

DIE ERDFALLSICHERUNG MIT GEOKUNSTSTOFFEN – PLANUNG UND BEMESSUNG AM BEISPIEL DER ORTSUMFAHRUNG HETTSTEDT-MANSFELD- KLOSTERMANSFELD

Dr.-Ing. Sven Schwerdt
vgs Ingenieure Dr. Köhler & Kirschstein GmbH, Köthen

Prof. Dipl.-Ing. Axel Paul
Beratender Ingenieur für Erd- und Grundbau, Lindau

KURZFASSUNG: Im Zuge des Neubaus der Ortsumfahrung Hettstedt-Mansfeld-Klostermansfeld war auf einem 700 m langen Teilstück eine Erdfallsicherung erforderlich. Die Trasse verläuft auf einem 7 bis 12 m hohen Damm. Der mögliche Erdfalldurchmesser war mit 4 m vorgegeben. Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen ergaben, dass die Sicherung mit Geokunststoffen nach dem Teilsicherheitskonzept die wirtschaftlichste Lösung darstellt. Die Bemessung der Geokunststoffbewehrung erfolgte auf der Grundlage des Abschnitts 11 der EBGEO und der DIN 1054 (2005). Es wurde ein Geokunststoff aus PET ausgeschrieben. Im Rahmen einer Vorplanung wurde die optimale Lage der Geokunststoffbewehrung unter technischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten festgelegt. Der Damm wurde aus bindemittelstabilisiertem bindigen Boden aufgebaut. Zum Schutz des Geokunststoffs vor Hydrolyse wurde über der geokunststoffbewehrten Tragschicht eine Schutzschicht aus unverbessertem bindigen Boden angeordnet.

1 SITUATION

Im Zuge des Neubaus der Ortsumgehung B 86 / 180 / 242 Hettstedt – Mansfeld – Klostermansfeld war auf einem 700 m langen Abschnitt eine Sicherung gegen Erdfall- und Tagesbruchgefährdung erforderlich. Die Trasse verläuft sowohl im Einschnitt- als auch im Dammbereich. Der für die Planung mögliche Erdfalldurchmesser wurde mit 4 m angegeben.

Die Planung erfolgte im Jahre 2006. Die Bauausführung fand in den Jahren 2008 und 2009 statt.

Zum Zeitpunkt der Planung war die DIN 1054 (2005) neu erschienen. Im Bereich der Geokunststoffe befand sich die Neufassung der EBGEO (DGGT, 2010) in der Bearbeitungsphase.

Die Planung des Bauvorhabens erfolgte auf der Grundlage der DIN 1054. Für die Bemessung der Geokunststoffbewehrung wurde in Abstimmung zwischen Bauherr, Entwurfsverfasser und Prüfstatiker ein allgemein anerkanntes Bemessungsverfahren angewendet, das inzwischen Eingang in den Abschnitt 11 der EBGEO gefunden hat.

2 DISKUSSION DER SICHERUNGSVARIANTEN

Gemäß den inzwischen erschienenen „Hinweisen zum Straßenbau in Erdfallgebieten“ (FGSV, 2010) sind verschiedene Möglichkeiten zur Sicherung von Verkehrswegen in erdfall- und tagesbruchgefährdeten Gebieten denkbar. Dazu zählen

- Anordnung von Betonplatten
- Ausbildung von Plattenstegen aus Stahlbeton mit strukturerhaltender Geokunststoffbewehrung
- Verwendung von verzinkten Stahlgittern als Bewehrungselement
- Verwendung von Geokunststoffen als Bewehrungselement

In der Entwurfsphase 2006 wurden folgende Sicherungsmöglichkeiten näher untersucht.

- Betonplatten
- Geokunststoffbewehrung

Dazu wurde eine Wirtschaftlichkeitsanalyse ausgeführt. Dabei ergab sich, dass im Dammbereich eine Sicherung mittels Geokunststoffbewehrung die wirtschaftlichste Alternative darstellt. Im anschließenden Einschnittbereich wurde die Sicherung mittels Betonplatten ausgeführt.

Dies deckt sich mit der Erfahrung von verschiedenen Baumaßnahmen, dass bei Gradientenlage im Dammbereich die Geokunststofflösung meist die kostengünstigste Lösung darstellt, während bei Anordnung der Gradienten im Einschnitt häufig Stahlbetonlösungen zu bevorzugen sind.

Die Abbildungen 1-1 und 1-2 zeigen die geschätzten Baukosten für den Einschnitt- und den Dammbereich.

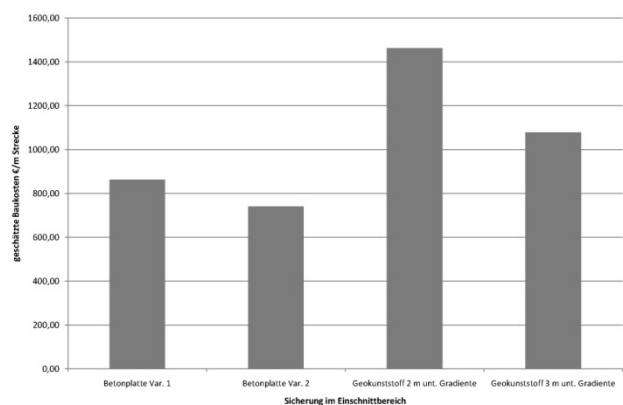


Abbildung 2-1 : Geschätzte Baukosten im Einschnittbereich

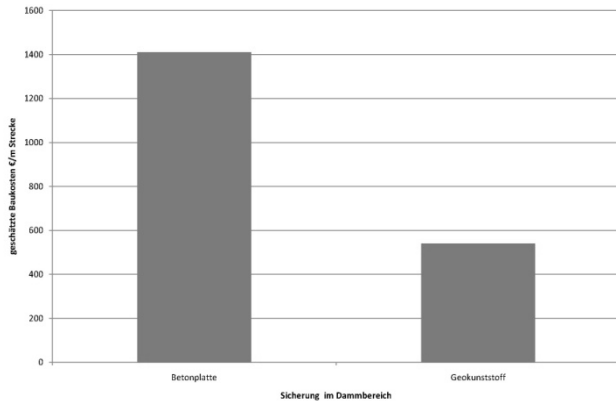


Abbildung 2-2 : Geschätzte Baukosten im Dammbereich

3 PLANUNGSRANDBEDINGUNGEN

Nachfolgend wird die Erdfallsicherung am Beispiel eines rd. 285 m langen Abschnitts dargestellt, in dem die Trasse in Dammlage verläuft. Die Dammhöhe beträgt hier 7 bis 12 m. Der Abschnitt wird durch zwei Ingenieurbauwerke begrenzt. Am Bauanfang befindet sich die Unterführung eines Wirtschaftsweges. Am Abschnittsende schließt sich die Talbrücke über die Wipper an.

Die Sicherung erfolgt nach dem Konzept der Teilsicherung unter Verwendung eines Geokunststoffs. Der Geokunststoff befindet sich innerhalb einer 50 cm dicken Schottertragschicht (geokunststoffbewehrte Tragschicht).

Der Dammkörper wurde aus den anfallenden bindigen Aushubmassen (verwitterter Tonstein) des benachbarten Einschnittes hergestellt. Dieses Material wurde wegen seiner Inhomogenität generell einer Bodenverbesserung mit Kalk unterzogen.

Wegen der Verwendung von überwiegend bindigem, verbesserten Erdstoff konnte der vorgegebene Erdfall- und Tagesbruchdurchmesser auch im Dammbereich angesetzt werden, da sich in bindigen Böden erfahrungsgemäß ein senkrechter Hochbruch ergibt.

Über der geokunststoffbewehrten Tragschicht wurde eine 50 cm dicke Bodenschicht aus unverändertem bindigen Material angeordnet. Diese hat die Aufgabe, ausgewaschene Kalkbestandteile abzuhalten. Ein Eindringen des Kalkes in den Geokunststoff würde zu einer schrittweisen Zersetzung des Materials aus PET führen (Hydrolyse).

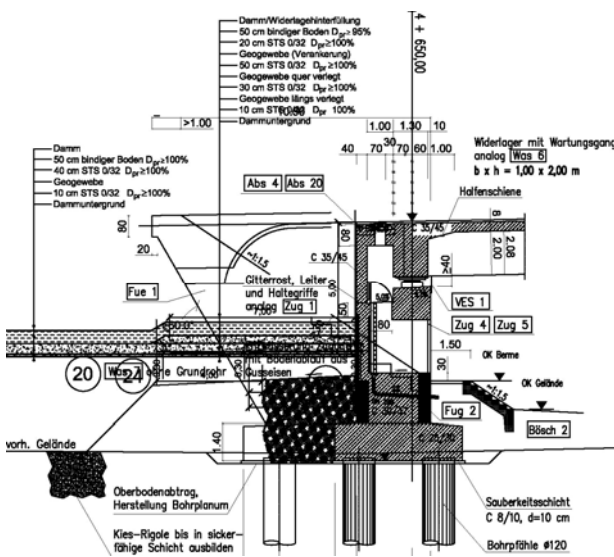


Abbildung 3-1 : Regelquerschnitt im Bauwerksbereich

Abbildung 3-1 zeigt den Regelquerschnitt der vorgesehenen Erdfallsicherung im Anschlussbereich an eines der Brückenbauwerke.

Die optimalen Überdeckungshöhen der Geokunststoffbewehrung wurden im Rahmen der Vorplanung festgelegt. Das Ziel war, eine einlagige Erdfallsicherung zu erreichen. Dabei sollten die Kurzzeitzugfestigkeiten in Hauptzugrichtung unter 1.000 kN/m bleiben, um einen Wettbewerb unterschiedlicher Geokunststoffprodukte zu ermöglichen.

Aus wirtschaftlichen Gründen ergab sich eine Mindestüberdeckungshöhe von 5 m. Die maximale Überdeckungshöhe betrug 9 m.

Die Geokunststoffbewehrung wurde nicht zwangsläufig an der Dammbasis angeordnet, sondern befindet sich innerhalb des Dammkörpers.

Es wurde davon ausgegangen, dass im Bereich der Böschungen keine Erdfallsicherung erforderlich ist, da sich hier keine Fahrzeuge befinden.

Am Anschlussbereich der Brückenbauwerke wurde eine zusätzliche Geokunststofflage quer zur Achse verlegt, um die Erdfallsicherung auch hier sicherzustellen (siehe Abbildung 3-2).

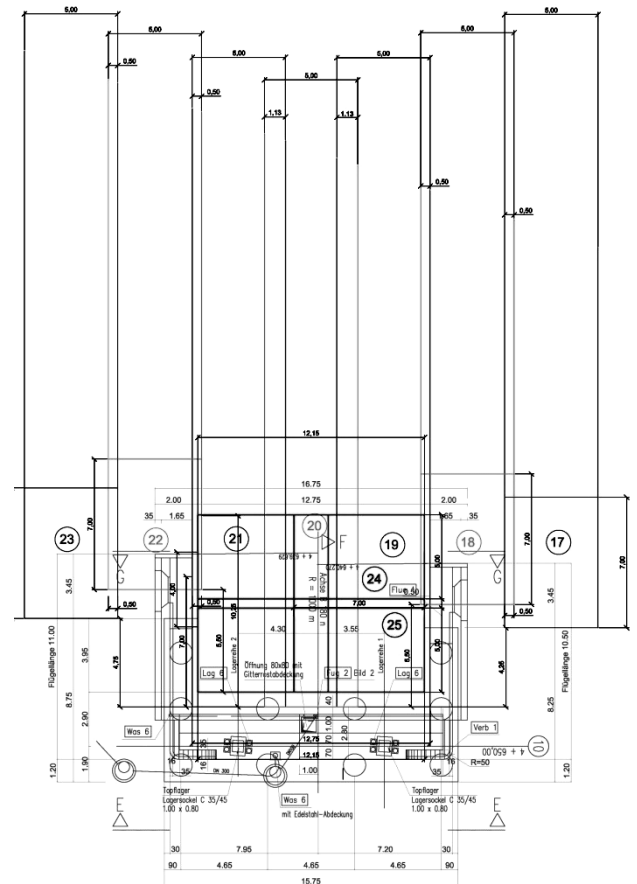


Abbildung 3-2 : Anordnung der Geokunststofflagen im Bereich der Brückenbauwerke

4 STATISCHE NACHWEISE

4.1 Grundlagen der Bemessung

Die Berechnungen erfolgten mit Hilfe eines analytischen Verfahrens (R.A.F.A.E.L. – Verfahren). Das gewählte Verfahren ist zwischenzeitlich Bestandteil des Kapitels 11 der EBGeo (DGGT, 2010) geworden. Zum Zeitpunkt der Planung wurde das Verfahren in der Fachwelt angewendet und war allgemein anerkannt. Es stellte somit den damaligen Stand der Technik dar. Vergleichsberechnungen er-

gaben eine gute Übereinstimmung der Ergebnisse mit numerischen Berechnungen und ausgeführten Großversuchen (PAUL, 2002, SCHWERDT, 2003).

Die Wahl des Bemessungsverfahrens sowie die Optimierung der Geokunststoffanordnung wurden zwischen Bauherr, Entwurfsverfasser und Prüfstatiker abgestimmt. Damit war es möglich, eine wirtschaftliche und sichere Lösung zu erreichen.

Die Bemessung erfolgte in einem ersten Schritt für eine Überbrückungsdauer von 4 Wochen im Lastfall 2 nach DIN 1054. Dabei wurde entsprechend dem Konzept der Teilsicherung davon ausgegangen, dass sich an der Fahrbahnoberfläche eine Einsenkung ergibt, an der der aufgetretene Erdrinbruch sichtbar wird.

In einem zweiten Schritt wurde dann überprüft, ob eine Sicherheit gegen Erdrinbrüche auch dann gegeben ist, wenn der Erdrinbruch an der Fahrbahnoberfläche nicht erkannt wird und die Überbrückung des Erdrinbruchs dauerhaft erfolgt. Diese Nachweisführung erfolgt im Lastfall 3.

Geokunststoffkonstruktionen sind immer material- und herstellerspezifisch. Das heißt, bei der Planung und Bemessung muss das Produkt eines bestimmten Herstellers gewählt werden, da die unterschiedlichen Geokunststoffe infolge Ausgangsmaterial und Herstellung unterschiedliche Eigenschaften, wie Bemessungsfestigkeit, Abminderungsfaktoren, Reibungsbeiwerte und Dehnsteifigkeit besitzen.

Für die Ausschreibung wurde dann das in der Planung gewählte Produkt verwendet. Um im Wettbewerb die wirtschaftlichste Lösung zu erhalten, wurden die Randbedingungen der statischen Berechnung in der Ausschreibung offen gelegt, um Alternativangebote zu ermöglichen.

4.2 Eingangsgroßen

Folgende Kennwerte und Parameter lagen der Bemessung zugrunde:

geometrische Angaben:

$D = 4,0 \text{ m}$

$H_{\min} = 5 \text{ m}$

$H_{\max} = 9 \text{ m}$

$d_s/D_s = 1/100$ (Verhältnis Einmuldung Fahrbahnoberfläche / Durchmesser der Senkungsmulde)

Lastannahmen: $p = 33,3 \text{ kN/m}^2$ (SLW 60)

Geokunststoff (gewählt):

Huesker Stablenka 1000 / 100 (PET/PA)

$F_{B,k0,md} = 1000 \text{ kN/m}$

$\varepsilon_{k0,md} \leq 10 \%$

$F_{B,k0,cmd} = 100 \text{ kN/m}$

$\varepsilon_{k0,cmd} \leq 20 \%$

Teilsicherheitsbeiwerte nach DIN 1054

Bemessung im Lastfall 2 (vorübergehende Bemessungssituation); bzw. im Lastfall 3 (außergewöhnliche Bemessungssituation)



Abbildung 4-1 : Verlegte Geokunststoffbewehrung (Huesker Stablenka 1000/100)

4.3 Bemessungsverfahren

Die EBGEO lässt verschiedene Bemessungsverfahren zur Planung von Erdrinbruchsicherungen mit Geokunststoffen zu. Ausführlich beschrieben werden das B.G.E.-Verfahren und das R.A.F.A.E.L.-Verfahren. Daneben sind aber auch andere Verfahren möglich.

Für das vorliegende Projekt wurde das R.A.F.A.E.L.-Verfahren angewandt, da vorzugsweise extrem anisotrope Geokunststoffe zur Verfügung standen.

Extrem anisotrope Geokunststoffe sind durch folgende Eigenschaften definiert:

Dehnsteifigkeitsverhältnis Längsrichtung/Querrichtung
 $J_{md}/J_{cmd} \geq 10$

Verhältnis der Grenzdehnungen bei Kurzzeitzugfestigkeit
 $\varepsilon_{md}/\varepsilon_{cmd} \leq 0,5$

Bei Verwendung extrem anisotroper Geokunststoffe wird davon ausgegangen, dass die Lastabtragung nur in Hauptzugrichtung erfolgt. Ein Nachweis der Zugkräfte in Querrichtung erfolgt nicht.

Das Berechnungsmodell kann der nachfolgenden Abbildung 4.3-1 entnommen werden.

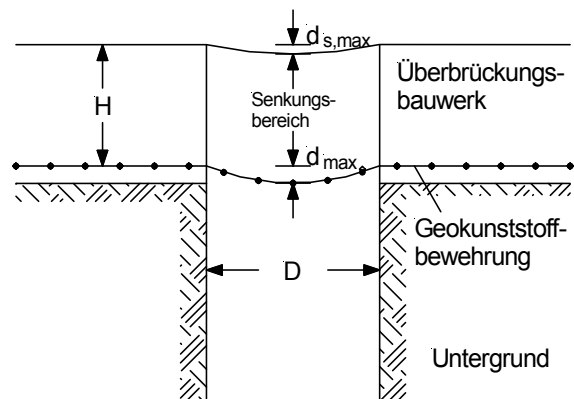


Abbildung 4.3-1 : Berechnungsmodell nach R.A.F.A.E.L. (aus DGGT, 2010)

Das Verfahren geht von einem zylindrischen Einbruchkörper aus und berücksichtigt bei der Ermittlung der Zugkraft des Geokunststoffs sowohl die Durchbiegung an der Fahrbahnoberfläche als auch die Auflockerung der Bodenschichten zwischen Fahrbahnoberfläche und Geokunststofflage.

Die geometrische Dehnung in Abhängigkeit vom Durchhang des Geokunststoffs errechnet sich nach folgender Beziehung:

$$\varepsilon_{\text{geom}} = \frac{8}{3} \cdot \left(\frac{d_{\text{max}}}{D} \right)^2$$

$\varepsilon_{\text{geom}}$ darf nicht größer sein als die zulässige Dehnung ε_b

Den Bemessungswert der Einwirkungen erhält man nach EB GEO zu:

$$E_d = F_{B,d} = (\gamma_G \cdot \sigma_{v,G,k} + \gamma_Q \cdot \sigma_{v,Q,k}) \cdot \frac{D}{2} \cdot \sqrt{1 + \frac{1}{6 \cdot \varepsilon_d}}$$

Die Widerstände R_d wurden lastfallbezogen auf der Basis der Kurzzeitzugfestigkeit, der Abminderungsfaktoren des Geokunststoffs und der Isochronendarstellung ermittelt. Dabei wurde gemäß der Vorgabe der EB GEO die Unterscheidung in die Kriterien Kriechbruch der Bewehrung und Kriechdehnung der Bewehrung vorgenommen.

Die ermittelten Auslastungsgrade E_d/R_d lagen zwischen 0,48 und 0,95 und waren damit zulässig.

Die Überlappungslänge der Geokunststoffbahnen in Hauptzugrichtung wurde mit 7 m ermittelt. In Querrichtung wurde eine konstruktive Überlappungsbreite von 50 cm gewählt.



Abbildung 4.3-2 : Werkseitige Markierung der Geokunststoffbahnen zur Einhaltung der Überlappungsbreite

5 BAUAUSFÜHRUNG

Für die Verlegung der Geokunststoffe wurde ein Verlegeplan erarbeitet. Darin wurde jeder Rolle eine Nummer zugewiesen. Die Rollen wurden entsprechend des Verlegeplanes bereits im Werk vorkonfektioniert. Darüber hinaus wies jede Rolle eine Identifikationsnummer auf, die der Nummer in den Plänen entsprach.

Die verwendeten Geokunststoffbahnen besaßen in der Regel Abmessungen von $l = 100$ m und $b = 5$ m. Einige Geokunststoffbahnen waren auch nur 3 m breit, um die Verlegung zu optimieren.

Die Bahnen wurden in der Regel in Ausrollrichtung parallel zur Gradientenrichtung verlegt. Die Überlappungsbreite in Querrichtung war konstruktiv gewählt worden und betrug 50 cm. Die Überlappungslänge in Gradientenrichtung betrug einheitlich 7 m.

Am Bauanfang wird die zu sichernde Fläche durch ein Bauwerk begrenzt. Die längs verlegten Bahnen wurden hier unter der Abdichtung bis an das Bauwerk herangeführt. Infolge der schiefwinkligen Anordnung des Bauwerkes verblieben Restflächen, für deren Sicherung über der Bauwerksabdichtung parallel zum Bauwerk verlaufende Bahnen angeordnet wurden (siehe Abbildung 5-2).

Am Ende des gesicherten Bereiches befindet sich ein weiteres Bauwerk. Die Sicherung wurde innerhalb der Flügelmauern bis an die Widerlagerrückwand gezogen. Die Bahnen wurden so angeordnet, dass eine flächenhafte Si-

cherung zwischen den Flügelmauern erfolgen konnte (siehe Abbildung 3-2).

Anschließend wurden die Bahnen zur Verankerung um 50 cm hochgeschlagen und auf der Verbundtragschicht wieder um 7 m (Verankerungslänge) zurückgeführt. Die Bahnen, die auf die Flügelmauern stoßen, wurden entsprechend kürzer ausgebildet und ebenfalls zurückgeschlagen. Die außen liegenden Bahnen wurden geringfügig länger ausgebildet.

Die Geokunststoffbahnen wurden innerhalb einer 50 cm dicken Verbundtragschicht (Schottertragschichtgemisch, STS 0/32), 10 cm über dem Planum verlegt.

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen die Baustelle während der Verlegearbeiten der Geokunststoffbewehrung.



Abbildung 5-1 : Verlegung der Geokunststoffbewehrung mittels Verlegebalken



Abbildung 5-2 : Schräg verlaufende Geokunststoffbahnen im Widerlagerbereich am Bauanfang (vor Verlegung der zusätzlichen Lage)



Abbildung 5-3 : Geokunststoffbewehrung innerhalb der Schottertragschicht



Abbildung 5-4 : Bauablauf bestehend aus Verdichtung der Schottertragschicht (Vordergrund), Einbau der bindigen Abdeckung (Mitte) und Einbau des bindemittelverbesserten Dammkörpers (Hintergrund)

8 LITERATUR

- DGGT, 2010 – Empfehlungen für den Entwurf und die Berechnung von Erdkörpern mit Bewehrungen aus Geokunststoffen (EBGEO), Deutsche Gesellschaft für Geotechnik (DGGT), 2010
- DIN 1054 (2005) – Baugrund; Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau
- FGSV, 2010 – Hinweise zum Straßenbau in Erdfallgebieten; Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), 2010
- PAUL, A. (2002): Die präventive Sicherung von erdfall- und tagessbruchgefährdeten Straßen mittels einlagig verlegter Geokunststoffbewehrung; Proc. Vorträge der Baugrundtagung 2002 in Mainz, S. 311 - 320
- SCHWERDT, S. (2003) – Die Überbrückung von Erdfällen unter Verwendung von einlagig verlegten Geogittern - Vergleich zwischen den Versuchsergebnissen und den Ergebnissen von analytischen und numerischen Berechnungen; Proc. 8. Informations- und Vortagstagung über Kunststoffe in der Geotechnik, München, 2003; S. 221 - 229

6 ZUSAMMENFASSUNG

In enger Zusammenarbeit von Bauherr, Planer und Prüfstatiker wurde für die Erdfallsicherung eine wirtschaftliche und sichere Lösung gefunden. Dabei wurden die inzwischen eingeführten Empfehlungen für den Entwurf und die Berechnung von Erdkörpern mit Bewehrungen aus Geokunststoffen (EBGEO) nicht nur angewendet, sondern auch auf die konkrete Baumaßnahme angepasst.

Damit wird deutlich, dass auch nach Vorliegen eines Empfehlungswerkes für die Optimierung einer Erdfallsicherung ein mehrfaches ingenieurmäßiges Planen und wirtschaftliches Überprüfen notwendig ist. Die EBGEO können naturgemäß nur allgemeine Empfehlungen zum Entwurf und zur Bemessung geben. Für die konkrete Anpassung der Empfehlungen an die jeweilige Baumaßnahme ist der Sachverstand und die Erfahrung des Ingenieurs unerlässlich.

7 DANKSAGUNG

Die Verfasser möchten sich beim Landesbetrieb Bau Sachsen-Anhalt, Niederlassung Süd, für die vertrauensvolle und gute Zusammenarbeit bedanken; ebenso für die Erlaubnis zur Veröffentlichung und die Überlassung der Fotos.