

BMBF-Forschungsprojekt GeoKlimB – Messtechnische Ausleitung und Betrieb dreier Geosensor-Felder am Albaufstieg der BAB A8

Ralf J. Plinninger

PG - Dr. Plinninger Geotechnik, Bernried, Deutschland

Michael Alber

Ruhr-Universität Bochum, Bochum, Deutschland

Martin Brodbeck

Sachgebiet Straßenbau und Geotechnik, Regierungspräsidium Stuttgart, Stuttgart, Deutschland

John Singer

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, Zürich, Schweiz

Martin Scherbeck

Ruhr-Universität Bochum, Bochum, Deutschland

Zusammenfassung

Im Rahmen des BMBF-Forschungsprojekts „GeoKlimB“ wurden im Jahr 2012 Geosensor-Netzwerke in drei ausgewählten und charakteristischen Untersuchungsfeldern ("Hochdamm", "Braunjura-Einschnitt" und "Weißjurafelsen") im Bereich des Albaufstiegs 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 Grundwassermustern. 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.

1. Einleitung: Zielsetzung des GeoKlimB-Projekts

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 Verstärkung 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 Grundwasserbeziehungen abgeschätzt werden und deren Auswirkungen auf Georisiken durch geowissenschaftliche Methoden aus dem Bereich der Ingenieurgeologie, Hydrogeologie und Klimatologie prognostiziert werden.

Zur Validierung wurden drei repräsentative Untersuchungsfelder im Bereich des Albaufstieges 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.

2. Teilprojekte und beteiligte Fachdisziplinen

2.1 Projektleitung

Die Ruhr-Universität Bochum mit der Arbeitsgruppe Ingenieurgeologie/Felsbau (Prof. Dr.-Ing. Alber) führt die Projektleitung im Gesamtprojekt "16V0114 - VIP0087 Integrative Dienstleistung: Erfassung, Bewertung und Monitoring von Georisiken als Folge sich verändernder klimatischer Beobachtungen (GeoKlimB)" aus. Die Projektmitarbeiter der RUB bearbeiten darüber hinaus im Rahmen des Teilprojekts „Ingenieurgeologie“ aber auch eigene Forschungsarbeiten mit ingenieurgeologisch-felsmechanischen Themen schwerpunkten.

2.2 Teilprojekt „Ingenieurgeologie“

Zur Erfassung der Gesteins- und Gebirgseigenschaften und Abschätzung klimabedingter Materialveränderungen werden im Rahmen des Teilprojekts „Ingenieurgeologie“ ingenieurgeologische Feld- und Laborversuche u.a. zur mineralogischen Zusammensetzung, Festigkeit und Veränderlichkeit von Locker- und Festgesteinproben durchgeführt. Diese Ergebnisse werden mit den Ergebnissen der anderen Teilprojekte zusammengeführt.

2.3 Teilprojekt „Klimamodellierung/-monitoring“

Die Aufgaben dieses Teilprojektes umfassen die Auswertung vorhandener Klimadaten, den Aufbau und Betrieb von Klimastationen in den Untersuchungsgebieten und Auswertung regionaler Klimaszenarien bis 2050. Dieses Teilprojekt wird durch die Arbeitsgruppe Klimaforschung des Geographischen Instituts der Ruhr-Universität Bochum bearbeitet.

2.4 Teilprojekt „Grundwassermodellierung“

Zu den Aufgaben dieses Teilprojektes gehört die Modellierung der Grundwassersituation in den Untersuchungsbereichen auf Basis der ausgewerteten Klimaszenarien bis 2050. Hierzu wird ein bereits bestehendes Grundwassermodell über neu berechneten Grundwasserneubildungsraten (Schmittstelle Klimatologie/Hydrogeologie) angepasst. Ziel ist die zuverlässige Prognose von Grundwasserganglinien.

Zur Anpassung/Kalibrierung des Grundwassersmodells werden aktuell Daten aus dem Geomonitoring (Porenwasserdrukmessstellen) sowie historischen Grundwasseraufzeichnungen aufbereitet zusammen mit geol. Profilinformationen, in das Modell eingepflegt. Des Weiteren wird eine Neumodellierung ausgewählter Untersuchungsbereiche in Form sog. Prinzip-Modelle durchgeführt, die zum besseren Systemverständnis beitragen sollen.

2.5 Teilprojekt „Geomonitoring“

Das Teilprojekt "Geomonitoring" wird durch die Fa. Dr. Plinninger Geotechnik bearbeitet. Die Leistungen umfassen die Konzipierung, Einrichtung und dem Betrieb dreier Sensorsetzwerke und den Erfahrungsaustausch mit den Projekt-partnern. Das Leistungspaket enthält unter anderem auch die Ausschreibung, Vergabe, Betreuung und Abrechnung der Bohrarbeiten in den Untersuchungsfeldern "Hochdamm" und "Braunjura-Einschnitt", die als Nachunternehmerleistung erbracht wurden.

3. Überblick über die Versuchsfelder

Die drei Untersuchungsfelder liegen an der Bundesautobahn A8 zwischen den Autobahnanschlussstellen Aichelberg und Hohenstadt und decken damit den morphologisch bedeutsamsten Teil des sog. „Albaufstiegs“ ab (Bild 1).

Jedes der Untersuchungsfelder repräsentiert dabei unterschiedliche geologische Verhältnisse, bautechnische Situationen und Herangehensweisen:

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

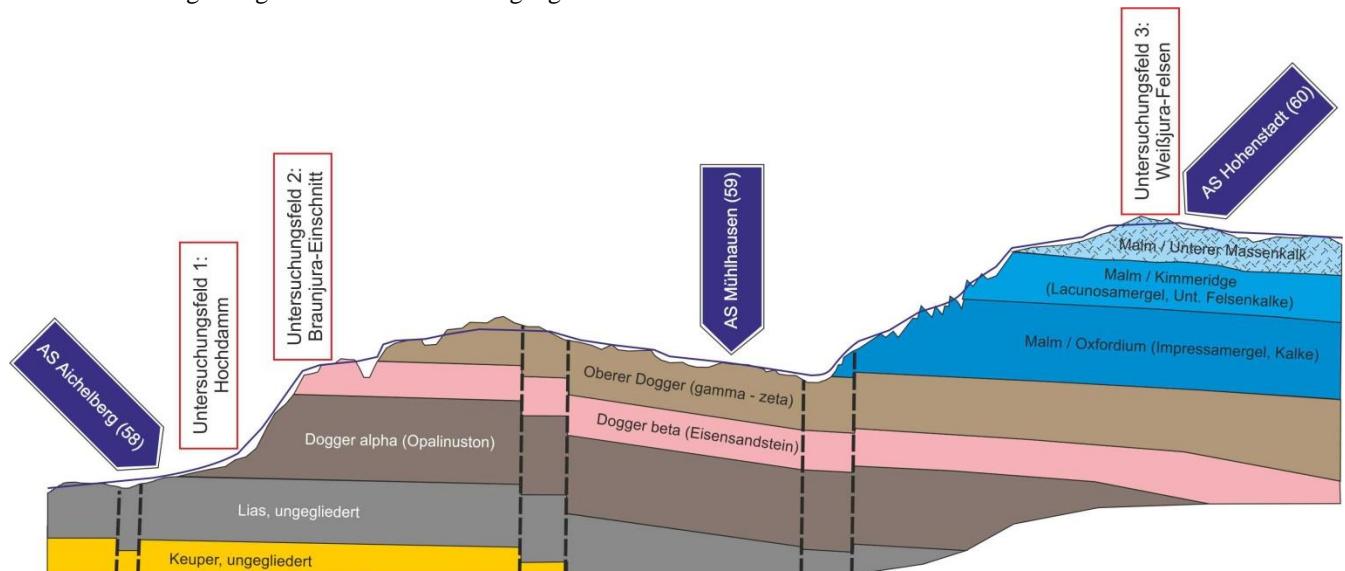


Bild 1: Schematischer geologischer Schnitt entlang der Trasse der BAB A8 (blaue Linie) zwischen den Anschlussstellen (AS) Aichelberg und Hohenstadt mit Lage der Untersuchungsbereiche (umgezeichnet nach Vorlage des RP Stuttgart)..

4. Untersuchungsfeld „Hochdamm“

Der sog. „Hochdamm“ unmittelbar östlich der Anschlussstelle Aichelberg wurde beim Neubau der Autobahntrasse in den 1980er-Jahren aus z.T. veränderlich festem Schüttmaterial errichtet, das im weiter südöstlich liegenden Einschnittsbereich (siehe Absatz 5) anfiel. Zum Zeitpunkt der Errichtung handelte es sich um eines der höchsten Bauwerke dieser Art in Europa.

Aus Setzungs- und Inklinometermessungen der bisherigen Betriebszeit war zu erwarten, dass die Verformungen nicht abgeschlossen sind. Eine Zunahme der Verformungen ist mit fortschreitendem Zerfall des Schüttmaterials sowie durch ein steigendes Wasserdargebot zu befürchten.

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 dienten 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 Bohrlochtiefsten bzw. in einer als besonders wasserwegsam erachteten, dünnen Sandsteinlage im Opalinuston zur Erfassung des Wasserstands im Dammkörper,
- 4 Temperaturgeber zur Erfassung der Temperaturrentwicklung in einer Teufenlage von -5,0 m u. GOK,
- sowie die Ausrüstung einer bereits existierenden Inklinometermessstelle aus den 1990er-Jahren mit einer Inklinometerkette aus 3 einaxialen Ketteninklinometer-Geben, 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 Dämmersuspension 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.

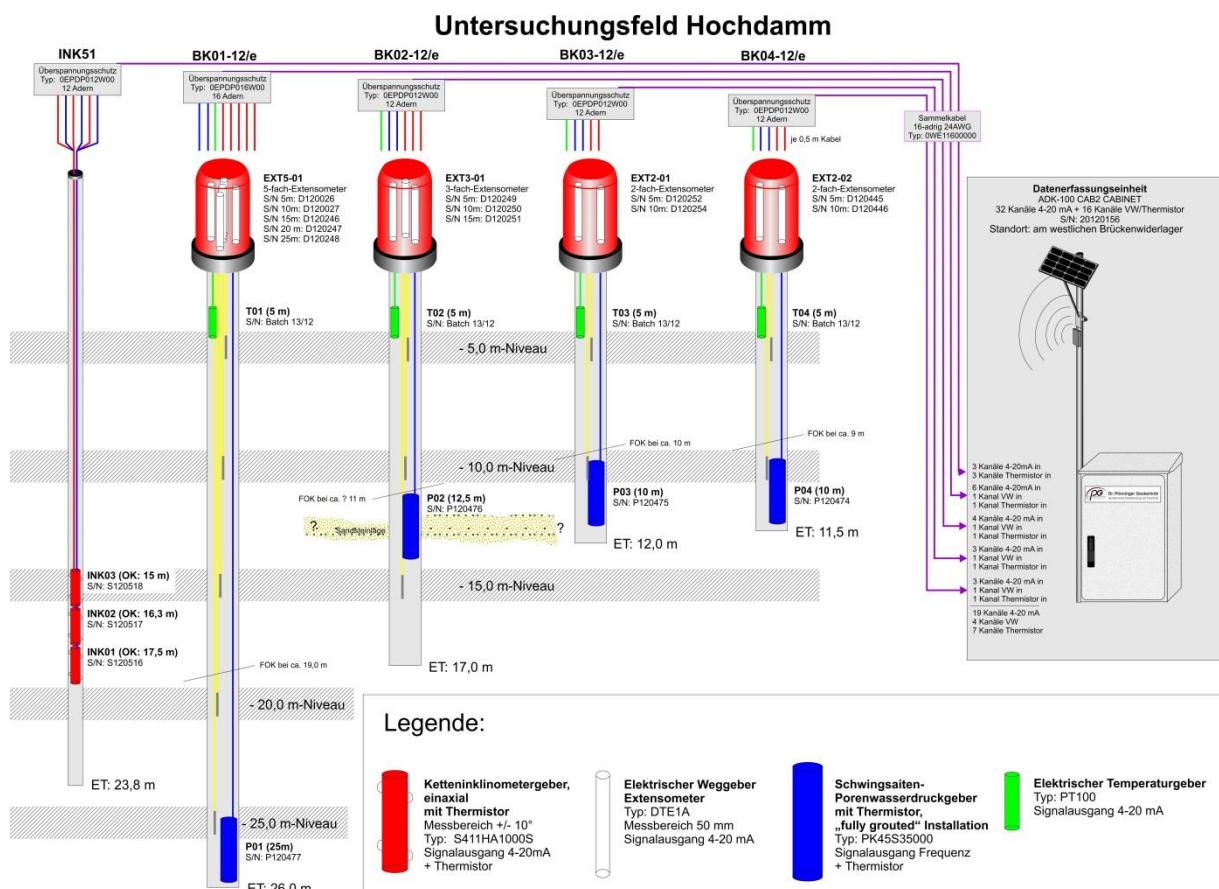


Bild 2: Schematische Darstellung des Geosensor-Netzwerks im Bereich des Untersuchungsfelds „Hochdamm“.

5. Untersuchungsfeld „Braunjura-Einschnitt“

Der Einschnitt oberhalb der Grünbrücke „Aichelberg“ wurde ebenfalls im Zuge der Neutrassierung der Autobahntrasse Ende der 1980er-Jahren errichtet. Er schneidet sandflaserige Ton-/Schluffsteine und Sand- bis Kalksandsteine des Dogger β („Eisensandstein“) an. Der Einschnitt ist größtenteils frei geböscht, 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 Wasserdargebotes ist mit einer Beschleunigung der Kriech- und Rutscherscheinungen zu rechnen.

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 Instrumentie-

rungen verworfen.

Zwei zusätzliche Kernbohrungen mit 29,5 m und 18 m Tiefe dienten 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 Porenwasserdruckgeber, Messbereich 200 kPa, angedockt an in sandsteinführenden Niveaus eingebaute, spezielle Filterelemente,
- 2 Inklinometerketten aus je 3 einaxialen Ketteninklinometer-Geben, 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.

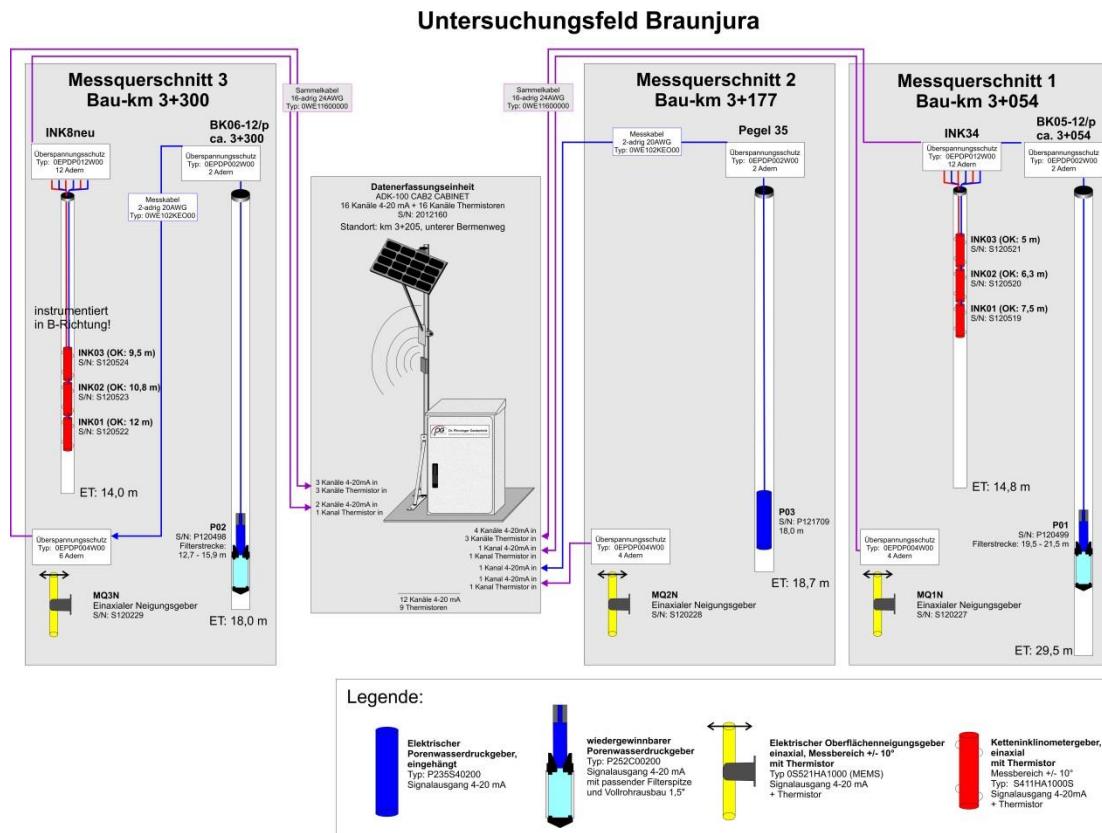


Bild 3: Schematische Darstellung des Geosensor-Netzwerks im Bereich des Untersuchungsfelds „Braunjura-Einschnitt“.

6. 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 potentielle 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 ggf. häufigeres Auftreten von Kluftwasserschub zu erwarten, die insbesondere zu einer Destabilisierung der weniger festen mergelig-tonigen Schichten führen können.

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

- je 1 zweiaxialer Oberflächen-Neigungsgeber,

Messbereich $\pm 10^\circ$ 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 Riffenschuttkalke 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.

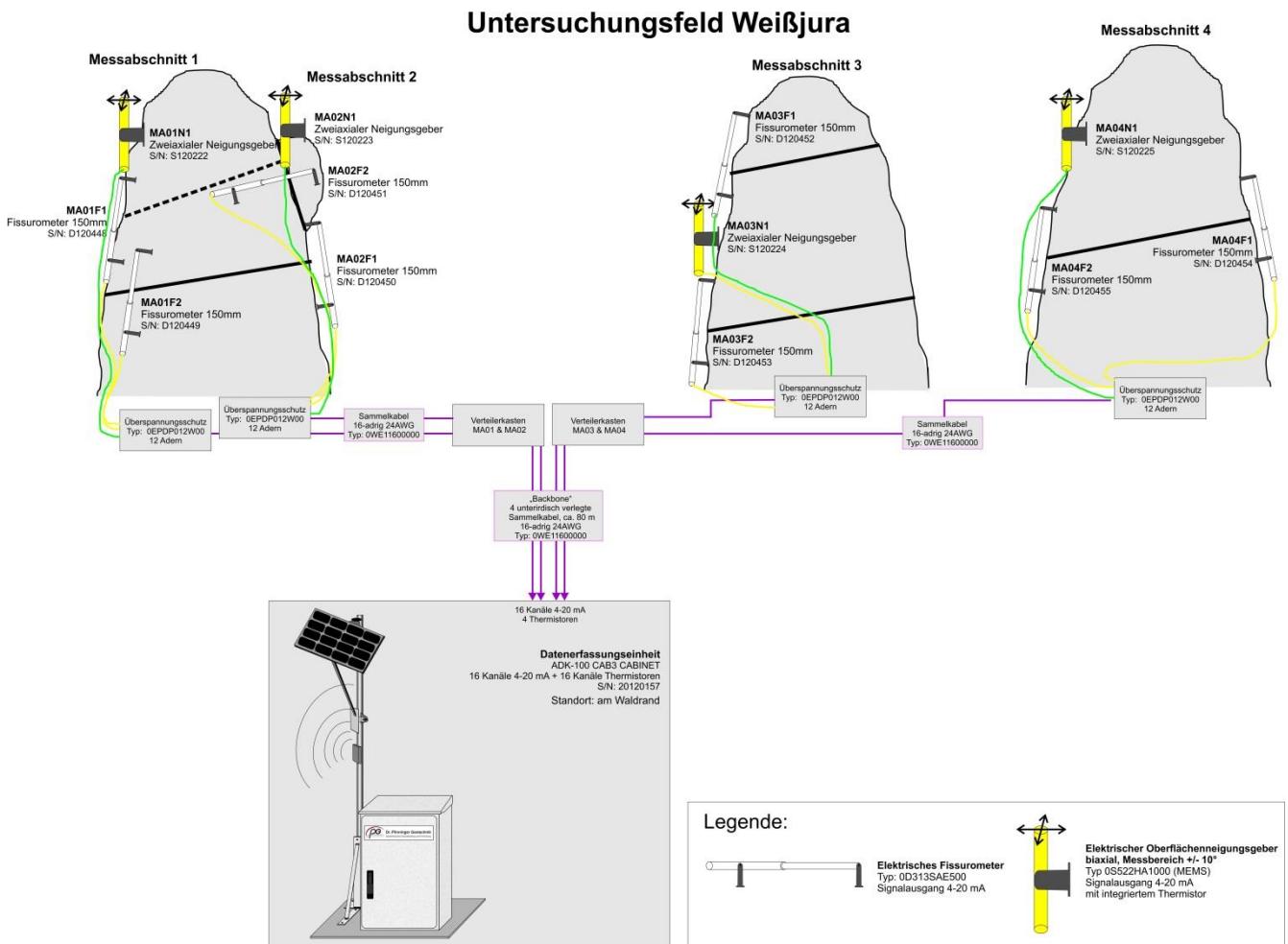


Bild 4: Schematische Darstellung des Geosensor-Netzwerks im Bereich des Untersuchungsfelds „Weißjura-Felsen“.

7. Datenerfassung, -visualisierung und -auswertung

7.1 Datenerfassung

Alle 77 Sensoren der drei Messfelder werden derzeit in halbstündigem Messintervallen abgerufen. Die Messdaten eines Untersuchungsfeldes laufen jeweils in einer zentralen Datenerfassungseinheit vom Typ SISGEO ADK-100 auf (Bild 5) und werden dort - unabhängig von der weiteren Verarbeitung - zunächst auf einem internen 4 MB Flash-Memory gespeichert.



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

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, der Spannungszustand der Batterie sowie die Qualität der DFÜ-Verbindung werden mitgelogggt und erlauben eine ständige Überwachung dieser technischen Parameter.

Die in der Winterperiode 2012/2013 aufgezeichneten Daten bestätigen mittlerweile, dass mit dieser Auslegung bei der derzeit gefahrenen Abtastrate selbst bei schlechtesten Witterungsverhältnissen, Schneefall und Schneedeckung eine dauerhafte autarke Stromversorgung sichergestellt werden kann.

Die Auswertung der Messdatenverfügbarkeit zum 01.10.2013 zeigt eine Datenverfügbarkeit von mehr als 99 % an den Loggereinheiten. Die aufgetretenen Datenverluste sind vorwiegend auf die recht frühzeitig

aufgetretenen Schäden an den Messkabeln im Messfeld „Weißenjura“ (siehe Absatz 6) sowie einzelne Verluste bei Problemen mit der Datenfernübertragung via GSM-Modem zurückzuführen.

Unter Berücksichtigung fehlerhafter Messdaten (sog. „fault data“) beträgt der Datenverlust aktuell rd. 15 %. (d.h. 85 % plausible Daten). Diese Messfehler sind im Wesentlichen die Folge von Wassereintritten in die Umschaltkästen, die im Frühjahr 2012 in den Unterflurmessstellen des Versuchsfeldes „Hochdamm“ auftraten, aber auch Einzelproblemen, wie gelockerten Fissurometer-Bolzen im Feld „Weißenjura“.

7.2 Datenvisualisierung

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.

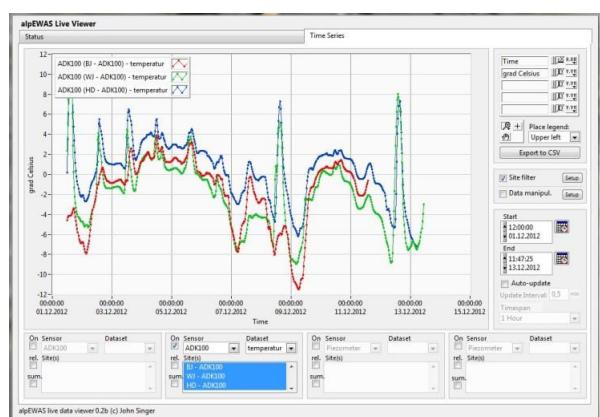


Bild 6: Screenshot der alpEWAS-Viewer Software für die flexible Visualisierung der Daten des Geosensornetzwerkes.

Die „alpEWAS-Control“ 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.

Die Visualisierung der Daten in individuell konfigurierbaren Zeitreihen erfolgt über die „alpEWAS-Viewer“ Software (Bild 6), die direkt auf die SQL Datenbank zugreift und so dem Nutzer stets den aktuellsten Datenstand zur Verfügung stellt.

7.3. Datenauswertung

Die Aufbereitung und Auswertung der gewonnenen Messdaten an der RUB umfasst insbesondere:

- Manuelle und automatische Identifizierung und Tilgung von Messdatenausreißern und Artefakten;
- Datenkorrektur und -interpolation im Bereich von Messlücken;
- Frequenzanalysen unter Verwendung von Fast Fourier-Transformationen;
- Tiefpassfilterung der Daten mit $9,9 \mu\text{Hz}$ cut-off-Frequenz bzw. einer Periode von 28 h;
- Messdatenglättung und Berechnung von Mittelwerten, Tagessummen, Relativveränderungen und Differenzquotienten.

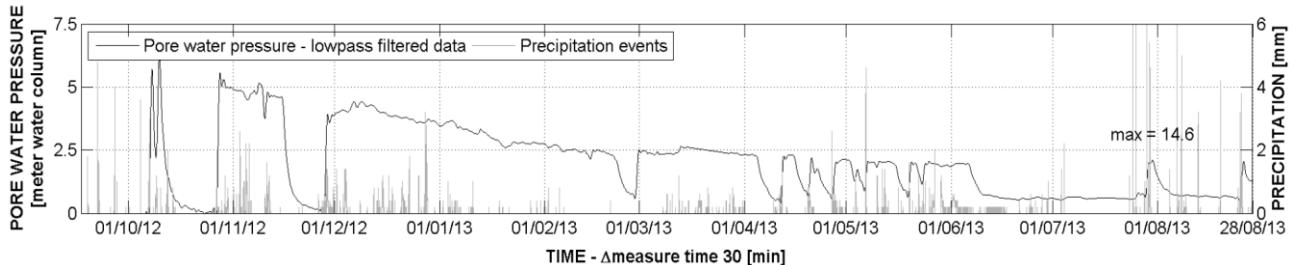


Bild 7: Beispiel für die Korrelation von Niederschlagseintrag (Graph) und Porenwasserdruck (Balken) im Untersuchungsbereich „Hochdamm“.

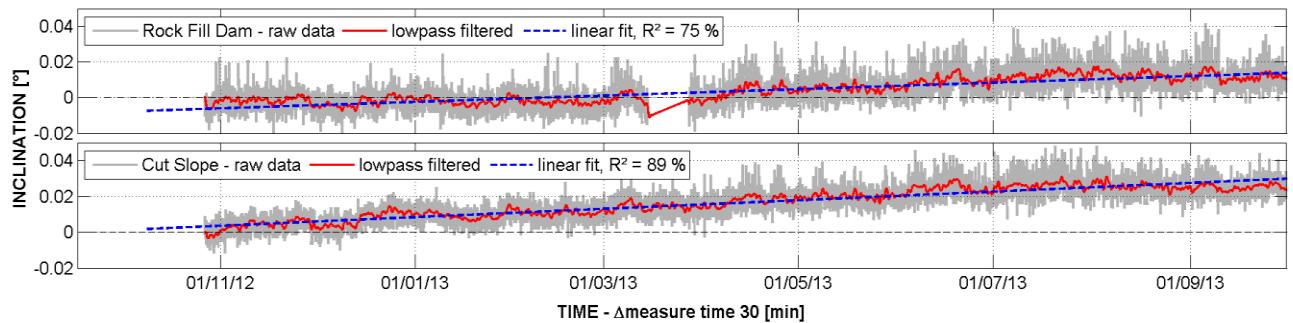


Bild 8: Beispiel für Ganglinien der Neigungsveränderung in zweier ausgewählter, im Hochdamm und Bruanjura-Einschnitt installierter Ketteninklinometer-Geber.

8. Erste Untersuchungsergebnisse

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.

Die Auswertung der Messdaten und die Korrelation verschiedenster Datensätze ist bis dato nicht abgeschlossen und wird in Anbetracht der geringen Dynamik der Boden-, Fels- bzw. Bauwerksveränderungen in den Untersuchungsfeldern auch die Gesamtaufdauer des Projekts erfordern.

Auch in den anderen Teilprojekten sind die grundlegenden Arbeiten abgeschlossen, sodass bei einem Statusmeeting im Sommer 2013 bereits erste Teilergebnisse vorgelegt werden konnten.

Erste Auswertungen und Korrelationen, wie die in Bild 7 beispielhaft dargestellte Gegenüberstellung von Niederschlag und Porenwasserdruck im Untersuchungsbereich „Hochdamm“ oder die in Bild 8 dargestellten Trendlinien für zwei Inclinometergeber in verschiedenen Untersuchungsfeldern und -teufen

9. Ausblick

Die bisher gesammelten Daten lassen einen schlussendlichen Befund zu den klimatisch-hydrogeologisch-geotechnischen Regelkreisläufen in den drei Untersuchungsfeldern noch nicht zu. Dennoch stimmen erste Teilergebnisse optimistisch, dass zumindest für Teilbereiche und Teilvorgänge spezifische Abhängigkeiten erkannt und mithilfe der erhobenen Messdaten quantifiziert werden können.

Derartige Positiv- und Negativerfahrungen sollen schließlich Eingang in eine Handlungsempfehlung zur Herangehensweise bei ähnlich gelagerten Georisiko-Betrachtungen finden.

Literatur

- SCHERBECK, M., ALBER, M., STEINRÜCKE, M., BRODBECK, M. & PLINNINGER, R.J. (2013): BMBF-Forschungsprojekt GeoKlimB – Teil 1: Erfassen, Bewerten und Verfolgen von Georisiken als Folge des sich verändernden Klimas.- in: Thuro, K. (Hrsg., 2013): Veröffentlichungen der 19. Tagung für Ingenieurgeologie und des Forums für junge Ingenieurgeologen, München, 13. - 15. März 2013: S. 199-205, München 2013.
- PLINNINGER, R.J., ALBER, M., BRODBECK, M., SINGER, J. & SCHERBECK, M. (2013): BMBF-Forschungsprojekt GeoKlimB – Teil 2: Einrichtung und Betrieb dreier Geosensor-Felder am Albaufstieg der BAB A8.- in: Thuro, K. (Hrsg., 2013): Veröffentlichungen der 19. Tagung für Ingenieurgeologie und des Forums für junge Ingenieurgeologen, München, 13. - 15. März 2013: S. 207-212, München 2013.
- 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.