

Anlage 7 Geotechnisches Gutachten vom 03.11.2014

Geotechnisches Gutachten

Teil 1

Bauvorhaben

Deumen
Verbindungsstraße L191-K2196-L189

Auftraggeber

MIBRAG mbH
Glück-Auf-Straße 1
06711 Zeitz

Projekt-Nr.

14-2082-2

Gültigkeit

Hauptuntersuchung nach DIN 4020 für
die geplante Verbindungsstraße L189 –
L191 sowie die Bauwerke 1 und 2

Bearbeiter

Dipl.-Ing. Cornelia Ehlert

Ordnungssystem BAUGEO

TK 1206-134 (Webau)
R.: 45 08 880
H.: 56 71 590

Datum

03.11.2014

Umfang

57 Textseiten
8 Anlagen

FIRMA BAUGEO BAUGRUND GEOTECHNIK GMBH | GESCHÄFTSFÜHRER DR.-ING. GERT MÜLLER
ADRESSE ANGERSTRASSE 38 – 44 | 04177 LEIPZIG

TELEFON +49 (0)341 48751-0 | TELEFAX +49 (0)341 48751-29 | INTERNET WWW.BAUGEO.DE | E-MAIL INFO@BAUGEO.DE

BANK COMMERZBANK AG DRESDEN | KONTO-NR. 8007536 | BLZ 850 40 000

IBAN DE 13 8504 0000 0800 7536 00 | SWIFT/BIC COBADEFF850

HANDELSREGISTER AMTSGERICHT LEIPZIG HRB 16

Inhaltsverzeichnis

1	Unterlagen	4
2	Feststellungen	6
2.1	Veranlassung und Untersuchungsgebiet	6
2.1.1	Bauvorhaben	6
2.1.2	Geologische Verhältnisse	7
2.1.3	Hydrologische Verhältnisse	8
2.2	Baugrundverhältnisse	9
2.2.1	Baugrundkundung	9
2.2.2	Bodenphysikalische Laboruntersuchungen	11
2.2.3	Baugrundschichtung	12
2.2.4	Straßenaufbau	16
2.3	Baugrundeigenschaften	17
2.4	Baugrundkennwerte	22
2.5	Grundwasserstände während der Erkundung	24
2.6	Chemische Laboruntersuchungen	26
2.6.1	Untersuchungsprogramm	26
2.6.2	Untersuchungsergebnisse nach RuVA-StB 01	27
2.6.3	Untersuchungsergebnisse der abfallrechtlichen Bewertung (LAGA Recycling)	28
2.6.4	Untersuchungsergebnisse der abfallrechtlichen Bewertung (LAGA Boden)	29
2.6.5	Untersuchungsergebnisse Betonaggressivität	31
3	Folgerungen	31
3.1	Baugrundtechnische Randbedingungen und Gründungsempfehlungen	31
3.1.1	Allgemeine Baugrundbedingungen	31
3.1.2	Straßentrasse	33
3.1.3	Bauwerk 1 (Brücke über die MIBRAG-Kohlebahn)	37
3.1.4	Bauwerk 2 (Brücke über die Grunau)	38
3.2	Bodenverbessernde Maßnahmen	40
3.2.1	Vorbemerkung	40
3.2.2	Bodenaustausch	40
3.2.3	Bodenverbesserung mittels Bindemitteln	40
3.2.4	Rüttelstopfverdichtung	41
3.3	Bemessungsangaben zur äußeren Tragfähigkeit der Gründungselemente	42
3.3.1	Allgemeine Vorbemerkungen	42
3.3.2	Verdrängungspfähle	43
3.3.3	Pfahlartige Tragglieder	44
3.3.4	Bohrpfähle	45
3.4	Standsicherheitsberechnungen für Geländeeinschnitte und Straßendämme	45
3.4.1	Vorbemerkung	45
3.4.2	Straßendämme	46

3.4.3	Geländeeinschnitte	47
3.5	Abschätzung zu erwartender Setzungen und Sackungen	49
3.5.1	Eigensetzungen	49
3.5.2	Sackung	49
3.5.3	Lastsetzung	50
3.6	Hinweise zur Planung und Bauausführung	52
3.6.1	Erdbautechnische Hinweise	52
3.6.2	Wiederverwendbarkeit von Aushubmassen	54
3.6.3	Dicke frostsicherer Straßenoberbau nach RStO 12	55
3.6.4	Versickerungseignung Baugrund	56
3.7	Monitoring	56
3.8	Schlußbemerkung	57

Anlagenverzeichnis

- Anlage 1 Lageplan mit Aufschlusspunkten, Maßstab 1 : 5000, Blatt 1 bis 3
- Anlage 2 Übersicht Aufschlusspunkte
- Anlage 3 Aufschlussprofile
- Anlage 3.1 Bohr- und Sondierprofile, Maßstab 1:50, 1:100
- Anlage 3.2 Profile Drucksondierungen
- Anlage 3.3 Schurfprofile, Maßstab 1:25
- Anlage 4 Baugrundschnitte
- Anlage 4.1 Geologischer Schnitt km 0+000 – 3+275, Maßstab 1:1000
- Anlage 4.2 Baugrundschnitt Straße, Maßstab 1:5000, 1:100
- Anlage 4.3 Baugrundschnitt Bereich Bauwerk 1, Maßstab 1:200
- Anlage 4.4 Baugrundschnitt Bereich Bauwerk 2, Maßstab 1:200
- Anlage 5 Bodenphysikalische Laboruntersuchungen
- Anlage 6 Chemische Laboruntersuchungen
- Anlage 7 Standsicherheitsberechnungen Bauwerke und Einschnitte
- Anlage 8 Setzungsberechnungen

1 Unterlagen

- U1 Angebot Nr. 4 136 1 Verbindungsstraße L191-K2196-L189 für Ingenieurleistungen Geotechnik vom 06.05.2014
BAUGEO Baugrund Geotechnik GmbH, Leipzig
- U2 Leistungsbeschreibung zur Angebotsaufforderung „Planungsleistungen Ersatzstraße Deumen Geotechnik und Leistungsverzeichnis Geotechnik
übersendet per E-mail vom 23.04.2014, MIBRAG mbH, Zeitz
- U3 Bestellung Nr. 5410266916 - 052 zum Angebot 4 136 1 vom 23.05.2014,
MIBRAG mbH, Zeitz
- U4 Übergebene Planungsunterlagen Verbindungsstraße L191 – K2196 – L189
 - Lageplan, M. 1:10 000, Stand: 30.07.2014
 - Höhenplan, M. 1:10 000 / 1000, Stand: 30.07.2014
 - Straßenquerschnitt, M. 1:50, Stand: 30.07.2014
 - Bauwerksskizzen Brücke über die MIBRAG Kohlebahn, M. 1:50 / 1:100, Stand: 11.09.2014
 - Bauwerksskizzen Brücke über Grunau, M. 1:50 / 1:100, Stand: 28.08.2014
 - Geologischer Schnitt Trasse
 - Übersichtslageplan Vorplanung, M 1 : 10 000, Stand: 13.05.2014
 - Liste der Aufschlusspunkte
 - Gesamtvermessung Streckeerhalten per E-mail 06 / 07./ 10.2014, Steinbacher-Consult GmbH
- U5 Aktenvermerk zur Begehung Planungsraum, Baugrunduntersuchung vom 05.06.2014
- U6 Topographische Karte 1206-134 (Webau), M 1 : 10 000
- U7 Topographische Karte 1206-312 (Hohenmölsen), M 1 : 10 000
- U8 Topographische Karte 1206-143 (Domsen), M 1 : 10 000
- U9 Geologische und Hydrologische Unterlagen
 - Lithofazieskarte Quartär, Blatt Zeitz 2665, M 1 : 50 000
 - Landesbohrdatenbank von Sachsen-Anhalt, Stand 01/2014

- Übersichtskarte des Vernässungspotentials auf der Basis des Grundwasserflurabstandes des Hauptgrundwasserleiters, M. 1 : 250 000, LHW Sachsen-Anhalt, Stand 04/2011
- Archivunterlagen BAUGEO Baugrund Geotechnik GmbH, Leipzig

- U10 Erkundungsergebnisse vom 01.07.2014 – 10.10.2014
FCB Fachbüro für Consulting und Bodenmechanik GmbH
- U11 Laborergebnisse bodenphysikalischer Untersuchungen vom 26.08.2014
FCB Fachbüro für Consulting und Bodenmechanik GmbH
- U12 Ergebnisse abfalltechnischer Laboruntersuchungen vom 27.08.2014
synlab Umweltinstitut GmbH, Markkleeberg
- U13 Auswertung der stationären Verhältnisse nach Abschluss des Grundwasserwiederanstieges im Bereich des Tagebaus Profen
Ingenieurbüro für Grundwasser GmbH, Leipzig, 20.12.2012
- U14 Kennwertanalyse, Tagebau Profen-Nord, Tagebau Profen-Süd sowie angrenzende Bereiche
VEB BKW „Erich Weinert“, Deuben 16.10.1987
- U15 Ausführungsstatik CMC/ATLAS-Säulen vom 31.05.2010
BVT DYNIV GmbH, Seevetal
- U16 „Der Setzungsvorgang auf Tagebaukippen des Braunkohlebergbaues“
Dissertation BA Freiberg 1965, E. Dorschner
- U17 Empfehlungen und Bemessungsgrundlagen für das Bauen auf bindigen Mischbodenkippen der Braunkohletagebaue im Mitteldeutschen Revier, LMBV mbH 08/1999
- U18 Bodenmechanik, Gerd Gudehus
Ferdinand Enke Verlag Stuttgart 1981

2 Feststellungen

2.1 Veranlassung und Untersuchungsgebiet

2.1.1 Bauvorhaben

Die MIBRAG mbH plant den Neubau einer Verbindungsstraße zwischen den Landesstraßen L191 und L189 zwischen Hohenmölsen und Starsiedel (Lützen). Für die geplante Straße wurde durch die Steinbacher-Consult GmbH eine Vorplanung erstellt [U4].

BAUGEO wurde mit der Erstellung eines Baugrundgutachtens für den geplanten Trassenverlauf beauftragt. Im Rahmen des Gutachtens sind die Baugrundverhältnisse zu klären, ein repräsentatives Baugrundmodell aufzustellen und Empfehlungen für die Bauausführung sowie bereichsweise erforderliche Baugrundverbesserung zu erarbeiten.

Das Untersuchungsgebiet liegt im Bundesland Sachsen-Anhalt, im Burgenlandkreis, zwischen den Ortslagen Hohenmölsen und Starsiedel (Lützen). Es befindet sich ca. 3,5 km westlich des Tagebau Profen. Das Gelände weist großräumig ein Gefälle von Süden nach Norden hin auf. Die Geländehöhe variiert im Verlauf der geplanten Straßengradienten zwischen 127,8 m NHN und 173,0 m NHN. Sie weist örtlich Senken und Kuppen auf.

Die Verbindungsstraße soll eine Länge von ca. 5,7 km besitzen. Sie kreuzt im geplanten Verlauf die Kreisstraße K2196 zwischen Göthewitz und Wuschlaub und die Kreisstraße K2585 zwischen Söhesten und der L189. Ihr Verlauf ist in der Anlage 1, Blatt 1 bis 3 dargestellt.

Die geplante Straße führt auf den ersten 2,85 km über ehemaliges Tagebaugelände.

Die Straßengradienten verläuft im Bereich des ehemaligen Tagebaus zwischen Strecken – km 0 + 000 bis 2 + 200 überwiegend in Dammlage bzw. geländeparallel. Dabei treten gemäß Vorplanung Dammhöhen bis 12,5 m auf. Ab Strecken – km 2 + 200 bis 2 + 780 wechselt sie in den Einschnitt mit Einschnittstiefen von bis zu 12,5 m. Im Anschluss folgt die Gradienten weitestgehend dem vorhandene Geländeeverlauf bis zum Ende des Tagebaugeländes bei Strecken – km 2 + 850.

Im Bereich des gewachsenen Baugrunds folgt die Gradienten bis Strecken-km 3 + 500 weitestgehend dem Geländeeverlauf mit örtlich geringfügigen Auf- und Abträgen. Im Anschluss folgt eine Strecke in Dammlage bis Strecken-km 4 + 300. Bis Strecken – km 5 + 300 verläuft die Gradienten dann im Einschnitt, wobei eine Deponie durchquert wird. Von Strecken – km 5 + 300 bis 5 + 620 schließt sich eine Dammlage an. Bis zum Anschluss an die L 189 bei Strecken – km 5 + 706 folgt die Gradienten dem Geländeeverlauf. Die Einschnittstiefen betragen im Bereich des gewachsenen Baugrunds bis zu 8,6 m. Dämme sind mit Höhen von bis zu 6,50 m geplant.

Zur geplanten Gestaltung von Einschnitten und Dämmen lagen zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Gutachtens keine Informationen vor.

Im Straßenverlauf sind zwei Brückenbauwerke geplant.

Das erste Bauwerk soll bei Strecken – km 0 + 550 bis 0 + 600 über die MIBRAG-Kohlebahn führen. Sie wird im Bereich des ehemaligen Tagebaus gegründet. Gemäß der Vorplanung ist eine Einfeldbrücke mit Stahlbetonwiderlagern und gelenkig aufgelagertem Spannbetonfertigteilträger geplant. Es handelt sich somit um ein statisch bestimmtes Grundsystem. Die Brücke soll eine Spannweite von ca. 22,0 m besitzen.

Das zweite Bauwerk ist eine Brücke über die Grunau bei Strecken – km 3 + 500 bis 3 + 550. Diese ist als statisch bestimmte Einfeldbrücke in Stahlbetonbauweise geplant. Die Brücke soll eine Spannweite von ca. 8,9 m besitzen.

Zum Zeitpunkt der Erstellung des Gutachtens lagen keine Informationen über zu erwartende Bauwerkslasten aus den beiden Brückenbauwerken vor.

2.1.2 Geologische Verhältnisse

Bereich gewachsener Baugrund

Die geologischen Verhältnisse im gewachsenen Baugrund werden durch holozäne und pleistozäne Ablagerungen sowie tertiäre Sedimente des Weißenelsterbeckens bestimmt.

Holozäne Ablagerungen der Aue treten im Umfeld der Grunau im Gebiet zwischen Muschwitz und Wuschlaub auf. Sie sind bestehen überwiegend aus Auelehm mit Dicken von ca. 1,0 m ... 3,0 m.

Außerhalb der Aue ist eine pleistozäne Decke aus Löss / Lösslehm vorhanden. Diese besitzt Dicken von 2,0 m bis 6,0 m. Unterhalb des Lösslehms folgen Sedimente der Saale- und Elsterkaltzeit. Diese werden durch geringmächtige Lagen (max. 1,0 m ... 2,0 m) Geschiebelehm / -mergel der 1. Saalekaltzeit und der 1. Elsterkaltzeit gebildet. Zwischen den Geschiebemergelhorizonten können örtlich Sande und Kiese des GWL 1.6 auftreten. Unterhalb des Geschiebelehms / -mergels folgen geringmächtiger Bänderton und Sande und Kiese des GWL 1.8 mit Dicken von 1,0 m ... 6,0 m. Die Quartärbasis liegt zwischen 120 und 130 m NHN.

Die tertiären Schichten werden durch die Ober- und Unterbank des Braunkohle-Flözes 23 gebildet, zwischen denen ein toniges Zwischenmittel auftreten kann. Im Liegenden des Flözes 23 folgt Luckenauer Ton, der von Sanden des GWL 5 unterlagert wird. Örtlich tritt unterhalb des GWL 5 das Flöz 1 (sächsisch – thüringisches - Unterflöz) auf. Unter diesem folgen Tone und Schluffe der Borna-Folge sowie Sande des GWL 6.

Die tertiären Sedimente werden durch Zersatz des unteren Buntsandstein unterlagert.

Zwischen Strecken-km 4+950 ... 5 + 250 befindet sich ein Deponiekörper. Das Gelände stellt eine Altlastenverdachtsfläche dar. Über die Zusammensetzung der Abfallmassen liegen keine Informationen vor.

Bereich ehemaliger Tagebaue (Kippe)

Die Straße verläuft auf den ersten 2,85 km über das Gebiet der ehemaligen Tagebaue Wählitz I, Carl Bosch und Hermann, in denen ca. zwischen 1930 und 1950 die Braunkohleflöze 23 und 1 abgebaut wurden. Die Hohlform der ehemaligen Tagebaue wurde nach Einstellung der Kohlegewinnung vollständig verkippt. Über Aufschlussform, Abbau- und Verkippungstechnologie liegen keine Informationen vor.

Im Untergrund steht gemäß Altaufschlüssen des LAGB [U9] Mischbodenkippe aus den ehemals in diesem Gebiet anstehenden pleistozänen und tertiären Ablagerungen an. Der Kippenboden setzt sich somit überwiegend aus Löss / Lösslehm, Geschiebemergel und Sanden der quartären Grundwasserleiter (1.6 / 1.8) sowie dem Zwischenmittel des Braunkohleflözes 23 zusammen. Untergeordnet können auch Aushubmassen des GWL 5 und des Luckenauer Tons im Kippenboden enthalten sein.

Die Mächtigkeit der Mischbodenkippe schwankt gemäß Altaufschlüssen des LAGB [U9] und dem geologischen Schnitt [U4] zwischen 25,0 m und 60,0 m. Das Liegende der Kippe wird durch den Luckenauer Ton bzw. den tertiären GWL 5 gebildet.

Das Untersuchungsgebiet befindet sich in der Erdbebenzone 0.

2.1.3 Hydrologische Verhältnisse

Die hydrologischen Verhältnisse im Untersuchungsgebiet werden durch die Wasserstände in den quartären und tertiären Grundwasserleiter sowie im Kippengrundwasserleiter bestimmt.

Der Kippengrundwasserleiter ist ausschließlich in der südlichen Hälfte des Untersuchungsgebietes ausgebildet. Die quartäre Grundwasserleiter GWL 1.6 und 1.8 treten nur örtlich verbreitet im nördlichen Teil des Untersuchungsgebietes auf. Die tertiären Grundwasserleiter GWL 5 und 6 sind gemäß dem geologischen Profil [U4] im gesamten Untersuchungsgebiet vorhanden. Die quartären und tertiären Grundwasserleiter sind überwiegend durch sehr schwach durchlässige Schichten (Ton) voneinander in einzelne Grundwasserstockwerke getrennt. Der Kippengrundwasserleiter hingegen besitzt eine direkte Verbindung zu den quartären, als auch zu den tertiären Grundwasserleitern.

Die Grundwasserstände liegen derzeit bei ca. 128,0 m NHN ... 158 m NHN. Die Hauptgrundwasserfließrichtung verläuft von Süden nach Nordenwest. Nördlich der Grunau wechselt die Grundwasserfließrichtung. Hier besteht eine Strömung von Nordwesten nach Südosten zur Aue der Grunau hin.

Die Grundwasserstände im Untersuchungsgebiet werden seit längerer Zeit durch Wasserhaltungsmaßnahmen der umgebenden Tagebaue sowie die Wasserstände von Tagebaurestseen

beeinflusst. Derzeit unterliegen hauptsächlich die Wasserstände der tertiären Grundwasserleiter den Einflüssen der Entwässerung für den ca. 3,0 km entfernten Tagebau Profen.

Durch den geplanten Aufschluss des Abbaufeldes Domsen bis zum Jahr 2020 östlich des Untersuchungsgebietes ist zukünftig eine noch größere Beeinflussung der Grundwasserstände insbesondere im Kippengrundwasserleiter zu erwarten.

Der geologische Schnitt [U4] enthält Angaben zu den derzeitigen hydrologischen Verhältnissen in der Kippe und den angrenzenden gewachsenen Baugrundschichten. Der eingetragene durchgängige Grundwasserstand in der Kippe gibt den ungünstigsten Grundwasserstand für den Kippengrundwasserleiter wieder.

Des Weiteren liegen durch das Gutachten des Ingenieurbüros IBGW [U13] Informationen zur prognostizierten Entwicklung des Grundwasserstandes nach Abschluss des Grundwasserwiederanstieges im Bereich des Tagebaus Profen vor.

In der Anlage 4.1 sind die ungünstigsten, aktuellen Grundwasserstände im Kippengrundwasserleiter angegeben. Die Anlage 4.2 enthält außerdem eine Darstellung der anhand stationärer Berechnung prognostizierten zukünftigen Grundwasserstände.

Aus den prognostizierten Grundwasserständen ergibt sich, dass für den Bereich Hohenmölsen mit maximalen Grundwasserständen von ca. 155,0 m NHN zu rechnen ist. Diese liegen im Niveau der derzeit vorhandenen Grundwasserstände. Somit sind zwischen der derzeitigen Situation und den zukünftigen Grundwasserständen nach Einstellung des Tagebaus und Flutung der entstehenden Restlöcher kaum Unterschiede zu erwarten.

Der derzeitige Grundwasserstand kann deshalb als höchster zu erwartender Grundwasserstand für das Untersuchungsgebiet angesehen werden.

Ein geschlossener Grundwasserspiegel liegt gemäß Anlage 4.1 innerhalb des Kippenkörpers derzeit ca. 3,0 ... 25,0 m unter Geländeoberkante. Es tritt somit keine vollständige Wassersättigung der Kippe auf. Oberhalb sehr schwach durchlässiger Abschnitte des Kippenbodens kann es in Abhängigkeit von der Durchlässigkeit örtlich zu einer Aufsättigung kommen.

Im gewachsenen Boden treten im Bereich der Aue flurnahe Grundwasserstände von 1,0 ... 2,0 m unter Geländeoberkante auf. Es handelt sich hierbei um einen Druckwasserspiegel im quartären Grundwasserleiter 1.8.

Im übrigen Teil der Trasse sind Grundwasserstände von ca. 5,0 ... 10,0 m unter Geländeoberkante zu erwarten.

2.2 Baugrundverhältnisse

2.2.1 Baugrundkundung

Durch die Leistungsbeschreibung und das Leistungsverzeichnis des Auftraggebers [U2] war das Erkundungskonzept (Aufschlussart, Aufschlusstiefen) für die geplante Straße vorgegeben.

Es wurde grundsätzlich auf Aufschlüsse zur Gewinnung von ungestörter Bodenproben (Kernbohrungen) verzichtet.

Zwischen dem 01.07.2014 und dem 10.10.2014 erfolgten entlang der geplanten Trasse und im Bereich der geplanten Bauwerke die folgenden Baugrundaufschlüsse zur Erkundung der Baugrundverhältnisse:

Straße:

– 48 Rammkernsondierungen	RKS 2965 ... RKS 3022	Tiefe: 3,00 m ... 12,00 m
– 16 leichte Rammsondierungen	DPL 2967 ... DPL 3019	Tiefe: 3,00 m ... 5,00 m
– 3 schwere Rammsondierungen	DPH 3012 ... DPH 3015b	Tiefe: 9,00 m
– 3 Drucksondierungen	DS 2989 ... DS 2991	Tiefe: 20,00 m ... 20,10 m
– 4 Schürfe	Sch 2965 ... Sch 3020	Tiefe: 0,60 m ... 0,85 m

Bauwerk 1 (Brücke über die MIBRAG-Kohlebahn):

– 2 Rammkernsondierungen	RKS 2070, RKS 2071	Tiefe: 7,00 m
– 4 Drucksondierungen	DS 2070 ... DS 2071a	Tiefe: 15,10 m ... 25,40 m

Bauwerk 2 (Brücke über die Grunau):

– 4 Rammkernsondierungen	RKS 3048 ... RKS 3051	Tiefe: 8,0 m
– 2 leichte Rammsondierungen	DPL 3048, DPL 3050	Tiefe: 8,0 m

Die Aufschlüsse für die geplante Verbindungsstraße wurden in einem Abstand von ca. 100 m entlang des geplanten Trassenverlaufes ausgeführt. Zwischen km 4+950 und 5+250 (Gemarkung Muschwitz, Flur 4, Flurstück 58) erfolgte entsprechend Vorgabe des Auftraggebers eine Verkürzung des Aufschlussabstände auf ca. 50 m. Dies wurde aufgrund der vorhandenen alten Deponie und dem vorliegenden Altlastenverdacht für die Fläche festgelegt.

Die Aufschlussstiefen der Aufschlüsse wurden so festgelegt, dass diese den Baugrund bis mindestens 3,0 m unter die geplante Straßenoberkante aufschließen. Es erfolgten größtenteils direkte Aufschlüsse in Form von Rammkernsondierungen.

Es wurden Drucksondierungen CPT nach DIN 4094-1 mit Porenwasserdruckmessungen ausgeführt. Eine Auswertung der Ergebnisse der Drucksondierungen kann der Anlage 3.4 entnommen werden.

Den direkten Baugrundaufschläßen wurden repräsentative Bodenproben zur Durchführung von bodenphysikalischen und chemischen Laboruntersuchungen entnommen.

Die einzelnen Aufschlüsse sind mit Aufschlussstiefe, Aufschlussart, Ausführungsdatum, Stationierung entlang der Trasse, Lage und Koordinaten in der Anlage 2 zusammengefasst.

In Anlage 3 sind die Profile der einzelnen Aufschlüsse dargestellt. Die Anlage 4 enthält einen aus den Einzelaufschläßen abgeleiteten Baugrundschnitt entlang der geplanten Straßentrasse.

Die Erkundungsarbeiten waren zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Berichtes noch nicht vollständig abgeschlossen. Es sind noch folgende weiteren Erkundungsarbeiten im Oktober / November 2014 geplant:

- | | | |
|------------------------------|-----------------------|--------------------------|
| – 2 Rammkernsondierungen | RKS 3003 ... RKS 3018 | Tiefe: 3,00 m ... 9,00 m |
| – 1 leichte Rammsondierungen | DPL 3005 | Tiefe: 3,00 m |

Die vorliegenden Erkundungsergebnisse werden im Zusammenhang mit den Kenntnissen zu den regionalgeologischen Verhältnissen als ausreichend für die Erarbeitung einer Hauptuntersuchung nach DIN 4020 für die geplante Bauaufgabe erachtet.

Es wird nicht davon ausgegangen, dass sich durch die noch auszuführenden Aufschläßen wesentliche Veränderungen am Baugrundmodell ergeben.

2.2.2 Bodenphysikalische Laboruntersuchungen

Der Untersuchungsumfang hinsichtlich bodenphysikalischer Laboruntersuchungen wurde ebenfalls durch den Auftraggeber vorgegeben [U2].

26 Punktproben des mit den direkten Aufschläßen gewonnenen Bodenmaterials wurden bodenphysikalische Laboruntersuchungen unterzogen [U11]. Die Untersuchungen erfolgten im Labor der FCB – Fachbüro für Consulting und Bodenmechanik GmbH in Espenhain.

Anhand der Untersuchungsergebnisse sind die vorhandenen regionalen Kenntnisse zu bestätigen und zu präzisieren.

Der Untersuchungsumfang stellt das absolute Minimum für die Beschreibung der Schichteigenschaften dar. Der geringe Umfang kann nur aufgrund der vorliegenden Kenntnisse infolge des aktiven Bergbaus akzeptiert werden.

Die Anlage 5 enthält eine Ergebnisübersicht sowie die Einzelergebnisse aller bisher durchgeführten Untersuchungen.

Es wurden die folgenden bodenphysikalischen Untersuchungen ausgeführt:

- | | |
|--------------------------------------|--|
| Schicht 1a
(Mischboden-
kippe) | – 2 Sieb-Schlämmanalysen nach DIN 18 123 zur Bestimmung der Korngrößenverteilung |
| | – 12 natürliche Wassergehalte nach DIN 18 121 |
| | – 2 Atterbergsche Plastizitätsgrenzen nach DIN 18 122 |
| | – 1 Proctorversuch nach DIN 18 127 |
| Schicht 3
(Mudde) | – 3 natürliche Wassergehalte nach DIN 18 121 |
| | – 1 Glühverlust nach DIN 18 128 zur Ermittlung der organische Be-
standteile |
| Schicht 4
(Löss / Löss-
lehm) | – 1 Sieb-Schlämmanalysen nach DIN 18 123 zur Bestimmung der Korngrößenverteilung |
| | – 8 natürliche Wassergehalte nach DIN 18 121 |
| | – 2 Atterbergsche Plastizitätsgrenzen nach DIN 18 122 |

Die Sieb-Schlämmanalysen des Kippenbodens sollen die Bandbreite der Korngrößenverteilung der Mischbodenkippe wiedergeben. Die Analysen ergaben einen stark schluffigen Kies sowie einen tonigen, schwach sandigen Schluff. Der natürliche Wassergehalt des untersuchten Kippenbodens lag bei $w_n = 9,7 \dots 24,2\%$. Die örtlich höheren Wassergehalte können überwiegend auf eine Beeinflussung durch Oberflächenwasser insbesondere im Bereich von überlagernden durchlässigen Schichten zurückgeführt werden. Anhand der ermittelten Plastizitätsgrenzen lässt sich eine überwiegend steife Konsistenz des Kippenbodens im Bereich des Straßenplenums ableiten.

Da der gewachsene Baugrund entlang der geplanten Trasse überwiegend durch Löss / Lösslehm gebildet wird, erfolgten die meisten bodenphysikalischen Untersuchungen an Einzelproben dieser Bodenschicht. Gemäß dem mittels Sieb-Schlamm-Analyse ermittelten Körnungsbild ist der Löss / Lösslehm als ein toniger Schluff zu beschreiben. Der natürliche Wassergehalt des Löss / Lösslehms lag gemäß den Laboruntersuchungen zwischen $w_n = 12,0 \dots 25,0\%$. Anhand der ermittelten Plastizitätsgrenzen für den Löss/Lösslehms ergibt sich damit eine überwiegend steife bis halbfeste Konsistenz.

Für eine Einzelprobe der in der Aue anstehenden Mudde wurde mittels Glühverlust der Anteil an organischem Material mit 18,0 % bestimmt. Die natürlichen Wassergehalte lagen für den Aueboden deshalb bei $w_n = 48,7 \dots 81,0\%$.

2.2.3 Baugrundschichtung

Anhand der geologischen Verhältnisse kann das Gebiet in vier Teilabschnitte unterteilt werden. Es handelt sich dabei um die folgenden Abschnitte:

Abschnitt 1 – Bereich ehemaliger Tagebau km 0 + 000 ... 2 + 850
Abschnitt 2 – Bereich Aue (Bauwerk 2) km 3 + 400 ... 3 + 800
Abschnitt 3 – Bereich Deponie km 4 + 950 ... 5 + 250
Abschnitt 4 – weitere Straßenabschnitte km 2 + 850 ... 3 + 400,
km 3 + 800 ... 4 + 950,
km 5 + 250 ... 5 + 706.

Im Folgenden werden die Baugrundverhältnisse im Bereich der einzelnen Streckenabschnitte und der Bauwerke zusammengefasst. Die Baugrundschichtung kann den Baugrundschnitten in Anlage 4 entnommen werden.

Mit den ausgeführten Baugrundaufschlüssen wurde im Bereich der Straßentrasse und der beiden geplanten Bauwerke die folgende Baugrundschichtung festgestellt:

Verbindungsstraße L191 – L189:

Tabelle 1: Baugrundschichtung Straßentrasse Abschnitt 1, km 0 + 000 ... 2 + 850 [U9]

Schicht-Nr.	Schicht-Bezeichnung	Schichtbeschreibung	Schichtdicke [m]	UK Schicht [m u. GOK]
0	aufgefüllter Mutterboden	Schluff, schwach tonig bis tonig, schwach feinsandig bis feinsandig, schwach feinkiesig, schwach organisch, humos	0,15 ... 0,60	0,15 ... 0,60
1a	Mischbodenkippe	Schluff, sandig, schwach feinkiesig bis feinkiesig, schwach mittelsandig, tonig ... Kies, sandig bis stark sandig, schwach schluffig bis schuffig, schwach tonig, kohlehaltig	> 2,80 ... > 11,80	> 3,00 ... > 12,00
4	Löss / Lösslehm (nur RKS 2980)	Schluff, schwach feinsandig, tonig	> 2,45	> 3,00

Die Erkundungsergebnisse für den Straßenabschnitt zwischen km 0+000 ... 2 + 850 (Bereich ehemaliger Tagebau) können detailliert den Bohr-, Ramm- und Sondierprofilen in Anlage 3.1.1 ... 3.1.28 und Anlage 3.2 entnommen werden.

Die Basis der Mischbodenkippe im Bereich der geplanten Straßentrasse zwischen Station 0 + 000 ... 2 + 850 wurde nur im Randbereich des Kippengeländes mit dem Aufschluss RKS 2980 (1BG 016) aufgeschlossen. Die Mischbodenkippe besitzt gemäß Altaufschlüssen des LAGB eine Mächtigkeit von ca. 25,0 m ... 43,0 m.

**Tabelle 2: Baugrundschichtung Straßentrasse, Abschnitt 2 + 4, km 2 + 850 ... 4+950,
 5+250 ... 5 + 706 [U9]**

Schicht-Nr.	Schicht-Bezeichnung	Schichtbeschreibung	Schichtdicke [m]	UK Schicht [m u. GOK]
0	Mutterboden	Schluff, schwach feinsandig bis feinsandig, schwach tonig bis tonig, humos, örtl. schwach organisch	0,15 ... 0,65	0,15 ... 0,65
1b	Auffüllung	Schluff, schwach feinsandig bis feinsandig, schwach tonig ... Sand, schluffig, feinkiesig bis mittelkiesig, schwach tonig	0,50 ... 1,65	0,65 ... 1,80
2	Auelehm (nur zw. km 3+400 ... 3+800)	Schluff, feinsandig, schwach tonig bis tonig, schwach organisch	0,70 ... 1,70	1,15 ... 2,05
3	Mudde (nur zw. km 3+400 ... 3+800)	Schluff, tonig, schwach feinsandig bis feinsandig, organisch	1,10 ... > 4,65	1,75 ... > 5,00
4	Löss / Lösslehm	Schluff, schwach tonig bis tonig, schwach feinsandig bis feinsandig	> 1,25 ... > 7,25	> 3,00 ... > 8,00

Tabelle 3: Baugrundschichtung Straßentrasse Abschnitt 3, km 4+950 ... 5 + 250 [U9]

Schicht-Nr.	Schicht-Bezeichnung	Schichtbeschreibung	Schichtdicke [m]	UK Schicht [m u. GOK]
0	Mutterboden	Schluff, feinsandig, tonig, humos	0,00 ... 0,50	0,00 ... 0,50
1b	Auffüllung (Deponiekörper)	Betonrecycling (Sand, kiesig, Ziegelreste) ... Schluff, sandig bis Sand, stark schluffig, schwach tonig bis tonig, fein- bis mittelkiesig mit Beton-, Ziegel-, Ascheresten, Kohlestücke	0,00 ... 6,40	0,50 ... 6,40
1a	Mischbodenkippe (nur 1BG 052a+b)	Sand, schluffig, feinkiesig bis schwach mittelkiesig, schwach tonig ... Feinsand, stark schluffig, schwach tonig	>1,55 ... >2,60	> 9,00
4	Löss / Lösslehm	Schluff tonig bis stark tonig, schwach feinsandig bis feinsandig	0,00 ... > 7,25	3,75 ... > 8,00
5	Geschiebemergel	Schluff, feinsandig bis stark feinsandig, schwach mittelsandig bis mittelsandig, tonig, schwach feinkiesig	0,00 ... > 4,25	> 8,00

Die Erkundungsergebnisse für den Abschnitt der Straßentrasse zwischen km 2 + 850 ... 5 + 706 können den Bohr- und Rammprofilen in den Anlagen 3.1.29 ... 3.1.53 entnommen werden.

Bei der Probenentnahme im Bereich der Deponie zeigten die angetroffenen Bodenschichten neben den örtlich vorhandenen Ascheresten visuell keine organoleptischen Auffälligkeiten. Allerdings konnte ab einer Tiefe von ca. 2,50 m ... 3,00 m unter Geländeoberkante ein auffälliger Geruch festgestellt werden, der bis in eine Tiefe von ca. 6,50 m ... 7,50 m unter Geländeoberkante anhielt.

Bauwerk 1: (Brücke über die MIBRAG-Kohlebahn):

Tabelle 4: Baugrundschichtung Bauwerk 1 [U9]

Schicht-Nr.	Schicht-Bezeichnung	Schichtbeschreibung	Schichtdicke [m]	UK Schicht [m u. GOK]
0	aufgefüllter Mutterboden	Schluff, feinsandig bis Sand, schluffig, feinkiesig bis schwach mittelkiesig, schwach tonig, humos	0,45	0,45
1a	Mischboden-kippe	<i>südlich der Kohlebahn:</i> Sand, schwach schluffig bis schluffig, feinkiesig bis mittelkiesig, schwach tonig, kohlehaltig; örtlich Schluff, feinsandig, feinkiesig bis mittelkiesig, schwach tonig, kohlehaltig <i>nördlich der Kohlebahn:</i> Schluff, sandig, feinkiesig, schwach mittelkiesig bis mittelkiesig, schwach tonig bis tonig, kohlehaltig, mit Ton- und Sandlinsen	> 6,55	> 7,00

Die im Bereich des Bauwerks 1 ausgeführten Aufschlüsse sind als Bohr- und Sondierprofile in den Anlagen 3.1.6, 3.1.7 und 3.2.1 ... 3.2.4 dargestellt.

Bauwerk 2: (Brücke über die Grunau):

Tabelle 5: Baugrundschichtung Bauwerk 2 (Abschnitt 2) [U9]

Schicht-Nr.	Schicht-Bezeichnung	Schichtbeschreibung	Schichtdicke [m]	UK Schicht [m u. GOK]
0	Mutterboden	Schluff, schwach tonig bis tonig, organisch, humos	0,20 ... 0,50	0,20 ... 0,50
2	Auelehm	Schluff, schwach tonig bis tonig, schwach	0,70 ... 1,00	1,00 ... 1,40

Schicht-Nr.	Schicht-Bezeichnung	Schichtbeschreibung	Schichtdicke [m]	UK Schicht [m u. GOK]
		organisch bis organisch, schwach feinsandig		
3	Mudde	Schluff, tonig, organisch	0,90 ... 1,90	2,10 ... 3,30
4	Löss / Lösslehm	Schluff, tonig, schwach feinsandig bis feinsandig	3,50 ... 4,40	5,90 ... 7,00
5	Geschiebemergel	Schluff, feinsandig, schwach mittelsandig, tonig	0,60 ... 0,70	6,60
6	GWL 1.8	Feinsand bis Mittelsand, feinkiesig, schwach mittelkiesig bis mittelkiesig, schwach grobsandig bis grobsandig	> 1,00 ... > 1,40	> 8,00

Die Ergebnisse der Erkundung im Bereich des Bauwerkes 2 können detailliert den Bohr- und Rammprofilen in Anlage 3.1.54...3.1.3.1.57 entnommen werden.

2.2.4 Straßenaufbau

Anhand der vier ausgeführten Schürfe wurde für die Landesstraßen L189 und L191 sowie die Kreisstraßen K2585 und K2196 der folgende Straßenoberbau im Straßenrandbereich festgestellt:

Tabelle 6: Aufbau Straßenoberbau L189, L191, K2585, K2196 [U9]

Aufschluss-Nr.	Straßenbezeichnung	Schichtbezeichnung	Schichtenaufbau
Sch 2965	L191	Deckschicht:	- 0,13 m Asphalt
		Tragschicht / Frostschutzschicht:	- 0,32 m Asphaltrecycling, Schotter, Sand - 0,21 m Natursteinpflaster (Steinlänge: 20 cm) - 0,04 m Schotter (Sand, schwach feinkiesig)
		Planum:	- Lösslehm (Schluff, tonig, feinsandig)
Sch 2994	K2196	Deckschicht:	- 0,18 m Asphalt
		Tragschicht / Frostschutzschicht:	- 0,21 m Mineralgemisch, Schotter (Sand, schwach feinkiesig) - 0,41 m Kies, sandig, schwach schluffig - Vlies
		Planum:	- Auffüllung (Schluff, sandig, feinkiesig bis schwach mittelkiesig, schwach tonig)

Aufschluss-Nr.	Straßenbezeichnung	Schichtbezeichnung	Schichtenaufbau
Sch 3010	K2585	Deckschicht:	- 0,08 m Asphalt
		Tragschicht / Frostschutzschicht:	- 0,14 m Schotter (Sand, schwach feinkiesig, schwach schluffig) - 0,30 m Kies, sandig, schwach schluffig
		Planum:	- Auffüllung (Sand, schluffig, feinkiesig bis mittelkiesig, schwach tonig, Schlufflinsen)
Sch 3020	L189	Deckschicht:	- 0,10 m Asphalt
		Tragschicht / Frostschutzschicht:	- 0,26 m Asphaltrecycling, Schotter - 0,12 m Kies, sandig, schluffig
		Planum:	- Lösslehm (Schluff, tonig, schwach feinsandig)

Die Ergebnisse der Erkundung können detailliert den Schurfprofilen in Anlage 3.3 entnommen werden.

2.3 Baugrundeigenschaften

Die Eigenschaften der maßgebenden Bodenschichten (Mischbodenkippe / Auffüllung, Auelehm, Mudde, Löss / Lösslehm, Geschiebelehm/-mergel, GWL 1,8) können anhand der Erkundungsergebnisse [U10], den Ergebnissen der Laboruntersuchungen [U11] sowie örtlichen Erfahrungen wie folgt beschrieben werden:

Tabelle 7: Baugrundeigenschaften Schicht 1a: Mischbodenkippe

Merkmale \ Benennung	Mischbodenkippe überwiegend bindig	Mischbodenkippe überwiegend rollig
Untersuchte Proben	KVS: RKS 2990 / 5,45-7,25 m w _n : RKS 2973 – RKS 2982 / 0,35-2,65 m w _{L,wP} : RKS 2975 / 0,45-1,75 m RKS 2984 / 0,85-3,00 m ρ _{Pr} : MPr. (RKS 2990+ 2991) / 2,75-11,05 m	KVS: RKS 2966 / 0,55-1,90 m w _n : RKS 2972 / 1,15-1,85 m
Typische Bodenart nach DIN 4022 oder Bestandteile	U, s-s*, fg'-fg, mg', t'-t ... S, u*, t	S, u, fg-mg, t ... G, s-s*, u'-u, t'
Bodengruppe (DIN 18 196)	[UL/TL], [SU*/ST*]	[SU/ST], [GU/GT], [GU*/GT*]

Merkmal \ Benennung	Mischbodenkippe überwiegend bindig	Mischbodenkippe überwiegend rollig
Lagerungsdichte aus Bohrfortschritt	-	locker
Lagerungsdichte aus DS, DPL	-	locker
Konsistenz gemäß Bodenansprache	steif bis weich, örtlich halbfest	-
Konsistenz gemäß DS, DPL	weich bis steif	-
Konsistenz gemäß Laborergebnis	steif, örtlich halbfest $w_n = 0,16 \dots 0,242$ $I_c = 0,75 \dots 1,00 (1,50)$ $w_L = 0,31$ $w_P = 0,21 \dots 0,22$ $I_P = 0,09 \dots 0,10$	-
Durchlässigkeit k [m/s]		
- aus Bodengruppe	$1,0 \cdot 10^{-9} \dots 1,0 \cdot 10^{-7}$	$1,0 \cdot 10^{-7} \dots 1,0 \cdot 10^{-5}$
- abgeleitet aus der Kornverteilung	$5,6 \cdot 10^{-9}$	$9,6 \cdot 10^{-7}$
- verbal nach DIN 18 130	sehr schwach durchlässig bis schwach durchlässig	schwach durchlässig bis durchlässig
Verhältnis r:b abgeleitet aus DS ²⁾	36 : 64 ... 56:44	64 : 36 ... 72 : 28
q_c aus DS [MN/m ²]	0,3 ... 1,5	0,5 ... 5,0
Verformbarkeit	hoch	hoch
Frostempfindlichkeit nach ZTVE-StB 09	F 3 (sehr frostempfindlich)	F 2 (gering bis mittel frostempfindlich)
Bodenklasse (DIN 18 300)	4 ¹⁾	3

¹⁾ bei Wasserzutritt und gleichzeitiger mechanischer Beanspruchung kann Bodenklasse 2 entstehen

²⁾ Aus den Messergebnissen der Drucksondierungen (DS) kann auf die Zusammensetzung der Kippe geschlossen werden. Hierbei ist das Verhältnis aus lokaler Mantelreibung (f_s) und Spitzewiderstand (q_c) maßgebend. Der ermittelte Wert wird als Reibungsverhältnis R_f bezeichnet. Als Grenzwert für den Übergang zwischen rolligem und bindigem Boden wird aus Erfahrungswerten ein Reibungsverhältnis $R_f \geq 1,5 \%$ verwendet. Anhand dieses Grenzwertes können die Anteile von rolligem und bindigem Boden innerhalb der aufgeschlossenen Kippenbereiche abgeschätzt werden. Die Drucksondierungen ergaben ein mittleres Verhältnis rollig zu bindig von 54 : 46. Örtlich können auch überwiegend rollige Bereiche mit Verhältnissen rollig zu bindig von 70 : 30 auftreten (z.B. DS 2989). Die örtlich sehr stark wechselnden Reibungsverhältnisse können auf Tonklumpen innerhalb des gemischtkörnigen Kippenbodens zurückgeführt werden. Die Tonklumpen können je nach Beeinflussung durch Sicker- oder Grundwasser aufgeweicht bis breiig sein.

Aus den Spitzendrücken der Drucksondierungen kann die Lagerungsdichte des rolligen Kippenbodens abgeleitet werden. Ab Spitzewiderständen q_c von 5 MPa kann in Abhängigkeit von der Bodenart auf eine mitteldichte Lagerung geschlossen werden. Da dieser Wert erst ab einer

Tiefe von ca. 20,0 m erreicht wird, ist für die Mischbodenkippe bis zu dieser Tiefe von einer lockeren Lagerung auszugehen.

Neben Spitzendruck und Mantelreibung wurde auch der Porenwasserdruck gemessen. Anhand sprunghaft deutlich ansteigender Porenwasserdrücke im Bereich von überwiegend bindigem Kippenboden kann auf aufgeweichte tonige Abschnitte geschlossen werden. Diese wurden hauptsächlich in den Drucksondierungen DS 2970a und 2971a ab ca. 18,0 m unter Geländeoberkante festgestellt. Ein weiterer Bereich konnte aus der Drucksondierung DS 2991 ab ca. 15,0 m abgeleitet werden.

Tabelle 8: Baugrundeigenschaften Schicht 1b: Auffüllung

Merkmal	Benennung	Auffüllung
Typische Bodenart nach DIN 4022 oder Bestandteile		U, fs'-fs, t' ... S, g mit Ziegel-, Beton-, Asche- resten
Bodengruppe (DIN 18 196)		UL/TL, SU/ST, SU*/ST*, SW
Lagerungsdichte gemäß Bohrfortschritt		locker, örtlich mitteldicht
Lagerungsdichte gemäß DPL, DPH		locker, örtlich mitteldicht
Konsistenz gemäß Bodenansprache		steif bis halbfest
Konsistenz gemäß DPL, DPH		steif
Durchlässigkeit k [m/s]		
- aus Bodengruppe		$1,0 \cdot 10^{-8} \dots 1,0 \cdot 10^{-5}$
- verbal nach DIN 18 130		sehr schwach durchlässig bis durchlässig
Verformbarkeit		hoch bis mittel
Frostempfindlichkeit nach ZTVE-StB 09		F 2/F 3 (gering bis mittel/sehr frostempfindlich) untergeordnet F1 (nicht frostempfindlich)
Bodenklasse (DIN 18 300)		3, 4 ¹⁾

¹⁾ bei Wasserzutritt und gleichzeitiger mechanischer Beanspruchung kann Bodenklasse 2 entstehen

Tabelle 9: Baugrundeigenschaften Schicht 2: Auelehm

Merkmal	Benennung	Auelehm
Typische Bodenart nach DIN 4022 oder Bestandteile		U, fs'-fs, t'-t, o'-o
Bodengruppe (DIN 18 196)		UL/TL
Konsistenz gemäß Bodenansprache		steif bis halbfest
Konsistenz gemäß DPL		steif, örtlich halbfest

Merkmal	Benennung	Auelehm
Durchlässigkeit k [m/s] - aus Bodengruppe - verbal nach DIN 18 130		$1,0 \cdot 10^{-9} \dots 1,0 \cdot 10^{-7}$ sehr gering bis gering durchlässig
Verformbarkeit		hoch bis mittel
Frostempfindlichkeit nach ZTVE-StB 09		F 3 (sehr frostempfindlich)
Bodenklasse (DIN 18 300)		4 ¹⁾

¹⁾ bei Wasserzutritt und gleichzeitiger mechanischer Beanspruchung kann Bodenklasse 2 entstehen

Tabelle 10: Baugrundeigenschaften Schicht 3: Mudde

Merkmal	Benennung	Mudde
Untersuchte Proben		w_n : RKS 3000 / 0,65-1,75 m RKS 3001 / 0,35-2,05 m RKS 3002 / 1,15-4,45 m v_{gl} : RKS 3002 / 1,15-4,45 m
Typische Bodenart nach DIN 4022 oder Bestandteile		U, t-t*, fs'-fs, o'-o
Bodengruppe (DIN 18 196)		OU/OT, F
Konsistenz gemäß Bodenansprache Konsistenz gemäß DPL Konsistenz gemäß Laboruntersuchung		steif bis halbfest steif, örtlich halbfest steif bis halbfest $w_n = 0,27 \dots 0,81$
Anteil organischer Beimengungen gemäß Bodenansprache gemäß Laboruntersuchung		5 – 20 % 18 %
Durchlässigkeit k [m/s] - aus Bodengruppe - verbal nach DIN 18 130		$1,0 \cdot 10^{-9} \dots 1,0 \cdot 10^{-7}$ sehr gering bis gering durchlässig
Verformbarkeit		hoch
Frostempfindlichkeit nach ZTVE-StB 09		F 2, F 3 (gering bis mittel / sehr frostempfindlich)
Bodenklasse (DIN 18 300)		4 ¹⁾ , 5

¹⁾ bei Wasserzutritt und gleichzeitiger mechanischer Beanspruchung kann Bodenklasse 2 entstehen

Tabelle 11: Baugrundeigenschaften Schicht 4: Löss / Lösslehm

Merkmal	Benennung	Löss / Lösslehm
untersuchte Bodenproben		KVS: RKS 3010 / 1,80-5,00 m W _n : RKS 3004,3007 / 0,35-2,15 m RKS 3016,3019, 3020 / 0,85-8,00 m W _L ,W _P : RKS 3019 / 0,95-3,00 m RKS 2994 / 1,95-5,00 m
Typische Bodenart nach DIN 4022 oder Bestandteile		U, t-t*, fs'-fs
Bodengruppe (DIN 18 196)		UL/TL, TM
Konsistenz gemäß Bodenansprache Konsistenz gemäß DPL Konsistenz gemäß Laboruntersuchung		steif bis halbfest, örtlich weich steif bis halbfest, örtlich weich halbfest W _n = 0,12 ... 0,25 I _C = 1,01 ... 2,02 W _L = 0,28 ... 0,40 W _P = 0,22 ... 0,25 I _P = 0,06 ... 0,15
Durchlässigkeit k [m/s] - aus Bodengruppe - aus Kornverteilung - verbal nach DIN 18 130		1,0 · 10 ⁻⁹ ... 1,0 · 10 ⁻⁷ 1,1 · 10 ⁻⁹ sehr schwach bis schwach durchlässig
Verformbarkeit		gering bis mittel
Frostempfindlichkeit nach ZTVE-StB 09		F 3 (sehr frostempfindlich)
Bodenklasse (DIN 18 300)		4 ¹⁾

¹⁾ bei Wasserzutritt und gleichzeitiger mechanischer Beanspruchung kann Bodenklasse 2 entstehen

Tabelle 12: Baugrundeigenschaften Schicht 5: Geschiebemergel

Merkmal	Benennung	Geschiebemergel
Typische Bodenart nach DIN 4022 oder Bestandteile		U, fs, ms', t'
Bodengruppe (DIN 18 196)		UL/TL
Konsistenz gemäß Bodenansprache Konsistenz gemäß DPL		steif steif bis halbfest
Durchlässigkeit k [m/s] - aus Bodengruppe - verbal nach DIN 18 130		1,0 · 10 ⁻⁸ ... 5,0 · 10 ⁻⁶ schwach durchlässig

Merkmal	Benennung	Geschiebemergel
Verformbarkeit	gering bis mittel	
Frostempfindlichkeit nach ZTVE-StB 09	F 3 (sehr frostempfindlich)	
Bodenklasse (DIN 18 300)	4 ¹⁾	

¹⁾ bei Wasserzutritt und gleichzeitiger mechanischer Beanspruchung kann Bodenklasse 2 entstehen

Tabelle 13: Baugrundeigenschaften Schicht 6: GWL 1.8

Merkmal	Benennung	GWL 1.8
Typische Bodenart nach DIN 4022 oder Bestandteile	fS-mS, fg, mg', gs'-gs	
Bodengruppe (DIN 18 196)	SE, SW	
Lagerungsdichte gemäß Bohrfortschritt Lagerungsdichte gemäß DPL	mitteldicht bis dicht mitteldicht	
Durchlässigkeit k [m/s] - aus Bodengruppe - verbal nach DIN 18 130	$5,0 \cdot 10^{-6} \dots 5,0 \cdot 10^{-4}$ durchlässig	
Verformbarkeit	gering	
Frostempfindlichkeit nach ZTVE-StB 09	F 1 (nicht frostempfindlich)	
Bodenklasse (DIN 18 300)	3	

2.4 Baugrundkennwerte

Unter Bezug auf die Kennwertanalyse für den Tagebau Profen [U14], örtliche Erfahrungen, die DIN 1055, die EAU 2004 sowie die Ergebnisse der bodenphysikalischen Prüfungen werden die in der Tabelle 15 zusammengefassten Baugrundkennwerte für die Ermittlung von aufnehmbaren Sohldrücken und Setzungen empfohlen.

Bei den im Bereich der Kippe ausgeführten Drucksondierungen wurden für die rolligen und die bindigen Kippenböden mittlere Spitzenwiderstände zwischen $q_c = 0,3 \dots 5,0 \text{ MN/m}^2$ festgestellt. Über die Korrelation nach SCHNEIDER und nach Anhang D.6 der DIN 4094-1 können aus den Spitzenwiderständen der Drucksondierungen Steifemoduln abgeleitet werden. Dies erfolgt in Abhängigkeit von der Bodenart und dem gemessenen Spitzenwiderstand der Drucksonde durch Multiplikation mit einem Faktor 2,0 ... 3,0. Da für die Mischbodenkippe eine Unterscheidung nicht möglich ist, wird ein mittlerer Faktor von 2,5 verwendet.

Aus den Messwerten der Drucksondierungen für den Spitzenwiderstand wurden 2 charakteristische Kurven (Einhüllende) als obere und untere Grenze des Spitzenwiderstandes abgeleitet (siehe Anlage 3.2.8). Die Kurven zeigen eine Zunahme des Spitzenwiderstandes mit der Tiefe. Dies ist insbesondere ab einer Tiefe von 15,0 m festzustellen.

Mit Hilfe der Korrelation für den Steifemodul (Faktor 2,5) können aus den Spitzenwiderständen tiefenabhängige Steifemoduln abgeleitet werden.

Die nachfolgende Tabelle enthält eine Darstellung der charakteristischen Horizonte mit den oberen und unteren Grenzwerten der Spitzenwiderstände und das daraus abgeleitete Modell für die Steifemoduln:

Tabelle 14: abgeleitete Spitzenwiderstände und Steifemoduln

Tiefe [m]	untere Grenze q_c [MPa]	obere Grenze q_c [MPa]	untere Grenze E_s [MN/m ²]	obere Grenze E_s [MN/m ²]	Mittelwert E_s [MN/m ²]
0,0 ... 2,0	0,5	3,5	1,25	8,75	5,0
2,0 ... 10,0	0,5	3,0	1,25	7,50	4,5
10,0 ... 15,0	0,6	4,0	1,50	10,00	5,5
15,0 ... 25,0	1,0	5,0	2,50	12,50	7,5
> 25,0	-	-	3,75	15,00	9,5

Es wird empfohlen, das in der Tabelle 14 angegebene tiefenabhängige Verformungsmodell Setzungsberechnungen im Bereich der Kippe zugrunde zu legen. Dabei sollte der mittlere Steifemodul für die einzelnen Horizonte angesetzt werden.

Tabelle 15: Baugrundkennwerte

Baugrundschicht	Bodengruppe nach DIN 18 196	Wichte / Wichte unter Auftrieb γ / γ_k' [kN/m ³]	Reibungswinkel φ_k' [°]	Kohäsion c_k' [kN/m ²]	Steifezahl $E_{s,k}$ [MN/m ²]
1a:Mischbodenkippe - überwiegend bindig - überwiegend rollig	[UL/TL], [SU*/ST*]	18 / 10	23	5 ... 10 ($c_u = 40 \dots 60$)	tiefenabhängig aus Tabelle 14 tiefenabhängig aus Tabelle 14
	[SU/ST], [GU/GT], [GU*/GT*]	18 / 10	28	0 ... 2	
1b:Auffüllung (Deponie)	[UL/TL], [SU/ST], [SU*/ST*], (SW)	18 / 10	23	0	3 ... 5

Baugrundschicht	Bodengruppe nach DIN 18 196	Wichte / Wichte unter Auftrieb $\gamma / \gamma_k' [\text{kN/m}^3]$	Reibungswinkel $\varphi_k' [^\circ]$	Kohäsion $c_k' [\text{kN/m}^2]$	Steifezahl $E_{s,k} [\text{MN/m}^2]$
2: Auelehm	UL/TL	18 / 9	23	0 ... 2 ($c_u = 30 \dots 40$)	5 ... 10
3: Mudder	OU/OT, F	17 / 7	20	0 ... 2 ($c_u = 5 \dots 20$)	2 ... 4
4: Löss / Lösslehm - weich bis steif - steif bis halbfest	UL/TL, TM	20 / 10	25	2 ... 5	8 ... 10
			28	5 ... 10	12 ... 15
5: Geschiebemergel	UL/TL	22 / 11	23	5 ... 10	15 ... 20
6: GWL 1.8	SE, SW	18 / 10	32	0	40 ... 50

2.5 Grundwasserstände während der Erkundung

Während der Erkundungsarbeiten zwischen dem 01.07.2014 ... 10.10.2014 wurden nur im Bereich der Kippe Wasserstände gemessen. Die nachfolgende Tabelle enthält eine Zusammenstellung der Wasserstände:

Tabelle 16: Wasserstände während der Erkundung [U9]

Aufschlussnummer	Wasserstand nach Bohrende	
	[m u. GOK]	[m ü. NHN]
RKS 2965 (1BG 001)	0,94	163,41
RKS 2966 (1BG 002)	4,92	162,78
RKS 2967 (1BG 003)	2,72	165,38
RKS 2968 (1BG 004)	2,47	165,73
RKS 2973 (1BG 009)	2,27	168,68
RKS 2974 (1BG 010)	2,40	168,18
RKS 2975 (1BG 011)	2,30	166,26
RKS 2979 (1BG 015)	2,38	159,67
RKS 2985 (1BG 021)	1,95	152,29

Aufschlussnummer	Wasserstand nach Bohrende	
	[m u. GOK]	[m ü. NHN]
RKS 2993 (1BG 029)	1,93	151,39

In allen weiteren ausgeführten Aufschlüssen wurde kein Wasser angeschnitten. Es wird eingeschätzt, dass es sich bei den festgestellten Wasserständen um Schichtenwasser handelt, das sich aufgrund der inhomogenen Zusammensetzung der Mischbodenkippe oberhalb undurchlässiger Bereiche infolge von versickerndem Oberflächenwasser aufstaut. Dieser Effekt kann durch morphologische Besonderheiten (z.B. Senken) begünstigt werden, so dass sich örtlich größere schwebende Wasserhorizonte ausbilden können. Dies kann z.B. auf den Bereich zwischen den Aufschlüssen RKS 2967 und 2968 zutreffen.

Prinzipiell ist festzustellen, dass bereits ab 1,0 m unter Geländeoberkante im Bereich der Kippe Wasser auftreten kann. Infolge schwebender großflächiger Wasserhorizonte kann es örtlich zur Aufsättigung der Mischbodenkippe kommen.

In Einschnitten ist mit Schichtenwasser zu rechnen. Bei Anschnitt von schwebenden Wasserhorizonten durch Einschnitte wird die Ergiebigkeit im Allgemeinen als gering eingeschätzt.

In den Niederungen der Aue wurde während der Erkundung kein Grundwasser bis 8,0 m unter GOK angeschnitten. Die steife bis weiche Konsistenz der unteren Löss / Lösslehm-Schicht lässt den Schluss zu, dass zumindest zeitweise eine Beeinflussung durch Druckwasser vorliegt.

Aus der Übersichtskarte zu vernässungsgefährdeten Bereichen in Sachsen-Anhalt [U9] können für den gewachsenen Baugrund außerhalb der Aue mittlere Grundwasserflurabstände von 5,0 m... \geq 10,0 m abgeleitet werden.

Für den Bauzustand wird im Bereich der Mischbodenkippe ein mögliches Auftreten von Schichtenwasser ab ca. 1,0 m unter GOK maßgebend.

Schichtenwasser ist auch im Bereich der Deponie bei tiefen Einschnitten zu berücksichtigen.

Im Bereich der Aue kann für die Herstellung der Gründung der Brücke über die Grunau ein Druckwasserspiegel im GWL 1.8 maßgebend werden.

Im übrigen Teil des Untersuchungsgebietes ist mit keiner Beeinflussung der geplanten Baumaßnahme durch Wasser zu rechnen.

2.6 Chemische Laboruntersuchungen

2.6.1 Untersuchungsprogramm

Für die geplante Straßentrasse sind im Rahmen der Erkundung folgende chemische Analysen durchgeführt worden:

- Untersuchung der Straßenausbaustoffe im Kreuzungsbereich neue Trasse / bestehende Straßen nach LAGA TR Bauschutt (Tragschicht / Frostschutzschicht) und RuVA-StB 01 (Deckschicht aus Asphalt)
- Untersuchung von Aushubmassen des anstehenden Baugrunds nach LAGA TR Boden (Mischbodenkippe, Auelehm, Mudder, Löss / Lösslehm)
- Analyse des Bodens hinsichtlich Betonaggressivität nach DIN 4030
- Analyse des Wassers der Grunau hinsichtlich Betonaggressivität nach DIN 4030
- Analyse der Aushubmassen im Bereich der ehemaligen Deponie nach Deponieverordnung

Anhand der chemischen Analysen soll eine abfalltechnische Bewertung der anfallenden Ausbaustoffe erfolgen, sowie Randbedingungen für die geplante Baumaßnahme abgeleitet werden.

Zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Berichtes waren noch nicht alle chemischen Analysen abgeschlossen. Der Untersuchungsumfang umfasst die folgenden Analysen:

Tabelle 17: Überblick chemische Analytik [U12]

Aufschluss	Entnahmetiefe	Chemische Analyse	Anlage
Straßenausbaustoffe:			
Sch 2965 (1BG 001)	0,00 – 0,13 m	RuVA – StB 01	6.1
MP Sch 2965 (1BG 001)	0,13 – 0,70 m	LAGA Richtlinie für nicht aufbereiteten Bauschutt (LAGA Recycling)	6.5
Sch 2994 (1BG 030)	0,00 – 0,18 m	RuVA – StB 01	6.2
MP Sch 2994 (1BG 030)	0,18 – 0,80 m	LAGA Richtlinie für nicht aufbereiteten Bauschutt (LAGA Recycling)	6.6
Sch 3010 (1BG 047)	0,00 – 0,08 m	RuVA – StB 01	6.3
MP Sch 3010 (1BG 047)	0,08 – 0,52 m	LAGA Richtlinie für nicht aufbereiteten Bauschutt (LAGA Recycling)	6.7
Sch 3020 (1BG 057)	0,00 – 0,10 m	RuVA – StB 01	6.4
MP Sch 3020 (1BG 057)	0,10 – 0,38 m	LAGA Richtlinie für nicht aufbereiteten Bauschutt (LAGA Recycling)	6.8

Aufschluss	Entnahmetiefe	Chemische Analyse	Anlage
Bodenaushub Straße:			
MP RKS 2974 – 2980 (1BG 010 – 1BG 016)	0,30 – 2,00 m	LAGA TR Boden	6.11
MP RKS 2981 – 2982 (1BG 017 – 1BG 018)	0,30 – 3,00 m		6.12
MP RKS 2988 – 2990 (1BG 024 – 1BG 026)	0,30 – 12,00 m		6.13
MP RKS 2991 – 2993 (1BG 027 – 1BG 029)	0,30 – 12,00 m		6.14
MP RKS 2995 + 3000 (1BG 031 – 1BG 036)	0,30 – 2,00 m		6.15
Bodenaushub Bauwerke 1 und 2:			
MP RKS 2970 (1BG 006)	0,75 – 7,00 m	LAGA TR Boden	6.9
MP RKS 2971 (1BG 007)	0,45 – 7,00 m		6.10
MP RKS 3048 – 3051 (1BG 059 – 1BG 060)	0,30 – 3,00 m		6.16
MP RKS 2970 (1BG 006)	1,00 – 7,00 m	Betonaggressivität nach DIN 4030	6.17
MP RKS 2971 (1BG 007)	1,00 – 7,00 m		6.18
MP RKS 3048 – 3051 (1BG 059 – 1BG 060)	1,00 – 7,00 m		6.19
Wasserprobe aus Grunau	-		6.20

2.6.2 Untersuchungsergebnisse nach RuVA-StB 01

Aus den im Bereich von Kreuzungs- und Einbindepunkten hergestellten 4 Schürfen wurden Proben der Deckschicht entnommen und nach RuVA-StB 01 untersucht. Bei den Untersuchungen wurden folgende Konzentrationen für den PAK-Anteil und den Phenolindex ermittelt:

Tabelle 18: Ergebnisse Untersuchung nach RuVA-StB-01 [U12]

Aufschluss	Entnahmetiefe	Ausbauschicht	PAK nach EPA [mg/kg]	Phenolindex [mg/l]
Sch 2965	0,00 - 0,13 m	Asphalt-Deckschicht L191	3,9	< 0,01
Sch 2994	0,00 - 0,18 m	Asphalt-Deckschicht K2196	3,5	< 0,01
Sch 3010	0,00 - 0,08 m	Asphalt-Deckschicht K2585	3,9	< 0,01
Sch 3020	0,00 - 0,10 m	Asphalt-Deckschicht L189	12	< 0,01

Anhand der Grenzwerte für die Einordnung in die Verwertungsklassen nach RuVA-StB 01 sind die Ausbaustoffe der untersuchten Deckschichten aller vier Schürfe der Verwertungsklasse A (PAK nach EPA \leq 25 mg/kg, Phenolindex \leq 0,1 mg/l) zuzuordnen. Es ist eine Verwertung als Asphaltgranulat im Heißmischverfahren und somit der Einsatz in Asphaltmischanlagen und im Baustellenmischverfahren möglich.

Es ist möglichst eine Wiederverwertung in gebundenen Schichten (Deckschicht/gebundene Tragschicht) anzustreben.

Für eine Verwertung in ungebundenen Schichten sind die Kriterien der Richtlinien der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) zu beachten. Diese erlauben für Ausbaustoffe aus hydraulisch gebundenen Tragschichten einen Wiedereinbau in ungebundenen Schichten unter einer wasserundurchlässigen Deckschicht, vorausgesetzt, dass zwischen Unterkante Schicht und mittlerem höchsten Grundwasserstand ein Abstand von $\geq 1,00$ m besteht.

Die ausführlichen Ergebnisse der chemischen Analyse können der Anlage 6.1 bis 6.4 entnommen werden.

2.6.3 Untersuchungsergebnisse der abfallrechtlichen Bewertung (LAGA Recycling)

Eine orientierende Untersuchung bei unspezifischem Verdacht wurde für eine umweltanalytische Bewertung hinsichtlich einer möglichen Schadstoffbelastung der Bestandteile der ungebundenen Tragschicht/Frostschutzschicht der durch die neue Trasse gekreuzten Straßen durchgeführt.

Es wurde hierzu jeweils eine Mischprobe je kreuzender Straße aus der ungebundenen Tragschicht/Frostschutzschicht gebildet und im Labor untersucht. Die Bewertung bezüglich ihrer Wiederverwendung erfolgt entsprechend der Richtlinien der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) für Bauschutt.

Die nachfolgende Tabelle enthält eine Zusammenstellung der untersuchten Proben mit der Zuordnung gemäß Richtlinie der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) für Bauschutt sowie der maßgebenden Parameter für die Zuordnung.

Tabelle 19: Überblick chemische Analytik nach LAGA Recycling [U12]

Aufschluss	Entnahmetiefe	Parameter für LAGA	Maßgebende Parameter	Zuordnungs-klasse
MP Sch 2965	0,13 – 0,70 m	Bauschutt	PAK ₁₆ , Kohlenwasserstoffe	Z 1.1
MP Sch 2994	0,18 – 0,80 m	Bauschutt	Chrom, Nickel	Z 1.1
MP Sch 3010	0,08 – 0,52 m	Bauschutt	-	Z 0
MP Sch 3020	0,10 – 0,38 m	Bauschutt	Kohlenwasserstoffe	Z 1.1

Im Ergebnis sind die untersuchten Proben aufgrund erhöhter Gehalte an PAK₁₆, Kohlenwasserstoffen, Chrom und Nickel der Zuordnungsklasse Z 1.1 zuzuordnen. Alle weiteren bestimmten Anteile im Feststoff sowie die Eluatanteile der Schwermetalle können dem Zuordnungswert Z 0 zugeordnet werden.

Die ausführlichen Ergebnisse der chemischen Untersuchung können der Anlage 6.5 bis 6.8 entnommen werden.

2.6.4 Untersuchungsergebnisse der abfallrechtlichen Bewertung (LAGA Boden)

Für die beim Bau der geplanten Straße sowie der beiden geplanten Brückenbauwerke 1 und 2 anfallenden Aushubmassen wurde ebenfalls eine orientierende Untersuchung bei unspezifischem Verdacht für eine umweltanalytische Bewertung hinsichtlich einer möglichen Schadstoffbelastung durchgeführt.

Hierzu wurden im Bereich der geplanten Straßentrasse Mischproben aus benachbarten Einzel-aufschlüssen über die geplante Einschnitttiefe gebildet und im Labor untersucht.

Am geplanten Standort des Brückenbauwerks 1 wurde aus nördlich und südlich der MIBRAG-Kohlebahn gewonnenen Bodenproben (RKS 2070 bzw. RKS 2071) je Seite eine Mischprobe gebildet und einer chemischen Analyse im Labor unterzogen. Für das Brückenbauwerk 2 erfolgte die chemische Analyse an einer Mischprobe aus den 4 ausgeführten direkten Baugrund-aufschlüssen RKS 2048 – RKS 2051.

Die Bewertung bezüglich ihrer Wiederverwendung erfolgt entsprechend der Richtlinien der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) für Boden.

In der nachfolgenden Tabelle sind die untersuchten Proben mit der Zuordnung gemäß Richtlinie der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) für Boden sowie den maßgebenden Parametern für die Zuordnung zusammengestellt.

Tabelle 20: Überblick chemische Analytik nach LAGA Boden [U12]

Aufschluss	Entnahmetiefe	Parameter für LAGA	Maßgebende Parameter	Zuordnungsklasse
Bodenaushub Straße:				
MP RKS 2974 - 2980	0,30 – 2,00 m	Boden	Sulfat	Z 2
MP RKS 2981 - 2982	0,30 – 3,00 m	Boden	TOC, Sulfat	Z 2
MP RKS 2988 - 2990	0,30 – 12,00 m	Boden	TOC, Sulfat, elektr. Leitfähigkeit	> Z 2 (Deponie)
MP RKS 2991 - 2993	0,30 – 12,00 m	Boden	TOC, Sulfat, elektr. Leitfähigkeit	Z 2
MP RKS 2995 + 3000	0,30 – 2,00 m	Boden	TOC	Z 1.1
Bodenaushub Bauwerke 1 und 2:				
MP RKS 2970	0,75 – 7,00 m	Boden	TOC, Sulfat, elektr. Leitfähigkeit	> Z 2 (Deponie)
MP RKS 2971	0,45 – 7,00 m	Boden	TOC, Sulfat, elektr. Leitfähigkeit	> Z 2 (Deponie)
MP RKS 3048 - 3051	0,30 – 3,00 m	Boden	Kohlenwasserstoffe, TOC, Sulfat, elektr. Leitfähigkeit	> Z 2 (Deponie)

Im Ergebnis überschreitet ein großer Teil der untersuchten Proben aufgrund erhöhter Gehalte an Sulfat und TOC die Zuordnungswerte der Zuordnungsklasse Z 2. Dies gilt insbesondere für Aushub im Bereich der geplanten Bauwerke. Somit ist ein großer Teil nach Deponieverordnung zu bewerten und zu entsorgen.

Außerdem wurden erhöhte Anteile an Kohlenwasserstoffen sowie eine erhöhte elektrische Leitfähigkeit festgestellt, die dem Zuordnungswert Z 1.2 zugeordnet werden konnten. Alle weiteren ermittelten Anteile im Feststoff sowie die Eluatanteile der Schwermetalle können dem Zuordnungswert Z 0 zugeordnet werden.

Die ausführlichen Ergebnisse der chemischen Untersuchung können den Anlagen 6.9 bis 6.16 entnommen werden.

2.6.5 Untersuchungsergebnisse Betonaggressivität

Im Bereich der geplanten Brückenbauwerke wurden 3 Bodenmischproben aus den Aufschlüssen RKS 2970 (1BG 006), RKS 2971 (1BG 007) und RKS 3048 – 3051 (1BG 059 – 1BG 060) einer chemischen Analyse nach DIN 4030 unterzogen. Die ursprünglich geplante Untersuchung von Grundwasserproben war nicht möglich, da Grundwasser in keinem der betreffenden Aufschlüsse angetroffen wurde.

Außerdem wurde eine Wasserprobe aus der Grunau auf Betonaggressivität nach DIN 4030 analysiert.

Für die untersuchten Bodenmischproben ergibt sich folgende Einstufung:

- | | |
|---|--|
| – MP RKS 2970 / 1,0 – 7,0 m
(1BG 006) | mäßig betonangreifende Wirkung aufgrund einer erhöhten Sulfatbelastung |
| – MP RKS 2971 / 1,0 – 7,0 m
(1BG 007) | mäßig betonangreifende Wirkung aufgrund einer erhöhten Sulfatbelastung |
| – MP RKS 3048 - 3051 / 1,0 – 3,0 m
(1BG 059 – 1BG 060) | keine betonangreifende Wirkung |
| – Wasserprobe aus der Grunau | schwach betonangreifende Wirkung aufgrund einer erhöhten Sulfatbelastung |

Boden- und Grundwasserberührende Betonbauteile des Brückenbauwerks 1 sind daher nach DIN 4030 und DIN 1045-2 in die Expositionsklasse XA2 einzuordnen.

Betonbauteile des Brückenbauwerks 2, die in Kontakt mit dem Boden oder Grundwasser sind, können nach DIN 4030 und DIN 1045-2 der Expositionsklasse XA1 zugeordnet werden.

Die ausführlichen Ergebnisse der chemischen Untersuchung können der Anlage 6.17 bis 6.20 entnommen werden.

3 Folgerungen

3.1 Baugrundtechnische Randbedingungen und Gründungsempfehlungen

3.1.1 Allgemeine Baugrundbedingungen

Nach den Baugrunduntersuchungen können die typischen Verhältnisse in den einzelnen Abschnitten wie folgt beschrieben werden:

Abschnitt 1 - km 0 + 000 ... 2 + 850 (Bereich ehemaliger Tagebaue)

- es handelt sich um eine Mischbodenkippe mit den Hauptbestandteilen Schluff, Ton, Sand,
- die Kippe besitzt eine Liegezeit von > 50 Jahren,
- das Verhältnis der Kornanteile rollig : bindig beträgt im Mittel: 54 : 46,
- die Mischbodenkippe besitzt eine überwiegend lockere Lagerung (rolliger Kippenboden) bzw. steife bis weiche Konsistenz (bindiger Kippenboden),
- die Mischbodenkippe weist eine geringe Tragfähigkeit bei hoher Verformbarkeit auf,
- die Kippe ist überwiegend als sehr frost- und wasserempfindlich einzustufen,
- es ist Schichtenwasserbildung oberhalb undurchlässiger Bereiche bis in Höhe GOK möglich,
- der höchste mögliche geschlossene Grundwasserspiegel im Kippengrundwasserleiter ist gemäß Berechnung IBGW ab ca. 3,0 ... 25,0 m u. GOK zu erwarten,
- Aushubmassen der Mischbodenkippe sind teilweise in die Zuordnungsklasse Z 2 nach LAGA einzustufen, bzw. sind nach Deponieverordnung zu bewerten.

Abschnitt 4 - km 2 + 850 ... 5 + 706 (ohne Abschnitte 2 + 3)

- oberflächennah steht örtlich geringmächtige Auffüllung an,
- darunter folgt bis zur Aufschlusstiefe steifer bis halbfester Löss / Lösslehm,
- der Löss / Lösslehm besitzt eine hohe Frost- und Wasserempfindlichkeit,
- er weist eine ausreichende Tragfähigkeit bei mittlerer Verformbarkeit auf,
- ein geschlossener Grundwasserspiegel ist ab ca. 3,0 m ... 10,0 m u. GOK im GWL 1.8 zu erwarten,
- ein Aufstau von versickerndem Oberflächenwasser ist oberhalb des sehr gering durchlässigen Löss / Lösslehm lokal z.B. in überlagernder Auffüllung möglich,
- Aushubmassen des Löss / Lösslehms und des Geschiebemergels sind der Zuordnungsklasse Z1.1 nach LAGA zuzuordnen.

Abschnitt 2 - km 3 + 400 ... 3 + 800 (Bereich Grunau-Aue)

- oberflächennah steht steifer bis halbfester Auelehm an,
- dieser wird von steifer bis halbfester Mudde unterlagert,
- darunter folgt steifer bis halbfester Löss / Lösslehm.
- der nicht vorbelastete Auelehm und die Mudde besitzen eine geringe Tragfähigkeit bei hoher Verformbarkeit,
- der Löss / Lösslehm weist eine ausreichende Tragfähigkeit bei mittlerer Verformbarkeit auf,
- die Mudde besitzt einen hohen Anteil an organischen Beimengungen von bis zu 18%,
- Auelehm, Mudde und Löss / Lösslehm sind als sehr frost- und wasserempfindlich einzustufen,
- im Bereich der Aue können flurnahe Grundwasserstände auftreten, wobei es sich um einen Druckwasserspiegel im GWL 1.8 handelt,

- in durchlässigen Bereichen oberhalb gering durchlässiger Schichten ist mit Bildung von Schichtenwasser zu rechnen,
- Aushubmassen sind nach Deponieverordnung zu bewerten.

Abschnitt 3 - km 4 + 950 ... 5 + 250 (Bereich Deponie)

- im Bereich der Deponie steht locker, örtlich mitteldicht gelagerte Auffüllung aus Sand, Schluff, Kies mit Beton- und Ziegelbruch, Ascheresten und Glasstücken an,
- diese wird unterlagert von überwiegend locker gelagertem, gemischtkörnigen Kippenboden aus Sand und Schluff,
- gefolgt von steifem bis halbfestem Löss / Lösslehm und Geschiebemergel,
- die Auffüllung und der Kippenboden besitzen eine geringe Tragfähigkeit bei hoher bis mittlerer Verformbarkeit,
- Auffüllung und Kippenboden sind als mittel- bis hoch frost- und wasserempfindlich einzustufen,
- die Bildung von Schichtenwasser ist oberhalb gering durchlässiger Bereiche der Auffüllung und des Kippenbodens möglich.

3.1.2 Straßentrasse

In Höhe des Straßenplanums steht fast durchgehend wasser- und frostempfindlicher Boden an. Das Straßenplanum im Bereich des Kippengeländes, der Aue und der Deponie ist erfahrungsgemäß als mittel- bis hoch verformbar einzustufen, so dass der gemäß RSTO geforderte E_{v2} -Wert von 45 MN/m² höchstwahrscheinlich nicht erreicht wird. Somit werden zur Ertüchtigung des Planums in diesen Bereichen bodenverbessernde Maßnahmen erforderlich.

Für die geplante Straßentrasse ist hinsichtlich der Gradienten zwischen Einschnitt und Damm zu unterscheiden.

Straßendamm

Straßendämme sind prinzipiell gemäß den Forderungen der ZTVE-StB 09 herzustellen.

Vor der Dammherstellung ist der obere humose Boden abzuschieben und seitlich zu lagern.

Der Straßendamm ist lagenweise in Schichtstärken von maximal 30 cm aufzubauen. Als Dammbaumaterial sind bevorzugt gut verdichtbare Böden der Bodengruppen GW, SI, SW zu verwenden. Hinsichtlich einer Wiederverwendbarkeit von Aushubmassen im Bereich von Einschnitten für den Dammbau wird auf den Abschnitt 3.6.2 verwiesen.

Der erforderliche Verdichtungsgrad für den Einbau des Dammbaumaterials richtet sich nach der verwendeten Bodenart. Hierfür sind die Vorgaben der ZTVE-StB zu beachten ($D_{Pr} \geq 97\%$ bindiges Material, $D_{Pr} \geq 98\% \dots 100\%$ rolliges Material).

Die Notwendigkeit von bodenverbessernden Maßnahmen in Höhe des Planums der Straßen-dämme richtet sich nach der Verformbarkeit des unterlagernden Baugrunds und der geplanten Straßendammhöhe.

Bei Dammhöhen $\geq 1,00$ m sind bei fachgerechten Aufbau des Damms in Bereichen mit ver-formungsempfindlichen Böden (Kippe, Aue, Deponie) keine bodenverbessernden Maßnahmen erforderlich. Ab einer Dammhöhe von $< 1,00$ m wird bei E_{v2} -Werten < 45 MN/m² auf dem Pla-num vor der Herstellung des Straßendamms eine Bodenverbesserung der obersten 30 ... 60 cm empfohlen.

Als bodenverbessernde Maßnahmen können die folgenden Verfahren angewendet werden:

- Bodenaustausch,
- Bodenverbesserung mittels hydraulischen Bindemitteln (z.B. Mischbinder oder Feinkalk).

Die Bodenverbesserung mit hydraulischen Bindemitteln eignet sich besonders gut für Böden mit hohem Feinkornanteil.

Es wird empfohlen, den Straßendamm nach Fertigstellung seitlich mit humosem Boden anzu-decken. Hierdurch wird eine günstige Basis für eine Begrünung und somit einen Erosions-schutz des Damms durch Bewuchs geschaffen. Außerdem wird ein Zutritt von Oberflächen-wasser zum Dammkörper weitestgehend behindert.

Zur Abführung von Oberflächenwasser sind Entwässerungseinrichtungen (Gräben etc.) vorzu-sehen. Es sind die in den Regelwerken vorgeschriebenen Neigungen für Planum und Oberbau einzuhalten (ZTVE, ZTV-SoB, RAS-Q etc.).

Durch die Errichtung von Straßendämmen werden Setzungen im Untergrund verursacht. Die Größenordnung der Setzungen ist abhängig von der Verformbarkeit des Untergrundes.

Für Straßendämme auf Kippenuntergrund ist mit den größten Setzungen zu rechnen. Dies ist einerseits auf die hohe bis mittlere Verformbarkeit des Kippenbodens und andererseits auf die geplanten Dammhöhen (bis 12,5 m) zurückzuführen.

Ein Teil der Setzungen tritt bereits während der Herstellung der Straßendämme auf. In Abhän-gigkeit vom geplanten Bauablauf sind Maßnahmen bezüglich der weiteren zu erwartenden Set-zungen zu prüfen.

Eine Möglichkeit besteht darin, die Dämme zu Beginn des Straßenbaus herzustellen und vor weiterführenden Arbeiten das Abklingen der Setzungen bis auf ein bauwerksverträgliches Maß

abzuwarten. Die entstehenden Setzungen im Bereich des Straßenplanums (Dammkrone) sind vor Herstellung des Oberbaus auszugleichen.

Kann eine Wartezeit aufgrund des geplanten Bauablaufs nicht realisiert werden, ist der Kippenboden durch bodenverbessernde Maßnahmen (z.B. Rüttelstopfverdichtung) so weit zu ertrüglichen, dass die Setzungen bis auf ein bauwerksverträgliches Maß herabgesetzt werden.

Im Vorfeld der Baumaßnahme sind die zu erwartenden Setzungen aus dem Straßendamm abzuschätzen. Hinweise hierzu enthält der Abschnitt 3.5.3.

Der Übergang zwischen Kippengelände und gewachsenem Baugrund erfolgt in Dammlage. Der Damm besitzt hier eine Höhe von 2,0 m ... 3,0 m. Aufgrund der geplanten Dammhöhe ist davon auszugehen, dass die Setzungsunterschiede zwischen dem gewachsenen und dem Kippenuntergrund so gering ausfallen, dass deshalb keine bauwerksunverträglichen Verformungen eintreten.

Weitere Einzelheiten zu den zu erwartenden Setzungen und die Ergebnisse einer Beispielrechnung können dem Abschnitt 3.5 entnommen werden.

Einschnitt / geländeparallel verlaufendes Planum

Bei einer geländeparallelen Gradienten oder einem Einschnitt ist auf der Kippe und der Deponie eine Bodenverbesserung des Planums (Prüfung) erforderlich. Hierfür sind mindestens die obersten 60 cm zu verbessern. Die Dicke der zu verbesserten Bodenschicht richtet sich nach den vorhandenen Randbedingungen.

Zur Bodenverbesserung eignen sich ein Bodenaustausch mit Mineralgemisch oder eine Bodenverbesserung mittels hydraulischen Bindemitteln. Für den Einbau des Bodens sind die in der ZTE geforderten Verdichtungsgrade in Abhängigkeit von der Bodenart einzuhalten.

Aufgeweichte Bodenschichten in Höhe der Aushubsohle sind mit auszutauschen.

Im gewachsenen Boden wird nur bei Nichteinhaltung des geforderten Verformungsmoduls für das Planum ($E_{V2} \geq 45 \text{ MN/m}^2$) eine Bodenverbesserung erforderlich.

Im Bereich der Aue verläuft die Trasse in Dammlage, so dass kein Einschnitt in den Auelehm erfolgt. Wird an anderer Stelle Auelehm angetroffen, ist voraussichtlich ebenfalls eine Bodenverbesserung aufgrund der mittleren bis hohen Verformbarkeit des Bodens notwendig.

Als Bodenverbesserungsverfahren für den gewachsenen Baugrund eignen sich die gleichen Verfahren wie für die Kippe.

Gemäß der übergebenen Planungsunterlage sind folgende Einschnitttiefen geplant:

- 12,5 m im Bereich der Mischbodenkippe
- 6,6 m im Bereich von Löss / Lösslehm
- 8,6 m im Bereich der Deponie

Es treten somit vergleichsweise hohe Böschungen insbesondere im Bereich der Kippe auf. Die Böschungen können frei geböscht oder konstruktiv gesichert werden. Auch eine Kombination aus beiden Varianten ist möglich.

Für Böschungen wird empfohlen, diese in zwei bis drei Abschnitten mit einer 4,0 m breiten Zwischenberme auszubilden. Insbesondere im Bereich der Kippe sollten möglichst Böschungshöhen < 7,0 m angestrebt werden.

Für die Festlegung zulässiger Böschungswinkel wurden Vergleichsberechnungen für die drei Einschnittsituationen durchgeführt. Die Ergebnisse können dem Kapitel 3.4.3 entnommen werden.

Frei stehende Böschungen sind so auszubilden, dass eine Erosion durch Oberflächenwasser so weit wie möglich vermieden wird. Dies kann durch eine sofortige Bepflanzung der Böschung, ingenieurbioLOGischen Verbau sowie eine gezielte Wasserabführung über Fanggräben, Böschungsritten oder Dränagen erfolgen.

Im Bereich der Kippenböschung steht teilweise rolliger Kippenboden an. Dort besteht verstärkt die Möglichkeit des Austretens von Schichtenwasser und in Verbindung damit ein oberflächliches Abrutschen der Böschung. Diesem Effekt kann z.B. durch die Aufbringung einer Filterschüttung oder eine flache Ausbildung der Böschung entgegen gewirkt werden.

Alternativ zur Böschung kann der Einschnitt auch mittels Winkelstützmauer, Schwergewichtsmauer, Gabionen etc. verbaut werden. Eine Verbauwand kann auch bei einer Zweiteilung der Böschung für den unteren Abschnitt verwendet werden, wobei der obere Teil frei geböscht verbleibt. Hierdurch kann die Einschnittsbreite reduziert werden.

Für die Gründung von Verbauwänden ist im Bereich der Kippe und der Deponie eine Bodenverbesserung (z.B. Rüttelstopfverdichtung) erforderlich.

Um ein Auftreten von Staunässe und somit eine Ausbildung von Wasserdruck hinter der Wand zu vermeiden, muss an der Rückseite von Stützwandkonstruktionen eine Drainage angeordnet werden.

In allen Bereichen der geplanten Straße ist der Wasserempfindlichkeit des anstehenden Baugrundes (Kippenbodens, Deponie, gewachsener Baugrund) zu beachten. Es sind deshalb Entwässerungsmaßnahmen (Planumsentwässerung, Längsentwässerung, Entwässerung von Einschnittsböschungen etc.) für die Bauphase und den Nutzungszeitraum vorzusehen.

Das im Bereich der Kippe im Einschnittsbereich austretende Sickerwasser kann gemäß den Ergebnissen der Untersuchungen des Baugrundes auf Betonaggressivität (siehe Kap. 2.6.5) einen erhöhten Sulfatgehalt aufweisen. Dies ist für die Einleitung in Vorfluter (Kanalisation, Gewässer) zu beachten.

Es wird prinzipiell empfohlen, die Gradiente der Straße im Bereich des ehemaligen Tagebaus und der Deponie möglichst oberhalb der derzeitigen Geländeoberkante anzutragen. So können umfangreiche Bodenverbesserungsmaßnahmen sowie aufwändige Verbau- und Entwäs-

serungsmaßnahmen für tiefe Einschnitte vermieden werden. Außerdem werden hierdurch die Aushubmassen des überwiegend mit hohen Sulfatkonzentrationen belasteten Bodens begrenzt und somit die Entsorgungskosten verringert.

3.1.3 Bauwerk 1 (Brücke über die MIBRAG-Kohlebahn)

Am Standort der Brücke über die MIBRAG-Kohlebahn steht im Untergrund bis in eine Tiefe von ca. 40 m Mischbodenkippe an. Der Kippenboden besitzt eine Liegezeit von > 50 Jahren.

Die Mischbodenkippe ist auf der Südseite bis ca. 20,0 m Tiefe überwiegend rollig bis gemischt-körnig ausgebildet. Auf der Nordseite steht bindiger Kippenboden bis zur Aufschlussstiefe von 20,0 m an. Als Hauptbestandteile sind Schluff, Sand, Ton in wechselnden Anteilen enthalten.

Die Mischbodenkippe besitzt insgesamt eine sehr wechselhafte Zusammensetzung. Die Eigenschaften des Kippenbodens können auf kurzen Raum sehr stark variieren.

Der aktuelle Grundwasserstand auf der Kippe befindet sich nach Information des Auftraggebers [U4] am Standort des Bauwerk 1 ca. 25,0 m unter Geländeoberkante. Dieser wird sich gemäß den Berechnungen des Ingenieurbüros IBGW bis zum Endzustand im Jahr 2100 nicht mehr verändern.

Allerdings wurde Schichtenwasser im Rahmen der Erkundung bis 2,0 m unter Geländeoberkante örtlich angetroffen. Somit kann die geplante Baumaßnahme durch Schichtenwasser beeinflusst werden.

Für die Gründung des setzungsempfindlichen Bauwerks sind Baugrundverbesserungen oder eine Tiefgründung grundsätzlich erforderlich. Im Bereich von Kippenböden sind für Bauwerke statisch bestimmte Tragsysteme den statisch unbestimmten Systemen vorzuziehen.

Die Kippe weist abgeleitet aus den Ergebnissen der Drucksondierung auf beiden Seiten der Kohlebahn bis in Tiefen von ca. 15 ... 20 m unter GOK eine geringe Tragfähigkeit bei hoher Verformbarkeit auf ($q_c < 7,5 \text{ MN/m}^2$). Maßnahmen zur Gründung der Brückenwiderlager (Bodenverbesserung, Tiefgründung) sind deshalb mindestens bis in diese Tiefen zu führen.

Aufgrund der großen Mächtigkeit der Mischbodenkippe kommt als Gründung nur eine schwabende Gründung in Frage. Diese kann auf Pfählen oder auf pfahlartigen Traggliedern erfolgen. Die Lasten werden dabei hauptsächlich durch Mantelreibung in den Untergrund abgetragen.

Geeignete Gründungsarten stellen bodenverdrängende Verfahren dar, bei denen tragfähige Materialien in den Untergrund eingebracht werden (Beton, Schotter, Mörtel oder Aschezusätze). Dadurch werden die Dichte und die Steifigkeit des Kippenbodens erhöht und der Baugrund

homogenisiert. Gründungsarten mit Bodenentnahme (z. B. verrohrt hergestellte Bohrpfähle) sind nicht geeignet.

Ausführbar als Bauwerksgründung sind z.B.:

1. Gründung auf pfahlartigen Traggliedern (z. B. CMC-Säulen)
2. Tiefgründung auf Pfählen

Gründungen auf pfahlartigen Traggliedern stellen eine Bodenverbesserung dar. Die erforderliche Einbindetiefe der Pfähle resultiert in der Regel aus den für das Bauwerk zulässigen Verformungen. Hierzu sind die Angaben im Abschnitt 3.2 und 3.3 zu beachten.

Betonsäulen (CMC-Säulen)

Die Betonsäulen werden unbewehrt im Verdrängungsverfahren hergestellt. Das Raster ist bei einer typischen Bodenverbesserung kleiner als bei Pfählen. Die Lastabtragung erfolgt üblicherweise über Mantelreibung und Spitzenwiderstand. Es wird empfohlen, das erforderliche Raster und die Längen der Säulen auf der Basis von Probobelastungen festzulegen.

2. Tiefgründung auf Pfählen

Es sind nur Verdrängungspfähle für die Gründung geeignet. Horizontallasten sind über Schrägpfähle abzutragen. Für eine Vorbemessung können Richtwerte für die Tragfähigkeit von Verdrängungspfählen aus den Ergebnissen der Drucksondierungen DS abgeleitet werden (siehe Abschnitt 3.3).

Für die Tiefgründung auf Pfählen sind Probobelastungen vorzusehen, da Erfahrungswerte nach Regelwerken (z. B. EA-Pfähle) nicht uneingeschränkt auf Kippenböden angewendet werden können.

Die Arbeitsebene für die Herstellung der Bauwerksgründung sollte möglichst in Höhe des Böschungsfußes und nicht im direkten Böschungsbereich neben der MIBRAG-Kohlebahn angeordnet werden. Hierdurch werden Bewegungen im Bereich der Kippenböschung sowie ungünstige Einflüsse auf den bestehenden Bahndamm vermieden.

3.1.4 Bauwerk 2 (Brücke über die Grunau)

Aufgrund des bis max. 3,30 m unter Geländeoberkante anstehenden gering tragfähigen, organischen Bodens (Mudde, Auelehm) und dem unterlagernden, mäßig tragfähigen Löss / Löss-

Lehm ist für die Gründung des Bauwerks nur eine Tiefgründung in den tragfähigen Sanden des GWL 1.8 geeignet. Diese kann auf vermörtelten Stopfsäulen (VSS-Säulen) oder Bohrpfählen erfolgen. Die in der Vorplanung [U4] angegebene Gründung auf einem Spundwandkasten stellt ebenfalls eine geeignete Variante dar.

Da die Gründung in Höhe der Sande des GWL 1.8 erfolgt, ist mit einer Beeinflussung durch Grundwasser zu rechnen.

1. Vermörtelte Stopfsäulen (VSS-Säulen)

Die vermörtelten Stopfsäulen stellen unbewehrte Ortbetonpfähle dar, die durch Verfüllung eines durch Verdrängung erstellten Hohlraum hergestellt werden. Der Kies wird bei Einbringung mit einer Zement-Bentonitsuspension getränkt und durch die Stopfvorgänge gegen die Bodenwandungen gepresst und verdichtet. Die Lastabtragung erfolgt über Mantelreibung und Spitzenwiderstand. Vermörtelte Stopfsäulen stellen eine setzungsarme Gründungsvariante dar. Sie unterliegen derzeit noch keiner Normung. Es sind die bauaufsichtlichen Zulassungen der Hersteller zu beachten. Aufgrund fehlender Erfahrungswerte ist die Tragfähigkeit der Säulen mittels Probobelastungen zu ermitteln.

2. Tiefgründung auf Bohrpfählen

Bei Bohrpfählen handelt es sich um bewehrte Ortbetonpfähle. Als Herstellungsverfahren eignen sich unter den gegebenen Voraussetzungen verrohrte Drehbohrverfahren. Aufgrund einer möglichen Einbindung der Pfähle bis ins Grundwasser ist die Bohrung unter Wasserüberdruck herzustellen, um ein Eintreiben des Materials aus der Bohrlochsohle zu vermeiden.

Die Lastabtragung erfolgt über Spitzenwiderstand und Mantelreibung. Die Tragfähigkeit der Pfähle kann anhand von Erfahrungswerten abgeschätzt werden (EA-Pfähle). Die zugrunde gelegten Erfahrungswerte sollten im Rahmen der Bauausführung durch Probelaufungen bestätigt werden.

3. Tiefgründung auf Spundwandkasten

Bei einer Gründung auf einem Spundwandkasten erfolgt die Lastabtragung über die Reibung zwischen Boden und Spundbohle. Aufgrund des Einbringungsverfahrens der Spundbohlen tritt durch Verdrängung eine Verdichtung des Bodens ein. Die Lastabtragung erfolgt ausschließlich über die Mantelreibung.

3.2 Bodenverbessernde Maßnahmen

3.2.1 Vorbemerkung

Durch bodenverbessernde Maßnahmen sollen insbesondere die Tragfähigkeits- und Verformungseigenschaften des Baugrunds so verändert werden, dass sie den Anforderungen für die Gründung eines Bauwerks entsprechen. Neben der Verbesserung soll auch eine Vergleichmäßigung der Eigenschaften erzielt werden.

3.2.2 Bodenaustausch

Der anstehende, gering tragfähige Boden wird komplett gegen ein tragfähiges Material ausgetauscht. Als Material eignen sich Mineralgemische der Bodengruppen GW, GI. Diese sind in Abhängigkeit von den Anforderungen des Bauwerks mit einem Verdichtungsgrad $D_{Pr} \geq 98 \dots 100\%$ einzubauen.

Das Material ist in Lagen von max. 30 cm Dicke einzubauen und zu verdichten. Als Nachweis der Verdichtung werden indirekte Prüfverfahren (leichte Fallplatte, Rammsondierung) oder direkte Verfahren (Aussteckzylinder) empfohlen.

3.2.3 Bodenverbesserung mittels Bindemitteln

Bei einer Bodenverbesserung werden hydraulische Bindemittel mit dem anstehenden Boden vermischt um dessen Tragfähigkeits- und Verformungseigenschaften zu verbessern. Bei bindigen Böden sind insbesondere Mischbinder oder Feinkalk als Bindemittel einsetzbar.

Aus Erfahrungswerten für Bodenverbesserungsmaßnahmen im Straßenbau können Zugabemengen von 2 ... 3 Masseprozent für Bindemittel als Richtwerte vorgegeben werden.

Es wird empfohlen, an im Vorfeld der Ausführung hergestellten Probekörpern die erforderliche Zugabemenge an Bindemittel zu verifizieren.

Bei einer Bodenverbesserung mit hydraulischen Bindemitteln ist der Wassergehalt des zu verbesserten Bodens maßgebend. Zu geringe Wassergehalte führen zu einer unzureichenden Umsetzung des Bindemittels und zu einer ungünstigen Beeinflussung der Verdichtbarkeit des zu verbesserten Bodens.

Deshalb sollte im Vorfeld der optimale Einbauwassergehalt für den zu verbesserten Boden bestimmt und der erforderliche Ausgangswassergehalt für die gewählte Bindemittelzugabemenge daran orientiert werden.

Einem zu hohen Ausgangswassergehalt des zu verbessernden Bodens kann durch Zugabe einer größeren Menge Bindemittel oder durch die Verwendung eines speziellen Bindemittels (z.B. Feinkalk) begegnet werden.

3.2.4 Rüttelstopfverdichtung

Das Verfahren hat sich als Baugrundverbesserung bei feinkörnigen Böden bewährt. In Abhängigkeit vom gewählten Säulenraster kann die Steifigkeit des zu verbessernden Bodens um das 3 ... 4 - fache erhöht werden. Eine Abschätzung zur möglichen Erhöhung der Scherparameter und der Steifezahl kann z. B. durch den Bemessungsansatz nach Priebe erfolgen.

Anzahl, Tiefe und Abstand der Säulen sind an der Bodenbeschaffenheit, der Bauwerkslast und der Bauwerkskonstruktion zu orientieren.

Es erfolgte eine Beispielberechnung mit dem Berechnungsprogramm GGU-FOOTING für eine Baugrundverbesserung mittels Rüttelstopfsäulen. Mit dieser war zu überprüfen, ob mit Säulenlängen von 15,0 m eine Grenzsetzung von 2,5 cm für das Brückenbauwerk eingehalten werden kann. Im Rahmen der Berechnung wurden für variierende Bauwerkslasten die resultierenden Setzungen ermittelt.

Der Beispielrechnung lagen die folgenden Annahmen zugrunde:

- Baugrundmodell mit über die Tiefe variierendem Steifemodul (gemäß Abschnitt 2.4)
- verbesserte Bodenschicht als homogene Schicht
- Steifemodul der verbesserten Schicht = Ausgangssteifemodul x Verbesserungsfaktor
 - Schicht 2,0 ... 10,0 m $E_{S,Verb} = 4,5 \text{ MN/m}^2 * 3,5 = 15,75 \text{ MN/m}^2$
 - Schicht 10,0 ... 15,0 m $E_{S,Verb} = 5,5 \text{ MN/m}^2 * 3,5 = 19,25 \text{ MN/m}^2$
- Sohlpressungen aus dem Brückenwiderlager: 150 / 200 / 250 kN/m²
- Grenzeinflusstiefe von 20%,
- zul. Setzung von max. 2,50 cm für Brückenbauwerke

Die Berechnungsergebnisse für die unterschiedlichen Bauwerkslasten sind in der nachfolgenden Tabelle zusammengefasst. Die Anlage 7.1 enthält die Beispielberechnung für eine Bauwerkslast von 200 kN/m².

Tabelle 21: Ergebnisse Beispielberechnung Rüttelstopfverdichtung

	Bauwerkslast in [kN/m ²]		
	150	200	250
Setzungen	3,5 cm	5,5 cm	7,5 cm
erforderlicher Steifemodul für Setzung s ≤ 2,5 cm	22,0 MN/m ²	35,0 MN/m ²	48,0 MN/m ²

Die Beispielberechnung zeigt deutlich, dass ein Verbesserungsgrad der Rüttelstopfverdichtung von 3,5 nicht ausreicht, um die Setzungen auf 2,5 cm zu begrenzen.

Es wäre lastabhängig ein Verbesserungsgrad von 4 ... 9 ($E_{S,Verb} = 22,0 \dots 48,0 \text{ MN/m}^2$) für die Mischbodenkippe bis 15,0 m erforderlich, um Setzungswerte von maximal 2,5 cm einzuhalten.

Es ist zu berücksichtigen, dass die Annahmen für den Verbesserungsfaktor der Rüttelstopfverdichtung auf der ungünstigen Seite liegen. Gemäß Erfahrungswerten sind höhere Verbesserungsgrade erreichbar. Die tatsächlich erzielbaren Verbesserungsgrade für das Untersuchungsgebiet können nur anhand von Probebelastungen bestimmt werden.

Es kann trotzdem prinzipiell festgestellt werden, dass eine Bodenverbesserung mittels Rüttelstopfsäulen für die Gründung des Brückenwiderlagers nur geeignet ist, wenn Setzungen > 2,5 cm toleriert werden können.

3.3 Bemessungsangaben zur äußeren Tragfähigkeit der Gründungselemente

3.3.1 Allgemeine Vorbemerkungen

Die Angaben in diesem Abschnitt beruhen überwiegend auf Erfahrungswerten von vergleichbaren Baumaßnahmen oder aus Regelwerken nach dem allgemein anerkannten Stand der Technik.

Prinzipiell sind für Pfahlgründungen und pfahlähnliche Tragglieder Probebelastungen zur Verifizierung und Übertragbarkeit der Erfahrungswerte auf das Untersuchungsgebiet zu fordern.

Die nachfolgenden Aussagen sollen eine Grundlage für eine Vordimensionierung der Bauwerksgründungen liefern. Beispielrechnungen wurden prinzipiell am Grenzkriterium für den Gebrauchszustand (zulässige Setzung ≤ 2,5 cm) orientiert.

3.3.2 Verdrängungspfähle

Es wird empfohlen für Verdrängungspfähle im Bereich der Kippe ausschließlich die Pfahlmantelreibung bei der Bemessung für die Lastabtragung zu berücksichtigen.

Hierfür wurden Richtwerte für die Mantelreibung des axial belasteten Einzelpfahles aus den Ergebnissen der Drucksondierungen abgeschätzt. Auf Grundlage von DIN EN-1997 und der Ergebnisse der Drucksondierungen wird für die Bemessung von Verdrängungspfählen eine Mantelreibung von $q_{s,k} = 0,040 \text{ MN} / \text{m}^2$ empfohlen.

Anhand einer Beispielberechnung soll die erforderliche Pfahllänge abgeschätzt werden. Als Grenzkriterium ist eine zulässige Setzung von 2,5 cm einzuhalten.

Der Berechnung liegen folgende Annahmen zugrunde:

- Bauwerkslast von $\sigma_0 = 200 \text{ kN/m}^2$ ($F_{WL} = 21,6 \text{ MN}$)
- Mantelreibung von $q_{s,k} = 0,040 \text{ MN} / \text{m}^2$ abgeleitet aus der Drucksondierung
- Ersatzmantelfläche für die Pfahlgruppe aus dem Umfang des Brückenwiderlagers abzüglich einer Pfahlbreite multipliziert mit der Pfahllänge ($A_M = l_{Pfahl} * 2 * (12,0 \text{ m} + 8,0 \text{ m})$)

$$E_d = F_{WL} \geq R_{s,k} = q_{s,k} * A_M$$

$$21,6 \text{ MN} \geq 0,04 \text{ MN/m}^2 * l_{Pfahl} * 2 * (12,0 \text{ m} + 8,0 \text{ m})$$

$$l_{Pfahl} \geq 21,6 \text{ MN} / ((40 \text{ kN/m}^2 * 2 * (12,0 \text{ m} + 8,0 \text{ m}))$$

$$l_{Pfahl} \geq 13,5 \text{ m}$$

Bei der Ermittlung der erforderlichen Pfahllänge wurde ausschließlich die Mantelreibung berücksichtigt. Da diese bereits nach einer geringen Setzung des Pfahles mobilisiert wird, kann von einer Einhaltung des Grenzkriteriums ($s \leq 2,5 \text{ cm}$) grundsätzlich ausgegangen werden.

Die Beispielberechnung berücksichtigt keinen Pfahlspitzenwiderstand, da die Mischbodenkippe in dieser Tiefe Spitzendruckwerte $q_c < 7,5 \text{ MN/m}^2$ aufweist. Prinzipiell wird sich setzungsabhängig ein Pfahlspitzenwiderstand einstellen.

In der Berechnung wurde auch eine gegenseitige Beeinflussung benachbarter Pfähle in einer Pfahlgruppe und daraus folgend eine Verringerung der Tragfähigkeit nicht berücksichtigt. Es ist davon auszugehen, dass dieser Einfluss teilweise durch den nicht berücksichtigten Spitzenwiderstand ausgeglichen wird.

Die erforderliche Pfahllänge der Verdrängungspfähle kann somit mit ca. 15,0 m abgeschätzt werden.

3.3.3 Pfahlartige Tragglieder

Gemäß Richtlinie des DIBt sind für den Nachweis von pfahlartigen Traggliedern Probobelastungen unter Berücksichtigung der Standortverhältnisse durchzuführen. Für RSV- oder CMC-Pfähle liegen im Untersuchungsgebiet bisher keine Probobelastungen vor.

Orientiert an Probelastungen an CMC-Säulen auf der Kippe Schleenhain [U15] für ein mittleres Verhältnis rollig : bindig von ca. 50 : 50 sowie auf Grundlage der Ergebnisse der Drucksondierungen kann für die Mantelreibung der Säulen ein Wert von $q_{s,k} = 0,040 \text{ MN / m}^2$ abgeschätzt werden.

In Anlehnung an [U15] kann die Gründung mit CMC-Säulen im Kippenboden als gemeinsame Schicht mit einem Steifemodul von $E_s = 40 \dots 75 \text{ MN/m}^2$ modelliert werden. Auf Basis dieses Modells wurde eine Beispielberechnung zur Abschätzung der erforderlichen Säulenlänge in Abhängigkeit von einer zulässigen Bauwerkssetzung von 2,5 cm durchgeführt. Der Steifemodul für die Schicht aus CMC-Säulen und Kippenboden wurde mit 45 MN/m^2 in der Berechnung berücksichtigt.

Der Berechnung lagen die folgenden Bauwerkslasten zugrunde: $\sigma_0 = 150 / 200 / 250 \text{ kN/m}^2$.

Als Baugrundmodell wurde die Mischbodenkippe unter Berücksichtigung des Verformungsmodells für den Steifemodul aus Abschnitt 2.4 zugrunde gelegt.

Die Grenzeinflusstiefe wurde mit 20 % berücksichtigt, da davon auszugehen ist, dass die Spannungen im Bodenkörper aus Kippe und CMC-Säule vollständig abgebaut werden.

Es ergaben sich die folgenden Setzungen für die einzelnen Lasten aus dem Bauwerk:

- $\sigma_0 = 150 \text{ kN/m}^2 \quad s = 1,2 \text{ cm}$
- $\sigma_0 = 200 \text{ kN/m}^2 \quad s = 1,9 \text{ cm}$
- $\sigma_0 = 250 \text{ kN/m}^2 \quad s = 2,7 \text{ cm}$

Als Anlage 7.2 ist eine Beispielberechnung beigelegt.

Durch die Beispielberechnung wird bestätigt, dass 15 m lange CMC-Säulen für die angesetzten Bauwerkslasten eine ausreichende Verbesserung des Baugrunds unter dem Grenzkriterium $s \leq 2,5 \text{ cm}$ darstellen. Der Ansatz des Steifemoduls mit $E_s = 45 \text{ MN/m}^2$ liegt auf der sicheren Seite, so dass tatsächlich wesentlich geringere Setzungen zu erwarten sind.

3.3.4 Bohrpfähle

Gemäß den Empfehlungen der EA-Pfähle können für Bohrpfähle im gewachsenen Baugrund die folgenden Pfahlspitzenwiderstände und Pfahlmantelreibungen in Abhängigkeit von den bodenmechanischen Eigenschaften der anstehenden Böden angesetzt werden:

Tabelle 22: Richtwerte für Mantelreibung und Spitzenwiderstand Vorbemessung Bohrpfähle

Schicht	Konsistenz / Lagerungsdichte	Mantelreibung $q_{s,k}$ [kN/m ²]	Spitzenwiderstand $q_{b,k}$ [kN/m ²]
Auelehm	steif bis halbfest	10 ... 15	-
Mudde	steif bis halbfest	2 ... 5	-
Löss / Lösslehm	steif	40 ... 50	300 ... 400
Geschiebemergel	steif	50 ... 65	400 ... 500
GWL 1.8	mitteldicht	80 ... 100	1000 ... 1200

Die angegebenen Werte beruhen auf Erfahrungswerten. Für die Bemessung der Pfähle wird empfohlen, nur die Widerstände aus dem Löss-/Lösslehm, Geschiebemergel und GWL 1.8 zu berücksichtigen.

3.4 Standsicherheitsberechnungen für Geländeeinschnitte und Straßendämme

3.4.1 Vorbemerkung

Als Orientierung für geeignete Böschungswinkel für Einschnittsböschungen in der Kippe und im gewachsenen Baugrund, sowie als Basis für die Festlegung von Eigenschaften des Dammbaumaterials für die geplanten Dammhöhen wurden Standsicherheitsberechnungen durchgeführt.

Die Ergebnisse der Berechnungen können den Anlagen 7.3 – 7.5 entnommen werden.

Für den Damm wurde zwischen rolligem und bindigem Baumaterial unterschieden. Es wurde hierbei davon ausgegangen, dass als bindiges Baumaterial Aushubmassen des Löss / Lösslehms oder des Geschiebemergels verwendet wird. Die Ergebnisse für rolliges Baumaterial sollen Orientierungswerte für Lieferboden für die Dammherstellung geben.

Die Dammböschungen wurden durchgehend geneigt ohne Zwischenberme modelliert.

Die Einschnittsböschungen wurden mit maximalen Böschungshöhen von 6,60 m modelliert. Böschungen für größere Einschnittstiefen wurden durch eine 4,0 m breite Berme bei mittlerer Einschnittstiefe abgestuft.

Die Berechnungsergebnisse sollen eine Orientierung für geeignete Böschungswinkel für die unterschiedlichen Baugrundbedingungen entlang der Trasse darstellen.

3.4.2 Straßendämme

Es wurden Standsicherheitsberechnungen für Straßendämme mit unterschiedlichen Dammbaumaterialien durchgeführt. Die Berechnung erfolgte repräsentativ für den höchsten geplanten Dammquerschnitt.

Das Berechnungsmodell wurde mit den folgenden Randbedingungen gebildet:

- Dammhöhe: 12,5 m, Dammkronenbreite: 12,0 m
- Regelneigungen der Dammböschung nach RAS-Q (1 : 1,5) und flacher (1 : 1,75)
- Böschung durchgängig geneigt ohne Zwischenberme
- Verkehrslasten von 9,0 kN/m² und 2,5 kN/m² gemäß Lastmodell I der DIN EN 1991-2,
- Berechnung für bindiges Damm-Material (z.B. Aushub Löss / Lösslehm) und rolliges Dammstoff (Liefermaterial)
- Variation des Reibungswinkels und der Kohäsion in den einzelnen Berechnungsschritten

Die Berechnung erfolgte mit dem Programm STABILITY der Firma GGU. Als Berechnungsansatz wurde das Verfahren nach BISHOP mit kreiszylindrischen Gleitflächen (DIN 4084) verwendet.

Auf Basis der Standsicherheitsberechnung wurden die erforderlichen Eigenschaften des rolligen bzw. bindigen Dammbaumaterials für die untersuchten Neigungen (1:1,5 und 1:1,75) der Dammböschungen bestimmt. Es ergeben sich die folgenden Eigenschaften für rolliges bzw. bindiges Dammbaumaterial:

Bodenart	Dammhöhe	Neigung	φ'	c'
bindig	12,5 m	1 : 1,50	25	10
		1 : 1,75	21,5	10
	12,5 m	1 : 1,50	25,0	5
		1 : 1,75	33,0	0
rollig			31,5	0

Beispielrechnungen können der Anlage 7.3 und 7.4 entnommen werden.

3.4.3 Geländeeinschnitte

Für die 3 tiefsten Geländeeinschnitte in den Kippenboden, Löss / Lösslehm und die Auffüllung (Deponie) wurden Standsicherheitsberechnungen durchgeführt.

Es wurde die jeweils maximale Böschungshöhe gemäß der Vorplanung [U4] den Berechnungen zugrunde gelegt. Auf der günstigen Seite liegend wurden Wasserstände außerhalb des Böschungsbereiches bei der Berechnung angenommen.

Den Berechnungen lagen die folgenden Annahmen zugrunde:

Kippenboden: maximale Einschnittshöhe 12,5 m
 Böschung mit 2 Einzelböschungen Höhe 6,5 m und 6,0 m
 Zwischenberme bei 6,50 m mit einer Breite von 4,0 m
 Verkehrslast von 5,0 kN/m² gemäß DIN EN 1991-1-1/NA auf der Zwischenberme und der Oberkante der Gesamtböschung zur Berücksichtigung von Pflegearbeiten

Löss / Lösslehm: maximale Einschnittshöhe 6,60 m
 Böschung mit 1 Einzelböschung Höhe 6,60 m
 Verkehrslast von 5,0 kN/m² gemäß DIN EN 1991-1-1/NA an der Oberkante der Gesamtböschung zur Berücksichtigung von Pflegearbeiten

Auffüllung (Deponie): maximale Einschnittshöhe 8,60 m
 Böschung mit 2 Einzelböschungen Höhe 4,6 m und 4,0 m
 Zwischenberme bei 4,60 m mit einer Breite von 4,0 m
 Verkehrslast von 5,0 kN/m² gemäß DIN EN 1991-1-1/NA auf der Zwischenberme und der Oberkante der Gesamtböschung zur Berücksichtigung von Pflegearbeiten

Die Berechnung erfolgte mit dem Programm STABILITY der Firma GGU. Als Berechnungsansatz wurde das Verfahren nach BISHOP mit kreiszylindrischen Gleitflächen (EC 7, für den Grenzzustand GEO-3) verwendet.

Es ergaben sich die folgenden Ausnutzungsgrade μ für die einzelnen untersuchten Abschnitte:

Mischbodenkippe (max. Einschnittshöhe 12,5 m):

Böschungshöhe	Neigung der Einzelböschung	Ausnutzungsgrad μ_E der Einzelböschung	Ausnutzungsgrad μ_G
$6,5 + 6,0 = 12,5 \text{ m}$	1 : 2,00	1,00	0,91
	1 : 2,50	0,84	0,75
	1 : 2,75	0,78	0,74

Eine Beispielrechnung kann der Anlage 7.5 entnommen werden.

gewachsener Baugrund (Löss / Lösslehm) (max. Einschnittshöhe 6,6 m):

Böschungshöhe	Neigung	Ausnutzungsgrad μ_E der Einzelböschung
6,60 m	1 : 1,50	0,99
	1 : 1,75	0,91
	1 : 2,00	0,84

In Anlage 7.6 ist eine Beispielrechnung für Böschungen im gewachsenen Baugrund enthalten.

Auffüllung (Deponie) (max. Einschnittshöhe 8,6 m):

Böschungshöhe	Neigung	Ausnutzungsgrad μ_E der Einzelböschung	Ausnutzungsgrad μ_G
$4,6 + 4,0 = 8,6 \text{ m}$	1 : 2,25	0,85	0,85
	1 : 2,50	0,96	0,82

Die Anlage 7.7 enthält eine Beispielrechnung.

Anhand der Berechnungen können folgende Empfehlungen für Böschungsneigungen der Einschnittsböschungen gegeben werden:

- Böschungen $\leq 6,60 \text{ m}$ in Mischbodenkippen Neigung $\leq 1:2,50$
- Böschungen $\leq 6,60 \text{ m}$ in Löss / Lösslehm Neigung $\leq 1:1,75$
- Böschungen $\leq 4,60 \text{ m}$ in Auffüllung (Deponie) Neigung $\leq 1:2,25$

3.5 Abschätzung zu erwartender Setzungen und Sackungen

3.5.1 Eigensetzungen

Eigensetzungen sind nur für die Mischbodenkippe relevant.

Sie ergeben sich aus dem Zusammendrücken des Kippenbodens unter Eigengewicht. Aus Erfahrungswerten [U16] ist bekannt, dass Eigensetzungen von Kippenböden nach einer Liegezeit von ca. 5,0 Jahren fast vollständig abgeklungen sind. Das ist hier der Fall, da die vorliegende Tagebaukippe eine Liegenzeit von über 50 Jahren besitzt.

Des Weiteren kann aufgrund der landwirtschaftlichen Nutzung der Tagebaufläche von einer Verdichtung des oberflächennahen Kippenbereiches bis ca. 2,0 m infolge von Verkehr und versickerndem Oberflächenwasser ausgegangen werden.

3.5.2 Sackung

Sackungen können nur im Bereich des Kippenbodens auftreten. Für den gewachsenen Baugrund besitzen sie keine Bedeutung.

Durch einen Anstieg des Grundwasserspiegels infolge der Einstellung von Grundwasserabsenkungsmaßnahmen und Flutung benachbarter Tagebauflächen können im Kippenkörper aufgrund des Verlustes der Haftfestigkeit Sackungen auftreten. Die Größe dieser Sackungen hängt von der Kippenzusammensetzung und von der Überlagerungsspannung ab.

Laboruntersuchungen [U16] haben ergeben, dass sich Sackungen nur in Kippenböden einstellen, die eine Überlagerungsspannung kleiner 700 kN/m² aufweisen. Dies entspricht in etwa einer Überdeckungshöhe von ≤ 35 m. Aus den darunter liegenden Schichten sind keine Sackungen zu erwarten.

Die Kippenzusammensetzung wirkt sich wie folgt auf die Sackungen aus [U17]:

- | | |
|---|-----------------------|
| – überwiegend rollige Böden | 3,0 ... 5,0 % Sackung |
| – bindige Böden (Feinkornanteil ≥ 20 %) | 0,5 ... 2,0 % Sackung |

Da es sich bei der anstehenden Mischbodenkippe um einen gemischtkörnigen Boden handelt, kann von einem Sackungsmaß von maximal ca. 2,0 % ausgegangen werden.

Aus dem Vergleich des derzeitigen Grundwasserstandes mit dem Endwasserstand lassen sich keine Veränderungen des Grundwasserspiegels ablesen. Der Wiederanstieg ist somit für das Untersuchungsgebiet prinzipiell abgeschlossen.

In wieweit aus dem Aufschluss des Abbaufeldes Domsen Beeinflussungen zu erwarten sind, ist anhand von hydrologischen Berechnungen zu überprüfen.

Es wird empfohlen, zur Berücksichtigung von Inhomogenitäten im Kippenkörper prinzipiell von einer zusätzlichen Setzung von 5 cm auszugehen.

3.5.3 Lastsetzung

Lastsetzungen treten im Untersuchungsgebiet infolge der Errichtung der Straßendämme und der Brückenbauwerke auf. Die Setzungen unterteilen sich in sofort eintretende Primärsetzungen und Sekundärsetzungen. Die Sekundärsetzungen treten infolge der Konsolidation von Baugrundschichten zeitverzögert ein.

Sekundärsetzungen haben nur eine Bedeutung für die Straßendämme.

Nachfolgend werden Aussagen zu den zu erwartenden Setzungen getroffen.

Brücke

Für die Brücken können nur allgemein die maximal zulässigen Setzungen und Verdrehungen gemäß den allgemein anerkannten technischen Regeln (EC7, Anhang H, DIN V 4019-100) angegeben werden:

$$\text{zul } s_{\max} \leq 2,5 \text{ cm}$$

$$\text{zul } \tan \alpha \leq 0,004$$

Bei einer Tiefgründung der Brücken ist im Allgemeinen nur mit geringen Setzungen zu rechnen, deren Größenordnung von der gewählten Gründungsart abhängt. Sekundärsetzungen haben dann keine Bedeutung.

Straßendämme

Es sind die folgenden Dammhöhen für den Verkehrsdamm im Bereich der Straßentrasse geplant:

- Abschnitt 1 (ehemal. Tagebaue) maximale Dammhöhe 12,50 m
- Abschnitt 2 (Aue) maximale Dammhöhe 6,30 m
- Abschnitt 4 (Löss / Lösslehm) maximale Dammhöhe 2,50 m

Anhand der vorgegebenen Dammhöhen unter Berücksichtigung der erkundeten Baugrundverhältnisse können Beispielberechnungen zur Ermittlung der zu erwartenden Setzungen der Straßendämme durchgeführt werden.

Die Berechnung erfolgt mit dem Programm SETTLE der Firma GGU. Es werden die maßgebenden Dammabschnitte im Bereich der Kippe und der Aue (Abschnitte 1 und 3) untersucht, da in diesen Bereichen die größten Setzungen zu erwarten sind.

Das folgende Modell wird den Berechnungen zugrunde gelegt:

Dammhöhen:	12,5 m Kippe / 6,30 m Aue
Dammlänge:	50,0 m (zur Berücksichtigung der Einflüsse aus der Dammlänge gewählt)
Dammkronenbreite	12,0 m
Böschungsneigung Damm	1 : 1,5 (Regelneigung nach RAS-Q)
Baugrundmodell:	gemäß Abschnitt 2.2.3
Eigenschaften:	gemäß Abschnitt 2.4, unter Berücksichtigung des mit der Tiefe zunehmenden Steifemoduls für die Kippe
Grundwasserstand:	20,0 m u. GOK (aktueller GWSt. nach 4.1 für km 0+400 ... 0+600) 0,5 m u. GOK (aktueller GWSt. nach 4.1 für km 3+600 ... 3+800)

– Straßendamm Bereich ehemalige Tagebaue:

Für den geplanten Straßendamm im Bereich der Kippe (km 0 + 300 ... 0 + 550) wurden die zu erwartenden Setzungen abgeschätzt. Die Berechnung ergab maximale Setzungen von ca. 80,0 cm infolge der Dammauflast.

Bei der Berechnung ergab sich für eine Grenztiefe von 20% eine Beeinflussung der gesamten Kippe durch den Damm. Der Setzungsberechnung wurde der tiefenabhängige Steifemodul gemäß Abschnitt 2.4 zugrunde gelegt. In Anlage 8.1 ist die Beispielberechnung für den Damm dargestellt.

– Straßendamm Bereich Aue:

Für den gewachsenen Baugrund erfolgte ebenfalls eine Berechnung für die geplante Damm schüttung in der Aue. Diese stellt den höchsten Straßendamm im Bereich des gewachsenen Baugrunds dar und berücksichtigt die ungünstigsten Randbedingungen für den Baugrund. Aus der Berechnung für den Dammkörper ergibt sich eine maximale Setzung von 14,0 cm. Die Anlage 8.2 enthält eine Beispielrechnung hierzu.

Bei den ermittelten Setzungen handelt es sich um die Gesamtsetzungen, die durch die Errichtung der Dämme eintreten. Ein Teil der Setzungen (ca. 50%) tritt in den ersten 6 Monaten nach Herstellung der Dämme auf. Die weiteren 50% stellen sich erst verzögert durch Konsolidationprozesse im Untergrund ein.

Für die Mischbodenkippe kann man davon ausgehen, dass 90% der Setzungen nach ca. einem Jahr eingetreten sind.

Für den gewachsenen Baugrund (Auelehm, Mudde, Löss/Lösslehm) im Bereich der Aue kann man von einer fast vollständigen Sättigung bis zur Geländeoberkante ausgehen. Der Konsolidationsprozess dauert unter diesen Randbedingungen ca. 2-3 Monate.

Für die überschlägige Ermittlung der Konsolidationszeiten wurde folgender Ansatz verwendet:

$$t_{98} = d^2 / c_v \quad [\text{U18}]$$

Dabei wurden folgende Konsolidationsbeiwerte c_v für die nicht vorbelasteten Böden (Auelehm, Mudde) berücksichtigt:

Auelehm	$c_v = 5 * 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$
Mudde	$c_v = 1 * 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$

Übergangsbereich ehemaliger Tagebau – gewachsener Baugrund:

Bei km 2 + 850 erfolgt der Übergang zwischen Mischbodenkippe zum gewachsenen Baugrund. Für diesen Bereich wurde eine Beispielberechnung zur Ermittlung der Setzungsunterschiede zwischen gewachsenem Baugrund und Mischbodenkippe durchgeführt.

Der Berechnung lagen die folgenden Annahmen zugrunde:

- Dammschüttung mit einer Höhe $h_D = 3,0 \text{ m}$
- Böschungssystem mit einer Neigung 1:2 und maximaler Böschungshöhe $h_{Bö} = 10,0 \text{ m}$
- Baugrundschichtung gemäß Abschnitt 2.2.3 (Übergang Mischbodenkippe / Löss/Lösslehm)
- Grundwasserstand bei 20,0 m unter GOK gemäß Anlage 4.1
- Baugrundkennwerte gemäß Abschnitt 2.4

Die Beispielberechnung ergab Setzungen von 3,0 ... 5,0 cm infolge des Straßendamms. Zwischen dem gewachsenen Baugrund und der Mischbodenkippe treten aufgrund der langsam zunehmenden Dicke der Kippe im Übergangsbereich keine Setzungsunterschiede auf. Die Setzungen fallen im Bereich der Kippe im Vergleich zum gewachsenen Baugrund geringfügig größer aus. Die Ergebnisse können der Beispielberechnung in Anlage 8.3 entnommen werden.

3.6 Hinweise zur Planung und Bauausführung

3.6.1 Erdbautechnische Hinweise

Bei der Bauausführung sind die einschlägigen Vorschriften zu beachten, insbesondere die DIN 18 300 und DIN 4124.

Den erkundeten Bodenschichten können auf Basis der Untersuchungsergebnisse und Erfahrungen aus vergleichbaren Baumaßnahmen folgende Eigenschaften zugewiesen werden:

Tabelle 23: Einordnung Bodengruppen und -klassen

Baugrundschicht	Kurzzeichen nach DIN 18 196	Frostempfindlichkeit	Erdarbeiten DIN 18 300	Bohrarbeiten DIN 18 301	Rammbarkeit
1a) Mischbodenkippe	SU/ST, GU*/GT*, SU*/ST*, UL/TL	F2, F3	3, 4 ¹⁾	BN 1, BN 2, BB 2 ... BB 3	mittel bis schwer
1b) Auffüllung	UL/TL, SU*/ST*, SU/ST, SW	F2, F3 (untergeordnet F1)	3, 4 ¹⁾	BN 1, BN 2, BB 2 ... BB 3	mittel
2) Auelehm	UL/TL	F3	4 ¹⁾	BB 2 ... BB 3	mittel bis schwer
3) Mudde	OU/OT, F	F2, F3	2, 4, 5	BB 2 ... BB 3, BO 1	mittel
4) Löss / Lösslehm	UL/TL, UM	F3	4 ¹⁾	BB 2 ... BB 3	mittel bis schwer
5) Geschiebemergel	UL/TL	F3	4 ¹⁾	BB 2 ... BB 3	mittel bis schwer
6) GWL 1.8	SE, SW	F1	3	BN1, BS1	schwer

¹⁾ bei Wasserzutritt und gleichzeitiger mechanischer Beanspruchung kann Bodenklasse 2 entstehen

Der Kippenboden, die Auffüllung, der Löss / Lösslehm, der Geschiebemergel und der Auelehm sind sehr wasserempfindlich. Aushubebenen und Planum sind deshalb vor Wasser zu schützen und entsprechend zu neigen. Oberflächenwasser ist sorgfältig abzuleiten.

Für Arbeits- und Fahrebenen wird eine Tragschicht (25 cm Kies) empfohlen.

Baugruben und Leitungsgräben können ohne Verbau bei erdfeuchter Kippe in Anlehnung an DIN 4124 ohne Standsicherheitsnachweis mit folgenden Böschungswinkeln β hergestellt werden:

- bis 1,25 m: senkrecht geschachtet
- bis 1,75 m: Kopfböschung 45° bis 0,50 m, darunter 90°
- bis 3,00 m: mit 45°

Im gewachsenen Baugrund und Auffüllung sind nach DIN 4124 Baugruben und Gräben oberhalb des Grundwassers ohne Verbau wie folgt herstellbar:

- bis 1,25 m: in allen Böden senkrecht geschachtet
- bis 3,00 m: in Auffüllung, Mudde, GWL 1.8, Löss / Lösslehm, Geschiebemergel, Auelehm (weicher Konsistenz) Böschungswinkel $\beta = 45^\circ$

- im Geschiebemergel, Löss / Lösslehm, Auelehm Böschungswinkel $\beta = 60^\circ$
(mindestens steifer Konsistenz)

Tritt Schichtenwasser aus oder liegen andere ungünstige Randbedingungen vor, sind die Baugrubenwände zu verbauen oder die Böschungen weiter abzuflachen.

Es wird empfohlen, Baugrubensohlen durch einen Sachverständigen für Geotechnik abnehmen zu lassen und den Sachverständigen bei der Planung von Bodenverbesserungsmaßnahmen mit einzubeziehen.

3.6.2 Wiederverwendbarkeit von Aushubmassen

Im Rahmen der Erdarbeiten für die geplante Verbindungsstraße fallen Aushubmassen an Mischbodenkippe, Löss / Lösslehm, Geschiebemergel und Auffüllung (Deponie) an.

Der Löss / Lösslehm und der Geschiebemergel können beide für die Herstellung der Straßen-dämme wieder verwendet werden. In Abhängigkeit vom vorhandenen Wassergehalt und der Konsistenz der Aushubstoffe kann für den Wiedereinbau eine Wasser- oder eine Bindemittel-zugabe erforderlich werden.

Gemäß den im Abschnitt 2.4 dargestellten Ergebnissen der abfalltechnischen Bewertung nach Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) für Boden kann Löss / Lösslehm der Zuordnungs-klasse Z 1.1 zugeordnet werden. Somit können Aushubmassen auch unter hydrologisch un-günstigen Randbedingungen in technischen Bauwerken wieder verwendet werden, wenn zwi-schen Unterkante der eingebauten Schicht und dem Grundwasser ein Abstand von mehr als 1,0 m gegeben. Da diese Forderung im Untersuchungsgebiet erfüllt ist, kann Aushub des Löss / Lösslehm im gesamten Streckenbereich wieder eingebaut werden.

Für die untersuchten Bodenproben der Mischbodenkippe ergab sich nach der Richtlinie der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) für Boden eine Einstufung in die Zuordnungsklasse Z 2 oder in die Deponieklassse 0. Dies ist insbesondere auf den erhöhten Sulfatgehalt zurückzu-führen, der für Kippenboden typisch ist.

Bei einer Einstufung in die Zuordnungsklasse Z 2 ist ein Wiedereinbau der Aushubmassen nur unter günstigen hydrologischen Randbedingungen möglich. Diese liegen vor, wenn eine sehr schwach bis schwach durchlässige Deckschicht von > 2,0 m über der grundwasserführenden Schicht vorhanden ist. Diese Bedingung ist im Untersuchungsgebiet im Bereich der Kippe nur teilweise und im Bereich des gewachsenen Baugrunds immer gegeben. Hier ist prinzipiell ein Wiedereinbau möglich.

Bodenaushub mit einer Zuordnung in die Deponieklassse 0 und höher dürfen nicht wieder ein-gebaut werden und sind deshalb zu entsorgen.

An einer Mischprobe aus Bodenproben des Kippenbodens wurde ein Proctorversuch durchgeführt, um die Randbedingungen für einen Wiedereinbau mit dem erdbautechnisch erforderlichen Verdichtungsgrad (Wassergehalt, erreichbare Dichte) abschätzen zu können. Die Ergebnisse können der Anlage 5.1 und 5.18 entnommen werden.

Die Wiederverwendbarkeit der Aushubmassen aus dem Bereich der Deponie wird im 2. Teil des Gutachtens auf der Basis von weiterführenden chemischen Laboruntersuchungen bewertet.

Die geplante Straße bindet in die Landesstraßen L191 und L189 ein und kreuzt im Verlauf mehrere Kreisstraßen. Deshalb wurden Straßenbaustoffe (Asphalt, Material Tragschicht) abfalltechnisch hinsichtlich ihrer Wiederverwertbarkeit untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass der Asphalt aus allen untersuchten Bereichen im Heißmischverfahren wieder verwendet werden kann. Somit ist eine Verwertung z.B. für die Deckschicht der neuen Straße uneingeschränkt möglich.

Die anfallenden Aushubmassen der Tragschicht sind nach den Richtlinien der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) für Bauschutt in die Zuordnungsklasse Z 0 bzw. Z 1.1 einzustufen. Es ist somit eine Wiederverwendung in technischen Bauwerken z.B. Tragschicht der neuen Straße / Straßendamm möglich, da zwischen Unterkante eingebauter Schicht und dem höchsten Grundwasserstand ein Abstand von >1,0 m immer eingehalten ist.

3.6.3 Dicke frostsicherer Straßenoberbau nach RStO 12

Die Straße ist nach der RStO 12 aufgrund ihrer Funktion und Verkehrsbelastung der Belastungsklasse 3,2 zuzuordnen.

Nach RStO 12, Tabelle 6 und 7 ergeben sich für die Belastungsklasse 3,2 unter Berücksichtigung der Frostempfindlichkeit des in Höhe des Planums anstehenden Bodens sowie weiterer Randbedingungen die folgenden erforderlichen Einbauhöhen für einen frostsicheren Straßenaufbau:

Ausgangswert (gemäß Tabelle 6 für F 3-Boden):	60 cm
1) Frosteinwirkungszone II:	+ 5 cm
2) keine besonderen Klimaeinflüsse:	± 0 cm
3) Wasserverhältnisse, ungünstig (Schichtenwasser):	+ 5 cm
4.1) Verlauf der Trasse in Dammlage (Dammhöhe > 2,0 m):	- 5 cm
4.2) Verlauf der Trasse geländegleich oder auf Damm < 2,0 m:	± 0 cm
4.3) Verlauf der Trasse im Einschnitt:	+ 5 cm
5) Entwässerung der Fahrbahn über Gräben:	± 0 cm

resultierende Einbauhöhe (in Abhängigkeit vom Verlauf): 65 cm 70 cm 75 cm

3.6.4 Versickerungseignung Baugrund

Gemäß dem DWA-Arbeitsblatt A 138 sind für die Versickerung Böden mit Durchlässigkeitsbeiwerten (k -Werten) zwischen $1 \cdot 10^{-3}$ und $1 \cdot 10^{-6}$ m/s geeignet. Diese Bedingung wird im Untersuchungsgebiet nur durch die Sande des GWL 1.8 erfüllt. Die Mischbodenkippe und die örtlich anstehende Auffüllung erfüllen diese Bedingung teilweise auch.

Bei der Auffüllung und der Mischbodenkippe handelt es sich bei den geeigneten Abschnitten nur um örtlich vorhandene Bereiche geringer Mächtigkeit und Verbreitung. Diese sind aufgrund des geringen Speichervolumens nicht für eine Versickerung geeignet.

Ein Nachweis der ausreichenden Mächtigkeit und Verbreitung liegt auch nicht für die Sande des GWL 1.8 vor, da diese nur in den Aufschlüssen 1BG 059 und 1BG 060 bis zur Aufschluss-tiefe mit einer Dicke von 1,0 ... 1,4 m aufgeschlossen wurden. Außerdem ist zwischen der Unterkante der Versickerungsanlage und dem mittleren höchsten Grundwasserstand ein Abstand $\geq 1,00$ m als Speichervolumen einzuhalten. Gemäß den Berechnungen des Ingenieurbüros IBGW kann es im Bereich der Aue zu flurnahen Grundwasserständen kommen, so dass die Sande des GWL 1.8 voll gefüllt sind. Somit sind die Sande des GWL 1.8 ebenfalls nicht für eine Versickerung von Oberflächenwasser geeignet.

3.7 Monitoring

Bauwerke die auf Kippenflächen errichtet werden, sind in die Geotechnische Kategorie 3 einzustufen. Diese Kategorie erfasst komplizierte Baugrundverhältnisse unter denen eine Verifizierung der Modellannahmen nach dem Stand der Technik üblich ist.

Brückenbauwerke (Tiefgründung):

Aufgrund der Tiefgründung ist an den Bauwerken selber nur mit geringen Setzungen zu rechnen. Es wird trotzdem die Anbringung von Messmarken und eine Beobachtung der Setzungen am Bauwerk bis zum Abklingen der Verformungen empfohlen.

Eine Überwachung der Setzung der Brückenwiderlager des Bauwerkes 1 ist aufgrund der anschließenden 4,5 ... 5,0 m hohen Straßendämme erforderlich, um mögliche Schiefstellungen des Widerlagers infolge der Dammauflast festzustellen.

Straßendämme:

An Straßendämmen auf Kippenboden ist eine Überwachung der Setzungen unerlässlich, um den Setzungsvorgang und die eintretenden Setzungen zu überwachen. Eine Kontrolle der Verformungen ist insbesondere aufgrund großer Dammhöhen bis 12,5 m und der noch nach einem Jahr Liegezeit zu erwartenden Setzungen sehr wichtig. Anhand der Setzungsmessungen kann der Bauablauf abgestimmt und notwendige Überhöhungen bzw. Nachbesserungen für die Gradienste abgeleitet werden.

Auftretende Setzungen sind durch Messungen auf der Dammkrone, im Bereich des Dammfußes und in einem Abstand von 2-3 m zum Dammfuß zu überwachen. Im Rahmen der Setzungsmessungen sind der zeitliche Verlauf und die Größenordnung der sich entwickelnden Setzungen bis zu ihrem vollständigen Abklingen genau zu dokumentieren.

3.8 Schlußbemerkung

Die in diesem Gutachten getroffenen Aussagen beruhen auf punktuellen Baugrundaufschlüssen. Sollten bei der Bauausführung den Unterlagen widersprechende geotechnische Baugrundverhältnisse angetroffen bzw. die Bauaufgabe wesentlich verändert werden, so ist der Bearbeiter zu benachrichtigen.

Leipzig, 03.11.2014

Dr.-Ing. G. Müller
Geschäftsführer

Dipl.-Ing. C. Ehlert
Bearbeiterin