



GEOTECHNISCHER BERICHT

Stufe Voruntersuchungen nach DIN 4020

analytec Dr. Steinhau
Ingenieurgesellschaft für
Baugrund, Geophysik und
Umweltengineering mbH

Bauvorhaben:

Errichtung eines Hochwasserrückhaltebeckens an der Kleinen Striegis südlich des Ortsteils Berthelsdorf der Stadt Hainichen zwischen Fluss-km 14+400 und 15+800

**Geophysik
Geotechnik
Hydrogeologie
Altlasterkundung
und -sanierung**

Auftraggeber:

**Stadt Hainichen
Markt 1
09661 Hainichen**

**Beratung
Konzeption
Techn. Realisierung
Interpretation
Gutachten**

Projektbearbeiter:

Dr. rer. nat. D. Steinhau

**Forschung
Entwicklung**

analytec-Projekt-Nr.:

M-020/2015

Umfang des Berichtes:

**40 Seiten
8 Anlagen**

Geschäftsbereich Chemnitz
Aktienstraße 5a
D - 09224 Chemnitz, OT Mittelbach
Tel. (0371) - 85 21 09
Fax (0371) - 84 22 611

E-mail: analytec@steinhau.de
Internet:
<http://www.steihau.de>

Chemnitz-Mittelbach, den 02.06.2015

Geschäftsbereich Dresden
Zur Wetterwarte 10, Hs. 107
D - 01109 Dresden
Tel. (0351) - 88 02 004
Fax (0351) - 88 89 660

E-mail: Dresden@steinhau.de



INHALTSVERZEICHNIS

| | | Seite |
|-------|---|-------|
| 1 | Veranlassung und Aufgabenstellung | 6 |
| 2 | Arbeitsunterlagen | 7 |
| 3 | Baugelände | 9 |
| 4 | Untersuchungsumfang | 12 |
| 5 | Geologische und hydrogeologische Verhältnisse | 14 |
| 5.1 | Geologisch-tektonische Situation | 14 |
| 5.2 | Hydrogeologische Situation | 16 |
| 6 | Widerstandsgeoelektrische Messungen | 18 |
| 6.1 | Beschreibung des Messprinzips der Widerstandsgeoelektrik | 18 |
| 6.2 | Gerätetechnik, Messparameter und Datenprozessing | 21 |
| 6.3 | Interpretation der geophysikalischen Messungen | 24 |
| 6.3.1 | Allgemeine Vorbemerkungen | 24 |
| 6.3.2 | Baugrundbezogene Interpretation in den Baufeldern der HWRB..... | 25 |
| 7 | Baugrundsichtung | 27 |
| 7.1 | Im Untersuchungsabschnitt angetroffene Bodenschichten..... | 27 |
| 7.2 | Bautechnische Eigenschaften der Baugrundsichten | 29 |
| 8 | Bodenkennwerte / Berechnungswerte | 32 |
| 9 | Geotechnische Schlussfolgerungen zur Standortauswahl | 33 |
| 10 | Abfalltechnische Untersuchungen | 34 |
| 10.1 | Gesetzliche Grundlagen | 34 |
| 10.2 | Untersuchungsergebnisse | 37 |
| 11 | Schlussbemerkungen..... | 40 |



ANLAGENVERZEICHNIS

- Anlage A 1 Kartenausschnitte und historische Unterlagen
- Anlage A 1/1 Ausschnitt aus der topographischen Karte im Maßstab 1 : 10 000 (mit eingezeichnetem Betrachtungsraum)
 - Anlage A 1/2 Vergrößerter Ausschnitt aus der geologischen Karte Nr. 5044 Frankenberg-Hainichen im Maßstab 1 : 25 000 (2. rev. Auflage 1908, mit eingezeichnetem Betrachtungsraum)
- Anlage A 2 Lageplan mit den Ansatzpunkten der geotechnischen Aufschlüsse, den Messlinien der Geophysik sowie den Schnittspuren der Baugrundschnitte A - A' und B - B', Maßstab 1 : 500
- Anlage A 3 Widerstands-Tiefen-Schnitte als Resultat der 2D-tomographischen widerstandsgeoelektrischen Messungen (2 Blätter)
- Anlage A 4 Bohrprofile und Schichtenverzeichnisse der geotechnischen Aufschlüsse (nach DIN 4022, Maßstab 1 : 25) und sowie Schlagzahldarstellungen n_{10} der schweren Rammsondierungen (DPH) nach DIN EN ISO 22476-2
- Anlage A 5 Ergebnisse der bodenmechanischen Laboruntersuchungen
- Anlage A 5/1 Übersicht zu den Bodenprüfergebnissen
 - Anlage A 5/2 Ermittlung von Kornverteilungen nach DIN 18 123, T 1 für 3 Bodenproben
 - Anlage A 5/3 Ermittlung von Konsistenzgrenzen nach DIN 121, T 1 für 1 Bodenprobe
 - Anlage A 5/4 Untersuchung einer Grundwasserprobe hinsichtlich der Betonaggressivität nach DIN EN 206-1
 - Anlage A 5/5 Untersuchung einer Grundwasserprobe zur Abschätzung der Korrosionswahrscheinlichkeit des Grundwassers nach DIN 50 929 gegenüber Stahl
- Anlage A 6 Baugrundschnitte hor. Maßstab 1 : 500, vert. Maßstab 1 : 50
- Anlage A 6/1 Baugrundschnitt A – A' für das nördliche Baufeld (HWRB 2)
 - Anlage A 6/2 Baugrundschnitt B – B' für das südliche Baufeld (HWRB 1)
- Anlage A 7 Darstellung der Interpretationsergebnisse für die geophysikalischen Messungen im Lageplan mit den Ansatzpunkten der geotechnischen Aufschlüsse, Maßstab 1 : 500 (2 Blätter)
- Anlage A 8 Laborprüfbericht zu den schadstoffanalytischen Untersuchungen



Im Text verwendete Abkürzungen

| | |
|-----------------------|--|
| ASN | - Abfallschlüsselnummer |
| BE | - Bohrende |
| BL | - Bohrloch |
| BTEX | - Benzol, Toluol, Ethylbenzol und Xylol, |
| BBodSchG | - Bundes-Bodenschutzgesetz |
| BS | - Bohrsondierung(=Rammkernsondierung) |
| elektr. Leitf. | - elektrische Leitfähigkeit |
| EOX | - extrahierbare organisch gebundene Halogenverbindungen |
| GOK | - Geländeoberkante |
| HWRB | - Hochwasserrückhaltebecken |
| i. d. R. | - in der Regel |
| KrW-/AbfG | - Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen (Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz) |
| LAGA | - Länderarbeitsgemeinschaft Abfall |
| MKW | - infrarotaktive (IR-) Mineralölkohlenwasserstoffe (n-Alkane C 10 – C 39, Isoalkane, Cycloalkane und aromatische Kohlenwasserstoffe) |
| n. b. | - nicht bestimmt |
| OK | - Oberkante |
| OS | - Originalsubstanz (= TS) |
| PAK | - polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe |
| PCB | - polychlorierte Biphenyle |
| PM | - Profilmeter |
| RStO 12 | - Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen, Ausgabe 2012 |
| SMUL | - Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft |
| ZTVA-StB 97 | - Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Aufgrabungen in. Verkehrsflächen, Ausgabe 1997, Fassung 2006 |
| ZTVE-StB 09 | - Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau, Fassung 2009 |



TABELLENVERZEICHNIS

| | Seite |
|--|-------|
| Tab. 1 Geotechn. Aufschlüsse und Grundwasserverhältnisse im Untersuchungsgebiet | 17 |
| Tab. 2 Übersicht zu den Messlinien der 2D-tomographischen Geoelektrikmessungen | 23 |
| Tab. 3 Spezifische elektrische Widerstände für verschiedene Böden und Fels sowie Grundwasser (grob abgeschätzte Werte) | 24 |
| Tab. 4 Regelschichtung des Baugrundes im betrachteten Untersuchungsgebiet | 28 |
| Tab. 5 Berechnungskennwerte in Anlehnung an DIN 1055 für die im baupraktischen Tiefenbereich anstehenden Bodenschichten | 32 |
| Tab. 6 Zuordnungswerte zur Bewertung der Feststoffgehalte in Bodenproben gemäß der LAGA-Empfehlung 20 (Tab. II.1.2.2 und II.1.2.4, Stand 05.11.2004) | 36 |
| Tab. 7 Zuordnungswerte zur Bewertung der Eluatkonzentrationen in Bodenproben gemäß der LAGA-Empfehlung 20 (Tab. II.1.2.3 und II.1.2.5, Stand 05.11.2004) | 37 |
| Tab. 8 Analytikergebnisse für die schadstoffanalytisch untersuchten Feststoffproben – Untersuchungen in der Festsubstanz | 38 |
| Tab. 9 Analytikergebnisse für die schadstoffanalytisch untersuchten Feststoffproben – Eluatuntersuchungen | 39 |



1 Veranlassung und Aufgabenstellung

Bei den Hochwasserereignissen der Jahre 2002 und 2013 wurde die Stadt Hainichen schwer getroffen. Die Überflutungen im Stadtgebiet wurden durch Kleine Striegis verursacht. Deshalb ließ die Stadtverwaltung von Hainichen in der Folge ein Hochwasserschutzkonzept erstellen, das an der Kleinen Striegis oberhalb des Hainichener Ortsteils Berthelsdorf die Errichtung eines Hochwasserrückhaltebeckens (HWRB) vorsieht. Das HWRB soll gemäß dieser Planung ein Stauvolumen von mindestens 120.000 m³ aufweisen. Für den Standort des Absperrdammes wurden durch den Planer, die ICL Ingenieur Consult Dr.-Ing. A. Kolbmüller GmbH, nach Absprache mit der Stadtverwaltung Hainichen zwei potentielle Standortbereiche im Tal der Kleinen Striegis südwestlich von Berthelsdorf ausgewählt. Die beiden Standorte der als HWRB1 und HWRB2 bezeichneten Staubecken können aus dem nachfolgenden aus den Planungsunterlagen entnommenen Kartenausschnitt ersehen werden.

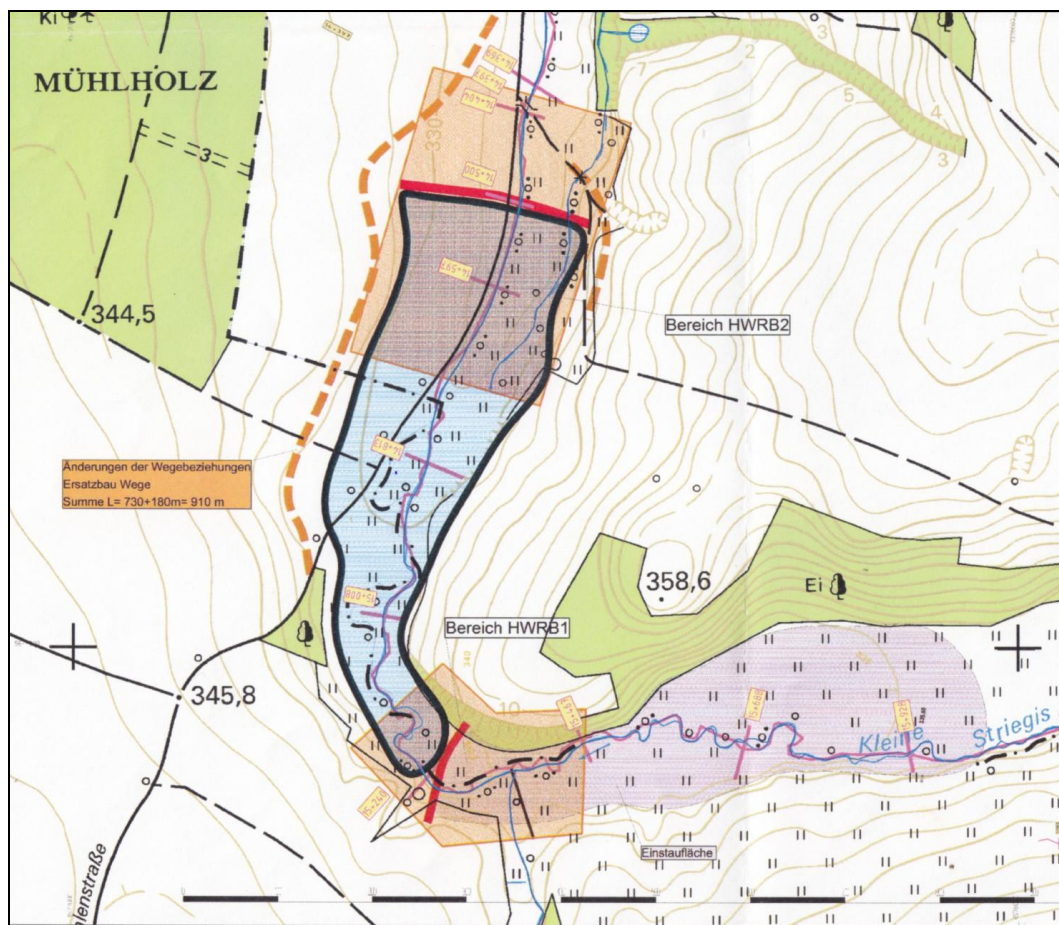


Abb. 1: Mögliche Standorte für ein HWRB im Tal der Kleinen Striegis bei Hainichen



Es wird nach gegenwärtigem Bearbeitungsstand geplant, das Absperrbauwerk der HWRB als Erdschüttdamm mit einer Höhe zwischen 4,50 und 6,00 m und einer Länge zwischen 120 m und 200 m zu errichten. Die Geometrie wird dabei im wesentlichen vom jeweiligen Standort des Absperrbauwerks bestimmt.

Im Zusammenhang mit der notwendigen Auswahl einer Vorzugsvariante sollte für beide in der Abbildung 1 ausgewiesenen potentiell in Frage kommenden Standorte des Absperrdammes eine Baugrundvoruntersuchung vorgenommen werden. Der Leistungsumfang zur Durchführung der Baugrundvoruntersuchung nach DIN 4020 wurde in der Angebotsabfrage der Stadtverwaltung Hainichen vom 27.01.2015 recht detailliert vorgegeben. Im Rahmen der Erkundungsarbeiten werden folgende Teilleistungen als nötig erachtet:

- Oberflächengeophysikalische Messungen (Widerstandsgeoelektrik) auf mindestens drei Messlinien im Bereich beider potentiell in Frage kommenden Standorte des Absperrdammes. Nachfolgende Interpretation der geophysikalischen Messungen mit dem Ziel einer Festlegung von Ansatzpunkten für die geotechnischen Aufschlüsse.
- Ausführen einer problemangepassten Anzahl an geotechnischen Aufschlüssen in Form von Bohrsondierungen und schweren Rammsondierungen auf den Messprofilen der widerstandsgeoelektrischen Messungen zwecks einer Kalibrierung und Extrapolation der geophysikalischen Messdaten.
- Entnahme von Bodenproben aus charakteristischen Schichtkomplexen für nachfolgende bodenmechanische und deklarationsanalytische Laboruntersuchungen.
- Gewinnen von Grundwasserproben zur Feststellung der Betonaggressivität und der Korrosivität gegenüber nicht und niedriglegierten Stählen.
- Auswerten von vorliegenden Standortinformationen und Ableiten von charakteristischen Bodenkennwerten inkl. eines Vorschlages für die Gründung des Absperrdammes an der zu favorisierenden Stelle im Tal der Kleinen Striegis südlich von Berthelsdorf. Zusammenfassende Darstellung der gewonnenen Erkenntnisse in einem geotechnischen Bericht auf der Stufe Voruntersuchung nach DIN 4020.

2 Arbeitsunterlagen

Für die Baugrunderkundung wurden dem Auftragnehmer durch den Auftraggeber sowie durch die ICL Ingenieur Consult Dr.-Ing. A. Kolbmüller GmbH, Büro Chemnitz folgende Unterlagen zur Verfügung gestellt:



- U 1 - Aufgabenstellung und Leistungsverzeichnis der ICL Ingenieur Consult Dr.-Ing. A. Kolbmüller GmbH zur Durchführung einer Baugrundvoruntersuchung für die geplanten Hochwasserrückhaltebecken an der Kleinen Striegis bei Hainichen, Leipzig, Januar 2015.
- U 2 - Auftrag der Stadt Hainichen vom 27.02.2015 zur Durchführung von Baugrundvoruntersuchungen für den Bau eines Hochwasserrückhaltebeckens an der Kleinen Striegis südwestliche von Berthelsdorf.
- U 3 - Stellungnahme des Landkreises Mittelsachsen vom 06.03.2015 zur Kampfmittelbelastung des Untersuchungsgebietes entlang der Kleinen Striegis südwestlich v. Berthelsdorf (Az. 13.1.122101/No).
- U 4 - Vermessungsplan für den Betrachtungsraum im Tal der Kleinen Striegis, Übergabe als DWG/DXF-Files am 04.05.2015 (Bearbeitungsstand April 2015).

Daneben kamen seitens der *analytec* Dr. Steinhau Ingenieurgesellschaft folgende Unterlagen zur Anwendung:

- U 5 - Topographische Karte des Freistaates Sachsen, Stand Mitte 2011, Maßstab 1 : 10 000 (digitale Ausgabe).
- U 6 - Geologische Spezialkarte des Freistaates Sachsen, Blatt 5044 Frankenberg-Hainichen, 2. rev. Auflage 1908, Maßstab 1 : 25.000.
- U 7 - SIEGERT, TH & DANZIG, E.: Erläuterungen zur geologischen Spezialkarte des Freistaates Sachsen, Blatt 5044 Frankenberg-Hainichen, 2. Auflage 1909.
- U 8 - Hydrogeologisches Kartenwerk der DDR, Blatt 1 – hydrogeologische Grundkarte, Blatt 1308-1/2, Frankenberg/Freiberg, 1. Auflage 1984, Maßstab 1 : 50.000.
- U 9 - BECKER, H.: Das Zwischengebirge von Frankenberg in Sachsen. Abhandlungen des Sächsischen Geologischen Landesamtes, Heft 8, Leipzig 1928, 89 S. und 2 Tafeln.
- U 10 - PÄLCHEN, W. & WALTER, H. (Herausg.): Geologie von Sachsen. Geologischer Bau und Entwicklungsgeschichte, 1. Auflage 2008, 537 S.
- U 11 - Schachtscheine und Aufgrabungserlaubnisse der zuständigen Versorgungsträger (Trinkwasser, Strom, Ferngas, Telekom und weitere Telekommunikationsdienstleister)
- U 12 - einschlägige DIN, Kenntnisse und Archivunterlagen der *analytec* Dr. Steinhau Ingenieurgesellschaft mbH aus weiteren geotechnischen Erkundungsprojekten entlang der Kleinen Striegis in Hainichen und Umgebung



3 Baugelände

Der als Anlage A 1 beigefügte Ausschnitt aus der topographischen Karte im Maßstab 1 : 10.000 soll die Lage des geophysikalisch und geotechnisch untersuchten Talabschnittes der Kleinen Striegis südwestlich von Berthelsdorf mit den beiden betrachteten potentiellen Baustandorten für ein HWRB demonstrieren. Einen Überblick über den genauen Verlauf der sechs widerstandsgeoelektrischen Messprofile und zu den Ansatzpunkten der ausgeführten geotechnischen Aufschlüsse gibt der Lageplanausschnitt in der Anlage A 2.

Das Tal der Kleinen Striegis südwestlich von Berthelsdorf stellt sich als breite Talauie mit einer auf der Südwestflanke nur flach einfallenden Talböschung dar. Der nordöstliche Talhang fällt etwas steiler als die westliche Talflanke ein. Die Achse des Tales ist bis zum Fluss-km 15+000 der Kleinen Striegis in SSW-NNO-Richtung ausgerichtet und zeichnet damit eine bedeutende geologische Störungszone morphologisch nach. Der mögliche nördliche Standort für das HWRB befindet sich in diesem SSW-NNO-ausgerichteten Talabschnitt. Das nachfolgende Foto 1 soll den Talabschnitt mit den Stauraum für das Hochwasserrückhaltebecken im Falle der Errichtung des Absperrdammes ungefähr bei Fluss-km 14+270 veranschaulichen.



Foto 1: Fläche für den nördlichen HWRB-Standort im Tal der Kleinen Striegis



Die Kleine Striegis mäandriert in der relativ breiten Talaue in einem naturbelassenen Bett und hat sich dabei nur wenig in die Talsohle eingeschnitten. Das Foto 2 zeigt den typischen Fließgewässerverlauf in der Talaue.



Foto 2: Anstaubereich in Fall der Umsetzung der Nordvariante des HWRB

Die unmittelbare Talaue des Striegistales wird überwiegend als Grünland genutzt. Die flacheren Abschnitte der Talhänge dienen zumeist der landwirtschaftlichen Bearbeitung in Form von Ackerflächen. Unmittelbar am Gewässerlauf befinden sich Roterlenbestände.

Etwa bei Fluss-km 15+000 biegt der Gewässerverlauf der Kleinen Striegis und damit auch die Ausrichtung der Talachse markant nach SO ab. Die Veränderung der Ausrichtung des Tales ist wiederum geologisch durch eine Kreuzung geologischer Störungen erklärbar. Der in der Abbildung 1 sichtbare und genau in diesem Talabschnitt angedachte südliche Standort für den Absperrdamm des HWRB würde genau auf diesem Schnittpunkt verschiedener geologischer Störungszonen liegen. Infolge des Anstehens unterschiedlicher Gesteinsarten mit differierenden Verbandsfestigkeiten an den beiden Talhängen ergeben sich steile Talhänge auf der Ostseite des Tales und deutlich flacher einfallende Hänge auf der West- und Südseite. Oberhalb der Engstelle bei km 15+500 weitet sich die Talaue erneut auf, was wiederum in einem Wechsel der im Untergrund anstehenden Gesteine begründet ist.



Foto 3: Talauie im Abschnitt für den geplanten südlichen Standort des HWRB



Foto 4: Abschnitt des Striegistales mit Baufeld für den südlichen Absperrdamm



Der östliche steil einfallende Talhang im Bereich des südlichen HWRB-Standortes ist bewaldet. In der weitgehend ebenen Talauie befinden sich gegenwärtig überwiegend Weideflächen. Der West- und Südhang des Striegistales im Bereich des geplanten südlichen Standortes für den Absperrdamm des HWRB bei Fluss-km 15+500 wird als Ackerfläche landwirtschaftlich genutzt.

Die Geländehöhen liegen im Betrachtungsraum für den vorgeschlagenen nördlichen Standort des Absperrdammes für das HWRB zwischen ca. 327 m NHN in der Talauie und max. 337 m NHN an den Talflanken. In dem als Alternative angedachten südlichen Baubereich für das HWRB und dessen Absperrdamm bewegen sich die Geländehöhen zwischen ca. 332 m NHN in der Talauie und max. 342 m NHN am Osthang.

Nach der Frosteinwirkungszonenkarte für den Freistaat Sachsen (Ausgabe 2006) ist das Untersuchungsgebiet der Frosteinwirkungszone II und nach RStO 2012 der Zone III zuzurechnen. Das Baugelände für das HWRB im Tal der Kleinen Striegis liegt gemäß DIN 4149 nicht in einer ausgewiesenen Zone mit einer Erdbebengefährdung.

Eine Kampfmittelbelastung der Flächen ist gemäß der fachlichen Stellungnahme des Landkreises Mittelsachsen vom 05.03.2015 (U 3) im Untersuchungsgebiet nicht zu erwarten.

4 Untersuchungsumfang

Im Rahmen der vorzunehmenden Baugrundvoruntersuchungen mit dem Ziel einer Auswahl des zu favorisierenden Standortes für ein Hochwasserrückhaltebecken an der Kleinen Striegis südlich von Berthelsdorf erfolgte eine Kombination von punktuellen geotechnischen Untersuchungsleistungen mit einer vorgeschalteten geophysikalischen Profilerkundung. Darüber hinaus waren stichprobenartig bodenmechanische und deklarationsanalytische Laboruntersuchungen an Proben aus den natürlich anstehenden Böden aus den beiden Untersuchungsgebieten vorzunehmen.

Die den geotechnischen Aufschlüssen vorausgehenden indirekten geophysikalischen Aufschlussarbeiten sollten in Form von 2D-tomographisch umzusetzenden widerstandsgеоelektrischen Messungen auf jeweils drei Messlinien pro Areal realisiert werden. Deshalb wurden im Bereich des angedachten nördlichen Baustandortes nach Abstimmung dem Planer des Bauvorhabens zwei längs und ein senkrecht zur Talachse ausgerichtetes geophysikalisches Messprofil widerstandsgеоelektrisch untersucht.



Im Betrachtungsraum für den weiter südlich gelegenen Baustandort wurden ebenfalls drei Messprofile widerstandsgeoelektrisch untersucht, wobei es sich in diesem Fall um zwei Querprofile und ein in Tallängsrichtung konzipiertes Messprofil handelt.

Nach der Interpretation der im März 2015 durchgeführten widerstandsgeoelektrischen Messungen wurden die Ansatzpunkte der direkten geotechnischen Aufschlüsse (Rammkern- und schwere Rammsondierungen) festgelegt. Zur Erkundung der Baugrundverhältnisse im Bau- feld für die nördliche Variante des HWRB wurde ein Untersuchungsumfang von sechs Rammkernsondierungen und zwei schwere Rammsondierungen als angemessen erachtet. Die Bohrsondierungen ließen sich bis in eine Tiefe von max. 3,50 m u. GOK abteufen und die beiden schwere Rammsondierungen endeten in max. 4 m Tiefe. Im südlichen Untersu- chungsgebiet wurden drei Bohrsondierungen mit einer maximalen Erkundungstiefe von 3,50 m niedergebracht. Die Durchführung der geotechnischen Aufschlussarbeiten geschah am 23.04. und 34.04.2015 durch einen Bohrtrupp der *analytec* Dr Steinhau Ingenieurgesell- schaft unter Nutzung eines Raupenbohrgerätes GTR780 des Herstellers Geotool GmbH. Bei den Rammkernsondierungen kamen offene Sonden von 50 mm und 60 mm Durchmesser zum Einsatz. Die Lage aller Baugrundaufschlüsse kann aus dem Vermessungsplan in der Anlage A 2 entnommen werden. Die Einmessung aller Sondieransatzpunkte wurde lage- und höhenmäßig unter Verwendung eines DGPS-Systems vom Typ Trimble 5700 realisiert.

Die Bodenproben wurden in der Regel als Mischprobe aus einer genetisch einheitlichen Schicht entnommen. Alle Proben wurden unmittelbar nach der Entnahme geologisch be- schrieben und in luftdicht verschlossene 1.000-ml-Plastikbecher verpackt und beschriftet. Die Einstufung nach Bodenarten und deren ingenieurgeologischen Eigenschaften erfolgte nach manuellen und visuellen Prüfverfahren unter Nutzung regionaler Kenntnisse und Erfahrun- gen des Baugrundgutachters. Ausgewählte Proben wurden anschließend im Erdstoffprüfla- bor unseres Ingenieurbüros hinsichtlich bodenphysikalischer Kennwerte untersucht. Das Untersuchungsspektrum umfasste die Ermittlung von Kornverteilungen nach DIN 18 123, die Ermittlung von Wassergehalten nach DIN 18 121 und die Feststellung von Zustandsgrenzen bindiger Böden nach DIN 18122, Teil 1. Weiterhin wurde die Betonaggressivität nach DIN EN 206-1 und die Korrosivität gegenüber nicht- und niedriglegierten Stählen nach DIN 50929 an einer Grundwasserprobe analysiert.

Zur Feststellung von entsorgungsrelevanten Schadstoffbelastungen in den anstehenden Lehm Böden und Flusskiesen resp. Auesanden wurden deklarationsanalytische Laboruntersuchungen an zwei Mischproben beider Chargen nach den Kriterien der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA), Technische Richtlinie (TR) Boden als Mindestuntersuchungsprogramm bei unspezifischem Verdacht (Stand Nov. 2004) durchgeführt.



5 Geologische und hydrogeologische Verhältnisse

5.1 Geologisch-tektonische Situation

Grundlage für die geologische Zuordnung der bei den geotechnischen Aufschlüssen im Untersuchungsgebiet angetroffenen Böden und Gesteine bildet die geologische Karte Blatt Nr. 5044, Blatt Frankenberg-Hainichen (2. Auflage, 1909) im Maßstab 1 : 25 000. Eine Fortschreibung dieses Kenntnisstandes wird in den Abhandlungen des Sächsischen Geologischen Landesamtes Nr. 8 aus dem Jahre 1928 von H. BECKER vorgenommen und in der Monografie „Das Zwischengebirge von Frankenberg in Sachsen“ zusammengefasst (U 9). In dieser Veröffentlichung ist auch eine geologischen Karte für das Frankenger Zwischengebirge enthalten, aus der ein Ausschnitt entnommen und in vergrößerter Form zur Veranschaulichung der geologischen Gesamtsituation als Anlage A 1/2 diesem Bericht beigelegt ist. Weiterhin werden zur geologischen und hydrogeologischen Einstufung der aufgeschlossenen Böden und Gesteine die Blattsnitte des Hydrogeologischen Kartenwerkes der Deutschen Demokratischen Republik im Maßstab 1:50 000 sowie die von W. PÄLCHEN & H. WALTER herausgegebene „Geologie von Sachsen“ aus dem Jahre 2008 (U 10) genutzt.

Das Untersuchungsgebiet befindet regionalgeologisch im Frankenger Zwischengebirge, das ein Bindeglied zwischen den Großstrukturen des Erzgebirges und des Granulitgebirges darstellt. Der SSW-NNO-gerichtete Verlauf der Kleinen Striegis zeichnet mehr oder weniger die westliche Randstörung des Frankenger Zwischengebirges und den Übergang zur Hainichen-Teilsenke der Vorerzgebirgs-Senke nach. Der hier betrachtete Abschnitt der Kleinen Striegis südlich von Berthelsdorf befindet sich in einem Gebiet mit außerordentlich komplizierten geologischen und tektonischen Verhältnissen, die in U 10 auf den Seiten 175 ff., 189 ff. und 226 ff. erläutert werden. Zusammenfassend ist davon auszugehen, dass östlich der Kleinen Striegis unter der Bodenbedeckung üw. kristalline Gesteine mit unterschiedlichem Metamorphosegrad anstehen. Wie in der Anlage A 1/2 zu erkennen ist, handelt es sich dabei bspw. um den Frankenger Gneis (rot), quarzitischer Schiefer und Grauwacken aus dem Karbon (graugrün) und vermutlich silurische Schiefer und Quarzite (braun). Über und neben den kristallinen Bildungen des Frankenger Zwischengebirges sind Molassebildungen der Vorerzgebirgs-Senke (Hainichen-Teilsenke) zu finden, die dem unteren Perm (Rotliegend) zugerechnet werden. Diese als Fanglomerate, arkoseartige Sandsteine, Schluff- und Tonsteine ausgebildeten Sedimente fallen als Schichtkomplex nach W bis NW ein und werden der (unteren) Härtensdorf-Formation innerhalb des Perms zugerechnet. Im Ausschnitt aus der geologischen Karte in der Anlage A 1/2 wurden diese Bildungen noch dem Rotliegend zugeordnet und mit „r“ sowie einer schwach rosa Färbung ausgewiesen.



Im Bereich des angedachten südlichen HWRB-Standortes enden die Molassebildungen der Berthelsdorf-Formation an jener geologischen Störungszone, die durch das Tal der Kleinen Striegis nachgezeichnet wird. Im Plangebiet für den nördlichen Standort des HWRB erstrecken sich die Sedimentgesteine des Perms (Rotliegend) allerdings noch mit geringer Mächtigkeit über das Tal der Kleinen Striegis nach Osten und überdecken damit die SSW-NNO-streichenden kristallinen Gesteine des Frankenberger Zwischengebirges wie den Frankenberger Gneis und die Grauwacken, Schiefer und Quarzite.

Die Sedimentgesteine der Härtensdorf-Formation des Perms und die darunter im Liegenden anzutreffenden kristallinen Gesteine aus dem Karbon sind abhängig von ihrem Kompaktions- resp. Metamorphosegrad oberflächlich unterschiedlich tiefreichend verwittert bzw. entfestigt und werden im Hangenden von quartären Bodenbildungen überlagert. In der Talau der Kleinen Striegis südwestlich von Berthelsdorf werden flächendeckend Auesande sowie Flusskiese in Form von mehrere Meter mächtigen z. T. schwach steinigen Kies-Sand-Gemischen mit variablem, jedoch meist geringem Feinkornanteil angetroffen. Diese quartär abgelagerten Flusskiese und Schotterterrassenbildungen zeichnen sich üblicherweise durch eine mittlere bis hohe Lagerungsdichte der Sedimente aus. Die mittlere Korngröße nimmt i. d. R. von Liegenden zum Hangenden hin ab, so dass die Auesande üblicherweise den oberen Abschluss der eiszeitlichen Sedimentation und des hiermit in Verbindung stehenden Grundwasserleiters bilden. Die Sedimente des Talgrundwasserleiters streichen i. d. R. nur wenige Meter über der Talau an den Talhängen aus. Die Auesande und Flusskiese weisen in der Talau eine durchgehende Grundwasserführung auf. Im Hangenden der grob- bis gemischtkörnig ausgebildeten Auesande und Flusskiese folgen bei natürlichen Lagerungsverhältnissen die Lehmböden als Löß-, Aue- oder Hanglehmbildungen mit einer Maximalmächtigkeit von bis zu 3 m. In der Talau können die Lehmböden allerdings auch nur sehr geringmächtig ausgebildet sein oder auch gänzlich fehlen.

Die natürliche Sedimentabfolge wird im Untersuchungsgebiet im Bereich der Kohlenstraße und bei den übrigen Fahrwegen im Untersuchungsgebiet von geringmächtigen Schüttungen aus ungebundenen Tragschichtmaterialien in der Größenordnung von einigen wenigen Dezimetern überdeckt, wobei es sich vorzugsweise um gemischt- bis grobkörnige Böden oder auch um gebrochene Mineralgemische handelt, Das geologische Normalprofil wird von einer max. 50 cm mächtigen Oberbodenschicht abgeschlossen.

Das geologische Normalprofil wird im Abschnitt 6.3 nochmals ausführlich beschrieben und in der Anlage A 4 grafisch in Form von Bohrprofilen für die geotechnischen Aufschlüsse dargestellt. Außerdem sind in der Anlage A 6 zwei Baugrundschnitte für die angedachten Dammachsen der beiden HWRB-Standorte beigefügt.



5.2 Hydrogeologische Situation

Die hydrogeologischen Verhältnisse sind in der Talau der Kleine Striegis durch die Existenz von zwei Grundwasserstockwerken gekennzeichnet. Der erste Grundwasserleiter ist der quartäre Talgrundwasserleiter – ein typischer Porengrundwasserleiter. Er wird im betrachteten Bauabschnitt vorzugsweise durch Sande und Kiese mit geringem bis vernachlässigbarem Feinkornanteil gebildet, deren Gesamtmächtigkeit max. ca. 3 m beträgt. Häufig ist der unterste Abschnitt der klastischen Sedimentlage (Flusskies) grobkörniger als der Rest des Schichtpaketes ausgebildet. Dieser an der Basis des GWL liegende Abschnitt der Flusskiese weist z. T. auch einen geringen Steinanteil im Kornspektrum auf.

Der Durchlässigkeitsbeiwert k_f für den ersten Grundwasserleiter – abgeschätzt aus der Kornverteilungskurve einer Stichprobe aus dem Auesand und dem Flusskies – liegt in der Größenordnung von 1×10^{-5} m/s. Die quartär angelegte 1. GWL ist nach DIN 18 130 somit als durchlässig anzusehen. Das Grundwasser im ersten Grundwasserleiter liegt in der Regel ungespannt oder bei einer Auelehmüberdeckung auch in einem geringem bis mittlerem Spannungszustand vor.

Der zweite (nichtquartäre) Grundwasserleiter wird von den Sandsteinschichten und den Fanglomeraten der Härtensdorf-Formation sowie der Kluffgrundwasserführung in den geologischen Störungsbereichen der Grauwacken, der Quarzite oder der quarzitischen Schiefer gebildet. Der 2. GWL ist damit überwiegend als Kluffgrundwasserleiter anzusehen und deshalb in seiner Wasserdurchlässigkeit nur schwer einzuschätzen.

Die Kleine Striegis stellt den lokalen Vorfluter für den quartär angelegten Talgrundwasserleiter dar, wobei abhängig vom Grundwasserstand eine Infiltration in die Kleine Striegis oder eine Exfiltration in den Talgrundwasserleiter auftreten kann. Die Grundwasserfließrichtung im quartär angelegten Talgrundwasserleiter folgt der Morphologie der Basis des Grundwasserleiters und ist prinzipiell in Richtung der Talmitte ausgerichtet.

Während der realisierten geotechnischen Aufschlussarbeiten für die Baugrundvorerkundung an den beiden angedachten potentiellen Standorte der HWRB an der Kleinen Striegis wurde der quartäre Grundwasserleiter bei mehreren Bohrsondierungen angetroffen. Eine Übersicht zu den angetroffenen Grundwasserständen gibt die nachfolgende Tabelle 1.


Tabelle 1: Geotechn. Aufschlüsse und Grundwasserverhältnisse im Untersuchungsgebiet.

| Bohrung | Hochwert | Rechtswert | Ansatzhöhe der Brg. in m ü. NHN | Ruhewasserspiegel in m u. GOK | Grundwasserspiegel in m NHN | Bemerkungen |
|---------|------------|------------|---------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|---------------------|
| BS 1 | 56444536,9 | 4577451,4 | 326,86 | 1,70 | 325,16 | GW nicht gespannt |
| BS 2 | 5644429,8 | 4577438,5 | 327,12 | 1,45 | 325,97 | GW gespannt |
| BS 3 | 5644465,7 | 4577344,5 | 332,27 | --- | --- | kein GW angetroffen |
| BS 4 | 5644455,4 | 4577371,7 | 330,24 | 2,45 | 327,79 | GW nicht gespannt |
| BS 5 | 5643916,9 | 4577386,5 | 331,90 | 0,95 | 330,95 | GW nicht gespannt |
| BS 6 | 5644389,9 | 4577544,8 | 336,50 | --- | --- | kein GW angetroffen |
| BS 7 | 5644413,8 | 4577483,1 | 327,17 | 1,15 | 326,02 | GW nicht gespannt |
| BS 8 | 5643858,4 | 4577324,4 | 337,75 | --- | --- | kein GW angetroffen |
| BS 9 | 5643943,2 | 4577411,2 | 341,34 | --- | --- | kein GW angetroffen |

Wie aus den in der Tabelle 1 zusammengestellten Lotungen des GW-Spiegels in den Rammkernsondierbohrlöchern und auch aus den Baugrundschnitten in der Anlage A 6 zu ersehen ist, stellte sich der Ruhewasserspiegel in der Talau bei den geotechnischen Aufschlüssen in etwa bei 1 ... 2 m unter der Geländeoberfläche ein. Es handelt sich demzufolge üw. um einen korrespondierenden quartären Grundwasserhorizont, dessen Wasser je nach dem Anschnittniveau der gut wasserleitenden Sand- bzw. Kieslagen mehr oder weniger gespannt unter den bereichsweise auftretenden Lehmdeckschichten vorliegt. In Abhängigkeit von der Niederschlagsintensität besonders in regenreichen Witterungsabschnitten ist mit jahreszeitlichen Grundwasserschwankungen zu rechnen. Die zum Untersuchungszeitpunkt festgestellte Höhe des Ruhewasserspiegels (Druckspiegelhöhe) ist demzufolge nicht als absolut anzusehen.

Der Bemessungswasserstand ist für die Bauwerke des geplanten Hochwasserrückhaltebeckens ist entsprechend den maßgebenden Höchstwasserständen des Vorfluters anzusetzen. Die gegenwärtig gültigen Höchstwasserstände für die Chemnitz können aus den vorliegenden Messreihen bzw. den hydraulischen Berechnungen für maßgebende Hochwasserereignisse in den Unterlagen bei der Landestalsperrenverwaltung des Freistaates Sachsen entnommen werden.



6 Widerstandsgoelektrische Messungen

Wie bereits unter Pkt. 1 bei der Erläuterung der Aufgabenstellung erwähnt, sollten auf beiden in Betracht kommenden Flächen für die Errichtung des Hochwasserrückhaltebeckens an der Kleinen Striegis vor der Ausführung von punktuellen geotechnischen Aufschlüssen zunächst geophysikalische Profiluntersuchungen in Form von 2D-tomographisch angelegten widerstandsgoelektrischen Messungen vorgenommen werden. Im Bereich beider in Frage kommenden Standorte für die Errichtung des Absperrdammes für das HWRB wurden daher jeweils drei widerstandsgoelektrische Messlinien konzipiert und im März 2015 messtechnisch untersucht.

6.1 Beschreibung des Messprinzips der Widerstandsgoelektrik

Bei den üblicherweise zur widerstandsgoelektrischen Kartierung verwendeten Vierelektrodenanordnungen wird über die beiden äußeren Stromelektroden A und B ein niederfrequenter Wechselstrom I in den Boden eingespeist. Im Untergrund baut sich in Abhängigkeit von der in der Tiefe vorliegenden Gesteinsfolge ein elektrisches Feld auf, wo mit den Messsonden M und N die Potentialdifferenz (Spannung) U abgegriffen wird. Aus Spannung, Stromstärke und den geometrischen Maßen der Messanordnung lässt sich der spezifische elektrische Widerstand errechnen, der einen Bezug zu den anstehenden Gesteinsarten und/oder zur Wasserführung des Untergrundes besitzt.

Zieht man die Elektroden A und B weiter auseinander, so dringt der Strom tiefer in den Boden ein und Änderungen der abgegriffenen Spannung sind die Folge. Es ist somit möglich, über die tiefenabhängig gemessenen Spannungswerte ein Widerstands-Tiefen-Profil zu erhalten und daraus einen Schichtenaufbau des Untergrundes abzuleiten. Dieses Messverfahren wird **vertikale elektrische Sondierung** oder **goelektrische Widerstandssondierung** genannt. Wird jedoch eine konstant beibehaltene geometrische Messanordnung punktuell über eine Messfläche bewegt, so spricht man von einer **goelektrischen Kartierung**. Dabei wird die laterale Widerstandsänderung kartiert, wobei die Wirktiefe des Stromes im Durchschnitt $1/6$ bis $1/8$ der Aufstellungsweite AB beträgt. Unter der Erkundungstiefe soll jene Tiefe verstanden werden, wo der Stromfluss mit der größten Wichtung verläuft und die Bodenschichten auf den gemessenen Summenwiderstand den stärksten Einfluss haben.

Eine Verknüpfung des Prinzips von goelektrischer Kartierung und Sondierung stellt eine widerstandsgoelektrische Messung in Form von **Multielektrodenanordnungen** dar, was



Geotechnischer Bericht **analytec-Projekt-Nr. M-020/2014**

auch als Messung von „Widerstands-Pseudosektionen“ bezeichnet wird. Dabei werden in einer Auslage eine festgelegte Anzahl Elektroden äquidistant gesteckt und über ein spezielles Multi-Core-Kabel mit dem Steuergerät verbunden. Über eine programmgesteuerte Elektrodenauswahl mittels eines in die Geoelektrik-Apparatur integrierten PC werden alle gewünschten Vierpunkt-Anordnungen gemessen. Die daraus resultierenden scheinbaren elektrischen Widerstände können verschiedenen Wirtktiefen (Z-Niveaus) zugeordnet werden. Die Widerstandsdarstellung der ρ_s -Werte ohne expliziten Tiefenbezug wird als „Widerstands-Pseudosektion“ bezeichnet. Werden die Elektroden entlang einer Linie gesteckt, so spricht man von „Linienmessungen“, einer „Sondierungskartierung“ oder auch von „2D-tomographischen widerstandsgeoelektrischen Messungen“.

Liegen Messdaten von mehreren parallel verlaufenden Messlinien vor, so können diese Messergebnisse auch als gemeinsamer Datensatz einem Processing bzw. einer Dateninversion unterzogen werden. Diese Form der räumlichen Auswertung von linienhaft gemessenen elektrischen Widerständen wird manchmal auch „2,5D“-tomographische widerstandsgeoelektrische Messung bezeichnet.

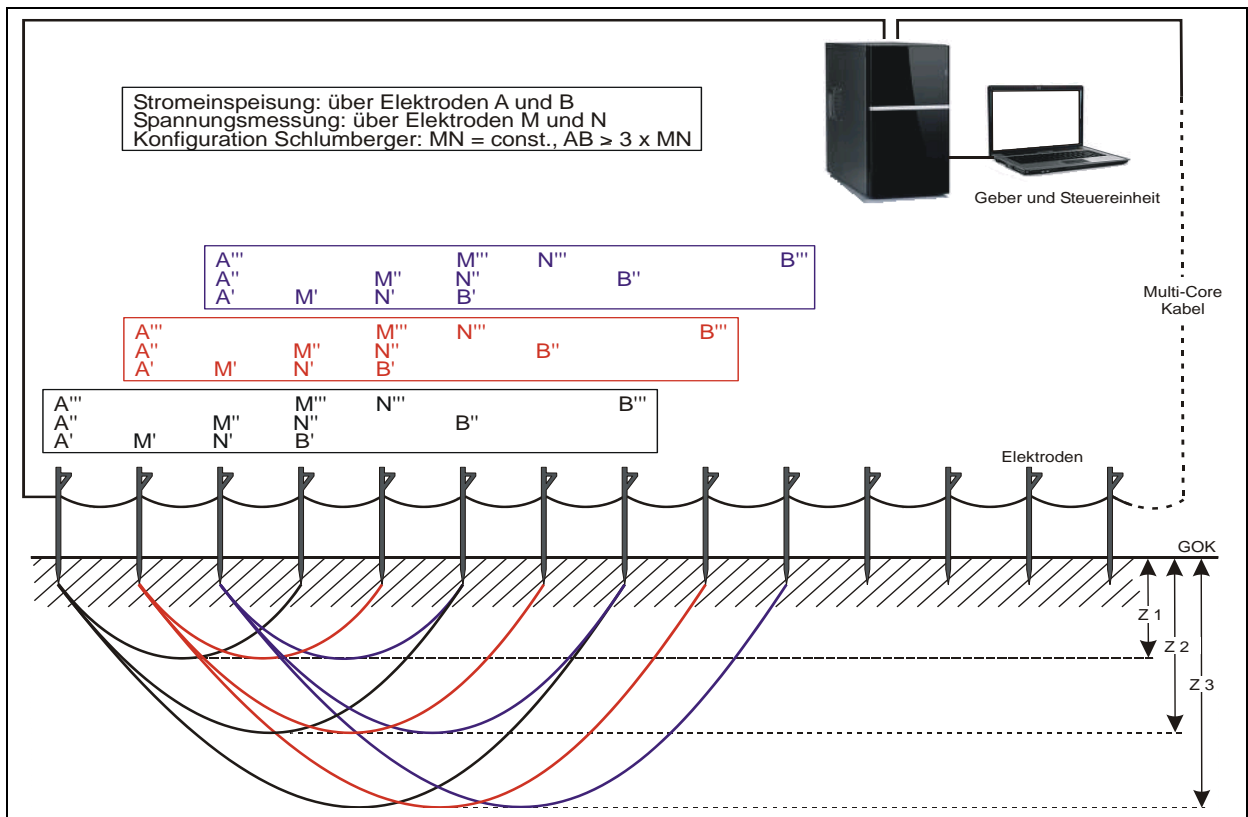


Abb. 2: Messprinzip der Widerstandsgeoelektrik als Multielektrodenmessung.



Foto 5: 2D-tomographische widerstandsgoelektrische Messung

Die gespeicherten Messwerte werden einem Datenprozessing unterzogen, um einen realen Tiefenbezug der Werte des elektrischen Widerstandes für einzelne „Zellen“ im Untergrund zu erhalten. Durch ein Datenprozessing (finite-element-modelling oder finite-difference-modelling) werden bis zur möglichen Aussagetiefe der Elektrodenkonfiguration die elektrischen Widerstände oder die elektrischen Leitfähigkeiten der einzelnen Zellen auf der Basis eines aus den Messwerten abgeleiteten Anfangsmodells modelliert und mit den realen Messdaten verglichen. Durch eine iterative Verbesserung des Anfangsmodells im Vergleich mit dem Modell auf Basis der realen Messdaten erhält man eine modellierte zweidimensionale Verteilung des elektrischen Widerstandes im Untergrund, die am Ende des Prozessings nur relativ wenig von der realen (gemessenen) Widerstandsverteilung im Untergrund abweicht. Diese Abweichung wird in % angegeben und stellt ein wesentliches Kriterium für die Qualität der Messdatensätze und die Anpassung der berechneten tiefenbezogenen Widerstands-Tiefenschnittes an die Feldmessdaten dar. Das Resultat des Prozessings von Messdatensätzen von widerstandsgoelektrischen Messungen sind so genannte „Widerstands-Tiefen-Schnitte“.

Falls Eichbohrungen oder ähnliche geotechnische Aufschlüsse im Untersuchungsgebiet vorhanden sind, kann zur standortbezogenen stratigraphischen Interpretation der goelektrischen Messdaten das üblicherweise aus der gemessenen Widerstandsverteilung gebildete Anfangsmodell noch verfeinert werden, indem die Bodenschichtung in die



Widerstandsbelegung der Zellen für das Anfangsmodell für den elektrischen Widerstand einfließen.

Es ist selbstverständlich auch möglich, die Messungen des elektrischen Widerstandes im Untergrund als dreidimensionale widerstandsgeoelektrische Messungen vorzunehmen. Man spricht dann von „**Flächenmessungen**“, „**Arrays-Messungen**“ oder auch von „**3D-tomographischen widerstandsgeoelektrischen Messungen**“. Bei flächenhaften widerstandsgeoelektrischen Messungen erhält man die räumliche Verteilung des elektrischen Widerstandes resp. der elektrischen Leitfähigkeit im Boden. Eine derartige Elektrodenanordnung wurde bei den Messungen im Frühjahr 2015 auf den Flächen für die potentiell anzulegenden Hochwasserrückhaltebecken noch nicht eingesetzt, ist allerdings für weiterführende Untersuchungen im Rahmen der Baugrundhauptuntersuchung auf der zu favorisierenden Fläche für den Absperrdamm des HWRB ausdrücklich zu empfehlen.

Weitere Details zu Durchführung widerstandsgeoelektrischer Messungen in unterschiedlichen Elektrodenkonfigurationen, zu den theoretischen Grundlagen von Potentialverteilungen im Boden, zu den verwendeten Ausrüstungen bei Messungen mittels Gleichstrom oder niederfrequentem Wechselstrom und zum Datenprozessing können gängigen Nachschlagewerken entnommen werden.

6.2 Gerätetechnik, Messparameter und Datenprozessing

Die widerstandsgeoelektrischen Messungen erfolgten unter Verwendung einer Geoelektrikapparatur vom Typ GeoTom MK8E1000 des Herstellers GEOLOG 2000 Fuß/Hepp GdB, Ingenieurbüro für System- und Messtechnik aus Augsburg und max. vier Multi-Core-Kabeln mit jeweils 25 Abgriffen (50 Elektroden bei Linienmessungen im „Roll-Along-Modus“). Die Steuerung der Geoelektrikapparatur zur Auswahl der jeweiligen Elektroden und Sonden geschah über einen externen PC mit gerätespezifischer Software (GeoTom, Version 7.24).

Die auf den einzelnen Linien durchgehend in Wenner-Schlumberger-Konfiguration realisierten 2D-tomographischen widerstandsgeoelektrischen Messungen erreichten bei verwendeten 50 Elektroden pro Sektion, einem Elektrodenabstand von 2 m und max. 10 durch die Elektrodenansteuerung erfassten Tiefenniveaus eine Erkundungstiefe von mindestens 8 m bezogen auf die Geländeoberkante.

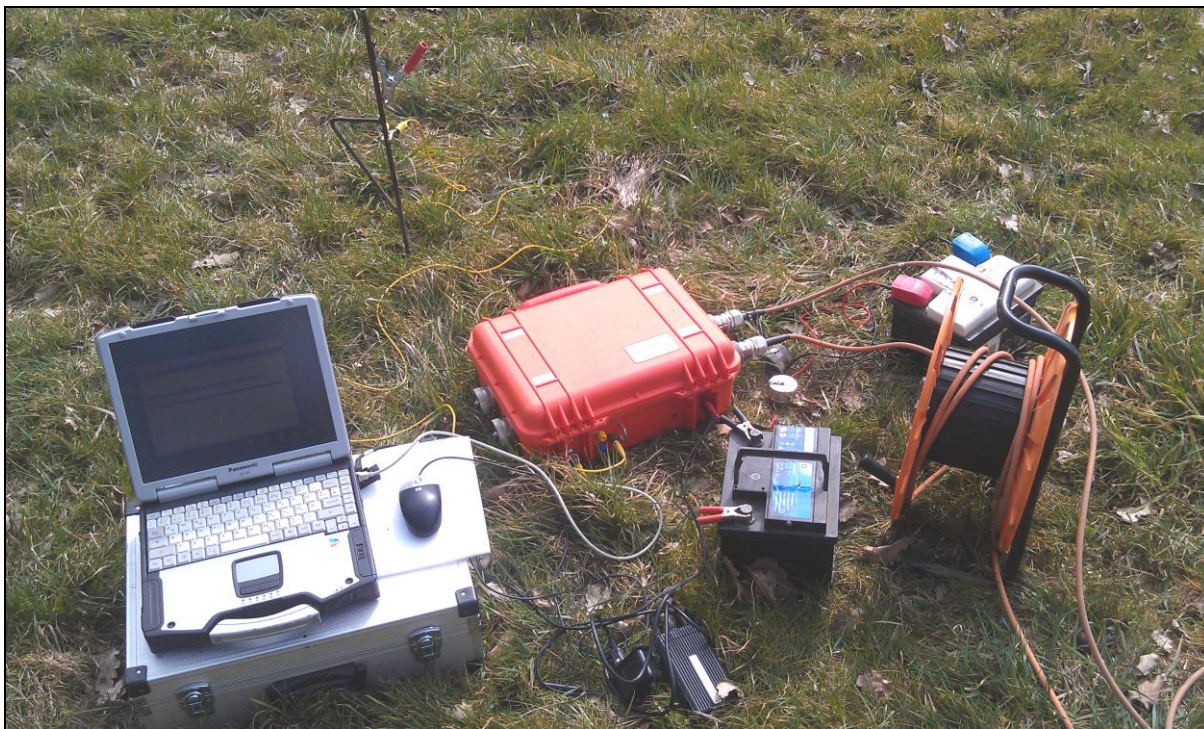


Foto 6: Verwendete Geoelektrikapparatur GeoTom MK8E1000

Die Lagefestlegung und Einmessung aller geophysikalischen Messprofile erfolgte unter Verwendung eines DGPS-Empfängers der Fa. Trimble (Rover Trimble 5700). Die Höhenermittlung der Elektrodenpositionen bildet die Grundlage für ein korrektes Datenprozessing der geophysikalischen Messwerte sowie eine geländebezogene Darstellung der Resultate bei einem nichtvernachlässigbaren Relief in der Geländemorphologie. Die Tabelle 2 fasst nochmals wesentliche Angaben zu den am 23.03.2015 und 24.03.2015 realisierten 2D-tomographischen widerstandsgeoelektrischen Messungen zusammen.



Tabelle 2: Übersicht zu den Messlinien der 2D-tomographischen Geoelektrikmessungen

| Bezeichnung | Datum der Messung | Länge | Elektr.-abstand | Messniveaus | Bemerkung |
|-------------|-------------------|-------|-----------------|-------------|---|
| KS 1 | 23.03.2015 | 278 m | 2 m | 22 | N-S-Profil im Bereich des nördlichen Standortes für das HWRB |
| KS 2 | 23.03.2015 | 98 m | 2 m | 22 | Parallelprofil zu KS 1 auf der Ostseite der Kleinen Striegis |
| KS 3 | 23.03.2015 | 240 m | 2 m | 22 | W-O-Profil als Querprofil zur Talachse im Bereich des Absperrdammes (nördl. HWRB) |
| KS 4 | 24.03.2015 | 148 m | 2 m | 22 | NW-SO-Profil in der Talaue im Bereich des südl. Standortes für das geplante HWRB |
| KS 5 | 24.03.2015 | 140 m | 2 m | 22 | 1. W-O-Profil als Querprofil zur Talachse im Bereich des geplanten südlichen Standortes |
| KS 6 | 24.03.2015 | 136 m | 2 m | 22 | 2. W-O-Profil als Querprofil zur Talachse im Bereich des geplanten südlichen Standortes |

Die Gesamtlänge der sechs widerstandsgeoelektrisch untersuchten Messlinien betrug 1.040 m. Der Verlauf und die Messrichtung der widerstandsgeoelektrischen Messprofile wurde in dem als Anlage A 2 den Ergebnisbericht beigefügten Lageplan eingezeichnet.

Die an der Erdoberfläche im Bereich der Talaue und den Talhängen anstehende gemischt-körnig ausgebildete Oberbodenschicht war bei der vorgefundenen ausreichenden Durchfeuchtung infolge von gelegentlichen Niederschlägen im Vorfeld der Messkampagne im März 2015 als günstig für die Durchführung der konzipierten widerstandsgeoelektrischen Messungen einzuschätzen. Die Übergangswiderstände zwischen den Elektroden und dem Boden lagen überwiegend in der Größenordnung von 5 k Ω bis max. 10 k Ω .

Die Feldmessdaten wurden nach Abschluss der Geländearbeiten in den Geschäftsräumen der *analytec* Dr. Steinhau Ingenieurgesellschaft für Baugrund, Geophysik und Umweltengineering mbH in Chemnitz-Mittelbach im Abschnitt 6.1 beschriebenen weiterführenden Datenprozessing unterzogen. Die Darstellung der Widerstandspseudosektionen und die Inversion der Feldmessdaten zu Widerstands-Tiefen-Schnitte wurde unter Verwendung des



Programmes RES2DINV (Version 3.59, vertrieben durch Geotomo Software Sdn. Bhd., Penang, Malaysia) für die Linienaufstellungen durchgeführt. Diese Resultate sind dem Ergebnisbericht als Anlage A 3 (Blatt 1 für den nördlichen Standort und Blatt 2 für den südlichen Standort des geplanten HWRB) beigefügt.

6.3 Interpretation der geophysikalischen Messungen

6.3.1 Allgemeine Vorbemerkungen

Das Problem bei der Interpretation von widerstandsgeoelektrischen Messungen besteht häufig darin, dass ein Unterschied im Wassergehalt des Festgesteins bzw. der Bodenfeuchte in Böden und verwitterten Festgesteinen zu einem breiten Schwankungsbereich des elektrischen Widerstandes der betreffenden Bodenschichten bzw. Gesteine führt. Die folgende Tabelle 3 gibt daher einige Orientierungswerte für die zu erwartenden spezifischen elektrischen Widerstände im Messgebiet an.

Tabelle 3: Spezifische elektrische Widerstände für verschiedene Böden und Fels sowie Grundwasser (grob abgeschätzte Werte)

| Material | spezif. elektr. Widerstand in Ωm |
|---|--|
| Ton | 5 – 30 |
| Lehm/Schluff | 20 – 70 |
| Sand/Kies, wassergesättigt | 50 – 150 |
| Sande, erdfeucht bis trocken | 150 – 2000 |
| Kies, erdfeucht bis trocken | 500 – 5000 |
| Festgesteinszersatz, nass bis , erdfeucht | 30 – 300 |
| Festgestein, weitgehend unverwittert | 1000 – > 10000 |
| Grundwasser (schwach mineralisiert) | 20 – 50 |
| Grundwasser (stark mineralisiert) | 0,1 – 10 |

In den widerstandsgeoelektrisch untersuchten Untersuchungsgebieten für die Errichtung eines Absperrdammes für ein HWRB sind primär die Variationen des Feinkornanteils in den quartär abgelagerten Böden (Lehmböden, Auesand, Flusskies/-schotter u. ä.) und im Verwitterungszersatz der zu erwartenden Festgesteine des Rotliegend und des Altpaläozoi-kums maßgeblich für laterale Veränderungen der Porosität der Böden, für Schwankungen des Wassergehaltes in den Bodenarten und damit auch für die Veränderlichkeit des elektrischen Widerstandes von Böden mit einer ähnlichen mineralischen Zusammensetzung. Da-



durch bilden sich u. U. die Unterkante der Quartärablagerungen bzw. die Oberkante des Festgesteinszersatzes, geologische Störungsbereiche im Betrachtungsraum, unterschiedliche Entfestigungsgrade und Zusammensetzungen des Festgesteins und mglw. auch die Verbreitung von bindigen Böden über dem Festgesteinszersatz oder den Flusskiesen auf den Profillinien in den Widerstands-Tiefen-Schnitten ab.

Im grundwassererfüllten Tiefenbereich wirkt sich maßgeblich die Grundwasserführung auf die Ohm'schen Widerstände der Böden aus und der Matrixeinfluss tritt dadurch in den Hintergrund. Die entscheidende Einflussgröße auf die Größenordnung der zu messenden spezifischen elektrischen Widerstände ist demnach der Wassergehalt in den Böden, wobei der oberhalb des Grundwasserspiegels sich der Feinkornanteil in den Böden signifikant auf den Wassergehalt und damit auf die Größenordnung des Messwertes auswirkt. Es gilt allgemein die Regel, dass mit einer steigenden Wasserführung im Boden, Lockergestein sowie mehr oder weniger verwitterten Festgestein der Ohm'sche Widerstand des Materials sinkt.

6.3.2 Baugrundbezogene Interpretation in den Baufeldern der HWRB

Die Anlagen A 3/1 und A 3/2 fassen die Resultate der im März 2015 vorgenommenen linienhaften (2D-tomographischen) widerstandsgeoelektrischen Messungen in Form von Widerstands-Tiefen-Schnitten für die jeweils drei pro HWRB-Standort angelegten Geoelektrik-Messlinien zusammen. Mächtigkeits- und Verbreitungskarten für die bindigen Deckschichten über dem Festgesteinszersatz bzw. den nichtbindigen Quartärablagerungen ließen sich wegen der zu geringen Anzahl der Messprofile und der damit fehlenden Flächendeckung für die beiden in Diskussion befindlichen Baufelder für die HWRB nicht ableiten.

Nördlicher Standort des HWRB bei Fluss-km 14+500

In den Widerstands-Tiefen-Schnitten für die parallel zur Talachse gemessenen widerstandsgeoelektrischen Messprofile KS 1 und KS 2 zeigen sich auf der gesamten Profillänge relativ homogene Widerstandsverteilungen im Untergrund. Der vermutete Übergang von den quartären Bodenbildungen zum Verwitterungszersatz der Rotliegendesedimentgesteine liegt in einer Tiefe zwischen 2 m und 3 m u. GOK und wurde in den Schnittdarstellungen der Anlage A 3/1 als gestrichelte Linie eingezeichnet. Tiefenbereiche unterhalb der Quartär-Rotliegend-Grenze, die sich in den Widerstands-Tiefen-Schnitten der Anlage A 3/1 durch Widerstandswerte unterhalb von 100 Ω m (blaue Färbung) zeigen, sind sehr wahrscheinlich mit der Verbreitung von Tonsteinen und Schluffsteinen der Härtensdorf-Formation zu korrelieren. Die auf dem Profil KS 1 zwischen Profilmeter (PM) 105 und 205 ab einer Tiefe von ca. 7 m u.



GOK einsetzenden sehr hochohmigen Profilabschnitte mit Widerstandswerten von z. T. deutlich mehr als 1.000 Ωm könnten mit Arkosen bzw. Konglomeraten aus dem Rotliegend oder auch mit dem in der geologischen Karte (Anlage A 1/2) sichtbaren Ausbiss des Frankenberg Gneises im Zusammenhang stehen. Die endgültige Klärung der Ursache für diese hochohmigen Anomalie kann nur durch gezielt angesetzte und ausreichend tiefe Baugrundaufschlüsse in Form von Rotationskernbohrungen erfolgen.

Auf dem quer zur Talachse angeordneten geophysikalischen Messprofil KS 3 zeigen sich im Festgesteinstiefenbereich ebenfalls lateral relativ einheitliche Verhältnisse des elektrischen Widerstandes. Vermutlich stehen unter den Lehmböden oder den sandig-kiesigen Quartärbildungen wiederum durchgehend die Verwitterungszersatzböden des Rotliegend und nachfolgend die Sedimentgesteine der Härtensdorf-Formation mit einem recht hohen Feinkornanteil an. Die elektrischen Widerstandswerte für die Gesteine und deren Zersatzmaterialien liegen überwiegend unter 150 Ωm . Die gemischtkörnigen quartären Bodenbildungen (Auesande und Flusskies) zeigen insgesamt höhere Widerstandswerte von 200 Ωm und mehr. Auffällig ist am westlichen Talhang der Wechsel von einer mächtigen Flusskiesablagerung zu den mehrere Meter dicken Lehmböden zwischen den Rammkernsondieransatzpunkten der BS 4 und BS 3, der sich auch im Widerstands-Tiefen-Schnitt bei PM 35 nachvollziehen lässt.

Eindeutige Hinweise auf geologische Störungen in den Festgesteinen unter der Quartaärbedeckung deuten sich in der Widerstands-Tiefen-Schnitten KS 1 bis KS 3 als Resultat der geophysikalischen Profilvermessungen nicht an. Einzig auf dem Profil KS 1 zwischen PM 90 und PM 100 setzt in Tiefenbereich des anstehenden Festgesteins ein Übergang von tendenziell niederohmigen Messwerten im Norden zu deutlich höheren Widerstandswerten weiter südlich ein. Hier könnte eine geologische Störung im tieferen Untergrund verlaufen, allerdings ist auch ein Materialwechsel von feinkörnig aufgebauten Sedimentgesteinen zu deutlich grobkörnigeren Materialien denkbar. Die Lage dieser möglicherweise existierenden geologischen Störung wurde in die Darstellung der Interpretationsergebnisse für die geophysikalischen Messungen in der Anlage A 7, Blatt 1 angedeutet.

Südlicher Standort des HWRB bei Fluss-km 15+200

Im Bereich des zweiten weiter südlich gelegenen Baustandortes für ein HWRB an der Kleinen Striegis deuten bei der Betrachtung der Widerstands-Tiefen-Schnitte für die geophysikalischen Messprofile KS 4 bis KS 4 deutlich komplizierte geologische Verhältnisse im Untergrund als bei dem weiter nördlichen gelegenen potentiellen Baustandort an. Vermutlich kreuzen sich in diesem südlichen Betrachtungsraum mindestens zwei geologische Störungszo-



nen mit weitgehend orthogonal zueinander verlaufenden Streichrichtungen. In der Interpretationskarte für die geophysikalischen Messungen in der Anlage A 7, Blatt 2 wurden diese beiden vermuteten Störungsbereiche farblich angedeutet. Insgesamt fallen bei der Betrachtung der Widerstands-Tiefen-Schnitte für die Widerstandsgeoelektrik-Messprofile KS 4 bis KS 6 die kleinräumigen signifikanten Wechsel von sehr niederohmigen Zonen mit Widerstandswerten von deutlich unter 100 Ωm und sehr hochohmigen Anomaliebereichen mehr als 1.000 Ωm als max. elektrischen Widerstandswerten auf. Während die erstgenannten niederohmigen Anomaliebereiche im Tiefenbereich des anstehenden Festgesteins sowohl mit wasserführenden stärker geklüfteten Gesteinspartien im kristallinen Festgestein als auch mit den linksufrig über den älteren kristallinen Gesteinen abgelagerten feinkörnig ausgebildeten Rotliegendesedimentgesteinen der Härtensdorf-Formation in Verbindung stehen können, dürfte die Ursache für die hochohmigen Anomalien in den anstehenden wenig geklüfteten kristallinen Schiefen und Grauwacken zu suchen sein. Besonders gut kann man diese Effekte auf den Widerstands-Tiefen-Schnitten der senkrecht zur Talachse gemessenen geophysikalischen Messprofile KS 5 und KS 6 nachvollziehen.

Das sich in Tallängsrichtung erstreckende widerstandsgeoelektrische Messprofil KS 4 schneidet mglw. zwischen PM 80 und 140 spitzwinklig eine geologische Störung oder es stehen in diesem Profilabschnitt tatsächlich deutlich niederohmiger Gesteine resp. Verwitterungsersatzböden an. Auch hier kann eine Klärung der tatsächlichen geologischen und tektonischen Verhältnisse nur durch eine größere Anzahl niederzubringender Rotationskernbohrungen erfolgen.

7 Baugrundsichtung

7.1 Im Untersuchungsabschnitt angetroffene Bodenschichten

Im hier betrachteten Talabschnitt der Kleinen Striegis stehen die Böden und Gesteine durchgehend in den natürlichen Lagerungsverhältnissen an. Die Schichtenfolge wird durch die Existenz einer durchgehenden Decke von quartären Bodenbildungen (Lehmböden, Auesande, Flusskies) über den Rotliegendgesteinen der Härtensdorf-Formation und den kristallinen Gesteinen des Frankenberger Zwischengebirges charakterisiert.

Unter den zumeist grob- bis gemischtkörnig ausgebildeten Kies-Sand-Gemischen oder den Lehmböden mit einer Schichtdicke zwischen 2 und 4 m setzen überall die Verwitterungsersatzböden der Festgesteine ein. Die Verwitterungsersatzdecke sowohl der Sedimentgesteine des Rotliegendes als auch der kristallinen Gesteine wurde nur geringmächtig in der Größenordnung von einigen wenigen Dezimetern erbohrt.



Nach den vorliegenden Aufschlussresultaten der im Betrachtungsraum abgeteufte neun Rammkernsondierungen und der zwei schweren Rammsondierungen ist im Untersuchungsabschnitt entlang der Kleinen Striegis von der folgenden Regelschichtung des Baugrundes auszugehen (vgl. auch Bohrprofile und Schichtenverzeichnisse in der Anlage A 4 und Baugrundschnitte in der Anlage A 6):

Tabelle 4: Regelschichtung des Baugrundes im betrachteten Untersuchungsgebiet

| Schicht | Schichtunterkante [m u. GOK] | Schichtmächtigkeit [m] | Zusammensetzung | Bemerkungen |
|---|------------------------------|------------------------|---|---|
| Schicht 0 Mutterboden | 0,30 – 0,50 | 0,30 – 0,50 | üw. sandig-schluffig, humos, durchwurzelt | Grasnarbe, Ackerkrume |
| Schicht 1 Löß-/Hang- oder Auelehm | max. 2,80 | max. 2,40 | sandiger, z.T. toniger oder und schwach kiesiger Schluff | als Lößlehm ohne Kiesanteil, als Auelehm geringer org. Anteil |
| Schicht 2a Auesand (nur in BS 2 und BS 5) | 0,90 – 1,40 | max. 0,50 | schwach schluffiger bis stark schluffiger und schwach kiesiger Sand | nur lokal in der Talaue ausgebildet |
| Schicht 2b Flussskies (nur in BS 1, BS 2, BS 4, BS 5 und BS 7) | 2,40 – 2,90 | max. 2,10 | weitgestufte Kies-Sand-Gemische mit geringem bis mittlerem Feinkornanteil | nur in der Talaue durchgehend ausgebildet, an der Basis z. T. schwach steinig, grundwasserführend |
| Schicht 3a Rotliegend als Wechsellagerung von entfestigtem Sandstein bis Tonstein | nicht erbohrt | unbekannt | zersetzte Arkosen bzw. Sandsteine, Schluffsteine oder Tonsteine | Zusammensetzung abhängig vom Ausgangsgestein |
| Schicht 3b Kristalline Gesteine als Gneis, Grauwacke oder quarzit. Schiefer | nicht erbohrt | unbekannt | entfestigter Gneis, Grauwacke oder quarzit. Schiefer | nur im Bereich des südlichen Baustandes östl./nördl. der Striegis zu erwarten |

Es sind speziell im Bereich des südlichen Standortes für den Absperrdamm der HWRB Hochlagen von schwer lösbarem Lockergestein der Klasse K 6 nach DIN 18 300 Form von kristallinem Festgestein nicht auszuschließen. Im Zusammenhang mit der geologischen Ansprache und Beprobung des Bohrgutes ergaben sich im Untersuchungsabschnitt keine organoleptisch-sensorisch wahrnehmbaren Hinweise auf mögliche Anreicherungen von Schadstoffen im Boden.



7.2 Bautechnische Eigenschaften der Baugrundsichten

Die nachfolgend dargestellten Eigenschaften der maßgeblichen Schichten des Baugrundes (Oberboden, Lehmböden, Auesand, Flussskies und Verwitterungszersetzmaterialien des Festgesteins) wurden auf der Grundlage der durchgeführten bodenphysikalischen Laboruntersuchungen an ausgewählten Stichproben und der bodenmechanischen Feldansprache ermittelt. Die Resultate der Laboruntersuchungen sind in der Anlage A 5 zusammengestellt. Für die durch die Sondierungen aufgeschlossenen Bodenschichten können folgende bautechnische Eigenschaften angegeben werden.

Schicht 0 – Mutterboden, Oberboden

| | |
|-------------------------------------|---|
| <i>Bodenart:</i> | Schluff, sandig, humos - Sand, schluffig, humos |
| <i>Bodengruppe nach DIN 18 196:</i> | OH / OU |
| <i>Bodenklasse nach DIN 18 300:</i> | 1 |

Mutterboden besitzt im Allgemeinen eine geringe Scherfestigkeit, eine schlechte Verdichtungsfähigkeit sowie eine große Zusammendrückbarkeit. Der vorhandene humose Mutterboden ist von der zu bebauenden Fläche abzutragen, zwischenzulagern und einer geeigneten Wiederverwendung (im Bereich des Baufeldes) zuzuführen.

Schicht 1 – Lehmböden (Lößlehm, Hanglehm oder Auelehm)

| | |
|--|---|
| <i>Bodenart:</i> | Schluff, schwach sandig bis stark sandig, z. T. schwach kiesig und/oder schwach tonig bis tonig |
| <i>Kurzzeichen nach DIN 18196:</i> | üw. TL - UL, tw. zu SU* oder TM/UM tendierend |
| <i>Konsistenz (ermittelt):</i> | üw. steif (bis halbfest) |
| <i>Durchlässigkeitsbeiwert k_f:</i> | 5×10^{-7} bis 2×10^{-9} m/s |
| <i>Frostempfindlichkeit n. ZTVE-StB 09:</i> | F 3 |
| <i>Verdichtbark. n. ZTVA - StB 97:</i> | V 3 |
| <i>Bodenklasse nach DIN 18300:</i> | 4 |

Die in den Baufeldern vorgefundenen Lehmböden sind sehr witterungs- und erosionsempfindlich, besitzen bei der vorgefundenen mindestens steifen Konsistenz eine mäßige, bei der örtlich auftretenden halbfesten Konsistenz auch eine relativ hohe Scherfestigkeit. Alle Lehmböden besitzen eine hohe Wasserempfindlichkeit, wobei sich der Lößlehm sich von allen angetroffenen bindigen Böden durch die höchste Wasserempfindlichkeit auszeichnet. Die Lehmböden besitzen in Abhängigkeit von der gegebenen Konsistenz eine große bis mittlere Setzungsempfindlichkeit. Die Lehmböden sind in allen vorgefundenen Variationen als Bau-



stoff für den Absperrdamm (Dichtmaterial) bei mindestens steifer Konsistenz prinzipiell geeignet.

Schicht 2a –Auesand (nur örtlich in der Talaue auftretend)

| | |
|--|---|
| <i>Bodenart:</i> | schwach schluffiger bis stark schluffiger und schwach kiesiger Sand |
| <i>Kurzzeichen nach DIN 18196:</i> | SU, seltener SU* |
| <i>Lagerungsdichte (ermittelt):</i> | mitteldicht |
| <i>Durchlässigkeit k_f (geschätzt):</i> | 5×10^{-5} bis 5×10^{-6} m/s |
| <i>Frostempf. n. ZTVE-StB 09:</i> | F 2 |
| <i>Verdichtbark. n. ZTVA-StB 97:</i> | V 2 |
| <i>Bodenklasse nach DIN 18300:</i> | 4 |

Die zumeist mitteldicht gelagerten Auesande besitzen eine große Scherfestigkeit, eine mittlere Verdichtungsfähigkeit sowie eine mittlere Zusammendrückbarkeit. Als Gründungsträger für einen Schüttdamm oder den Betonkern eines Absperrbauwerkes sind die Auesande gut geeignet.

Schicht 2b – Flussskies (nur in der Talaue auftretend):

| | |
|--|--|
| <i>Bodenart:</i> | Kies-Sand-Gemische mit zumeist geringem Feinkornanteil, an der Basis der Schicht z. T. schwach steinig |
| <i>Kurzzeichen nach DIN 18196:</i> | GU – GU* |
| <i>Lagerungsdichte (ermittelt):</i> | locker bis dicht |
| <i>Frostempf. n. ZTVE-StB 09:</i> | F 2 (GU) bis F 3 (GU*) |
| <i>Verdichtbark. n. ZTVA-StB 97:</i> | V 1 (GU) bis V 2 (GU*) |
| <i>Durchlässigkeit k_f (geschätzt):</i> | 5×10^{-4} bis 2×10^{-5} m/s |
| <i>Bodenklasse nach DIN 18300:</i> | 3, bei GU* auch 4 |

Zusammensetzung und Kornrundung sind in Abhängigkeit vom Transportregime des Materials unterschiedlich, wobei kantige Bestandteile überwiegen. Die zumeist mitteldicht gelagerten grob- bis gemischtkörnigen Sedimente besitzen eine große Scherfestigkeit sowie eine geringe Zusammendrückbarkeit. Als Gründungsträger für einen Schüttdamm oder den Betonkern eines Absperrbauwerkes sind die Flussskiese sehr gut geeignet.



Schicht 3 – Verwitterungsersatz des Festgesteins (VZ)

Schicht 3a – Verwitterungsersatz, schluffig-tonig (Schluff- und Tonsteinersatz):

| | |
|--|---|
| <i>Bodenart:</i> | Schluff-Ton-Gemische |
| <i>Kurzzeichen nach DIN 18196:</i> | VZ (UM/TM) |
| <i>Konsistenz (bind. Bestand.):</i> | oberflächlich steif, rascher Übergang zu halbfester bis fester Konsistenz |
| <i>Frostempf. n. ZTVE-StB 09:</i> | F 3 |
| <i>Verdichtbark. n. ZTVA-StB 97:</i> | V 3 |
| <i>Durchlässigkeit k_f (geschätzt):</i> | 1×10^{-8} bis 1×10^{-9} m/s |
| <i>Bodenklasse nach DIN 18300:</i> | 4, rasch in 6 übergehend |

Schicht 3b – Verwitterungsersatz, üw. sandig-kiesig (von Arkosen/Sandsteine, quarzit. Schiefen, Grauwacken, Gneis):

| | |
|--|--|
| <i>Bodenart:</i> | weitgestufte Sand-Kies-Gemische, z. T. schwach schluffig bis stark schluffig |
| <i>Kurzzeichen nach DIN 18196:</i> | VZ (meist GU* – SU*) |
| <i>Lagerungsdichte:</i> | mitteldicht bis dicht |
| <i>Frostempf. n. ZTVE-StB 09:</i> | F 3 |
| <i>Verdichtbark. n. ZTVA-StB 97:</i> | V 2 |
| <i>Durchlässigkeit k_f (geschätzt):</i> | 5×10^{-7} bis 5×10^{-8} m/s |
| <i>Bodenklasse nach DIN 18300:</i> | 3 – 4, rasch in 6 übergehend |

Die Verwitterungsersatzböden der Sedimentgesteine aus der Härtensdorf-Formation im Rotliegend werden durch die Verwitterungsprodukte der Sandstein-Schluffstein-Tonstein-Wechselagerung der anstehenden Sedimentgesteine gebildet. Je nach vorwiegendem Ausgangsgestein sind die Verwitterungsersatzböden stärker sandig-schluffig oder auch schluffig-tonig ausgebildet. Die Verwitterungsersatzbildungen der kristallinen Festgesteine im Bereich des südlichen Baustandortes für das HWRB tendieren dagegen zu grob- bis gemischtkörnigen Böden

Die Verwitterungsersatzböden besitzen je nach Ausbildung unterschiedliche geotechnische Eigenschaften. Sie weisen bei bindiger Ausbildung eine geringe bis mäßige und bei gemischtkörniger Ausbildung eine große bis mittlere Scherfestigkeit auf. Die Zusammendrückbarkeit der Böden ist bei bindiger Ausbildung groß bis mittel, während gemischtkörnige Verwitterungsersatzböden eine geringe bis mittlere Zusammendrückbarkeit je nach Feinkornanteil aufweisen.



7.3 Suffosions- und Erosionseigenschaften der anstehenden Böden

Die grob- bis gemischtkörnig ausgebildeten Auesande und Flusskiese sind als Schüttmaterial für einen Erddamm erosionsanfällig. Die Auesande sind u. U. auch suffosionsgefährdet. Hier kann es bei entsprechendem hydraulischen Gefälle zum Ausspülen von Feinkornanteilen kommen, die nicht zum tragenden Korngerüst des durchströmten bzw. durchsickerten Bodens gehören.

8 Bodenkennwerte / Berechnungswerte

Für die im baupraktischen Tiefenbereich anstehenden Baugrundsichten werden im Rahmen der ausgeführten Untersuchung die folgenden Eigenschaften und Bodenkennwerte eingeschätzt. Die angegebenen Kennwerte sind kalkulierte Berechnungswerte (vorsichtig geschätzte Mittelwerte der einzelnen Schichten). Ihre Festlegung beruht auf der visuellen Schichtansprache, den ausgeführten Feld- und Laborversuchen und Erfahrungswerten unter Berücksichtigung der in DIN 1055 angegebenen Richtwerte.

Tabelle 5: *Berechnungskennwerte in Anlehnung an DIN 1055 für die im baupraktischen Tiefenbereich anstehenden Bodenschichten.*

| Bodenart | Bodenkennwerte | | | | | |
|---|--|---|--------------------------------------|--|---|---|
| | Wichte γ [kN/m ³] | Wichte unter Auf- trieb γ' [kN/m ³] | Reibungs- winkel φ [°] | wirksame Kohäsion c' [kN/m ²] | undrain. Kohäsion c_u [kN/m ²] | Steifezahl E_s [MN/m ²] |
| Lehmböden, mind. steif (TL-UL) | 20 | 10 | 25 | 6 | 15 | 5 |
| Auesand (SU-SU*) | 21 | 11 | 30 | 2 | 5 | 8 |
| Flusskies (GU – GU*) | 21 | 11 | 35 | 0 | 0 | 35 |
| Verwitterungszersatz, gemischtkörnig (VZ) | 21 | 11 | 33 | 2 | 5 | 50 |
| Verwitterungszersatz, bindig, mind. steif (VZ) | 21 | 11 | 28 | 20 | 80 | 8 |

¹⁾ Die Maximalwerte, z. B. maßgebend für die Ermittlung von Geräteparametern (Bohrungen etc.), können um ca. 5° höher liegen



Die angegebenen Steifezahlen gelten als mittlere Steifemoduln für die jeweilige Schicht und wurden aus den Schlagzahlen n_{10} der ausgeführten schweren Rammsondierungen abgeleitet.

9 Geotechnische Schlussfolgerungen zur Standortauswahl

Bei der zusammenfassenden Wertung der geophysikalischen Messergebnisse für beide im Vergleich befindlichen Standorte mit den Resultaten der nachfolgend ausgeführten geotechnischen Aufschlüsse ergibt sich die Schlussfolgerung, dass der nördlichere der beiden Standorte für die Errichtung eines Hochwasserrückhaltebeckens aus hydrogeologisch-tektonischen und geotechnischen Gründen sehr wahrscheinlich zu bevorzugen ist. Obwohl im Bereich des Kerbtals der Kleinen Striegis die Talauflage der Kleinen Striegis bei Fluss-km 15+200 bis 15+300 eine deutlich geringere Breite als beim weiter nördlich gelegenen zweiten potentiellen Standort für den Absperrdamm aufweist (was bei der Errichtung des Erddammes hinsichtlich der notwendigen Erdbewegungen zur Dammschüttung sicherlich von Vorteil wäre), spricht jedoch der vermutliche Kreuzungsbereich von zwei geologischen Störungszonen im südlichen Bau Feld gegen die Auswahl dieses Standortes als Bestimmungsort für den Absperrdamm eines HWRB. Hinzu kommt, dass im Bereich des „Knicks“ der Kleinen Striegis durch die Randstörung des Frankenberger Zwischengebirges und die Überdeckung der kristallinen Gesteine durch Rotliegendesedimentgesteine westlich der Kleinen Striegis an den beiden Talhängen unterschiedliche Festgesteinsarten mit unterschiedlichen Klüftigkeiten und Verbandsfestigkeiten zu erwarten sind. Da nach Durchführung der widerstandsgeoelektrischen Messungen im Bereich der vermuteten geologischen Störungszonen durchaus Unterströmungszonen für den geplanten Erddamm auftreten können, sollte der nördliche Standort des Damms für die Errichtung des Absperrdamms für das HWRB gegenüber dem südlichen Standort bevorzugt werden.

Der weiter nördlich ungefähr bei Fluss-km 14+550 konzipierte zweite Standort für den Absperrdamm des HWRB weist zudem aus geotechnischer und hydrogeologischer Sicht deutlich günstigere Rahmenbedingungen auf. Im Untergrund sind an der Stelle des zu errichtenden Absperrbauwerkes unter einer 2 ... 4 m mächtigen Bodenbedeckung vermutlich durchgehend anstehende Verwitterungsböden von Rotliegendgesteinen zu prognostizieren. Diese Gesteine dürften gemäß den vorliegenden geophysikalischen Messergebnissen einen nicht unerheblichen Feinkornanteil aufweisen und damit eine relativ gute Dichtwirkung gegen eine unbedingt zu unterbindende Unterströmung im Anstaufall besitzen. Außerdem ergaben sich keine Hinweise auf signifikante geologische Störungszonen bei den in diesem nördlichen Untersuchungsgebiet vorgenommenen geophysikalischen Messungen.



Zudem dürften an den Talhängen grob- bis gemischtkörnige Böden für eine Dammschüttung sowie Lehmböden als Dichtmaterial in größeren Mengen gewinnbar sein. Schwer lösbares Verwitterungsersatzmaterial bzw. nur wenig entfestigter Fels setzt beim nördlichen der beiden HWRB-Standorte vermutlich erst in größerer Tiefe als beim südlichen Standort ein. Insgesamt gesehen sind deshalb die Baugrundverhältnisse beim nördlichen der beiden in Erwägung gezogenen Baustandorte als deutlich günstiger gegenüber der südlichen Variante einzuschätzen.

10 Abfalltechnische Untersuchungen

10.1 Gesetzliche Grundlagen

Die Empfehlungen der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) legen Güteanforderungen hinsichtlich Boden und Bauschutt für deren stoffliche Verwertung bzw. in Ausnahmefällen für deren Beseitigung fest. Bei Einhaltung dieser Mindestanforderungen werden bei der weiteren Verwendung (Verwertung, Ablagerung, evtl. weitere Behandlung belasteter Materialien) unvertretbare Umweltbeeinträchtigungen ausgeschlossen. Bei den Zuordnungswerten aus handelt es sich um Vorsorgewerte, die vor allem aus der Sicht des Boden- und Grundwasserschutzes festgelegt wurden. Die Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Abfällen wurde in der LAGA-Mitteilung Nr. 20 (überarbeitete Endfassung vom 06.11.2003) in den Technischen Regeln – Allgemeiner Teil vorgegeben. Dort werden im Teil I unter Punkt 4 Anforderungen an die Verwertung von mineralischen Abfällen aufgelistet, für die verschiedene Fälle („Einbauklassen“) in Abhängigkeit von der Zuordnung der Materialien („Zuordnungskriterien“) unterschieden werden. Prinzipiell sind folgende Einbauarten für mineralische Abfälle möglich:

- Uneingeschränkter Einbau – Verwertung von Bodenmaterial in bodenähnlichen Anwendungen (**Einbauklasse 0**)
- Eingeschränkter offener Einbau (**Einbauklasse 1**)
- Eingeschränkter offener Einbau mit definierten technischen Sicherungsmaßnahmen (**Einbauklasse 2**)
- Einbau in geschlossenen Kreisläufen

Die **Zuordnungswerte (Z 1 - Z 2)** sind wie folgt definiert:

Z 0: Die Gehalte bis zum Zuordnungswert Z 0 kennzeichnen den natürlichen Boden. Bei der Unterschreitung der Zuordnungswerte Z 0 ist ein uneingeschränkter Einbau von Boden möglich. Eine Auskoffnung des Bodens bei Unterschreitung dieser Werte ist nicht erfor-



derlich. In Gebieten in denen die natürliche Hintergrundbelastung einschließlich der allgemeinen vorhandenen anthropogenen Zusatzbelastung über den Z 0-Werten liegt, ist in der Regel die Verwertung des dort anfallenden Bodens bis zu diesen höheren Werten möglich.

Z 1: Die Zuordnungswerte bei Z 1 (Z 1.1 und Z 1.2) stellen die Obergrenze für den offenen Einbau unter Berücksichtigung bestimmter Nutzungseinschränkungen dar. Grundsätzlich gelten die Z 1.1 Werte. Bei Einhaltung dieser Werte ist selbst unter ungünstigsten hydrogeologischen Voraussetzungen davon auszugehen, dass keine nachteiligen Veränderungen des Grundwassers auftreten. Die Verwendung der Z 1.2 Werte als Obergrenze der Stoffinhalte erfordern das Vorhandensein eines mindestens 2 m mächtigen Grundwasserstauers unter dem Einbaugbiet.

Bei Überschreitung der Zuordnungswerte Z 1.1 ist bis zur Obergrenze Z 1.2 ein offener Einbau auf unempfindlichen Flächen wie Industrie-, Gewerbe- und Lagerflächen mit entsprechendem Erosionsschutz (z.B. Oberflächenabdeckung/-abdichtung) möglich.

Z 2: Die Zuordnungswerte Z 2 stellen die Obergrenze für den Einbau von Boden mit definierten technischen Sicherungsmaßnahmen dar. Ein Einbau von Boden dieser Klasse ist nur als Tragschicht unter wasserundurchlässigen Deckschichten (Beton, Asphalt) möglich. Der Abstand zwischen Schüttkörperbasis und dem höchsten zu erwartenden Grundwasserstand soll mindestens 1 m betragen.

Innerhalb der Einbauklasse 1 wird nochmals in einen Einbau bei ungünstigen hydrogeologischen Standortbedingungen (**Einbauklasse 1.1**) sowie bei günstigen hydrogeologischen Standortbedingungen (**Einbauklasse 1.2**) differenziert. Beim uneingeschränkten Einbau, d. h. der Verwertung von Bodenmaterial in bodenähnlichen Anwendungen, wird beim Zuordnungskriterium Z 0 bodenartspezifisch für die Bodenarten Sand, Lehm/Schluff und Ton in einen Einbau bei Baumaßnahmen (Z 0) sowie bei einer Verfüllung von Abgrabungen (Z 0*) unterschieden. Werden die Zuordnungskriterien Z 2 der Einbauklasse 2 für mindestens einen der prüfenden Parameter überschritten, ist ein Einbau von Abfällen mit definierten technischen Sicherungsmaßnahmen in Rahmen geeigneter Baumaßnahmen nicht mehr möglich und es verbleibt nur noch eine Verwertung als Ablagerung in einer Deponie mit den Zuordnungskriterien Z 3 bis Z 5, der Einbau in geschlossenen Kreisläufen oder der Einsatz in Produkten. Im Regelfall wird bei der Verwertung von natürlich anstehenden Böden der Einbau innerhalb einer der Einbauklassen unterhalb des Zuordnungskriteriums Z 2 angestrebt. Weitere Details zu den Einbauklassen können der TR Boden entnommen werden.

Die Tabelle 6 auf der Folgeseite gibt eine Übersicht über die Zuordnungswerte Z 0 bis Z 2 für die Feststoffgehalte im Bodenmaterial gemäß der Mitteilung der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) 20 Anforderungen an die stoffliche Verwertung von Abfällen, Teil II: Techni-



sche Regeln für die Verwertung im Abschnitt 1.2 Bodenmaterial (TR Boden) in der Fassung vom 05.11.2004.

Tabelle 6: Zuordnungswerte zur Bewertung der Feststoffgehalte in Bodenproben gemäß der LAGA-Empfehlung 20 (Tab. II.1.2.2 und II.1.2.4, Stand 05.11.2004)

| Feststoffgehalte im Bodenmaterial | | | | | | | |
|--|-------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------|--------------------|
| Parameter | Dim. | Sand Z 0 | Lehm Z 0 | Ton Z 0 | Z 0* | Z 1 | Z 2 |
| Arsen | mg/kg | 10 | 15 | 20 | 15 | 45 | 150 |
| Blei | mg/kg | 40 | 70 | 100 | 140 | 210 | 700 |
| Cadmium | mg/kg | 0,4 | 1 | 1,5 | 1 | 3 | 10 |
| Chrom (gesamt) | mg/kg | 30 | 60 | 100 | 120 | 180 | 600 |
| Kupfer | mg/kg | 20 | 40 | 60 | 80 | 120 | 400 |
| Nickel | mg/kg | 15 | 50 | 70 | 100 | 150 | 500 |
| Thallium | mg/kg | 0,4 | 0,7 | 1 | 0,7 | 2,1 | 7 |
| Quecksilber | mg/kg | 0,1 | 0,5 | 1 | 1 | 1,5 | 5 |
| Zink | mg/kg | 60 | 150 | 200 | 300 | 450 | 1500 |
| TOC | (Ma.-%) | 0,5 (1) | 0,5 (1) | 0,5 (1) | 0,5 (1) | 1,5 | 5 |
| EOX | mg/kg | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 ¹⁾ | 10 |
| Kohlenwasserstoffe | mg/kg | 100 | 100 | 100 | 200 | 300 ²⁾ | 1000 ²⁾ |
| BTEX | mg/kg | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| LHKW | mg/kg | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| PCB ₆ | mg/kg | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,1 | 0,15 | 0,5 |
| PAK ₁₆ (n. EPA) | mg/kg | 3 ³⁾ | 3 ³⁾ | 3 ³⁾ | 3 ³⁾ | 3 ³⁾ | 30 |
| Benzo(a)pyren | mg/kg | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,6 | 0,9 | 3 |

- 1) - Bei Überschreitung ist die Ursache zu prüfen
- 2) - Gilt für Kohlenwasserstoffverbindungen mit einer Kettenlänge von C₁₀ bis C₂₂. Der Gesamtgehalt für C₁₀ bis C₄₀ darf das Doppelte der angegebenen Werte nicht überschreiten.
- 3) - Bodenmaterial mit PAK-Gehalten zwischen 3 mg/kg und 9 mg/kg TS darf nur in Gebieten mit hydrogeologisch günstigen Deckschichten eingebaut werden.

Die nachfolgende Tabelle 7 enthält die Zuordnungswerte für die Eluatkonzentrationen bei den verschiedenen Einbauklassen.



Tabelle 7: Zuordnungswerte zur Bewertung der Eluatkonzentrationen in Bodenproben gemäß der LAGA-Empfehlung 20 (Tab. II.1.2.3 und II.1.2.5, Stand 05.11.2004)

| Eluatkonzentrationen im Bodenmaterial | | | | | |
|--|-------------|------------------|--------------|--------------|-------------------|
| Parameter | Dim. | Z 0/ Z 0* | Z 1.1 | Z 1.2 | Z 2 |
| pH-Wert | --- | 6,5 – 9,5 | 6,5 – 9,5 | 6 - 12 | 5,5 - 12 |
| elektr. Leitfähigkeit | µS/cm | 250 | 250 | 1500 | 2000 |
| Chlorid | mg/l | 30 | 30 | 50 | 100 ¹⁾ |
| Sulfat | mg/l | 20 | 20 | 50 | 200 |
| Cyanid | µg/l | 5 | 5 | 10 | 20 |
| Arsen | µg/l | 14 | 14 | 20 | 60 ²⁾ |
| Blei | µg/l | 40 | 40 | 80 | 200 |
| Cadmium | µg/l | 1,5 | 1,5 | 3 | 6 |
| Chrom (gesamt) | µg/l | 12,5 | 12,5 | 25 | 60 |
| Kupfer | µg/l | 20 | 20 | 60 | 100 |
| Nickel | µg/l | 15 | 15 | 20 | 70 |
| Quecksilber | µg/l | < 0,5 | < 0,5 | 1 | 2 |
| Zink | µg/l | 150 | 150 | 200 | 600 |
| Phenolindex | µg/l | 20 | 20 | 40 | 100 |

- 1) - bei natürlichen Böden in Ausnahmefällen bis 300 mg/l für Chlorid zulässig
 2) - bei natürlichen Böden in Ausnahmefällen bis 120 µg/l für Arsen zulässig

Erläuterung der Abkürzungen in den Tabelle 6 und 7:

- Z 0 - uneingeschränkter Einbau möglich
 Z 0* - offener eingeschränkter Einbau möglich
 Z 1.1 - offener eingeschränkter Einbau bei ungünstigen Standortbedingungen möglich
 Z 1.2 - offener eingeschränkter bei günstigen Standortbedingungen Einbau möglich
 Z 2 - eingeschränkter Einbau mit definierten technischen Sicherungsmaßnahmen möglich

10.2 Untersuchungsergebnisse

In den getätigten Baugrundaufschlüssen ergaben sich bei der Kernaufnahme keine organoleptischen bzw. visuellen Auffälligkeiten, welche auf mögliche Schadstoffanreicherungen hindeuten. Zur Feststellung möglicher Schadstoffbelastungen in den anstehenden bindigen



und der grob- bis gemischtkörnigen Böden der Quartärsedimentation wurden aus den Stichproben aus den Lehmböden einerseits sowie den Flusskiesen und Auesanden andererseits zwei repräsentative Mischproben für diese Chargen gebildet und nachfolgend laboranalytisch untersucht. Folgende Einzelproben wurden als Bestandteile der Mischprobenbildung verwendet:

MP Lehmboden Lehmproben aus BS 1, BS 3, BS 5, BS 8 und BS 9

MP Flusskies/Auesand Sand-Kies-Proben aus BS 1, BS 2 und BS 5

Mit den deklarationsanalytischen Untersuchungen (Mindestuntersuchungsumfang bei unspezifischem Kontaminationsverdacht gemäß TR Boden / LAGA-Empfehlung Nr. M 20) wurde als Prüflabor die Zwickauer Umweltlabor und Analytik GmbH beauftragt. Die Resultate der Laboruntersuchungen sind im Prüfbericht Nr. 474/15 vom 02.06.2015 (Anlage A 8) zusammengestellt.

In den Tabellen 8 und 9 sind die Ergebnisse für die beiden untersuchten Mischproben aufgelistet. Der Analysenumfang entspricht dem Mindestuntersuchungsumfang für Böden bei unspezifischem Verdacht. Analysenwerte, die im Z 1-Bereich liegen, sind in den nachfolgenden Tabellen vom Schriftbild her *kursiv* und jene im Z 2-Bereich **fett** dargestellt. Überschreiten Analysewerte das Z 2-Zuordnungskriterium, erfolgt zusätzlich ein **Unterstreichen** des jeweiligen Wertes und ein **Schattieren** der Tabellenfelder.

Tabelle 8: Analytikergebnisse für die schadstoffanalytisch untersuchten Mischproben – **Untersuchungen in der Festsubstanz**

| Parameter | Einheit | MP Lehmboden | MP Flusskies/Auesand |
|--------------------|----------------|---------------------|-----------------------------|
| Arsen | mg/kg | 4,49 | 6,73 |
| Blei | mg/kg | 40,4 | 53,1 |
| Cadmium | mg/kg | 0,52 | 0,76 |
| Chrom, ges. | mg/kg | 21,1 | 26,8 |
| Kupfer | mg/kg | 7,03 | 97,6 |
| Nickel | mg/kg | 21,7 | 41,7 |
| Quecksilber | mg/kg | < 0,03 | < 0,03 |
| Zink | mg/kg | 27,7 | 50,4 |
| PAK (Summe n. EPA) | mg/kg | 0,12 | 0,08 |
| Benzo(a)pyren | mg/kg | < 0,01 | < 0,01 |
| EOX | mg/kg | < 0,02 | < 0,02 |
| Kohlenwasserstoffe | mg/kg | < 50 | < 50 |
| TOC | Gew.-% | 0,47 | 0,30 |



Tabelle 9: Analytikergebnisse für die schadstoffanalytisch untersuchten Mischproben - Eluatuntersuchungen

| Parameter | Einheit | MP Lehm Boden | MP Flusskies/Auesand |
|--|----------------|----------------------|-----------------------------|
| pH-Wert | --- | 7,8 | 7,7 |
| elektr. Leitfähigkeit | µS/cm | 47 | 40 |
| Chlorid | mg/l | < 1 | 7,3 |
| Sulfat | mg/l | <1 | 4,73 |
| Blei | µg/l | n. b. | < 1 |
| Cadmium | µg/l | n. b. | 0,43 |
| Kupfer | µg/l | n. b. | < 1 |
| Nickel | µg/l | n. b. | < 1 |
| Einbauklasse n. LAGA (TR Boden) | | 0 | 1.1 |

Anm.: n. b. steht für „Parameter im Eluat nicht bestimmt“.

Die laboranalytisch nach den LAGA-Kriterien, TR Boden untersuchte Mischprobe aus den vorgefundenen Lehm Böden ist hinsichtlich der festgestellten Schadstoffgehalte als völlig unauffällig anzusehen und fällt danach unter die Einbauklasse Z 0 nach TR LAGA Boden. Die aus den Auesanden und den Flusskiesen gebildete zweite Mischprobe für die grobkörnigen Quartärsedimente weist geogen bedingt leicht erhöhten Schwermetallwerte bei Blei, Cadmium, Kupfer und Nickel aus und ist damit formal betrachtet in die Einbauklasse 1.1 nach den LAGA-Kriterien einzustufen.

Bei der abfallrechtlichen Einstufung der beim Bodenabtrag perspektivisch anfallenden Aushubmassen (natürlich anstehende Lehm Böden und Sand-Kies-Gemische) ist die Verordnung zur Umsetzung des Europäischen Abfallverzeichnis (Abfallverzeichnis-Verordnung - AVV), vom 10.12.2001, zuletzt geändert am 24.07.2002, zu berücksichtigen, da den bei der Wasserbaumaßnahme anfallenden Aushubmassen die zutreffende Abfallschlüsselnummer (ASN) zugeordnet werden muss. Im vorliegenden Fall handelt es sich beim Erdaushub um Abfall mit der Abfallschlüsselnummer 17 05 04 (Böden und Steine, die keine gefährlichen Stoffe enthalten).

Wir möchten abschließend nochmals auf die punktuelle Aufschlussmethode im Untersuchungsgebiet hinweisen, aus der sich eine flächenhafte Schadstofffreiheit der anstehenden Auffüllungen und Böden nicht ableiten lässt. Es besteht an Standorten mit einer landwirtschaftlichen Vornutzung generell die Möglichkeit des Vorhandenseins von lokalen Boden-



kontaminationen bzw. lokal erhöhten Schadstoffgehalten in Auffüllungen und anstehenden Böden. Sollten im Rahmen der Ausführung der Baumaßnahmen Hinweise auf lokal bzw. bereichsweise erhöhte Schadstoffgehalte festgestellt werden, sind in Abstimmung mit dem Bauherren geeignete Maßnahmen zu ergreifen.

11 Schlussbemerkungen

Die im Rahmen dieser Baugrundvoruntersuchungen vorgenommenen geophysikalischen und geotechnischen Untersuchungen konnten auf Grund des geringen Aufschlussumfangs und der gewählten Leichtbohrtechnik nur erste Hinweise auf die generelle Eignung der beiden potentiell in Frage kommenden Standorte für die Errichtung eines Hochwasserrückhaltebeckens an der Kleinen Striegis südlich von Berthelsdorf liefern. Die Profildichte der vorgenommenen geophysikalischen Messungen und die Anzahl der realisierten geotechnischen Aufschlüsse reicht für eine flächenhafte Bewertung der Baufelder und zur Abschätzung der zu erwartenden Schichtdicke von bindigen Böden im Betrachtungsraum noch nicht aus. Hierfür wären verdichtende geophysikalische Messungen in Form von flächendeckenden 3D-tomographisch angelegten widerstandsgeoelektrischen Messungen - u. U. in Kombination mit ebenfalls tomographisch konzipierten refraktionsseismischen Messungen - zu empfehlen.

Vermutlich ist der nördliche Standort für den Absperrdamm der HWRB beim Variantenvergleich gegenüber dem anderen Baufeld bei Fluss-km 15+500 weiter südlich zu favorisieren. Allerdings müssen im Zuge der nächsten geotechnischen Untersuchungsphase dann zwingend Baugrundaufschlüsse als Kernbohrungen bis in das Festgestein (bis in mindestens 10 m Tiefe u. GOK) ausgeführt werden. Ausgewählte Kernbohrungen sollten als Grundwassermessstellen ausgebaut und für ein Grundwassermonitoring vorbereitet werden. Weiterhin sollten aus den Kernstrecken der Kernbohrungen ungestörte Proben für boden- und felsmechanische Laboruntersuchungen ausgewählt werden, die dann u. a. Kornverteilungsuntersuchungen, die Feststellung des organischen Anteils der Böden, Dichtebestimmungen, die Ermittlung der Wasserdurchlässigkeit oder Rahmenscherversuche beinhalten sollten.

Dr. rer. nat. D. Steinhau
- Dipl.-Geophysiker -