

Geomonitoring an einem Steilküstenabbruch auf Rügen



von entscheidendem Einfluss sind. Aber auch Eingriffe durch den Menschen in die Natur führen oftmals zu einer Reduzierung der Standsicherheit natürlicher Böschungen, sodass Hangrutschungen auftreten können. Diese kündigen sich im Allgemeinen

durch Verformungen des Untergrunds und/oder Bewegungen an der Oberfläche an. Ein Indiz für horizontale Bewegungen bildet beispielsweise der Sichelwuchs von Bäumen und Sträuchern auf der Oberfläche. Ohne eine messtechnische Überwachung sind derartige horizontale Bewegungen allerdings über die Zeit nicht erfass- und bewertbar.

Ziel eines erfolgreichen geotechnischen Hangmonitorings muss deshalb die ganzheitliche Erfassung horizontaler Verformungen im Untergrund und an der Oberfläche sein. Dazu müssen ebenfalls Informationen zu Wasserständen und Porenwasserdrücken vorliegen. Auf der Grundlage der gemessenen Horizontalverformungen und deren Auswertung als Geschwindigkeit über die Zeit kann eingeschätzt werden, ob mit der Gefahr einer Hangrutschung zu rechnen ist. Die Messergebnisse der Wasserstände und der Porenwasserdrücke ergänzen hierbei die Beurteilungsgrundlagen für die tatsächliche Gefährdungseinschätzung.

Moderne, automatisch messende Überwachungssysteme mit Internetanschluss und servergestützter Auswertung und Darstellung der Messergebnisse in Echtzeit bieten den Vorteil, dass kurzfristig auf ungewöhnliche Messergebnisse reagiert werden kann. Zum Beispiel kann der Bauablauf schrittweise angepasst werden, bis die Messergebnisse wieder normale Werte aufweisen. Darüber hinaus können durch Festlegung entsprechender Grenzwerte und Alarmfunktionen frühzeitige Maßnahmen zur Evakuierung von Personal und Geräten veranlasst werden.

Bild 1: Hangrutschung in Lohme auf Rügen (s. Detailaufnahme)

1 Veranlassung

Schöne Landschaften, Steilküsten mit den weltberühmten Kreidefelsen und nicht zuletzt traumhafte Sonnenuntergänge am Meer locken besonders im Sommer viele Gäste auf Deutschlands größte Sonneninsel – nach Rügen.

Doch an den Rügener Steilküsten kommt es immer wieder zu Hangrutschungen und Abbrüchen in den Kreidefelsen. Zum außergewöhnlichen Naturraum der Ostseeinsel gehören auch solche Erosionsereignisse. In Lohme (Bild 1), einem ehemaligen Fischerdorf, kam es 2005 zu einer folgenschweren Hangrutschung, bei der ca. 100.000 m³ Gestein und Sediment von dem 45 m hohen Kliffbereich talwärts abglitten und Teile des Hafens verschütteten. Das oberhalb der Rutschung gerade aufwendig sanierte Gebäude der Diakonie sowie mehrere Wohnhäuser mussten aus Sicherheitsgründen gesperrt werden.

Die Gemeinde Lohme hat sich verstärkt für eine dauerhafte Sicherung des Hangs engagiert. Im Jahr 2009 entschloss man sich im Zusammenhang mit konkreten Baumaßnahmen zu einer mittel- bis langfristigen messtechnischen Überwachung (Geomonitoring) des Hangs. Hierzu wur-

den zunächst umfangreiche geologische und hydrogeologische Untersuchungen durchgeführt. Ergebnis der Gutachten war, dass insbesondere ein hoher Wassergehalt in den hangnahen Schichten den Boden ins Rutschen bringt. Hier setzten die Sanierungsmaßnahmen an: Von der See-seite aus wurden am Hangfuß Horizontaldränagen in den Hang gebohrt. Dadurch sollte mittelfristig der Hangwasserspiegel gesenkt und eine signifikante Erhöhung der Standsicherheit erreicht werden.

Da für den Bereich des Steilhangs eine eingeschränkte Standsicherheit nachgewiesen wurde, sollte vor Beginn der Bauarbeiten ein Beobachtungs- und Alarmierungssystem installiert werden, um die Arbeitssicherheit zu erhöhen und die Auswirkungen der Arbeiten im Hinblick auf die Stabilität des Hangs zu überwachen.

2 Grundkonzept des Geomonitorings

Hangrutschungen sind das Ergebnis von unterschiedlichen natürlichen Prozessen, wie lang anhaltenden starken Niederschlägen, Hochwasser oder Erdbeben, wobei die Wasserverhältnisse im Untergrund immer

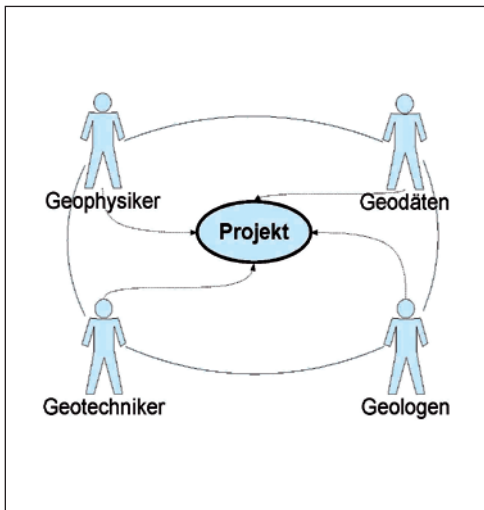


Bild 2: Interdisziplinäre Zusammenarbeit im Geomonitoringprojekt

In diesem Projekt wie im Geomonitoring allgemein hat die interdisziplinäre Zusammenarbeit unterschiedlicher Fachrichtungen große Bedeutung (Bild 2). Es geht nicht alleine darum, das Maß und die Richtung der Deformation festzustellen. Erst im Zusammenhang mit geotechnischen Kennwerten, wie Porenwasserdruck und der Kenntnis der Bodenbeschaffenheit, entsteht eine Basis, auf der das Gefahrenlevel einer Hangrutschung beurteilt und geeignete Sicherungsmaßnahmen ergriffen werden können. In den unterschiedlichen Fachrichtungen gibt es dazu noch verschiedene Spezialisierungen, die unterschiedliche Teilaspekte bewerten können, sodass für die Durchführung eines Geomonitoringprojekts sinnvollerweise mehrere Partner zusammenarbeiten, in dem hier beschriebenen Projekt z. B. vier Firmen. Abhängig von Ziel und Gegenstand eines Projekts stellt eine Disziplin den Projektkoordinator.

Systemkomponenten

Die oben genannte Konzeption führte zur Installation eines automatischen Überwachungssystems mit den folgenden Systemkomponenten:

1. sieben Piezometer in Grundwasser-Messstellen zur Erfassung von Grundwasserständen,
2. ein vertikales stationäres Ketteninklinometer mit einer Länge von 25 m und elf tiefengestaffelten Neigungssensoren zur Erfassung horizontaler Untergrundverformungen,
3. fünf eindrückbare Piezometer zur Erfassung von Porenwasserdrücken im Untergrund,

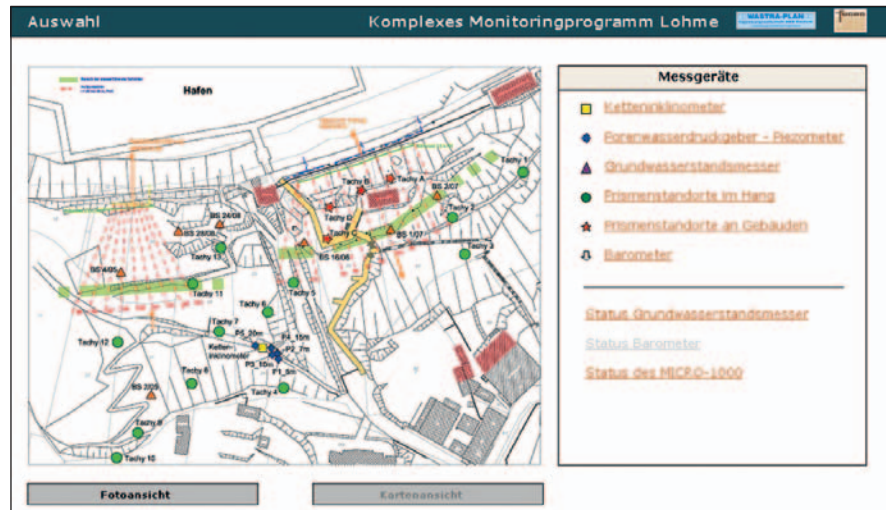


Bild 3: Verteilung der Messgeräte

4. diverse Datenlogger zur Datenerfassung der Messdaten der Piezometer und der Einzelglieder des Ketteninklinometers,
 5. ein geodätisches Oberflächenmessfeld, bestehend aus einem automatisch messenden Tachymeter und 17 Monitoringprismen zur millimetergenauen Erfassung horizontaler und vertikaler Bewegungen der Hangoberfläche,
 6. ein Daten-PC vor Ort für den Empfang und die Weiterleitung der Messdaten zur servergestützten Verarbeitung und Darstellung aller Messdaten,
 7. ein Internetserver zur numerischen und grafischen Aufbereitung der Messdaten.
- Die Verteilung der Messgeräte im Gelände ist aus Bild 3 ersichtlich.

Entsprechend den vorangegangenen Standsicherheitsberechnungen wurden Mess- und Auswertintervalle sowie Grenzwerte durch den verantwortlichen geotechnischen Sachverständigen definiert. Die automatische Messwertaufzeichnung war mit einer softwaregestützten Auswertung und Beurteilung der Messdaten in Echtzeit gekoppelt. Für den Fall einer Überschreitung der voreingestellten Grenzwerte war eine automatische Alarmierung einer abgestimmten Gruppe von Zuständigen im Projekt vorgesehen.

Da das Messsystem auch nach dem Abschluss der Sanierungsarbeiten über einen Zeitraum von insgesamt drei Jahren betrieben werden sollte, wurden für die im Untergrund installierten Messgeber Schwingsaitensensoren verwendet, die über eine ausgezeichnete Langzeitstabilität verfügen.

3 Gestaltung und Umsetzung des Überwachungssystems im Untergrund

3.1 Grundwasserstandsmessungen

Niederschlagsereignisse im Einzugsgebiet verändern die Grundwasserstände im gefährdeten Hangbereich. Sieben bereits im Hang angeordnete Grundwassermessstellen, deren jahreszeitliche Grundwasserstandsänderungen zuvor per Kabellichtlot ermittelt worden waren, wurden zur automatischen Messung des Wasserspiegels mit Druckaufnehmern (Piezometern) vom Typ Geokon 4500AL und batteriebetriebenen Einkanaldatenloggern vom Typ Geokon LC-2 ausgerüstet (Bild 4).

Die sieben Datenlogger wurden über ein RS-485-Netzwerk mit dem lokalen Daten-PC verbunden. Die Messungen erfolgten im Stundentakt autark gesteuert durch die Datenlogger. Die Messdaten wurden sowohl im internen Speicher abgelegt, als auch über das Netzwerk auf den lokalen Daten-PC übertragen.

3.2 Inklinometermessungen

In der Planungsphase wurden zunächst zwei Standorte für die Installation von Ketteninklinometern zur automatischen Erfassung horizontaler Bewegungen im Untergrund innerhalb von vertikalen Bohrungen vorgesehen. Horizontale Bewegungen des Untergrunds entlang einer Gleitfläche verursachen eine lokale Neigungsänderung des vertikalen Bohrlochverlaufs, die von jedem Segment des Ketteninklinometers individuell erfasst wird. Damit können über die Zeit sowohl die Tiefe der bewegten



Bilder 4a und 4b: Piezometer zur Grundwasserstandsmessung und Datenlogger

Bodenschicht als auch das Maß der Bewegung ermittelt werden.

Einer der gewählten Inklinometerstandorte erwies sich als unzugänglich und zu instabil für das Bohrgerät, sodass nur ein Standort mit einem Ketteninklinometer bestückt werden konnte. Die maßgebliche Gleitfläche, entlang derer eine Hangrutschung auftreten könnte, wurde in ca. 14 m Tiefe vermutet, weshalb die Länge des Ketteninklinometers auf 25 m festgelegt wurde. Es besteht aus elf Segmenten; die Länge der obersten zehn Segmente beträgt jeweils zwei Meter (von 0 bis 20 m Tiefe), das unterste Segment ist 5 m lang.

Die Inklinometerbohrung wurde mit einem Neigungsmessrohr Geokon 6400 mit 85 mm Nenndurchmesser ausgestattet und dann schrittweise mit den Kettengliedern des monoaxialen Inklinometers Geokon 6300 bestückt (Bild 5).

Die Datenerfassung erfolgte jeweils stündlich mit einem Datenlogger, der mit dem Daten-PC vor Ort verbunden war.

3.3 Porenwasserdruckmessungen

Zur Erfassung der Porenwasserdrücke in den unterschiedlichen Schichten wurden fünf Piezometer in jeweils 2, 5, 10, 15 und 20 m Tiefe eingebaut. Um die Stabilität der Böschung durch Bohraktivitäten nicht zu



Bild 5: Inklinometer



Bild 6: Piezometer zur Porenwasserdruckmessung

beeinträchtigen, wurde eine Piezometerausführung gewählt, die mit dem Drucksondiergestänge von der Oberfläche aus eingedrückt werden konnte (Bild 6). Bei einer weniger kritischen Stabilitätssituation wäre die Verwendung der MultiLevel-Piezometer Geokon 4500MLP bevorzugt worden, welche die Einrichtung von mehreren Messstellen in einer einzigen Bohrung erlauben.

Die Installation der Piezometer erfolgte in der Nähe des Ketteninklinometers. Änderungen der Druckverhältnisse im Untergrund konnten mit den Porenwasserdruckmessungen ohne zeitliche Verzögerung erfasst und bewertet werden.

3.4 Datenerfassung

Da die einzelnen Brunnen für die Grundwasserstandsmessung relativ weitläufig im Gelände verteilt waren (Bild 3), wurde jede ein-

zelne Messstelle mit einem Datenlogger ausgestattet und via RS-485-Netzwerk mit dem vor Ort im Messcontainer installierten PC verbunden.

Die elf Messstellen des Ketteninklinometers und die fünf Piezometer zur Porenwasserdruckmessung befanden sich in unmittelbarer Nachbarschaft, sodass alle Messstellen in einem Mehrkanaldatenlogger zusammengefasst wurden. Hierfür wurde ein batteriebetriebener Datenlogger Geokon MICRO-800 eingesetzt, der über eine Kabelverbindung und einen RS-232-Leitungstreiber an den lokalen Daten-PC angeschlossen war.

Der Datenlogger wurde mit der Betriebssoftware Geokon MultiLogger konfiguriert, sodass je nach Anforderung die gewünschte Messrate eingestellt werden konnte. Für jeden einzelnen Sensor wurden der Kalibrierfaktor, der Anfangsmesswert sowie ver-

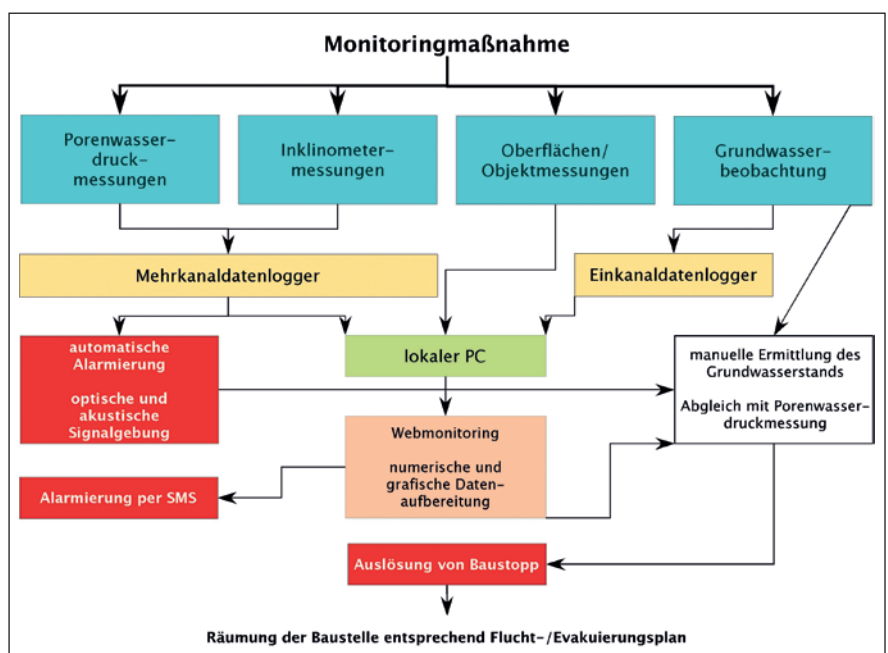


Bild 7: Flussdiagramm



Bild 8: Tachymeterstandpunkt



Bild 9: Monitoringprisma



Bild 10: Blick von oben auf den Hang

schiedene Grenzwerte für die Auslösung von Alarm und damit verknüpfte Bedingungen eingegeben. Die Abläufe sind aus dem Flussdiagramm im Bild 7 nachvollziehbar.

4 Oberflächen- und Objektmonitoring

Um die Bewegungen der Hangoberfläche und einiger ausgewählter Bauwerke zu erfassen, wurde ein umfangreiches Oberflächen- und Objektmonitoring eingerichtet. In Kombination mit der Auswertung der Messdaten des Ketteninklinometers konnten somit oberflächennahe Hangbewegungen von Bewegungen im Untergrund abgegrenzt werden.

Zentraler Teil des Systems war ein automatisches Präzisionstachymeter des Typs Leica TM30. Die Installation des Sensors erfolgte wetter- und diebstahlgeschützt auf einer 3m hohen, massiven Betonsäule im Hafengebiet (Bild 8). Von diesem Punkt wurden die im Hang installierten geodätischen Messpunkte automatisch einmal pro Stunde angefahren und registriert.

Für das Oberflächenmonitoring dienten 14 Monitoringprismen im Untersuchungsbereich als Objektpunkte. Für die Gründung der Prismen wurden jeweils 2m lange Stahlrohre in den Untergrund gerammt, an deren Enden sich je eine M20-Gewindestange für die Montage der Prismen befand (Bild 9). Für die exakte Erfassung der Bewegung war eine direkte Sichtverbindung zwischen Tachymeter und Prisma zwingend notwendig. Dies erforderte stellenweise die Befreiung der Hangoberfläche von Bewuchs durch Sträucher und Bäume.

Innerhalb des Beobachtungsgebiets befand sich eine Holzterrasse, die über ca. 35

Höhenmeter vom höher gelegenen Ort Lohme zum Yachthafen führte. Diese Treppe mit dem auf halber Höhe liegenden Café „Niedlich“ sowie eine Steinskulptur innerhalb des Gefahrengebiets wurden ebenfalls mit Prismen ausgestattet und überwacht (Bild 10).

Über drei Referenzprismen, die sich außerhalb des vermuteten Rutschungsgebiets befanden, erfolgte die Stationierung des Tachymeters alle vier Stunden. Hierdurch wurde die Stabilität des Tachymeterstandpunkts überwacht und eine gegebenenfalls auftretende Bewegung am Tachymeter direkt in die Messung der Objektpunkte mit einbezogen.

Der Tachymeter wurde dauerhaft mit Strom versorgt. Das Versorgungskabel hierfür verlief in einem Leerrohr unterirdisch bis zum Gebäude des Hafenmeisters. Die Datenübertragung erfolgte über ein 500 m langes LAN-Kabel, das in Leerrohren bis zum Messcontainer mit dem Daten-PC führte. Um die

Daten ohne Verluste über die lange Strecke übertragen zu können, wurde zusätzlich ein RS232-Leitungstreiber verwendet.

Die Steuerung und Auswertung der automatischen Tachymetermessungen erfolgte über die Monitoringsoftware GeoMoS. In der Software wurden die individuellen Messintervalle eingestellt und automatisch in Bezug zur Nullmessung hinsichtlich der drei gewählten Verschiebungsrichtungen ausgewertet. Nach Definition des lokalen Koordinatensystems der Oberflächenmesspunkte ergab sich die Längsverschiebung in Nord-Süd-Richtung, die Querverschiebung in Ost-West-Richtung und die Höhenverschiebung vertikal dazu.

5 Steuerungs- und Auswertesoftware

Für die numerische Auswertung, Speicherung und grafische Darstellung der Messwerte aller Sensoren des Überwachungs-

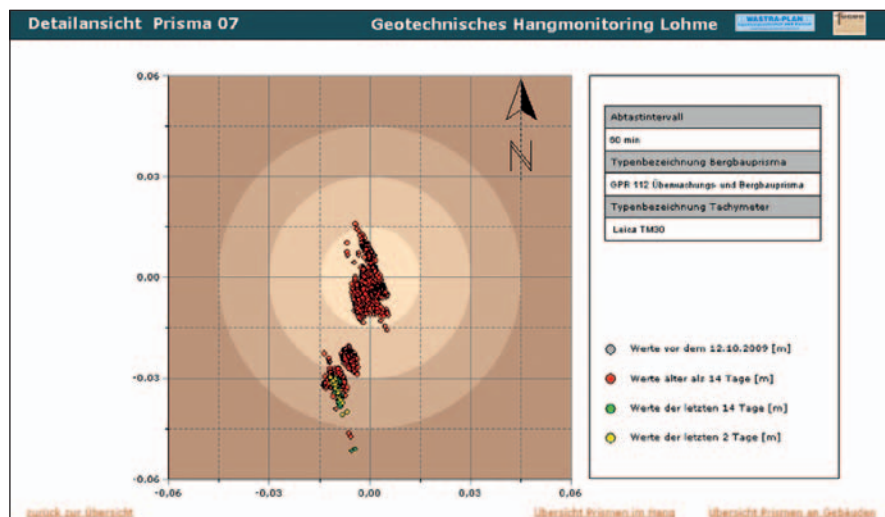


Bild 11: GeODin – Streuung der Messwerte an einem Beispielpunkt

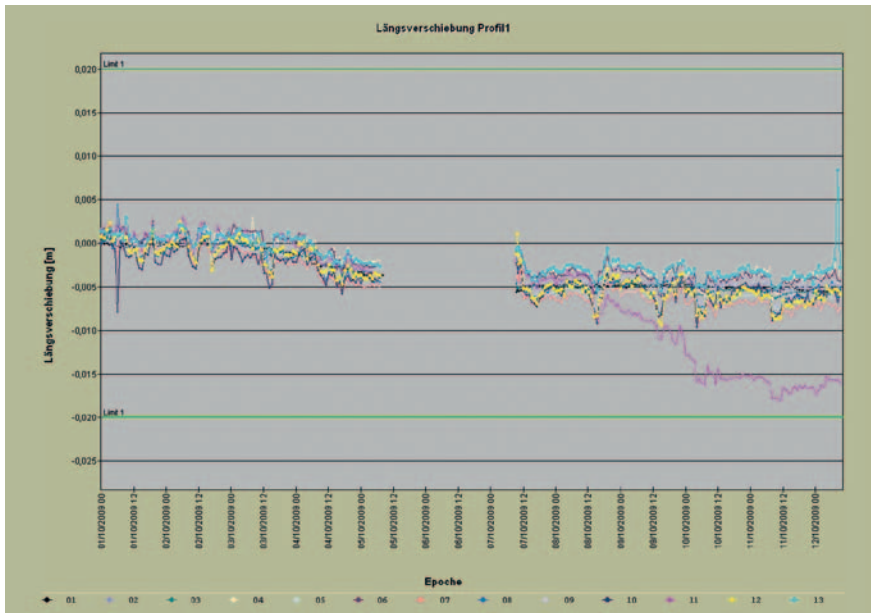


Bild 12: Längsverschiebung PKT11 (Graf in Farbe Pink)

systems entschied sich der Auftraggeber für die Software GeODin (Bild 11) der Fugro Consult GmbH. GeODin dient der Erfassung und Darstellung von geologischen, geotechnischen und umweltrelevanten Daten und kann in Echtzeit-Monitoring-Systeme integriert werden. Die Darstellung ist einfach und klar gegliedert, sodass Grenzwertüberschreitungen schnell und sicher erkannt werden können.

Insbesondere während der Bauarbeiten wurde die Alarmierung durch Lichtsignal und Sirene am Gebäude des Hafenmeisters installiert. Die Voreinstellung von GeODin erfolgte derart, dass bei auftretenden Grenzwertüberschreitungen immer eine Alarmierung via SMS und/oder E-Mail an die Projektbeteiligten ausgelöst werden konnte.

Während der Drainagebohrungen zeigte beispielsweise Punkt 11 des Oberflächen-

monitorings auffallende Bewegungen von über 10 mm in Längsrichtung gegenüber benachbarten Messpunkten (Bild 12). Daraufhin wurden die Arbeiten unterbrochen. Diese Bewegung wurde frühzeitig genug erkannt, bevor die festgelegten Grenzwerte erreicht wurden. Die visuelle Kontrolle des Punkts führte zur Feststellung einer lokalen Bewegung der Oberfläche, die jedoch nicht ursächlich auf die Sanierungsarbeiten zurückgeführt werden konnte. Daraufhin wurde die Umgebung des Punkts stabilisiert, und die Drainagearbeiten konnten fortgesetzt werden.

6 Zusammenfassung

Im beschriebenen Projekt konnte durch die interdisziplinäre Zusammenarbeit von Projektbeteiligten aus den Bereichen Geotechnik, Geophysik und Geodäsie erfolgreich ein umfassendes automatisiertes

Geomonitoringsystem zur Überwachung von Hangbewegungen sowohl während der baulichen Sicherungsmaßnahmen als auch danach als dauerhafte Einrichtung installiert werden. Die Alarmfunktion auf Basis der fachlich bestimmten Grenzwerte ermöglichte eine frühzeitige Einleitung von Maßnahmen bis hin zur Sicherung von Ausrüstung und Evakuierung von Menschen im Fall einer bevorstehenden Rutschung. Durch Internetanschluss und direkte Bereitstellung der Daten auf einem Web-Interface konnten die Projektbeteiligten jederzeit über die aktuelle Situation informiert werden und somit gesichert Einfluss auf das System nehmen.

Insgesamt wurden 15 Drainagerohre im Zuge der Baumaßnahmen bis zu 56 m in den Hang getrieben. Das Ergebnis: Seit Abschluss der Arbeiten im Dezember 2009 wird der Hangabschnitt mit ca. 120 m³ am Tag deutlich entwässert. Somit konnten dem Hang bisher bereits mehr als 130.000 m³ Wasser entzogen werden und die Grundwasserstände sowie der Porenwasserdruck der entwässerten Bodenschichten dauerhaft um mehrere Meter abgesenkt werden (im Bild 13 besonders deutlich bei der Tiefe 20 m erkennbar (Graf in Dunkelblau)).

Die durchgeführten Entwässerungsarbeiten und das während dieser Zeit installierte Geomonitoring des Hangs waren ein voller Erfolg.

Anfang März 2010 konnten die betroffenen Anwohner schließlich nach acht langen Monaten in ihre Häuser zurückkehren. Seit der Tourismussaison 2010 sind Hang und Yachthafen wieder zur Nutzung freigegeben.

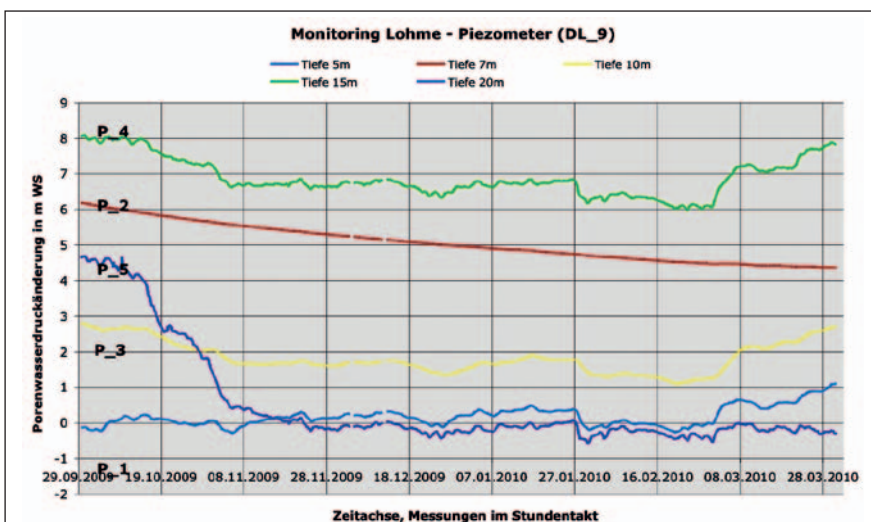


Bild 13: Porenwasserdruckentwicklung

Autoren

Anette Rietdorf, Ditte Becker und Jürgen Rüffer
ALLSAT GmbH
Am Hohen Ufer 3A, 30159 Hannover
anette.rietdorf@allsat.de

Carlos Miguel Fischer
SCANROCK GmbH
Mühlenweg 3, 29227 Celle
carlos.fischer@scanrock.de

Jörg Gothow
WASTRA-Plan Ingenieurgesellschaft mbH
Oll-Päsel-Weg 1, 18069 Rostock
j.gothow@wastra-plan.de

Christian Hotz
Fugro Consult GmbH
Ostendstraße 17, 64319 Pfungstadt
c.hotz@fugro.de