

Langzeitbeobachtung an mit Vorspannankern gesicherten Rutschhängen

Dipl.-Ing. Thomas Oehler, Leitender Regierungsbaudirektor (LRBD), Leiter der Autobahnie-derlassung Hamm, Landesbetrieb Straßenbau Nordrhein-Westfalen, Hamm, Deutschland



Nachdem beim Auffahren eines 50 m tiefen Einschnitts im Zuge des Neubaus der A 46 bei Arnsberg/Meschede fortschreitende Verschiebungen aufgetreten sind, wurde auf Basis umfangreicher Untersuchungen, Berechnungen und Simulationen ein aufwändiges Sicherungskonzept entworfen. Neben der vollständigen Drainierung der Hänge wurden diese mit zunächst 155 (Südhang) beziehungsweise 100 Vorspannankern (Nordhang) gesichert. Als bei Kontrollmessungen weitere Verschiebungen und teilweise erhebliche Überschreitungen der zulässigen Ankerlasten registriert wurden, erfolgte eine Anpassung mit weiteren 135 Zusatz- beziehungsweise Ersatzankern am Südhang. Der Nordhang wurde zusätzlich mit 193 korrosionsgeschützten Felsnägeln gesichert. Um auf weitere kostenintensive Ankerungsarbeiten verzichten zu können, wurde die Anwendung der Beobachtungsmethode gemäß DIN 1054 gewählt. Dadurch konnte der Sicherheitsbeiwert auf $\eta = 1,2$ reduziert werden. Anhand umfangreicher Überwachungseinrichtungen und Messungen erfolgt die turnusmäßige Überwachung der Böschungen. Als Ergebnis der regelmäßigen Auswertung der Messergebnisse und der daraus resultierenden Bewertung der Standsicherheit konnten erwartungsgemäß die Turnusse der einzelnen Messungen zwischenzeitlich erheblich ausgedehnt werden. Nach Einschätzung der Gutachter befinden sich beide Böschungen derzeit im Gleichgewichtszustand und sind damit standsicher.

Long-term Observation of Tendon Stabilised Slopes: *While excavating a 50 m deep cut in the course of the new building of the motorway A 46 near Arnsberg/Meschede increasing displacements appeared. Thereupon a costly support concept was designed on the basis of extensive investigations, analyses and simulations. In addition to a complete drainage of the slopes the latter was supported by 155 (southern slope) and 100 tendons (northern slope). During control measurements further displacements were recorded and it was found out that the admissible anchor forces partly were considerably exceeded. As a consequence, the southern slope was supported by 135 supplementary tendons. The northern slope additionally was supported by 193 corrosion-protected rock nails. In order to be able to abstain from further cost-intensive anchoring works it was decided to apply the observation method according to DIN 1054. As a consequence the safety factor could be reduced to $\eta = 1.2$. Then the slopes were supervised with the aid of an extensive monitoring program. As a result of the regular evaluation of the measurements and the resulting stability assessment, the intervals of individual measurements could be considerably increased. According to the opinion of the consultants both slopes are currently in equilibrium and therefore stable.*

Im Zuge des Neubaus der Bundesautobahn A 46 im Teilabschnitt Arnsberg/Uentrop bis Meschede/Wennemen wurden bei den Ausubarbeiten für einen 50 m tiefen Einschnitt im Jahr 2001 fortschreitende Verschiebungen an der Südböschung festgestellt. Dabei umfasste die größte horizontal gemessene Verschiebung 26 cm.

Baumaßnahme

Als Sofortmaßnahme wurden zunächst alle Abtragsarbeiten eingestellt. Zum Stoppen der Rutschung wurde zusätzlich eine zehn Meter hohe Vorschüttung aus Schotter aufgebracht (Bild 1).

Die im Vorfeld der Baumaßnahme erstellten Streckengutachten wiesen keinerlei Auffälligkeiten auf, die zu besonderen Schutz- oder Sicherungsmaßnahmen Anlass gegeben hätten. Im Zuge der bereits seit dem Jahr 1998 durchgeführten Bodenabtragungen (Gewinn von Bodenmassen für Baustraßen und Straßendämme) waren zuroberflächennahen Hangsicherung temporäre

Anker eingebracht worden, die jedoch, wie die zwischenzeitlichen Erkenntnisse belegen, aufgrund ihrer zu geringen Verankerungslänge wirkungslos blieben.

Die Ursache hierfür lag, wie umfassende Baugrunderkundungen und Standsicherheitsuntersuchungen ergaben, darin, dass die Südböschung auf einer Länge von 200 m von einer im Kern 10 bis 40 cm dicken Störungszone aus zerriebenem Gestein durchzogen wird [1, 2].

Zusätzlich ist das Gebirge beiderseits des Kerns stark zerklüftet und weist unterhalb dieser Störungszone eine Sattelzone aus zerklüftetem Schiefer auf (Bild 2).

Sicherheitskonzept

Die Scherfestigkeit auf den Trennflächen wurde mittels FE-Berechnungen und Berechnungen nach der Blockgleitmethode abgeschätzt, indem die gemessenen Verschiebungen nachgerechnet wurden. Auf dieser Grundlage erfolgte die Dimensionierung der Ankerung unter der Voraus-

Oehler:
Langzeitbeobachtung an mit Vorspannankern gesicherten Rutschhängen



Bild 1. Luftaufnahme des Einschnitts.

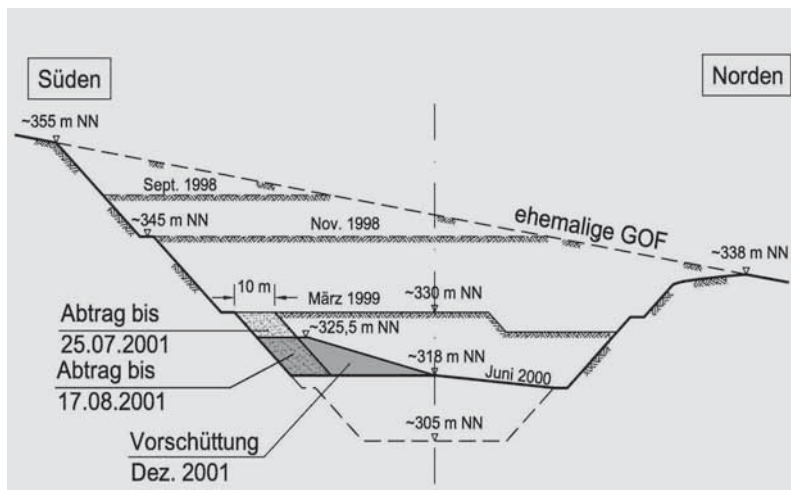


Bild 2. Aushubzustände.

setzung einer erforderlichen vollständigen und dauerhaften Drainierung der Hänge.

Bereits jetzt war klar, dass eine absolute Standsicherheit der Böschungen ohne weitreichende Maßnahmen nicht zu erreichen war. Unter wirtschaftlicher Betrachtung der Kosten für die Ankerungsmaßnahmen wurde festgelegt, den erforderlichen Sicherheitsbeiwert gemäß der DIN 4084 von $\eta = 1,4$ auf $\eta = 1,2$ abzusenken.

Dies war jedoch nur zulässig, wenn entsprechend der DIN 1054 die Beobachtungsmethode (Monitoring) zum Einsatz kommt. Ergänzend sei hier bemerkt, dass auch bei Einhaltung des Sicherheitsbeiwerts von $\eta = 1,4$ ein Monitoring – wenn auch in geringerem Umfang – durchzuführen gewesen wäre.

Im Ergebnis wurden in den Jahren 2002 und 2003 zunächst 155 Vorspannanker sowie 53 zusätzliche Lamellenanker (Südböschung) und 100 Vorspannanker (Nordböschung) mit einer Gebrauchslast von jeweils 628 kN eingebaut. Unterhalb der unteren Berme der Südböschung kamen aufgrund der örtlichen Belastung zudem insgesamt 40 Zusatzanker mit einer Gebrauchslast von 1.005 kN zum Einsatz (Bild 3).

Die erforderliche vollständige Drainierung beider Einschnittsböschungen wurde über insgesamt 31 Horizontalbohrungen mit einer Bohrtiefe zwischen 35 und 60 m hergestellt. Die Verkehrsfreigabe für diesen Abschnitt der Autobahn erfolgte im Herbst 2003.

Nachankerung

Während der Fertigstellung der Erdarbeiten für den benötigten Einschnitt wurden trotz der sachgemäß ausgeführten Ankerungsarbeiten weitere, nicht zu vernachlässigende Verschiebungen gemessen. Daraufhin erfolgte mittels Abhebeversuchen an den Ankerköpfen eine Überprüfung der tatsächlichen Ankerkräfte.

Im Ergebnis wurde festgestellt, dass bei einigen Anker im Kernbereich der Verschiebungen Überschreitungen der zulässigen Ankerkräfte von rund 50 % zu verzeichnen waren (Bild 4).

Um weiterhin die Einhaltung des gewählten Sicherheitsbeiwerts von $\eta = 1,2$ zu garantieren, wurden in den Jahren 2004/2005 daher 21 Zusatzanker mit einer Gebrauchslast von ebenfalls 628 kN zur Umverteilung der Lasten und zur Herstellung der Sicherheit für den Fall des Versagens eines Ankers eingebaut.



Bild 3. Lageplanauszug.

Zusätzlich wurden an den erforderlichen Stellen weitere 21 Ersatzanker mit einer Gebrauchslast von 1.005 kN platziert. Hierzu wurde der Verkehr jeweils unter Vollsperrung einer Richtungsfahrbahn mit reduzierter Fahrstreifenanzahl (2+0) am Baufeld vorbeigeführt (Bild 5).

Am Nordhang wurden keine signifikanten Veränderungen festgestellt. Die Anzahl und die Gebrauchslast der während der ersten Ankerung eingebrachten Vorspannanker hat sich als hinreichend erwiesen.

Zur Erhöhung der Kohäsion in den im Gebirge vorhandenen Trennflächen im Bereich oberhalb der unteren Berme sowie zur Erhöhung der Scherfestigkeit in einem Teilbereich des Böschungsfußes wurden im Rahmen der Nachankerungsarbeiten im Jahr 2004 insgesamt 193 korrosionsgeschützte Vorspannanker eingebracht. Diese ersetzen teilweise die während der Einschnittsarbeiten ausgeführten temporären Einstabanker (Bild 6).

Beobachtungsmethode

Bei Verzicht auf weitere umfangreiche und vor allem kostenintensive Ankerungsarbeiten sieht die Beobachtungsmethode gemäß DIN 1054 eine laufende Kontrolle (Monitoring) sowohl in der Bauphase als auch während des anschließenden laufenden Betriebs vor. Die Beobachtungsmethode wird in Fällen angewendet, in denen eine Prognose des Verhaltens von Hängen und Böschungen allein aufgrund vorab durchgeführter

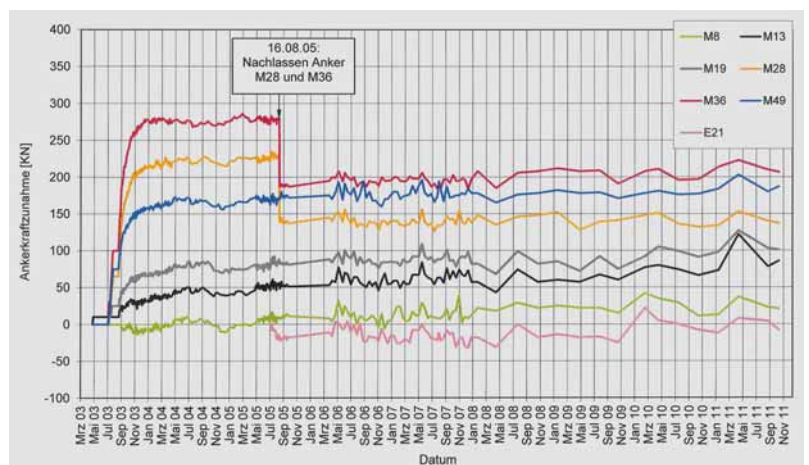


Bild 4. Zuwachs der Ankerkräfte.

Untersuchungen und rechnerischer Nachweise nicht mit ausreichender Zuverlässigkeit möglich ist.

Mit den Messungen sollen kritische Situationen rechtzeitig erkannt und durch die Anwendung vorbereiteter technischer Maßnahmen beherrscht oder durch sicherheitsrelevante Maßnahmen dem Gefahren- und Risikopotenzial entgegengewirkt werden. Die DIN 1054 sieht dabei vor, dass alle relevanten Randbedingungen bereits im Vorfeld definiert werden müssen.

So sind die zulässigen Grenzen für das Bauwerksverhalten, die Wahrscheinlichkeiten für dieses Verhalten sowie geeignete Gegenmaß-

Oehler:

Langzeitbeobachtung an mit Vorspannankern gesicherten Rutschhängen



Bild 5. Sicherungsarbeiten am Südhang.



Bild 6. Sicherungsarbeiten am Nordhang.

nahmen und zugehörige Reaktionszeiten ebenso festzulegen wie Umfang, zeitlicher Rahmen, Ablauf, Auswertung und Bewertung der Messungen.

Zusätzlich ist es sinnvoll, bereits in dieser Phase abzuschätzen, inwieweit eine langfristige Fortführung des Messprogramms unter Berücksichtigung der zwischenzeitlichen Auswertungen unter Anpassung der Messturnusse nach Ablauf bestimmter Messzeiträume angepasst werden kann.

Umfang des Monitorings

Wie bereits an anderer Stelle ausgeführt, sind im vorliegenden Fall verschiedene Randbedingungen zu berücksichtigen und deren Einhaltung zwingend sicherzustellen. Daraus resultieren verschiedene Kriterien, die im Rahmen des Monitorings fortlaufend zu überprüfen, auszuwerten

und zu bewerten sind. Für die hier zu betrachtenden Sicherungsmaßnahmen wurden im Einzelnen folgende Monitoringumfänge festgelegt:

- Durchführung von Kontrollgängen und Besichtigung der Ankerköpfe in Anlehnung an die DIN 1076.
- Ablesung der Ankerkraftmessdosen (33 Messdosen).
- Messung der Grundwasserstände (16 Pegelmessstellen).
- Durchführung von Extensometermessungen (6 Extensometer).
- Durchführung von Inklinometermessungen (13 Inklinometer).
- Geodätische Beobachtung der Ankerköpfe und des Geländes.
- GPS-Vermessung der vorhandenen Messpfeiler (Bezugspunkte des lokalen Vermessungssystems).
- Auswertung der Messungen und Bewertung der Ergebnisse in einem Bericht.

Die Durchführung der einzelnen Kontrollmaßnahmen wurde aufgeteilt. Dabei wurden sowohl die monatlichen Kontrollgänge und Besichtigungen der Ankerköpfe, die Ablesung der Ankerkraftmessdosen, die Messung der Grundwasserpegel als auch die geodätischen Kontrollmessungen durch das landesbetriebseigene Fachcenter Vermessung/Straßeninformationssysteme beziehungsweise durch die regional zuständige Autobahnmeisterei Werl durchgeführt.

Mit der Messung der Extensometer und Inklinometer, der Dokumentation und Auswertung aller Messergebnisse und insbesondere mit der Beurteilung der Standsicherheit der Einschnittsböschungen auf der Grundlage der Messergebnisse wurde das Ingenieurbüro Prof. Dr.-Ing. W. Wittke, Beratende Ingenieure für Grundbau und Felsbau GmbH (WBI), Aachen, beauftragt. Durch dieses Ingenieurbüro waren bereits das gesamte Sicherheitskonzept entwickelt sowie alle Ankerungsmaßnahmen im Rahmen einer Fachbauüberwachung begleitet worden.

Die Tabelle 1 gibt die Intervalle wieder, die für die einzelnen Beobachtungsschritte festgelegt wurden. Erkennbar ist, dass entsprechend der im Jahr 2005 mit Beginn des Monitorings erstellten Prognose die Intervalle bestimmter Positionen unter der Berücksichtigung der dokumentierten Entwicklung ausgedehnt werden konnten.

Nachdem auch nach dem Abschluss der zweiten Monitoringphase (2008 bis 2011) keinerlei Auffälligkeiten in den Messergebnissen zu verzeichnen sind, sondern im Gegenteil die halbjährlichen Berichte des Gutachterbüros zu dem Ergebnis führen, dass sich beide Einschnittsböschungen im Gleichgewicht befinden und daher standsicher sind, kann für die dritte Monitoringphase (2012 bis 2016) eine erneute Anpassung der Monitoringintensität erfolgen.

Gleichwohl ist der Stellungnahme des Gutachters zu entnehmen, dass auch für den weiteren Zeitraum ab 2017 nach derzeitigem Stand keine Beendigung des Monitorings zu erwarten ist.

Tabelle 1: Beobachtung innerhalb der vorgegebenen Intervalle.

(ANL: Autobahnniederlassung; AM: Autobahnmeisterei; FCVS: Fachcenter Vermessung/Straßeninformationssystem von Straßen. NRW.; WBI: Prof. Dr.-Ing. W. Wittke, Beratende Ingenieure für Grundbau und Felsbau GmbH, Aachen)

Maßnahme	2006 bis 2007	2008 bis 2011	2012 bis 2016	
Kontrollgänge und Besichtigung der Ankerköpfe	monatlich	monatlich	monatlich	ANL Hamm/AM Werl
Ablesung der Ankerkraftmessdosen (33 Stück)	2 x monatlich	¼ - jährlich	½ - jährlich	FCVS
Messung der Grundwasserpegel (16 Pegel)	2 x monatlich	¼ - jährlich	½ - jährlich	FCVS
Geodätische Kontrollmessung der Ankerköpfe	¼ - jährlich	½ - jährlich	½ - jährlich	FCVS
GPS-Vermessung der Pfeiler (6 Stück)[zusätzlich ab 2008]	-/-	jährlich	jährlich	FCVS
Extensometer- und Inklinometermessung (6 + 13 Stück)	¼ - jährlich	½ - jährlich	½ - jährlich	WBI
Dokumentation, Auswertung der Messergebnisse und Beurteilung der Standsicherheit	¼ - jährlich	½ - jährlich	½ - jährlich	WBI

Denkbar ist jedoch, dass unter Berücksichtigung der bis dahin vorliegenden Messergebnisse und Bewertungen eine erneute Anpassung des Monitoringumfangs vorgenommen werden kann.

Auswertung der Messergebnisse

Grundsätzlich können für alle gewonnenen Messergebnisse, die im Rahmen des Monitorings unter Einsatz der beschriebenen Messeinrichtungen ermittelt wurden, keine relevanten Abweichungen verzeichnet werden. Nachdem mit der Durchführung der ersten Messungen (geodätische Messungen) bereits beim Auffahren des Einschnitts begonnen wurde, konnte auf diesem Weg überhaupt erst die Existenz des augenscheinlich zunächst nicht erkennbaren Hangrutschs nachgewiesen werden.

Mit der Durchführung der resultierenden Erkundungen und Berechnungen wurden die weiteren Messsysteme installiert, die dann fortlaufend die notwendigen Messergebnisse geliefert haben. So konnten beispielsweise nach dem Abschluss der ersten Ankerarbeiten im Jahr 2003 und der danach erfolgten Verkehrsfreigabe für den Autobahnabschnitt zeitnah die weitergehenden Verformungen im Kernbereich der Störung identifiziert und die notwendigen Maßnahmen daraus abgeleitet werden.

Mit dem Abschluss der weiteren Ankerungsmaßnahmen in den Jahren 2004 und 2005 wurde ein Zustand erreicht, der letztendlich als Ruhebeziehungsweise Gleichgewichtszustand des Einschnitts bezeichnet werden kann.

Die mit den einzelnen Messinstrumenten erzielbaren Messwerte werden im Rahmen des Monitorings ausgewertet und dienen zu einer Bewertung des Zustands. Sowohl für die gemessenen Ankerkräfte, die geodätischen Kontrollmessungen als auch für die durch den Gutachter vorgenommenen Messungen der Inklinometer und Extensometer ist festzustellen, dass sich

alle Messwerte im Rahmen der Messtoleranzen bewegen (Bild 7).

Im Ergebnis sind seitdem keine weiteren Ankerungs- oder Sicherungsmaßnahmen erforderlich geworden.

Besondere Ereignisse

Da die Standsicherheit beider Einschnittsböschungen neben der Dauerhaftigkeit der eingebrachten Vorspannanker und Felsnägel vor allem von der vollständigen Drainierung der Hänge abhängig ist, wurde für alle Grundwassermesspegel in Abhängigkeit von der jeweiligen Höhe ein zugehöriger Alarmwert definiert.

Unter Bezug auf die Oberkante der Autobahnfahrbahn wurden für alle 18 Grundwassermessstellen Horizonte (Alarmwerte) festgelegt, bei deren Überschreitung negative Auswirkungen auf die Standsicherheit nicht auszuschließen sind. Im Rahmen der Messungen ist es im Jahr 2007, vermutlich nach erheblichen Niederschlagsereignissen, bei verschiedenen Messstellen zu einer Überschreitung dieser Alarmwerte gekommen.

Bei insgesamt fünf Messstellen des Südhangs, die sich allesamt in den Randbereichen der Ankerung befinden, wurden wiederholt Pegelstände im Bereich der oder bis zu 3,0 m oberhalb dieser Alarmwerte gemessen (Bild 8).

Unter Berücksichtigung der aus diesen Beobachtungen folgenden und in den Berichten dokumentierten Erscheinungen wurde WBI beauftragt, eine Funktionsprüfung der betreffenden Messstellen durchzuführen. Die Untersuchungen im Winter 2007/2008, die anhand von Absenk- und Auffüllversuchen durch ein Fachunternehmen durchgeführt wurden, konnten vier der fünf Messstellen eine vollständige Funktionsfähigkeit bescheinigen.

Bezüglich der fünften untersuchten Messstelle wurde nachgewiesen, dass diese eine zu geringe hydraulische Verbindung zu offenen Trennflä-

Oehler:
Langzeitbeobachtung an mit Vorspannankern gesicherten Rutschhängen

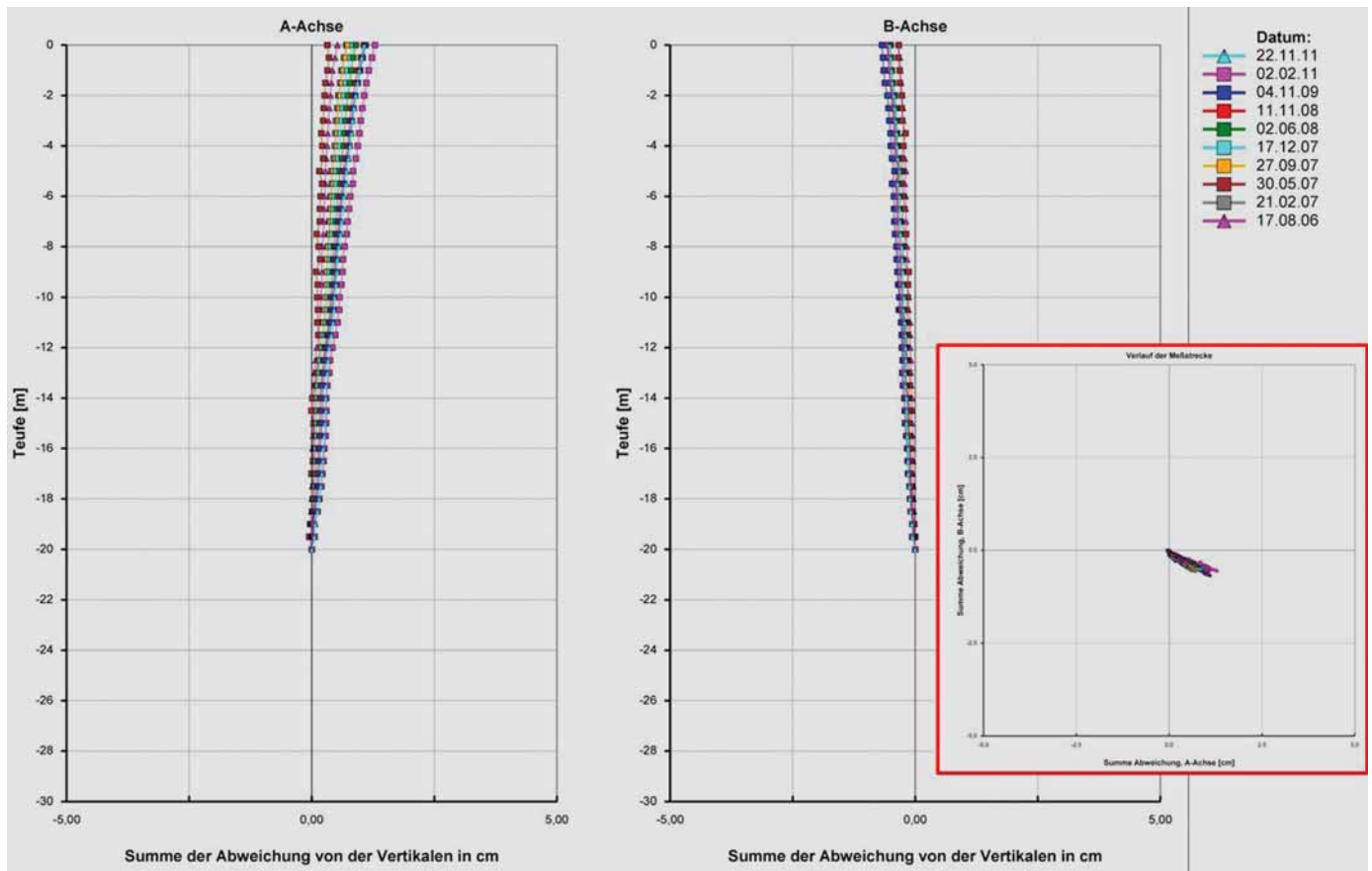
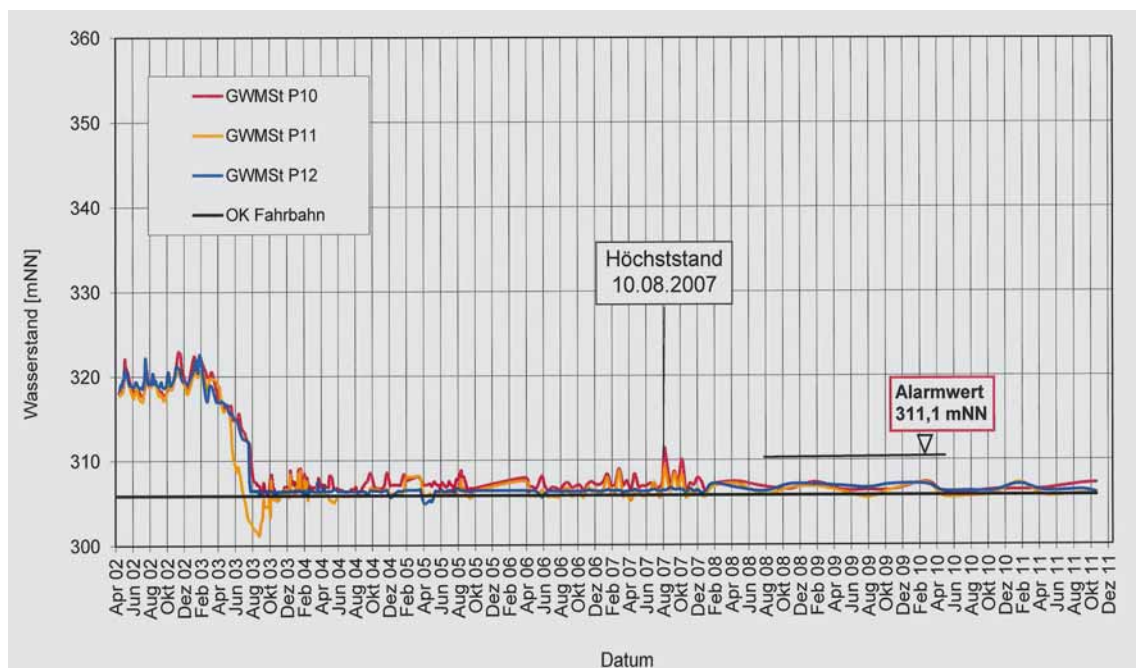


Bild 7. Inklinometermessungen.

chen besitzt. Zudem zeigt sie durch zulaufende Oberflächenwasser bei Niederschlagsereignissen unzutreffend hohe Wasserstände an. Damit ist diese Grundwassermessstelle als eingeschränkt funktionsfähig einzustufen.

Die Empfehlung des Gutachters geht dahin, bei weiterhin ähnlichen Messergebnissen gegebenenfalls die vorhandene Anzahl von 31 Dränagebohrungen zu erweitern. Die regelmäßig durchgeführte Wartung und Spülung der

Bild 8. Ganglinien der Grundwasserstände.



vorhandenen Bohrungen durch die zuständige Autobahnmeisterei sollten fortgeführt werden.

Kosten

Durch die unerwartete Hangrutschung, deren Auswirkungen auf den laufenden Autobahnbau und die in der Folge ergriffenen Maßnahmen zur Sicherung der Einschnittböschungen sind Baukosten in Höhe von etwa 9 Mio. € entstanden. Hinzu kommen Ingenieurkosten für die notwendigen Untersuchungen, Erkundungen und Messungen sowie für die Entwicklung der geeigneten Maßnahmen in Höhe von fast 1,2 Mio. €. Für das seit dem Jahr 2006 durchgeführte Monitoring sind bislang Kosten in Höhe von 200.000 € angefallen. Der jährliche Aufwand hierfür ist mit etwa 25.000 € anzusetzen.

Um den für das Erreichen eines Sicherheitsbeiwerts $\eta = 1,4$ zusätzlich erforderlichen Ankerungs- und Sicherungsaufwand baulich umzusetzen, wurden die entstehenden Baukosten mit zusätzlich circa 3,5 Mio. € ermittelt. Zu beachten ist dabei, dass auch die Einhaltung des erhöhten Sicherheitsbeiwerts in jedem Fall die Durchführung eines Monitorings erfordert hätte. Vermutlich hätte dieses in seinem Umfang und seiner Intensität geringer ausfallen können.

Unter wirtschaftlicher Gegenüberstellung dieser Möglichkeit mit der tatsächlich gewählten Vorgehensweise ist zu erkennen, dass die Einsparungen beim Monitoring selbst langfristig die erhöhten Baukosten keinesfalls kompensieren könnten.

Ausblick

Nach dem Abschluss der beiden ersten Monitoringphasen nach der Fertigstellung des Einschnitts (2006 bis 2007 und 2008 bis 2011) ist festzustellen, dass die gewählte Methodik zielführend gewesen ist. Die ausgeführten Ankerungs- und Dränierungsmaßnahmen haben in ihrem Umfang dazu beigetragen, dass beide Einschnittböschungen als standsicher eingeschätzt werden. Beide Hänge befinden sich im Gleichgewichtszustand. Die ausgeführten konstruktiven Maßnahmen haben sich als angemessen erwiesen.

Die Tatsache, dass in den Jahren 2004 und 2005 umfangreichere Nachankerungsmaßnahmen notwendig waren, ist auf die geologischen und felsmechanischen Besonderheiten des vorliegenden

Hangs zurückzuführen. Gerade durch die schon während der Bauzeit ständige Überwachung der Einschnittböschungen wurden einerseits die aufgetretenen Verschiebungen registriert und andererseits wurde die Basis für das unter Anwendung der Beobachtungsmethode gewählte Monitoringkonzept gebildet.

Quellenverzeichnis

- [1] Professor Dr.-Ing. W. Wittke Beratende Ingenieure für Grundbau und Felsbau GmbH (WBI), Aachen, verschiedene Dokumentationen, Auswertungen, Berichte und Bewertungen zur „BAB 46, Hagen - Brilon, Hangsicherung km 76,00“, 2002-2012.
- [2] Landesbetrieb Straßenbau NRW, interner Schriftverkehr und Fotos, 2002-2012.