

Zeitschrift für Bodenmechanik, Erd- und
Grundbau, Felsmechanik, Ingenieurgeologie,
Geokunststoffe, Umweltgeotechnik

Herausgegeben von der
Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e.V.
(DGGT), Essen

Tagesbruchsicherung einer Landesstraße in einem ehemaligen Bergbauggebiet in der Eifel

Dr. Dipl.-Geol. Michael Rogall, Landesamt für Geologie und Bergbau, Rheinland-Pfalz, Mainz,
Dipl.-Ing. Jochen Bromen, Tensar International GmbH, Bonn



Tagesbruchsicherung einer Landesstraße in einem ehemaligen Bergbauegebiet in der Eifel

Dr. Dipl.-Geol. Michael Rogall, Landesamt für Geologie und Bergbau, Rheinland-Pfalz, Mainz, Dipl.-Ing. Jochen Bromen, Tensar International GmbH, Bonn

Im nördlichen Stadtgebiet von Mendig, etwa 4 km südlich des Laacher Sees, befinden sich etwa 25 m unter der heutigen Geländeoberfläche unterirdische Grubenbaue, die vom Mittelalter bis zur Mitte des 20. Jahrhunderts zur Basaltgewinnung angelegt wurden (Bild 1). Die in dem abbauwürdigen alten Lavastrom angelegten unregelmäßigen Hohlräume erreichen Höhen von durchschnittlich 4 m, wobei einige Abbaukammern auch Höhen von über 10 m aufweisen. Gestützt werden die Kammern durch beim Abbau verbliebene Restpfeiler mit sehr unregelmäßigen Querschnitten mit Durchmessern zwischen wenigen Dezimetern und über fünf Metern.

Durch die oberflächennahen Hohlräume und den über Tage stattfindenden Bimsabbau kommt es in den Basaltgewölben zu Spannungsumlagerun-

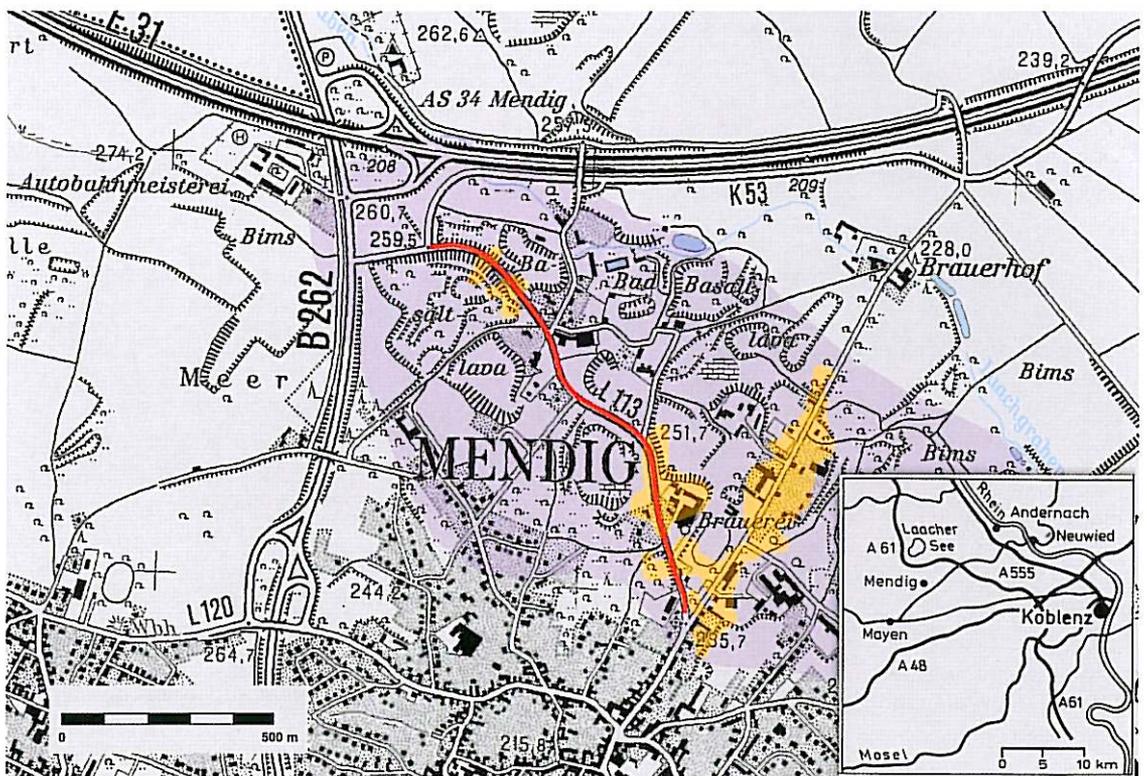
gen, die zu starken Schäden an den Stützpfelern und Hohlraumfirsten und vereinzelt zu Tagesbrüchen führen. Im März 1988 ereignete sich ein größerer Schadensfall, bei dem ein Tagesbruch von über 10 m Durchmesser den Tribünenbereich des Sportplatzes von Niedermendig zerstörte (Bild 2).

Zwei Straßen durchqueren das Altbergbaufeld, wobei einer der Verkehrswege, die stark befahrene Landesstraße L 113, die nördliche Hauptzufahrt der Stadt Mendig ist. Im Zuge des geplanten Ausbaus der Landesstraße wurde vom Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz der Einbau einer Tagesbruchsicherung empfohlen, da in weiten Teilen der Straßentrasse unterirdische Hohlräume bekannt und auskartiert sind. Auf der gesamten etwa 1 200 m langen Ausbaustrecke der Straße wurde nach den statischen Berechnungen und Vorgaben der Herstellerfirma Tensar ein

Die Ausbaustrasse der Landesstraße L 113 in Mendig durchquert ein ausgedehntes unterirdisches Basaltabbaugebiet, das seit über 15 Jahren durch das Landesamt für Geologie und Bergbau in Mainz hinsichtlich der Standsicherheitsfragen kartiert und überwacht wird. Zur Sicherung der Straße gegen mögliche Tagesbrüche wurde unter der Fahrbahn auf einer Länge von 1 200 m ein Geotextil eingebaut. Die auftretenden Hohlraumverformungen wurden während der Bauarbeiten durch unterirdische Begehungen und Vermessungen kontinuierlich kontrolliert und bewertet.

rot: Lage des gesicherten Straßenbereichs
orange: kartierte Hohlraumbereiche
blau: vermutete Ausdehnung des unterirdischen Abbaus

Bild 1. Übersichts-lageplan.



Geotextil zur Sicherung der Fahrbahn eingebaut. Eine Übersicht über die Lage der Ausbaustrecke sowie der bekannten und vermuteten Hohlräume gibt Bild 1.

Geologischer Überblick

Die im Untersuchungsgebiet zutage tretenden Gesteine gehören zum Rheinischen Schiefergebirge, das im Wesentlichen aus variszisch gefalteten, devonischen Sedimenten aufgebaut wird. Im Tertiär einsetzende Senkungsbewegungen bildeten das heutige Neuwieder Becken. Die damit einhergehende rege vulkanische Tätigkeit konzentrierte sich auf den Bereich der heutigen Hocheifel. Im Quartär lagen die Zentren des Vulkanismus in der Westeifel zwischen Bad Bertrich und Ormont sowie in der Osteifel im Laacher-See-Gebiet.

Der Obere Niedermendiger Lavastrom, in dem sich die Hohlräume befinden, zählt mit einem Alter zwischen 115 000 und 150 000 Jahren (SCHMINCKE, 1994) zu den magmatischen Ablagerungen der Osteifel. Unterbrochen von einigen eiszeitlichen Sedimenten und fluviatilen Einschaltungen kam es in der Umgebung immer wieder zur Ablagerung vulkanischer Gesteine. Eines der letzten Ereignisse war der Ausbruch des Laacher-See-Vulkans vor knapp 13 000 Jahren. Noch heute dokumentieren kohlenstoffhaltige Quellen und Mofetten die Aktivität des Untergrunds.

Der 15 bis 20 m mächtige Lavastrom lässt sich in einem Vertikalprofil in insgesamt sieben Zonen gliedern. Sie sind durch eine unterschiedliche Porosität des Basalts und verschiedene Durchmesser der Basaltsäulen charakterisiert. Bild 3 gibt einen Überblick über den Lavastrom und die überlagernden Schichten.

Über dem Lavastrom folgt eine bis zu 2 m mächtige, Relief ausgleichende Lössschicht (Würm III-Löss nach FRECHEN, 1976). In die Lössschicht sind durch kryoturrate Prozesse nachfolgender Kaltzeiten bis in eine Höhe von etwa 1 m gerundete Lavablöcke mit bis zu 0,3 m Durchmesser, die sogenannten „Mucken“ aus dem oberen Lavastrombereich, eingearbeitet. Stellenweise sind im unteren Teil des Löss Kiese aus Quarziten und Grauwacken eingeschaltet, die innerhalb kleinerer, sich verlagernder Bachläufe sedimentierten. Der Löss ist dort, wo die Schweißschlacke mit ihrer Filterwirkung fehlt, in die Trennfugen der Basaltsäulen (Abkühlungsklüfte) eingedrungen.

Das geologische Profil wird im Raum Niedermendig durch etwa 10 bis 20 m mächtige Bims-lagen mit zwischengeschalteten feinkörnigen Aschenlagen, den sogenannten „Britzbänken“, abgeschlossen. Der Bims stammt vom Ausbruch des Laacher-See-Vulkans, zeigt eine weißgraue bis graubraune Farbe und besitzt eine dichte Lagerung. Er besteht vorwiegend aus weißen aufgeschäumten Lavateilchen, Basaltbruchstücken und seltener auch anderen Gesteinsbruchstücken.



Beschreibung der Hohlräume und Abbautechnik

Durch die Überlagerung des Basalts mit mächtigen Bims- und Aschelagen war die Gewinnung der Mühlsteine in Niedermendig mit großem Aufwand verbunden. Zunächst wurden etwa 15 m tiefe Schächte mit einem Durchmesser von 5 bis 8 m (ältere Schächte 3 bis 4 m) durch den Oberboden, Bims und Löss bis zum abbauwürdigen Basalt abgeteuft. Der Schacht selbst wurde anschließend mit behauenen Steinen trocken vermauert. Von diesen Schächten ausgehend erfolgte der flächige Abbau des Basalts durch die Bergleute oder „Leyer“. Die Querschnitte der Stützpfeiler betragen je nach Beschaffenheit des Basalts 3,5 bis 7,0 m², was einer Säule von etwa 2 bis 3 m Durchmesser entspricht.

Bild 2. Tagesbruch am Sportplatz von Niedermendig, Nachbruch im Juli 1994.

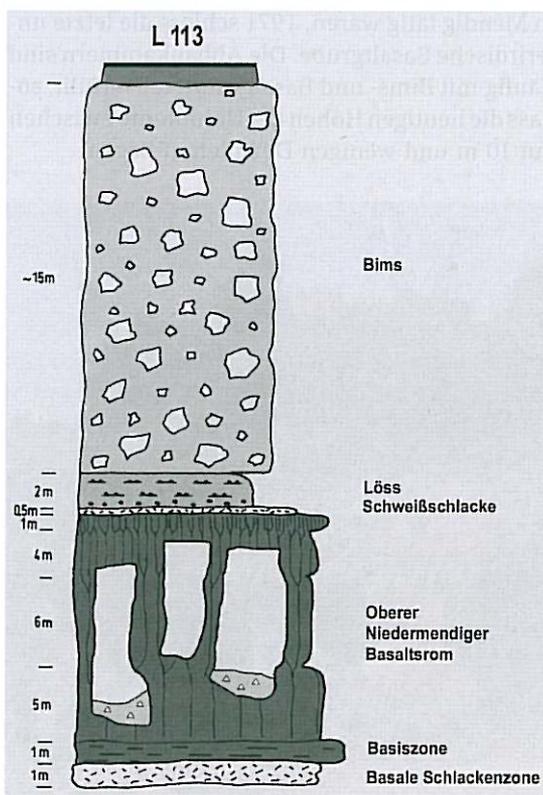


Bild 3. Geologisches Vertikalprofil durch den Oberen Niedermendiger Lavastrom mit Hohlräumen und überlagernden Bimsschichten.



Bild 4. Typischer Hohraumbereich, Höhe etwa 5 bis 6 m, Durchmesser der Stützpfeiler 2 m.

Heutzutage sind die Pfeilerquerschnitte infolge zusätzlichen Abbaus sehr unregelmäßig und reichen von wenigen Dezimetern bis zu 5 m.

Zwischen den benachbarten Abbauparzellen wurde entweder eine natürliche Mauer aus Basalt belassen oder sie wurde durch ein künstliches Mauerwerk ersetzt. Meist wurden die grob zugehauenen Basaltsteine ohne Mörtel verbaut. Die Dicke der Mauern liegt in der Regel zwischen wenigen Dezimetern und drei Metern. Nach der Beendigung des Basaltabbaus sind die meisten Schächte mit Basaltschutt, Bims oder Müll verfüllt worden. Die verfüllten Schächte sind heute unter Tage als steile Schüttkegel zu erkennen.

Höhepunkt des Abbaus war die zweite Hälfte des 19. Jahrhunderts, in dem fast 50 aktive Gruben in Mendig tätig waren. 1971 schloss die letzte unterirdische Basaltgrube. Die Abbaukammern sind häufig mit Bims- und Basaltschutt teilverfüllt, sodass die heutigen Höhen der Hohlräume zwischen gut 10 m und wenigen Dezimetern liegen.

Bild 5. Durch Tagebau angeschnittene Abbaukammern, Stützpfeiler und überlagernde Bims-schichten.



Standisicherheitsproblematik aus heutiger Sicht

Da die meisten Abbaukammern, Stützpfeiler und Sicherungen älter als 100 Jahre sind, hat sich die Stabilität der Hohlräume in einigen Bereichen deutlich verschlechtert (Bilder 4 und 5). Aufgrund der hohen Luftfeuchtigkeit sind die örtlichen Sicherungen aus Holz und Metall weitgehend zerfallen beziehungsweise stark verrostet. Die Umgürtungen der Pfeiler sind durch Korrosion geschwächt, die hölzernen Klemmkeile verrotten. Am deutlichsten wird die Gefährdung anhand der alten Unterzüge, die keinerlei Stützfunktion mehr aufweisen.

Hohe Basaltpfeiler mit geringen Querschnitten weisen aufgrund der Überbelastung häufig Spalt- und Scherbrüche auf (Bild 6). Diese Brüche haben sich im Laufe der Jahrzehnte geweitet, an einigen Brüchen dauern die Bewegungen auch weiterhin an.

Die künstlich errichteten Stützpfeiler sind in unterschiedlichem Zustand. Modernere gemauerte Pfeiler aus Ziegelstein sind meist noch gut erhalten und zeigen nur geringe Alterungsspuren. Pfeiler aus alten Mühlsteinen dagegen können aufgrund ihres geringen Querschnitts nur begrenzt Last aufnehmen und sind häufig durch Überlastung von Scher- und Spaltbrüchen durchzogen. Durch die Verrottungsprozesse der zwischen Pfeiler und der Firste geklemmten Holzbalken ist die Lastaufnahme deutlich herabgesetzt. Manche der älteren gemauerten Pfeiler sind je nach Art und Menge des verwendeten Mörtels teilweise oder völlig eingestürzt. Dies gilt auch für Stützmauern, die zuerst im Firstbereich Ausbrüche und Auflockerungen zeigen. Manche der Mauern sind auch durch den Erddruck ausgebaucht.

Zusätzlich werden die Tragwerke in den Hohlräumen durch den Bimsabbau sowie Geländeauffüllungen über Tage beansprucht. Die langfristigen Laständerungen führen zur Umlagerung der Gebirgsspannungen, durch die sich die Brüche in den Basaltpfeilern weiten.

Kartierung und Überwachung vor und während der Baumaßnahme

Die ingenieurgeologische Kartierung der unterhalb der L 113 und der Brauerstraße zugängigen Hohlräume erfolgte durch das damalige Geologische Landesamt Rheinland-Pfalz in den Jahren 1991 bis 1995. Bearbeitet wurden zwei jeweils 100 m breite Abschnitte mit einer Länge von 750 m unter der Brauerstraße und von 1 300 m unter der Landstraße L 113 (Bild 1). Alle Hohlräume entlang der beiden zu untersuchenden Straßenabschnitte wurden geodätisch vermessen und nach ingenieurgeologischen Gesichtspunkten kartiert. Der Zustand der Tragwerke, der Hohlraumfirste und Hohlraumsohlen sowie die vorhandenen Trennflächen wurden erfasst, bezüglich der Standsicherheit beurteilt und die

Ergebnisse in einem Formblatt festgehalten. In die Gesamtbewertung der einzelnen Hohlräume flossen die Beurteilungen der Tragwerke, Tragwerksabstände und -querschnitte, die Hohlraumhöhen, die Verteilung der Schächte sowie die Ausdehnung der Schüttkegel ein. Von den insgesamt 193 aufgenommenen Hohlräumen wiesen 37 eine hohe und 9 eine sehr hohe Gefährdung auf.

Um mögliche fortschreitende Verformungen der deformierten Restpfeiler erfassen zu können, wurden insgesamt 146 so genannte „Felsspione“ an den Klüften und Spalten installiert und über mehrere Jahre regelmäßig mit einer Mikrometerschraube gemessen. Diese Methodik ermöglicht sehr präzise Messungen, sodass bereits Bewegungen von wenigen Mikrometern registriert werden können. Hierdurch konnte ein sehr genaues Bild über die qualitativen Gebirgsspannungen und Bewegungsaktivitäten in den einzelnen Hohlraumbereichen gewonnen werden.

Die vorhandenen ingenieurgeologischen Karten zeigten, dass die Ausbautrasse insgesamt 22 gefährdete Hohlräume sowie sechs Schächte quert (Bild 7). Um die Erschütterungen an den Stützpfeilern durch die Verdichtungsarbeiten so gering wie möglich zu halten, wurde der Straßenunterbau mit statischen statt der üblichen dynamischen Verdichtungswalzen hergestellt. Die Kontrollmessungen unter Tage wurden während der Bauphase regelmäßig durchgeführt, um eventuell auftretende Standsicherheitsprobleme rechtzeitig bemerken zu können.



Bild 6. Durch Überlastung stark deformierter Restpfeiler mit Felsspion.

Durch die schonende Verdichtung konnten während der Bauarbeiten an den installierten Felsspionen unterhalb des Trassenverlaufs keine größeren Bewegungen registriert werden. Die Messungen ergaben seit Ende des Jahres 2007 an

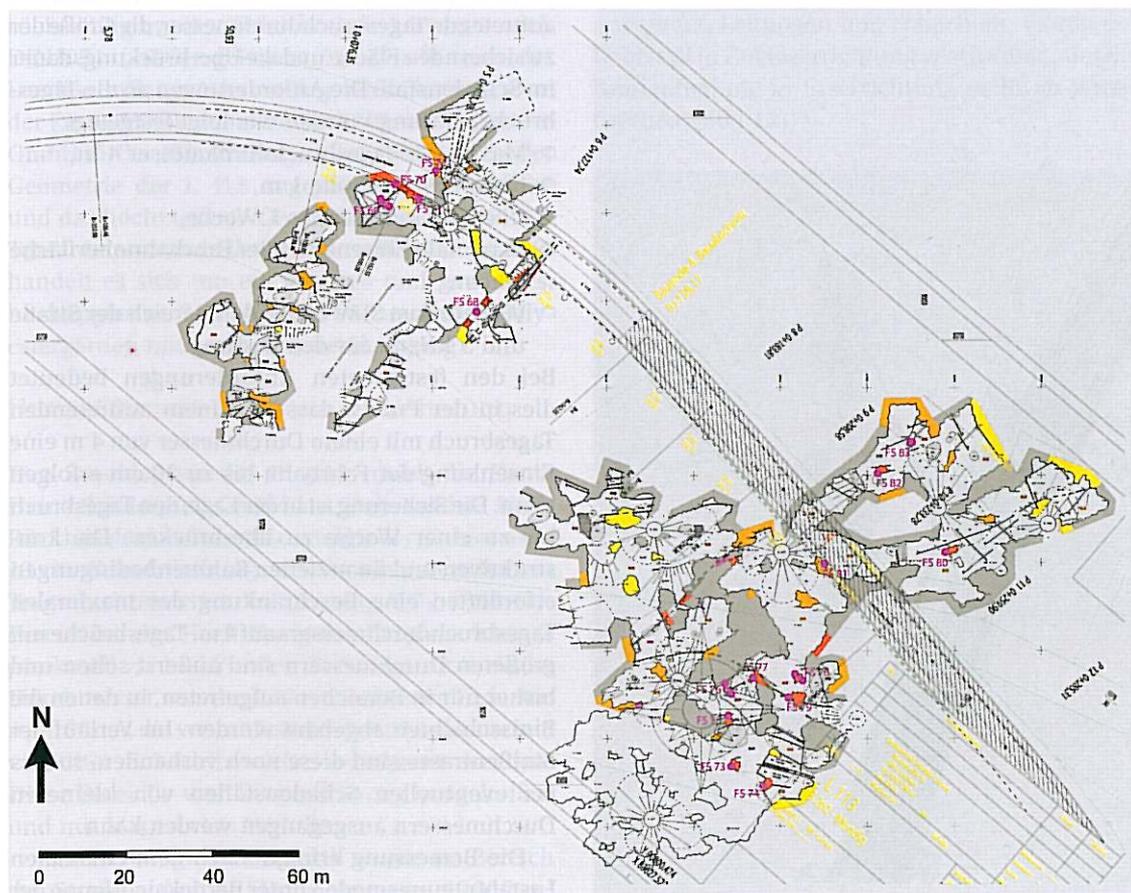


Bild 7. Ausschnitt aus der ingenieurgeologischen Karte Mendig mit kartierten Hohlräumen, schraffiert: Straßentrasse.

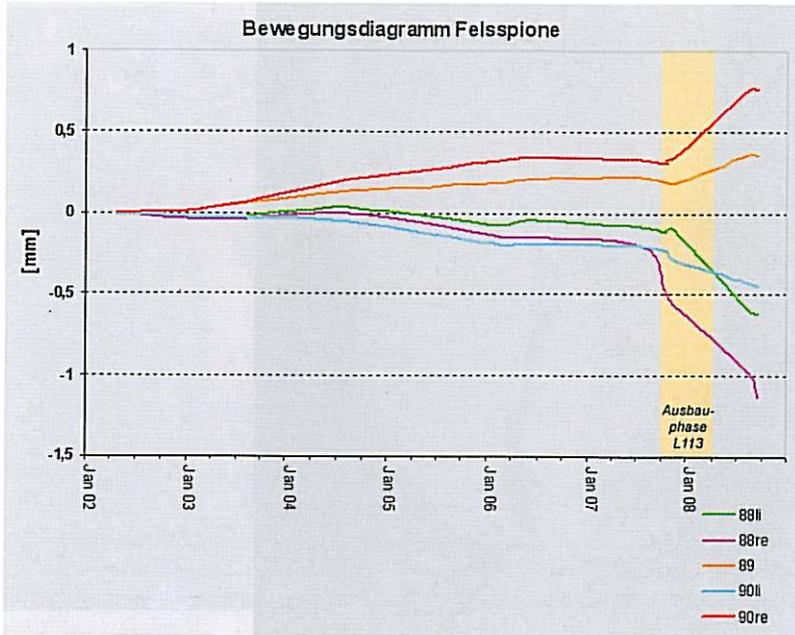
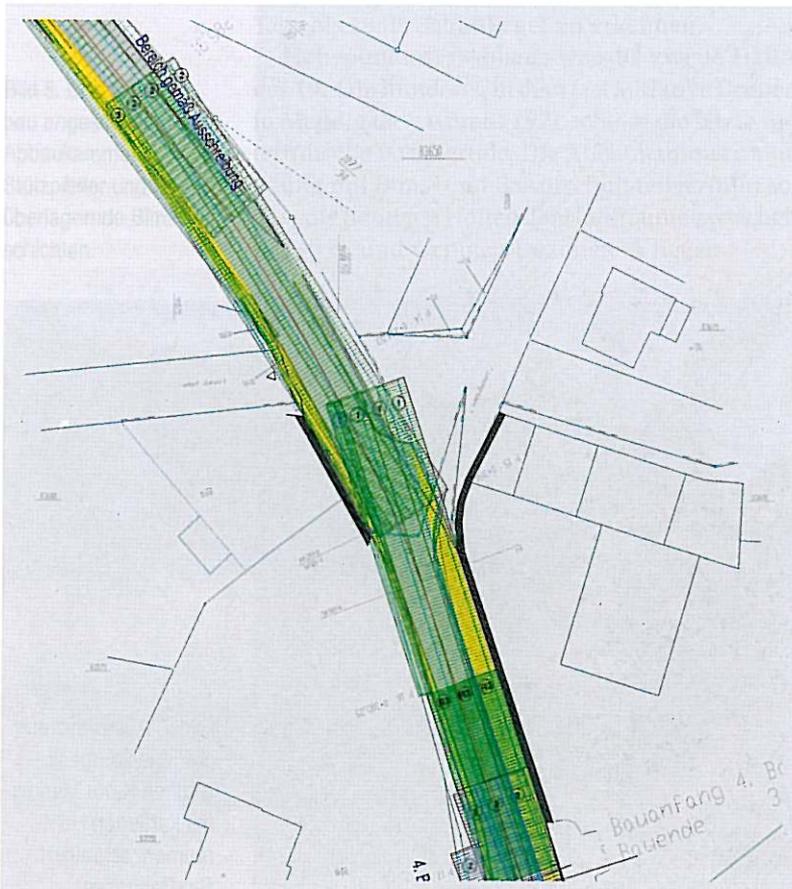


Bild 8. Messkurven von Felsspionen unterhalb der Straßentrasse.

den Spaltrissen der Tragpfeiler meist nur geringe Bewegungsbeträge von bis zu 0,1 mm. An einigen Pfeilern wurden jedoch stärkere Deformationen von bis zu 1,2 mm gemessen (Bild 8). Die Bewegungsbeträge sind durch die Belastungsänderungen im Zuge der Bauarbeiten verursacht worden und auch so erwartet worden. Es ist anzunehmen, dass die Deformationen noch einige Monate anhalten und danach abklingen werden. Ein Versagen von einzelnen Stützpfeilern ist jedoch nicht völlig auszuschließen.

Bild 9. Auszug aus dem Verlegeplan für die mit Geokunststoff bewehrte Erdfallsicherung.



Da sich die betroffenen Stützpfeiler nur wenige Meter neben der Straßentrasse befinden, werden die Felsspione auch weiterhin kontinuierlich überprüft. Gegebenenfalls müssen bei anhaltender Deformation zusätzliche Stützpfeiler eingebaut werden (ROGALL, 2002).

Planung der Baumaßnahme und Auswahl des Sanierungskonzepts

Die Empfehlung des Landesamts für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz, die L 113 präventiv gegen einen möglichen Tagesbruch zu sichern, wurde vom Landesbetrieb Mobilität Cochem bei der Ausbauplanung der Landesstraße berücksichtigt. In der Planungsphase erfolgte in Absprache mit dem Landesamt die Festlegung der maßgebenden Kriterien und Rahmenbedingungen für die Anforderungen an die Tagesbruchsicherung. Unter den gegebenen Bedingungen sollte diese aus wirtschaftlichen Gründen durch eine Geokunststoffbewehrung realisiert werden. Im Gegensatz zum Konzept einer Vollsicherung, beispielsweise durch eine Stahlbetonplatte oder Brückenkonstruktion, wird durch diese Bauweise eine Teilsicherung der zu sanierenden Fläche erzielt.

Bei einem Tagesbruch kann dieser durch eine im Vorfeld definierte, zulässige Einsenkung an der Fahrbahnoberfläche lokalisiert werden, der Gefahrenbereich kann umgehend abgesperrt und saniert werden. Weitere wesentliche Faktoren für die Auswahl und Wirtschaftlichkeit der Sicherungsvariante sind unter anderem der maximal auftretende Tagesbruchdurchmesser, die Größe der zu sichernden Fläche und die Überbrückungsdauer im Schadensfall. Die Anforderungen an die Tagesbruchsicherung wurden wie folgt festgelegt:

- ◇ Maximaler Tagesbruchdurchmesser 4 m,
- ◇ Überdeckungshöhe 1 m,
- ◇ Überbrückungsdauer 1 Woche,
- ◇ Maximale Einsenkung der Fahrbahnoberfläche 30 cm,
- ◇ Verkehrslast SLW 60 für den Bereich der Straße und 5 kN/m² für den Radweg.

Bei den festgelegten Anforderungen bedeutet dies in der Praxis, dass bei einem auftretenden Tagesbruch mit einem Durchmesser von 4 m eine Einsenkung der Fahrbahn bis zu 30 cm erfolgen kann. Die Sicherung ist in der Lage, den Tagesbruch bis zu einer Woche zu überbrücken. Die konstruktiven und finanziellen Rahmenbedingungen erforderten eine Beschränkung des maximalen Tagesbruchdurchmessers auf 4 m. Tagesbrüche mit größeren Durchmessern sind äußerst selten und bisher nur in Bereichen aufgetreten, in denen die Bimsschichten abgebaut wurden. Im Verlauf der Straßentrasse sind diese noch vorhanden, sodass bei eventuellen Schadensfällen von kleineren Durchmessern ausgegangen werden kann.

Die Bemessung erfolgte nach dem einaxialen Lastabtragungsmodell unter Berücksichtigung der

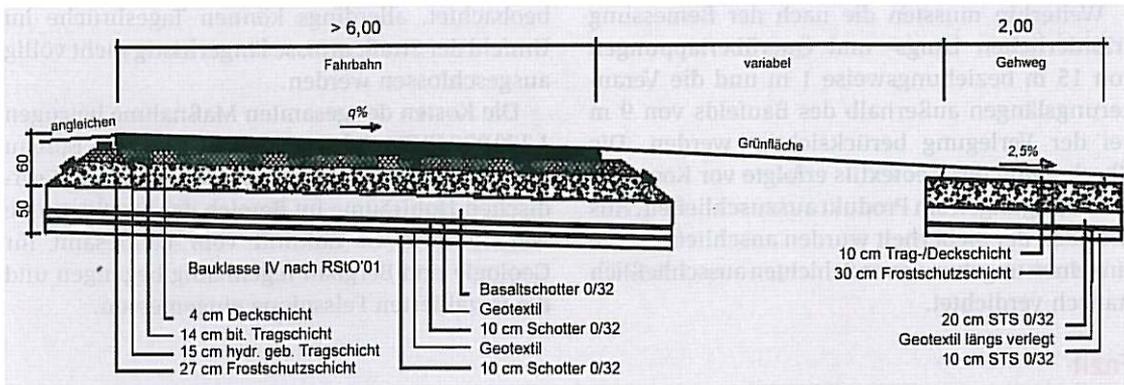


Bild 10. Regelquerschnitt im Bereich der Straße und des Radwegs.



geringen Lastabtragung in Querrichtung. Dieses Modell soll Eingang in die Neufassung der „Empfehlungen für Bewehrungen aus Geokunststoffen – EBGEO“ im Kapitel Erdeinbruchüberbrückung finden, das von der Arbeitsgruppe 6.12 „Überbrückungen von Erdeinbrüchen“ des Arbeitskreises AK 5.2 der DGGT bearbeitet wird.

Die Bemessung wurde im Lastfall 2 unter Berücksichtigung des Teilsicherheitskonzepts nach DIN1054 (2005), getrennt für den Bereich der Landesstraße und den anliegenden Radweg, von der Firma VGS Ingenieure Dr. Köhler & Kirchstein GmbH & Co. KG, Köthen, durchgeführt. Die der Geometrie der L 113 angepassten Verlegepläne und das hochzugfeste Geotextil lieferte die Firma Tensar International GmbH, Bonn. Bei dem Produkt handelt es sich um ein gelegtes und gewirktes, hochzugfestes Geotextil aus hochmodulen Polyestergeräten mit geringer Kriechneigung.

Herstellung der Tagesbruchsicherung

Den Zuschlag für das Projekt erhielt die Firma Heinz Schnorpfeil GmbH aus Treis-Karden. Nach Rückbau der Landesstraße erfolgte der Einbau einer 10 cm dicken Reibungsschicht aus gebrochenem Tragschichtmaterial der Körnung 0/32 (Bild 10). Bereits bei der Herstellung des Planums kam es punktuell zu kreisrunden Sackungen mit einem Durchmesser von rund 20 cm und einer Tiefe von rund 30 cm, die vermutlich durch ein Nachrutschen verfüllter Schachtbereiche verursacht wurden. Diese Bereiche wurden großräumig ausgekoffert und mit Magerbeton verfüllt.

Das hochzugfeste Geotextil wurde im Bereich der Straße auf einer Fläche von etwa 10000 m²

zweilagig zwischen einer weiteren Reibungsschicht verlegt. Die Verlegung erfolgte in Hauptzugrichtung des Geotextils längs zur Fahrbahn. Um die glatte und faltenfreie Verlegung so einfach wie möglich zu gestalten, wurden die Rollen bereits im Werk vorkonfektioniert und auf der Baustelle mittels einer Traverse eingebaut (Bild 11). Im Bereich von Durchdringungen, beispielsweise querenden Leitungen und Schächten, wurde das Geotextil in Zugfaserrichtung geschnitten, um die Kraftaufnahme in Faserrichtung nicht zu unterbrechen (Bild 12).

Bild 11. Verlegung des Geotextils mit Traverse, verlegtes Geotextil und anschließender Einbau des Schüttmaterials „vor Kopf“.

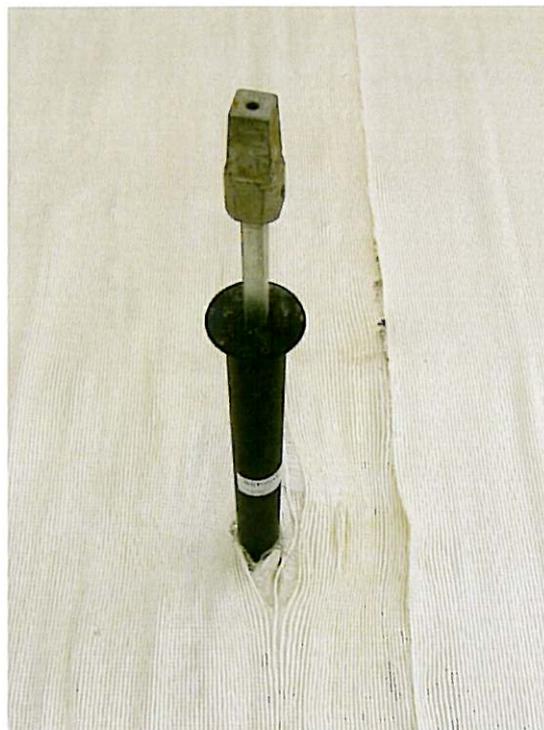


Bild 12. Verlegung des Geotextils im Bereich einer Leitung.

Weiterhin mussten die nach der Bemessung erforderlichen Längs- und Querüberlappungen von 15 m beziehungsweise 1 m und die Verankerungslängen außerhalb des Baufelds von 9 m bei der Verlegung berücksichtigt werden. Die Überbauung des Geotextils erfolgte vor Kopf, um Beschädigungen am Produkt auszuschließen. Aus Gründen der Sicherheit wurden anschließend die einzelnen ungebundenen Schichten ausschließlich statisch verdichtet.

Fazit

Die gesamte Baumaßnahme konnte dank der guten Zusammenarbeit der beteiligten Behörden (Landesamt für Geologie und Bergbau, Landesbetrieb Mobilität, Verbandsgemeinde Mendig), der Herstellerfirma der Geotextilien Tensar International GmbH und der ausführenden Firma Heinz Schnorpfeil GmbH im Frühjahr 2008 erfolgreich und termingerecht fertiggestellt werden.

Durch die schonende Verdichtung des Straßenunterbaus konnten die Erschütterungen in den Hohlräumen gering gehalten werden. Die bisher gemessenen Verformungen an den Stützpfeilern sind im Toleranzbereich und werden weiter

beobachtet, allerdings können Tagesbrüche im Umfeld der Straßentrasse längerfristig nicht völlig ausgeschlossen werden.

Die Kosten der gesamten Maßnahme betragen 1 270 000 EUR, wobei 680 000 EUR auf den Einbau der Tagesbruchsicherung entfielen. Die unterirdischen Hohlräume im Bereich der Straßentrasse werden auch in Zukunft vom Landesamt für Geologie und Bergbau regelmäßig begangen und die installierten Felsspione eingemessen.

Quellennachweis

FRECHEN, J. (1976): *Siebengebirge am Rhein, Laacher Vulkangebiet, Maargebiet der Westeifel*. Sammlung geol. Führer, Bd. 56, Stuttgart.

SCHMINKE, H.-U. (1994): *Vulkanismus im Laacher-See-Gebiet*, GV Exkursionsführer Nr.1.

NORTMEYER, U. (1995): *Gutachten zur Standsicherheit der ehemaligen Grubenbaue unter der Brauerstraße in Niedermendig*. Unveröffentlicht, Archiv des Landesamts für Geologie und Bergbau, Mainz.

ROGALL, M. (2002): *Stabilisierung und Verfüllung unterirdischer Hohlräume – Beispiel eines ehemaligen Basaltbergbaus in der Eifel*. Felsbau, 20, Nr. 3, S. 52-59.