

# BMBF-Forschungsprojekt GeoKlimB – Teil 1: Erfassen, Bewerten und Verfolgen von Georisiken als Folge des sich verändernden Klimas

BMBF-Research Project GeoKlimB – Part 1: Realize, evaluate and monitoring of georisks in consequence of climatic change

Martin Scherbeck<sup>1</sup>, Michael Alber<sup>2</sup>, Monika Steinrücke<sup>3</sup>, Martin Brodbeck<sup>4</sup>, Ralf Plinninger<sup>5</sup>

<sup>1</sup> M. Sc Martin Scherbeck, AG Ingenieurgeologie / Felsbau, Ruhr-Universität Bochum, Deutschland, martin.scherbeck@rub.de

<sup>2</sup> Prof. Dr.-Ing. Michael Alber, AG Ingenieurgeologie / Felsbau, Ruhr-Universität Bochum, Deutschland

<sup>3</sup> Dipl.-Geogr. Dr.rer.nat., Monika Steinrücke, AG Klimatologie, Ruhr-Universität Bochum, Deutschland

<sup>4</sup> Dipl.-Geol. Dr.rer.nat., Martin Brodbeck, Sachgebiet Straßenbau und Geotechnik, Regierungspräsidium Stuttgart, Deutschland

<sup>5</sup> Dipl.-Geol. Dr.rer.nat., Ralf J. Plinninger, Dr. Plinninger Geotechnik, Bernried, Deutschland

## Zusammenfassung

Bei dem vom BMBF geförderten Projekt GeoKlimB handelt es sich um einen interdisziplinären Ansatz zur Erfassung, Bewertung und Verfolgung von Georisiken als Folge von Klimaveränderungen. Ziel ist die Prognose von Georisiken in drei ausgewählten Untersuchungsgebieten der „Schwäbischen Alb“. Bisherige Ergebnisse scheinen zu bestätigen, dass zukünftig mit einer klima-bedingten Zunahme von Georisiken zu rechnen ist. In zwei Untersuchungsgebieten konnten für die dort anstehenden Ton-/Schluffsteine geringe Festigkeiten dokumentiert werden. Unter Versuchsbedingungen weisen diese eine irreversible Schwächung des Materialgefüges bei Wasser-Gehaltsänderungen auf, wie sie bei veränderten Niederschlags- und Grundwasserverhältnissen zu erwarten sind. Die Auswertung von historischen Klimadaten bestätigt den allgemeinen Trend eines Anstieges von extremen Niederschlagsereignissen. Erste Ergebnisse des Geomonitorings zeigen einen Zusammenhang zwischen Verformungszunahme und Änderung des Wasserdargebotes auf.

**Schlüsselworte:** Georisiken, Klimawandel

## Abstract

In the context of the BMBF sponsored project GeoKlimB, an interdisciplinary approach is validated by realize, evaluate and monitoring of georisks as a result of changing climatic observations. The stability of natural slopes and existing earth structures, such as embankments and cuts will be affected by the changing of precipitation and groundwater conditions. The study is located along the A8 motorway between exits Aichelberg and Hohenstadt „Schwäbische Alb“. The aim of this project is a forecast of georisks of the research areas. The results that have been contributed by the subprojctes appear to confirm future increase of climate-related georisks. Up to now, geotechnical-geological parameters of the exposed mud- and siltstones confirm limited strength. Under experimental conditions, changes in the storage in water lead to irreversible weakening of material structure, as expected by changes in precipitation and groundwater conditions. Evaluation of historical-regional climate data verify the trend of an increase in extrem rainfall events. Initial results based on geomonitoring, indicate an association between vertical deformations and changes in water yield.

**Keywords:** Georisks, Climatic change

### 1 Einleitung Gesamtprojekt GeoKlimB

Georisiken in Form von Massen- bzw. Hangbewegungen in natürlichen und künstlichen Böschungen, Dämmen und Einschnitten treten weltweit auf und sind i.d.R. an Regionen mit einem entsprechenden Relief gekoppelt. Hierzu gehören in Deutschland die Mittel- und Hochgebirgsregionen. Georisiken treten mit unterschiedlichen Wahrscheinlichkeiten auf und können je nach ihrer Beschaffenheit und Lage das Leben von Menschen schaden sowie zu einem erheblichen Sachschaden führen.

Die Entstehung von Massenbewegungen wird durch eine Vielzahl von Faktoren gesteuert. Geologisch kurzfristige Prozesse, wie der Klimawandel, haben bereits jetzt schon dazu geführt, dass Platzregen, Überschwemmungen und

andere hydrologische Ausnahme-Ereignisse in den letzten 10 Jahren stark zugenommen haben. Mittel- und langfristige Trends lassen eine weitere Verstärkung dieser Ereignisse erwarten. Die am Klimawandel gekoppelte Änderung im Niederschlagsverhalten führt zu einer Änderung des Wasserdargebotes und besitzt somit das Potenzial, das Hang- oder Böschungsgleichgewicht ungünstig zu beeinflussen.

Um zukünftige Georisiken als Folge des sich verändernden Klimas prognostizieren zu können, sind geowissenschaftliche Erkenntnisse aus dem Bereich der Ingenieurgeologie, Hydrogeologie und Klimatologie notwendig.

Im Rahmen des vom BMBF geförderten Forschungsvorhabens GeoKlimB soll eine interdisziplinäre Herangehensweise zur Erfassung, Bewertung und Verfolgung (Monitoring)



von Georisiken, als Folge des sich verändernden Klimas, in einem Demonstrationsprojekt validiert werden. Zur Validierung wurde die Region „Mittlere Schwäbische Alb“ ausgewählt. Diese Region ist durch ihr starkes Relief, rutschanfällige Schichtglieder sowie zahlreiche aktive Massenbewegungen bekannt.

Auf Basis modellierter Klimaszenarien für die nächsten Dekaden können veränderte Niederschlags- und Grundwasserhältnisse prognostiziert werden. Deren Auswirkungen auf Georisiken können durch geotechnisch-geologische Überlegungen und Versuche herausgearbeitet werden. Eine Erfassung/Prognose von Georisiken ist somit möglich.

Zur Evaluierung der o.g. Prognosen sowie zum Monitoring wurde in jedem Untersuchungsgebiet ein Geosensor-Netzwerk aufgebaut, siehe PLINNINGER et al. (2013, dieser Band). Nachfolgend werden die Untersuchungsbereiche und die ersten Ergebnisse der Teilprojekte vorgestellt.

## 2 Beschreibung der Untersuchungsgebiete

Gegenstand des Forschungsvorhabens sind drei Untersuchungsgebiete, im Bereich des Alaufstieges, an der Bundesautobahn 8, Karlsruhe-München (Abb. 1).

Die Gebiete befinden sich im Süden von Baden-Württemberg, am Nordrand der „Mittleren Schwäbischen Alb“. Die Untersuchungsfelder „Hochdamm“ und „Braunjura-Einschnitt“ (rd. 475 m NN) sind Bestandteil der BAB 8 und Teil des insgesamt 16 km langen Alaufstieges. Der betrachtete Streckenabschnitt wurde in den Jahren 1986-1990 modernisiert und beginnt in Fahrtrichtung München hinter der Anschlussstelle Aichelberg. In südöstlicher Richtung schließt sich nach ca. 13 km das Untersuchungsgebiet „Weißjura-Felsen“ an. Dieses liegt am nordwestlich ausgerichteten Steilabfall der Schwäbischen Alb (rd. 750 m NN).



Abb. 1: Geologischer Überblick und Lage der Untersuchungsgebiete, aus: Geol. Übersichtskarte Bayern, 1:500.000, 1996

Fig. 1: Geological overview and location of the research area, acc. to: Geol. Übersichtskarte Bayern, 1:500.000, 1996

### 2.1 Hochdamm

Der rd. 35 m hohe und ca. 700 m lange „Hochdamm“ ist ein Steinschüttdamm, der während der Streckenmodernisierung erbaut wurde. Der Damm besteht vorwiegend aus veränderlich festen Ton-/Schluffsteinen des Braunjuras. Die Schüttmaterialien stammen aus südöstlich liegenden Böschungseinschnitten im Braunjura.

Im Rahmen einer geotechnischen Langzeitüberwachung, basierend auf Inclinometermessstellen, wurde der Damm-

körper nach Fertigstellung bis zum Jahr 2004 überwacht. Die zeitliche Entwicklung der Messwerte weist eine abnehmende Tendenz in den Vertikal- und Horizontalverformungen auf. Aufgrund der Zusammensetzung ist eine zukünftige Zunahme der Verformungen mit fortschreitendem Zerfall der veränderlich festen Ton-/Schluffsteine, insbesondere durch ein ggf. steigendes Wasserdargebot (z.B. nach Starkniederschlag), zu erwarten.

Zur Probengewinnung für die geologisch-geotechnische Materialcharakterisierung bzw. Abschätzung der klimabedingten Materialverschlechterungen und zum Aufbau des Geosensornetzwerkes wurden vier Kernbohrungen (BK01-BK04, Abb. 2) bis in die Dammaufstandsfläche (anstehender Braunjura, Opalinuston-Fm.) abgeteuft. Zur Erfassung von Vertikal- und Horizontalverformungen sowie der Grundwassersituation wurden die Bohrungen mit Stangenextensometern und Porenwasserdruckgebern ausgebaut und eine bestehende Inclinometermessstelle (INK51) mit Ketteninclinometern nachinstrumentiert. Die Gebersignale werden von einer Datenerfassungseinheit (ADK) geloggt. Die Erfassung von Niederschlags- und Temperaturdaten erfolgt über eine Klimastation (KS). Diese wird unabhängig vom Geosensornetzwerk betrieben (Klimamonitoring).

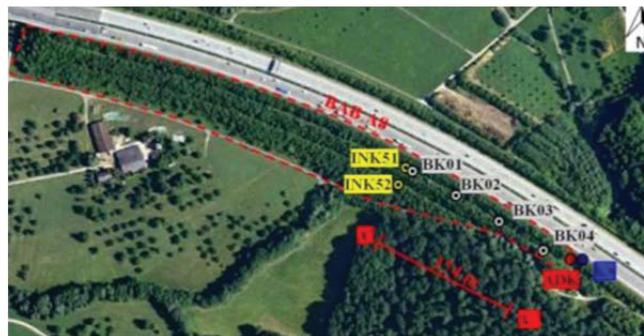


Abb. 2: Übersichts-Luftbild Untersuchungsgebiet „Hochdamm“, aus: Regierungspräsidium Stuttgart, Archivunterlagen

Fig. 2: Aerial view of the research area „Hochdamm“, acc. to: Regierungspräsidium Stuttgart, archive documents

### 2.2 Braunjura-Einschnitt

Der „Braunjura-Einschnitt“ wurde im Rahmen der Streckenmodernisierung angelegt und schließt sich dem „Hochdamm“ rd. 800 m südöstlich an. Im bis zu 55 m tiefen Böschungseinschnitt sind geologische Schichten des Braunjuras (Eisensandstein-Fm.) aufgeschlossen. Hierzu gehören veränderlich feste Ton-/Schluffsteine und Sand-/Kalksandsteine. Der Einschnitt ist größtenteils frei geböscht, nur der untere Böschungsbereich wird durch eine rückverankerte Raumgitterwand gesichert.

Im Rahmen einer Langzeitüberwachung wurde auf Basis von Inclinometer- und Extensometermessstellen sowie Ankerkraftmessungen der Einschnitt nach Fertigstellung bis zum Jahr 2005 überwacht. Die dort gemessenen Horizontalverformungen werden als Entspannungsbewegungen, in Fallrichtung der Böschung, entlang von plastifizierten Ton-/Schluffsteinschichten interpretiert (LfS 2002). Die bisher gemessenen Horizontalverformungen liegen im Zentimeterbereich und zeigen zuletzt uneinheitliche Trends. Im nordwestlichen Bereich kündigen sich seit den Jahren 2001-

2003 abnehmende Tendenzen an. Nahezu unveränderte Verformungsraten konzentrieren sich auf den südöstlichen Abschnitt. Messungen zwischen den Jahren 1990-2001 haben hier bereichsweise eine deutliche Zunahme der Ankerkraft nachgewiesen. Eine Neubeurteilung hat ergeben, dass die Standsicherheit weiterhin gewährleistet ist (LfS 2002).

Durch eine fortschreitende Destabilisierung der anstehenden Ton-/Schluffsteine und Zunahme des Wasserdargebotes wird eine Beschleunigung der Verformungen erwartet.

Die Erfassung von Verformungen und Grundwasserständen erfolgt entlang von drei Messquerschnitten (MQ1-MQ3). Zur Probengewinnung und zum Aufbau des Geosensornetzwerkes wurden zwei Kernbohrungen (BK05-BK06, Abb. 3) abgeteuft. Diese wurden jeweils in einer wasserführenden Schicht verfiltert und als Porenwasserdruckmessstelle ausgebaut. Weiterhin ist eine bestehende Grundwassermessstelle (P35) mit einem Porenwasserdruckgeber nachinstrumentiert worden. Zur Überwachung von Neigungsänderungen wurden Neigungsgeber an den Vertikalstreben der Raumgitterwand befestigt und bestehende Inklinometermessstellen (INK34, INK8) mit Ketteninklinometern nachgerüstet.



Abb. 3: Übersichts-Luftbild „Braunjura-Einschnitt“, aus: Regierungspräsidium Stuttgart, Archivunterlagen  
 Fig. 3 Aerial view of the research area „Braunjura-Einschnitt“, acc. to: Regierungspräsidium Stuttgart, archive documents

### 2.3 Weißjura-Felsen

Dieses Untersuchungsgebiet befindet sich am Albtrauf (Steilabfall) und wird aus verkarsteten und geklüfteten Massenkalken des Weißjuras gebildet. Die in diesem Bereich rd. 20 m mächtigen Massenkalke werden von rd. 80 m mächtigen Mergel- und Kalksteinen, mit vereinzelt tonigen Abschnitten, unterlagert (Felsenkalk- und Lacunosamergel-Fm.)

Mit steigendem Wasserdargebot sind erhöhte Erosionsraten sowie Kluftwasserdrücke zu erwarten, die insbesondere zur Destabilisierungen der weniger festen mergeligen-tonigen Schichten, im Liegenden der Massenkalke, führen können.

Die potenzielle Gefahr von Felsstürzen und Steinschlägen ist vergleichbar mit geologisch identischen Situationen im unmittelbaren Einflussbereich der bestehenden Bundesautobahn A8.

Die Erfassung möglicher Felsstürze und Steinschläge wurde in vier Messabschnitte (MA1-MA4, Abb. 4) mit Oberflächen-Neigungsgebern und Kluftweitengebern realisiert.

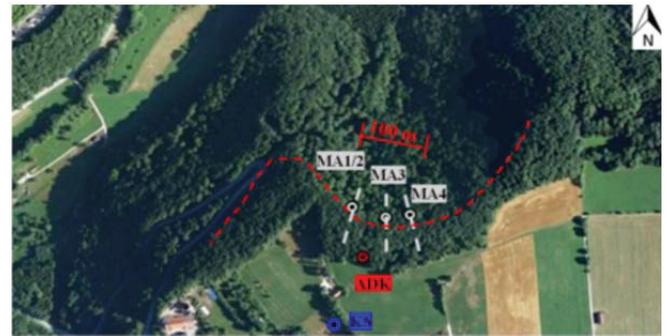


Abb. 4: Übersichts-Luftbild Untersuchungsgebiet „Weißjura-Felsen“, aus: Regierungspräsidium Stuttgart, Archivunterlagen  
 Fig. 4: Aerial view of the research area „Weißjura-Felsen“, acc. to: Regierungspräsidium Stuttgart, archive documents

## 3 Methodik und Zwischenergebnisse

Zur Prognose von Georisiken müssen die Ergebnisse der Klima- und Grundwassermodellierung, des Geomonitorings sowie der geologisch-geotechnischen Kennwerteermittlung (Ingenieurgeologie) zusammengeführt werden. Darauf aufbauend wird im späteren Projektverlauf ein numerisches Modell erstellt. Dieses Modell soll eine Prognose von Georisiken ermöglichen. Nachfolgend werden die bisher gewonnenen Ergebnisse der Teilprojekte vorgestellt.

### 3.1 Teilprojekt Ingenieurgeologie

Zur Erfassung der Gesteins- und Gebirgseigenschaften und Abschätzung klimabedingter Materialveränderungen werden Laborversuche durchgeführt, die bis dato noch nicht abgeschlossen sind. Hierzu werden die Materialproben hinsichtlich ihrer Zusammensetzung, Festigkeit und Veränderlichkeit untersucht.

#### 3.1.1 Hochdamm

Während der im Sommer 2012 durchgeführten Bohrarbeiten wurde das gewonnene Kern- und Schüttmaterial nach üblichen Methoden angesprochen und zur Bewahrung der Materialeigenschaften konserviert. In Abb. 4 sind die Ergebnisse der Gesteins- bzw. Bodenansprache visualisiert.

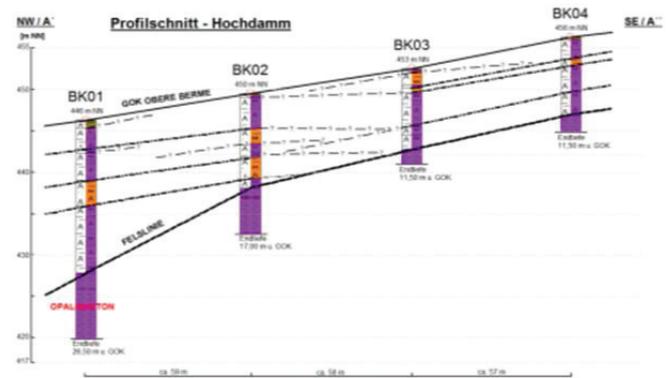


Abb. 4: Geologischer Profilschnitt „Hochdamm“  
 Fig. 4: Geological profile section „Hochdamm“

Erwartungsgemäß wurden im „Hochdamm“ Schüttmaterialien aus Ton-/Schluffsteinstücken mit bereichsweise Sandsteinstücken, teils in Lagen, angetroffen. Die Ton-/Schluffsteinstücke weisen sämtliche Verwitterungsstufen auf und



verlieren mit zunehmender Tiefe an Gesteinstextur. Die Gesteinskomponenten sind in einer Matrix aus vorwiegend Boden (Ton, Schluff, Sand) gelagert, deren Zusammensetzung von umgebenden Gesteinsstücken geprägt ist.

### Materialzusammensetzung

Durch eine Volumenabschätzung der Komponenten Matrix, Ton-/Schluffstein und Sandstein konnte die Zusammensetzung des Schüttmaterials erfasst werden. Der natürliche Wassergehalt (60 °C Trocknung) wurde für jede Komponente ermittelt. Die Zusammensetzung ist in Abb. 5, beispielhaft für die BK01, dargestellt.

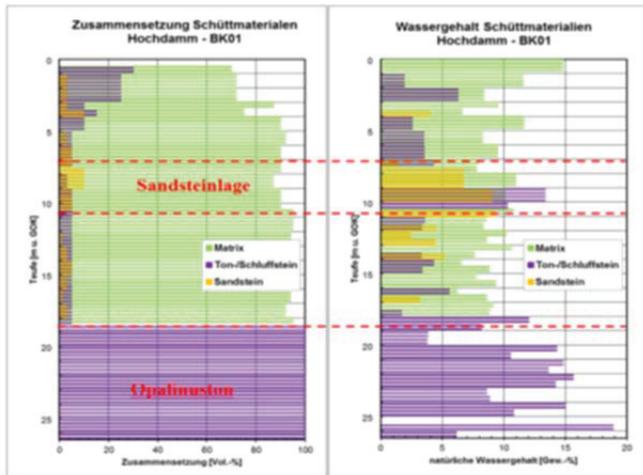


Abb. 5: Zusammensetzung der Schüttmaterialien „Hochdamm“: Volumetrische Abschätzung und nat. Wassergehalt

Fig. 5: Composition of the backfilling material „Hochdamm“: Volume estimations and natural water content

Der Matrixanteil bildet mit rd. 70-95 Vol.-% den Hauptanteil des Schüttmaterials. Bis zu einer Tiefe von ca. 5 m liegen erhöhte Ton-/Schluffsteinanteile von 10-30 Vol.-% vor. In der Sandsteinlage ist der Wassergehalt der Ton-/Schluffsteine mit über 10 % deutlich erhöht.

### Festigkeitsparameter

Zur Abschätzung der einaxialen Druckfestigkeit wurden am frischen Probenmaterial Druckversuche mittels Taschenpenetrometer nach DIN 18136 durchgeführt. In Abb. 6 sind die ermittelten Druckfestigkeiten ( $\sigma_{pv}$ ) beispielhaft für die BK01 dargestellt. Die minimalen Druckfestigkeiten liegen bei allen Bohrungen zwischen 100-200 kPa und konzentriert sich auf sandige Bereiche und die oberen 1-3 m. Lokal treten Festigkeiten >500 kPa auf. Diese nehmen mit der Tiefe zu. Ab 10-11 m Überlagerung liegen die Festigkeiten oberhalb des Messbereiches von ca. 500 kPa.

#### 3.1.2 Braunjura-Einschnitt

Die Ergebnisse der Bohrkernansprache sind zusammen mit zusätzlichen geologischen Profilinformatoren, aus LfS 2002, in Abb. 6 visualisiert. Die Gesteine bestehen aus gut geschichteten, dünn- bis dickbankigen, mergeligen und sandigen Ton-/Schluffsteinen (Tst/Ust) mit flaserigen sowie konkretionsartigen Sand- bis Kalksandsteinen (Sst/KSst). Die Konkretionen enthalten lokal Eisenoxide (Eisensandstein). Zwischen diesen Schichten befinden sich auf 3-4 m

dünn- bis dickbankige, teils auch geschichtete Sst/KSst und mit Fasern durchsetzte Tst/Ust („Untere Donzdorfer Sandstein“, UDS). Oberhalb des UDS wurden in der BK05 zwei Störungen angetroffen, in denen der Tst/Ust kleinstückig zerlegt ist. Am Top der BK05 wurde wahrscheinlich der „Untere Personantensandstein“ (UPS) angetroffen. Dieser besteht aus massigen Sst/KSst mit dünnen tonigen Zwischenmitteln. Aufgrund der o.g. Störung ist eine sichere Zuordnung des UDS und UPS in der BK05 nicht möglich.

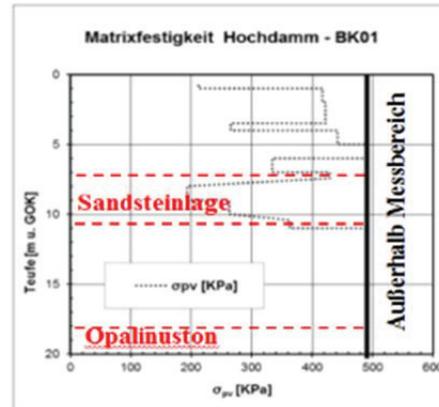


Abb. 6: Einaxiale Druckfestigkeit des Matrixmaterials (ermittelt mit Taschenpenetrometer)

Fig. 6: Unconfined compressive strength of the matrix materials

Bei Ortsbegehungen wurden Gefügeparameter im Böschungsanschnitt ermittelt. Die Schichtflächen fallen mit 1-4 ° in südöstlicher bis südwestlicher Richtung ein. Insgesamt konnten vier Kluftschare mit überwiegend steilen bis senkrechten Einfallen nachgewiesen werden. Der Streichwinkel der dominierenden Kluftschare liegt bei 150-190 °. Kluftflächenabstände liegen im Dezimeterbereich, können aber vereinzelt auch bei 1-2 m liegen. Die Öffnungsweiten liegen bei wenigen Millimetern bis Zentimetern.

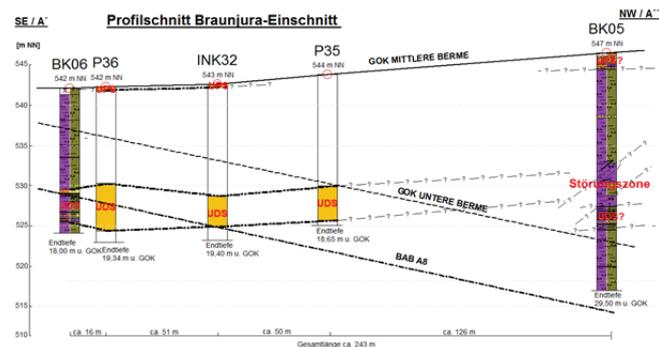


Abb. 6: Geologischer Profilschnitt „Braunjura-Einschnitt“

Fig. 6: Geological profile section „Braunjura-Einschnitt“

### Gesteinszusammensetzung

Zur Erfassung der Materialzusammensetzung der Tst/Ust wurde die Kornverteilung in Anlehnung an DIN 18132 sowie der Kalkgehalt nach DIN 18129 ermittelt. Der Wassergehalt wurde durch Ofentrocknung bei 60 °C bestimmt. Materialdichten wurden in Anlehnung an DIN 18125 bestimmt. Beispielhaft sind die Ergebnisse für die BK05 in Abb. 7 dargestellt. Den Hauptanteil bildet Schluff (50-70

%), der Tongehalt liegt zwischen 20-30 %. Mit 0-35 % ist der Sandanteil sehr variabel. Der Kalkgehalt verleiht dem Tst/Ust mit 1-5 % einen mergeligen Charakter. In der Wassergehaltsverteilung liegt zwischen 8-10 m u. GOK ein Maximum vor (10-14 %). Der Höchstwert korreliert mit maximalen Tongehalten und Sättigungsgraden.

Ausgehend hiervon nehmen Wasser- und Tongehalte tendenziell mit der Tiefe ab. Im Bereich der Endteufe deuten sich stagnierende Verhältnisse an. Die Einschnitte in der Wassergehaltsverteilung, auf bis zu 1 %, konzentrieren sich auf die Sst/KSst-Bereiche im UDS und UPS. Vergleichbare Ergebnisse liegen auch für die BK06 vor.

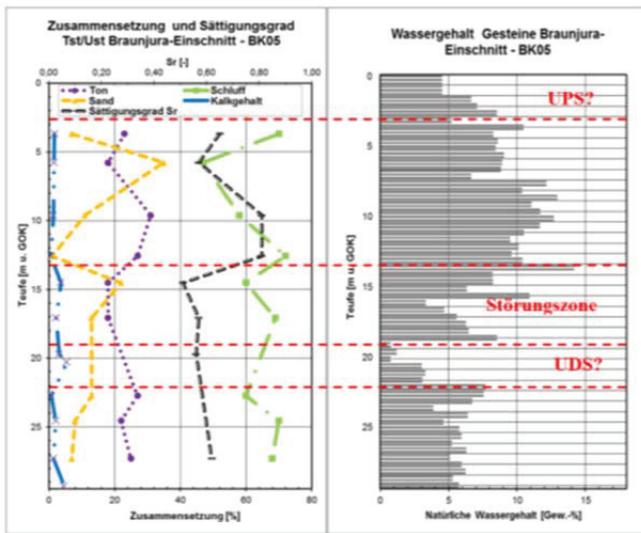


Abb. 7: Zusammensetzung, nat. Wassergehalt und Sättigungsgrad der Ton-/Schluffsteine

Fig. 7: Composition of mud-/siltstones, natural water content and saturation degree

**Veränderlichkeit**

Aufgrund ihrer Genese gehören die vorgestellten Ton-/Schluffsteine zur Klasse der veränderlich festen Gesteine. Zur Abschätzung des „Veränderlichkeitspotenzials“ gegenüber Wassergehaltsänderungen wurden Wasserlagerungsversuche in Anlehnung an NICKMANN 2009 durchgeführt. Hierzu wurden konservierte Probenkörper (nat. Wassergehalt) ins Wasserbad gelegt und der Massenverlust nach 6, 24, 48, 72 und 96 h ermittelt (Abb. 8). Die Veränderlichkeit lässt sich näherungsweise in drei Gruppen einteilen. Ein Teil der Proben zerfällt innerhalb von 10-24 h nahezu vollständig (44 %). Ein weiterer Teil (11 %) reagiert zeitlich verzögert und erreicht nach 48 h einen Massenverlust um die 60 %. Die letzte Gruppe (33 %) beschreibt relativ unveränderliche Gesteine, die selbst nach 96 h Wasserlagerung nur einen Massenverlust < 10 % besitzen (hoher Flaseranteil). Rund 66 % der Proben weisen nach 48 h Wasserlagerung einen Massenverlust von 65-100 %.

**Festigkeit**

Festigkeitsparameter wurden an den Tst/Ust aus einaxialen und triaxialen Druckfestigkeits- sowie Rahmenscherversuchen auf Schichtflächen nach den Empfehlungen der ISRM ermittelt.

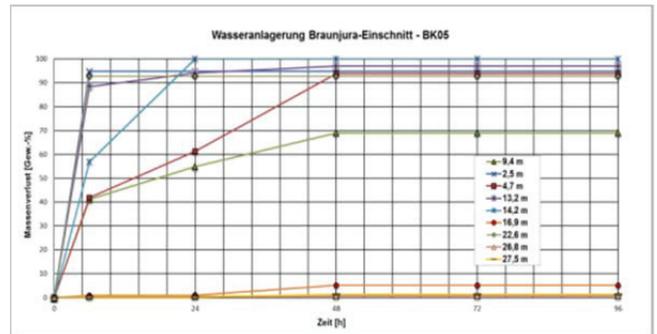


Abb. 8: Ergebnisse der Wasserlagerung Ton-/Schluffsteine

Fig. 8: Results of storage in water of mud-/siltstones

In Abb. 9 und Tab. 1 sind die Versuchsergebnisse dargestellt. Die Verteilung der Festigkeitsparameter zeigt tendenziell eine Zunahme der einaxialen Druckfestigkeit mit der Tiefe an. Diese korreliert wie erwartet mit der P-Wellen Geschwindigkeit. Ab rd. 23 m zeichnet sich eine stetige Erhöhung der Druckfestigkeit bis zur Endteufe ab.

Tab. 1: Ergebnisse der Scherfestigkeitsversuche auf Schichtflächen, Normalspannung ca. 390 kN/m<sup>2</sup> (≈ 15 m Tiefe) und Triaxialversuche

Tab. 1: Results of the shear strength tests at bedding planes, normal stress about 390 kN/m<sup>2</sup> (depth of ≈ 15 m) and triaxial tests

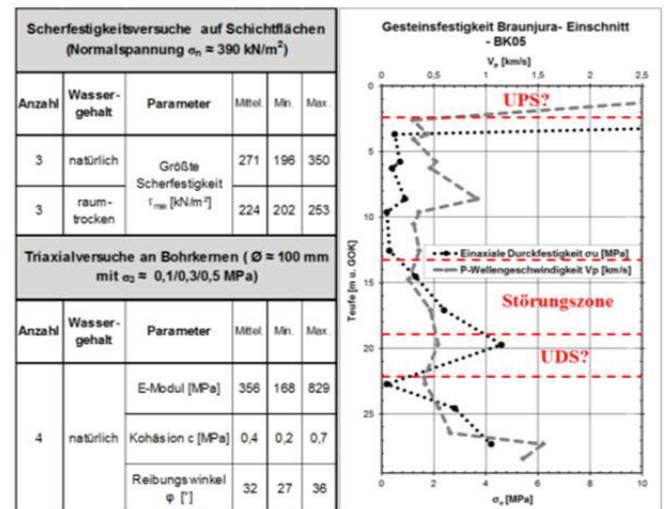


Abb. 9: Ergebnisse der einaxialen Druckversuche

Fig. 9: Results of uniaxial compressive strength tests

**3.1.3 Weißjura-Felsen**

Der Untersuchungsbereich wurde zur Optimierung der messtechnischen Instrumentierung ingenieurgeologisch kartiert und bewertet. In Abb. 10 sind beispielhaft für den Messabschnitt 4 Gefügedaten in der stereografischen Projektion dargestellt und hinsichtlich des Kippversagens nach GOODMAN und BRAY 1976 analysiert. Das Kippen von Gesteinskörpern/-säulen ist kinematisch möglich.

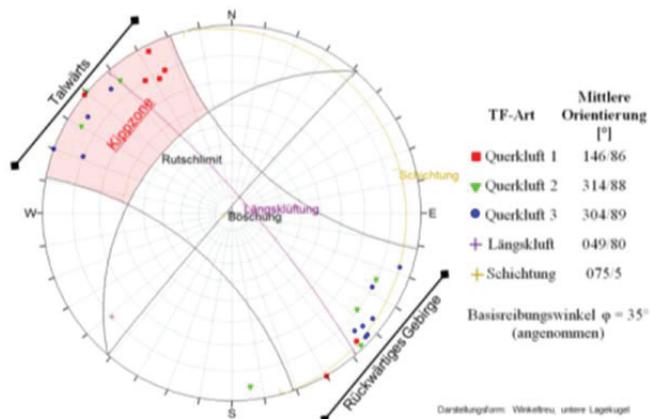


Abb. 10: Stereografische Projektion der Trennflächenorientierungen und kinematische Analyse „Kippversagen“ - MA4  
Fig. 10: Stereographic projection of joint data and kinematic analysis of „toppling“ - MA4

### 3.2 Teilprojekt Geomonitoring

Aus dem Teilprojekt Geomonitoring liegen seit Oktober/November 2012 Messwerte zur Verformung und zu Wasserständen vor (siehe PLINNINGER 2013). Aufgrund des kurzen Monitoring-Zeitraumes, von rd. 3 Monaten, lassen sich Tendenzen in den Messwerte nur erahnen. Auf eine umfangreiche Ergebnisdarstellung soll daher zum jetzigen Zeitpunkt verzichtet werden. Im Untersuchungsbe- reich „Hochdamm“ zeichnen sich jedoch bereits jetzt schon interessante Abhängigkeiten ab:

Signifikante Verformungen von bis zu 2 mm in den oberen 5 m des Dammkörpers der Bohrung BK01 (Abb. 11). Die Verformungen beginnen zeitgleich mit einem schnellen Porenwasserdruckanstieg (P1) auf bis zu 50 kPa ( $\approx 5$  mWs)

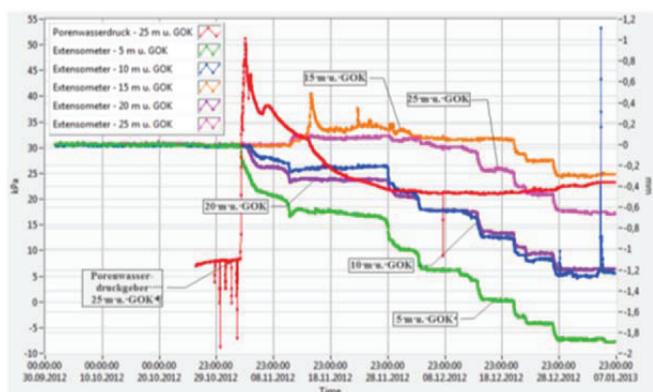


Abb. 11: Rohdaten Vertikalextensometer und Porenwasserdruckgeber - 1. Oktober 2012 bis 7. Januar 2013  
Fig. 11: Raw data of the verticalexensometer and pore water pressure sensor - October, 1<sup>st</sup> 2012 to January, 7<sup>rd</sup> 2013

### 3.3 Teilprojekt Klimamodellierung/-monitoring

Die Aufgaben dieses Teilprojektes umfassen die Auswertung historischer Klimadaten, Betrieb der seit September 2012 installierten Klimastationen in den Untersuchungs- gebieten und die Auswertung regionaler Klimaszenarien bis 2050. Die Auswertung historischer Klimadaten, auf Basis

der nächstliegenden Station Neidlingen, zeigt einen leichten Anstieg mit extremen Niederschlagsereignissen pro Jahr in den letzten 50 Jahren (Abb. 12). Dieser Trend ist nicht in allen betrachteten Niederschlagsstationen vorhanden.

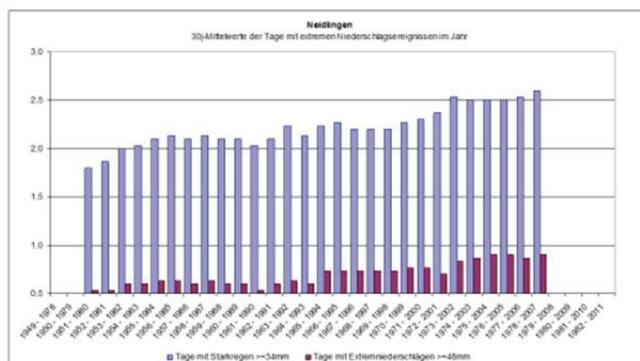


Abb. 12: Auswertung historischer Klimadaten, Niederschlagsstation Neidlingen: Extreme Niederschlagsereignisse  
Fig. 12: Data evaluation based on historical climata data of the precipitation station Neidlingen: Extreme rainfall events

Um zu Entscheidung welche historischen Stationszeitreihen die Niederschlagsverhältnisse in den Untersuchungsfeldern am besten abbilden, werden zukünftig die Klimadaten aus den Klimastationen der Untersuchungsgebiete mit den Stationszeitreihen verglichen.

### 3.4 Teilprojekt Grundwassermodellierung/- monitoring

Zu den Aufgaben dieses Teilprojektes gehört die Modellierung der Grundwasserströmung in den Untersuchungsbereichen auf Basis der ausgewerteten Klimaszenarien bis 2050. Hierzu wird ein bereits bestehendes mehrschichtiges Grundwassermodell über neu berechnete Grundwasserneubildungsraten (Schnittstelle Klimatologie/Hydrogeologie) in- stationär angepasst. Ziel ist die zuverlässige Prognose der dynamischen Piezometerhöhenchwankungen.

Zur Anpassung/Kalibrierung des Grundwassermodells werden aktuell Daten aus dem Geomonitoring (Porenwasserdruckmessstellen) sowie historischen Piezometerhöhen- ganglinien und Quellschüttungsmessungen aufbereitet und zusammen mit geol. Profilinformatio- nen in das Modell eingepflegt.

## 4 Fazit und Ausblick

Die bisher gewonnenen Ergebnisse der Teilprojekte Geo- monitoring und Ingenieurgeologie zeigen bereits jetzt, dass mit veränderten klimatischen Bedingungen und mit einer tendenziellen Zunahme von Georisiken in den Untersu- chungsbereichen zu rechnen ist. Die Auswertung regional- historischer Klimadaten bestätigt den allgemeinen Trend eines Anstieges von extremen Niederschlagsereignissen.

Im weiteren Projektverlauf werden die Klima- und Grund- wassermodelle erarbeitet/optimiert. Diese Daten werden zu- sammen mit den geologisch-geotechnischen Kennwerten in ein Prognosemodell, zur Abschätzung der hier vorkommen- den Georisiken, münden.

## Danksagung

Der Lehrstuhl für Ingenieurgeologie und Felsbau der Ruhr-Universität Bochum bedankt sich beim Bundesministerium für Bildung und Forschung für die Förderung des Forschungsvorhabens „GeoKlimB“, Nr. 16V0114 - VIP0087.

## Literatur

GOODMAN R.E., BRAY J.W. (1976): Toppling of rock slopes.  
In: Rock engineering for foundations and slopes. –  
Proceedings of a specialty conference, Am. Soc. Civ. Eng. 2:  
S. 201-233, New York.

LfS - LANDESAMT FÜR STRAßENWESEN BADEN-  
WÜRTTEMBERG (2002): Geotechnische Überwachung  
Aichelberg - A8 Karlsruhe-München (unveröffentlicht).

NICKMANN, M. (2009): Abgrenzung und Klassifizierung  
veränderlich fester Gesteine unter ingenieurgeologischen  
Aspekten, Münchner Geowiss. Abh. (B), S. 1-148, München.

PLINNINGER R., ALBER M., BRODBECK M., SINGER J.,  
SCHERBECK, M. (2013): BMBF-Forschungsprojekt  
GeoKlimB-Teil 2: Einrichtung und Betrieb dreier Geosensor-  
Felder am Alaufstieg der BAB A8.