusabfrage der Datenerfassungseinheiten und Infrastrukturelemente) Statusüberwachung des gesamten Geosensornetzwerkes, so dass Systemausfälle schnell erkannt und diagnostiziert werden können. Mit Hilfe der flexiblen Schwellwertüberwachung (Einzelwerte, Wert-Kombinationen, Trends etc.) und der individuell konfigurierbaren Status- und Alarm-Services informiert das System sofort via SMS oder Email über ungewöhnliche Messwerte und Systemzustände.

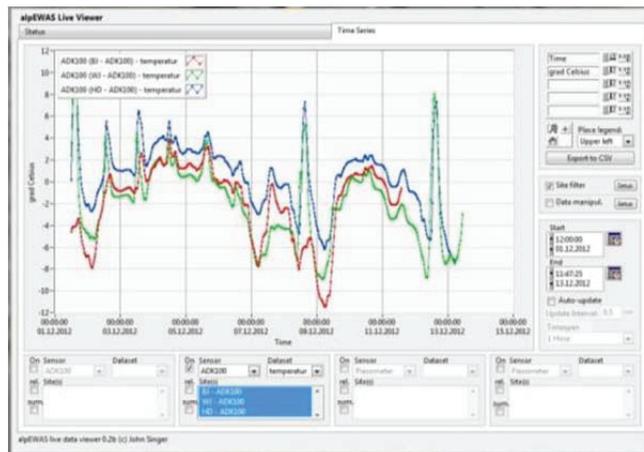


Abb. 6: Screenshot der alpEWAS-Viewer Software für die flexible Visualisierung der Daten des Geosensornetzwerkes.

Fig. 6: Screenshot of the alpEWAS-Viewer Software for the visualization of the data of the Geosensor network.

Die Visualisierung der Daten in individuell konfigurierbaren Zeitreihen erfolgt über die „alpEWAS-Viewer“ Software, die direkt auf die SQL Datenbank zugreift und so dem Nutzer stets den aktuellsten Datenstand zur Verfügung stellt.

4 Ausblick

Mit dem Abschluss der Installationsarbeiten und der erfolgreichen Inbetriebnahme der drei Geosensor-Netzwerke im Dezember 2012 sind die grundlegenden Arbeiten für das Teilprojekt „Geomonitoring“ abgeschlossen. Der Betrieb der Untersuchungsfelder sowie die Interpretation und Korrelation der gewonnenen Messdaten soll bis Ende 2014 durchgeführt werden.

Literatur

SCHERBECK, M., ALBER, M., STEINRÜCKE, M., BRODBECK, M. & PLINNINGER, R. (2013): BMBF-Forschungsprojekt GeoKlimB – Teil 1: Erfassen, Bewerten und Verfolgen von Georisiken als Folge des sich verändernden Klimas.

SIMEONIA, L., DE POLO, F., CALONI, G. & PEZZETTI, G. (2011): Field performance of fully grouted piezometers.- Proceedings of the FMGM Congress, 2011, Berlin

THURO, K., SINGER, J., FESTL, J., WUNDERLICH, TH., WASMEIER, P., REITH, CH., HEUNECKE, O., GLABSCH, J., SCHUHBÄCK, S. (2010): New landslide monitoring techniques – developments and experiences of the alpEWAS project. – Journal of Applied Geodesy 4: 69-90.