



Bild 12: Einbruch 7 im Übergang einer Kalksteinformation zur Lockergesteinsfüllung der Versturzzzone



Bild 13: geklüftete Kalksteinformation im Osten des Schurfs, rechts im Bild das dunkle Material im Einbruchtrichter



Bild 14: Weitere Vertiefung des Schurfs am Einbruchtrichter 7



Bild 15: nachbrechendes Kalksteinmaterial



Bild 16:
freigelegte Kalksteininformation
mit Überhang



Bild 17: Aushubniveau -5,0 m: dunkles weiches bindiges Material (Beckensediment?) im Einbruchtrichter bis zur Endtiefe des Großschurfes



Bild 18:
Aushubniveau -5,0 m



Bild 19:
mit schluffigen Sanden gefüllte
Klüfte im Kalkstein in der
Kontaktzone Versturzzone /
Malm



Bild 20: Verlängerung des Schurfs nach Norden: dunkles Material im Einsturztrichter im direkten Kontakt zu geklüfteten Kalkstein



Bild 21: Verlängerung des Schurfs nach Norden: dunkles Material im Einsturztrichter im direkten Kontakt zu geklüfteten Kalkstein



Bild 22: Ansicht des geklüfteten Kalksteins im Nordosten des Einbruchtrichters 7



Bild 23: Großschurf am Einbruchtrichter 7 nach Abschluss der Schurfarbeiten (Blick nach Südosten)

**Pumpspeicherkraftwerk Happurg · Sanierung Oberbecken
Untergrundsanieerung im Bereich der Störzone**

Baugrund- und Sanierungsgutachten

Anlage 7

Ergebnisse der Baugrunderkundung 2011

Schurferkundung

- Schürfe am Anschluss der Dichtungssysteme
von Beckensohle und Ringdamm an das
Einlassbauwerk vom 02.08.2011

7.6

20.02.2012

Pumpspeicherwerk Happurg, Oberbecken, Sohleinbrüche vom 18.01.2011
Schurfarbeiten zur Erkundung des Anschlusses der Dichtungssysteme an das
Einlaufbauwerk vom 02.08.2011

Dokumentation der Ergebnisse

Auf Veranlassung der Fichtner GmbH & Co. KG wurden im Auftrag der E.ON Wasserkraft GmbH am 02.08.2011 unter unserer fachgutachterlichen Aufsicht und Anleitung vier Schürfe durchgeführt, mit denen der Anschluss der Dichtungssysteme von Beckensohle und wasserseitiger Böschung des Ringdammes an das im Norden des Oberbeckens stehende Einlaufbauwerk untersucht werden sollte.

Die Lage der Schürfe gab die Fichtner GmbH & Co. KG mit E-Mail vom 01.08.2011 vor (siehe Anlage 1). Danach wurden zwei Schürfe (EB 1 und EB 3) im Übergang des Dichtungssystems Beckensohle an die Sohlplatte ausgeführt und jeweils ein Schurf im Böschungsbereich hinter der östlichen und der westlichen Flügelwand (EB 2 und EB 4).

Nachfolgend werden die Ergebnisse der Schurferkundung dokumentiert.

Schurf EB 1

Der aufgeschlossene Aufbau entspricht im Wesentlichen der in Anlage 2 im Querschnitt skizzierten Ausbildung des Abschlusses der Beckensohle an die Einlaufwanne nach der Sanierung dieses Bereiches.

Zunächst wurde die 18 cm dicke Ortbetonplatte entfernt (Bilder 1 und 2). Die Fugen waren mit Bitumenverguß ausgeführt. In den Längsfugen waren Schalbretter (2,5 cm x 20 cm) eingelegt (Bild 3).

Unter dem Ortbeton stand der in Anlage 2 als 'Lehm neu' bezeichnete Tonkeil an (Bild 4), der aus einem dunkelgrauen, homogenen Ton besteht, der auf den oberen 3 cm bis 5 cm stark aufgeweicht war, darunter ab in weicher bis steifer Konsistenz anstand.

Die Oberkante der Herdmauer gemäß Anlage 2 wurde 50 cm unter Oberkante Schleppplatte angetroffen. In der Herdmauer wurde ein Dichtungselement freigelegt (Bilder 5 und 6).

Der Tonkeil erreichte unter der Schlepplatte eine größte Dicke von rund 1,1 m. Der Anschluss an das Dichtungssystem des Beckens war unterbrechungsfrei. Die Lehmichtung im Becken besteht im Anschlussbereich aus einem dunkelbraunen sandigen, schwach steinigen Schluff steifer Konsistenz,

Die aufgeschlossene Situation ist zusammenfassend in Bild a. skizziert.

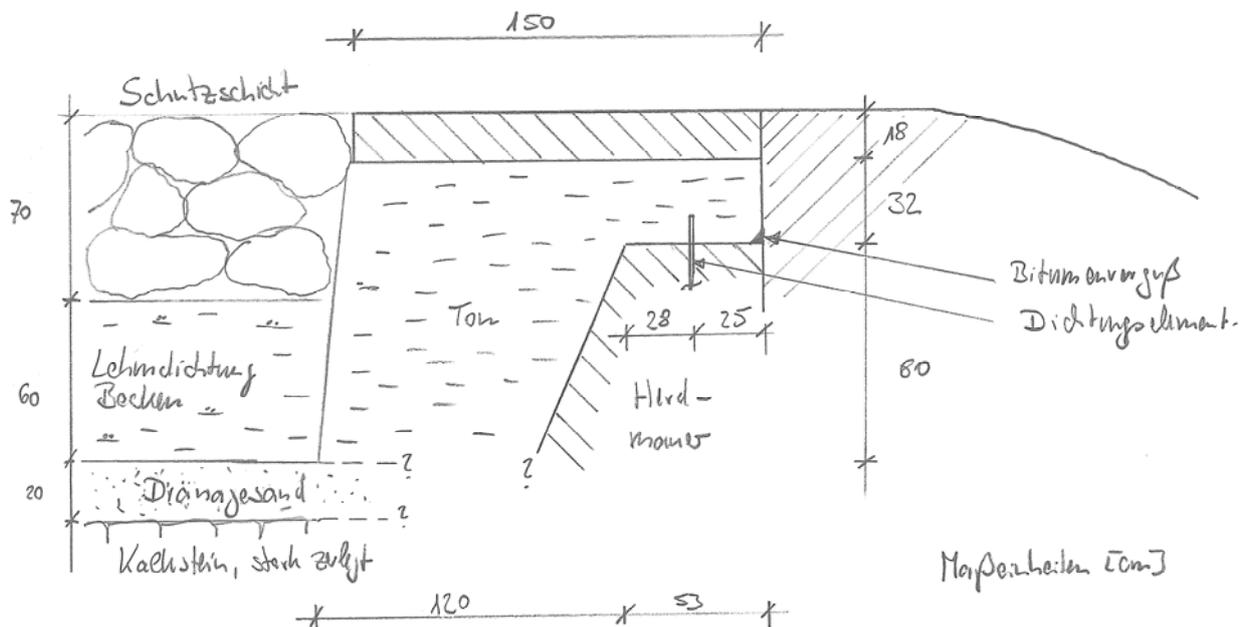


Bild a: Schurf EB 1: Anschlusskonstruktion Beckendichtung an Einlaufwanne gemäß Schurfaufnahme vom 02.08.2011

Schurf EB 2

Der Schurf wurde hinter der westlichen Flügelwand des Einlaufbauwerkes in etwa im unteren Drittelspunkt der Böschung des Ringdammes ausgeführt (Bild 7).

Rund 90 cm unter Oberkante Flügelwand wurde der in Anlage 1, Schnitt b-b, skizzierte Tonkeil angetroffen (Bilder 8 und 11), der aus einem dunkelgrauen Ton steifer Konsistenz besteht, in den wiederholt und flächig 1 cm dünne hellgraue Betonitschlieren eingeschaltet sind (Bild 10).

Außerhalb des Tonkeils steht unter einem ≥ 50 cm mächtigen Steinwurf der hier wiederum stark schluffig ausgeprägte, sogenannte 'reine Talschotter' in einer Mächtigkeit von etwa 60 cm an (Bild 11).

Die Rückseite der Flügelwand ist rau und wurde offensichtlich in Ortbeton hergestellt (Bild 9).

Die Herdmauer ist an ihrer Oberkante 50 cm breit.

Schurf EB 3

Der Schurf EB 3 wurde im östlichen Bereich im Übergang der Sohlplatte des Einlaufbauwerks zur Beckensohle ausgeführt (Bilder 12 und 15).

Unter der Schleppplatte ($d = 18 \text{ cm}$) wurde wiederum der Tonkeil aus dunkelgrauen homogenen Ton angetroffen, der eine überwiegend steife, bereichsweise auch halb-feste Konsistenz besitzt. Die Mächtigkeit des Tons über der Herdmauer beträgt 30 cm.

Auf Grund starker Wasserzutritt aus der beckenseitigen Schutzschicht wurde der Schurf nicht weiter vertieft (Bild 14).

Schurf EB 4

Der Schurf wurde hinter der östlichen Flügelwand des Einlaufbauwerkes in etwa im unteren Drittelpunkt der Böschung des Ringdammes ausgeführt (Bild 16). Die Ausführung des Schurfes wurde durch unmittelbar hinter der Oberkante der Flügelwand verlaufende Leitungen, durch die vermutlich früher Kontrastmittel zur Fehstellenkontrolle eingeleitet werden konnte, erschwert.

Auf den obersten 2,0 m unter Böschungsoberfläche bzw. Oberkante Flügelwand wurden hier in einer steinig-schluffigen Matrix Blöcke aus Kalkstein mit Kantenlängen bis 1,8 m angetroffen (Bilder 17 und 18). Der Tonkeil gemäß Anlage 1, Schnitt b-b, wurde bis in 2,0 m Tiefe nicht aufgeschlossen; in dieser Tiefe musste der Schurf auf Grund nachfallender Steine und Blöcke aufgegeben werden.



Bild 1: Schurf EB 1



Bild 2: Schurf EB 1



Bild 3: Schurf EB 1



Bild 4: Schurf EB 1



Bild 5: Schurf EB 1



Bild 6: Schurf EB 1



Bild 7:
Schurf EB 2



Bild 8: Schurf EB 2

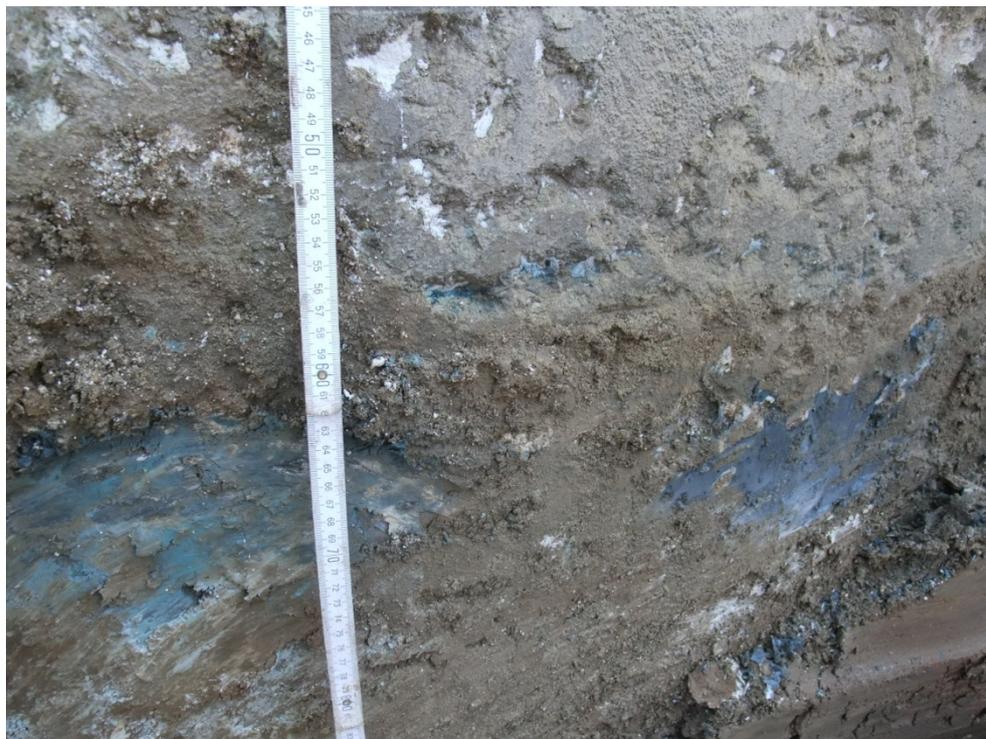


Bild 9: Schurf EB 2



Bild 10:
Schurf EB 2



Bild 11: Schurf EB 2



Bild 12: Schurf EB 3



Bild 13: Schurf EB 3



Bild 14:
Schurf EB 3



Bild 15: Schurf EB 3



Bild 16: Schurf EB 4



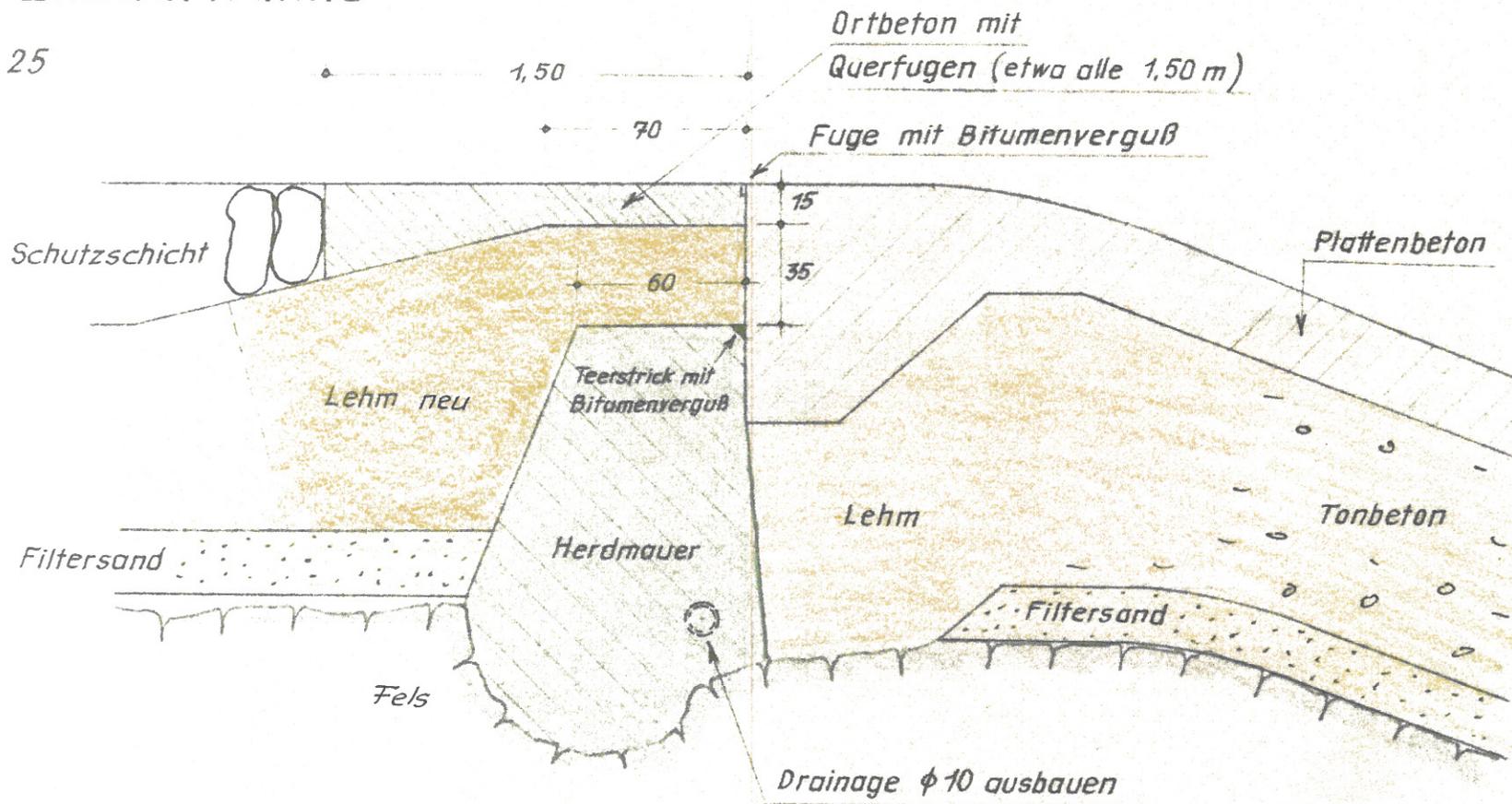
Bild 17: Schurf EB 4



Bild 18: Schurf EB 4

Einbau einer Herdmauer zwischen Sohlendichtung und Einlaufwanne

M. 1 : 25



Happurg, 30. Oktober 1958

**Pumpspeicherkraftwerk Happurg · Sanierung Oberbecken
Untergrundsanieerung im Bereich der Störzone**

Baugrund- und Sanierungsgutachten

Anlage 7

Ergebnisse der Baugrunderkundung 2011

Schurferkundung

- Schürfe am landseitigen Dammfuß zur Erkundung der Zusammensetzung des Dammschüttkörpers vom 15.08./16.08.2011

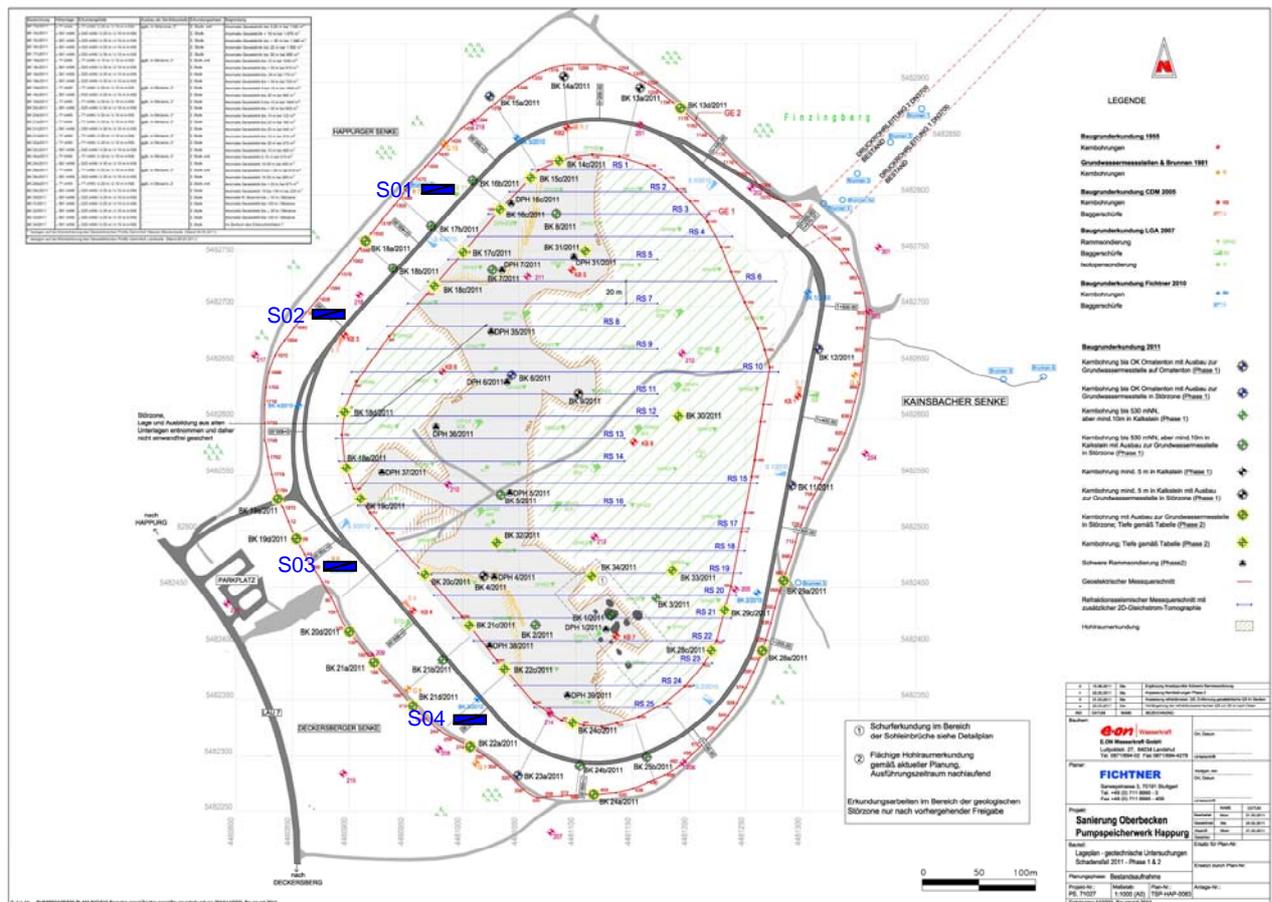
7.7

12.09.2011

Pumpspeicherwerk Happurg, Oberbecken

Schürfe am landseitigen Dammfuß zur Erkundung der Dammschüttung

Lageplan Schurf Nr. 01-04:



Durchgeführte Schurfarbeiten am 15.08.2011

S

12.09.2011

Pumpspeicherwerk Happurg, Oberbecken

Schürfe am landseitigen Dammfuß zur Erkundung der Dammschüttung

Schurf Nr. 01

Dokumentation der Ergebnisse

Der Schurf Nr. 01 mit einer maximalen Aushubtiefe von 2,5 m wurde am 15.08.2011 im Bereich des nordwestlichen Ringdamms geöffnet (siehe Lageplan). Die Ergebnisse werden nachfolgend stichpunktartig beschrieben und photographisch dokumentiert.

- Erkundeter Aufbau des Ringdamms:
 - 30-40 cm Oberboden als Deckschicht (Bild 1 bis Bild 6)
 - bis Schurfsohle (2,5 m) Steinschüttung mit vergleichsweise hohem Feinkornanteil ('lehmhaltig'), gebrochene Steine und Blöcke mit Kantenlängen 30 cm, bis in eine Tiefe von 1,0 m Blöcke bis 60 cm Kantenlänge, z.T. stark verwurzelt bis in eine Tiefe von 1,0 m (Wurzeldurchmesser bis 3 cm), graubraun mit lagenweiser rötlicher Färbung (Bild 7 und Bild 8)
- Grundwasser und Schichtwasser wurden nicht angetroffen.
- Der Schurf wurde am 17.08.2011 mit dem ursprünglichen Bodenmaterial wieder verfüllt. Die maximale Schütthöhe des lagenweise eingebauten Bodens betrug 0,3 m. Die Verdichtung jeder Schüttlage erfolgte mit einer Rüttelplatte.



Bild 1: Blick von Nordwesten auf Schurf Nr. 01 (aufgenommen am 15.08.2011)



Bild 2: Aushubtiefe Schurf Nr. 01 bei ca. 1,0 m (aufgenommen am 15.08.2011)



Bild 3: Aushubtiefe Schurf Nr. 01 bei ca. 1,0 m (aufgenommen am 15.08.2011)



Bild 4: Aushubtiefe Schurf Nr. 01 bei ca. 2,5 m (aufgenommen am 15.08.2011)



Bild 5: Schurf Nr. 01 (aufgenommen am 15.08.2011)



Bild 6: Schurf Nr. 01 (aufgenommen am 15.08.2011)



Bild 7: Schurf Nr. 01 (aufgenommen am 17.08.2011)

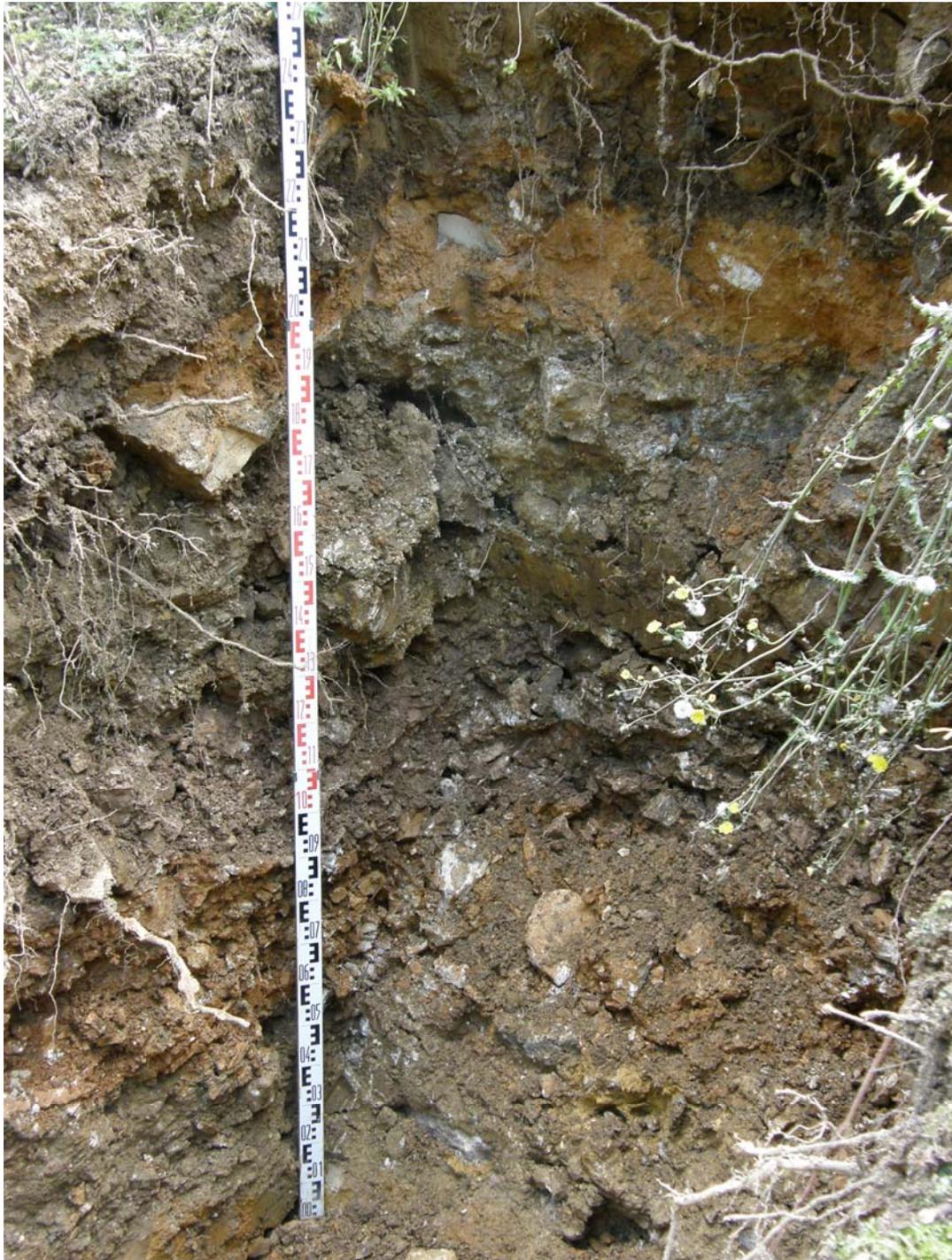


Bild 8: Schurf Nr. 01 (aufgenommen am 17.08.2011)

12.09.2011

Pumpspeicherwerk Happurg, Oberbecken

Schürfe am landseitigen Dammfuß zur Erkundung der Dammschüttung

Schurf Nr. 02

Dokumentation der Ergebnisse

Der Schurf Nr. 02 mit einer maximalen Aushubtiefe von 2,9 m wurde am 15.08.2011 im Bereich des Ringdamms geöffnet (siehe Lageplan). Die Ergebnisse werden nachfolgend stichpunktartig beschrieben und photographisch dokumentiert.

- Erkundeter Aufbau des Ringdamms:
 - 30-40 cm Oberboden als Deckschicht (Bild 1 und Bild 3); z.T. stark verwurzelt (Wurzeln bis in eine Tiefe von ca. 80 cm), vereinzelt noch ganze Wurzelstöcke vorhanden; vereinzelt Blöcke mit einer Kantenlänge von bis zu 50 cm eingelagert (Bild 2)
 - bis Schurfsohle (2,9 m) Steinschüttung, lehmhaltig (Bild 3 und Bild 4); überwiegend Steine jedoch vereinzelt auch scharfkantige Blöcke mit einer Kantenlänge von bis zu 60 cm; dunkelbraun mit rötlichem Farbstich (Bild 3)
- Grundwasser und Schichtwasser wurden nicht angetroffen.
- Der Schurf wurde am 17.08.2011 mit dem ursprünglichen Bodenmaterial wieder verfüllt. Die maximale Schütthöhe des lagenweise eingebauten Bodens betrug 0,3 m. Die Verdichtung jeder Schüttlage erfolgte mit einer Rüttelplatte.



Bild 1: Blick von Westen auf Schurf Nr. 02 (aufgenommen am 15.08.2011)

Bild 2: Freigelegte Block mit einer Kantenlänge von ca. 50 cm (aufgenommen am 15.08.2011)





Bild 3: Aushubtiefe Schurf Nr. 02 bei ca. 2,0 m (aufgenommen am 15.08.2011)



Bild 4: Aushubtiefe Schurf Nr. 02 bei ca. 2,9 m (aufgenommen am 17.08.2011)

12.09.2011

Pumpspeicherwerk Happurg, Oberbecken

Schürfe am landseitigen Dammfuß zur Erkundung des Dammschüttung

Schurf Nr. 03

Dokumentation der Ergebnisse

Der Schurf Nr. 03 mit einer maximalen Aushubtiefe von 2,2 m wurde am 15.08.2011 im Bereich des südwestlichen Ringdamms geöffnet (siehe Lageplan). Die Ergebnisse werden nachfolgend stichpunktartig beschrieben und photographisch dokumentiert.

- Erkundeter Aufbau des Ringdamms:
 - 60-80 cm Oberboden als Deckschicht (Bild 1 bis Bild 3); stark mit Wurzeln durchsetzt; vereinzelt noch ganze Wurzelstöcke vorhanden; eingelagerte Steine sowie vereinzelt scharfkantige große Blöcke mit einer Kantenlänge bis zu 70 cm (Bild 10)
 - bis Schurfsohle (2,2m) Steinschüttung, lehmhaltig; scharfkantige Steine und Blöcke bis 100 cm (Bild 4 bis Bild 9)
- Grundwasser und Schichtwasser wurden nicht angetroffen.
- Der Schurf wurde am 17.08.2011 mit dem ursprünglichen Bodenmaterial wieder verfüllt. Die maximale Schütthöhe des lagenweise eingebauten Bodens betrug 0,3 m. Die Verdichtung jeder Schüttlage erfolgte mit einer Rüttelplatte.



Bild 1: Blick von Südwesten auf Schurf Nr. 03 (aufgenommen am 15.08.2011)



Bild 2: Schurf Nr. 03 mit abgetragenem Oberboden (aufgenommen am 15.08.2011)



Bild 3: Schurf Nr. 03 (aufgenommen am 15.08.2011)



Bild 4: Schurf Nr. 03
(aufgenommen
am 15.08.2011)



Bild 5: Schurf Nr. 03 (aufge-
nommen am
15.08.2011)



Bild 6: Block mit Kantenlänge von ca. 30 cm (aufgenommen am 15.08.2011)

Bild 7: Block mit Kantenlänge von ca. 100 cm (aufgenommen am 15.08.2011)





Bild 8: Schurf Nr. 03 (aufgenommen am 15.08.2011)



Bild 9: Schurf Nr. 03 (aufgenommen am 15.08.2011)



Bild 10: Block mit Kantenlänge von ca. 70 cm (aufgenommen am 15.08.2011)

12.09.2011

Pumpspeicherwerk Happurg, Oberbecken

Schürfe am landseitigen Dammfuß zur Erkundung der Dammschüttung

Schurf Nr. 04

Dokumentation der Ergebnisse

Der Schurf Nr. 04 mit einer maximalen Aushubtiefe von 2,8 m wurde am 15.08.2011 im Bereich des südlichen Ringdamms geöffnet (siehe Lageplan). Die Ergebnisse werden nachfolgend stichpunktartig beschrieben und photographisch dokumentiert.

- Erkundeter Aufbau des Ringdamms:
 - 30-40 cm Oberboden als Deckschicht (Bild 1 und Bild 3); stark mit Wurzeln zersetzt; vereinzelt oberflächennah scharfkantige große Blöcke mit einer Kantenlänge von bis zu 90 cm (Bild 2)
 - bis Schurfsohle (2,8 m) Steinschüttung, lehmhaltig (Bild 3 bis Bild 7); scharfkantige Steine und Blöcke bis 90 cm Kantenlänge
- Grundwasser und Schichtwasser wurden nicht angetroffen.
- Der Schurf wurde am 17.08.2011 mit dem ursprünglichen Bodenmaterial wieder verfüllt. Die maximale Schütthöhe des lagenweise eingebauten Bodens betrug 0,3 m. Die Verdichtung jeder Schüttlage erfolgte mit einer Rüttelplatte.



Bild 1: Blick von Süden auf Schurf Nr. 04 (aufgenommen am 15.08.2011)



Bild 2: Scharfkantiger großer Block mit Kantenlänge von ca. 90 cm
(aufgenommen am 15.08.2011)



Bild 3: Schurf Nr. 04 (aufgenommen am 15.08.2011)



Bild 4: Bodenmaterial aus Schurf Nr. 04 (aufgenommen am 15.08.2011)



Bild 5: Schurf Nr. 04 (aufgenommen am 17.08.2011)



Bild 6: Schurf Nr. 04 (aufgenommen am 17.08.2011)



Bild 7: Schurf Nr. 04 (aufgenommen am 17.08.2011)

**Pumpspeicherkraftwerk Happurg · Sanierung Oberbecken
Untergrundsanieerung im Bereich der Störzone**

Baugrund- und Sanierungsgutachten

Anlage 7

Ergebnisse der Baugrunderkundung 2011

Schurferkundung

- Schürfe am wasserseitigen Dammfuß zur Erkundung
im Bereich des geplanten Startschachtes für die
Durchpressung der Dränage vom 21.11.2011 7.8

21.11.2011

Pumpspeicherwerk Happurg, Oberbecken

Schürfe am wasserseitigen Dammfuß: Vorpressung Dränage

Dokumentation der Ergebnisse

Die Planungen der Fichtner GmbH & Co. GmbH für die Sanierung des Oberbeckens sehen vor, dass die Dränageleitungen des Dichtungssystems im Nordosten des Oberbeckens bei km 1+478,8 aus dem Becken durch den Ringdamm nach außen geführt werden. Dazu ist eine Durchpressung bzw. ein entsprechender Mikrotunnelvortrieb vorgesehen.

Zur Klärung der Baugrundsituation im Bereich des Startschachtes wurde am 21.11.2011 ein Schurf am Standort der zukünftigen Startbaugrube gemäß Vorgabe der Fichtner GmbH & Co. GmbH vom 17.11.2011 ausgeführt. Anlage 1 zeigt die vorgegebene Lage des Schurfes, Anlage 2 den Schnitt bei km 1+478,8 vor Durchführung des Schurfes. Der Schurf liegt danach rund 10 m südlich der östlichen Flügelmauer des Einlaufbauwerks in etwa 2 m Entfernung vom wasserseitigen Böschungsfuß des Ringdammes. Der Schurf wurde von der Züblin Spezialtiefbau GmbH ausgeführt.

Die Ergebnisse des Schurfes werden nachfolgend stichpunktartig beschrieben und photographisch dokumentiert.

- Erkundeter Aufbau unter Beckensohle (Bilder 1 bis 4):
 - 50 cm Schutzschicht aus Blöcken und Steinen in aus Beckensedimenten gebildeter schluffiger Matrix (Y,X,u*)
 - 50 cm bis 55 cm 'Lehmdichtung Tallehm' (oberer Teil Beckendichtung), Ton steifer bis halbfest Konsistenz; dunkelgrau;
 - 10-15 cm 'Lehm aus dem Oberbecken', schwach sandiger, teilweise steiniger Schluff, ockerfarbener, tlw. gefleckter Färbung;
 - 20 cm Dränagesand, Mittelsand, rötlichbraun
- in der Summe damit weitgehend planmäßiger Aufbau des Dichtungssystems

- unmittelbar darunter Kalkstein, klüftig, teilweise blockig zerlegt, Oberfläche Kalkstein ca. 1,40 m unter Oberkante Beckensohle; die Oberfläche des Kalksteins liegt damit höher als in dem Schnitt in Anlage 2 dargestellt.
- Schichtwasser wurden nicht angetroffen.
- Der Schurf wurde am 21.11.2011 mit dem ursprünglichen Bodenmaterial wieder verfüllt und verdichtet. Dabei wurde die Lehmdichtung separiert wieder eingebaut.



Bild 1: Blick von Süden auf Herstellung des Schurfs 10 m südlich von Einlaufbauwerk



Bild 2: Schurf auf 1,4 m vertieft: planmäßig aufgebautes Dichtungssystem



Bild 3: Kalkstein ab 1,4 m unter Beckensohle: mit Baggerschaufel nicht lösbar



Bild 4: Schurf auf 1,4 m vertieft: im Hintergrund Fuß Ringdamm

**Anlage 1
zum Schurfbericht
vom 21.11.2011**

LEGENDE:

- Achse - Dammkrone
- Höhenlinie
- Höhenlinie im Oberbecken
- Fahrbahn
- Mauer
- Gebäude
- Zaun
- Drainagesammel-Ltg.

Finzingberg



DRUCKROHRLÄUFUNG 2 DN3700
BESTAND

DRUCKROHRLÄUFUNG 1 DN3700
BESTAND

HAPPURGER SENKE

Einlaufbauwerk

Zufahrtsrampe
in das Becken

Schutzrohr - Stahlbeton
Vortriebsrohr DN 1200

Mess und
Pumpschacht

Schurf:

- Koordinate (X: 4461275,36; Y: 5482681,91)
- ca. 10 m südlich des Einlaufbauwerks;
- ca. 2 m Abstand vom Dammfuß;
- Tiefe ca.3 m oder bis zu anstehenden Felshorizont;
- Böschung gemäß Arbeitssicherheit und Anforderungen;
- Schurf muss nicht begehbar sein;

nach
HAPPURG

PARKPLATZ

LAU 7

DECKERSBERGER SENKE

nach
DECKERSBERG

Maßstab 1:1000



Hinweis:
Grobplanum in Bereich der
Baugrundverbesserung ist Teil der Beauftragung.

Dichtungssystem und Drainagesystem ist Teil
einer separaten Beauftragung.

f			
e			
d			
c			
b			
a			

IND	DATUM	NAME	BEZEICHNUNG
-----	-------	------	-------------

Bauherr:
e-on | Wasserkraft
E.ON Wasserkraft GmbH
Luitpoldstr. 27, 84034 Landshut
Tel. 0871/694-02 Fax 0871/694-4279

Ort, Datum
Unterschrift

Planer:
FICTNER
Sarweystrasse 3, 70191 Stuttgart
Tel. +49 (0) 711 8995 - 0
Fax +49 (0) 711 8995 - 459

Stuttgart, den 07.11.2011
Ort, Datum
Unterschrift

Projekt:	NAME	DATUM
Bearbeitet	Stan.	30.09.2011
Gezeichnet	Ted.	18.10.2011
Geprüft	Pliz.	03.11.2011
Gesehen		

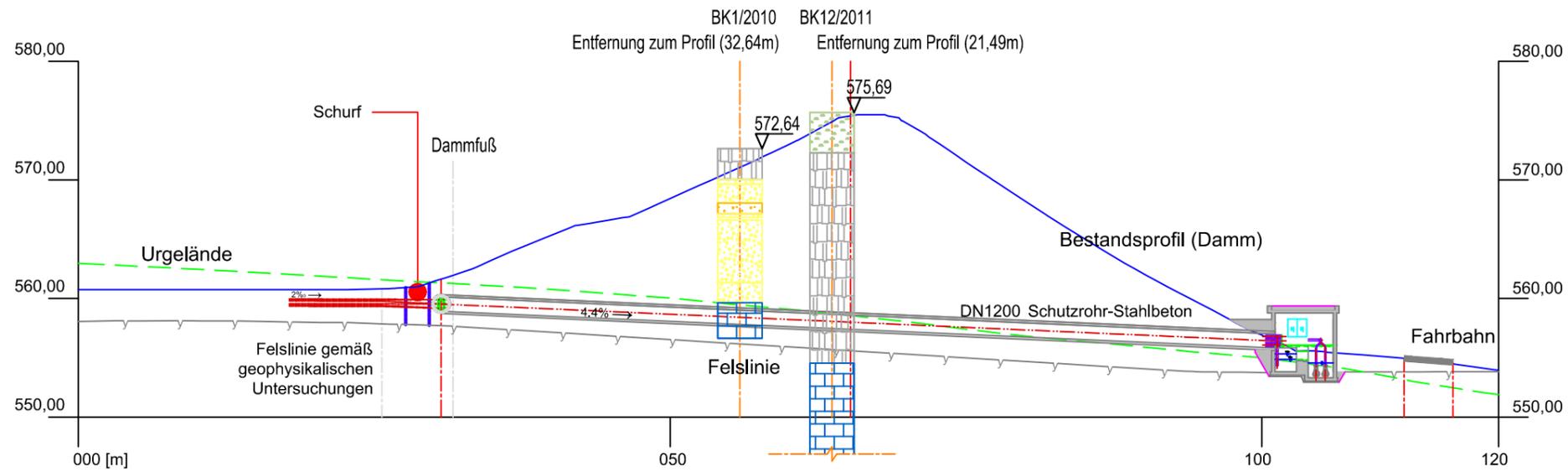
Bauteil:
Schürfe Koordinate

Ersatz für Plan-Nr:
Ersetzt durch Plan-Nr:

Planungsphase: Ausschreibung			
Projekt-Nr.:	Maßstab:	Plan-Nr.:	Anlage-Nr.:
PS. 71027	1:1000	TSP-HAP	
Dateiname: TSP-HAP-1408_v1			

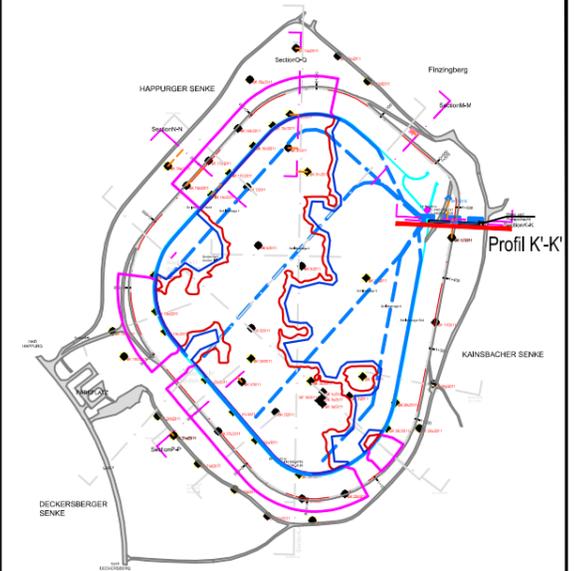
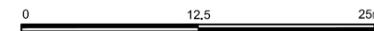
Anlage 2

zum Schurfbericht vom 21.11.2011



Profil K'-K'
1+478,80

Maßstab 1:500



Lithologie Bohrprofile

- Hohraum
- Kalkstein
- Kies
- Lehm
- Ornaton
- Sand
- Schluff
- Steine
- Ton

Legende

- Weg
- Damm Achse
- Urgelände
- Angenommene Felslinie
- Dammprofil
- Achse Bohrprofil

Hinweis:

Die Felslinie unterhalb der Damms wurde auf Grundlage der geophysikalischen Untersuchungen durch lineare Interpolation der Ergebnisse am luft- und wasserseitigen Dammfuß ermittelt.

d			
c			
b			
a			

IND	DATUM	NAME	BEZEICHNUNG
-----	-------	------	-------------

Bauherr:	E.ON Wasserkraft E.ON Wasserkraft GmbH Luitpoldstr. 27, 84034 Landshut Tel. 0871/694-02 Fax 0871/694-4279	Ort, Datum Unterschrift
----------	---	----------------------------

Planer:	FICHTNER Sarweystrasse 3, 70191 Stuttgart Tel. +49 (0) 711 8995 - 0 Fax +49 (0) 711 8995 - 459	Stuttgart, den 18.11.2011 Ort, Datum Unterschrift
---------	--	---

Projekt:	Sanierung Oberbecken Pumpspeicherwerk Huppurg	<table border="1"> <tr><th>NAME</th><th>DATUM</th></tr> <tr><td>Bearbeitet: Zhu</td><td>18.11.2011</td></tr> <tr><td>Gezeichnet: Zhu</td><td>18.11.2011</td></tr> <tr><td>Geprüft:</td><td></td></tr> <tr><td>Gesehen:</td><td></td></tr> </table>	NAME	DATUM	Bearbeitet: Zhu	18.11.2011	Gezeichnet: Zhu	18.11.2011	Geprüft:		Gesehen:	
NAME	DATUM											
Bearbeitet: Zhu	18.11.2011											
Gezeichnet: Zhu	18.11.2011											
Geprüft:												
Gesehen:												

Bauteil:	Querprofil K'-K' 1+478,80	Ersatz für Plan-Nr: Ersetzt durch Plan-Nr:
----------	---------------------------	---

Planungsphase:	
----------------	--

Projekt-Nr.: PS. 71027	Maßstab:	Plan-Nr.: TSP-HAP	Anlage-Nr.:
------------------------	----------	-------------------	-------------

Dateiname: All DGMS profile

**Pumpspeicherkraftwerk Happurg · Sanierung Oberbecken
Untergrundsanie rung im Bereich der Störzone**

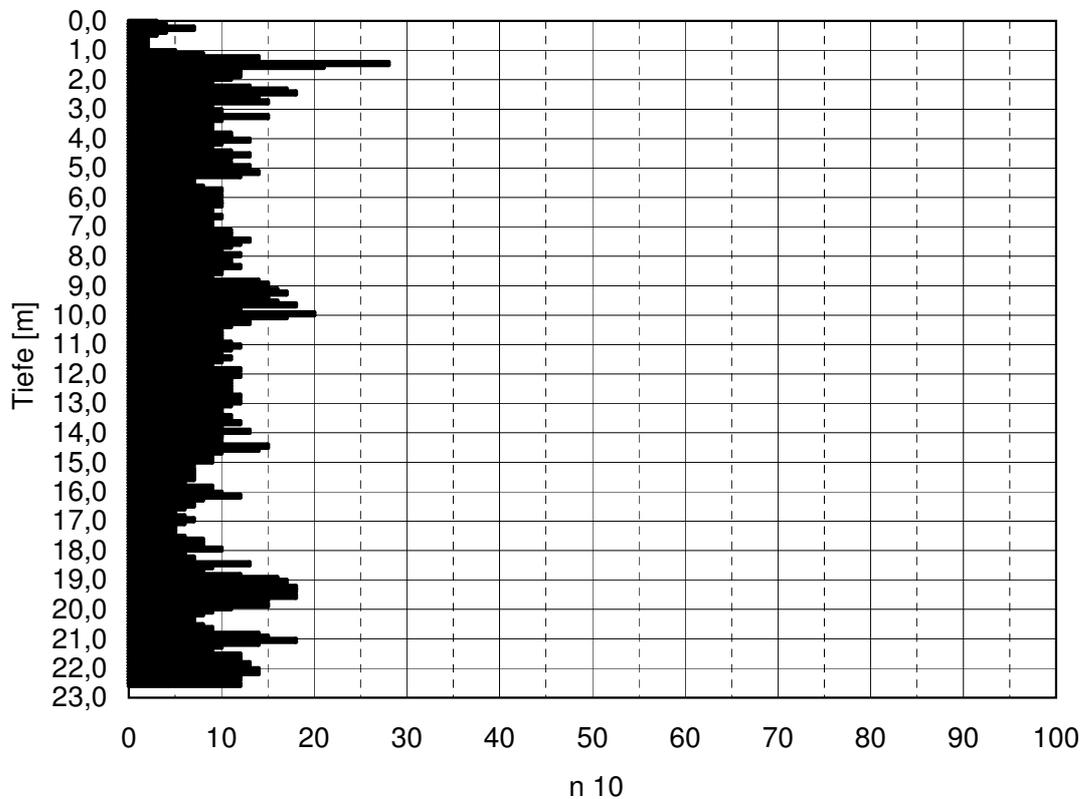
Baugrund- und Sanierungsgutachten

Anlage 8

Ergebnisse der Baugrunderkundung im Jahr 2011

Schwere Rammsondierungen

Bauvorhaben: PSW Happurg
 Rammsondierung nach DIN 4094 (DPH)
 DPH 31/2011



Tiefe [m]	Eindringwiderstände pro 10 cm [n10]									
0,0-1,0	3	4	7	4	3	2	2	2	2	2
1,0-2,0	5	8	14	13	28	21	12	12	12	11
2,0-3,0	9	9	13	17	18	14	9	15	9	7
3,0-4,0	10	9	15	10	9	9	9	9	11	11
4,0-5,0	13	10	9	8	11	13	11	10	11	13
5,0-6,0	12	14	12	7	7	7	8	10	8	10
6,0-7,0	9	10	10	9	9	8	10	9	8	9
7,0-8,0	9	11	11	10	13	12	11	8	10	12
8,0-9,0	9	11	11	12	10	10	9	9	14	15
9,0-10,0	15	16	17	15	10	16	18	12	12	20
10,0-11,0	17	13	13	11	9	10	10	10	10	11
11,0-12,0	12	11	9	10	11	10	9	9	12	11
12,0-13,0	12	11	11	11	11	11	11	12	10	12
13,0-14,0	11	10	10	10	11	10	12	10	10	13
14,0-15,0	10	10	9	10	15	14	10	9	9	9
15,0-16,0	7	6	7	7	7	7	6	6	9	7
16,0-17,0	10	12	8	6	7	6	4	6	6	7
17,0-18,0	6	5	5	5	4	6	8	8	8	10
18,0-19,0	6	6	7	7	13	9	8	8	12	16
19,0-20,0	17	16	18	18	17	18	15	12	15	11
20,0-21,0	9	8	7	7	7	8	9	9	14	15
21,0-22,0	18	14	10	9	9	12	12	12	13	11
22,0-23,0	14	14	12	12	9	12				

**Pumpspeicherkraftwerk Happurg · Sanierung Oberbecken
Untergrundsaniekung im Bereich der Störzone**

Baugrund- und Sanierungsgutachten

Anlage 9

Ergebnisse der Baugrunderkundung im Jahr 2011

Geophysikalische Untersuchungen

**Pumpspeicherkraftwerk Happurg · Sanierung Oberbecken
Untergrundsanie rung im Bereich der Störzone**

Baugrund- und Sanierungsgutachten

Anlage 9

**Ergebnisse der Baugrunderkundung 2011
Geophysikalische Untersuchungen**

Anlage 9.1

Ergebnisbericht Pumpspeicherwerk Happurg, Sanierung Oberbecken ·
Geophysikalische Erkundung im Bereich der Störzone · Geoelektrik,
Refraktionstomographie,
aufgestellt am 21.09.2011 durch die Gesellschaft für
Geowissenschaftliche Dienste mbH · GGD, Leipzig

Über 60 Jahre Geophysikalische Dienste in Leipzig

Geophysik GGD



Gesellschaft für Geowissenschaftliche Dienste mbH

Telefon (0341) 5 83 13 0

Telefax (0341) 5 83 13 33

info@geophysik-ggd.com

www.geophysik-ggd.com

Ehrensteinstraße 33 • 04105 Leipzig



Ergebnisbericht

Pumpspeicherwerk Happurg, Sanierung Oberbecken

Geophysikalische Erkundung im Bereich der Störzone

**Geoelektrik
Refraktionstomographie**



Ergebnisbericht

Messgebiet: Pumpspeicherwerk Happurg, Oberbecken

Auftragsnummer: 31016

Auftraggeber: E.ON Wasserkraft GmbH
Luitpoldstraße 27
84034 Landshut

Methodik: Refraktionsseismik und 2D-Geoelektrik

Feldarbeiten: Seismik: 12.04. – 20.04.2011
Geoelektrik: 07.04. – 04.05.2011

Bearbeiter: Dipl.-Geophys. J. Schwabe
Tel.: 0341 58313-42

Dipl.-Geophys. F. Zetsche
Tel.: 0341 58313-

Editor: Dipl.-Geophys. Dr. R. Scheibe
Tel.: 0341 58313-15

Anlagen: 6 (28 Blatt)

Ort und Datum: Leipzig, den 21.09.2011

Inhaltsverzeichnis

1	Veranlassung und Aufgabenstellung.....	6
2	Geophysikalischer Lösungsweg.....	6
2.1	Seismik.....	6
2.2	Goelektrik	7
3	Anlage und Durchführung der Messungen.....	9
3.1	Goelektrik	10
3.2	Seismik.....	12
4	Datenbearbeitung und Darstellung der Messergebnisse.....	15
4.1	Goelektrik	15
4.2	Refraktionsseismik.....	16
5	Interpretation	17
5.1	Vorbetrachtungen	17
5.2	Goelektrik	17
5.3	Refraktionsseismik.....	19
5.4	Integrierende Interpretation (Komplexinterpretation) beider Methoden.....	21
6	Zusammenfassung	25

Anlagenverzeichnis

Anlage 1	Lageplan der geophysikalischen Messprofile und Bohransatzpunkte	1 : 2 000
Anlage 2.1.1	Darstellung des spezifischen elektrischen Widerstandes der Profile E1 bis E5	1 : 1 000
Anlage 2.1.2	Darstellung des spezifischen elektrischen Widerstandes der Profile E6 bis E10	1 : 1 000
Anlage 2.1.3	Darstellung des spezifischen elektrischen Widerstandes der Profile E11 bis E15	1 : 1 000
Anlage 2.1.4	Darstellung des spezifischen elektrischen Widerstandes der Profile E16 bis E20	1 : 1 000
Anlage 2.1.5	Darstellung des spezifischen elektrischen Widerstandes der Profile E21 bis E25	1 : 1 000
Anlage 2.1.6	Darstellung der Kompressionswellengeschwindigkeit der Profile R26 und R27 und des spezifischen elektrischen Widerstandes der Profile E30 und E31	h 1 : 1 000 v 1 : 333
Anlage 2.2.1	Geoelektrische Horizontalschnitte aus Profilen E21 – E25, E30 (äußerer Dammfuß) und E31 (innerer Dammfuß), Tiefenniveaus 560.5 – 557.3 m ü. NN	1 : 5 000
Anlage 2.2.2	Geoelektrische Horizontalschnitte aus Profilen E21 – E25, E30 (äußerer Dammfuß) und E31 (innerer Dammfuß), Tiefenniveaus 556.0 – 551.5 m ü. NN	1 : 5 000
Anlage 2.2.3	Geoelektrische Horizontalschnitte aus Profilen E21 – E25, E30 (äußerer Dammfuß) und E31 (innerer Dammfuß), Tiefenniveaus 549.5 – 543.0 m ü. NN	1 : 5 000
Anlage 2.2.4	Geoelektrische Horizontalschnitte aus Profilen E21 – E25, E30 (äußerer Dammfuß) und E31 (innerer Dammfuß), Tiefenniveaus 540.0 – 531.0 m ü. NN	1 : 5 000
Anlage 3.1.1	Darstellung der Kompressionswellengeschwindigkeit der Profile R1 bis R5	1 : 1 000
Anlage 3.1.2	Darstellung der Kompressionswellengeschwindigkeit der Profile R6 bis R10	1 : 1 000
Anlage 3.1.3	Darstellung der Kompressionswellengeschwindigkeit der Profile R11 bis R15	1 : 1 000
Anlage 3.1.4	Darstellung der Kompressionswellengeschwindigkeit der Profile R16 bis R20	1 : 1 000

Anlage 3.1.5	Darstellung der Kompressionswellengeschwindigkeit der Profile R21 bis R25	1 : 1 000
Anlage 3.2.1	Refraktionstomographische Horizontalschnitte aus Profilen R1 – R 27, Tiefenniveaus 559.0 – 553.0 m ü. NN	1 : 5 000
Anlage 3.2.2	Refraktionstomographische Horizontalschnitte aus Profilen R1 – R 27, Tiefenniveaus 551.0 – 545.0 m ü. NN	1 : 5 000
Anlage 3.2.3	Refraktionstomographische Horizontalschnitte aus Profilen R1 – R 27, Tiefenniveaus 541.0 – 529.0 m ü. NN	1 : 5 000
Anlage 3.2.4	Refraktionstomographische Horizontalschnitte aus Profilen R1 – R 27, Tiefenniveaus 527.0 – 515.0 m ü. NN	1 : 5 000
Anlage 4.1	Komplexinterpretation der geophysikalischen Ergebnisse der Profile 1 bis 5	1 : 1 000
Anlage 4.2	Komplexinterpretation der geophysikalischen Ergebnisse der Profile 6 bis 10	1 : 1 000
Anlage 4.3	Komplexinterpretation der geophysikalischen Ergebnisse der Profile 11 bis 15	1 : 1 000
Anlage 4.4	Komplexinterpretation der geophysikalischen Ergebnisse der Profile 15 bis 20	1 : 1 000
Anlage 4.5	Komplexinterpretation der geophysikalischen Ergebnisse der Profile 20 bis 25	1 : 1 000
Anlage 4.6	Komplexinterpretation der geophysikalischen Ergebnisse der Profile R26, R27 und E31 (Dammfuß innen) sowie E30 (Dammfuß außen)	h 1 : 1 000 v 1:333
Anlage 5	Faktenkarte nach Komplexinterpretation	1 : 2 000
Anlage 6	Karte der Felsoberfläche nach Komplexinterpretation	1 : 2 000

1 Veranlassung und Aufgabenstellung

Im Oberbecken des Pumpspeicherwerkes (PSW) Happurg ist es wiederholt zu Sohleinbrüchen gekommen, die letzten massiven Einbrüche fanden im Januar des Jahres 2011 statt. Als Ursache dieser wiederholten Erdfallerscheinungen wird eine größere sedimentgefüllte Hohlform im anstehenden Festgestein vermutet. Unterhalb der Oberbeckensohle befindet sich stark zerklüfteter und teilweise tief verkarsteter Jurakalkstein, in welchem bereits zur Bauzeit eine größere, rinnenartige Struktur mit Lockersedimentfüllung bekannt geworden ist. Die Genese dieser Struktur ist nicht abschließend geklärt, daher wird diese bislang generell als geologische „Störzone“ bezeichnet. Im Bereich dieser bekannten Störzone wurden kreidezeitliche Sande und Tone sowie eiszeitlicher Lehm vorgefunden. Einzelne Kalksteinblöcke können innerhalb der Störzone nicht ausgeschlossen werden.

Zur Erkundung der räumlichen Ausdehnung der Störzone vorwiegend in der westlichen Hälfte des Oberbeckens wurden refraktionsseismische Messungen sowie geoelektrische Sondierungskartierungen (2D-Geoelektrik) durchgeführt. Aufgabe dieser Untersuchungen ist insbesondere die Erfassung der Geometrie der Störzone (Grenze Locker-/ Festgestein), es werden aber auch Aussagen zum Füllmaterial (rollig - bindig, Betonverpressungen, Felskörper) derselben erwartet.

Die geophysikalischen Erkundungsarbeiten umfassten eine Anlage paralleler Messprofile auf der westliche Beckensohle sowie zwei ringförmige Messprofile an am inneren und äußeren Dammfuß. Die geophysikalischen Arbeiten erfolgten parallel zu umfangreichen direkten geotechnischen Erkundungsarbeiten (Bohrungen) und sollte diese sowohl flächenhaft ergänzen als auch Anhaltspunkte für deren gezielte Festlegung liefern.

2 Geophysikalischer Lösungsweg

Zur Erkundung der räumlichen Ausdehnung einer Störzone im Oberbecken des PSW Happurg waren seismische Messungen in Form von Refraktionstomographie vorgesehen. Aufgabe dieser Untersuchungen sollte insbesondere die Erfassung der Geometrie der Störzone (Grenze Locker-/ Festgestein) im Bereich des Beckens sein. Ergänzende geoelektrische Untersuchungen in Form von 2D-Geoelektrik waren zunächst auf wenigen Querprofilen über die Störungszone sowie auf 2 ringförmigen Profilen am inneren und äußeren Dammfuß vorgesehen. Auf Grund des komplizierten Aufbaus der Füllung der Störzone sowie der zu erwartenden unregelmäßigen Gestaltung mit teilweiser starker Flankensteilheit wurde eine Kombination aus Seismik und Geoelektrik auf allen Profilen vorgeschlagen. Durch die Erfassung von zwei unterschiedlichen physikalischen Parametern (Schallgeschwindigkeit und spezifischer Widerstand) wurde in Verbindung mit den geplanten Bohrungen mit großer Wahrscheinlichkeit eine höhere Aussagesicherheit hinsichtlich der Geometrie der Störungszone sowie ihrer Zusammensetzung erwartet.

2.1 Seismik

Auf 27 Profilen wurden hochauflösende seismischen Messungen durchgeführt, welche refraktionsseismisch nach dem Verfahren der Tauchwellentomographie ausgewertet wurden. Von einem freien Grundwasserspiegel in der Lockerbedeckung wird ebenso wie von der Oberfläche des Festgesteins ein deutlicher Sprung in der P-Wellengeschwindigkeit v_p erwartet, welcher sich bei hinreichender Schichtmächtigkeit abbilden lassen sollte.

Seismische Verfahren nutzen die Ausbreitung elastischer Wellen im Untergrund, welche durch künstliche Quellen (hier: beschleunigtes Fallgewicht EWG III) erzeugt und nach Durchlaufen des Untergrundes entlang eines Profils von mehreren Empfängern (Geophonen) registriert werden. Der Standort der Quelle wird im Laufe der Messung so variiert, dass eine mehrfache Überdeckung des Untergrundes erreicht wird.

Das Verfahren der Refraktionstomographie (Tauchwellentomographie) basiert auf der refraktionsseismischen Durchschallung des Untergrundes und der tomographischen Auswertung der Ersteinsätze der gemessenen Wellen. Die Auswertung beruht darauf, dass die in Profilrichtung entstehende vertikale Untersuchungsebene mit möglichst vielen Laufzeitmessungen zwischen den Anregungs- und Empfangspunkten übermessen wird.

Voraussetzung für ein gutes Ergebnis ist eine möglichst homogene, weitgehend vollständige Überdeckung mit "Messstrahlen". Dies erfordert Messungen mit im Vergleich zur herkömmlichen Refraktionsseismik geringeren Anregungs- und Empfangspunktabständen. Mathematisch wird die Untersuchungsebene durch eine Belegungsdichte- und Geschwindigkeitsmatrix beschrieben. Zu diesem Zweck wird sie in hinreichend kleine Elementarflächen unterteilt. Vor der Durchführung der Berechnung des Geschwindigkeitsfeldes werden die Messdaten statistisch auf ihre Zuverlässigkeit beurteilt. Gleichzeitig erhält man dabei erste Informationen über Homogenität und Anisotropie des untersuchten Mediums.

Das nachfolgende Berechnungsverfahren ist iterativ und benötigt deshalb ein Startmodell. Zur Bestimmung der Geschwindigkeitsverteilung werden die nach einem ray-tracing-Algorithmus aus dem Startmodell theoretisch errechneten Laufzeiten mit den gemessenen Werten der jeweiligen Strahlen verglichen. Aus den Differenzen resultieren die Korrekturwerte, die an das Ausgangsmodell angebracht werden. Das modifizierte Modell dient wiederum als Ausgangspunkt für den nächsten Iterationsschritt. Diese Prozedur wird solange fortgesetzt, bis die Abweichungen hinreichend klein in Bezug auf die erzielte Messgenauigkeit sind. Die so resultierende Geschwindigkeitsverteilung bildet die natürlichen Verhältnisse in guter Näherung ab.

2.2 Geoelektrik

Zusätzlich wurden neben den seismischen Messungen auch geoelektrische Messungen auf 25 Profilen innerhalb des Beckens sowie auf 2 Ringprofilen am inneren und äußeren Dammfuß gemessen.

Die Gleichstrom-Geoelektrik macht sich die unterschiedliche elektrische Leitfähigkeit der Untergrundmaterialien unter Verwendung künstlicher Gleichstromfelder zu Nutze. Als maßgebende Materialeigenschaft, deren Variation im Untergrund letztendlich eine Strukturaussage bedeuten kann, dient hierbei der spezifische elektrische Widerstand ρ .

Der spezifische elektrische Widerstand wird in Lockersedimenten wesentlich sowohl vom Material (Korngrößenverteilung) als auch vom Wassergehalt beeinflusst. Aufgrund der großen inneren Oberfläche von Tonmineralen und der damit verbundenen Oberflächenleitfähigkeit werden niedrige Widerstände unter $50 \Omega \cdot m$ mit schluffigen und tonigen Lockersedimenten im erdfuchten Zustand in Verbindung gebracht. Bei reinen Tonen können hierbei Werte bis unter $10 \Omega \cdot m$ auftreten. Rollige Lockersedimente (Sande, Kiese) lassen sich davon mit höheren Widerständen ab ca. $100 \Omega \cdot m$ (wassergesättigt) bis mehreren tausend Ohmmetern (trocken) abgrenzen. Generell bewirkt ein Anteil an feinkörnigem Material (Schluff, Ton) eine Abnahme des Widerstandes. Im Festgestein hängt der spezifische elektrische Widerstand vom Grad der Verwitterung und dem damit einhergehenden Feuchtegehalt des Gesteines ab. Für den im Messgebiet vorkommenden Kalkstein sind Widerstandswerte zwischen einigen hundert $\Omega \cdot m$ (klüftig, feucht) und mehrere tausend Ohmmetern (kompakt, trocken) zu erwarten.

Das Verfahren der Sondierungskartierung (auch als 2D-Geoelektrik oder elektrische Tomographie bezeichnet) hat sich in den letzten Jahren zum Standardverfahren der Widerstandselektrik entwickelt. Dieses Verfahren wird auf Profilen durchgeführt und erlaubt durch die rationelle Verbindung einer Kartierung mit Sondierungen eine detaillierte Erkundung sowohl in horizontaler als auch in vertikaler Richtung. Die Methode ist zur Erfassung lithologischer Verhältnisse geeignet, wenn sich die Gesteine in ihrem spezifischen elektrischen Widerstand bzw. in ihrer Leitfähigkeit unterscheiden. Da die elektrische Leitfähigkeit der natürlichen Gesteine in erster Linie durch die elektrolytische Leitfähigkeit der Porenflüssigkeit sowie die Grenzflächenleitfähigkeit der enthaltenen Tonminerale bestimmt wird, können mit geoelektrischen Widerstandsmessungen vor allem Gesteine abgegrenzt werden, die sich in ihrer Porosität (Locker-/Festgestein) sowie in ihrem Gehalt an Tonmineralen (rollige/bindige Lockersedimente) unterscheiden.

Bei dem Verfahren werden mehrere Kabelbäume mit Elektroden in konstantem Abstand auf den Profilen ausgelegt. Danach startet ein Messzyklus mit einer Multi-Elektroden-Apparatur, bei dem beginnend mit dem Abstand a bis zum Abstand a_{\max} in Abhängigkeit von der gewünschten Erkundungstiefe, von der Profillänge und dem zur Verfügung stehenden Kabelbaum für mehrere Aufstellungsweiten an jedem Punkt entlang des Profils die integralen (scheinbaren) Widerstände in $\Omega\cdot m$ gemessen werden (vgl. Abb. 1). Mit jeder Vergrößerung des Abstandes erhöht sich die Eindringtiefe der geoelektrischen Messungen (Faustformel für WENNER-Konfiguration: Eindringtiefe $\approx a/2$), so dass im Resultat auf dem vermessenen Profil eine detaillierte Erfassung der scheinbaren spezifischen Widerstände möglich ist. Die gesamte Profillänge wird durch das wiederholte Auslegen eines Kabelbaumes erreicht.

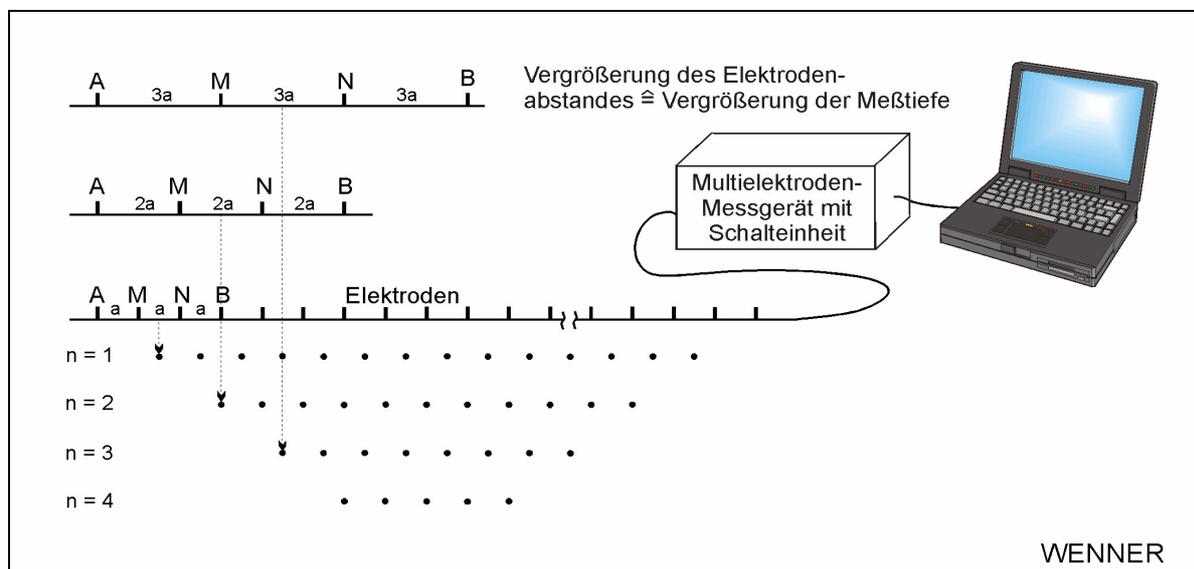


Abb. 1 Prinzipskizze zur Messung einer WENNER-Sondierungskartierung

Das Messergebnis einer Sondierungskartierung sind zunächst die scheinbaren spezifischen Widerstände der Einzelmessungen, zugeordnet zu ihren Messorten (sog. Pseudosektion). Für eine Interpretation muss daraus die tiefengerechte Verteilung der wahren spezifischen Widerstände im Untergrund berechnet werden. Dieser als Inversion bezeichnete Prozess basiert auf der iterativen Suche eines die gemessene Pseudosektion bestmöglich erklärenden Widerstandsmodells und wird durch entsprechende Software rechenstechnisch realisiert.

3 Anlage und Durchführung der Messungen

Die geophysikalischen Messungen auf der Beckensohle wurden auf 25 von West nach Ost verlaufenden parallelen Messprofilen mit einem mittleren gegenseitigen Abstand von ca. 20 m durchgeführt. Zum Messzeitpunkt war die Betretbarkeit der Beckensohle durch mehrere Dezimeter mächtige, schlammige Sedimentablagerungen stark eingeschränkt, daher wurden durch den AG die Profilachsen im Vorfeld auf ca. 3 m breiten Bahnen vom Sediment beräumt. Hierdurch war die Profilanlage im Becken weitgehend vorgegeben. Die Messprofile sind lageidentisch für die beiden eingesetzten Methoden Geoelektrik (Profile E01 bis E25) und Seismik (Profile R01 bis R25). Die individuelle Länge einzelner Geoelektrikprofile kann die der Seismikprofile im Sinne maximaler Erkundungstiefe übersteigen, wenn dies die Zugänglichkeit ermöglichte.



Abb. 2: von Sediment beräumte Messachsen im Becken

An beiden Dammfüßen (innen und außen) waren zunächst nur umlaufende geoelektrische Messprofile geplant. Aufgrund des guten Messfortschrittes war es möglich, auf Wunsch des AG zwei zusätzliche refraktionsseismische Profile (R26 und R27) als Teilabschnitte des inneren Ringprofils in der Westhälfte des Beckens zu messen. Dies sollte den Informationsstand im

Bereich des inneren Dammfußes verbessern, der durch die verminderte Erkundungstiefe an den Profilenden der Profile R01 - R25 stark eingeschränkt ist.

Die Messungen fanden parallel zu den laufenden Bohr- und Sicherungsarbeiten statt, was für geophysikalische Messungen erschwerte Bedingungen bedeutet. Insbesondere die seismischen Messungen sind naturgemäß empfindlich gegenüber jeglicher Art von Erschütterungen.

Der Verlauf aller Messprofile wurde in regelmäßigen Abständen mit Pflöcken markiert und anschließend geodätisch in Lage und Höhe lokal eingemessen. Mit Hilfe der vom Auftraggeber zur Verfügung gestellten Passpunkte wurden die lokalen Koordinaten in das Gauß-Krüger System, 4. Streifen (3°-Streifen) transformiert. Alle Höhenangaben sind auf NN bezogen. Die Lage sämtlicher Messprofile ist in der Anlage 1 dargestellt (Kartengrundlage vom Auftraggeber zur Verfügung gestellt).

3.1 Geoelektrik

Die geoelektrischen Messungen erfolgten in mehreren Etappen im Zeitraum vom 07.04. bis 03.05.2011. Es wurden 25 Profile im Inneren des Beckens gemessen, die Lage der geoelektrischen Profile stimmt mit der Lage der vorgegebenen seismischen Profilachsen überein, z. T. sind die Geoelektrik-Profile in Richtung Osten etwas länger angelegt als die Profile der Seismik (siehe Anl. 1 - Lageplan). Zwei weitere geoelektrische Profile wurden ringförmig entlang des inneren und des äußeren Dammfußes gemessen.

Die Messungen wurden mit einer Messapparatur vom Typ GMS 150 der Firma GeoSys durchgeführt. Als Messkonfiguration kam die WENNER-Konfiguration zum Einsatz, da diese nach unseren Erfahrungen am wenigsten empfindlich auf externen Störspannungen reagiert. Der Elektroden- und Messpunktabstand war als ökonomischer Kompromiss zwischen Auflösung und Aufwand (finanziell und zeitlich) mit 2 m festgelegt worden.

Die maximale Erkundungstiefe betrug entsprechend den Vorgaben des AG zunächst 20 m unter GOK. Mit dieser Tiefe wurde zunächst das Messprofil am äußeren Dammfuß gemessen. Nach Bekanntwerden erster Bohrerergebnisse sowie Vorlage erster Zwischenergebnisse aus dem Becken (Profile E7 bis E10) wurde vom AG der Wunsch geäußert, die Erkundungstiefe für die restlichen Profile zu vergrößern, da die Störzone offenbar eine größere Tiefenerstreckung besitzt als im Vorfeld angenommen. In der Folge wurde die Erkundungstiefe kurzfristig auf 24 m, nach entsprechender technologischer Änderung (größere Anzahl aktiver Elektroden) zeitnah auf 30 m vergrößert und die Profile im zentralen Bereich des Beckens nach den örtlichen Bedingungen verlängert, da für diese Erkundungstiefe eine entsprechend größere Aufstellungsweite benötigt wird (180 m bei 30 m Erkundungstiefe). Kürzere Profile wurden bis zur maximal möglichen Tiefe gemessen. Von den zu diesem Zeitpunkt bereits mit 20 m maximaler Tiefe gemessenen Profilen (E07 bis E10) wurde das wegen seiner Lage in der Nähe von Bohrpunkten interessante Messprofil E10 mit der vergrößerten Erkundungstiefe von 30 m wiederholt. Das zuletzt gemessene Ringprofil am inneren Dammfuß wurde ebenfalls mit einer maximalen Tiefe von 30 m gemessen.

Da die geoelektrischen Messungen auf der mit Restsedimenten belegten Beckensohle sowie der darunter befindlichen bindigen Dichtungsschicht durchgeführt wurden, sind die Ankopplungsbedingungen als gut anzusehen (niedrige Erdungswiderstände). Angesichts dieser Bedingungen und der fast ausschließlich trockenen Witterung (Regen bei Profilen E21 und E22) ist eine witterungsbedingte Beeinflussung der Messergebnisse nicht zu erwarten.

In der folgenden Tabelle 1 sind die Längen und realisierten Erkundungstiefen der geoelektrischen Profile zusammengefasst.

Tabelle 1: Länge der geoelektrischen Profile.

Profil E	Elektroden	Länge entlang Erdoberfläche (m)	Erkundungs- tiefe Z_{\max} (m)
1	50	98	16
2	75	148	24
3	94	186	24
4	113	224	24
5	88	174	24
6	125	248	24
7	109	216	20
8	125	248	20
9	125	248	20
10	188	374	30
11	150	298	30
12	150	298	30
13	150	298	30
14	150	298	30
15	175	348	30
16	150	298	30
17	169	336	30
18	158	314	30
19	150	298	30
20	125	248	30
21	125	248	30
22	113	224	30
23	100	198	30
24	83	164	27
25	59	116	19
Summe Becken		6148	
Dammfuß innen (E31)	684	1366	30
Dammfuß außen (E30)	907	1812	20
Summe Dammfuß		3178	
Gesamtsumme		9326	

Die Messparameter sind im Folgenden zusammenfassend dargestellt:

- Messparameter Geoelektrik

Messgerät: Multielektrodenapparatur GMS150
Fa. GeoSys GmbH, Leipzig

Messkonfiguration: WENNER

Elektrodenabstand: a = 2 m

Aufstellungsweite: 6 Profile: a = 2 m bis max. a = 40 m (15 Wirkungstiefen)
 6 Profile: a = 2 m bis a = 48 m (17 Wirkungstiefen)
 15 Profile: a = 2 m bis a = 60 m (20 Wirkungstiefen)

- verwendete Software zur Datenbearbeitung und Auswertung der Geoelektrik

Primärbearbeitung: Programm ELCONPSW
Geophysik GGD, Leipzig

Inversion: Programm RES2DINV
Geotomo, Malaysia

Darstellung: SURFER 9
Golden Software Inc., Colorado, USA
 Profile Analyst PA 7
Encom Software, Australien

3.2 Seismik

Die seismischen Messungen wurden in der Zeit vom 12.04. – 20.04.2011 durchgeführt. Innerhalb des Beckens wurde auf 25 parallelen Profilen mit einem gegenseitigen Abstand von 20 m gemessen. Weiterhin wurden zwei seismische Profile im Bereich der Störzone entlang des inneren Dammfußes gemessen.

In der folgende Tabelle 2 sind die Längen der seismischen Profile zusammengefasst:

Tabelle 2: Länge der seismischen Profile

Profil R	Erste Station	Letzte Station	Länge entlang Oberfläche (m)
1	101	150	98
2	101	172	142
3	101	192	182
4	101	208	214
5	101	187	172
6	101	229	256
7	101	205	208
8	101	214	226
9	101	226	250
10	101	287	372
11	101	238	274

12	101	244	286
13	101	244	286
14	101	241	280
15	101	282	362
16	101	220	238
17	101	266	330
18	101	256	310
19	101	244	286
20	101	232	262
21	101	220	238
22	101	213	224
23	101	196	190
24	101	181	160
25	101	158	114
26	101	232	262
27	101	220	238
		Gesamtlänge	6460

Die parallel zu den seismischen Messungen laufenden Bohrarbeiten erzeugten wie erwartet Erschütterungen, welche sich als starke Störsignale auf den Einzelseismogrammen bemerkbar machten. In der Folge wurden die seismischen Messungen und die Bohrarbeiten vor Ort räumlich und zeitlich aufeinander abgestimmt, um eine negative Beeinflussung der Datenqualität zu minimieren. Hierzu wurden Bohrarbeiten und Seismikmessung räumlich möglichst weit separiert. Weiterhin erfolgten die eigentlichen Seismikmessungen gezielt in Arbeitspausen bzw. nach Feierabend der Bohrtrupps. Auf diese Weise konnte eine angesichts der Bedingungen akzeptable Datenqualität der seismischen Felddaten erreicht werden.

Die seismischen Messungen wurden mit den folgenden Parametern durchgeführt:

- Energieanregung Seismik

Quelle	Schweres beschleunigtes Fallgewicht EWG III auf Mercedes Unimog
Anregungsenergie	ca. 9,8 kN·m
Anregungspunktabstand	äquidistant 6 m
Gesamtzahl Anregungspunkte	ca. 1100
Stapelgrad pro AP	im Mittel 2-3fach (max. 5fach)

- Energieempfang Seismik

Geophontyp	digitales Smart Geophon 10 Hz (Seismic Instruments, USA), Herstellungsjahr 2008/2010
Empfangspunktabstand	äquidistant 2 m
Empfänger pro Gruppe	Einzelgeophone

- Registrierung Seismik

Apparaturtyp	SmartSeis (Seismic Instruments, USA), Herstellungsjahre 2008 & 2010
Auflösung des ADC	24 Bit
Kanalzahl	max. 150
Registrierdauer	1 s
Abtastintervall	0,5 ms
Aufnahmefilter	
- Hochpass	offen
- Tiefpass	500 Hz
- Notch-Filter	aus
Datenaufzeichnung	Format 4byte SEG-Y
Speichermedium	Festplatte und SD-Raid-Disk

4 Datenbearbeitung und Darstellung der Messergebnisse

4.1 Geoelektrik

Die Datenbearbeitung der geoelektrischen Daten erfolgte profilweise durch gerätespezifische Primärbearbeitung (Zusammensetzen der Messwertblöcke zu Pseudosektionen, Formatwandlung, Editierung) und anschließender Inversionsrechnung zu teufengerechten Widerstands-Tiefen-Schnitten. Die Inversionsrechnung erfolgte mit der Software RES2DINV (Version 3.55.32).

Das Profil am äußeren Dammfuß wurde auf Grund des bewegten Reliefs unter Berücksichtigung der lokalen Geländehöhen (topographische Korrektur) invertiert, bei den Profilen im Becken konnte angesichts der ebenen Profilachsen hierauf verzichtet werden.

Bei der Inversion wurden standardmäßig 5 Iterationen berechnet, der Anpassungsfehler liegt in den meisten Fällen bereits nach der 3. Iteration unter 5 Prozent (RMS). Häufig wird am Ende ein RMS-Fehler unter 3 % erreicht. Diese niedrigen Werte zeigen, dass generell eine gute Anpassung der Widerstandsmodelle an die Feldmesswerte erreicht wird.

Die Darstellung der durch die Inversionsrechnung erhaltenen Widerstandsschnitte für die Parallelprofile im Becken (E01 bis E25) erfolgt in den Anlagen 2.1.1 bis 2.1.5.

Die nach Abschluss der Bohrarbeiten (2011) bereitgestellten Ergebnisse sind als Bohrsäulen vertikal maßstäblich eingetragen. Abseits der Profilachsen gelegene Bohrungen wurden senkrecht auf die Achsen projiziert und mit dem jeweiligen Abstand beschriftet.

Der Farbkeil der Widerstandsschnitte wurde so gewählt, dass eine gute optische Differenzierbarkeit zwischen hochohmigem Kalkstein (gelb-rot) und bindigem Lockermaterial (dunkelblau) erreicht wird (vgl. auch Kapitel 5).

Aus den profilhaften Ergebnissen der Vertikalschnitte wurden unter Verwendung des Minimum-Curvature-Verfahrens Horizontalschnitte für diskrete Tiefenniveaus interpoliert (Anlage 2.2.1 bis 2.2.4). Hierzu wurde das Software-Paket „Encom Profile Analyst PA7“ verwendet. Die Niveaus der Horizontalschnitte orientieren sich an den Tiefen der Modellzellen der Inversionsrechnung unter GOK Beckensohle. Aus dem äußeren Ringprofil wurden die Daten entsprechend der zugehörigen NN-Höhen berücksichtigt, es ist hierbei aber zu beachten, dass diese damit naturgemäß aus verschiedenen Tiefenbereichen unter GOK stammen und damit verschiedene geologische Einheiten (z.B. Mutterboden, Lockerbedeckung oder anstehender Fels) treffen können.

Die flächenhafte Interpolation der Daten im Becken erfolgte mit einem Einzugsradius von 15 m, um die Lücken zwischen den Profilen (Abstand ca. 20 m) hinreichend kontinuierlich zu schließen. Dieser Radius bewirkt, dass die Fläche im Umfeld eines Profils bis in eine Entfernung (Puffer) von beiderseits 15 m mit Werten belegt wird, die jedoch vom Messprofil von der Mitte dieses Streifens stammen und somit ausschließlich dort tatsächlich gemessene Daten respektieren. Dies ist insbesondere beim inneren Ringprofil von Bedeutung, da dessen anteiliger Einfluss je nach weiterer Datenbelegung durch die Parallelprofile (E01 - E25) variieren kann.

Die Darstellung der Ergebnisse der beiden Ringprofile (Dammfuß innen / außen) erfolgt in Anlage 2.1.6 mit einem abweichenden Maßstab. In dieser Darstellung sind die Ergebnisse beider Profile auf die Stationierung der Dammachse bezogen, um eine direkte Zuordnung und damit besseren Vergleich von innerem und äußeren Dammfuß zu ermöglichen. Die Stützstellen für die Projektion auf die Dammachse sowie der Maßstab wurde in Abstimmung mit dem beratenden Ingenieurbüro (FICHTNER) festgelegt, um eine perspektivische Einbindung in Baugrundschnitte zu erleichtern. In die Anlage 2.1.6 sind auch die Ergebnisse der beiden Seismikprofile R26 und R27 vom inneren Dammfuß integriert.

4.2 Refraktionsseismik

Die seismischen Daten wurden mit Hilfe der Tauchwellentomografie zur Bestimmung einer Geschwindigkeitsverteilung ausgewertet.

Die Bearbeitung erfolgte mit dem Prozessingsystem ProMAX-2D Version 1998.6 (Landmark Graphics Corporation, USA) auf einer Workstation SUN Blade 1000 (Sun Microsystems Inc., USA), die tomografische Inversion mit der Software FIRSTOMO (Fa. Dogs, Russland). Die Darstellung erfolgte mit Surfer 9 (Golden Software Inc, USA).

Bearbeitungsablauf:

1. Einlesen der Daten im SEG-Y-Format
2. Erstellen der Geometrie und Füllen der Datenbasis sowie der Spurköpfe
3. Bandpassfilterung
4. Interaktive Festlegung der Ersteinsätze
5. Laufzeittomografie

Entsprechend den Messbedingungen vor Ort sind die Messdaten teilweise von Störwellen überlagert, die von der Bautätigkeit im Becken verursacht wurden. Die Störwellen wirken sich auf die tomografischen Ergebnisse jedoch nicht unmittelbar aus, da hierfür nicht die registrierten Wellenfelder, sondern nur die Ersteinsätze für jede seismische Spur verwendet werden. Die Ersteinsätze konnten über weite Strecken verlässlich bestimmt werden.

Bereits bei der Festlegung der Ersteinsätze in den Seismogrammen sind Auffälligkeiten (Sprünge in den Laufzeitkurven, Dünnschichteffekte) festgestellt worden, die auf die schließlich ermittelte sehr heterogene Struktur der Störzone mit Blöcken, vertikalen Trennflächen und gegebenenfalls Schollen hindeuten. Derartige Strukturen widersprechen den Grundlagen der klassischen, schichtbasierten Refraktionsseismik, die kontinuierliche Schichtgrenzen mit einer Geschwindigkeitszunahme nach unten als Voraussetzung hat. Die Methode der tomografischen Auswertung kann demgegenüber mit lateralen Variationen prinzipiell umgehen und erlaubt auch Modelle, die eine Geschwindigkeitsinversion (lokale vertikale Abnahme nach unten) enthalten. Das Grundproblem der Refraktionsseismik, dass Zonen lokal erniedrigter Geschwindigkeiten tendenziell gering mit Strahlen belegt sind, da sie von den Wellen gemieden werden, bleibt allerdings bestehen. Im Umfeld derartiger Bedingungen ist daher mit einer größeren Unsicherheit der im Ergebnis erhaltenen Geschwindigkeitsmodelle zu rechnen.

Die nach der Tomografie erhaltenen Geschwindigkeitsschnitte der Profile R01 bis R25 sind in den Anlagen 3.1.1 bis 3.1.5 in gleicher Weise wie die Geoelektrik dargestellt. Die Profile am inneren Dammfuß, R26 und R27, sind in der kombinierten Darstellung der Ergebnisse der Ringprofile (Anlage 2.1.6) enthalten. Die Farbdarstellung erfolgt entsprechend den für Lockermaterial und Festgestein typischerweise zu erwarteten Geschwindigkeitsbereichen.

Für die seismischen Geschwindigkeiten wurden analog der flächenhaften Aufbereitung der Geoelektrikdaten (Kapitel 4.1) Horizontalschnitte durch Interpolation erzeugt und in den Anlagen 3.2.1 bis 3.2.4 dargestellt. Die dargestellten Höhenniveaus entsprechen den Horizontalschnitten der Geoelektrik.

5 Interpretation

5.1 Vorbetrachtungen

Die vorliegende geophysikalische Erkundung hatte die Charakterisierung der vermuteten Störzone hinsichtlich ihrer räumlichen Form (Lage, Tiefe) sowie Aussagen zum Verfüllmaterial zum Ziel. Parallel zu den geophysikalischen Erkundungsarbeiten wurden umfangreiche geotechnische Aufschlüsse (Bohrungen, Schürfe) durch den AG bzw. durch Dritte durchgeführt.

Für die Interpretation wurden vordringlich die Bohrergebnisse der jüngsten Bohrerkundung aus dem Jahre 2011 (54 Bohrungen) eingearbeitet. Ältere Bohrbefunde, z.B. Schichtenverzeichnisse aus Brunnenbohrungen vorwiegend am äußeren Dammfuß aus dem Jahre 1981, fanden ebenfalls Berücksichtigung, wenngleich hierbei keine grafische Aufbereitung in Form von Bohrsäulen vorliegt.

Die vorliegenden Bohrbefunde bescheinigen der Störzone eine ausgesprochen heterogene Struktur. Neben einer variablen Tiefe der Oberkante des Kalksteins treten innerhalb der hauptsächlich bindigen Sedimentfüllung (vorwiegend Schluff, Ton) Kalksteinvorkommen mit variabler Tiefenerstreckung auf. Schürfe im Bereich der aktuellen Erdfälle zeigten Wechsel der Beschaffenheit auf kurzen Distanzen. So treten vertikale Flanken von Kalkstein auf, u. A. sind kompakte Kalksteinblöcke mit mehreren Metern Kantenlänge freigelegt worden. Angesichts solcher Bedingungen kann mit punktuellen Aufschlüssen allein kein hinreichend geschlossenes Bild der Störzone gewonnen werden. Insbesondere ist bei der Tendenz zu vertikalen Trennflächen zu erwarten, dass die Bohrergebnisse nur für einen sehr kleinen Umkreis um den Bohrpunkt repräsentativ sind. Dies ist bei der Interpretation der geophysikalischen Daten und deren Korrelation mit den Bohrlochdaten zu beachten.

Im Folgenden werden die Ergebnisse der beiden eingesetzten geophysikalischen Methoden (Goelektrik und Refraktionsseismik) zunächst einzeln diskutiert und in einem zweiten Schritt in Zusammenhang interpretiert.

5.2 Goelektrik

Von den goelektrischen Widerstandsschnitten war in erster Linie eine deutliche Differenzierung zwischen vorwiegend bindigen Lockersedimenten mit sehr niedrigen Widerständen (unter $100 \Omega \cdot m$) und kompaktem Kalkstein mit deutlich höheren spezifischen Widerständen (mehrere hundert $\Omega \cdot m$) zu erwarten. Dementsprechend wurde eine Farbdarstellung gewählt, welche den Widerstandsbereich der niederohmigen Lockermaterialien (blau) optisch abgrenzt vom höheren Niveau (türkis-grün-gelb-rot), welches demgegenüber trockenem, grobkörnigem Material bzw. Festgestein zuzuordnen ist.

Die auf den Parallelprofilen im Becken (Profile E01 bis E25) erhaltenen Schnitte (Anlagen 2.1.1 bis 2.1.5) zeigen in ihrer Grobstruktur eine entsprechende Differenzierung zwischen der Störzone und dem unter der Beckendichtung anstehenden Kalkstein außerhalb derselben. Vorwiegend in der östlichen Beckenhälfte (z.B. Profil E16, Anlage 2.1.4) ist unter der niederohmigen Decklage (Beckensohle & Dichtung) ein starker Gradient zu hohen Widerständen bis über $1000 \Omega \cdot m$ (gelb - rot) zu verzeichnen, welcher der Oberfläche ausgedehnter, kompakter Kalksteinvorkommen zuzuordnen ist. Demgegenüber sind in den zentralen und westlichen Abschnitten der Profile niedrige Widerstände (blau) dominierend, welche teilweise wie erwartet rinnenartig in Bereiche höherer Widerstände (Fels) eingebettet sind. Diese niederohmigen Bereiche können anhand der Bohrungen, z.B. BK04/2011 auf Profil E19 (Anl. 2.1.4) einer vorwiegend bindigen Sedimentfüllung in der Störzone zugeordnet werden. Über weite Strecken sind die niederohmigen Strukturen jedoch mehr oder weniger

stark zergliedert. Die Abbildung der Unterkante der Störzone als Übergang zum Festgestein erfolgt in größerer Tiefe zunehmend unscharf und mit verminderter Dynamik, verglichen mit dem scharfen Gradienten in Oberflächennähe.

Auch innerhalb ausgedehnter niederohmiger Zonen treten lokale isolierte Widerstandsmaxima auf, welche im oberen Tiefenbereich teilweise Werte erreichen, welche dem anstehenden Kalkstein außerhalb der Störzone entsprechen (z.B. Profil E17, Anlage 2.1.4). Derartige Elemente lassen nach dem geoelektrischen Bild isolierte Kalksteinkörper (z.B. Schollen, Blöcke) innerhalb der sedimentverfüllten Störzone erwarten. Solche lokalen Widerstandsmaxima treten auf den Profilen generell variabel bezüglich Widerstandsdynamik und geometrischer Form auf. Häufig werden hierbei mittlere Widerstände (200...400 $\Omega\cdot m$, türkis - grün) erreicht. Die Deutung dieser Strukturen ist unter den gegebenen Bedingungen nicht eindeutig; grundsätzlich können in diesem Widerstandsbereich auch trockene rollige Sedimente (Sand, Kies) liegen. Auch kann der Kalkstein in seinem Zustand (Klüftigkeit, Kluffüllung, Feuchtigkeit) widerstandsrelevant variieren, so dass hier eine gewisse Bandbreite zu erwarten ist.

Zur Mehrdeutigkeit des Widerstands in diesem Wertebereich kommt noch das Problem der Auflösbarkeit der zu erwartenden kleinräumigen Strukturen unter den gegebenen Bedingungen. Grundsätzlich werden in Mischgebieten, in denen neben bindiger Sedimentfüllung kleinräumige hochohmige Körper (z.B. Kalksteinblöcke, Sandlinsen oder Hohlräume) vorkommen, Widerstandswerte entstehen, welche als volumenhafte Mittelwerte nicht mehr hinreichend eindeutig dem Fels oder der bindigen Sedimentfüllung zugeordnet werden können. Eine integrierende Wirkung erfolgt außerdem auch in die dritte Dimension senkrecht zur Profilebene, da die geoelektrischen Messungen auch von Widerstandsstrukturen abseits der Profilachse beeinflusst werden. Bei der Inversion wird dabei von einem in dritter Dimension konstanten Untergrundmodell ausgegangen. Körper, die in Wahrheit neben der Schnittebene liegen, können sich daher in abgeschwächter Form auf dem Profil abbilden. Gleichmaßen werden sich in der Schnittebene liegende Körper, die nur eine geringe Erstreckung senkrecht zur Profilachse besitzen, mit verringerter Intensität abbilden. Dies ist beim Vergleich der Widerstandsbilder mit den Bohrbefunden zu berücksichtigen.

Unter Beachtung dieser Bedingungen ist eine widerspruchsfreie Zuordnung der mittleren Widerstandswerte innerhalb der Störzone und damit eine Deutung der verursachenden kleinräumigen Strukturen nicht immer eindeutig möglich. Bei der Interpretation kann jedoch angenommen werden, dass in Ihrem Volumen signifikante Körper kompakten Kalksteins sich mit deutlich höheren Widerständen als 100 $\Omega\cdot m$ abzeichnen. Im Bereich der niedrigen Widerstände bis ca. 200 $\Omega\cdot m$ (hellblau) ist mit anteiligem Vorkommen bindiger Lockermaterialien zu rechnen.

Lässt man die Problematik der Heterogenität innerhalb der Störzone außer Acht, wird mit der genannten Differenzierung der Wertebereiche ein hinreichendes Abbild der Störzone im Sinne der Aufgabenstellung erreicht. Diese manifestiert sich in erster Linie auf den durch flächenhafte Interpolation erhaltenen Horizontalschnitten (Anlage 2.2.1 - 2.2.4). Die auf den einzelnen Messprofilen schwer zu deutende Zergliederung der Störzone setzt sich in der Fläche zu einem räumlich plausiblen Bild zusammen. Die durch die Farbwahl gezogenen Widerstandsgrenzen erlauben in der Fläche eine gute Abgrenzung der Störzone zu den umliegenden, unter der Beckendichtung anstehenden Kalksteinvorkommen. Betrachtet man die Horizontalschnitte zwischen ca. 8 und 10 m Tiefe unter Beckensohle (Anlage 2.2.2), fällt die gute Übereinstimmung der Widerstandsstruktur mit den zur Bauzeit an der Oberfläche schematisch kartierten Felslinie (braune Linie in der Anlage) auf. Deren genereller Verlauf wird durch das geoelektrische Ergebnis bestätigt und im Detail präzisiert. Hiernach liegt, wie vor Durchführung der Arbeiten erwartet, vorwiegend in der östlichen Beckenhälfte Kalkstein mit hohen

elektrischen Widerständen ($> ca. 400 \Omega \cdot m$, gelb - rot) vor. Ein weiteres Maximum im Nordwesten lässt ebenfalls ein größeres, zusammenhängendes Kalksteinvorkommen erwarten. Es ist jedoch zu betonen, dass auch in diesen Bereichen Abnahmen des Widerstandes mit der Tiefe (siehe Vertikalschnitte) vorkommen, welche prinzipiell mit stofflicher Variation und erhöhter Klüftigkeit, jedoch auch isolierten mit Lockermaterialen unterhalb vom kompakten Kalkstein in Verbindung stehen können.

5.3 Refraktionsseismik

Für die Darstellung der Ergebnisse der refraktionsseismischen Untersuchungen (Anlagen 3.1.1 - 3.1.5) wurde analog der Geoelektrik (Kapitel 5.2) ein Farbkeil benutzt, welcher sich an typischen Wertebereichen für den dargestellten Parameter (hier: Kompressionswellengeschwindigkeit V_p) orientiert und eine Differenzierung von Lockermaterial und Festgestein im Sinne der Aufgabenstellung unterstützen soll.

Für trockene Lockersedimente sind in Abhängigkeit vom Verfestigungsgrad vergleichsweise niedrige seismische Geschwindigkeiten im Bereich von einigen hundert Metern pro Sekunde (m/s) typisch. Bei vollständiger Wassersättigung steigt die Geschwindigkeit wegen der Inkompressibilität des Wassers sprunghaft auf Werte oberhalb von 1500 m/s (typisch: 1700 m/s). Bei Teilsättigung bzw. heterogen verteilter lokaler vollständiger Sättigung sind dabei auch mittlere Werte innerhalb der gegebenen Bandbreite möglich.

Für Festgestein werden demgegenüber höhere Geschwindigkeiten von mehreren tausend m/s erwartet; für Kalkstein finden sich Tabellenwerte zwischen 2000 m/s und 6000 m/s. Generell sinkt die seismische Geschwindigkeit mit dem Grad der Entfestigung z.B. durch Verwitterung oder tektonische Beanspruchung.

Wie auch bei anderen geophysikalischen Methoden, wird die seismische Geschwindigkeit als makroskopisches Mittel über ein bestimmtes Volumen bestimmt, daher kann eine locker gelagerte Schüttung kompakter Felskörper im Mittel prinzipiell ähnliche Geschwindigkeiten erreichen wie z.B. ein gut konsolidierter homogener Sand.

Die refraktionsseismischen Schnitte (z.B. Anlage 3.1.2) geben die erwartete Situation der Störzone in Ihrer Grundstruktur wieder, ähnlich wie bereits die geoelektrischen Bilder. Niedrige Geschwindigkeiten unterhalb von ca. 1000 m/s (blau) markieren deutlich die Sedimentfüllung der Störzone, vorwiegend im zentralen sowie im westlichen Bereich. Der anstehende Kalkstein zeigt sich auf der westlichen Seite der Profile mit demgegenüber höheren Werten oberhalb von 2000 m/s (gelb).

Östlich der Störzone, wo nach bisherigem Wissensstand und nach den Ergebnissen der Geoelektrik kompakter Kalkstein unter der Beckendichtung anstehen sollte, sind dagegen Geschwindigkeiten vorhanden, welche eher im Bereich für wassergesättigtes Lockersediment (grün) liegen. Da der Wasserspiegel nach den Bohrungen weit unterhalb des betrachteten Tiefenbereichs liegt, kann diese Mehrdeutigkeit zumindest ausgeschlossen werden. Die Werte liegen jedoch teilweise noch niedriger (z.B. Profil R10, Anlage 3.1.2) und nähern sich damit dem Wertebereich an, der innerhalb der Störzone für die Lockermaterialfüllung auftritt (ca. 1000 m/s blau-türkis). Somit kann refraktionsseismisch ohne weitere Zusatzinformationen nicht zwischen der Lockersedimentfüllung in der Störzone und dem Kalksteinvorkommen im Ostteil des Beckens unterschieden werden. Die Ursache der untypisch niedrigen seismischen Geschwindigkeiten im Ostteil ist zunächst unklar. Die Werte können nicht als potentielle Artefakte der tomografischen Inversion angesehen werden, da die niedrigen Geschwindigkeiten eindeutig bereits in den Laufzeitkurven der Seismogramme nachvollzogen werden konnten. Die

Ursache ist somit in der Beschaffenheit des Kalksteins zu suchen; möglicherweise neigt er in dieser Zone zu einer starken Klüftigkeit bzw. Porosität, die einen großen Luftanteil bewirkt, was tendenziell zu niedrigen seismischen Geschwindigkeiten und hohen elektrischen Widerständen führen könnte.

Die Geschwindigkeitsschnitte weisen ähnlich wie die geoelektrischen Schnitte eine Tendenz zu Heterogenitäten und diffusen Zonen innerhalb der Störzone auf. Auch lassen sich Elemente erkennen, welche auf isolierte Hochgeschwindigkeitsbereiche (Schollen) innerhalb von Lockersediment hindeuten, z.B. das schwache schwebende lokale Maximum bei Profilmeter ca. 220 bis 230 auf Profil R19 (Anl. 3.1.2), wo in Bohrung BK 33/2011 rund 4 m Kalkstein oberhalb von ca. 23 m Lockermaterial angetroffen wurden. Derartige Strukturen sind refraktionsseismisch schwer zu erfassen, da sie eine Umkehrung einer vertikalen Geschwindigkeitszunahme und damit der Grundannahme der Refraktionsseismik bedeuten. Die tomografische Auswertung kann eine lokale Geschwindigkeitsinversion unter den gegebenen Bedingungen offenbar dennoch im Ansatz darstellen, wenngleich eine realistische Abbildung der jeweiligen lokalen Situation nicht zu erwarten ist. Das Auftreten von Geschwindigkeitsinversionen in den Schnitten ist daher zumindest als Hinweis auf lokale isolierte Felskörper bzw. auf Entfestigung unterhalb von kompaktem Kalkstein zu werten.

Gleiches gilt für Zonen mit lokaler Geschwindigkeitserhöhung innerhalb der niedrigen Geschwindigkeiten der Störzone, die mitunter zu diffusen Bereichen leicht erhöhter Werte (türkis - grün) und verbreiterten Gradienten führen. Diese Zonen können, wie bereits im Kapitel Geoelektrik (Kapitel 5.2) diskutiert, durch die verfahrensbedingte Integration über Mischbereiche mit kleinräumigen Störkörpern entstehen. Auf Grund der Integration über vorwiegend horizontale Strahlwege, bewirkt dieser Effekt bei der Seismik hauptsächlich eine Glättung in horizontaler Richtung. Zonen lokal erhöhter Geschwindigkeiten innerhalb einer größeren Lockersedimentzone können dennoch als Hinweis auf isolierte Felskörper gewertet werden, ohne dass jedoch eine genaue Größe oder Form abgeleitet werden kann.

Trotz der methodenspezifischen Unzulänglichkeiten der Refraktionsseismik unter den gegebenen heterogenen Bedingungen lassen die durch Interpolation erhaltenen Horizontalschnitte der seismischen Geschwindigkeiten (Anl. 3.2.1 - 3.2.4) eine flächenhafte Abgrenzung der Störzone in analoger Weise wie bei den geoelektrischen Daten zu. Insbesondere im Tiefenbereich von ca. 6 bis 8 m unter Beckensohle (Anl. 3.2.1) lässt sich eine äquivalente Abgrenzung der Störzone (blau) gegenüber den Kalksteinvorkommen (grün - gelb) ableiten. Die grundsätzliche Ähnlichkeit zum geoelektrischen Schnitt in diesem Niveau (Anl. 2.2.2) betrifft auch wesentliche Strukturen innerhalb der Störzone wie lokale Wertemaxima, welche als Hinweise auf isolierte Kalksteinkörper innerhalb der Zone zu werten sind.

5.4 Integrierende Interpretation (Komplexinterpretation) beider Methoden

Die beiden eingesetzten Erkundungsverfahren Geoelektrik und Refraktionsseismik haben unter den gegebenen Untergrundbedingungen (heterogene Verfüllung der Störzone, scharfe Wechsel in der Beschaffenheit auf kurzen Distanzen, steile Flanken, isolierte Felskörper, 3D-Problem) methodenspezifische Probleme, die die Methoden einzeln betrachtet im Aussagegehalt einschränken.

Die Geoelektrik bildet naturgemäß keine mechanischen Eigenschaften, sondern vorwiegend stoffliche Eigenschaften wie Feinkorn- und Feuchtegehalt ab. Dies führt zu Mehrdeutigkeiten im Falle von stofflichen Variationen im Fels (Klüftigkeit, Durchfeuchtung, Übergang zu Mergel- oder Tonstein) sowie bei Existenz rolliger, trockener Lockersedimente mit hohen Widerständen.

Für die Seismik ist die große Bandbreite der im Kalkstein auftretenden Geschwindigkeiten ein Problem; diese reicht bis in den Wertebereich der Lockersedimente hinein und erzeugt damit abschnittsweise Mehrdeutigkeiten. Die zu erwartenden isolierten Körper sowie Härteabnahme in der Tiefe (Geschwindigkeitsinversion) widersprechen dem Grundprinzip der Refraktionsseismik und lassen eine dementsprechend reduzierte Verlässlichkeit in der Strukturabbildung erwarten.

Beide Verfahren werden gleichermaßen bei kleinräumigen Körpern (Geröll, Blöcke, Hohlformen) einen integralen Mittelwert abbilden, der im Bereich eines mehrdeutigen Wertenniveaus der jeweiligen Methode liegt.

Die genannten Einschränkungen und Probleme führen dazu, dass prinzipiell beide Verfahren einzeln betrachtet keinen hinreichend eindeutigen Zusammenhang mit den erbohrten Felsvorkommen liefern können. Die methodenspezifischen Mehrdeutigkeiten lassen sich jedoch durch die kombinierte Betrachtung der Ergebnisse beider Methoden reduzieren, wenn die Mehrdeutigkeiten der Verfahren in verschiedenen Bereichen, räumlich oder stofflich, auftreten.

Im Sinne einer quantitativen Interpretation in Hinblick auf die Geometrie der Störzone wurde daher versucht, beide Methoden in Zusammenhang zu interpretieren („Komplexinterpretation“).

Vertikalschnitte

Die Ergebnisse der strukturellen Interpretation für die Parallelprofile im Becken (P01 - P25) sind in den Anlagen 4.1 bis 4.5 dargestellt. Für die Profile an den beiden Dammfüßen erfolgt die Darstellung in analoger Weise in Anlage 4.6, wobei hier über weite Strecken nur Ergebnisse der Geoelektrik vorliegen.

Wesentliches Ziel der quantitativen Interpretation ist die Ableitung einer Felslinie, welche die unterste Grenze der Lockersedimentbedeckung zum Festgestein markiert und damit die Basis der Störzone repräsentiert. Die Aushaltung der Felslinie (rot) erfolgte auf Basis markanter vertikaler Gradienten in den einzelnen Methoden. In der Oberflächennähe wird die Felsoberfläche gut vom scharfen vertikalen Widerstandsgradienten im Bereich zwischen $100 \Omega \cdot \text{m}$ und $200 \Omega \cdot \text{m}$ wiedergegeben, insbesondere in der Osthälfte außerhalb der Störzone, wo die seismischen Geschwindigkeiten untypisch niedrig sind. Starke vertikale Geschwindigkeitsgradienten in der Seismik geben hingegen, wenn vorhanden, besser die Basis der Störzone in der Tiefe wieder, wo der elektrische Widerstand eher zu diffuser Abbildung neigt. Die beiden relevanten Werte- bzw. Gradientenbereiche sind als Grundlage der Interpretation in der Zusammenschau in den Anlagen 4.1 bis 4.6 grau hinterlegt.

Neben der Felslinie sind zwei weitere Strukturelemente ausgehalten, welche aus den Daten abgeleitet werden können.

Das sind zum Einen Hinweise auf isolierte Kalksteinvorkommen (Blöcke, Schollen), welche innerhalb der Störzone und damit oberhalb der interpretierten Felslinie auftreten. Diese sind als rote Flächen in den Schnitten dargestellt und basieren auf lokalen Wertemaxima innerhalb der Minimumzone der Störzone. Wie in den vorangegangenen Kapiteln erläutert, stellen diese Bereiche lediglich einen Hinweis auf die Existenz möglicher Körper an dieser Stelle dar, wobei eine nähere Charakterisierung hinsichtlich Art und Geometrie auf Grund der genannten methodischen Grenzen nicht möglich ist. Die dargestellten Flächen sind daher als schematisch zu verstehen und geben keine exakte Form der Körper wieder.

Als weiteres Strukturelement sind Bereiche blau markiert, in denen eine Werteabnahme unterhalb von interpretiertem Kalkstein auftritt und damit als Hinweis auf mögliche Entfestigung in der Tiefe gelten können. Diese Zonen werden zum Einen durch Minima der Widerstände repräsentiert, zum Anderen sind auch Zonen relevant, in welchen eine Inversion der seismischen Geschwindigkeiten bzw. eine Verbreiterung des Gradienten auftreten. Die blau markierten Bereiche können von Wechseln in der Beschaffenheit des Felses (Klüftigkeit, Durchfeuchtung, Feinkorngehalt) verursacht sein, prinzipiell jedoch auch von Lockermaterial unterhalb von kompaktem Kalkstein. Dieser Extremfall „Kalkstein über Sediment“ tritt auch in den Bohrungen vereinzelt auf (z.B. BK 2/2011, BK 31/2011 oder BK 4/2011).

Die Zuordnung der drei ausgehaltenen Strukturelemente „Felslinie“, „Scholle“ und „Entfestigung unter Felslinie“ ist nicht in jedem Fall eindeutig zu treffen, da die Felslinie bei größeren Schollen auch an dessen Oberkante interpretiert werden könnte, mit einer Entfestigungszone (blau) darunter. Es wurde hierbei versucht, die Felslinie als repräsentative Basis einer zusammenhängenden Störzone auszuhalten, damit diese im Ergebnis als zusammenhängender Problembereich nicht zu stark zergliedert wird.

Die vorgenommene Interpretation der Felslinie ist nicht überall ohne Widerspruch zu den in den Bohrungen ausgehaltenen Felsvorkommen möglich. Dies ist hauptsächlich mit den schnellen Wechseln innerhalb der Störzone zu erklären, welche die räumliche Repräsentativität der punktuellen Bohrbefunde stark reduzieren dürfte. Da die geophysikalischen Methoden prinzipbedingt über ein gewisses Volumen, auch senkrecht zur Profilachse integrieren, können sich punktuell lokale Differenzen zu den Bohrungen ergeben, die jedoch für die Abbildung der Gesamtstruktur der Störzone eine geringe Relevanz besitzen. Diese Abweichungen sind außerdem vor dem Hintergrund des Profilabstandes von 20 m zu sehen, welcher in der Fläche ungleich größere Unschärfen in der Abgrenzung der Störzone in Nord-Süd-Richtung bewirkt. Weiterhin können Unterschiede auch in Variationen in der Beschaffenheit des Felses entstehen, welche für die Felsansprache aus geotechnischer Sicht nicht von Bedeutung sein mögen, jedoch eine Relevanz für die geophysikalisch abgebildeten Materialparameter besitzen.

Faktenkarte

Ergänzend zur Interpretation auf den Profilschnitten wurde eine entsprechende flächenhafte Zonierung auf Basis der geophysikalischen Ergebnisse vorgenommen („Faktenkarte“, Anlage 5). Diese Karte zeigt die Störzone als zusammenhängende Fläche (dunkelblau), wie sie auf Basis der interpolierten Horizontalschnitte der beiden geophysikalischen Methoden vorwiegend im Niveau von 5 bis 10 m unter Beckensohle abgeleitet werden kann. Auf Grund der flächenhaften Interpolation wird auch zwischen den Parallelprofilen ein hinreichend kontinuierlicher Umriss der Störzone erreicht. Es ist jedoch zu betonen, dass die dabei entstehenden Strukturen nicht durch Messungen gesichert sind, sondern einer statistischen Wahrscheinlichkeit auf Basis der jeweiligen Intensität der auf den Profilen erhaltenen Messwerte entstammen.

Neben der in ihrer Umrandung auffällig zergliederten Fläche der Störzone im Becken sind in der Karte in analoger Weise zur Interpretation der Vertikalschnitte die gleichen Strukturelemente wie Hinweise auf Lockermaterial unterhalb der Felslinie (grün) und Hinweise auf isolierte

Kalksteinkörper (Schollen, Blöcke etc.) innerhalb der Störzone (pink) eingetragen. Hierbei sind mitunter auch größere, zusammenhängende Felsvorkommen als isolierte Körper eingetragen, um den Charakter als generelle, zusammenhängende Störzone zu erhalten. Die in den Vertikalschnitten ausgehaltene Felslinie folgt in diesen Fällen dennoch der Felsoberkante.

Zusätzlich sind in der Karte weitere Bereiche, welche bzgl. Lockermaterial bzw. entfestigten Fels verdächtig sind, jedoch isoliert außerhalb der zusammenhängenden Störzone liegen, hellblau markiert.

Der mögliche Verlauf der Störzone außerhalb des Beckens bzw. unter dem Dammkörper wurde auf Basis des vorliegenden Kenntnisstandes (Bohrungen, äußeres Ringprofil) nach außen interpoliert und gestrichelt in die Karte eingetragen. Für den Bereich unter dem Dammkörper liegen keine geophysikalischen Daten vor, daher ist der exakte Verlauf der Störzone in diesem Bereich als unsicher anzusehen. Die vorliegenden Bohrerergebnisse von der Dammkrone stehen zumindest nicht im Widerspruch mit der vorgenommenen schematischen Interpolation.

Am südlichen Beckenrand sowie am äußeren Dammfuß sind in den Widerstandsschnitten ausgeprägte Minimumzonen unterhalb hochohmiger Bedeckung (nach Bohrungen Kalkstein) vorhanden, welche in der Karte dementsprechend grün markiert sind. Der Übergang zur Störzone im Becken kann in diesem Abschnitt jedoch nicht nachvollzogen werden, so dass der gesamte Dammbereich am Südrand des Beckens grün mit gestrichelter Signatur (unsicher) markiert ist.

Karte des Felsreliefs

Die durch die Komplexinterpretation auf den Vertikalschnitten erhaltene Felslinie wurde schlussendlich in ein Höhenmodell der Felsoberfläche überführt und als Höhenlinienkarte in Anlage 6 dargestellt.

Das dieser Karte zugrunde liegende Höhengitter (5 m Raster) wurde durch Interpolation nach dem Kriging-Verfahren mit einem Einzugsradius von 15 m erstellt. Auf diese Weise werden die Datenlücken zwischen den Profilen zufriedenstellend geschlossen.

Das somit erhaltene Gesamtbild der Störzone zeigt eine in erster Näherung Nord-Süd verlaufende Struktur mit steilen Flanken, welche in ihrer Berandung stark zergliedert ist und diverse Ost-West verlaufende Richtungen aufweist. Derartige Flanken sind in ihrer Lage zwischen den Profilen naturgemäß unsicher verortet und müssen daher mit einer Lageungenauigkeit in der Größenordnung des Profilabstandes (ca. ± 10 m) belegt werden.

Die angegebenen Höhen geben entsprechend dem Interpretationsansatz in erster Linie die großräumige Basis der Störzonenfüllung wieder. Lokal können oberhalb des jeweiligen Niveaus Felskörper auftreten, die jedoch eine für eine eindeutige geophysikalische Abbildung unzureichende Erstreckung besitzen. Hinweise auf derartige Strukturen (Schollen, Blöcke) sind in den Vertikalschnitten (Anlagen 4.1 - 4.6) sowie in der Faktenkarte (Anlage 5) gegeben. Eine verbindliche Vorhersage derartiger Strukturen, welche potentielle Bohrhindernisse darstellen können, ist unter den gegebenen Bedingungen geophysikalisch nicht möglich.

Außerhalb der markanten Tieflage der Störzone sowie der isolierten Struktur im Umfeld der Bohrung BK 33/2011 ist insbesondere in der östlichen Beckenhälfte eine Hochlage des Kalksteins entsprechend den ursprünglichen Erwartungen vorhanden, wobei das Höhenniveau der interpretierten Felslinie nicht vollständig bis zum Niveau der Unterkante der Beckendichtung reicht. Die geophysikalischen Daten, vorwiegend die Bilder der Geoelektrik, zeigen hier einen oberflächennahen scharfen Gradienten, was verlässlich auf den nach Bohrunterlagen und

Urgeländekartierungen unter der Beckendichtung anstehenden Fels hindeutet. Geoelektrisch liegt diese Grenze allerdings mitunter bis zu ca. 1,5 m tiefer als nach diesen Informationen erwartet, was mit der Auflösung der eingesetzten Messgeometrie (Elektrodenabstand 2 m) und einem graduellen Übergang des elektrischen Widerstands in einer mehr oder weniger klüftigen bzw. angewitterten Übergangszone an der Felsoberkante zu begründen wäre. In den Bereichen abseits der Störzone, in denen die Felsoberfläche weitestgehend eben erscheint, ist unabhängig von der ermittelten NN-Höhe der geophysikalisch abgebildeten Felslinie mit Festgestein direkt unterhalb des künstlichen Sohlaufbaus zu rechnen.

Von dieser Deutung auszunehmen sind jene Gebiete im Osten des Beckens, welche von den vorliegenden geophysikalischen Untersuchungen bislang nicht erfasst worden sind. Angesichts des Auftretens von kleinräumigen Schwächezonen auch außerhalb der Störzone, wie z.B. bei BK 33/2011, seien hier ergänzende geophysikalische Untersuchungen zum Ausschluss weiterer Strukturen empfohlen.

6 Zusammenfassung

Zur Erkundung der räumlichen Ausdehnung einer Störzone vorwiegend in der westlichen Hälfte des Oberbeckens des Pumpspeicherwerks Happurg wurden refraktionsseismische Messungen sowie geoelektrische Sondierungskartierungen (2D-Geoelektrik) durchgeführt. Aufgabe dieser Untersuchungen war insbesondere die Erfassung der Geometrie der Störzone (Grenze Locker-/Festgestein) sowie die Ableitung von Aussagen zum Füllmaterial.

Die geophysikalischen Erkundungsarbeiten umfassten 25 parallele Messprofile auf der westliche Beckensohle sowie zwei ringförmige Messprofile am inneren und äußeren Dammfuß. Die geophysikalischen Arbeiten erfolgten parallel zu umfangreichen direkten geotechnischen Erkundungsarbeiten (Bohrungen) und sollten diese sowohl flächenhaft ergänzen als auch Anhaltspunkte für deren gezielte Festlegung liefern.

Die in der Folge vorgelegten Bohrbefunde bescheinigen der Störzone eine ausgesprochen heterogene Struktur. Neben einer variablen Tiefe der Oberkante des Kalksteins treten innerhalb der hauptsächlich bindigen Sedimentfüllung (vorwiegend Schluff, Ton) Kalksteinvorkommen mit variabler Tiefenerstreckung auf. Schürfe im Bereich der aktuellen Erdfälle zeigten Wechsel der Beschaffenheit auf kurzen Distanzen.

Die durch die Messung und Auswertung erhaltenen Vertikalschnitte des spezifischen elektrischen Widerstands (Geoelektrik) und der Kompressionswellengeschwindigkeit (Refraktionsseismik) wurden jeweils zusammen mit den Ergebnissen der Bohrungen (Bohrsäulen) maßstäblich dargestellt.

Aus den Daten wurden weiterhin Horizontalschnitte für verschiedene Höhenniveaus berechnet, um eine instruktive Darstellung über die Erstreckung der Störzone in der Fläche zu erhalten. Beide Methoden liefern hier vergleichbare Bilder, wobei eine generelle Übereinstimmung mit der zur Bauzeit auf dem Planum der Beckensohle schematisch kartierten Felslinie erreicht wird.

Die Ergebnisse beider Messverfahren geben die vorwiegend bindige Lockermaterialfüllung der Störzone in Form von typischen niedrigen Werten wieder. Im Detail sind bei Einbeziehung der Bohrerergebnisse jedoch methodenspezifische Mehrdeutigkeiten vorhanden, die eine eindeutige Zuordnung der geologischen Einheiten zu bestimmten Wertebereichen verhindern. Dies wird durch die starke Heterogenität mit potentiell kleinräumigen Körpern weiter verstärkt, da diese Strukturen jenseits der Auflösungsgrenze der Verfahren methodisch bedingt Mittelwerte in mehrdeutigen Wertebereichen erzeugen.

Zur Reduktion der methodenspezifischen Mehrdeutigkeiten wurden die Ergebnisse beider Verfahren sowie die Bohrungen einer gemeinsamen Interpretation („Komplexinterpretation“) unterzogen und deren Ergebnisse in Profilschnitten dargestellt. Als Ergebnis dieser Interpretation wurde eine Felslinie ausgehalten, welche in erster Linie eine nach den geophysikalischen Daten repräsentative Basis der Störzone widerspiegeln soll. Neben dieser Felslinie sind in den Daten u. A. Indizien auf isolierte Körper (Blöcke, Schollen) innerhalb der Störzone bzw. oberhalb der Felslinie ausgehalten worden, welche jedoch in Beschaffenheit und Form auf Grund methodischer Grenzen wie Auflösbarkeit und 3D-Effekten nicht näher charakterisiert werden können. Insgesamt ist auch bei komplexer Betrachtung der vorliegenden Informationen keine vollständig widerspruchsfreie Interpretation unter den gegebenen Bedingungen abzuleiten.

Im Ergebnis der Interpretation wurde eine Karte mit einer Zonierung entsprechend den geophysikalischen Befunden erstellt („Faktenkarte“). In dieser Karte wurde auch versucht, den Verlauf der Störzone unter dem Ringdamm hinaus nach außen hin fortzusetzen. Die Interpolation unter dem Damm ist jedoch auf Grund hier vorhandenen Datenlücke als unsicher anzusehen.

Aus den quantitativen Ergebnissen der Interpretation (Höhe der Felslinie) wurde ein Höhenmodell der Felsoberfläche erstellt und in einer Karte dargestellt.

Das somit erhaltene Gesamtbild der Störzone zeigt eine in erster Näherung Nord-Süd verlaufende Struktur, welche in ihrer Berandung stark zergliedert ist. Die Ränder der Zone sind geprägt von steilen Flanken, die auch in Ost-West Richtung verlaufen. Derartige Flanken können in ihrer Lage zwischen den Profilen naturgemäß nicht besser verortet werden als es der gegebene Profilabstand zulässt (Lagegenauigkeit ca. ± 10 m).

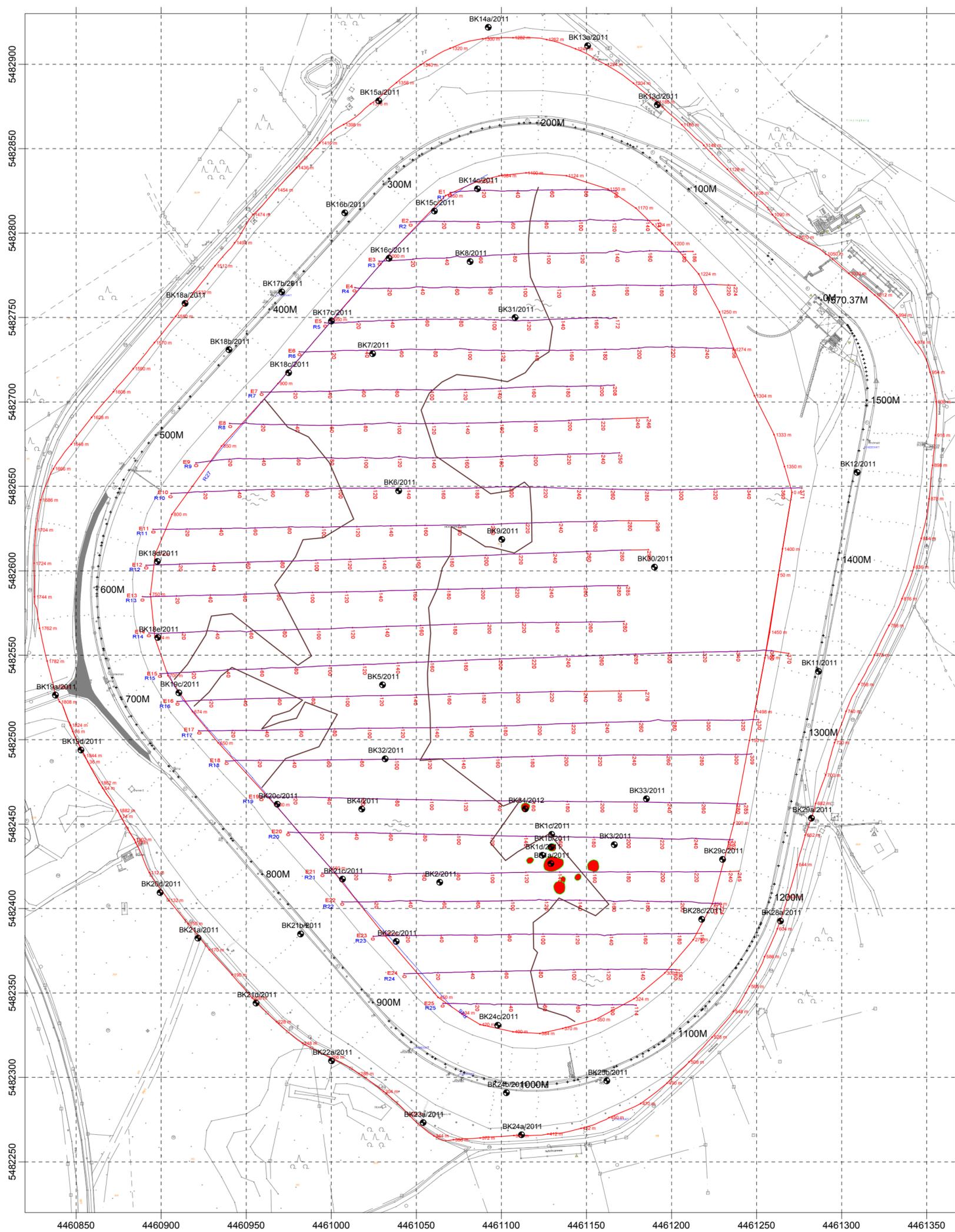
Die generelle Form der Störzone zeigt eine gute Übereinstimmung mit der zur Bauzeit auf dem Planum der Beckensohle kartierten Felslinie, deren schematische Gestalt durch die vorliegenden Ergebnisse präzisiert werden kann.

Insgesamt konnte durch die durchgeführte geophysikalische Erkundung trotz der genannten methodischen Einschränkungen eine zufriedenstellende Abbildung der Störzone im Sinne der Aufgabenstellung erreicht werden. Angesichts der stark zergliederten Struktur hätte mit punktuellen Aufschlüssen allein kein hinreichend geschlossenes Bild der Störzone gewonnen werden können.

Da die durchgeführten Erkundungsarbeiten nicht die gesamte Beckenfläche berücksichtigen, sei eine entsprechende Ergänzung für den bislang nicht vermessenen Ostteil des Beckens empfohlen. Angesichts der vorgefundenen kleinräumigen Strukturen sollte dabei eine Verdichtung des Messrasters in Betracht gezogen werden.

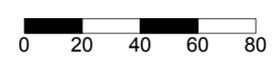
Dipl.-Geophys. Dr. R. Scheibe

Dipl.-Geophys. J. Schwabe



Legende

-  geophysikalisches Messprofil mit Stationierung
(rot - Geoelektrik, blau - Refraktionsseismik,
im Becken überwiegend lagegleich)
-  BK 7/2011 Bohrung mit Name
-  Umriss der Störzone nach Altunterlagen
-  Erdfälle 2011
-  500M Dammsstationierung



 Geophysik GGD Gesellschaft für geowissenschaftliche Dienste m.b.H. Ehrenstraße 33, D 04105 Leipzig Telefon (0341) 5 83 13-0 Telefax (0341) 5 83 13-33	
Objekt: PSW Happurg Geophysikalische Erkundung Geoelektrik & Refraktionsseismik	
Auftraggeber: Eon Wasserkraft	Bearbeiter: Dipl.-Geophys. J. Schwabe
Titel: Lageplan der geophysikalischen Messprofile und Bohransatzpunkte	
angef.: Schw.	Datum: 05.09.2011
Maßstab: 1 : 2000	
Anlage: 1	

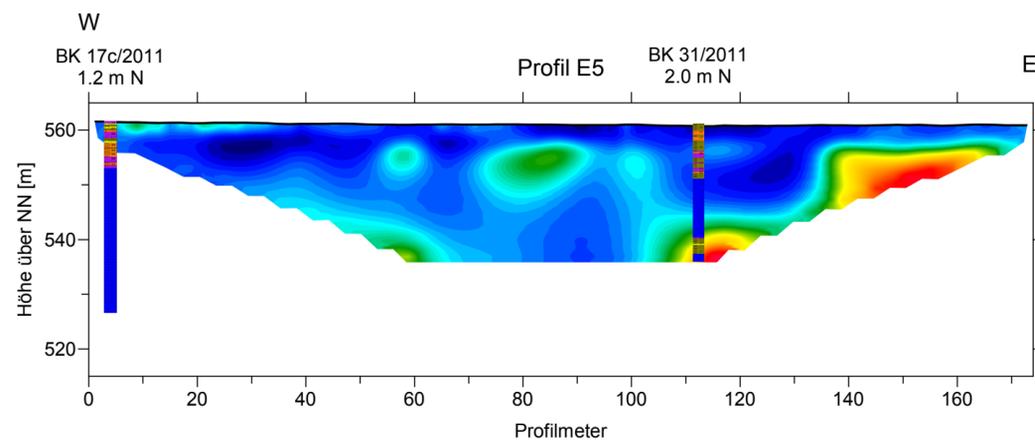
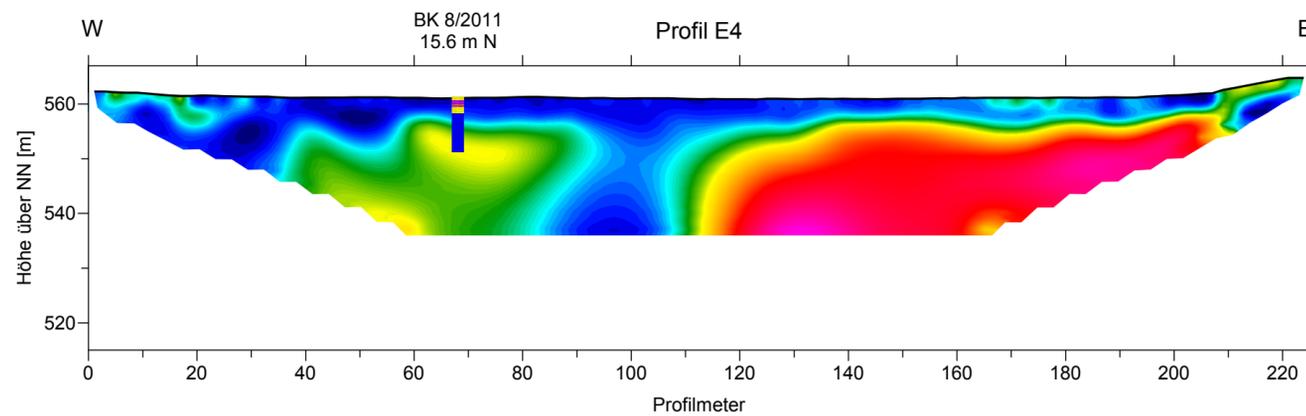
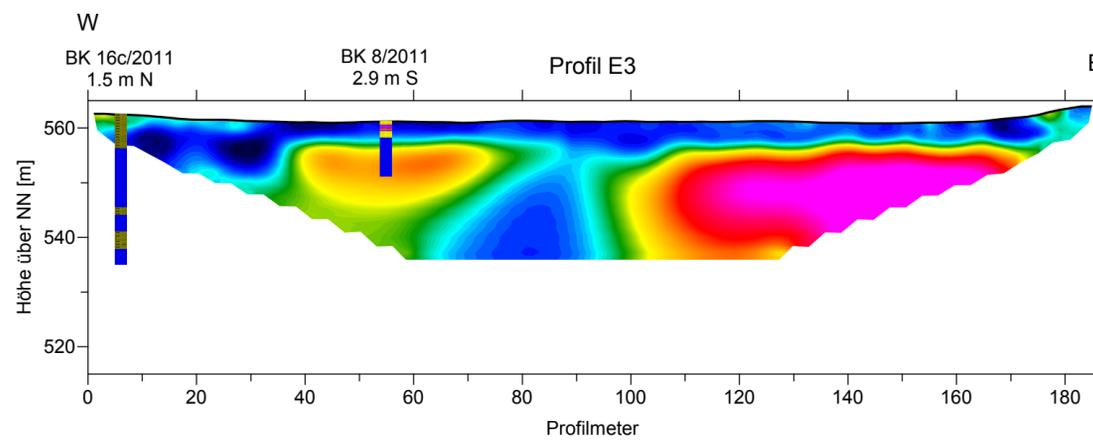
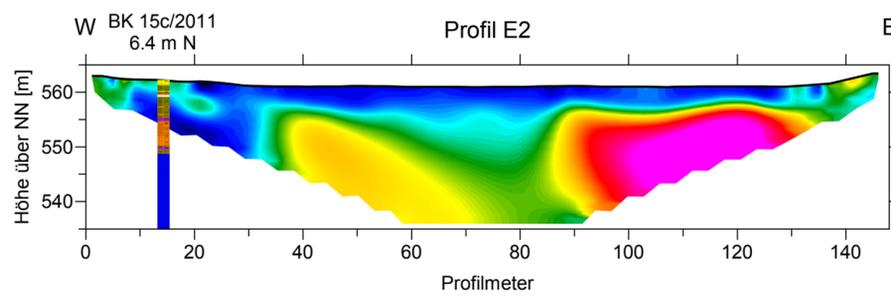
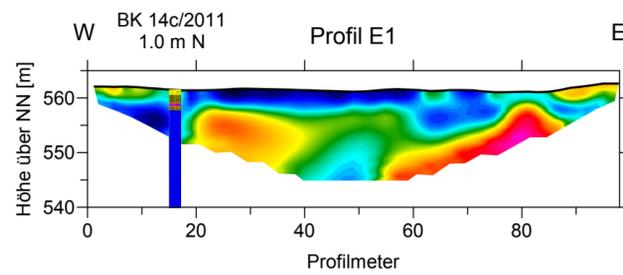
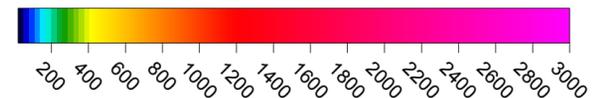
Legende

BK 14c/2011 Bohrung mit Name,
1.0 m N Entfernung und Richtung senkrecht zum Profil

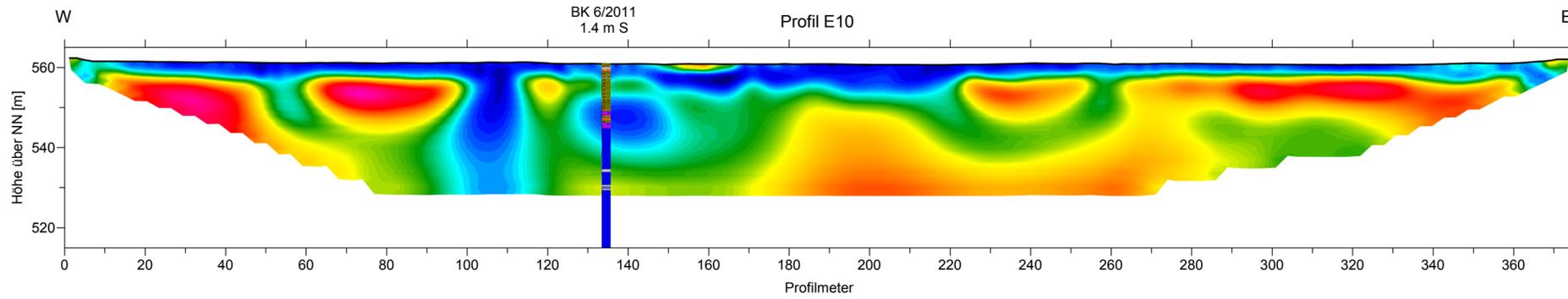
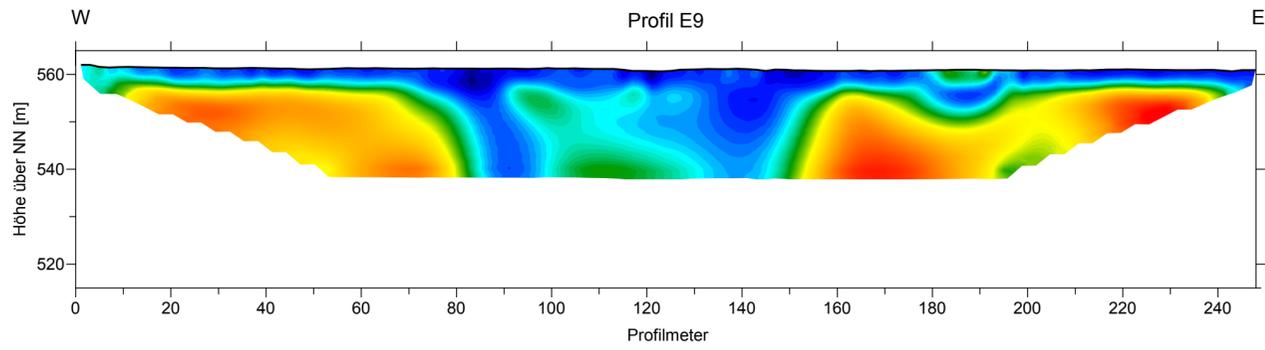
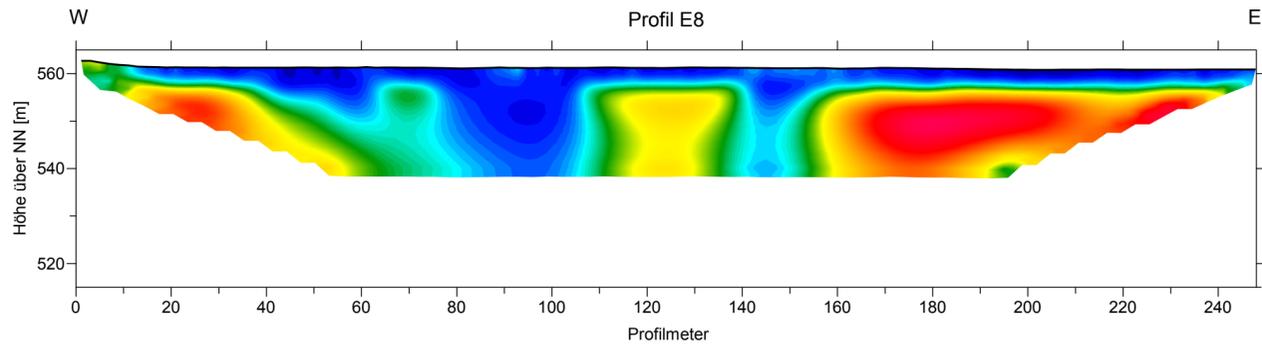
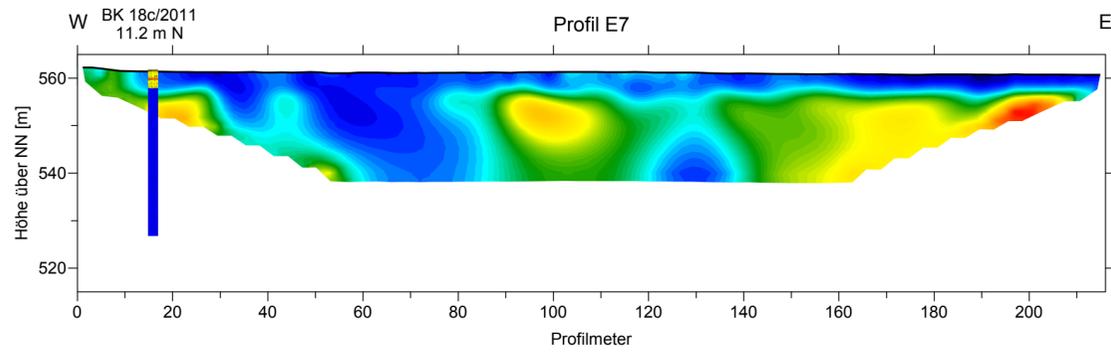
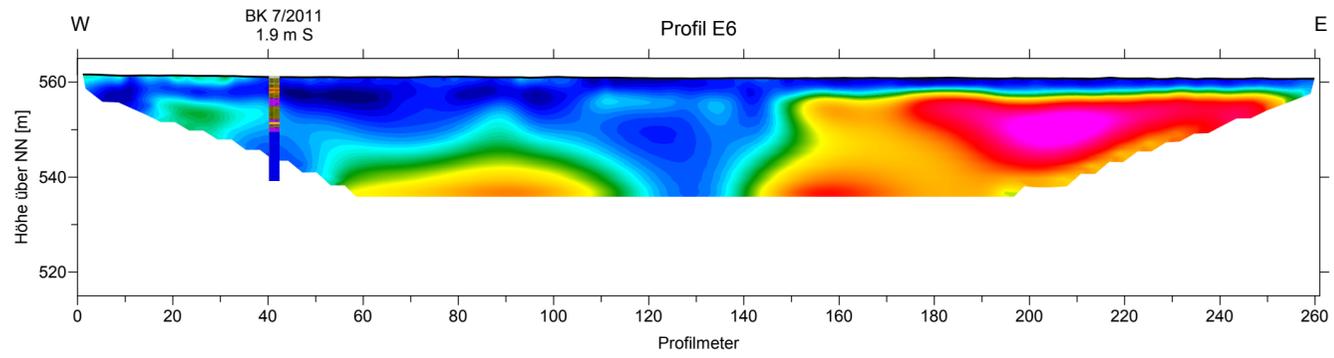
 Lockermaterial wie Schluff, Ton, Sand,
Kies und Steine erbohrt

 Kalkstein erbohrt

Spezifischer elektr. Widerstand
 ρ_s in Ωm



 Geophysik GGD Gesellschaft für geowissenschaftliche Dienste m.b.H. Ehrensteinstraße 33, D 04105 Leipzig Telefon (0341) 5 83 13-0 Telefax (0341) 5 83 13-33		
Objekt:	PSW Happurg, Sanierung Oberbecken Seismische Refraktionstomographie und geoelektrische Sondierungskartierung	
Auftraggeber:	E. ON Wasserkraft GmbH, Wasserbau Luitpoldstraße 27 84034 Landshut	Bearbeiter: Dipl.-Geophys. J. Schwabe
Titel:	Darstellung des spezifischen elektrischen Widerstandes der Profile E1 bis E5	Maßstab: 1 : 1000
angef.: Schw.	Datum: 01.09.2011	Anlage: 2.1.1



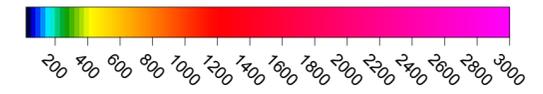
Legende

BK 7/2011 Bohrung mit Name,
1.9 m S Entfernung und Richtung senkrecht zum Profil

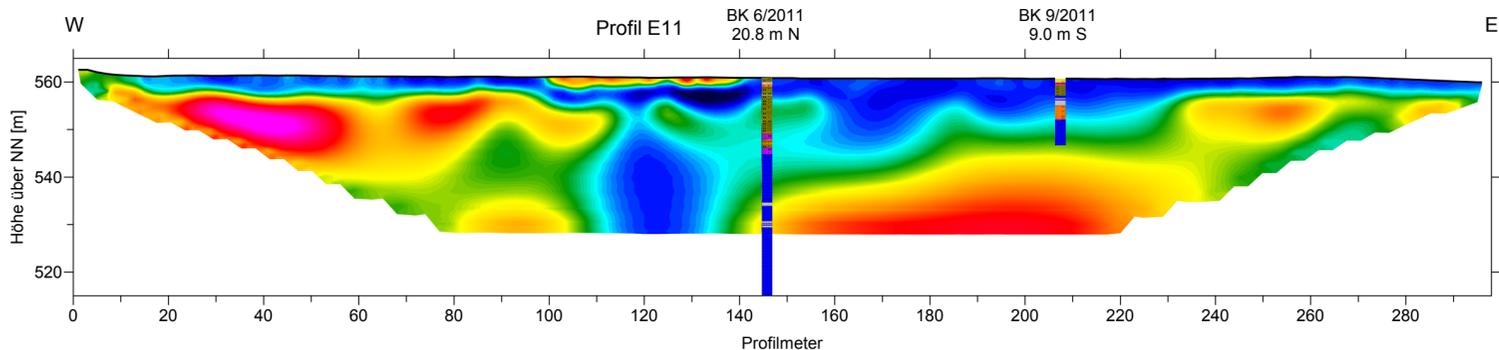
 Lockermaterial wie Schluff, Ton, Sand,
Kies und Steine erbohrt

 Kalkstein erbohrt

Spezifischer elektr. Widerstand
 ρ_s in [Ωm]



 Geophysik GGD <small>Gesellschaft für geowissenschaftliche Dienste m. b. H. Ehrensteinstraße 33, D 04105 Leipzig Telefon (0341) 5 83 13-0 Telefax (0341) 5 83 13-33</small>		
Objekt:	PSW Happurg, Sanierung Oberbecken Seismische Refraktionstomographie und geoelektrische Sondierungskartierung	
Auftraggeber:	E.ON Wasserkraft GmbH, Wasserbau Luitpoldstraße 27 84034 Landshut	Bearbeiter: Dipl.-Geophys. J. Schwabe
Titel: Darstellung des spezifischen elektrischen Widerstandes der Profile E6 bis E10		Maßstab: 1 : 1000
angef.: Schw.	Datum: 31.08.2011	Anlage: 2.1.2



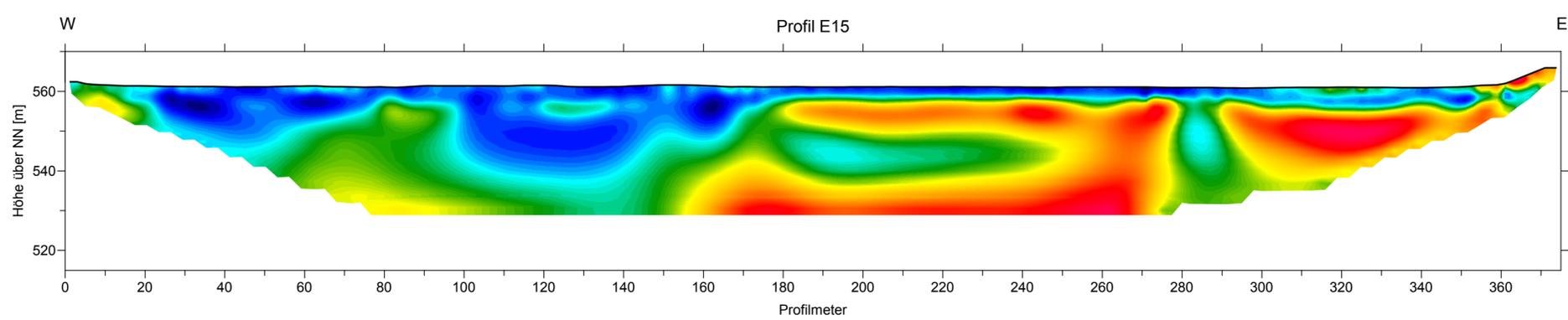
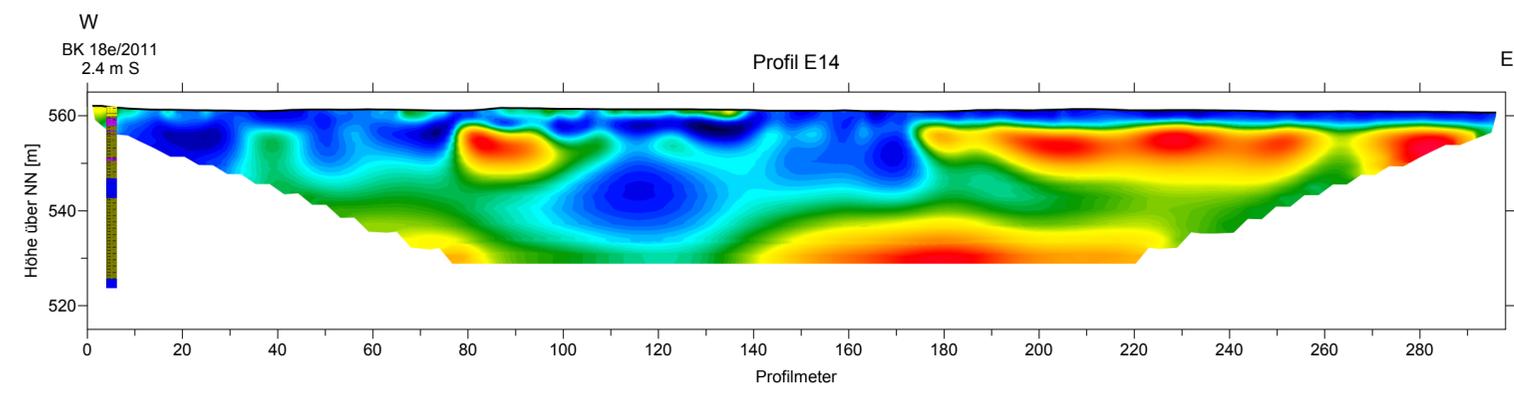
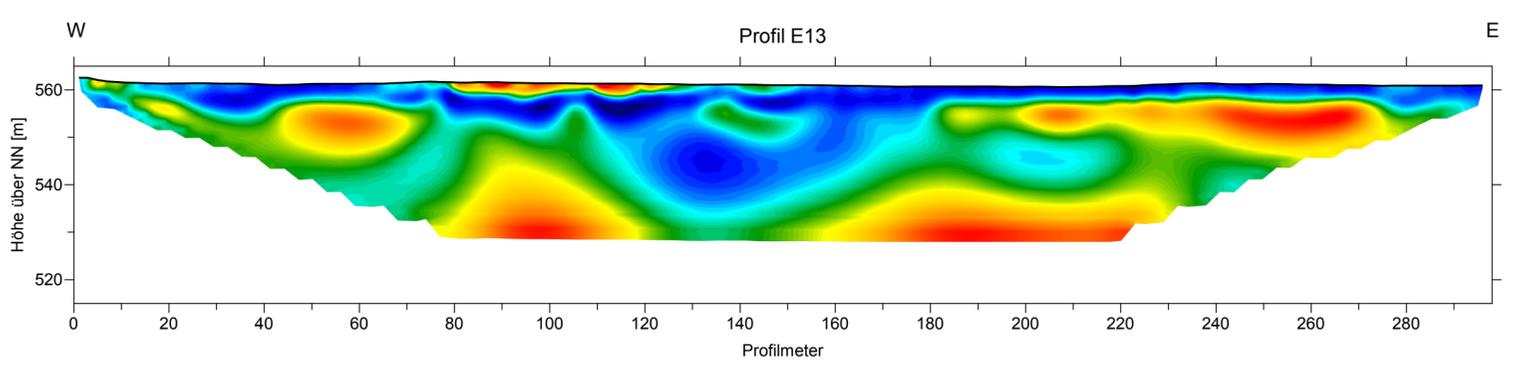
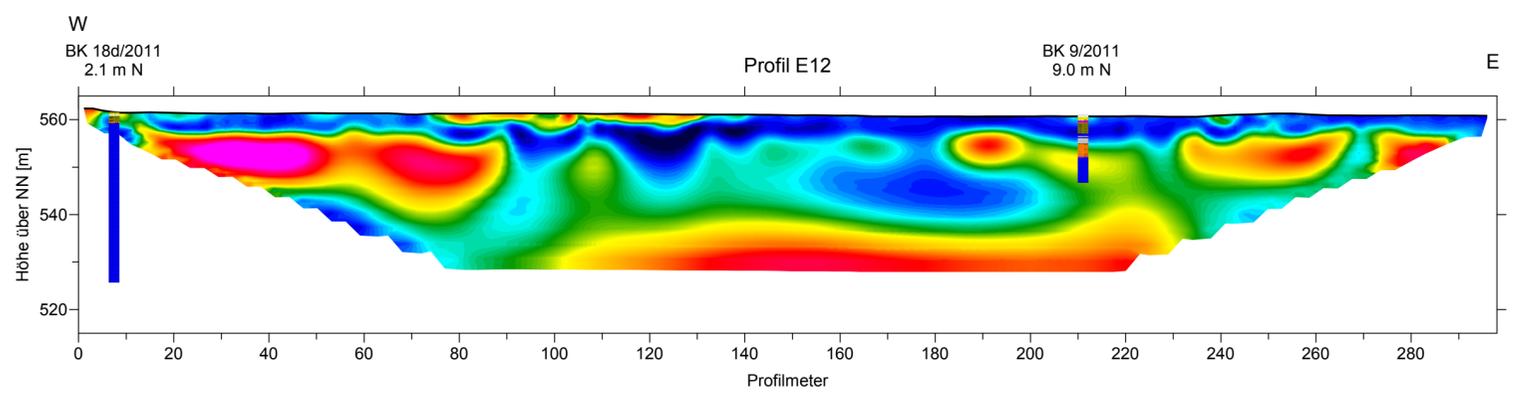
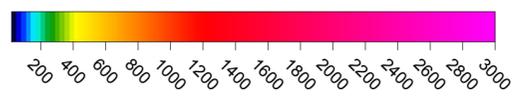
Legende

BK 6/2011 Bohrung mit Name, Entfernung und Richtung senkrecht zum Profil
20.8 m N

Lockermaterial wie Schluff, Ton, Sand, Kies und Steine erbohrt

Kalkstein erbohrt

Spezifischer elektr. Widerstand ρ_s in [Ωm]



<p>Geophysik GGD Gesellschaft für geowissenschaftliche Dienste m.B.H. Ehrensteinstraße 33, D 04105 Leipzig, Telefon (0341) 5 83 13-0 Telefax (0341) 5 83 13-33</p>		
<p>Objekt: PSW Happurg, Sanierung Oberbecken Seismische Refraktionstomographie und geoelektrische Sondierungskartierung</p>		
<p>Auftraggeber: E.ON Wasserkraft GmbH, Wasserbau Luitpoldstraße 27 84034 Landshut</p>		<p>Bearbeiter: Dipl.-Geophys. J. Schwabe</p>
<p>Titel: Darstellung des spezifischen elektrischen Widerstandes der Profile E11 bis E15</p>		<p>Maßstab: 1 : 1000</p>
<p>angef.: Schw.</p>	<p>Datum: 01.09.2011</p>	<p>Anlage: 2.1.3</p>