Sanierung eines Straßendammes mit EPS-Hartschaum – Ausführung und messtechnische Überwachung

Dr.-Ing. M. Raithel
Kempfert + Partner Geotechnik, Würzburg - Kassel

Dipl.-Ing. E. Leusink
Kempfert + Partner Geotechnik, Würzburg

Dipl.-Ing. D. Kollmer
Kempfert + Partner Geotechnik, Würzburg

1 Ausgangssituation

Im Zuge eines Straßenbaus auf bindigen Böden mit einer Deckschicht und darunter anstehenden tiefreichenden Tertiärtonen kam es trotz Nachgründung mit Betonrüttelsäulen unter dem bis zu 10 m hohen Damm auf einer Länge von etwa 150 – 200 m zu erheblichen Brucherscheinungen (vgl. Bild 1).

Bild 1: Schadensbild

Auf Grundlage von im Nachgang zu den Brucherscheinungen durchgeführten Erkundungen wurde eine rechnerische Analyse der Schäden vorgenommen und die ermittelte Lage der Gleitfuge anhand Inklinometermessungen überprüft. Eine beispielhafte Darstellung dieser Analyse enthält Bild 2.

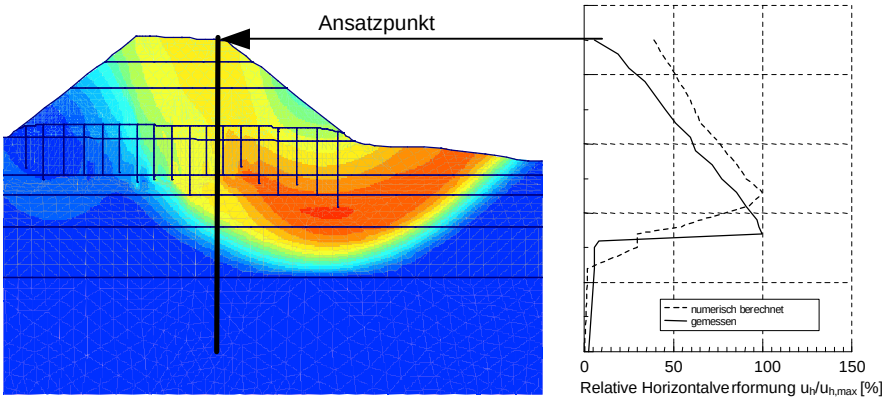

Bild 2: Numerische Analyse des Schadensfalles und gemessene Horizontalverformungen

2 Sanierung

2.1 Sanierungskonzept

Nach Eintritt des Schadensfalles wurde durch Kempfert + Partner Geotechnik die Sanierungskonzeption erstellt und die Sanierung begleitet. Im Rahmen der Vorplanung wurden u.a. folgende Varianten zur Stabilisierung und Sanierung des Straßendammes untersucht:

- Vorschüttungen als Gegenlast (Konterberme) im Bereich des geschädigten Dammes,
- Verdübelung der Scherfuge mittels Bohrpfählen,
- Pfahlgründung (Aufständerung des Dammes) bis in tiefere tragfähige Tertiärtonschichten.

Die Eignung und technische Machbarkeit der Alternativen wurden auf folgende Randbedingungen geprüft und bewertet:

- Gewährleistung der Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit des Straßendammes und eines angrenzenden Brückenbauwerks über eine querende Bahnstrecke unter Berücksichtigung der innerhalb der Bruchzone nur noch geringen vorhandenen Restscherfestigkeiten,
- Begrenzung der Mitnahmesetzungen im Bereich der querenden Eisenbahnstrecke,
- Freihaltung des Lichtraumprofils des angrenzenden Brückenbauwerks bzw. Begrenzung der Mitnahmesetzungen im Bereich der Widerlager,
- Reduzierung der aufgetretenen Verkantung des angrenzenden Brückenbauwerks,
- Kostenminimierung.

Das ausgeführte Konzept (Bild 3 und 4) sah schließlich eine Kombination mehrerer Maßnahmen vor:

1. Anordnung einer 4 – 5 m hohen und 20 – 25 m breiten Vorschüttung (Konterberme) längs des betreffenden Dammabschnitts (Länge ca. 150 m) vor dem Dammfuß über der ehemaligen Bruchmuschel.
2. Maßgebliche Verringerung der Belastung durch Aufbau des Straßendammes auf einer Länge von ca. 200 m (Schadens- und Übergangsbereiche) mit EPS-Hartschaum,
3. Verstärkter EPS-Einbau hinter den angrenzenden Brückenwiderlagern (vgl. Bild 4) zur
   - weitgehenden Reduktion von Setzungsdifferenzen zwischen Damm und Brückenbauwerk,
   - Sicherstellung des erforderlichen Lichtraumprofils,
   - Minimierung der Zwängungsbeanspruchungen im Brückenbauwerk zur Gewährleistung der Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit des Bauwerkes,
   - Ermöglichung einer „Rückdrehung“ des Brückenbauwerks durch Einbau unterschiedlicher EPS-Mächtigkeiten hinter den Widerlagern.
4. Einbau einer hochzugfesten Geogitterbewehrung unter dem EPS-Körper und in die Vorschüttung zur Erhöhung der Standsicherheit.
5. Verlegung des ursprünglich am Dammfuß angeordneten Regenrückhaltebeckens und Neubau in größerem Abstand zum Damm.
6. Dränage der Böschungsfüße zur Vermeidung eines Aufweichens des Dammfußes,
7. Durchführung einer messtechnischen Überwachung während und nach Fertigstellung der Sanierungsmaßnahmen im Sinne der Beobachtungsmethode nach DIN 1054 (neu).

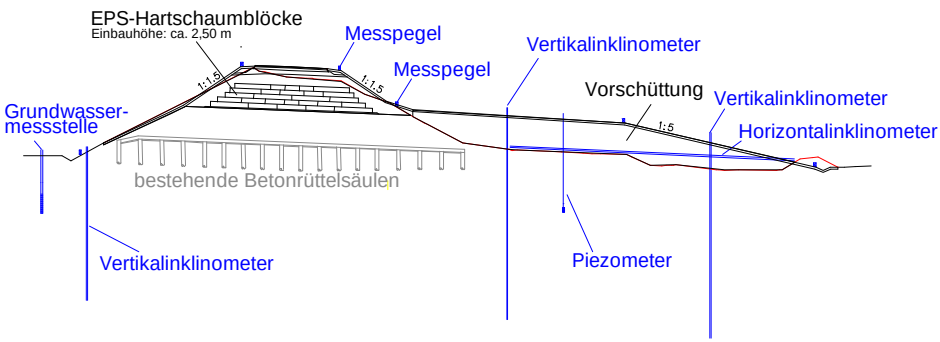

Bild 3: Ausgeführtes Sanierungskonzept: Regelquerschnitt mit Messelementen

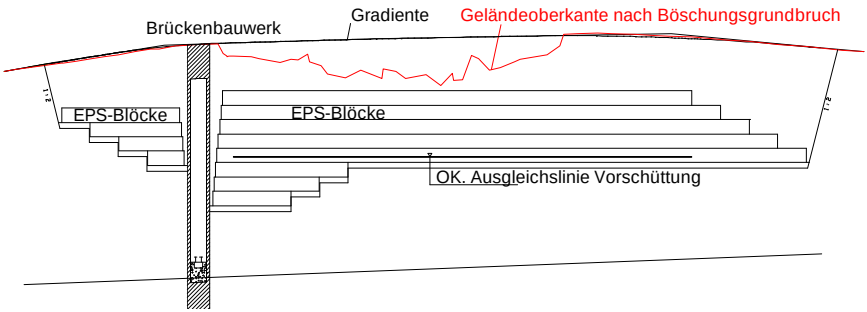

Bild 4: Ausgeführtes Sanierungskonzept: Längsschnitt (überhöhte Darstellung)

2.2 Ausführungsplanung

Als Grundlage für die Ausschreibung und die Vergabe der Bauleistungen zur Sanierung wurden geotechnische Berechnungen durchgeführt, wobei alle auftretenden Zustände im Hinblick auf ihre Wirksamkeit und Standsicherheit überprüft wurden. Aus den durchgeführten Nacherkundungen in Verbindung mit einem umfangreichen Laborversuchsprogramm und numerischen und analytischen Rückrechnungen des eingetretenen Schadensfalles wurde das in Bild 5 dargestellte Baugrundmodell entwickelt, um wirklichkeitsnahen Randbedingungen als Grundlage für die notwendige Sanierung.

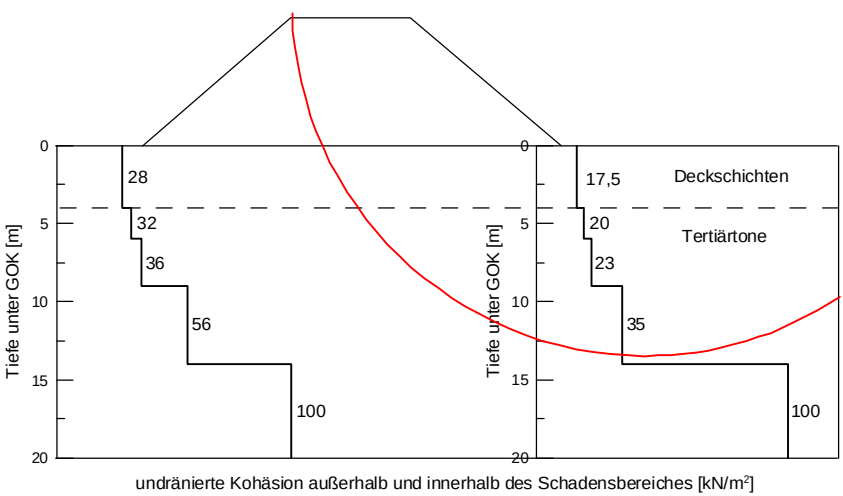

Bild 5: Aus Erkundungen, Verformungsmessungen und Vergleichsberechnungen abgeleitete Rechenwerte der undränierten Kohäsion

Dabei wurde zum Einen berücksichtigt, dass die Scherfestigkeiten im Untergrund nach dem Versagen aufgrund der aufgetretenen Verformungen reduziert worden waren und im Bereich des Böschungsbruchs nur noch die Restscherfestigkeiten angesetzt werden konnten. Zum Anderen wurde durch Ansatz der undränierten Kohäsion berücksichtigt, dass in situ eine nahezu vollständige Wassersättigung der Tertiärtonschichten vorauszusetzen war und aufgrund deren geringer Wasserdurchlässigkeit beim Aufbringen der Dammauflast Porenwasserüberdrücke hervorgerufen wurden.

Weitere Berechnungen wurden zur Prognose der durch die Sanierung verursachten Verformungen unter Berücksichtigung des Bauzeitenplans durchgeführt, um Vergleichswerte für die vorgesehenen Verformungsmessungen zu erhalten und so die Wirksamkeit der einzelnen Sanierungsschritte überprüfen und kritische Zustände während der Sanierung ausschließen zu können.

Die zu erwartenden Setzungen und Horizontalverformungen wurden mittels ebener, numerischer Berechnungen nach der Finiten-Elemente-Methode (FEM) mit dem Programm PLAXIS durchgeführt. Die Weichschichten des Untergrundes sowie das Dammmaterial wurden in den Berechungen mit dem Hardening Soil Model (HSM) abgebildet. Das EPS-Material wurde mit einem linear-elastischen Stoffgesetz berücksichtigt.

Der Zeit-Verformungsverlauf wurde nach der Konsolidationstheorie abgeschätzt, wobei näherungsweise der qualitative Zeit-Verformungsverlauf der Setzungen auch für die Horizontalverformungen übernommen wurde.

2.3 Ausführung

Die Sanierung des Dammes umfasste somit im Wesentlichen folgende Arbeitsschritte:

- Verfüllung des vorhandenen Regenrückhaltebeckens und Herstellung eines Arbeitsplanums,
- lagenweises Aufbringen der Vorschüttung,
- Teilabtrag des Straßendammes sowie Herstellung einer Arbeitsebene,
- abschnittsweiser Aufbau des Dammes mit Geotextil- und EPS,
- Überschüttung des EPS und Herstellung des Straßenoberbaus.

EPS (expandiertes Polystyrol) ist ein Hartschaum mit einer Dichte von ca. 30 kg/m^3. Das Material wurde in Blöcken geliefert und händisch eingebaut, wobei die Blöcke verschiedener Lagen entsprechend einem Mauerwerk versetzt zueinander angeordnet wurden (vgl. Bild 3 und 6). Die Verbindung bzw. Verzahnung der einzelnen Blöcke erfolgte mit Hilfe von Metallklammern (siehe Bild 6).

Die modulartige Verlegung ermöglichte dabei durch Abtreppung der einzelnen Lagen eine einfache Anpassung an die vorgegebene Geometrie und Bereiche unterschiedlicher Mächtigkeit (verstärkter EPS-Einbau hinter den Brückenwiderlagern, siehe Bild 4).

Bild 6: Herstellung des EPS-Körpers

Gemäß dem Merkblatt für die Verwendung von EPS-Hartschaumstoffen beim Bau von Straßendämmen *(Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, 1995)* wurde eine Überdeckung von 1,7 m (inkl. Straßenoberbau) über den EPS-Hartschaum angeordnet, insbesondere um durch diese Auflast ein Zusammendrücken von ggf. vorhandenen Unebenheiten der einzelnen EPS-Lagen zu erzielen und einen ausreichenden Verbund sicherzustellen.

Um die Durchführung und Bewertung der Messungen zu ermöglichen, waren nach Beendigung eines maßgebenden Arbeitsabschnitts jeweils entsprechende Liegezeiten vorgesehen.

3 Messtechnische Überwachung

3.1 Allgemeines

Als wesentlicher Bestandteil der Sanierung des Schadensfalles wurde eine messtechnische Überwachung geplant und durchgeführt, die als „Frühwarnsystem“ sowie zur Absicherung der rechnerischen Verformungsprognosen herangezogen werden sollte. Diese messtechnische Überwachung dehnte sich auf den unmittelbaren Schadensbereich sowie ca. 60 m lange Beobachtungsbereiche im Anschluss an den direkten Schadensbereich aus, anhand derer eventuelle Auffälligkeiten im Verformungsverhalten des vorgeschädigten Untergrundes bereits während der Sanierungsarbeiten erfasst werden sollten, um durch geeignete Maßnahmen wie einer Verlangsamung des Baufortschritts auf die Situation vor Ort reagieren zu können.

3.2 Messkonzept

Die messtechnische Überwachung stützte sich insbesondere auf Horizontal- und Vertikalinklinometermessungen zur Erfassung der Verformungen im Untergrund. Besonderes Augenmerk lag hierbei auf der Vorschüttung im Bereich des östlichen Dammfußes, da hier eine Neubelastung des Untergrundes stattfand. Die geotechnischen Messelemente (Vertikal- und

Horizontalinklinometer) wurden durch geodätische Messpunkte zur Setzungsmessung mittels Nivellement ergänzt. Zusätzlich wurden Porenwasserdruckgeber bzw. Piezometer zur langfristigen Beobachtung des Konsolidationsverlaufs in den Tertiärtonschichten unter der Vorschüttung angeordnet. Auf der Ostseite des Straßendammes wurde eine Grundwassermessstelle errichtet. Ein schon vorhandener Messpegel auf der Ostseite des Dammes wurde ebenfalls in die Überwachung einbezogen.

Eine Übersicht über die Anordnung der geotechnischen Messelemente ist in Bild 7 dargestellt.

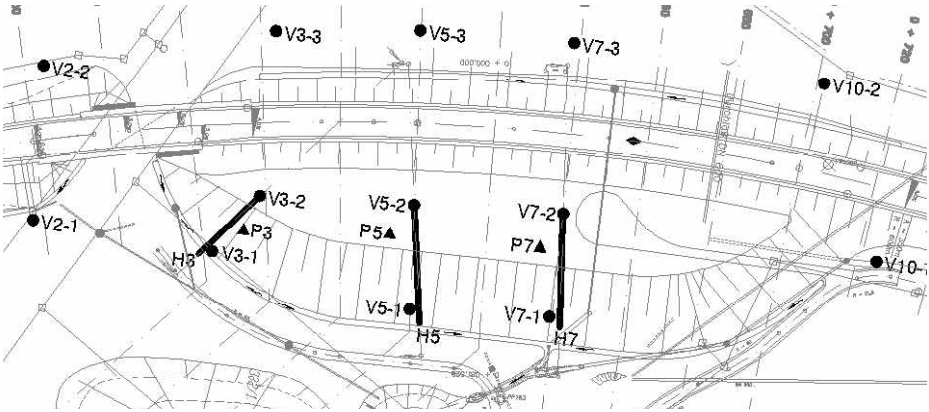

Bild 7: Lageplan mit geotechnischen Messelementen (Inklinometer und Piezometer)

Insgesamt beinhaltet das vorhandene Messsystem 12 Messquerschnitte (MQ 1 – MQ 12). In allen Messquerschnitten wurden 2 bis 6 Plattenpegel zur geodätischen Setzungsmessung angeordnet. Die Inklinometer und Piezometer befinden sich im direkten Schadensbereich in den Messquerschnitten MQ 3, MQ 5 und MQ 7, dort wurden pro Messquerschnitt jeweils 3 Vertikalinklinometer, ein Horizontalinklinometer sowie ein Piezometer angeordnet.

Bild 8: Einbau der geotechnischen Messelemente

Der Einbau der Messelemente erfolgte im Bereich der Vorschüttung ausgehend von einem Arbeitsplanum, das nach Verfüllen des Regenrückhaltebeckens ca. 2 m über der ursprünglichen GOK hergestellt wurde (siehe Bild 8). Die übrigen Inklinometer wurden von der GOK eingebaut. Die Vertikalinklinometer wurden bis ca. 5 m Tiefe unterhalb der nachgewiesenen Gleitzone abgeteuft. Die messbare Länge der Inklinometer beträgt rd. 14 - 19 m, wobei die unter der Vorschüttung bzw. im direkten Schadenbereich angeordneten Inklinometer insgesamt tiefer gebohrt wurden im Vergleich zu den Inklinometern außerhalb der Vorschüttung.

3.3 Messungen

Nach Einbau der Messelemente wurde eine Nullmessung durchgeführt. Die weiteren Messungen erfolgten zunächst im ca. zweiwöchigen Messrhythmus, später in aufgeweitetem Messraster, wobei die Messtermine grundsätzlich in Abhängigkeit des Baufortschritts und der Messergebnisse festgelegt wurden. Der weitere Bauablauf wurde jeweils auf Grundlage der Messergebnisse angepasst, d.h. die Freigabe eines weiteren Bauabschnitts erfolgte erst nach Bewertung der jeweils aktuellen Messergebnisse. Bei Bedarf wurde eine Ruhe- bzw. Liegezeit angeordnet, bis durch weitere Messungen ein unkritisches Verformungsverhalten eindeutig belegt werden konnte.

Bild 9 zeigt den Verlauf der seit Beginn der Sanierungsmaßnahmen gemessenen Setzungen im Messquerschnitt MQ7, in Bild 10 sind die gemessenen Horizontalverformungen für den am Fuß der Vorschüttung im Messquerschnitt MQ 7 gelegenen Inklinometer V7-1 dargestellt.

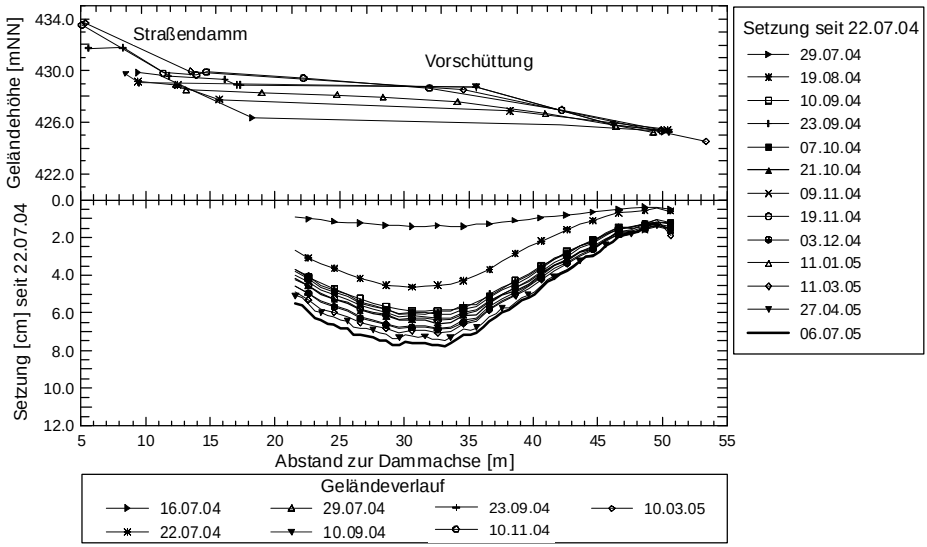

Bild 9: Darstellung der mittels Horizontalinklinometer gemessenen Setzungen unter der Vorschüttung

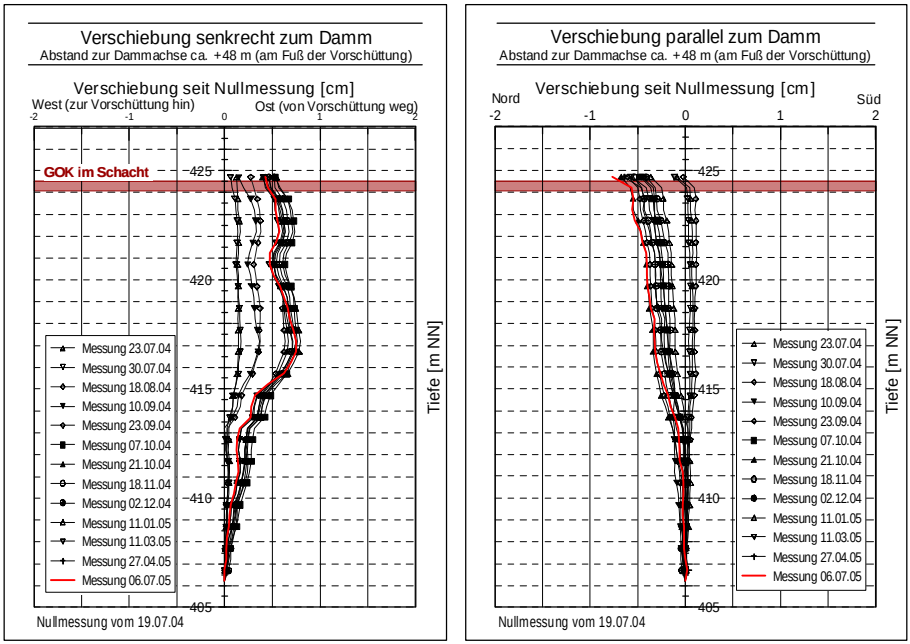

Bild 10: Darstellung der mittels Vertikalinklinometer im Untergrund gemessenen Verformungen am Fuß der Vorschüttung

Zwischenzeitlich wurde der Straßendamm dem Verkehr übergeben. Die bis dato seit Beginn der Sanierung gemessenen Horizontalverformungen liegen sämtlich in einer Größenordnung von = 1,5 cm. Die gemessenen Setzungen liegen bei maximal ca. 10 cm und zeigen seit Beendigung der hauptsächlichen Arbeiten ein langsames Abklingen mit mittlerweile nur noch geringen Setzungsgeschwindigkeiten und belegen somit insgesamt das erwartete Verformungsverhalten mit einer langsam voranschreitenden Konsolidation der undurchlässigen Tonschichten.

Das Messraster zur weiteren Beobachtung nach Abschluss aller Arbeiten wird auch künftig jeweils in Abhängigkeit der aktuellsten Messergebnisse festgelegt. Bei weiterhin planmäßigem Verformungsverhalten ist vorgesehen, die Messintervalle nach und nach aufzuweiten. Insgesamt soll der Beobachtungszeitraum 2 Jahre betragen.

4 Zusammenfassung

Im Zuge des Neubaus eines bis zu 10 m hohen Straßendammes kam es auf einem 150 – 200 m langen Streckenabschnitt zu böschungs- bzw. -grundbruchartigen Erscheinungen am Straßendamm.

Die durchgeführte Sanierung stützte sich maßgeblich auf die Anordnung einer Vorschüttung über dem Dammfuß im Bereich der Bruchmuschel sowie auf den Aufbau des Straßendammes mit Hilfe von EPS-Leichtbaustoffen. Die Übergangsproblematik im Bereich der Widerlager

des an den Schadensbereich angrenzenden Brückenbauwerks über eine querende DB-Strecke wurde durch einen verstärkten EPS-Einbau gelöst.

Die Sanierungsmaßnahmen wurden durch eine kontinuierliche messtechnische Überwachung begleitet, wobei eine Freigabe des nächsten Bauabschnitts jeweils erst erfolgte, nachdem durch Messergebnisse ein planmäßiges Verformungsverhalten nachgewiesen werden konnte. Im Zweifelsfall wurden Liegezeiten eingeschaltet. Auch nach Beendigung der Baumaßnahmen und Freigabe für den Verkehr werden die Messungen über einen Zeitraum von insgesamt rd. 1,5 – 2 Jahren fortgeführt, wobei der Messrhythmus nach und nach aufgeweitet wird. Die bisherigen messtechnischen Ergebnisse belegen die Wirksamkeit der durchgeführten Sanierungsmaßnahmen. Die Straße wurde zwischenzeitlich dem Verkehr übergeben.

5 Literatur

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen FGSV (1995): Merkblatt für die Verwendung von EPS-Hartschaumstoffen beim Bau von Straßendämmen. FGSV Nr. 550.

Bundesanstalt für Straßenwesen BAST (2004): Untersuchungen zum Einsatz von EPS-Hartschaumstoffen beim Bau von Straßendämmen. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Unterreihe "Straßenbau", Heft S 34, Juni 2004.