



Arbeitsgemeinschaft IKP / GGL
INSTITUT DR. KÖRNER & PARTNER
Ingenieurgesellschaft mbH Leipzig
Geophysik und Geotechnik Leipzig GmbH



Geotechnischer Bericht

Elbe – Z 10.4

**Deich Torgau Elbbrücke bis Siel Zwethau I
Deich rechts, km 2+600 bis 3+760**

Baugrunduntersuchungen und Tragsicherheitsnachweise

Dieser Prüfbericht umfasst 65 Seiten, 14 Anlagen, einen Bildteil und ist nur in ungekürzter Fassung gültig.

Geschäftsführer:
Dr.-Ing. Manfred Körner
Ing. grad. Frank George
Registergericht Leipzig HRB 4613

Telefon: (034293) 5270
Telefax: (034293) 52730
E-Mail: ikpleipzig@aol.com
Internet: www.ikpleipzig.de

Bankverbindung:
Stadt- und Kreissparkasse Leipzig
Konto-Nr.: 1 151 630 876
BLZ: 860 555 92



1998 zertifiziert nach
DIN ISO 9001



Prüfbericht Nr.: 068_GU 001 vom 02.03.2012

Gegenstand: Baugrunduntersuchungen und Tragsicherheitsnachweise

Bauvorhaben: Elbe – Z 10.4
Deich Torgau Elbbrücke bis Siel Zwethau I
Deich rechts, km 2+600 bis 3+760

Auftraggeber: Landestalsperrenverwaltung des Freistaates Sachsen
Betrieb Elbaue/Mulde/Untere Weiße Elster
Gartenstraße 34
04571 Rötha

Angebot Nr.: 631/3/2011 vom 05.08.2011
Auftrag vom 11.08.2011
Auftrags-Nr.: FK 1 – 801000-1.265.1261.17-422104
Vergabe-Nr.: 530/2011/60
Kunden-Nr.: 13347
Aktenzeichen: Br/Hs

Bearbeiter: Dipl. Ing. (FH) E. Brode (ikp)
Dipl.-Geologe C. Hocks (ikp)
Sachverständiger für Baugrund, Dipl.-Geophys. T. Hohlfeld
Dipl.-Geologe S. Rößler
Vermessungstechniker C. Brauns

Ing. grad. George
Geschäftsführer

Dipl.-Geophys. Hohlfeld
Geschäftsführer



Inhaltsverzeichnis

1	Situation und Aufgabenstellung
2	Allgemeine Angaben zur vorliegenden Situation
2.1	Topographische und örtliche Gegebenheiten
2.2	Geologische und hydrologische Situation
3	Durchführung der Messungen, Aufschlüsse und Laborversuche
3.1	2D-geoelektrische Widerstandsmessung
3.2	Geotechnische Untersuchungen
3.2.1	Rammkernsondierungen
3.2.2	Rammsondierungen mit der schweren Rammsonde (DPH)
3.3	Laboruntersuchungen
3.3.1	Bodenmechanische Laboruntersuchungen
3.3.2	Geochemische Laboruntersuchungen
4	Ergebnisse
4.1	Vermessungsergebnisse
4.2	Laborergebnisse
4.2.1	Ergebnisse der petrophysikalischen Laboruntersuchungen
4.2.2	Ergebnisse der chemischen Laboruntersuchungen
4.2.2.1	Ergebnisse der chemischen Bodenuntersuchungen nach LAGA
4.3	Baugrundverhältnisse
4.3.1	Vorbemerkungen und Beschreibung der geoelektrischen Messergebnisse
4.3.2	Baugrundsichtung
4.4	Grundwasserverhältnisse
4.5	Bodenkenngrößen
5	Aussagen zur Standsicherheit des Deiches
5.1	Bemessungshochwasserstand
5.2	Baugrundsituation
5.3	Ausbildung der Deichanlage
6	Tragsicherheitsnachweise – Deich im Ist-Zustand
6.1	Allgemeine Tragsicherheit nach Teilsicherheitskonzept
6.2	Lokale Tragsicherheit im Bereich der landseitigen Böschung
6.3	Lokale Tragsicherheit am Böschungsfuß (Spreizsicherheit)
6.4	Auftriebssicherheit und hydraulischer Grundbruch
6.5	Sicherheit gegenüber Materialtransport
7	Tragsicherheitsnachweise – Deich im Plan-Zustand
7.1	Allgemeine Tragsicherheit nach Teilsicherheitskonzept
7.2	Lokale Tragsicherheit im Bereich der landseitigen Böschung
7.3	Lokale Tragsicherheit am Böschungsfuß (Spreizsicherheit)
7.4	Auftriebssicherheit und hydraulischer Grundbruch
7.5	Sicherheit gegenüber Materialtransport
8	Zusammenfassende Auswertung der Untersuchungsergebnisse und bautechnische Empfehlungen
9	Literaturverzeichnis
10	Anlagenverzeichnis

1 Situation und Aufgabenstellung

Der zu untersuchende Deichabschnitt nordöstlich der Elbe bei Torgau dient im Falle eines Hochwasserereignisses dem Schutz der östlich davon gelegenen Ortschaften und Nutzflächen. Die Landestalsperrenverwaltung des Freistaates Sachsen (LTV), vertreten durch den Betrieb Elbaue/Mulde/Untere Weiße Elster (Betrieb E/M/UWE), beabsichtigt die Instandsetzung des Elbdeiches zwischen Torgau Elbbrücke und Siel Zwethau I. Derzeit werden für den zu untersuchenden Deichabschnitt (Z 10.4, Deich rechts, D-km 2+600 bis 3+760) Grundlagenermittlung und Vorplanung (LP 1+2 § 42 HOAI) durchgeführt.

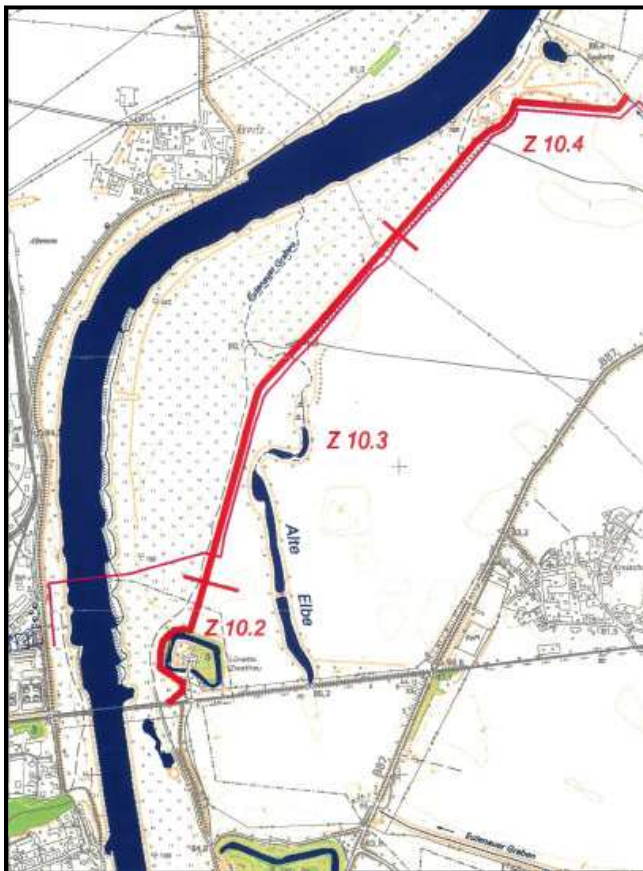


Abbildung 1: Lageplan der Untersuchungsabschnitte, entnommen aus I3I

Für Teilabschnitte des vorhandenen Altdeiches zwischen der Eisenbahnbrücke in Torgau und dem Siel Zwethau I wurden im Jahre 2003 Baugrunduntersuchungen im Zuge einer Schwachstellenanalyse durchgeführt I6I. Diese Untersuchungen entsprechen allerdings nur dem Stand einer Baugrundvoruntersuchung und reichen als Planungsgrundlage für die weiteren Planungsphasen nicht aus.

Die derzeitige Vorzugsvariante für die Instandsetzung des Deiches sieht für den betrachteten Bereich eine Verschiebung der Deichachse in Richtung Wasserseite (Verschiebung um etwa 10 m) vor I7I.



Die FUGRO Consult GmbH führt im Auftrag der LTV Sachsen die Planungsleistungen durch. Auf der Basis des Angebotes 631/3/2011 vom 05.08.2011 I1I wurde die Arbeitsgemeinschaft bestehend aus dem Institut Dr. Körner & Partner Ingenieurgesellschaft mbH Leipzig und der Geophysik und Geotechnik Leipzig GmbH (ARGE IKP/GGL) von der LTV Sachsen am 11.08.2011 I2I beauftragt, für den oben genannten Deichabschnitt Baugrunduntersuchungen durchzuführen. Unter Anwendung geotechnischer und geophysikalischer Verfahren soll der Aufbau des vorhandenen Deichkörpers erkundet werden. In diesem Zusammenhang sollen auch Untersuchungen an repräsentativem Probenmaterial durchgeführt werden, zum Zwecke der Beurteilung der Umweltverträglichkeit bzw. Wiederverwendbarkeit der bei der Baumaßnahme anfallenden Ausbaustoffe. Im Zuge der Auswertung der Sondierungsergebnisse sind für die entsprechenden Deichabschnitte Tragsicherheitsnachweise für den Ist-Zustand zu erbringen. Auf der Grundlage der vorliegenden Ergebnisse der Ist-Zustandsberechnungen wird von dem Planer eine Anpassung des Regelprofils durchgeführt I8I. Für das angepasste Regelprofil werden als Abschluss der Untersuchungen Berechnungen an ausgewählten Deichquerschnitten durchgeführt.

Der nachfolgende geotechnische Bericht inklusive der Tragsicherheitsberechnungen basiert auf den Prüfergebnissen der entsprechend Auftrag durchgeführten geotechnischen und geophysikalischen Felduntersuchungen sowie der im Anschluss im Erdstofflabor des IKP durchgeführten Laboruntersuchungen.

2 Allgemeine Angaben zur vorliegenden Situation

2.1 Topographische und örtliche Gegebenheiten

Die Stadt Torgau liegt im Norden des Freistaates Sachsen am westlichen Ufer der Elbe auf einer Höhe von etwa 85 m über dem Meeresspiegel I13I. Der untersuchte Deichabschnitt (Z 10.4) befindet sich nordöstlich der Stadt Torgau auf dem östlichen Elbufer unweit der Gemeinde Zwethau. Der Deichkörper im Bereich des Untersuchungsabschnittes ist als Homogendeich ausgeführt und erstreckt sich über eine Länge von 1160 m.



Die Deichbreite variiert dabei wie folgt:

Deichquerschnitt DQ 13: D-km 2+600 – 2+740	Breite 31,31 m
Deichquerschnitt DQ 14: D-km 2+740 – 2+820	Breite 28,61 m
Deichquerschnitt DQ 15: D-km 2+820 – 2+930	Breite 28,61 m
Deichquerschnitt DQ 16: D-km 2+930 – 3+050	Breite 31,57 m
Deichquerschnitt DQ 17: D-km 3+050 – 3+245	Breite 33,37 m
Deichquerschnitt DQ 18: D-km 3+245 – 3+370	Breite 30,48 m
Deichquerschnitt DQ 19: D-km 3+370 – 3+520	Breite 25,91 m
Deichquerschnitt DQ 20: D-km 3+520 – 3+700	Breite 30,05 m
Deichquerschnitt DQ 21: D-km 3+700 – 3+760	Breite 37,79 m

Die Deichquerschnitte wurden durch die GGL vermessen.

Der Abstand zwischen dem Flussbett der Elbe und dem Deichkörper beträgt ca. 125 m im mittleren Bereich des Untersuchungsabschnittes und ca. 410 m im Bereich des Siels Zwethau I. Die Geländehöhe im betrachteten Bereich des Deichabschnittes Z 10.4 kann mit 79 – 81 m über NHN angegeben werden.

Landseitig verläuft parallel zum Deich eine Abwasserdruckleitung (DN 250 HD-PE). Zudem kreuzen den Deich zwischen der Station 2+650 und 2+700 zwei Gasleitungen (DN 800 und DN 900, einschl. der Steuerkabel) sowie im Bereich der Deichüberfahrt bei Station 3+225 ein Fernmeldekabel. Ebenfalls landseitig befinden sich abschnittsweise Bäume am Deichfuß.

Im Nachgang des Hochwasserereignisses im Jahr 2006 wurde zum Schutz bzw. zur Sicherung des Deiches im Bereich des landseitigen Deichfußes direkt hinter dem Deichdamm ein 0,2 - 1,6 m dicker Auflastfilter auf den anstehenden Boden aufgeschüttet. Der Auflastfilter dient dabei gleichzeitig als Deichverteidigungsweg.



2.2 Geologische und hydrologische Situation

Die Landschaft um Torgau ist durch eiszeitliche Bildungen der Saale- und Weichseleiszeit geprägt. Mehrmals drangen Inlandgletscher in den Raum Nordsachsen vor und ließen dabei mächtige Schotterdecken zurück. Diese wurden während der Interglazialzeiten von Schmelzwässern teilweise wieder erodiert, in den Kaltphasen jedoch wieder durch lockeres Gesteinsmaterial aus den Mittelgebirgen aufgeschottert. In die Terrassenschotter schnitten sich während der subborealen Regression die Flüsse, hier die Elbe, geringfügig ein und schufen die heutigen Auen, in denen der Auelehm die jüngste Ablagerung bildet.

Somit dominieren entlang der Elbe die holozänen Schwemmlandböden. Auch im Bereich des untersuchten Deichabschnittes werden die anstehenden Böden oberflächlich durch tonige und lehmige Bildungen des Holozäns gebildet. Im Speziellen stehen an der Oberfläche mehrere Dezimeter mächtige humose Auelehme an, die im Untergrund von nur wenigen Dezimeter mächtigen Sanden unterlagert werden. Im Vor- und Hinterland des Deiches beträgt die Auelehmmächtigkeit max. 1,5 m. Wasserseitig ist eine Verringerung der Auelehmdecke unter 1 m zu verzeichnen. Vornehmlich in den Altwasserläufen und Hohlformen lagerten sich nach der Eindeichung der Elbe Torf und Abschlamm Massen ab, die z.T. von Anmoor und Flachmoortorf überlagert werden.

Im Bereich des Siel Zwethau I stehen oberflächlich pleistozäne Bildungen der Weichseleiszeit, schwach humoser Sand bis kiesiger Sand, an. In diesem Bereich sind Wechsellagerungen mit holozänen Abschlamm Massen möglich I9I10I.

Generell werden die holozänen Bodenbildungen um Torgau, so auch im Untersuchungsgebiet östlich der Elbe, von pleistozänen Sedimenten der Weichseleiszeit unterlagert. Dabei handelt es sich um die schon zuvor beschriebenen, schwach humosen Sande bis kiesigen Sande, welche im Bereich des Siel Zwethau I oberflächlich anstehen. Im tieferen Untergrund dominieren mächtige, sedimentäre Ablagerungen des Miozäns (Tone und Sande).



Im Untersuchungsgebiet steht ein geschlossener Grundwasserhorizont an. Nach Auswertung der Hydrogeologischen Karte Torgau 1108-1/2 I12I ist im Bereich des untersuchten Deichabschnittes Z 10.4 östlich der Elbe bei Torgau mit einem Grundwasseranschnitt ab etwa 77 m NN zurechnen. Der Flurabstand zwischen Oberkante Gelände und dem obersten wasserführenden Grundwasserleiter beträgt somit im Durchschnitt etwa 3,0 m.

Die gut durchlässigen Sande und Kiese der pleistozänen Flussterrasse werden weitflächig vom Grundwasser durchströmt. Die Grundwasserströmungsrichtung in direkter Elbnähe ist dabei weitestgehend parallel zum stromabwärtigen Flussverlauf. Aufgrund der hydraulischen Verbindung zwischen Fluss und Grundwasser sind auch die Grundwasserhöhen im Allgemeinen an die Wasserstandshöhen der Elbe gebunden.

3 Durchführung der Messungen, Aufschlüsse und Laborversuche

3.1 2D-geoelektrische Widerstandsmessung

Da die Erkundung sowohl in horizontaler als auch in vertikaler Richtung erfolgen soll, wurde das Verfahren der Sondierungskartierung nach WENNER mit einem Elektrodenabstand von 2 m eingesetzt. Bei diesem Verfahren werden zwei Kabelbäume mit Elektroden im genannten Abstand auf den Profilen ausgelegt. Danach startet ein Messzyklus mit einer Multi-Elektroden-Apparatur (hier: Geoelektrisches Multi-Elektroden-System GMS 150, Fa. GeoSys Leipzig), bei dem beginnend mit dem Abstand $a = 2$ m bis zum Abstand $a = 14$ m / 24 m an jedem Punkt entlang des Profils die Widerstände gemessen werden (vgl. Abbildung 2). Mit jeder Vergrößerung des Abstandes erhöht sich die Eindringtiefe der geoelektrischen Messungen (Größenordnung: Eindringtiefe $\approx a/2$), so dass im Resultat auf dem vermessenen Profil eine detaillierte Erfassung der scheinbaren spezifischen Widerstände möglich ist und eine Erkundungstiefe von ca. 7 m für die beiden Deichfüße sowie die Profile im Deichvorland und ca. 11 m - 12 m für die Deichkrone erreicht werden kann. Die gesamte Profillänge wird durch das wiederholte Auslegen eines Kabelbaumes erreicht.

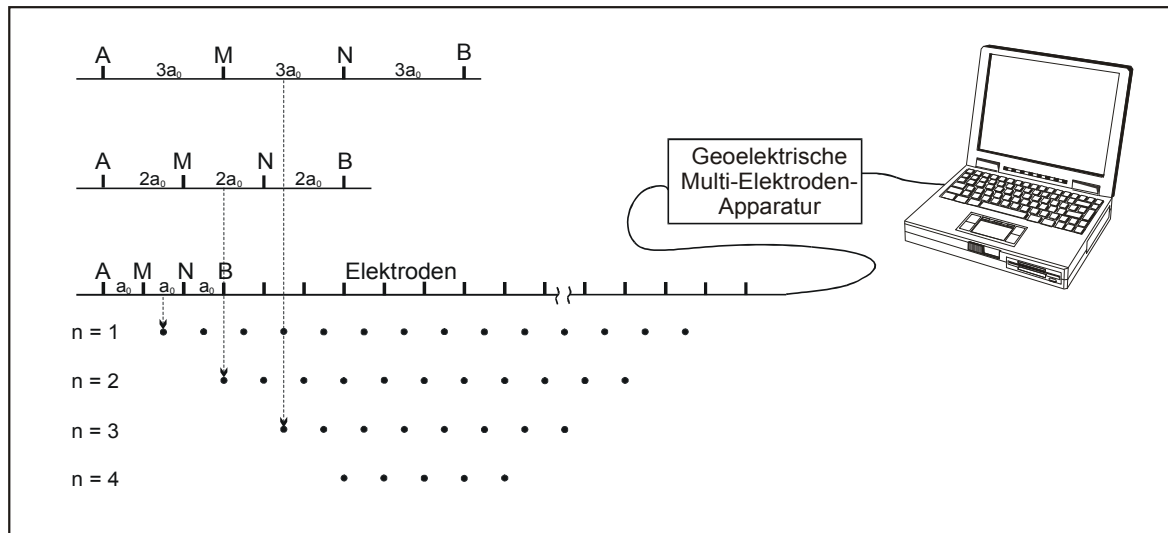


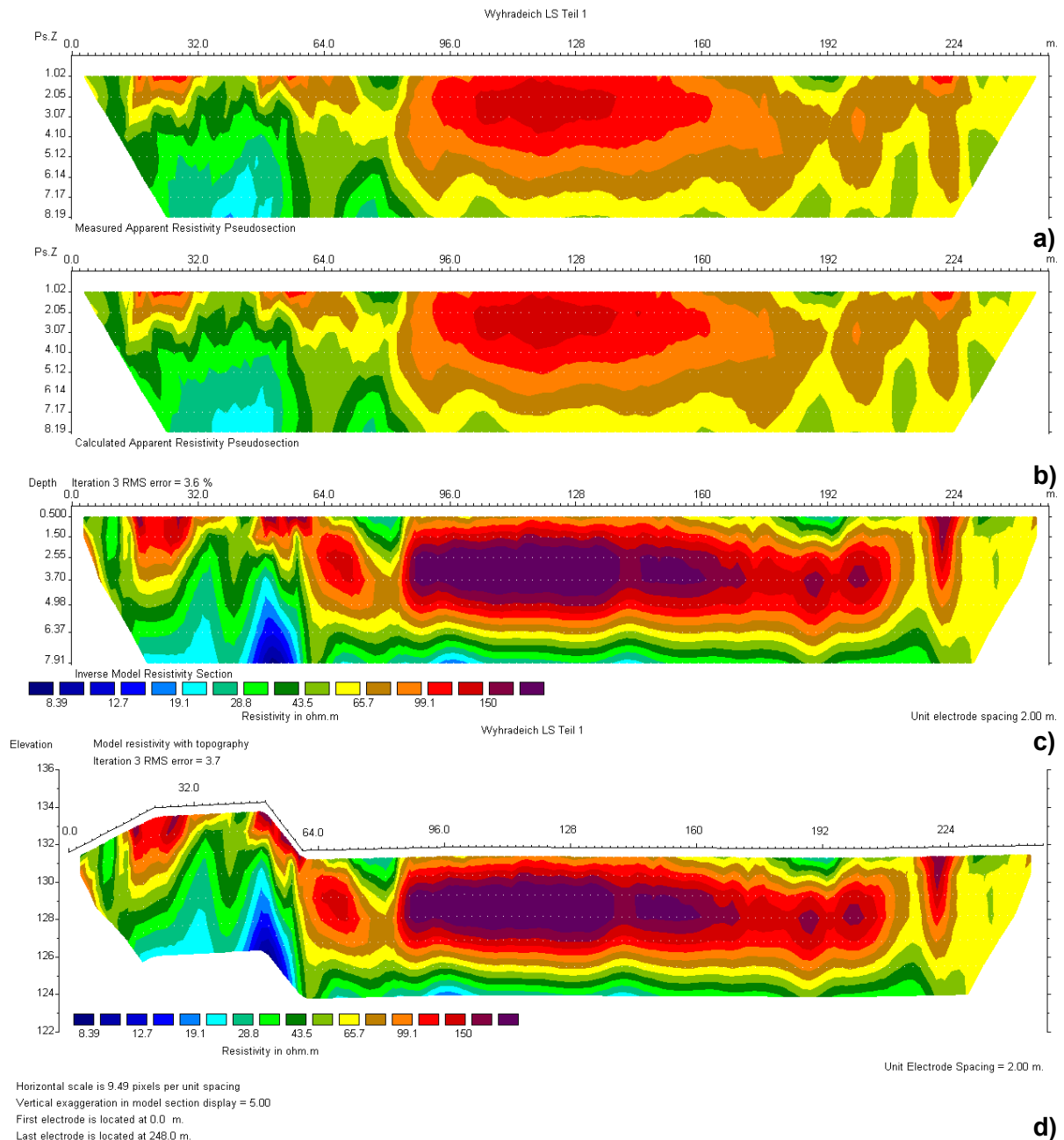
Abbildung 2: Prinzipskizze zur Messung einer Sondierungskartierung

Messgröße: scheinbarer elektrischer Widerstand ρ_s [$\Omega \cdot m$]
 Messgröße: Multi-Elektroden-System GMS 150
 Fa. GEOSYS Leipzig
 Messanordnung: Messpunktabstand 2m.

Es wurden fünf Profile geoelektrisch vermessen:

Deichvorland (75 m vom wasserseitigen Deichfuß)	Länge 1160 m
Deichvorland (30 m vom wasserseitigen Deichfuß)	Länge 1160 m
wasserseitiger Deichfuß	Länge 1160 m
Deichkrone	Länge 1160 m
landseitiger Deichfuß (Fuß des Auflastfilters)	Länge 1160 m

Die 2-D-Modellierung erfolgt mit dem Programm RES2DINV von M. H. LOKE. Im Ergebnis werden Profilschnitte erzeugt, welche die berechnete Verteilung der spezifischen elektrischen Widerstände als Vertikalschnitt darstellen und Rückschlüsse auf vorhandene Materialgrenzen zulassen.



Teil a) der Abbildung ist ein Schnittbild der gemessenen scheinbaren spezifischen Widerstände (auch: Pseudosektion).

Teil b) zeigt die Pseudosektion, die rückgerechnet aus dem Widerstandsmodell der 2-D-Modellierung hervorgeht.

Teil c) ist das durch 2-D-Modellierung (mittels finiter Elemente/endlicher Differenzen) ermittelte Widerstandsmodell. In der y-Achse sind die echten Tiefenwerte dargestellt.

Teil d) bildet das Widerstandsmodell unter Berücksichtigung der topografischen Verhältnisse ab.



Die Lage der Profile ist aus der Anlage 2 zu entnehmen. Die Profile wurden auf die Stationierung des Elbedeiches bezogen und projiziert. Die Ergebnisse der Widerstandsmessungen in Form von Widerstandstiefenschnitten enthalten die Anlagen 3.1 und 3.2.

3.2 Geotechnische Untersuchungen

3.2.1 Rammkernsondierungen (RKS)

Im Rahmen der laut Auftrag I2I durchgeführten geotechnischen Untersuchungen wurden im Bereich des Deichabschnittes Z 10.4 insgesamt 65 Kleinbohrungen (RKS = Rammkernsondierungen) nach DIN EN ISO 22475-1 I24I bis max. 8 m Tiefe abgeteuft und je angetroffener Schicht bzw. je Bohrmeter beprobt. Die Anordnung der Aufschlusspunkte erfolgte gemäß den Maßgaben des DWA-Merkblattes 507 I43I. Vereinzelt musste die Lage der Aufschlusspunkte den örtlichen Gegebenheiten angepasst werden. Daneben wurden insbesondere die im Zuge der geophysikalischen Untersuchungen ausgewiesenen Schwachstellen sondiert.

Die einzelnen Bohrpunkte wurden nach folgendem Prinzip angeordnet:

- Deichvorland (75 m v. wasserseitigen Deichfuß)
- Deichvorland (30 m v. wasserseitigen Deichfuß)
- wasserseitiger Deichfuß
- wasserseitige Deichböschung
- Deichkrone
- landseitiger Deichfuß lokal
- Deichhinterland (75 m v. landseitigen Deichfuß)

Dabei wurden die Aufschlüsse auf insgesamt 9 Deichquerschnitte verteilt, wobei der Abstand der einzelnen Deichquerschnitte zwischen 60 und 195 m und im Durchschnitt bei etwa 125 m liegt. Zwischen den Deichquerschnitten befinden sich insgesamt 2 Einzelaufschlüsse. Die Zuordnung der Aufschlusspunkte zu den jeweiligen Deichquer-



schnitten sowie eine detaillierte Übersicht über die Stationierung der einzelnen Aufschlusspunkte kann der Anlage 2.1 entnommen werden.

Die Nummerierung der Rammkernsondierungen beginnt in der Anlage 2.1 mit Nr. 89/11. Dies ergibt sich aus der fortlaufenden Erkundung der Deichabschnitte 10.2 bis 10.4 im Zuge der Sondierungsmaßnahmen sowie aufgrund der gemeinsamen Planfeststellung.

Die Lage der Rammkernsondierungen ist zusätzlich im Lageplan (Anlage 2) eingezeichnet. Die Schichtenverzeichnisse und Profildarstellungen der Rammkernsondierungen können den Anlagen 6.1 und 6.2 des Gutachtens entnommen werden.

3.2.2 Rammsondierungen mit der schweren Rammsonde (DPH)

Parallel zu ausgesuchten RKS wurden Rammsondierungen mit der schweren Rammsonde (DPH) nach DIN EN ISO 22476-2: 2005 I25I bis max. 8 m unter GOK durchgeführt. Die Lage der Rammsondierungen können dem Lageplan (Anlage 2) entnommen werden. Die Diagramme der Rammsondierungen (DPH) wurden zur exakten Auswertung der Sondierergebnisse zusammen mit den Profildarstellungen der Rammkernsondierungen abgebildet und können in der Anlage 7 eingesehen werden.

3.3 Laboruntersuchungen

3.3.1 Bodenmechanische Laboruntersuchungen

Zur exakten Klassifikation der beprobten Böden und Baustoffe nach DIN 18196 I34I bzw. DIN 14688-1/2 I22I23I sowie zur Feststellung der bautechnischen Eigenschaften und Kennwerte wurden auf Grundlage des Angebotes I1I an insgesamt 57 Proben bodenmechanische Laborversuche durchgeführt. Die Lage und Entnahmetiefe der einzelnen Proben sowie der Umfang der daran vorgenommenen Untersuchungen sind in der Anlage 8 aufgelistet.



3.3.2 Geochemische Laboruntersuchungen

Für die Beurteilung der Umweltverträglichkeit wurde Probenmaterial aus dem Deichkörper und dem Auflastfilter des Deichverteidigungsweges im Bereich des Deichabschnittes Z 10.4 entnommen und in der Analyse Service GmbH Umwelt- und Öllabor Leipzig (Akkreditiertes Prüflabor - DGA-Registriernummer: DGA-PL-3020.00) untersucht.

Im Vorfeld der Untersuchungen wurde folgender chemischer Untersuchungsumfang nach Tabelle 1 festgelegt.

Tabelle 1 – Übersicht Probenauswahl für die chemisch-analytischen Untersuchungen

Probe	Entnahmebereich/ Deichabschnitt	Material/ Schicht	Untersuchungsumfang
P1	RKS 135/11; 0,40 – 2,00 m	Altdeichmaterial	LAGA I52I Tab. II 1.2.1 im Feststoff u. Eluat
P2	RKS 119/11; 1,30 – 4,00 m	Altdeichmaterial	
P3	RKS 106/11; 0,30 – 2,00 m	Altdeichmaterial	
P4	RKS 93/11; 5,00 – 8,00 m	Altdeichmaterial	
P5-10.4	Deichverteidigungsweg/ Z 10.4	Auflastfilter	
P6-10.4	Deichverteidigungsweg/ Z 10.4	Auflastfilter	

4 Ergebnisse

4.1 Vermessungsergebnisse

In der nachfolgenden Tabelle 2 sind die Lagekoordinaten und Höhen der einzelnen Aufschlusspunkte aufgelistet.



Tabelle 2: Lagekoordinaten und Höhen der Aufschlusspunkte

RKS	Hochwert	Rechtswert	Höhe m	RKS	Hochwert	Rechtswert	Höhe m
			NHN				NHN
RKS 089/11	4570818,801	5716690,154	80,04	RKS 122/11	4571196,585	5716956,189	80,63
RKS 090/11	4570852,521	5716659,975	80,08	RKS 123/11	4571248,373	5716910,821	80,56
RKS 091/11	4570872,075	5716642,475	80,32	RKS 124/11	4571250,012	5717042,321	83,78
RKS 092/11	4570879,861	5716635,507	82,64	RKS 125/11	4571261,785	5717175,557	79,97
RKS 093/11	4570884,835	5716631,055	84,07	RKS 126/11	4571286,338	5717145,090	79,79
RKS 094/11	4570895,434	5716621,569	81,29	RKS 127/11	4571308,417	5717117,460	80,65
RKS 095/11	4570948,002	5716574,521	81,40	RKS 128/11	4571314,931	5717109,610	82,60
RKS 096/11	4570908,672	5716797,624	79,83	RKS 129/11	4571319,403	5717104,060	84,04
RKS 097/11	4570946,624	5716763,645	80,47	RKS 130/11	4571328,398	5717092,899	80,87
RKS 098/11	4570967,775	5716744,707	81,26	RKS 131/11	4571375,294	5717034,707	88,00
RKS 099/11	4570973,830	5716739,286	82,96	RKS 132/11	4571405,137	5717262,569	80,33
RKS 100/11	4570977,818	5716735,715	84,08	RKS 133/11	4571401,451	5717217,938	81,22
RKS 101/11	4570989,091	5716725,622	81,36	RKS 134/11	4571399,375	5717192,805	81,22
RKS 102/11	4571041,379	5716678,806	81,32	RKS 135/11	4571398,640	5717183,907	82,97
RKS 103/11	4570963,175	5716854,790	79,85	RKS 136/11	4571398,264	5717179,351	84,06
RKS 104/11	4570999,975	5716822,611	80,84	RKS 137/11	4571397,243	5717166,985	81,24
RKS 105/11	4571019,927	5716805,164	80,98	RKS 138/11	4571391,097	5717092,573	81,31
RKS 106/11	4571027,219	5716798,788	82,86	RKS 139/11	4571554,025	5717252,801	81,01
RKS 107/11	4571031,143	5716795,357	84,09	RKS 140/11	4571550,778	5717208,352	80,29
RKS 108/11	4571043,060	5716784,936	81,18	RKS 141/11	4571548,833	5717181,728	80,95
RKS 109/11	4571091,608	5716742,483	81,12	RKS 142/11	4571548,205	5717173,124	82,81
RKS 110/11	4571039,199	5716934,989	80,04	RKS 143/11	4571547,801	5717167,590	84,00
RKS 111/11	4571072,293	5716905,765	80,61	RKS 144/11	4571546,644	5717151,754	81,11
RKS 112/11	4571092,619	5716887,816	80,50	RKS 145/11	4571541,909	5717086,930	81,32
RKS 113/11	4571099,663	5716881,596	82,57	RKS 146/11	4571651,097	5717245,129	79,80
RKS 114/11	4571104,104	5716877,674	83,87	RKS 147/11	4571691,834	5717198,693	79,70
RKS 115/11	4571116,283	5716866,919	80,82	RKS 148/11	4571707,680	5717179,154	79,16
RKS 116/11	4571168,013	5716821,238	80,75	RKS 149/11	4571716,787	5717172,295	81,99
RKS 117/11	4571116,411	5717026,425	80,10	RKS 150/11	4571722,712	5717167,833	83,95
RKS 118/11	4571150,353	5716996,689	80,32	RKS 151/11	4571737,864	5717156,422	79,36
RKS 119/11	4571171,484	5716978,179	80,14	RKS 152/11	4571797,454	5717111,545	79,36
RKS 120/11	4571179,328	5716971,306	82,42	RKS 153/11	4571755,031	5717217,255	84,01
RKS 121/11	4571183,832	5716967,361	83,76				

Alle Aufschlusspunkte wurden im Rahmen der Aufschlussarbeiten lage- und höhenmäßig eingemessen.

Die Bearbeitung der Vermessungsdaten erfolgte mit der Software:

AUTOCAD 2011

der Fa. Autodesk, Inc.



4.2 Laborergebnisse

4.2.1 Ergebnisse der petrophysikalischen Laboruntersuchungen

Die Auswertung der Laborergebnisse der im Deichvor- und Hinterland sowie der im eigentlichen Deichkörper angetroffenen Bodeneinheiten und des aus dem Auflastfilter des Deichverteidigungsweges entnommenen Probenmaterials erfolgt im Rahmen der Baugrundbeschreibung unter Punkt 4.3.2. Daher soll an dieser Stelle nicht weiter darauf eingegangen werden.

Die Ergebnisse bzw. Protokolle der Laboruntersuchungen können detailliert den Anlagen 8.1 – 8.4 entnommen werden. Eine Zusammenfassung der Ergebnisse der geotechnischen Laborversuche ist der Anlage 8.5 zu entnehmen.

4.2.2 Ergebnisse der chemischen Laboruntersuchungen

4.2.2.1 Ergebnisse der chemischen Bodenuntersuchungen nach LAGA

Das Probenmaterial aus dem Auflastfilter des Deichverteidigungsweges und dem Deichkörper wurde durch die Analysen Service GmbH nach LAGA M 20 und TR Boden I52I Tab. II 1.2.1 – unspezifischer Verdacht im Feststoff und Eluat untersucht. Die Ergebnisse der untersuchten Proben P5-10.4, P6-10.4 und P 1 bis P 4 gemäß LAGA wurden dem ikp in den Prüfberichten Nr. 1270-12 und 1429-12 (Anlage 8.6) übergeben und sind nachfolgend in den Tabellen 3, 4 u. 5 zusammengestellt.

Tabelle 3: Ergebnisse im Feststoff

Proben- bezeichnung		P5-10.4	P6-10.4	Grenzwerte gem. LAGA Tab. II. 1.2-2 u. 4 für Boden mit einem Zuordnungswert		
Probe-Nr.	12/	10738	10739	Z 0 (Sand)	Z 1	Z 2
MKW- Boden GC	mg/kg	< 20,0	< 20,0	100	300 (600)	1000 (2000)
EOX	mg/kg	< 1,0	< 1,0	1	3	10
Arsen	mg/kg	3,5	3,2	10	30	150



Fortsetzung Tabelle 3: Ergebnisse im Feststoff

Proben- bezeichnung		P5-10.4	P6-10.4	Grenzwerte gem. LAGA Tab. II. 1.2-2 u. 4 für Boden mit einem Zuordnungswert		
Probe-Nr.	12/	10738	10739	Z 0 (Sand)	Z 1	Z 2
Blei	mg/kg	4,9	2,7	40	200	700
Cadmium	mg/kg	< 0,4	< 0,4	0,4	3	10
Chrom (ges.)	mg/kg	10,6	11,8	30	180	600
Kupfer	mg/kg	16,3	6,1	20	120	400
Nickel	mg/kg	7,2	6,4	15	150	500
Quecksilber	mg/kg	< 0,05	< 0,05	0,1	1,5	5
Zink	mg/kg	33,3	18,9	60	450	1500
PAK n. EPA	mg/kg	n.n.	n.n.	3	3 (9) ²⁾	30
TOC i. F.	M %	0,59	0,38	0,5 (1) ¹⁾	1,5	5
Zuordnungswert		Z 1	Z 0			

¹⁾ Bei einem C:N-Verhältnis > 25 beträgt der Zuordnungswert 1 M%

²⁾ Bodenmaterial mit Zuordnungswerten > 3 mg/kg und ≤ 9 mg/kg darf nur in Gebieten mit hydrogeologisch günstigen Deckschichten eingebaut werden

Tabelle 4: Ergebnisse im Feststoff

Proben- bezeichnung		P 1 Schluff	P 2 Ton	P 3 Schluff	P 4 Sand	Grenzwerte gem. LAGA Tab. II. 1.2-2 u. 4 für Boden mit einem Zuordnungswert				
Probe-Nr.	12/	11034	11035	11036	11037	Z 0 (Sand)	Z 0 (Schluff)	Z 0 (Ton)	Z 1	Z 2
MKW-Boden GC	mg/kg	< 20,0	< 20,0	< 20,0	< 20,0	100	100	100	300 (600)	1000 (2000)
EOX	mg/kg	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	1	1	1	3	10
Arsen	mg/kg	16,9	28,5	18,3	2,5	10	15	20	30	150
Blei	mg/kg	22,5	29,9	26,7	2,0	40	70	100	200	700
Cadmium	mg/kg	< 0,4	0,470	< 0,4	< 0,4	0,4	1	1,5	3	10
Chrom (ges.)	mg/kg	48,0	33,7	39,1	4,6	30	60	100	180	600
Kupfer	mg/kg	28,0	45,0	29,8	2,3	20	40	60	120	400
Nickel	mg/kg	32,3	27,1	26,5	4,3	15	50	70	150	500



Fortsetzung Tabelle 4: Ergebnisse im Feststoff

Proben- bezeichnung		P 1 Schluff	P 2 Ton	P 3 Schluff	P 4 Sand	Grenzwerte gem. LAGA Tab. II. 1.2-2 u. 4 für Boden mit einem Zuordnungswert				
Probe-Nr.	12/	11034	11035	11036	11037	Z 0 (Sand)	Z 0 (Schluff)	Z 0 (Ton)	Z 1	Z 2
Quecksilber	mg/kg	0,07	0,08	0,08	< 0,05	0,1	0,5	1	1,5	5
Zink	mg/kg	95,9	100,0	82,7	9,4	60	150	200	450	1500
PAK n. EPA	mg/kg	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	3	3	3	3 (9) ²⁾	30
TOC i. F.	M %	1,17	0,99	0,84	0,27	0,5 (1) ¹⁾	0,5 (1) ¹⁾	0,5 (1) ¹⁾	1,5	5
Zuordnungswert		Z 1	Z 1	Z 1	Z 0					

¹⁾ Bei einem C:N-Verhältnis > 25 beträgt der Zuordnungswert 1 M%

²⁾ Bodenmaterial mit Zuordnungswerten > 3 mg/kg und ≤ 9 mg/kg darf nur in Gebieten mit hydrogeologisch günstigen Deckschichten eingebaut werden

Tabelle 5: Ergebnisse im Eluat

Proben- bezeichnung		P5- 10.4	P6- 10.4	P 1	P 2	P 3	P 4	Grenzwerte gem. LAGA Tab. II. 1.2-5 für Boden mit einem Zuordnungs- wert		
Probe-Nr.	12/	10738	10739	11034	11035	11036	11037	Z 0/ Z 1.1	Z 1.2	Z 2
pH – Wert		7,42	6,89	5,95	5,83	6,19	6,54	6,5 – 9,5	6,0 – 12,0	5,5 – 12,0
Leitfähigkeit	µS/cm	32,7	21,6	23,7	58,0	31,1	24,1	250	1500	2000
Arsen	µg/l	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	14	20	60
Blei	µg/l	< 10,0	< 10,0	< 10,0	< 10,0	< 10,0	< 10,0	40	80	200
Cadmium	µg/l	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	1,5	3	6
Chrom (ges.)	µg/l	< 10,0	< 10,0	< 10,0	< 10,0	< 10,0	< 10,0	12,5	25	60
Kupfer	µg/l	< 10,0	< 10,0	< 10,0	< 10,0	< 10,0	< 10,0	20	60	100
Nickel	µg/l	< 10,0	< 10,0	< 10,0	< 10,0	< 10,0	< 10,0	15	20	70
Quecksilber	µg/l	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,5	1	2
Zink	µg/l	< 10,0	< 10,0	< 10,0	< 10,0	< 10,0	< 10,0	150	200	600
Chlorid	mg/l	1,78	1,98	1,6	1,9	3,4	2,0	30	50	100



Fortsetzung Tabelle 5: Ergebnisse im Eluat

Proben- bezeichnung		P5- 10.4	P6- 10.4	P 1	P 2	P 3	P 4	Grenzwerte gem. LAGA Tab. II. 1.2-5 für Boden mit einem Zuordnungs- wert		
Probe-Nr.	12/	10738	10739	11034	11035	11036	11037	Z 0/ Z 1.1	Z 1.2	Z 2
Sulfat	mg/l	1,12	0,61	4,8	16,3	3,5	3,9	20	50	200
Zuordnungswert		Z 0	Z 0	Z 2	Z 2	Z 1.2	Z 0			

Im Ergebnis der chemisch-analytischen Untersuchungen übersteigt das analysierte Probenmaterial der Probe **P5-10.4** aus dem Auflastfilter auf Grund einer einzelnen Überschreitung (fett gedruckt) die Grenzwerte für den Zuordnungswert Z 0. Daher muss die Probe **P5-10.4** gemäß LAGA Tab. II. 1.2-2 und 1.2-4 (Feststoff) dem Zuordnungswert **Z 1** zugeordnet werden. Im vorliegenden Fall handelt es sich um eine geringfügige Überschreitung des TOC-Gehaltes (total organic carbon) der Probe. Diese Überschreitung des Grenzwertes kann wahrscheinlich durch eine feinverteilte Verunreinigung des Probenmaterials mit organischem Material während der Probenahme erklärt werden und ist aus umweltrelevanter Sicht als unbedenklich zu bewerten.

Die Auswertung der Analysenergebnisse der Probe **P6-10.4** zeigt, dass die Grenzwerte gemäß LAGA M 20 eingehalten werden. Die Probe **P6-10.4** (Auflastfilter) kann daher dem Zuordnungswert **Z 0** zugeordnet werden.

Das nach LAGA M 20 und TR Boden analysierte Probenmaterial aus dem Deichkörper übersteigt bei drei von vier Proben auf Grund von einzelnen Überschreitungen (fett gedruckt) die Grenzwerte für den Zuordnungswert Z 0. Die Proben müssen gemäß LAGA Tab. II. 1.2-5 (Eluat) dem Zuordnungswert **Z 1.2** (Probe **P 3**) bzw. **Z 2** (Probe **P 1** u. **P 2**) zugeordnet werden. Die Probe **P 4** hält alle Grenzwerte nach LAGA M 20 für den Zuordnungswert **Z 0** ein.

Aus Sicht der Bearbeiter sind die untersuchten Bodenproben entsprechend der ermittelten Werte im Feststoff und Eluat hinsichtlich der beabsichtigten Verwendung des Ma-



terials als Deichbaustoff aber als völlig unbedenklich zu bewerten. Grundsätzlich ist das Altdeichmaterial somit für eine Wiederverwendung vor Ort geeignet. Die erhöhten Arsengehalte im Feststoff, aufgrund derer die betreffenden Bodenproben P 1, P 2 u. P 3 dem Zuordnungswert Z 1 zugeordnet wurden, können mit der allgemeinen, geogenen Hintergrundbelastung der Flussauen mit Schwermetallen erklärt werden. Die niedrigen pH-Werte der Proben P 1 u. P 2 ($\text{pH} < 6,0$), die für sich eine Klassifikation gemäß LAGA in den Zuordnungswert Z 2 bedeuten würde, stellen kein Ausschlusskriterium für die Verwendung des geprüften Materials als Deichbaumaterial dar.

Wie aus der LAGA zu entnehmen ist, kann vereinfachend angenommen werden, dass ein uneingeschränkter Einbau des Bodenmaterials zulässig ist, wenn dessen Eluatkonzentrationen mit den Eluatkonzentrationen der regional vorkommenden Böden/Gesteine vergleichbar sind.

Im Zuge einer möglichen Verwertung der bei der Baumaßnahme anfallenden Aushubmassen sind entsprechend der Zuordnungswerte (Z 0 bis Z 2) nach LAGA die Einbauklassen zu berücksichtigen. Die Einbauklassen umfassen die Herkunft und Beschaffenheit der Abfälle sowie die Art des Einbaus und die Standortbedingungen. Demnach können folgende Einbauklassen unterschieden werden:

Einbauklasse 0 (Zuordnungswert Z 0): Uneingeschränkte Verwertung von geeignetem Bodenmaterial in bodenähnlichen Anwendungen (Verfüllung von Abgrabungen und Abfallverwertung im Landschaftsbau außerhalb von Bauwerken)

Einbauklasse 1 (Zuordnungswerte Z 1.1 und Z 1.2): Eingeschränkter offener Einbau (wasserdurchlässige Bauweise)

Einbauklasse 2 (Zuordnungswert Z 2): Eingeschränkter Einbau mit definierten technischen Sicherungsmaßnahmen (nicht oder nur gering wasserdurchlässige Bauweise).

Für die Probe **P 3** die dem Zuordnungswert Z 1 bzw. Z 1.2 zugeordnet wurde, muss an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, dass im Eluat grundsätzlich die Z 1.1-Werte gelten. Bodenmaterial mit Eluatkonzentrationen bis zu den Zuordnungswerten Z 1.2



kann, sofern dies landesspezifisch festgelegt oder im Einzelfall nachgewiesen ist, nur in hydrogeologisch günstigen Gebieten eingebaut werden.

Entsprechende detailliertere Vorgaben bezüglich der Einbauklassen sind bei einer möglichen Verwertung von mineralischen Abfällen nach Vorschriftswerk weiterführend zu beachten.

4.3 Baugrundverhältnisse

4.3.1 Vorbemerkungen zur Darstellung und Auswertung der Ergebnisse

Ausgehend von den Ergebnissen der 2D-geoelektrischen Widerstandsmessung erfolgt unter Einbeziehung der Resultate aus I6I und der Baugrundhauptuntersuchung die Erstellung der Baugrundschnitte für den **Deichkörper und den Deichuntergrund, die Wasserseite (wasserseitiger Deichfuß und Deichvorland – 30 m und 75 m v. wasserseitigen Deichfuß) und Landseite (landseitiger Deichfuß).**

Die Umsetzung der geoelektrischen Ergebnisse in einen Baugrundschnitt wird von vielen Faktoren beeinflusst:

- Zunächst weisen niedrige Widerstände auf bindige Böden und hohe Widerstände auf nichtbindige Böden hin.
- Die Ergebnisse der geoelektrischen Messungen zeigen, dass im betrachteten Deichabschnitt an den Deichfüßen und im Deichkörper- bzw. Deichuntergrund zunächst niedrige Widerstände (i.W. kleiner 100- 150 Ω m) vorliegen, die dem Auelehm bzw. bindigen Deichkörper zuzuordnen sind. Diese niederohmige Schicht hat dabei im Bereich der Deichfüße und im Deichuntergrund eine Mindestmächtigkeit von > 1 m, durchschnittlich von 1,5 ... 2 m. Im Deichvorland sind teilweise direkt ab GOK hochohmige Widerstandsverhältnisse vorhanden, so dass dort unter dem Mutterboden bereits die Flussschotter anstehen.



- Der Vergleich der Ergebnisse aus den Widerstandstiefenschnitten und den Rammkernsondierungen zeigt, dass die Schichtgrenze zwischen den bindigen und den nichtbindigen Böden im Deichuntergrund im Wesentlichen in der Höhe des Beginns des Widerstandsmaximums liegt.

Die Anlagen 3.1 und 3.2 zeigen die Widerstandsverhältnisse für den Deichabschnitt.

In den Anlagen 4.1 und 4.2 sind die Baugrundverhältnisse in Form von Längsschnitten für das Deichvorland (75 m und 30 m vor dem wasserseitigen Deichfuß), den wasserseitigen Deichfuß, den Deich/Deichuntergrund und den landseitigen Deichfuß dargestellt.

Mit insgesamt 9 Deichquerschnitten (DQ 13 bis DQ 21) werden der Aufbau des Deichkörpers und seine Einbindung in das Vor- und Hinterland veranschaulicht (siehe Anlagen 5.1 bis 5.9).

4.3.2 Baugrundsichtung

Wie die Sondierungsergebnisse zeigen, wurden im Untersuchungsgebiet die in der Geologischen Karte M 1 : 25000 Blatt 4444 Torgau-Ost I10I ausgewiesenen Böden vorgefunden. Nach Auswertung der Rammkernsondierungen kann der Baugrund im Deichvor- und -hinterland des Deichabschnittes Z 10.4 vom Hangenden zum Liegenden wie folgt gegliedert werden:

Oberboden:

Der Oberboden bzw. Mutterboden, als Gemisch aus mineralischer und fein verteilter organischer Substanz, steht oberflächlich sowohl auf dem Deichkörper als auch im Deichvor- und -hinterland als Bodenbildung an. Derzeitig wird die gesamte Oberbodenabdeckung des Deiches von Rasen überzogen. Der Oberboden steht in einer Mächtigkeit zwischen 0,15 – 0,7 m an und wird aus Schluff ((UL/UM - nach DIN 18196),



feinsandig – schwach feinsandig, tonig – stark tonig, schwach mittelsandig) von halbfester bis steifer Konsistenz gebildet.

Auelehm:

Da die natürlich anstehenden Auelehme (Schicht 4a/b/c) lithologisch mit den künstlichen, bindigen Auffüllungen (Schicht 3a) des Deiches gleichzusetzen sind, werden sie an dieser Stelle auch als eine Bodenschicht behandelt.

Unterhalb des Oberbodens stehen sowohl im Deichkörper wie auch im Vor- und Hinterland des Deiches hauptsächlich mittelplastische Tone und Schluffe mit einem hohen Schluff- bzw. Tonanteil an. Lokal wurden leichtplastische bzw. ausgeprägt plastische Tone angetroffen. Nur untergeordnet wurden auch organogene Tone dokumentiert, die nach DIN 18196 der Bodengruppe OT zugeordnet werden.

Für den Auelehm wurden 3 lithologisch unterschiedliche Ausbildungen abgegrenzt. Ein bindiger Auelehm (Schicht 4a), leicht- bis mittelplastisch (UL, UM, UL-UM - nach DIN 18196) von steifer – halbfester bzw. weicher – steifer Konsistenz, ein sandiger Auelehm (SU* - nach DIN 18196, Schicht 4b) und ein toniger Auelehm ebenfalls leicht- bis mittelplastisch (TL, TM - nach DIN 18196, Schicht 4c).

Im Rahmen der Laboruntersuchungen wurden für die bindigen Aueböden Wassergehalte zw. 17,0 und 41,5 M-%, Glühverluste zw. 2,3 und 5,5 M-% und Kalkgehalte von 0,2 bzw. 0,27 M-% ermittelt. Die Fließgrenzen dieser Böden variieren zw. 45,9 und 57,5 % und die Plastizitätszahlen liegen zw. 20,1 und 27,0 % (siehe Anlage 8.5).

Im Allgemeinen besitzt der Auelehm eine große Wasser- und Frostempfindlichkeit, so dass die Konsistenz des Auelehms im Wesentlichen vom Grad der Durchfeuchtung des Bodens abhängt. Generell zeigt der Auelehm oberhalb des Grundwasserhorizontes überwiegend steife – halbfeste Konsistenz und im Gegensatz dazu in der gesättigten Zone zumeist eine weiche Konsistenz.



Am landseitigen Deichfuß schwankt die Auelehmmächtigkeit zwischen 0,7 – 4,00 m und besitzt eine durchschnittliche Mächtigkeit von 1,50 m bis 2,00 m. Zwischen Station 3+310 und 3+480 und Station 2+710 und 2+860 ist die bindige Deckschicht am landseitigen Deichfuß mit einer Mächtigkeit von 0,70 – 1,00 m am geringsten ausgebildet.

Der wasserseitige Deichfuß weist eine Auelehmmächtigkeit von 0,80 m bis circa 4,00 m, bei einer durchschnittlichen Mächtigkeit von 2,20 m auf. Lokale Minima der Auelehmbedeckung treten zwischen Station 2+600 und 2+800 mit 0,60 m – 1,35 m Mächtigkeit sowie zwischen Station 3+330 und 3+480 mit 1,00 m – 1,40 m auf.

Auesande bzw. Terrassensande und –kiese:

Im Anschluss an den Auelehm wurden im gesamten Untersuchungsabschnitt Auesande gefolgt von Terrassensanden und –kiesen sondiert. Nach DIN 18196 setzten sich diese Bodeneinheiten überwiegend aus eng bis intermittierend gestuften Mittel- bis Grobsanden und intermittierend gestuften Kiesen (SE, SI, GI; Schicht 5) zusammen. Die im Untersuchungsgebiet anstehenden, grobkörnigen Böden sind zudem als Grundwasserleiter anzusehen.

Zur Festlegung der Lagerungsdichte wurden die Eindringwiderstände der schweren Rammsonden (DPH) den einzelnen Böden, die im Zuge der Auswertung der Rammkernsondierungen abgegrenzt wurden, zugeordnet. Es wurden folgende Eindringwiderstände n_{10} (n_{10} = Anzahl der Schläge je 10 cm Eindringtiefe) für die dokumentierten Böden ermittelt:

Tabelle 6: Bestimmung der Lagerungsdichten

Böden	Schläge je 10 cm	Mittlere Schlagzahlen	Lagerungsdichten
Künstliche Auffüllung/ Deichkörper (Schluff)	1 - 11	3,47 (n = 2413/696)	locker – mitteldicht, i.M. locker
Auelehm (Ton)	1 - 17	3,41 (n = 297/87)	locker – dicht, i.M. locker
Auesand/ Terrassensand- u. kies	1 - 27	9,48 (n = 5187/547)	locker – sehr dicht, i.M. mitteldicht



Auflastfilter des Deichverteidigungsweges:

Im Zuge der Sondierungsmaßnahmen wurde zusätzlich Probenmaterial aus dem Auflastfilter des Deichverteidigungsweges entnommen und im Erdstofflabor des IKP untersucht. Im Ergebnis der Korngrößenanalyse handelt es sich bei dem Material des Auflastfilters um ein 0/32 Mineralgemisch (GI - nach DIN 18196) mit einem Feinkornanteil ($< 0,063 \text{ mm}$) von 1,7 bzw. 2,1 M-%. Der aus der Korngrößenverteilung errechnete Wasserdurchlässigkeitsbeiwert beträgt $k_f = 3,43 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$ bzw. $4,28 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$.

Im Untergrund des Deichverteidigungsweges steht der im Untersuchungsgebiet natürlich anstehende Auelehm (TM, TL, UM, UL, UM-UL, SU* - nach DIN 18196) an.

4.4 Grundwasserverhältnisse

Die Sondierungsergebnisse zeigen, dass im Bereich der Flussaue die im Untergrund anstehenden Sande und Kiese wasserführend sind. In Abhängigkeit von der Mächtigkeit des über den wasserführenden, grobkörnigen Böden anstehenden Auelehms ist

bereichsweise von gespannten Grundwasserverhältnissen auszugehen. In der nachfolgenden Tabelle ist eine Zusammenfassung der dokumentierten Grundwasserstände dargestellt.

Tabelle 7 – Grundwasserstände während der Sondiermaßnahme

DQ/ EA	Aufschlusspunkt/ Lage	Bohrtiefe	Grundwasserstand m NHN unter Aufschluss- punkt	Grundwasserstand m NHN
DQ 13	RKS 94/11, landseitiger Deichfuß	5,0 m	4,43 m	76,86
DQ 15	RKS 107/11, Deichkrone	8,0 m	7,42 m	76,67
DQ 15	RKS 108/11, landseitiger Deichfuß	5,0 m	4,50 m	76,68
DQ 16	RKS 114/11, Deichkrone	8,0 m	7,42 m	76,45
DQ 17	RKS 121/11, Deichkrone	8,0 m	6,68 m	77,08
DQ 17	RKS 122/11, landseitiger Deichfuß	5,0 m	3,85 m	76,78



Fortsetzung Tabelle 7 – Grundwasserstände während der Sondiermaßnahme

DQ/ EA	Aufschlusspunkt/ Lage	Bohrtiefe	Grundwasserstand m NHN unter Aufschluss- punkt	Grundwasserstand m NHN
DQ 18	RKS 129/11, Deichkrone	8,0 m	7,45 m	76,59
DQ 20	RKS 143/11, Deichkrone	8,0 m	7,25 m	76,75
DQ 21	RKS 150/11, Deichkrone	8,0 m	6,78 m	77,17

Wie aus der Tabelle 7 ersichtlich, wurde im Verlauf der Sondierarbeiten Grundwasser in Abhängigkeit zur Schichtenfolge in Tiefen von ca. 76,45 bis 77,17 m NHN angetroffen. Die dokumentierten Grundwasseranschnitte können zudem den Ergebnissen der Rammkernsondierungen (siehe Anlage 6) entnommen werden.

Bei der Landestalsperrenverwaltung des Freistaates Sachsen (LTV Sachsen) erfolgte eine Anfrage nach Pegelständen für den Bereich der Elbe bei Torgau. Für den Untersuchungszeitraum vom Oktober bis Dezember 2011 wurden die Pegelstände (min. und max. Werte) der Elbe bei Torgau (Mst.-Nr.: 501261) in der Tabelle 8 zusammengestellt.

Tabelle 8: Pegelstände des Elbpegels bei Torgau

Messstelle		501261 Torgau
Rechtswert	-	4570166
Hochwert	-	5713728
Pegelnulld (m+)	m NN	75,18
Pegelstand Oktober 2011	m NN	76,17 – 77,15
Pegelstand November 2011	m NN	75,99 – 76,78
Pegelstand Dezember 2011	m NN	76,07 – 77,49

Beim Vergleich der in den Aufschlusspunkten gemessenen Grundwasserständen und den in der Tabelle 8 dargestellten Pegelständen der Elbe wird deutlich, dass eine hydraulische Verbindung zwischen Fluss und Grundwasser besteht.



Somit ist eine Abschätzungen der zu erwartenden Grundwasserstände über die Pegelstände der Elbe möglich. Entsprechend den Sondierungsergebnissen ist mit oberflächennahem Grundwasseranschnitt ab ca. 76,5 m NHN zu rechnen.

An dieser Stelle muss jedoch darauf hingewiesen werden, dass die gemessenen Grundwasserstände aufgrund der beschriebenen Abhängigkeiten gegenüber den Pegelständen der Elbe ausschließlich temporären Charakter besitzen. Niedrigere oder höhere Grundwasserstände als die eben angegebenen sind unter günstigen bzw. ungünstigen hydrologischen Bedingungen bzw. je nach Niederschlagsintensität somit stets möglich.

4.5 Bodenkenngrößen

Die Zuordnungen der bodenmechanischen Kennwerte für die angetroffenen Baugrundsichten resultieren aus den Ergebnissen der geotechnischen Laboruntersuchungen und wurden unter Einbeziehung vorliegender Erfahrungswerte bzw. der Fachliteratur (I15I, I22I, I23I, I34I, I35I, I50I, I51I) vorgenommen. Eine Zusammenfassung ist der Tabelle 9 zu entnehmen.

Während eines normalen Hochwasserereignisses ist für die Standsicherheitsberechnungen von einem steifen Zustand der bindigen Böden auszugehen. Im Falle eines länger andauernden Hochwasserereignisses ist davon auszugehen, dass die bindigen Böden von einem halbfesten/steifen Zustand in einen steifen/weichen Zustand übergehen. Daher sollten für die Standsicherheitsberechnungen im Belastungsfall die ungünstigeren Kennwerte der entsprechenden bindigen Böden für deren weichen Zustand Anwendung finden.



Tabelle 9 - Baugrunderkennwerte

Bodengruppe DIN 18196 Lagerungsdichte / Konsistenz	Wichte γ_k [kN/m³]	Wichte unter Auftrieb [kN/m³]	Reibungs- winkel φ'_k [°]	Kohäsion c' [kN/m²]	Kohäsion c_u' [kN/m²]	Boden- klasse DIN 18300	Frostem- pfindlich- keit ZTV-E	Empfind- lichkeit gegen Wasser	Durchläs- sigkeits- beiwert k_f [m/s]	Steifemodul E_s [MN/m²]
Schicht 1 Mutterboden (UL/UM, OU)	17	7	30	2	-	1	F2/F3	mittel/ hoch	$1 \cdot 10^{-7}$	-
Schicht 2 Auffüllung Auflastfilter/ Deichverteidi- gungsweg Schotter/ Kies	20	12	35	0	0	3	F1	gering	$1 \cdot 10^{-4}$	80
Schicht 3a Deichkörper, bindig bis ge- mischtkörnig (A [UL], A [UM], A [TL], A [TM], A [UL-SU*])										
steif - halbfest	19	9	25	5	25	4	F3	hoch	$1 \cdot 10^{-8}$	8
weich – steif	18	8	25	2	10	4	F3	hoch	$1 \cdot 10^{-8}$	4
Schicht 4a Auelehm, bindig (UL, UM, UL- UM, UL-SU*) steif – halbfest, weich - steif										
steif - halbfest	19	9	22,5	10	25	4	F3	hoch	$5 \cdot 10^{-9}$	6
weich - steif	18	8	22,5	2	10	4	F3	hoch	$5 \cdot 10^{-9}$	4
Schicht 4b Auelehm- sandig, ge- mischtkörnig (SU*)	20	10	27,5	2	5	4	F3	hoch	$1 \cdot 10^{-6}$	10
Schicht 4c Auelehm-tonig (TL, TM)	20	10	25	10	25	4	F3	hoch	$1 \cdot 10^{-9}$	6
Schicht 5 Grundwasserlei- ter, Sand, Kies (SI, SE, GI)										
mitteldicht	19	11	32,5	0	0	3	F1	gering	$7 \cdot 10^{-4}$	50
locker	18	10	30	0	0	3	F1	gering	$7 \cdot 10^{-4}$	25



5 Aussagen zur Standsicherheit des Deiches

Vor der Berechnung der allgemeinen (globalen) Tragsicherheit einer Deichanlage ist es sinnvoll, zunächst die folgenden Faktoren für den Elbedeich Z10.4 im Einzelnen zu betrachten:

- Bemessungshochwasserstand
- Baugrundsituation (Deichkörper, Deichuntergrund, Vor- und Hinterland)
- Ausbildung der Deichanlage (Böschungsneigung, Grasnarbe, Bewuchs u.a.)

5.1 Bemessungshochwasserstand

Nach Vorgaben der Fugro Consult GmbH in Dresden ist das Bemessungshochwasser (BHW) wie folgt festgelegt:

Bemessungshochwasser HQ100

Geforderter Freibord 1,00 m

Tabelle 10: Vorhandener Freibord

Deichquerschnitt [DQ]	Stationierung [D-km]	Deichhöhe Ist-Zustand [m NHN]	BHW [m NHN]	Vorhandener Freibord [m]
DQ 13	2+600	84,09	83,59	0,50
DQ 14	2+740	84,08	83,52	0,56
DQ 15	2+820	84,08	83,48	0,60
DQ 16	2+930	83,87	83,45	0,42
DQ 17	3+050	83,77	83,41	0,36
DQ 18	3+250	83,97	83,40	0,57
DQ 19	3+370	84,09	83,38	0,70
DQ 20	3+520	84,02	83,36	0,66
DQ 21	3+700	83,99	83,39	0,60

Erläuterungen zu Tabelle 10:

rot vorhandener Freibord nicht ausreichend



Der vorhandene Freibord ist im gesamten Untersuchungsgebiet nicht ausreichend.

5.2 Baugrundsituation

Zur Beurteilung der Standsicherheit einer Deichanlage ist die genaue Kenntnis über die den Deichkörper, den Deichuntergrund und das unmittelbare Deichvor- und -hinterland bildenden Erdstoffe erforderlich. Aus den im Kapitel 4.3 beschriebenen Baugrundverhältnissen können für den untersuchten Deich Elbe Z10.4 die entsprechenden Aussagen zur allgemeinen Standsicherheit entnommen werden.

Die angetroffenen bindigen Böden besitzen bei normaler Wasserführung der Elbe eine steife bis halbfeste Konsistenz.

Bei einem zeitlich längeren Hochwasser gehen diese bindigen Böden i. W. in den weichen bis steifen Zustand über, so dass für die Berechnungen die ungünstigsten Kennwerte der bindigen Böden für den weichen bis steifen Zustand verwendet werden sollten. Im Falle eines sehr langen Hochwassers kann es im vorhandenen, überwiegend locker gelagerten bzw. aufgeschütteten, bindigen Deichkörper zu einer Verringerung der Kohäsion kommen. Um diesen Fall bei der Ist-Zustands-Berechnung zu berücksichtigen, wurden am Deichquerschnitt DQ 17, neben den Berechnungen mit „normaler“ Kohäsion, zusätzlich alle Standsicherheitsberechnungen mit einer Kohäsion für den bindigen Deichkörper von $c = 0$ durchgeführt.

5.3 Ausbildung der Deichanlage

Für die geometrische Ausbildung von Deichanlagen gibt es verschiedene Anhaltswerte (DIN, DWA, EAU), die für die Erhaltung der Standsicherheit eingehalten werden sollten. Aus der vorliegenden Vermessung des Deiches sind an den sieben Deichquerschnitten und in den Zwischenbereichen die folgenden Angaben zum Deich ableitbar.



Tabelle 11: Angaben zur Deichkonfiguration

Deichquerschnitt [DQ]	Stationierung [D-km]	Neigung Wasserseite	Neigung Landseite	Breite Deichkrone [m]
DQ 13	2+600	1 : 3,38	1 : 2,40	1,32
DQ 14	2+740	1 : 3,38	1 : 2,37	1,32
DQ 15	2+820	1 : 3,18	1 : 2,44	1,21
DQ 16	2+930	1 : 3,28	1 : 2,38	1,24
DQ 17	3+050	1 : 3,18	1 : 2,41	1,37
DQ 18	3+245	1 : 3,49	1 : 2,37	1,74
DQ 19	3+370	1 : 3,18	1 : 2,41	1,27
DQ 20	3+520	1 : 3,06	1 : 2,36	1,59
DQ 21	3+700	1 : 2,84	1 : 2,32	1,70

Erläuterungen zu Tabelle 11:

orange steile Böschungsneigung, zwischen 1:2,5 und 1:3

rot sehr steile Böschungsneigung, größer 1:2,5 / Deichkronenbreite kleiner 3 m

Gemäß den Angaben in Tabelle 11 ist die Neigung der landseitigen Böschung durchgehend steiler als 1:2,5. Damit entspricht die Neigung der landseitigen Böschung nicht den Empfehlungen der geltenden Normen, die eine Neigung von mindestens 1:3 vorsehen.

Die Deichkrone besitzt nur eine Breite von < 3 m. Sie ist damit deutlich zu schmal ausgebildet.

6 Tragsicherheitsnachweise – Deich im Ist-Zustand

6.1 Allgemeine Tragsicherheit nach Teilsicherheitskonzept

Gemäß der Festlegung der DIN 1054:2010-12 [14] ist für die Beurteilung der Tragsicherheit ausschließlich das Teilsicherheitskonzept maßgebend.

Der maximale Ausnutzungsgrad nach dem Konzept der Teilsicherheiten darf den Wert $\mu = 1$ nicht überschreiten.



Tabelle 12: Teilsicherheitsbeiwerte γ nach DIN 1054:2010-12 I14I, Tabelle A2.1/A2.2, GEO-3

	γ_G	γ_Q	γ_φ	γ_c / γ_{cu}
LF 2 □ BS-P	1,0	1,2	1,15	1,15
LF 3 □ BS-A	1,0	1,0	1,1	1,1

Erläuterungen zu Tabelle 12:

γ_G	Teilsicherheitsbeiwert für ständige Einwirkungen
γ_Q	Teilsicherheitsbeiwert für ungünstige veränderliche Einwirkungen
γ_φ	Teilsicherheitsbeiwert für den Reibungsbeiwert $\tan\varphi$
γ_c / γ_{cu}	Teilsicherheitsbeiwert für die Kohäsion des drainierten Bodens / Scherfestigkeit des undrainierten Bodens
BS-P	Bemessungssituation für ständige Einwirkungen
BS-A	Bemessungssituation für außergewöhnliche Einwirkungen

Die Berechnung der allgemeinen Tragsicherheit für den Böschungs- und Grundbruch an der Land-, und Wasserseite erfolgt mit dem Programm GGU-Stability mit dem Lamellenverfahren nach Bishop (Anlage 10). Bevor diese Standsicherheitsberechnungen durchgeführt werden können, müssen die hydraulischen Verhältnisse an jedem Regelprofil ermittelt werden.

Für die Einschätzung der Porenwasserdruckverhältnisse wurden hydraulische Berechnungen zur Ermittlung der Sickerlinie und der anfallenden Sickerwassermenge mit dem Programm GGU-SS-FLOW2D durchgeführt.

Die Berechnungen basieren auf der FEM-Methode. Für jedes Regelprofil und unterschiedlichen Einstau muss ein FE-Netz generiert werden, an dem die entsprechenden Randbedingungen wie Stau- und Geländehöhen (Potentiale) sowie Durchlässigkeitsbeiwerte und Porositäten der einzelnen Bodenschichten eingegeben werden.

Auf der Wasserseite ergeben sich die Potentiale jeweils bis zum maßgebenden Wasserstand, d.h. im LF 2 bis zum Bemessungshochwasser HQ100 und im LF 3 bis zur



wasserseitigen Deichkrone. Auf der Landseite werden in beiden Lastfällen die Potentiale auf Geländeoberkante gesetzt.

Die ermittelten Sickerlinien werden für die Standsicherheitsberechnungen exportiert und im Programm GGU-Stability eingelesen.

Für die instationäre Berechnung wird das Programm GGU-Transient verwendet. Als Ausgangszustand dient die stationär berechnete Sickerlinie für den LF 2 und LF 3. Im Programm GGU-Transient können zeitabhängige Randbedingungen festgelegt werden. Zuvor wird für jedes Regelprofil bei unterschiedlichem Einstau eine Absenkkurve bestimmt. Die Grundlage der Absenkkurven bildet eine Ganglinie der Elbe am Pegel Torgau für das Auguthochwasser 2002. Mit Hilfe der erstellten Kurve wird die Absenkung des Wasserspiegels vom Kronenstau bzw. BHW zum wasserseitigen Deichfuß simuliert.

Die Knoten auf der landseitigen Böschung werden mit einer Spezialfunktion belegt, die das Potential nur ansetzt, wenn sich der Wasserstand über dem Knoten befindet. Im Auswertungsprogramm GGU-PLGW kann die Wasserspiegelabsenkung mit der Sickerlinienausbildung an Hand einer Animation verfolgt werden. Abschließend wird die Sickerlinie als programmspezifische Textdatei für das Programm GGU-Stability exportiert. Entsprechend den Ergebnissen der Baugrunduntersuchungen sowie der Konfiguration des Deichkörpers wurden insgesamt 3 repräsentative Deichquerschnitte im Ist-Zustand für die Standsicherheitsberechnungen ausgewählt.

In Tabelle sind die zur Berechnung verwendeten Wasserstände an den untersuchten Deichquerschnitten aufgeführt.

Tabelle 13: Stationierung und Wasserstände

Deichquerschnitt [DQ]	Station [D-km]	BHW (HQ 100) [m ü. NHN]	Kronenstau (LF 3) [m ü. NHN]
DQ 14	2+740	83,52	84,08



Fortsetzung Tabelle 13: Stationierung und Wasserstände

Deichquerschnitt [DQ]	Station [D-km]	BHW (HQ 100) [m ü. NHN]	Kronenstau (LF 3) [m ü. NHN]
DQ 17	3+050	83,41	83,77
DQ 19	3+370	83,38	84,09

Für die einzelnen Schichten der Deichquerschnitte werden die Durchlässigkeitsbeiwerte aus Tabelle 9 verwendet.

Die Ergebnisse der hydraulischen Berechnungen bezüglich der Wassermenge und der Zeitdauer bis zum Austritt der Sickerlinie sind in Tabelle 14, Kapitel 6.1 zusammengefasst. Die Lage der Sickerlinie ist graphisch für alle Deichquerschnitte DQ 14, DQ 17, DQ 19 der Anlage 9 zu entnehmen.

Nach den hydraulischen Berechnungen sind folgende Ergebnisse zusammenzufassen:

Tabelle 14: Ergebnisse der hydraulischen Berechnungen (Wassermengen und Sickerzeiten)

DQ / Wasserstand	Station [D-km]	Sickerwasser (Deichflanke)		Qualmwasser (Deichhinterland)		Zeit bis zum Wasseraustritt an der Landseite [Tage]	
		m ³ /s	l/d	m ³ /s	l/d	Deich- flanke	Hinter- land
DQ 14 / Krone	2+740	0	0	$6,0 \cdot 10^{-8}$	5,2	0	> 1 Jahr
DQ 14 / BHW	2+740	0	0	$4,3 \cdot 10^{-8}$	3,7	0	> 1 Jahr
DQ 17 / Krone	3+050	0	0	$2,0 \cdot 10^{-8}$	1,7	0	> 1 Jahr
DQ 17 / BHW	3+050	0	0	$1,5 \cdot 10^{-8}$	1,3	0	> 1 Jahr
DQ 19 / Krone	3+370	0	0	$1,4 \cdot 10^{-7}$	12,1	0	343
DQ 19 / BHW	3+370	0	0	$1,0 \cdot 10^{-7}$	8,6	0	1 Jahr

Erläuterungen zu Tabelle 14:

Krone Kronenstau
BHW Lastfall 2 (Bemessungshochwasser - HQ100)



Aus Tabelle 14 ist zu erkennen, dass bei allen 3 Deichquerschnitten, unter allen Wasserständen kein Sickerwasser an der landseitigen Deichböschung austritt. Bis zum Wasseraustritt im Deichhinterland vergehen am Deichquerschnitt 19 bei Kronenstau maximal 343 Tage. Am Deichquerschnitt DQ 14 und DQ 17 wurden Sickerzeiten von über einem Jahr ermittelt.

Im Programm GGU-Stability werden die jeweiligen hydraulischen Untergrundverhältnisse komplett eingelesen. Es wird unter der Annahme einer vollständigen Durchsickerung gerechnet. Als Verkehrslast werden nach Vorgabe 10 kN/m² im Lastfall 2 und 5 kN/m² im Lastfall 3 auf der Deichkrone angesetzt. Auf dem Deichverteidigungsweg wird, in Absprache mit dem Auftraggeber, in beiden Lastfällen eine Verkehrslast SLW 60 mit 33,3 kN/m² angesetzt.

Nach Bestimmung des Suchbereiches und Festlegung der zu untersuchenden Gleitkreismittelpunkte werden nach dem Konzept der Teilsicherheiten die kritischsten Gleitkreise mit den Ausnutzungsgraden berechnet.

In den Tabellen 15 und 16 sind die Ergebnisse der Böschungsbruchberechnung zusammengefasst.

Tabelle 15: Ergebnisse der Böschungsbruchberechnung

DQ	Station	BHW (LF 2)	Kronenstau (LF 3)
	[D-km]	Landseite μ	Landseite μ
DQ 14	2+740	0,77	0,81
DQ 17	3+050	0,67 / 0,87 *	0,70 / 0,93 *
DQ 19	3+370	0,71	0,69

Tabelle 16: Ergebnisse der Böschungsbruchberechnung (schnelle Wasserspiegelabsenkung)

DQ	Station	BHW (LF 2)	Kronenstau (LF 3)
	[D-km]	Wasserseite μ	Wasserseite μ
DQ 14	2+740	0,72	0,69



Fortsetzung Tabelle 16: Ergebnisse der Böschungsbruchberechnung (schnelle Wasserspiegelabsenkung)

DQ	Station	BHW (LF 2)	Kronenstau (LF 3)
	[D-km]	Wasserseite μ	Wasserseite μ
DQ 17	3+050	0,86 / 1,25 *	0,82 / 1,21 *
DQ 19	3+370	0,75	0,73

Erläuterungen zu Tabellen 15 und 16:

BHW Lastfall 2 (Bemessungshochwasser –HQ100)

* bindiger Deichkörper mit Kohäsion $c = 0$

rot Sicherheit nicht vorhanden

Im Ergebnis der land-, und wasserseitigen Böschungsbruchberechnungen ist festzustellen, dass die Standsicherheit an allen Deichquerschnitten, mit einer Kohäsion von $c = 2$ für den bindigen Deichkörper, und unter allen Lastfällen gegeben ist. Im Fall einer schnellen Wasserspiegelabsenkung, ab Kronenstau und HQ100, bei kohäsionslosem bindigen Deichkörper ist die Standsicherheit der wasserseitigen Böschung nicht vorhanden.

Die Berechnung der Grundbruchsicherheit erfolgte ebenfalls mit dem Programm GGU-Stability. Die Berechnungsergebnisse sind in den Tabellen 17 und 18 zusammengestellt.

Tabelle 17: Ergebnisse der Grundbruchberechnung

DQ	Station	BHW (LF 2)	Kronenstau (LF 3)
	[D-km]	Landseite μ	Landseite μ
DQ 14	2+740	0,76	0,77
DQ 17	3+050	0,93 / 0,94 *	0,86 / 0,88 *
DQ 19	3+370	1,00	1,01



Tabelle 18: Ergebnisse der Grundbruchberechnung (schnelle Wasserspiegelabsenkung)

DQ	Station [D-km]	BHW (LF 2) Wasserseite μ	Kronenstau (LF 3) Wasserseite μ
DQ 14	2+740	0,77	0,74
DQ 17	3+050	0,95 / 1,15 *	0,91 / 1,13 *
DQ 19	3+370	0,80	0,77

Erläuterungen zu Tabellen 17 und 18:

BHW Lastfall 2 (Bemessungshochwasser –HQ100)

* bindiger Deichkörper mit Kohäsion $c = 0$

rot Sicherheit nicht vorhanden

Im Ergebnis der land-, und wasserseitigen Grundbruchberechnungen ist festzustellen, dass die Standsicherheit der Landseite am DQ 19, mit einer Kohäsion von $c = 2$ für den bindigen Deichkörper, im LF 2 und LF 3 nicht gegeben ist. Infolge der auf dem Deichverteidigungsweg angesetzten Verkehrslast von $33,3 \text{ kN/m}^2$ ist die Standsicherheit des Weges, und somit des Deiches nicht gegeben (siehe Anlage 10, Blatt 38 und Blatt 40). Bei fehlender Verkehrslast auf dem Deichverteidigungsweg ergeben sich tiefe Gleitkreise durch den Deich und das Hinterland, wobei die Standsicherheit des Deiches gegeben ist (siehe Anlage 10, Blatt 38b und 40b).

Im Fall einer schnellen Wasserspiegelabsenkung, ab Kronenstau und HQ100, bei kohäsionslosem bindigen Deichkörper, ist die Standsicherheit am Deichquerschnitt DQ 17 nicht gegeben.

Der Nachweis gegen Abschieben wurde ebenfalls mit dem Programm GGU-Stability geführt. Dabei wurden mit dem Verfahren nach Janbu mögliche polygonale Gleitflächen in der Deichaufstandsfläche untersucht. Die Versagensform „Gleitfuge in der Aufstandsfläche“ ergibt erfahrungsgemäß sehr große Sicherheiten. Das heißt, ein Abschieben bzw. Gleiten auf der Deichaufstandsfläche in horizontaler Richtung ist sehr unwahrscheinlich.

Tabelle 19: Ergebnisse des Gleitnachweises (Abschieben)

DQ	Station	BHW (LF 2)	Kronenstau (LF 3)
	[D-km]	Wasserseite μ	Wasserseite μ
DQ 14	2+740	0,12	0,21
DQ 17	3+050	0,17 / 0,20 *	0,22 / 0,26 *
DQ 19	3+370	0,13	0,22

Erläuterungen zu Tabelle 19:

BHW Lastfall 2 (Bemessungshochwasser –HQ100)

* bindiger Deichkörper mit Kohäsion $c = 0$

Die Sicherheit gegen Abschieben ist an allen Deichquerschnitten gegeben.

6.2 Lokale Tragsicherheit im Bereich der landseitigen Böschung

Liegt der Austrittspunkt der Sickerlinie bei vollständiger Durchströmung des Deichkörpers oberhalb des Deichfußes, dann erfolgt der örtliche Standsicherheitsnachweis. Dabei werden im Bereich des Sickerlinienaustritts böschungsnah Gleitkreise untersucht.

An keinem der drei berechneten Deichquerschnitte tritt die Sickerlinie oberhalb des landseitigen Böschungsfußes aus. Die örtliche Sicherheit kann deshalb als vorhanden betrachtet werden.

6.3 Lokale Tragsicherheit am Böschungsfuß (Spreizsicherheit)

Der Nachweis der Spreizsicherheit erfolgt über die Berechnung von polygonalen Gleitkörpern nach Janbu durch den landseitigen Böschungsfuß. Dieser Nachweis muss mit den in der Deichbasis wirkenden Spannungen erfolgen. Voraussetzung dafür ist, dass der Suchbereich für die Ermittlung der Gleitkörper mit der geringsten Sicherheit auf die Deichbasis bzw. eine naheliegende Schwächezone und den Deichfuß als solchen fixiert ist. Die Ergebnisse sind in Tabelle 20 dargestellt.

Tabelle 20: Ergebnisse der Spreizsicherheitsnachweise

DQ	Station	BHW (LF 2)	Kronenstau (LF 3)
	[D-km]	Wasserseite μ	Wasserseite μ
DQ 14	2+740	0,38	0,40
DQ 17	3+050	0,70 / 0,72 *	0,60 / 0,63 *
DQ 19	3+370	0,52	0,45

Erläuterungen zu Tabelle 20:

BHW Lastfall 2 (Bemessungshochwasser – HQ100)

* bindiger Deichkörper mit Kohäsion $c = 0$

Der Nachweis gegen Spreizen ist für alle drei Deichquerschnitte erbracht.

6.4 Auftriebssicherheit und hydraulischer Grundbruch

Nach DIN 1054:2010-12 Kap. 10.2 und 10.3 wird im Grenzzustand UPL und HYD der Nachweis gegen Aufschwimmen (Auftrieb) und die Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch geführt.

Der Nachweis wird mit dem Programm GGU-Uplift durchgeführt. Das Programm rechnet den Ausnutzungsgrad nach DIN 1054:2010-12 wie folgt aus:

- Auftrieb

„Die Auftriebssicherheit wird für jede Bodenschicht über einen Vergleich der Bodengewichte mit dem Wasserdruck an der Schichtunterkante bestimmt. Reibungskräfte werden nicht berücksichtigt.“

[Benutzerhandbuch GGU-Uplift, Version 3]

$$\mu_N = \frac{\sum_{i=1}^N G_{k, stb}^i \cdot \gamma_{G, stb}}{A_k \cdot \gamma_{G, dst}}$$



μ_N = Ausnutzungsgrad der Schicht N

A_k = an der Unterfläche der betrachteten Bodenschicht einwirkende charakteristische hydrostatische Auftriebskraft

$\gamma_{G,dst}$ = Teilsicherheitsbeiwert für ungünstige ständige Einwirkungen im Grenzzustand UPL (BS-T: $\gamma_{G,dst} = 1,05$ und BS-A: $\gamma_{G,dst} = 1,0$)

$G_{k,stab}$ = unterer charakteristischer Wert günstiger ständiger Einwirkungen

$\gamma_{G,stab}$ = Teilsicherheitsbeiwert für günstige ständige Einwirkungen im Grenzzustand UPL (BS-T: $\gamma_{G,stab} = 0,95$; BS-A: $\gamma_{G,stab} = 0,95$)

Schicht 1 (i = 1) ist die oberste Schicht

Der Nachweis ist bei $\mu \leq 1,0$ erfüllt.

- *Hydraulischer Grundbruch*

„Die Hydraulische Grundbruchsicherheit wird für jede Schicht über einen Vergleich der Bodengewichte mit der Strömungskraft an der Schichtunterkante bestimmt.“

[Benutzerhandbuch GGU-Uplift, Version 3]

$$\mu_N = \frac{\sum_{i=1}^N G_k^i \cdot \gamma_{G,stab}}{S_k' \cdot \gamma_H}$$

μ_N = Ausnutzungsgrad der Schicht N

S_k' = charakteristische Strömungskraft auf den durchströmten Bodenkörper

γ_H = Teilsicherheitsbeiwert für die Strömungskraft bei günstigem bzw. ungünstigem Untergrund im Grenzzustand HYD
(günstiger Untergrund: BS-T: $\gamma_H = 1,3$; BS-A: $\gamma_H = 1,2$
ungünstiger Untergrund: BS-T: $\gamma_H = 1,6$; BS-A: $\gamma_H = 1,35$)

G_k' = charakteristische Eigenlast des durchströmten Bodenkörpers unter Auftrieb

$\gamma_{G,dst}$ = Teilsicherheitsbeiwert für günstige ständige Einwirkungen im Grenzzustand HYD (BS-T: $\gamma_{G,stab} = 0,90$; BS-A: $\gamma_{G,stab} = 0,95$)

Schicht 1 (i = 1) ist die oberste Schicht

Der Nachweis ist bei $\mu \leq 1,0$ erfüllt.

Für die Eingabe in das Programm GGU-Uplift wird ein vertikaler Schnitt nahe des theoretischen landseitigen Deichfußes gewählt. Im Regelfall werden die Schichtmächtigkeiten der Bohrung am landseitigen Deichfuß übernommen. Ist keine Bohrung am Deichfuß angeordnet, werden die Mächtigkeiten der Schichten aus dem Deichquerschnitt ermittelt. Nach Abstimmung mit der GGU mbH kann der Nachweis gegen hydraulischen Grundbruch ohne die Mutterbodendeckschicht geführt werden. Die Wassersäule in Anlage 11 auf der rechten Seite der Darstellung steht für das Potential an der Landseite, das sich im Deichkörper bereits abgebaut hat. Dieses Potential wird im Programm GGU-SS-FLOW2D am betreffenden landseitigen Knoten, an der Unterkante der nachzuweisenden Schicht, abgegriffen. Der Nachweis der statischen Sicherheit gegenüber Auftrieb und hydraulischen Grundbruch berücksichtigt damit den entstehenden Potentialabbau während der Durchsickerung des Deichkörpers. Die linke Seite stellt die Mächtigkeit der Bodenschichten dar, wobei der landseitige Wasserstand im Deichkörper manuell aus den hydraulischen Modellen abgegriffen wird.

Tabelle 21: Ergebnisse der Auftriebsberechnung und der hydraulischen Grundbruchberechnung unter Berücksichtigung des Potentialabbaus

DQ	Station [D-km]	BHW (LF 2)		Kronenstau (LF 3)	
		Auftrieb μ	hydraulischer Grundbruch μ	Auftrieb μ	hydraulischer Grundbruch μ
DQ 14	2+740	0,67	0,48	0,70	0,55
DQ 17	3+050	0,49	0,09	0,48	0,09
DQ 19	3+370	0,57	0,49	0,61	0,54

Erläuterungen zur Tabelle 21:

BHW Lastfall 2 (Bemessungshochwasser –HQ100)

Der Nachweis der Sicherheit gegen Auftrieb und hydraulischen Grundbruch wurde für den Lastfall 3 Kronenstau und den LF2 Bemessungshochwasser HQ100 an allen drei Deichquerschnitten erbracht.



6.5 Sicherheit gegenüber Materialtransport

Laut Merkblatt DWA-M 507 I43I werden drei Formen der inneren Erosion unterschieden:

- Suffosion innerhalb eines Erdstoffes
- Kontakterosion an den Schichtgrenzen (senkrecht bzw. parallel zur Schichtgrenze)
- Erosionsgrundbruch am landseitigen Böschungsfuß.

Suffosion

Suffosion kann geschehen, wenn aus einem Korngemisch die feineren Partikel durch die Sickerströmung umgelagert bzw. wegtransportiert werden. Schließlich bilden nur noch die groben Kornfraktionen das Korngerüst, wobei es durch den Einfluss der Sickerströmung zu einem Zusammenbruch dieses Gerüsts kommen kann.

Die Gefahr der Suffosion besteht vor allem bei ungleichförmiger und intermittierend gestufter Kornverteilung eines Bodens. Bei bindigen Erdstoffen ($d_{10} \leq 0,002 \text{ mm}$) ist auf Grund der Haftfestigkeit der Bodenteilchen im Allgemeinen nicht mit Materialtransport zu rechnen (BAW I44I, Ausnahme: dispersive Tone).

An den drei untersuchten Deichquerschnitten besteht der Deichkörper aus homogenem, bindigen Erdstoff. Auch alle anderen Deichquerschnitte im Abschnitt Z 10.4 weisen einen bindigen Deichkörper auf. Die d_{10} -Werte der bindigen Materialien liegen unter bzw. bei $0,002 \text{ mm}$. Der bindige Erdstoff kann damit als nicht suffosionsgefährdet beurteilt werden.

Im gesamten Untersuchungsgebiet Elbe Z 10.4 ist der bindigen Deichkörper suffosionssicher.



Erosionsgrundbruch

Wenn die Sickerströmung am landseitigen Deichfuß bzw. im Hinterland austritt, können Bodenteilchen ausgeschwemmt werden und zu einem fortschreitenden Erosionsgrundbruch führen. Durch Wühltierbefall oder Bewuchs können diese Prozesse begünstigt werden.

Für einen möglichen Erosionsgrundbruch sind der Aufbau des Deiches (gemischtkörniger Boden), der Austrittspunkt der Sickerlinie und die Dauer der Durchsickerung zu untersuchen. Bei allen Deichquerschnitten tritt die Sickerlinie am landseitigen Deichfuß bzw. am Fuß des Auflastfilters aus. Auf Grund der errechneten Durchsickerungszeiten von mindestens 343 Tagen (DQ 19) im Lastfall 3 und der Suffosionssicherheit des eingebauten bindigen Materials im Deichkörper ist eine Erosionsgrundbruchgefährdung für diese Deichquerschnitte nicht gegeben.

Im gesamten Untersuchungsgebiet sind die Böden sicher gegen Erosionsgrundbruch.

Kontakterosion

Bei einer Kontakterosion können an der Kontaktfläche von einem fein- zu einem grobkörnigeren Boden, bedingt durch die Sickerichtung des Wassers, die Teilchen des feinen Bodens durch die des größeren Bodens hindurch gewaschen werden. Dies hat eine Änderung des Bodenvolumens zur Folge. Die Stützung der oberhalb gelegenen Bauwerke kann verloren gehen oder es bilden sich Geländesenken.

Die Sickerströmung erfolgt im Deich nur in bindigen Materialien. Auch die Deichbasis besteht im gesamten Abschnitt aus bindigem Auelehm. Zudem sind die bindigen Materialien suffosionssicher.

Im gesamten Untersuchungsgebiet sind die Deichbaustoffe kontakterosionssicher.



Fugenerosion

Fugenerosion findet vor allem zwischen massiven Bauteilen und dem angrenzenden Erdstoff statt. Üblicherweise tritt Fugenerosion bei unmittelbar auf dem Untergrund errichteten Fertigteilbauwerken, entlang massiver Einbauten im Deich, bei stark dynamisch belasteten Bauwerken, nach Kippbewegungen oder ähnlichen Erscheinungen auf.

Die Gesetzmäßigkeiten sind identisch denen der bereits nachgewiesenen inneren Erosion (Suffosion), so dass in diesem Fall ebenfalls von einer ausreichenden Sicherheit ausgegangen werden kann.

Zusammenfassende Beurteilung zur Sicherheit gegenüber Materialtransport

Der Deichbaustoff ist im gesamten Untersuchungsgebiet sicher gegen Suffosion, Erosionsgrundbruch, Kontakterosion und Fugenerosion.

7 Tragsicherheitsnachweise – Deich im Plan-Zustand

7.1 Allgemeine Tragsicherheit nach Teilsicherheitskonzept

Gemäß der Festlegung der DIN 1054:2010-12 ist für die Beurteilung der Tragsicherheit ausschließlich das Teilsicherheitskonzept maßgebend.

Der maximale Ausnutzungsgrad nach dem Konzept der Teilsicherheiten darf den Wert $\mu = 1$ nicht überschreiten.

Tabelle 22: Teilsicherheitsbeiwerte γ nach DIN 1054:2010-12, Tabelle A2.1/A2.2, GEO-3

	γ_G	γ_Q	γ_ϕ	γ_c / γ_{cu}
LF 2 □ BS-P	1,0	1,2	1,15	1,15
LF 3 □ BS-A	1,0	1,0	1,1	1,1



Erläuterungen zu Tabelle 22:

γ_G	Teilsicherheitsbeiwert für ständige Einwirkungen
γ_Q	Teilsicherheitsbeiwert für ungünstige veränderliche Einwirkungen
γ_φ	Teilsicherheitsbeiwert für den Reibungsbeiwert $\tan\varphi$
γ_c / γ_{cu}	Teilsicherheitsbeiwert für die Kohäsion des drainierten Bodens / Scherfestigkeit des undrainierten Bodens
BS-P	Bemessungssituation für ständige Einwirkungen
BS-A	Bemessungssituation für außergewöhnliche Einwirkungen

Die Berechnung der allgemeinen Tragsicherheit für den Böschungs- und Grundbruch an der Land-, und Wasserseite erfolgt mit dem Programm GGU-Stability mit dem Lamellenverfahren nach BISHOP (Anlage 12). Bevor diese Standsicherheitsberechnungen durchgeführt werden können, müssen die hydraulischen Verhältnisse an jedem Regelprofil ermittelt werden.

Für die Einschätzung der Porenwasserdruckverhältnisse wurden hydraulische Berechnungen zur Ermittlung der Sickerlinie und der anfallenden Sickerwassermenge mit dem Programm GGU-SS-FLOW2D durchgeführt. Die Berechnungen basieren auf der FEM-Methode. Für jedes Regelprofil und unterschiedlichen Einstau muss ein FE-Netz generiert werden, an dem die entsprechenden Randbedingungen wie Stau- und Geländehöhen (Potentiale) sowie Durchlässigkeitsbeiwerte und Porositäten der einzelnen Bodenschichten eingegeben werden. Auf der Wasserseite ergeben sich die Potentiale jeweils bis zum maßgebenden Wasserstand, d.h. im LF 2 bis zum Bemessungshochwasser HQ100 und im LF 3 bis zur wasserseitigen Deichkrone. Auf der Landseite werden in beiden Lastfällen die Potentiale auf Geländeoberkante gesetzt.

Die ermittelten Sickerlinien werden für die Standsicherheitsberechnungen exportiert und im Programm GGU-Stability eingelesen.

Für die instationäre Berechnung wird das Programm GGU-Transient verwendet. Als Ausgangszustand dient die stationär berechnete Sickerlinie für den LF 2 und LF 3. Im Programm GGU-Transient können zeitabhängige Randbedingungen festgelegt werden. Zuvor wird für jedes Regelprofil bei unterschiedlichem Einstau eine Absenkkurve bestimmt. Die Grundlage der Absenkkurven bildet eine Ganglinie der Elbe am Pegel Tor-



gau für das Auguthochwasser 2002. Mit Hilfe der erstellten Kurve wird die Absenkung des Wasserspiegels vom Kronenstau bzw. BHW zum wasserseitigen Deichfuß simuliert.

Die Knoten auf der landseitigen Böschung werden mit einer Spezialfunktion belegt, die das Potential nur ansetzt, wenn sich der Wasserstand über dem Knoten befindet. Im Auswertungsprogramm GGU-PLGW kann die Wasserspiegelabsenkung mit der Sickerlinienausbildung an Hand einer Animation verfolgt werden. Abschließend wird die Sickerlinie als programmspezifische Textdatei für das Programm GGU-Stability exportiert. Entsprechend den Ergebnissen der Standsicherheitsberechnungen im Ist-Zustand wurden die 3 bereits berechneten Deichquerschnitte nach den vorgegebenen Regelprofil der Fugro Consult GmbH in Dresden neu konstruiert, und für den Plan-Zustand neu berechnet.

In Tabelle 23 sind die zur Berechnung verwendeten Wasserstände an den untersuchten Deichquerschnitten aufgeführt.

Tabelle 23: Stationierung und Wasserstände

Deichquerschnitt [DQ]	Station [D-km]	BHW (HQ 100) [m ü. NHN]	Kronenstau (LF 3) [m ü. NHN]
DQ 14	2+740	83,52	84,52
DQ 17	3+050	83,41	84,41
DQ 19	3+370	83,38	84,39

Für die einzelnen Schichten der Deichquerschnitte werden die Durchlässigkeitsbeiwerte aus Tabelle 9 verwendet.

Die Ergebnisse der hydraulischen Berechnungen bezüglich der Wassermenge und der Zeitdauer bis zum Austritt der Sickerlinie sind in Tabelle 24, zusammengefasst. Die Lage der Sickerlinie ist graphisch für alle Deichquerschnitte DQ 14, DQ 17, DQ 19 der Anlage 12 zu entnehmen.



Nach den hydraulischen Berechnungen sind folgende Ergebnisse zusammenzufassen:

Tabelle 24: Ergebnisse der hydraulischen Berechnungen (Wassermengen und Sickerzeiten)

DQ / Wasserstand	Station [D-km]	Sickerwasser (Deichflanke)		Qualmwasser (Deichhinterland)		Zeit bis zum Wasseraustritt an der Landseite [Tage]	
		m ³ /s	l/d	m ³ /s	l/d	Deich- flanke	Hinter- land
DQ 14 / Krone	2+740	1,2*10 ⁻⁸	1,0	6,7*10 ⁻⁸	5,8	> 1 Jahr	> 1 Jahr
DQ 14 / BHW	2+740	0	0	5,0*10 ⁻⁸	4,3	0	> 1 Jahr
DQ 17 / Krone	3+050	2,0*10 ⁻⁸	0,7	2,0*10 ⁻⁷	17,3	> 1 Jahr	> 1 Jahr
DQ 17 / BHW	3+050	0	0	7,6*10 ⁻⁸	6,6	0	> 1 Jahr
DQ 19 / Krone	3+370	2,6*10 ⁻⁸	2,2	1,9*10 ⁻⁷	16,4	> 1 Jahr	> 1 Jahr
DQ 19 / BHW	3+370	1,2*10 ⁻⁸	1,0	8,8*10 ⁻⁸	7,7	> 1 Jahr	> 1 Jahr

Erläuterungen zu Tabelle 24:

Krone Kronenstau
BHW Lastfall 2 (Bemessungshochwasser - HQ100)

Aus Tabelle 24 ist zu erkennen, dass an den Deichquerschnitten 17 und 19 minimale Wassermengen, an der landseitigen Deichböschung (am Auflastfilter) austreten. Bis zum Wasseraustritt im Deichhinterland und am Auflastfilter vergeht an allen 3 Deichquerschnitten über einem Jahr.

Im Programm GGU-Stability werden die jeweiligen hydraulischen Untergrundverhältnisse komplett eingelesen. Es wird unter der Annahme einer vollständigen Durchsickerung gerechnet. Als Verkehrslast werden nach Vorgabe 10 kN/m² im Lastfall 2 und 5 kN/m² im Lastfall 3 auf der Deichkrone angesetzt. Auf dem Deichverteidigungsweg wird, in Absprache mit dem Auftraggeber, in beiden Lastfällen eine Verkehrslast SLW 60 mit 33,3 kN/m² angesetzt.



Nach Bestimmung des Suchbereiches und Festlegung der zu untersuchenden Gleitkreismittelpunkte werden nach dem Konzept der Teilsicherheiten die kritischsten Gleitkreise mit den Ausnutzungsgraden berechnet.

In den Tabellen 25 und 26 sind die Ergebnisse der Böschungsbruchberechnung zusammengefasst.

Tabelle 25: Ergebnisse der Böschungsbruchberechnung

DQ	Station [D-km]	BHW (LF 2) Landseite μ	Kronenstau (LF 3) Landseite μ
DQ 14	2+740	0,62	0,64
DQ 17	3+050	0,60	0,54
DQ 19	3+370	0,60	0,55

Tabelle 26: Ergebnisse der Böschungsbruchberechnung (schnelle Wasserspiegelabsenkung)

DQ	Station [D-km]	BHW (LF 2) Wasserseite μ	Kronenstau (LF 3) Wasserseite μ
DQ 14	2+740	0,77	0,78
DQ 17	3+050	0,95	0,96
DQ 19	3+370	0,80	0,71

Erläuterungen zu Tabellen 25 und 26:

BHW Lastfall 2 (Bemessungshochwasser – HQ100)

Im Ergebnis der land-, und wasserseitigen Böschungsbruchberechnungen ist festzustellen, dass die Standsicherheit an allen Deichquerschnitten und unter allen Lastfällen gegeben ist. Im Fall einer schnellen Wasserspiegelabsenkung, ab Kronenstau und HQ100, bei kohäsionslosem bindigen Deichkörper ist die Standsicherheit der wasserseitigen Böschung nicht vorhanden.



Die Berechnung der Grundbruchsicherheit erfolgte ebenfalls mit dem Programm GGU-Stability. Die Berechnungsergebnisse sind in den Tabellen 27 und 28 zusammengestellt.

Tabelle 27: Ergebnisse der Grundbruchberechnung

DQ	Station [D-km]	BHW (LF 2) Landseite μ	Kronenstau (LF 3) Landseite μ
DQ 14	2+740	0,71	0,74
DQ 17	3+050	0,63	0,63
DQ 19	3+370	0,79	0,87

Tabelle 28: Ergebnisse der Grundbruchberechnung (schnelle Wasserspiegelabsenkung)

DQ	Station [D-km]	BHW (LF 2) Wasserseite μ	Kronenstau (LF 3) Wasserseite μ
DQ 14	2+740	0,84	0,79
DQ 17	3+050	0,91	0,89
DQ 19	3+370	0,84	0,78

Erläuterungen zu Tabellen 27 und 28:

BHW Lastfall 2 (Bemessungshochwasser – HQ100)

Im Ergebnis der land-, und wasserseitigen Grundbruchberechnungen ist festzustellen, dass die Standsicherheit in allen Lastfällen gegeben ist.

Der Nachweis gegen Abschieben wurde ebenfalls mit dem Programm GGU-Stability geführt. Dabei wurden mit dem Verfahren nach JANBU mögliche polygonale Gleitflächen in der Deichaufstandsfläche untersucht. Die Versagensform „Gleitfuge in der Aufstandsfläche“ ergibt erfahrungsgemäß sehr große Sicherheiten. Das heißt, ein Abschieben bzw. Gleiten auf der Deichaufstandsfläche in horizontaler Richtung ist sehr unwahrscheinlich.

Tabelle 29: Ergebnisse des Gleitnachweises (Abschieben)

DQ	Station [D-km]	BHW (LF 2) Wasserseite μ	Kronenstau (LF 3) Wasserseite μ
DQ 14	2+740	0,08	0,19
DQ 17	3+050	0,06	0,15
DQ 19	3+370	0,09	0,19

Erläuterungen zu Tabelle 29:

BHW Lastfall 2 (Bemessungshochwasser – HQ100)

Die Sicherheit gegen Abschieben ist an allen Deichquerschnitten gegeben.

7.2 Lokale Tragsicherheit im Bereich der landseitigen Böschung

Liegt der Austrittspunkt der Sickerlinie bei vollständiger Durchströmung des Deichkörpers oberhalb des Deichfußes, dann erfolgt der örtliche Standsicherheitsnachweis. Dabei werden im Bereich des Sickerlinienaustritts böschungsnah Gleitkreise untersucht.

An den Deichquerschnitten 14 unter Kronenstau und am Deichquerschnitt 19 unter Kronenstau und BHW tritt die Sickerlinie wenige Zentimeter über dem landseitigen Böschungsfuß aus.

Tabelle 30: Ergebnisse der lokalen Böschungsbruchberechnung

DQ	Station [D-km]	BHW (LF 2) Landseite μ	Kronenstau (LF 3) Landseite μ
DQ 14	2+740	–	0,64
DQ 17	3+050	–	–
DQ 19	3+370	0,81	0,77

Die lokale Sicherheit kann an allen Deichquerschnitten als vorhanden betrachtet werden.

7.3 Lokale Tragsicherheit am Böschungsfuß (Spreizsicherheit)

Der Nachweis der Spreizsicherheit erfolgt über die Berechnung von polygonalen Gleitkörpern nach JANBU durch den landseitigen Böschungsfuß. Dieser Nachweis muss mit den in der Deichbasis wirkenden Spannungen erfolgen. Voraussetzung dafür ist, dass der Suchbereich für die Ermittlung der Gleitkörper mit der geringsten Sicherheit auf die Deichbasis bzw. eine naheliegende Schwächezone und den Deichfuß als solchen fixiert ist. Die Ergebnisse sind in Tabelle 31 dargestellt.

Tabelle 31: Ergebnisse der Spreizsicherheitsnachweise

DQ	Station [D-km]	BHW (LF 2) Wasserseite μ	Kronenstau (LF 3) Wasserseite μ
DQ 14	2+740	0,31	0,31
DQ 17	3+050	0,30	0,30
DQ 19	3+370	0,30	0,30

Erläuterungen zu Tabelle 31:

BHW Lastfall 2 (Bemessungshochwasser – HQ100)

Der Nachweis gegen Spreizen ist für alle drei Deichquerschnitte erbracht.

7.4 Auftriebssicherheit und hydraulischer Grundbruch

Nach DIN 1054:2010-12 Kap. 10.2 und 10.3 wird im Grenzzustand UPL und HYD der Nachweis gegen Aufschwimmen (Auftrieb) und die Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch geführt.

Der Nachweis wird mit dem Programm GGU-Uplift durchgeführt. Das Programm rechnet den Ausnutzungsgrad nach DIN 1054:2010-12 wie folgt aus:



- **Auftrieb**

„Die Auftriebssicherheit wird für jede Bodenschicht über einen Vergleich der Bodengewichte mit dem Wasserdruck an der Schichtunterkante bestimmt. Reibungskräfte werden nicht berücksichtigt.“

[Benutzerhandbuch GGU-Uplift, Version 3]

$$\mu_N = \frac{\sum_{i=1}^N G_{k, stb}^i \cdot \gamma_{G, stb}}{A_k \cdot \gamma_{G, dst}}$$

μ_N = Ausnutzungsgrad der Schicht N

A_k = an der Unterfläche der betrachteten Bodenschicht einwirkende charakteristische hydrostatische Auftriebskraft

$\gamma_{G, dst}$ = Teilsicherheitsbeiwert für ungünstige ständige Einwirkungen im Grenzzustand UPL (BS-T: $\gamma_{G, dst} = 1,05$ und BS-A: $\gamma_{G, dst} = 1,0$)

$G_{k, stb}$ = unterer charakteristischer Wert günstiger ständiger Einwirkungen

$\gamma_{G, stb}$ = Teilsicherheitsbeiwert für günstige ständige Einwirkungen im Grenzzustand UPL (BS-T: $\gamma_{G, stb} = 0,95$; BS-A: $\gamma_{G, stb} = 0,95$)

Schicht 1 ($i = 1$) ist die oberste Schicht

Der Nachweis ist bei $\mu \leq 1,0$ erfüllt.

- **Hydraulischer Grundbruch**

„Die Hydraulische Grundbruchsicherheit wird für jede Schicht über einen Vergleich der Bodengewichte mit der Strömungskraft an der Schichtunterkante bestimmt.“

[Benutzerhandbuch GGU-Uplift, Version 3]

$$\mu_N = \frac{\sum_{i=1}^N G_k^i \cdot \gamma_{G, stb}}{S'_k \cdot \gamma_H}$$

μ_N = Ausnutzungsgrad der Schicht N

S'_k = charakteristische Strömungskraft auf den durchströmten Bodenkörper

γ_H = Teilsicherheitsbeiwert für die Strömungskraft bei günstigem bzw. ungünstigem Untergrund im Grenzzustand HYD
(günstiger Untergrund: BS-T: $\gamma_H = 1,3$; BS-A: $\gamma_H = 1,2$)

ungünstiger Untergrund: BS-T: $\gamma_H = 1,6$; BS-A: $\gamma_H = 1,35$)

G'_k = charakteristische Eigenlast des durchströmten Bodenkörpers unter Auftrieb

$\gamma_{G, dst}$ = Teilsicherheitsbeiwert für günstige ständige Einwirkungen im Grenzzustand

HYD (BS-T: $\gamma_{G, stb} = 0,90$; BS-A: $\gamma_{G, stb} = 0,95$)

Schicht 1 (i = 1) ist die oberste Schicht

Der Nachweis ist bei $\mu \leq 1,0$ erfüllt.

Für die Eingabe in das Programm GGU-Uplift wird ein vertikaler Schnitt nahe des theoretischen landseitigen Deichfußes gewählt. Im Regelfall werden die Schichtmächtigkeiten der Bohrung am landseitigen Deichfuß übernommen. Ist keine Bohrung am Deichfuß angeordnet, werden die Mächtigkeiten der Schichten aus dem Deichquerschnitt ermittelt. Nach Abstimmung mit der GGU mbH kann der Nachweis gegen hydraulischen Grundbruch ohne die Mutterbodendeckschicht geführt werden. Die Wassersäule in Anlage 14 auf der rechten Seite der Darstellung steht für das Potential an der Landseite, das sich im Deichkörper bereits abgebaut hat. Dieses Potential wird im Programm GGU-SS-FLOW2D am betreffenden landseitigen Knoten, an der Unterkante der nachzuweisenden Schicht, abgegriffen. Der Nachweis der statischen Sicherheit gegenüber Auftrieb und hydraulischen Grundbruch berücksichtigt damit den entstehenden Potentialabbau während der Durchsickerung des Deichkörpers. Die linke Seite stellt die Mächtigkeit der Bodenschichten dar, wobei der landseitige Wasserstand im Deichkörper manuell aus den hydraulischen Modellen abgegriffen wird.

Tabelle 32: Ergebnisse der Auftriebsberechnung und der hydraulischen Grundbruchberechnung unter Berücksichtigung des Potentialabbaus

DQ	Station [D-km]	BHW (LF 2)		Kronenstau (LF 3)	
		Auftrieb	hydraulischer Grundbruch	Auftrieb	hydraulischer Grundbruch
		μ	μ	μ	μ
DQ 14	2+740	0,59	0,42	0,66	0,56
DQ 17	3+050	0,47	0,10	0,47	0,13
DQ 19	3+370	0,60	0,48	0,67	0,59

Erläuterungen zur Tabelle 32:

BHW Lastfall 2 (Bemessungshochwasser – HQ100)



Der Nachweis der Sicherheit gegen Auftrieb und hydraulischen Grundbruch wurde für den Lastfall 3 Kronenstau und den LF2 Bemessungshochwasser HQ100 an allen drei Deichquerschnitten erbracht.

7.5 Sicherheit gegenüber Materialtransport

Laut Merkblatt DWA-M 507 werden drei Formen der inneren Erosion unterschieden:

- Suffosion innerhalb eines Erdstoffes
- Kontakterosion an den Schichtgrenzen (senkrecht bzw. parallel zur Schichtgrenze)
- Erosionsgrundbruch am landseitigen Böschungsfuß.

Suffosion

Suffosion kann geschehen, wenn aus einem Korngemisch die feineren Partikel durch die Sickerströmung umgelagert bzw. wegtransportiert werden. Schließlich bilden nur noch die groben Kornfraktionen das Korngerüst, wobei es durch den Einfluss der Sickerströmung zu einem Zusammenbruch dieses Gerüsts kommen kann.

Die Gefahr der Suffosion besteht vor allem bei ungleichförmiger und intermittierend gestufter Kornverteilung eines Bodens. Bei bindigen Erdstoffen ($d_{10} \leq 0,002 \text{ mm}$) ist auf Grund der Haftfestigkeit der Bodenteilchen im Allgemeinen nicht mit Materialtransport zu rechnen (BAW, Ausnahme: dispersive Tone).

Der neu aufgebaute Deichkörper im gesamten Elbabschnitt Z 10.4 besteht aus homogenem, bindigen Erdstoff. Die d_{10} -Werte der bindigen Materialien liegen unter bzw. bei $0,002 \text{ mm}$. Der bindige Erdstoff kann damit als nicht suffosionsgefährdet beurteilt werden.



Im gesamten Untersuchungsgebiet Elbe Z 10.4 ist der bindigen Deichkörper suffosions-sicher.

Erosionsgrundbruch

Wenn die Sickerströmung am landseitigen Deichfuß bzw. im Hinterland austritt, können Bodenteilchen ausgeschwemmt werden und zu einem fortschreitenden Erosionsgrundbruch führen. Durch Wühltierbefall oder Bewuchs können diese Prozesse begünstigt werden.

Für einen möglichen Erosionsgrundbruch sind der Aufbau des Deiches (gemischtkörniger Boden), der Austrittspunkt der Sickerlinie und die Dauer der Durchsickerung zu untersuchen. Auf Grund der errechneten Durchsickerungszeiten von über einem Jahr und der Suffosionssicherheit des eingebauten bindigen Materials im Deichkörper ist eine Erosionsgrundbruchgefährdung für diese Deichquerschnitte nicht gegeben.

Im gesamten Untersuchungsgebiet sind die Böden sicher gegen Erosionsgrundbruch.

Kontakterosion

Bei einer Kontakterosion können an der Kontaktfläche von einem fein- zu einem grobkörnigeren Boden, bedingt durch die Sickerichtung des Wassers, die Teilchen des feinen Bodens durch die des gröberen Bodens hindurch gewaschen werden. Dies hat eine Änderung des Bodenvolumens zur Folge. Die Stützung der oberhalb gelegenen Bauwerke kann verloren gehen oder es bilden sich Geländesenken.

Beim Nachweis der Kontakterosion laut Merkblatt DWA-M 507 wird zuerst das geometrische Kriterium geprüft. Dabei erfolgt ein Vergleich der Partikelgröße des feineren Materials (Basismaterial B) mit den Porenöffnungsweiten des gröberen Materials (Filtermaterial F).



$$\frac{d_{15,F}}{d_{85,B}} \leq 4$$

Nach den gegebenen Baugrundverhältnissen ist das geometrische Kriterium der Kontakterosion für den bindigen Deichbaustoff (Basismaterial) und dem nichtbindigen Kies im Auflastfilter (Filtermaterial) zu untersuchen. Zur Untersuchung wurden die Summenkurven der RKS 121/11 (UM) und eine Probe des Deichverteidigungsweges an der Station 3+560 (GI) herangezogen.

$$\frac{d_{15,GI} = 0,25}{d_{85,UM} = 0,07} = 3,6 < 4$$

Das geometrische Kriterium der Kontakterosion ist erfüllt. Zusätzlich ist der bindige Deichbaustoff suffosionssicher.

Im gesamten Untersuchungsgebiet sind die Deichbaustoffe kontaktersionssicher.

Fugenerosion

Fugenerosion findet vor allem zwischen massiven Bauteilen und dem angrenzenden Erdstoff statt. Üblicherweise tritt Fugenerosion bei unmittelbar auf dem Untergrund errichteten Fertigteilbauwerken, entlang massiver Einbauten im Deich, bei stark dynamisch belasteten Bauwerken, nach Kippbewegungen oder ähnlichen Erscheinungen auf.

Die Gesetzmäßigkeiten sind identisch denen der bereits nachgewiesenen inneren Erosion (Suffosion), so dass in diesem Fall ebenfalls von einer ausreichenden Sicherheit ausgegangen werden kann.

Zusammenfassende Beurteilung zur Sicherheit gegenüber Materialtransport

Der Deichbaustoff ist im gesamten Untersuchungsgebiet sicher gegen Suffosion, Erosionsgrundbruch, Kontakterosion und Fugenerosion.



8 Zusammenfassende Auswertung der Untersuchungsergebnisse und bautechnische Empfehlungen

Insgesamt wurden 9 Deichquerschnitte für den Deich Z 10.4 erstellt, womit die Baugrundsituation aufbauend auf die Schwachstellenanalyse aus dem Jahr 2003 weiter präzisiert wurde. Abweichungen von den im Gutachten geschilderten Baugrundverhältnissen für die nicht sondierten Zwischenbereiche sind nicht völlig auszuschließen, jedoch sind gravierende Abweichungen auf Grund der geoelektrischen Ergebnisse nicht zu erwarten.

Wie die Auswertung der Feld- und Laborversuche gezeigt haben, ist der betrachtete Deichabschnitt Z 10.4 über den gesamten Untersuchungsabschnitt relativ homogen aufgebaut. Der Deichkörper wird dabei durchgehend aus bindigem Bodenmaterial (Auffüllungen) aufgebaut.

Wie die Ergebnisse der Feld- und Laborversuche zeigen, handelt es sich bei dem im Deichkörper eingebauten Material um bindiges Bodenmaterial, das nach DIN 18196 im Wesentlichen den Bodengruppen UM/TM entspricht. Die aus der Korngrößenverteilung abgeleiteten Wasserdurchlässigkeiten dieser Böden liegen bei $2 \cdot 10^{-6}$ - $1 \cdot 10^{-10}$ m/s (Tabellenwerte aus I55I). Zum Untersuchungszeitpunkt wurden für das Altdeichmaterial relativ hohe Wassergehälter ermittelt (zw. 17,0 und 41,5 M-%, im Durchschnitt 25,9 M-%).

Auf Grundlage bisherigen Erfahrungswerten im Deichbau ist es möglich, in Verbindung mit den ermittelten Wassergehältern, Rückschlüsse auf die Verdichtbarkeit des Altdeichmaterials zu ziehen. Danach lässt sich ein Verdichtungsgrad von 97 % für das Altdeichmaterial ableiten. Der Gehalt an organischen Bestandteilen wurde nur stichpunktartig ermittelt und variiert für die untersuchten Bodenproben zwischen 2,3 und 5,5 M-%. Auch der Kalkgehalt wurde nur stichprobenartig mit 0,2 bzw. 0,27 M-% ermittelt.



Erfahrungsgemäß liegt die Lagerungsdichte des Altdeichmaterials bei etwa 90-92 %, dies spiegeln die Ergebnisse der Rammsondierungen (DPH) mit einer im Durchschnitt lockeren Lagerung der Auelehme als auch der künstlichen Auffüllungen des Deichkörpers wieder (siehe Pkt. 4.3.2, Tab. 6). Im Falle des erneuten Einbaus bzw. im Zuge der Planung ist die derzeitig, relativ niedrige Lagerungsdichte des bindigen Bodenmaterials zu berücksichtigen.

Wie die chemischen Untersuchungen des Altdeichmaterials nach LAGA M 20 und TR Boden gezeigt haben, wurden Überschreitungen der Grenzwerte für den Zuordnungswert Z 0 festgestellt. Die Überschreitungen der Grenzwerte können allerdings durch die im Allgemeinen vorhandene, geogene Hintergrundbelastung der Flussauen mit Schwermetallen erklärt werden. Des Weiteren sind die z.T. gemessenen niedrigen pH-Werte kein Ausschlusskriterium für die Wiederverwendbarkeit der Böden. Somit sind aus Sicht der Bearbeiter die untersuchten Bodenproben entsprechend der ermittelten Werte im Feststoff und Eluat hinsichtlich der beabsichtigten Verwendung des Materials als Deichbaustoff als völlig unbedenklich zu bewerten. Im Zuge der Fortführung der Planung ist dennoch auf Grund der festgestellten Überschreitungen der Grenzwerte nach LAGA die entsprechende Fachbehörde mit einzubeziehen. Zudem empfehlen wir im Rahmen der späteren Baumaßnahme stichprobenartige Kontrollen des Altdeichmaterials.

Im Ergebnis der durchgeführten physikalischen und chemischen Untersuchungen ist das bindige Altdeichmaterial aus geotechnischer Sicht zur Wiederverwendung als homogenes Deichbaumaterial geeignet.

Im Bereich des Auflastfilters wurde ein Mineralgemisch (GI – nach DIN 18196) mit 32 mm Größtkorn und einem Feinkornanteil von $< 5 \text{ M-\%}$ beprobt. Die aus der Korngrößenverteilung abgeleiteten Wasserdurchlässigkeiten dieses Materials liegen bei $3 \cdot 10^{-4}$ bis $4 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$. Die Auswertung der chemischen Untersuchungsergebnisse nach LAGA M 20 und TR Boden ergab keine Belastungen mit umweltrelevanten Schadstoffen. Aus



geotechnischer Sicht können die Baustoffgemische aus dem Auflastfilter im Zuge der geplanten Deichbaumaßnahme wiederverwendet werden.

Wie die Tragfähigkeitsberechnungen für den Deich gezeigt haben, kann hinsichtlich der Sicherheit gegenüber Materialtransport davon ausgegangen werden, dass der Deichbaustoff im gesamten Untersuchungsgebiet sowohl im Ist-Zustand als auch im Plan-Zustand sicher gegen Suffosion, Erosionsgrundbruch, Kontakterosion und Fugenerosion ist.

In Abhängigkeit vom Wasserstand der Elbe und von der Mächtigkeit des über den wasserführenden, grobkörnigen Böden (Auesande, Terrassensande und –kiese) anstehenden Auelehms (Mächtigkeiten von 4,00 – 7,35 m im Deichdamm) ist bereichsweise von gespannten Grundwasserverhältnissen auszugehen. Nach Auswertung des verwendeten Kartenmaterials sowie der Sondierungsergebnisse ist generell mit einem oberflächennahen Grundwasseranschnitt ab ca. 76,5 m NN zu rechnen. Daher sind nachfolgende Empfehlungen zu beachten:

- ausschließlich statische Nachverdichtung der Deichaufstandsfläche um ein Aufsteigen von Bodenwasser zu verhindern
- weiterführende Wasserhaltungsmaßnahmen sind zu treffen
- Bodenverbesserung bzw. Bodenaustausch mit Altdeichmaterial im Falle des Anschneidens nicht tragfähiger Bereiche

Aus geotechnischer Sicht ist während der Bauausführung besonders auf die hohe Wasserempfindlichkeit der anstehenden, bindigen Böden zu achten, da die schluffigen und tonigen Anteile der Böden bei Durchfeuchtung eine starke Reduzierung der Tragfähigkeit als auch der Verdichtbarkeit bewirken. Die Deichaufstandsfläche ist daher nach Freilegung gegen Wasserzutritt zu schützen.



9 Literaturverzeichnis

Allgemein

- I1I Angebot der ARGE IKP/GGL 631/3/2011 vom 05.08.2011
- I2I Auftrag der LTV Sachsen vom 11.08.2011
- I3I Unterlagen, übergeben durch LTV Sachsen
 - Angebotsabfrage vom 07.07.2011
 - Vertrag Baugrunduntersuchung Nr. FK 1 – 801000-1.265.1261.17-422104 vom 11.08.2011
 - Übersichtslagepläne des Auftraggebers
- I4I 1. Nachtrag zum Angebot Nr. 631/11 vom 11.07.2011 mit Datum vom 15.01.2012
- I5I 2. Nachtrag zum Angebot Nr. 631/11 vom 11.07.2011 mit Datum vom 30.01.2012
- I6I Geophysikalisches und geotechnisches Gutachten zur Schwachstellenanalyse der Elbdeiche, Deich Torgau Elbbrücke-Siel Zwethau km 0+000 – 2+400, km 3+200 – 3+750, Dr. Akid SCO GmbH, Geo Info Tec, Juni 2003
- I7I Protokoll der ARGE IKP/ GGL zur 1. Projektabstimmung vom 05.09.2011
- I8I Protokoll der ARGE IKP/ GGL zur 3. Projektabstimmung vom 12.01.2012
- I9I Geologische Übersichtskarte des Freistaates Sachsen, Maßstab 1:400000
- I10I Geologische Karte 4444, Torgau - Ost, Maßstab 1:25000
- I11I Lithofazieskarte Quartär, Blatt 2466, Eilenburg, Maßstab 1:50000
- I12I Hydrogeologische Karte 1108-1/2, Torgau – Ost/ Bad Liebenwerda, Maßstab 1:50000
- I13I Topografische Übersichtskarte 4444, Torgau - Ost, Maßstab 1:25000

Normen, Merkblätter, Standardwerke

- I14I DIN 1054: Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau - Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-1 (DIN 1054: 2010-12)



- I15I DIN 1055: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 2: Bodenkenngrößen (DIN 1055-2: 2010-11)
- I16I DIN EN 1997-1, Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 1: Allgemeine Regeln (DIN EN 1997-1:2009-09)
- I17I DIN EN 1997-1, Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter - Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 1: Allgemeine Regeln (DIN EN 1997-1/NA:2010-12)
- I18I DIN EN 1997-2, Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter - Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 2: Erkundung und Untersuchung des Baugrundes (DIN EN 1997-2/NA:2010-12)
- I19I DIN 4020: Geotechnische Untersuchungen für bautechnische Zwecke – Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-2 (DIN 4020: 2010-12)
- I20I DIN 4023: Geotechnische Erkundung und Untersuchung – zeichnerische Darstellung der Ergebnisse von Bohrungen und sonstigen direkten Aufschlüssen (DIN 4023:2006-02)
- I21I DIN EN 12699: Ausführungen von besonderen geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau) Verdrängungspfähle (DIN EN 12699: 2001-5)
- I22I DIN EN ISO 14688-1: Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Boden – Teil 1: Grundlagen für Bodenklassifizierungen (DIN EN ISO 14688-1: 2011-06)
- I23I DIN EN ISO 14688-2: Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Boden – Teil 2: Grundlagen für Bodenklassifizierungen (DIN EN ISO 14688-2: 2011-06)
- I24I DIN EN ISO 22475-1: Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Probenentnahmeverfahren und Grundwassermessungen – Teil 1: Technische Grundlagen der Ausführung (EN ISO 22475-1:2007-01)
- I25I DIN EN ISO 22476-2: Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Felduntersuchungen – Teil 2: Rammsondierungen (ISO 22476-2:2005-04)
- I26I DIN EN 933-1, Prüfverfahren für geometrische Eigenschaften von Gesteinskörnungen – Teil 1: Bestimmung der Korngrößenverteilung, Siebverfahren (DIN EN 933-1: 2006-01)



- I27I DIN 18121-1: Baugrund, Untersuchung von Bodenproben – Wassergehalt, Teil 1: Bestimmung durch Offentrocknung (DIN 18121-1: 1998 – 04)
- I28I DIN 18122: Baugrund, Untersuchung von Bodenproben – Zustandsgrenzen (Konsistenzgrenzen), Teil 1: Bestimmung der Fließ- und Ausrollgrenze (DIN 18122-1: 1997 – 07)
- I29I DIN 18122: Baugrund, Untersuchung von Bodenproben – Zustandsgrenzen (Konsistenzgrenzen), Teil 2: Bestimmung der Schrumpfgrenze (DIN 18122-2: 2000 – 09)
- I30I DIN 18123: Baugrund, Untersuchung von Bodenproben: Bestimmung der Korngrößenverteilung (DIN 18123: 2011-04)
- I31I DIN 18128: Baugrund, Untersuchung von Bodenproben: Bestimmung des Glühverlustes (DIN 18128: 2002-12)
- I32I DIN 18129: Baugrund, Untersuchung von Bodenproben: Kalkgehaltsbestimmung (DIN 18129: 2011-07)
- I33I DIN 18130-1: Baugrund, Untersuchung von Bodenproben: Bestimmung des Wasserdurchlässigkeitsbeiwertes (DIN 18130-1: 1998-05)
- I34I DIN 18196: Erd- und Grundbau - Bodenklassifikation für bautechnische Zwecke (DIN 18196:2011-05)
- I35I DIN 18300: VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen – Teil C. Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) - Erdarbeiten (DIN 18300: 2010 – 04)
- I36I DIN 18301: VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen – Teil C. Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) - Bohrarbeiten (DIN 18301: 2010 – 04)
- I37I DIN 19657: Sicherung von Gewässern, Deichen und Küstendünen (DIN 19657: 1973-09)
- I38I DIN 19661-1: Wasserbauwerke, Kreuzungsbauwerke, Durchleitungs- und Mündungsbauwerke (DIN 19661-1: 1998-07)
- I39I DIN 19712: Flussdeiche (DIN 19712: 2011-02)
- I40I DVWK Merkblätter 210/1986 Flussdeiche



- I41I DVWK Merkblätter zur Wasserwirtschaft 221/1992 Anwendung von Geotextilien im Wasserbau
- I42I DVWK Regeln 137/1999 Richtlinien für den ländlichen Wegebau
- I43I DWA-Regelwerk: Merkblatt DWA-M 507, Deiche an Fließgewässern (Entwurf), Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., 2007-02
- I44I Bundesanstalt für Wasserbau (BAW): Merkblatt Anwendung von Kornfiltern an Wasserstraßen (MAK), 1989-08
- I45I Merkblatt für die Verdichtung des Untergrundes und des Unterbaues im Straßenbau, FGSV 2003
- I46I Bundesanstalt für Wasserbau (BAW): Merkblatt Standsicherheit von Dämmen an Bundeswasserstraßen (MSD), 2005-08
- I47I Merkblatt über Bodenverfestigung und Bodenverbesserung mit Bindemittel, FGSV 2004
- I48I Merkblatt über den Einfluss der Hinterfüllung auf Bauwerke, FGSV 1994
- I49I TL SoB-StB 04, Technische Lieferbedingungen für Baustoffgemische und Böden zur Herstellung von Schichten ohne Bindemittel im Straßenbau, Fassung 2007
- I50I Zusätzliche Technische Vertragsbedingung und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau (ZTVE-StB 09), Fassung 2009
- I51I Statik im Erdbau; Türke, H. – 3. Auflage – Berlin: Verlag Ernst und Sohn 1999
- I52I Mitteilungen der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) M 20 (Fassung 2003-11) und TR Boden (Stand 2004-11)
- I53I Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen (Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz KrW/AbfG) vom 27. September 1994
- I54I Verordnung zur Umsetzung des Europäischen Abfallverzeichnisses (Abfallverzeichnis – Verordnung - AVV) vom 10.12.2001
- I55I Bautabellen für Ingenieure; Schneider, K.-J. – 19. Auflage – Düsseldorf: Werner Verlag 2010
- I56I Bodenkundliche Kartieranleitung, AG Boden, 4. Auflage, Hannover 1994



10 Anlagenverzeichnis

Anlage 1	Übersichtslageplan	1 : 25000
Anlage 2	Lageplan der geoelektrischen Profile und Aufschlusspunkte	1 : 1000
Anlage 2.1	Stationierung der Aufschlusspunkte	
Anlage 3	Widerstandstiefenschnitte nach 2d-Inversion	
Anlage 3.1	Widerstandstiefenschnitte nach 2d-Inversion D-km 2+600 bis 3+200	hor. 1 : 1000 vert. 1 : 200
Anlage 3.2	Widerstandstiefenschnitte nach 2d-Inversion D-km 3+200 bis 3+820	hor. 1 : 1000 vert. 1 : 200
Anlage 4	Baugrundlängsschnitte	
Anlage 4.1	Baugrundlängsschnitte D-km 2+600 bis 3+200	hor. 1 : 1000 vert. 1 : 200
Anlage 4.2	Baugrundlängsschnitte D-km 3+200 bis 3+820	hor. 1 : 1000 vert. 1 : 200
Anlage 5	Deichquerschnitt im Ist-Zustand	
Anlage 5.1	Deichquerschnitt DQ 13 im Ist-Zustand Stationierung D-km 2+600	hor. 1 : 150 vert. 1 : 150
Anlage 5.2	Deichquerschnitt DQ 14 im Ist-Zustand Stationierung D-km 2+740	hor. 1 : 150 vert. 1 : 150
Anlage 5.3	Deichquerschnitt DQ 15 im Ist-Zustand Stationierung D-km 2+820	hor. 1 : 150 vert. 1 : 150
Anlage 5.4	Deichquerschnitt DQ 16 im Ist-Zustand Stationierung D-km 2+930	hor. 1 : 150 vert. 1 : 150
Anlage 5.5	Deichquerschnitt DQ 17 im Ist-Zustand Stationierung D-km 3+050	hor. 1 : 150 vert. 1 : 150
Anlage 5.6	Deichquerschnitt DQ 18 im Ist-Zustand Stationierung D-km 3+245	hor. 1 : 150 vert. 1 : 150



Anlage 5.7	Deichquerschnitt DQ 19 im Ist-Zustand Stationierung D-km 3+370	hor. 1 : 150 vert. 1 : 150
Anlage 5.8	Deichquerschnitt DQ 20 im Ist-Zustand Stationierung D-km 3+520	hor. 1 : 150 vert. 1 : 150
Anlage 5.9	Deichquerschnitt DQ 21 im Ist-Zustand Stationierung D-km 3+700	hor. 1 : 150 vert. 1 : 150
Anlage 6	Ergebnisse der Rammkernsondierungen	
Anlage 6.1	Schichtenverzeichnisse RKS 89/11 bis RKS 153/11	
Anlage 6.2	Profildarstellungen der Rammkernsondierungen RKS 89/11 bis RKS 153/11	
Anlage 7	Einzelprofile mit den Rammdiagrammen der Sondierungen mit der Schweren Rammsonde (DPH)	
Anlage 8	Festlegung des Laborprogramms und Ergebnisse der petrophysikalischen und chemischen Laboruntersuchungen	
Anlage 8.1	Bestimmung der Korngrößenverteilungen	
Anlage 8.2	Ergebnisse der Konsistenzgrenzenbestimmung incl. Wassergehaltsbestimmung	
Anlage 8.3	Ergebnisse der Kalkgehaltsbestimmung	
Anlage 8.4	Ergebnisse der Glühverlustbestimmung	
Anlage 8.5	Zusammenfassung der bodenmechanischen Laboruntersuchungen	
Anlage 8.6	Prüfberichte der chemischen Bodenuntersuchungen nach LAGA	
Anlage 9	Ergebnisse der hydraulischen Berechnungen Deich im Ist-Zustand	hor. 1 : 150 vert. 1 : 150
Anlage 10	Ergebnisse der Tragsicherheitsnachweise Deich im Ist-Zustand	hor. 1 : 150 vert. 1 : 150
Anlage 11	Ergebnisse zur Auftriebs- und hydraulischen Grund- bruchberechnung mit Potentialabbau Deich im Ist-Zustand	hor. 1 : 150 vert. 1 : 150



Anlage 12	Ergebnisse der hydraulischen Berechnungen Deich im Plan-Zustand	hor. 1 : 150 vert. 1 : 150
Anlage 13	Ergebnisse der Tragsicherheitsnachweise Deich im Plan-Zustand	hor. 1 : 150 vert. 1 : 150
Anlage 14	Ergebnisse zur Auftriebs- und hydraulischen Grund- bruchberechnung mit Potentialabbau Deich im Plan-Zustand	hor. 1 : 150 vert. 1 : 150

Bildteil