

ENERGIESPEICHER RIEDL

**DONAU-
KRAFTWERK
JOCHENSTEIN**
AKTIENGESELLSCHAFT

Planfeststellungsverfahren



Geologischer Bericht



Erstellt	IFB Eigenschenk	M. Zeitlhöfler	04.12.2020
Geprüft	IFB Eigenschenk	R. Kunz	04.12.2020
Freigegeben	DKJ/ES-R	C. Rucker	04.12.2020
	Unternehmen / Abteilung	Vorname Nachname	Datum

Fremdfirmen-Nr.:																				Aufstellungsort:										Bl. von Bl.																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															</

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	5
2	Aufgabenstellung	6
3	Verwendete Unterlagen	7
4	Untersuchungsraum	8
5	Baugrundverhältnisse und Grundwasser	9
	5.1 Allgemeine geologische Verhältnisse	9
	5.1.1 Speicherseebereich	11
	5.1.2 Triebwasserweg	12
	5.1.3 Talboden	12
	5.2 Allgemeine hydrogeologische Verhältnisse	14
	5.2.1 Speicherseebereich	16
	5.2.2 Triebwasserweg	18
	5.2.3 Talboden	18
6	Baugrund und geotechnische Schichtenfolge	20
	6.1 Speicherseebereich	20
	6.1.1 Schichtpaket 1 – Auffüllungen	20
	6.1.2 Schichtpaket 2 – Organische Böden	20
	6.1.3 Schichtpaket 3 – Hanglehm	21
	6.1.4 Schichtpaket 4 – Kristallinersatz, verwittert	21
	6.1.5 Schichtpaket 5 – Kristallinersatz, Grus	21
	6.1.6 Schichtpaket 6 – Kristallin (Mylonitisierte Gneise und Diatexite)	22
	6.2 Triebwasserweg	23
	6.2.1 Schichtpaket 1 – Hangschutt und Kristallinersatz	23
	6.2.2 Schichtpaket 2 – Kompaktes Kristallin (Mylonitisierte Gneise, Diatexite und Granite)	23
	6.2.3 Schichtpaket 3 – Gebräches Kristallin („Bunte Serie“)	24
	6.3 Talboden	25
	6.3.1 Schichtpaket 1 – Auffüllungen	25
	6.3.2 Schichtpaket 2 – Talfüllung, sandig und bindig	25
	6.3.3 Schichtpaket 3 – Kies	26
	6.3.4 Schichtpaket 4 – Kristallin (Mylonitisierte Gneise und Magmatite)	26
	6.4 Baugrund und Grundwasser	27
	6.5 Eignung von Aushub-/Ausbruchmaterial als Zuschlagstoff	27
	6.6 Staubinhaltsstoffe	28
7	Folgerungen für die Aushub- und Ausbruchsarbeiten	29
8	Ingenieurbauwerke	29
	8.1 Speicherseebereich	29
	8.2 Kraftstation	30
	8.3 Ein-/Auslaufbauwerk	31
	8.4 Tunnelbauwerke	31
	8.4.1 Schrägschacht	32
	8.4.2 Schrägstollen	32
	8.4.3 Niederdruckstollen	34
	8.4.4 Lotschacht	35
	8.5 Entwässerung Speicherseebereich	35
	8.6 Bergwasseranfall im Triebwasserweg	36
	8.7 Gewässer- und Grundwasserregulierung während der Bauzeit	37
	8.7.1 Speicherseebereich	37
	8.7.2 Triebwasserweg	38
	8.7.3 Kraftstation – Niederdruckstollen – Lotschacht	38
9	Geländeaufschüttungen	38
	9.1 Allgemeines	38
	9.2 Bautechnische Folgerungen	38
10	Ergänzende Hinweise	40
11	Literatur	40



Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Projektübersicht.....	5
Abbildung 2: Umgriff Untersuchungsgebiet.....	9
Abbildung 3: Hydrogeologisches Blockbild (Quelle: http://www.wwa-ts.bayern.de) .	14

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Bergwasserstände und -zutritte in den in der Donauleite abgeteufte Erkundungsbohrungen.....	36
---	----

Anlagenverzeichnis

Anlage 1:	Lagepläne
Anlage 1.1:	Übersichtslageplan
Anlage 1.2:	Lagepläne der Erkundungsbohrungen
Anlage 1.2.1:	Lageplan der Erkundungsbohrungen – Bereich Speichersee M = 1 : 2.500
Anlage 1.2.2:	Lageplan der Erkundungsbohrungen – Bereich Donauleite und Talboden M = 1 : 2.000
Anlage 1.3:	Lageplan der Profilschnitte – Speichersee
Anlage 1.4:	Lageplan der Profilschnitte – Donauleite und Talboden M = 1 : 2.000
Anlage 2:	Geologische Schnitte
Anlage 2.1:	Geologische Schnitte Speichersee
Anlage 2.2:	Geologischer Schnitt Triebwasserweg und Talboden
Anlage 3:	Grundwassergleichenpläne M = 1 : 4.000 und 1 : 5.000
Anlage 4:	Gleichenplan der Felsoberkante (Speicherseebereich) M = 1 : 2.500
Anlage 5:	Isolinien bzw. Rasterdarstellung der Höhendifferenz zwischen geplan- tem Speicherseeboden und Felsoberkante M = 1 : 2.500
Anlage 6:	Tabellarische Aufstellung der Bohrlochuntersuchungen
Anlage 7:	Geologisch-Geotechnische Kartierung – Schlussbericht (Intergeo GmbH)
Anlage 8:	Triebwasserweg: Winkelbeziehungen zwischen Trennflächengefüge und Stollenachsen
Anlage 9:	Bohrberichte
Anlage 9.1:	Bericht zu den Erkundungsbohrungen EB21 bis EB36 (IFB Eigenschenk GmbH)
Anlage 9.2:	Bericht zu den Schrägbohrungen SB 21 bis SB 27 (IFB Eigenschenk GmbH)
Anlage 10:	Baugrundgutachten Speichersee (IFB Eigenschenk GmbH): Ergänzende Baugrunduntersuchung mittels Schürfen; Untersuchungsstand: Juni 2011
Anlage 11:	Volumenberechnung von Felsmaterial, Entnahme Bereich Speichersee
Anlage 12:	Beurteilung des Abbaumaterials Speichersee zur Betonherstellung
Anlage 13:	Beurteilung des Abbaumaterials Speichersee zur Asphaltherstellung
Anlage 14:	Ermittlung möglicher Schadstoffgehalte im Staub

1 Einleitung

Im 1952 vereinbarten Regierungsabkommen der Regierungen der Bundesrepublik Deutschland, des Freistaates Bayern und der Republik Österreich zur Donaukraftwerk Jochenstein AG (DKJ) wurde der Bau und die möglichst wirtschaftliche Nutzung der Kraftwerksanlage Jochenstein an der Grenzstrecke der Donau vereinbart. Zu den im Regierungsübereinkommen genannten Kraftwerksanlagen zählt auch ein Pumpspeicherwerk, dessen Errichtung bis heute nicht erfolgte.

Durch die derzeit herrschenden Rahmenbedingungen in der Europäischen Energiewirtschaft mit dem Willen, erneuerbare Energieträger nachhaltig in die Energieaufbringung mit einzubeziehen und der sich daraus ergebenden Notwendigkeit, die erzeugte Energie aus volatilen Energieträgern (Wind, Photovoltaik) zu speichern, bedingen eine steigende Nachfrage nach Energiespeichern. Dabei stellen Pumpspeicherkraftwerke aus Wasserkraft derzeit die mit Abstand effizienteste und nachhaltigste Möglichkeit dar.

Vor diesem Hintergrund plant die Donaukraftwerk Jochenstein AG im Oberwasserbereich des Kraftwerkes Jochenstein die Errichtung eines modernen Pumpspeicherkraftwerkes, im Folgenden als „Energiespeicher Riedl“ bezeichnet. Die Grundkonzeption des Energiespeichers Riedl ist in Abbildung 1 dargestellt.

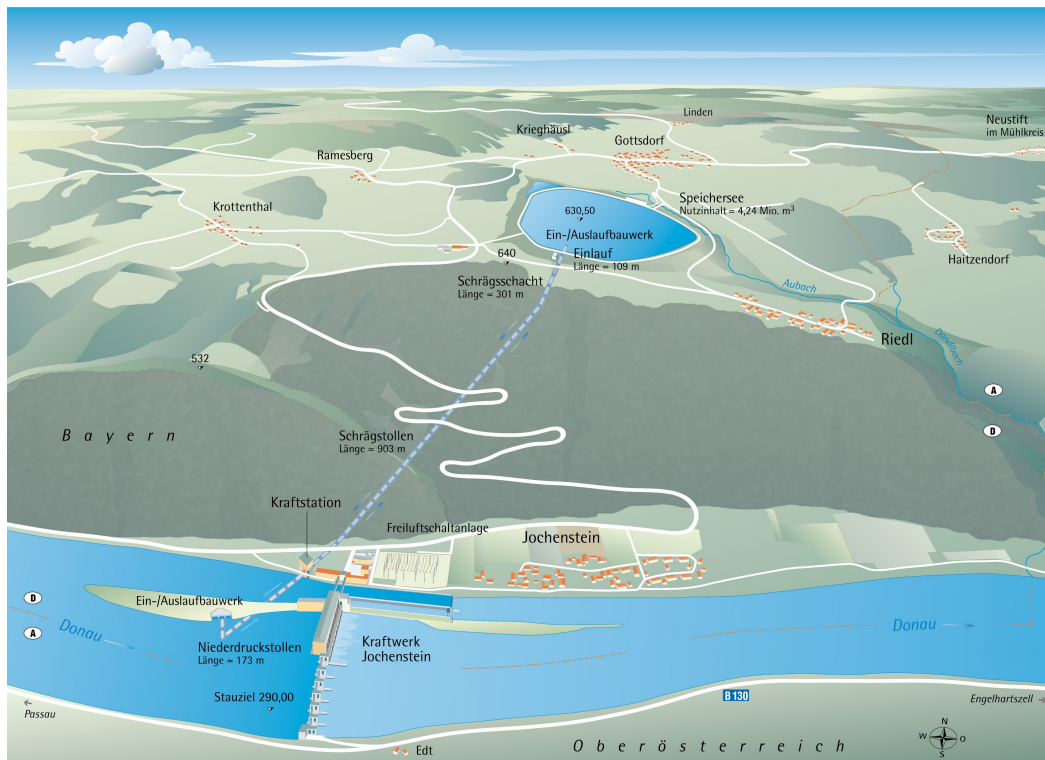


Abbildung 1: Projektübersicht

Das Wasser für die neue Anlage wird der Donau aus dem Stauraum Jochenstein am rechten Ufer des Trenndamms der bestehenden Laufwasserstufe über ein Ein-/Auslaufbauwerk sowohl entnommen als auch zurückgegeben. Ein neu errichteter Speichersee, welcher in der "Riedler Mulde" südwestlich der Ortschaft Gottsdorf und nördlich der Ortschaft Riedl vorgesehen ist, wird als Oberbecken verwendet. Die beiden Wasserkörper werden durch Stollen mit einer als Schachtbauwerk errichteten Kraftstation im Talbodenbereich von Jochenstein verbunden, in welcher die beiden Pumpen und Turbinen aufgestellt sind. Die erzeugte elektrische Energie wird in einem unterirdischen Kabelkanal in die bestehende Schaltanlage des Kraftwerkes Jochen-

stein eingespeist. Alle Anlagenteile des Energiespeichers Riedl befinden sich auf deutschem Staatsgebiet.

Der Energiespeicher Riedl ist eine Wasserkraftanlage, mit der die Herstellung eines Gewässers (Speichersee) sowie die wesentliche Umgestaltung eines Gewässers (Donau) verbunden ist. Für derartige Vorhaben ist gemäß §§ 67 ff. Wasserhaushaltsgesetz (WHG) eine wasserrechtliche Planfeststellung erforderlich.

2 Aufgabenstellung

Die Aufgabe des vorliegenden geologischen Berichtes ist es, aus den bisher gewonnenen Erkundungsergebnissen eine zusammenfassende Darstellung der geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse und daraus abgeleitet eine Beurteilung des Baugrundes im Projektgebiet zu erstellen. Dabei ist es zweckmäßig, die Beschaffenheit des Untergrundes für die einzelnen Hauptanlagenteile getrennt darzulegen.

Das geplante Pumpspeicherwerk besteht im Wesentlichen aus drei Teilen:

- Kraftstation bestehend aus Maschinenschacht, Krafthausgebäude und Energieableitung
- Triebwasserweg als Verbindung zwischen Donau und Speichersee
- Speichersee

Einen Teilbereich des Triebwasserwegs stellt der unter der Donau hindurchführende Niederdruckstollen mit angeschlossenem Lotschacht und Ein-/Auslaufbauwerk dar. Für gewisse Fragestellungen ist eine getrennte Behandlung dieses Teilbereiches erforderlich, was im Bedarfsfall erfolgen wird.

Alle drei Kraftwerkskomponenten werden in verschiedenen Tiefen in den Untergrund eingebunden. Aus diesem Grund wurde in mehreren Erkundungsphasen der Baugrund intensiv untersucht, da dieser für die zu erwartenden Belastungen des Pumpspeicherbetriebes die erforderliche Stabilität aufweisen muss.

Durch das Ein-/Auslaufbauwerk werden im Pumpbetrieb bis zu 82 m³/s Donauwasser in den Speichersee gepumpt. Im Turbinenbetrieb werden über dieses Bauwerk bis zu 108 m³/s in die Donau eingeleitet. Dies erfordert eine entsprechende Dimensionierung des Ein-/Auslaufbauwerks sowie des Niederdruckstollens zum Kraftwerk. Das Kraftwerk selbst wird bis zu 60 m tief in Schachtbauweise in den Untergrund eingebunden. Der vorliegende Bericht liefert für diesen Bereich Informationen zur Mächtigkeit und lithologischen Beschaffenheit der einzelnen geologischen Einheiten sowie zu Durchlässigkeit und Beschaffenheit des Baugrundes.

Der neu zu errichtende Triebwasserweg wird ausgehend vom Speichersee in der „Riedler Mulde“ unterirdisch durch die Donauleiten zum Schachtkrafthaus und weiter zur Donau geführt. Die Auswertung früherer geologischer Untersuchungen in Verbindung mit der Ansprache der aktuell abgeteuften Bohrungen gibt Aufschluss über die zu erwartenden geologischen Verhältnisse und Durchlässigkeiten bzw. Festigkeiten des Gebirges. Diese Informationen werden für die Auswahl des geeigneten Vortriebsverfahrens, die Anlage des Stollenverlaufs sowie die bauliche Ausgestaltung des Triebwasserweges benötigt.

Der Speichersee mit einem Inhalt von 4,3 Mio. m³ und einer Fläche von etwa 24 ha wird als asphaltiertes Ringdammbauwerk in den Untergrund eingebunden. Hierbei sind in der Bauphase größere Erdbewegungen notwendig. Der vorliegende Bericht legt basierend auf den bisherigen Untersuchungsergebnissen die zu erwartenden Untergrundverhältnisse dar und gibt Aufschluss über die Art des Aushub- bzw. Ausbruchsmaterials sowie über den Dränwasseranfall.

3 Verwendete Unterlagen

Folgende Unterlagen und Fachberichte wurden bei der Erstellung des vorliegenden Gutachtens herangezogen:

BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT (2006): Vorläufige Geologische Karte von Bayern 1:25.000 Blatt 7448 Untergriesbach. Augsburg (Bayerisches Landesamt für Umwelt).

IFB EIGENSCHENK GMBH (2010a): Hydrogeologischer Bericht. Brunnen- und Quellenerhebung. 13 S.; Deggendorf (IFB Eigenschenk).

IFB EIGENSCHENK GMBH (2010b): Raumordnungsverfahren. Gutachten Geologie und Hydrogeologie. 36 S.; Deggendorf (IFB Eigenschenk).

IFB EIGENSCHENK GMBH (2011a): Neubau Energiespeicher Riedl, Jochenstein Bereich Speichersee. Ergänzende Baugrunduntersuchung mittels Schürfen. 53 S.; Deggendorf (IFB Eigenschenk).

IFB EIGENSCHENK GMBH (2011b): Neubau Energiespeicher Riedl, Jochenstein Bereich Donau, Organismenwanderhilfe. Baugrunduntersuchung. 40 S.; Deggendorf (IFB Eigenschenk).

IFB EIGENSCHENK GMBH (2011c): Erstabschätzung des grundwasserbürtigen Dränwasseranfalls aus der geplanten Ringdrainage unter dem Kontrollgang des Speicherbeckens. 17 S.; Deggendorf (IFB Eigenschenk).

IFB EIGENSCHENK GMBH (2013a): Schlussbericht zu den Erkundungsbohrungen SB21 bis SB27 (Schrägbohrungen entlang Triebwasserweg). 42 S.; Deggendorf (IFB Eigenschenk).

IFB EIGENSCHENK GMBH (2013b): Schlussbericht zu den Erkundungen EB21 bis EB36 (Vertikalbohrungen Bereich Ein-/Auslaufbauwerk Speichersee und Bereich Krafthaus). 46 S.; Deggendorf (IFB Eigenschenk).

INTERGEO GMBH (2011a): Schlussbericht zu Erkundungsbohrungen EB 3 – EB 9 und Pegelbohrungen PB 3 – PB 11. 25 S.; Salzburg (INTERGEO GMBH).

INTERGEO GMBH (2011b): Schlussbericht zu den Pegelbohrungen JPB1/2010 und JPB2/2010. 10 S.; Salzburg (Intergeo GmbH).

INTERGEO GMBH (2011c): Schlussbericht zu Erkundungsbohrungen SB 1 und SB 2. 13 S.; Salzburg (Intergeo GmbH).

INTERGEO GMBH (2011d): Geologisch-geotechnische Kartierung – Schlussbericht. 33 S.; Salzburg (Intergeo GmbH).

KUNERT, N. (1977): Pumpspeicherwerk Riedl. – Ingenieur und Hydrogeologie. 42 S.; Olpe (Geotechnisches Büro Kunert).

MATERIAL CONSULT DR. PICHLER ZT GMBH (2019): Beurteilung des Abbaumaterials Speichersee zur Betonherstellung. 20 S.; Hart (MatCon GmbH).

ÖSTERREICHISCHE DONAUKRAFTWERKE AG (1984): Örtliche Beschreibung und geologischer Bericht für die Herstellung eines Belüftungs- und Probestollen für das Pumpspeicherwerkes Jochenstein – Riedl. 13 S.; Wien (Österr. Donaukraftwerke AG).

PÖYRY ENERGY GMBH UND RMD CONSULT (2011a): Planfeststellungsverfahren. Beschreibung des Bauablaufes. 29 S.; Salzburg (Pöyry Energy GmbH).



PÖYRY ENERGY GMBH UND RMD CONSULT (2011b): Planfeststellungsverfahren. Technischer Bericht. Triebwasserweg Vorbemessung Auskleidung. 17 S.; Salzburg (Pöyry Energy GmbH).

STENZEL, G. (1984): Pumpspeicherwerk Riedl – Oberbecken. Vorläufige Zusammenstellung der Baugrunduntersuchungsergebnisse 1984. 14 S.; Nürnberg.

TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN (2020): Beurteilung des Abbaumaterials Speichersee zur Asphaltherstellung. 24 S.; München (TU München).

Weitere verwendete Daten und Unterlagen:

Geotechnisches Ingenieurbüro Prof. Fecker und Partner GmbH (GIF): Untersuchungsberichte zu den Bohrlochscannerbefahrungen der Bohrungen EB 21, EB 22, EB 23 und EB 26.

Geotechnisches Ingenieurbüro Prof. Fecker und Partner GmbH (GIF): Untersuchungsberichte zu den Dilatometerversuchen an den Bohrungen EB 22, EB und EB 26.

HPC AG: Untersuchungsberichte zu den hydraulischen Versuchen an den Bohrungen EB 22 und EB 26

PÖYRY INFRA GMBH (2010): Bericht zur Beschreibung der geologischen Verhältnisse beim Pumpspeicherkraftwerk Jochenstein-Riedl. 30 S. Salzburg (Pöyry Infra GmbH).

SOLEXPARTS AG (2012): Untersuchungsberichte zu den Dilatometerversuchen an den Bohrungen SB 24, SB 26 und SB 27

SOLEXPARTS AG (2012): Untersuchungsberichte zu den Hydraulischen Versuchen an den Bohrungen SB 24, SB 26 und SB 27

TERRATEC GEOPHYSICAL SERVICES (2011): Untersuchungsberichte zu den geophysikalischen Bohrlochvermessungen an den Bohrungen SB 24 und SB 26.

VERBUND Hydro Power AG: Datenloggeraufzeichnungen der Grundwassermessstellen im Talbodenbereich des Kraftwerks Jochenstein und im Bereich des geplanten Speichersees des Energiespeichers Riedl, Zeitreihe 2010 - 2011.

4 Untersuchungsraum

Das zu untersuchende Projektgebiet befindet sich im äußersten Osten des Landkreises Passau im bayerisch-österreichischen Grenzgebiet nahe den Ortschaften Jochenstein und Gottsdorf.

Das Projektareal umfasst mehrere geomorphologische Einheiten, darunter den Talboden des Donautals, in dem sich bereits die Staustufe Jochenstein befindet, den Steilhangbereich der Donauleiten, durch den unterirdisch der geplante Triebwasserkanal führt, sowie die „Riedler Mulde“, eine Senke zwischen den Ortschaften Gottsdorf und Riedl. Letztere ist als Standort für den künftigen Speichersee geplant.

Das genaue Untersuchungsgebiet orientiert sich an der Lage der einzelnen Anlagenteile, bzw. Bereichen, in denen durch Baumaßnahmen eingegriffen wird. Da eine ausschließliche Beschränkung des Untersuchungsgebietes auf das unmittelbare Baugebiet wenig sinnvoll erscheint wurde ein Umgriff gewählt, der auch die nähere Umgebung des eigentlichen Baugebietes mit einbezieht. Dieser ist in Abbildung 2 dargestellt.

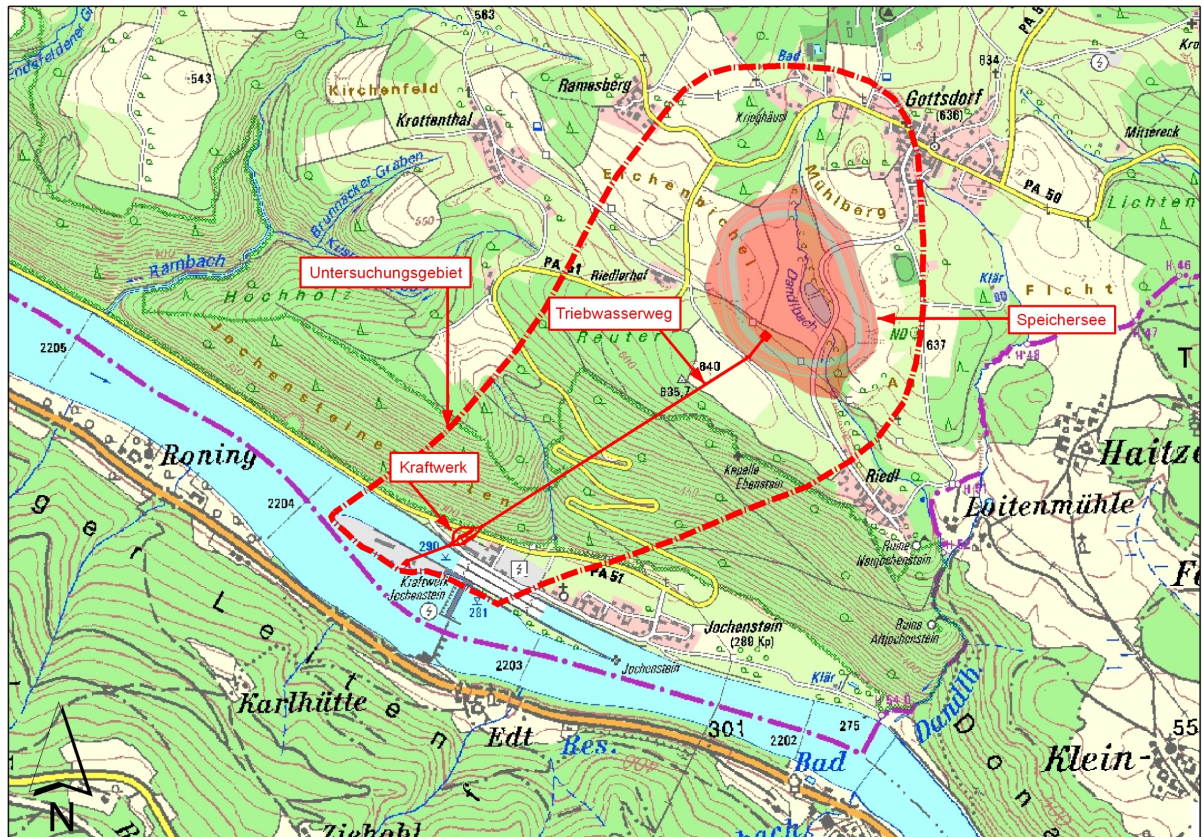


Abbildung 2: Umgriff Untersuchungsgebiet

5 Baugrundverhältnisse und Grundwasser

Im Folgenden werden die Ergebnisse der im Rahmen der verschiedenen Planungsphasen des Energiespeichers durchgeführten geologischen und hydrogeologischen Erkundungen sowie Informationen aus den geotechnischen Unterlagen aus der Bauzeit des Laufwasserkraftwerkes Jochenstein zusammengefasst und dargestellt. Die für den Energiespeicher Riedl durchgeführten Erkundungsmaßnahmen umfassen das Abteufen von Vertikal- und Schrägbohrungen in Verbindung mit diversen geophysikalischen und hydraulischen Untersuchungen, sowie diverse fels- und bodenmechanische Labor- und Felduntersuchungen. Darüber hinaus wird ein Grundwassermonitoring im quartären Grundwasserleiter des Donautals, im Bereich des künftigen Speichersees und an der Donauleiten durchgeführt, um Aufschluss über die gegebenen Grundwasserverhältnisse zu gewinnen sowie zur Beweissicherung der gegenwärtigen Verhältnisse.

5.1 Allgemeine geologische Verhältnisse

Die nachfolgende Beschreibung der geologischen Einheiten im Untersuchungsgebiet basiert auf einer vorläufigen geologischen Karte von Bayern 1 : 25.000, Blatt 7448 Untergriesbach des Bayerischen Landesamtes für Umwelt sowie auf den Ergebnissen der geologischen Detailkartierung (INTERGEO, 2011d, Anlage 7), der durchgeführten Bohrungen und historischen Unterlagen aus der Bauzeit des Kraftwerkes Jochenstein. Die in den vorhandenen Unterlagen dargestellten geologischen Einheiten konnten mit

Hilfe der im Rahmen des Projekts abgeteufte Erkundungsbohrungen (INTERGEO, 2011a, b, c) in der Regel verifiziert werden.

Es wurden im Rahmen von zwei Bohrkampagnen insgesamt 44 Erkundungsbohrungen mit Tiefen von 25 bis 550 m abgeteuft. Davon entfallen auf den Bereich des Speichersees 17 Vertikalbohrungen mit Endteufen von 30 bis 100 m u. GOK sowie auf den Bereich der geplanten Kraftstation bzw. des Ein-/Auslaufbauwerks an der Donau 15 Vertikalbohrungen mit Endteufen von 25 bis 80 m u. GOK. Zusätzlich wurden drei Schrägbohrungen mit Bohrwinkeln von 35° - 49° zur Horizontalen und Längen von 120 bis 180 m unter dem Schleusenvorhafen durchgeführt.

Entlang des geplanten Triebwasserweges wurden insgesamt vier subhorizontale bzw. schräge Erkundungsbohrungen mit Bohrlängen von 300 bis 550 m abgeteuft. Die Abschlussberichte dieser Bohrungen sind in Anlage 9 beigefügt.

Im Rahmen der ersten Planungsphase, nach der das Ein-/Auslaufbauwerk des Triebwasserweges am Unterwasser des Kraftwerks Jochenstein installiert werden sollte, wurden entlang des seinerzeit geplanten Triebwasserweges zudem zwei Schrägbohrungen mit Bohrlängen von 453 und 500 m niedergebracht. Im Umfeld der ursprünglich geplanten Kraftstation wurden zwei vertikale Erkundungsbohrungen an der Donau etwa 200 m südöstlich der Werkssiedlung Jochenstein und zwei vertikale Pegelbohrungen etwa 120 und 180 m östlich der Trinkwasserbrunnen der Ortschaft Jochenstein jeweils mit Endteufen zwischen 50 und 60 m u. GOK errichtet.

Ergänzend wurden sowohl im Bereich des geplanten Speichersees als auch im Talboden beim Kraftwerk Jochenstein mehrere Schürfgruben angelegt, die zur detaillierten Bodenansprache des Lockergesteins und für bodenmechanischen Feld- und Laboruntersuchungen verwendet wurden (IFB EIGENSCHENK, 2011a und b).

Die Ergebnisse der Untersuchungen liefern Aufschlüsse über die Untergrundverhältnisse an den jeweiligen Kraftwerksteilen. Die an den Bohrlöchern und Schürfen durchgeführten geotechnischen und hydraulischen Versuche liefern wertvolle Daten zur Gebirgsfestigkeit und -durchlässigkeit.

Die geologisch-tektonischen Gegebenheiten im Speicherseebereich, im Talboden beim Kraftwerk Jochenstein, sowie entlang des Triebwasserweges unterscheiden sich zu einem gewissen Grad. Aus diesem Grund werden die folgenden Beschreibungen der Ergebnisse der Bestandsuntersuchungen getrennt nach Speicherseebereich, Triebwasserweg in der Donauleite und Talboden dargelegt.

Allen Teilbereichen ist allerdings der generelle lithologische Aufbau des Festgesteins gemein. Dieser besteht sowohl aus magmatischen Gesteinen (Granit) als auch aus hochmetamorphen Gesteinen (Gneise u. ä.). Aufgrund des hohen Aufschmelzungsgrades einzelner metamorpher geologischer Einheiten bewegen sich diese bereits im Übergangsbereich zwischen metamorphem und magmatischem Gestein (homogenisierte Diatexite). In den Steilhang der Donauleiten sind zudem vereinzelt Wechsellaagerungen von tektonisch überprägten Gneisen, Silikatmarmor, Kalksilikaten, Amphiboliten, und Serpentinitten eingeschaltet, deren genauer petrographischer Aufbau aufgrund der vielfach starken tektonischen Überprägung nur schwer zu ermitteln ist (INTERGEO, 2011d).

Sowohl Magmatite als auch Metamorphite wurden im Bereich der Donauleiten bzw. des Donautals bei hohen Temperaturen stark mylonitisch überprägt. Dies liegt darin begründet, dass im Donautal ein Ausläufer der Pfahlstörung verläuft. Diese Störung wurde im späten Paläozoikum angelegt und war über längere Zeiträume bis in die Zeit des Tertiärs aktiv, was verschiedene Stadien der Deformation (Mylonitisierung, kataklastische Scherzonen, bruchhafte Deformation mit Kluftmineralisierungen und Harnischen, Verfaltungen) belegen. Im Zuge der Intrusion hydrothermaler Lösungen,

die zur Bildung der Pfahlquarze führten, wurde das Gestein im Untersuchungsgebiet teilweise mit Quarz imprägniert.

5.1.1 Speicherseebereich

Im Bereich des geplanten Speichersees stehen verschiedene magmatische und metamorphe Gesteine unter einer Überdeckung aus Zersatz und Hanglehm an. Die Verläufe der Schichtgrenzen sowie der Felsoberkante sind den Profilen und Plänen in den Anlagen 2 und 4 zu entnehmen.

In den meisten Erkundungsbohrungen bzw. Schürfen des Speicherseebereiches wurde als oberste Schicht eine Lage aus Fließerde bzw. Hanglehm angetroffen, die Mächtigkeiten von bis zu 3 m erreichen kann. Im Bereich topographischer Rücken, bzw. im Oberhangbereich kann die Mächtigkeit dieser Deckschicht bis auf wenige Dezimeter zurückgehen bzw. komplett fehlen.

Unterhalb der Fließerden bzw. Hanglehme beginnt der Übergangsbereich zum Kristallinzersatz. Diese Schicht ist in der Regel nicht scharf begrenzt, sondern geht von stark verwittertem, entfestigtem, grusigem Material über bis hin zum verwitterten Festgestein. Die Mächtigkeit der Zersatzschicht kann im Einzelfall stark schwanken. So wurden bei den abgeteuften Bohrungen Zersatzmächtigkeiten von 1 m bis fast 20 m erbohrt. Die starken Mächtigkeitsschwankungen liegen zum einen in der unterschiedlichen Verwitterungsfähigkeit der einzelnen Gesteinsarten und im Vorhandensein von Kluft- und Störungszonen im Untergrund begründet, zum anderen in gravitativen Umlagerungsprozessen, die Zersatzmaterial hangabwärts transportieren.

Die Zersatzzone geht in ihrem unteren Bereich in eine Zone mit stark geklüftetem Festgestein über. Dieses besteht aus hochmetamorphen Gneisen und (homogenisierten) Diatexiten mit meist konkordant eingeschalteten Granitgängen. Im oberen Bereich des Festgesteins sind hohe Kluftdichten anzutreffen, die im Wesentlichen auf Druckentlastungseffekte (durch Abtragung auflagernden Materials aufgrund von Erosionsprozessen) zurückzuführen sind. Nach unten geht diese Zone der Kleinerzklüftung allmählich in unverwitterten und kompakteren Fels über. Tendenziell nehmen die Kluftdichten mit zunehmender Tiefe ab. Dennoch sind auch in größeren Tiefen immer wieder Bereiche mit höheren Kluftdichten zu verzeichnen. Diese sind das Resultat bruchhaft deformierter Störungen. Die Abnahme der Klufthäufigkeiten mit zunehmender Tiefe ist vor allem in den tieferen Vertikalbohrungen erkennbar. In den Pegelbohrungen des Speicherseebereichs, die in der Regel nur bis 30 m abgeteuft wurden, ist diese Tendenz nur vereinzelt erkennbar.

Im Bezug auf Kluftorientierungen zeigen die im Rahmen der Bohrlochscans eingemessenen Trennflächen, dass in den Erkundungsbohrungen verschiedene Kluftscharen angetroffen wurden. Hierbei fällt zunächst auf, dass die dominante Kluftschar zumeist flach einfallend gelagert ist. Dieser Umstand liegt zum Teil in der Geometrie einer Vertikalbohrung begründet. Demnach sind horizontale Klüfte in einer vertikalen Bohrung überrepräsentiert. Ein weiterer Grund für die verhältnismäßig starke Präsenz flach einfallender Klüfte ist auch der Umstand, dass das metamorphe Gefüge in diesem Bereich flach in nördliche bis östliche Richtungen einfällt. Dieses Gefüge verursacht in der Regel eine Vorzugsrichtung, in welcher sich Trennflächen ausbilden.

Weitere Kluftscharen verlaufen mehr oder weniger parallel zur Donau mittelsteil bis steil einfallend in westnordwestlich-ostsüdöstlicher bis nordwest-südöstlicher Richtung.

Untergeordnete Kluftsysteme verlaufen in der Regel Nord-Süd bis Nordost-Südwest. Auch diese beeinflussen bisweilen die Oberflächenmorphologie, wie es in diesem Fall der Verlauf des Dandlbachs im Bereich der Donauleiten anzeigt.



5.1.2 Triebwasserweg

Der Steilhang der Donauleiten umfasst den Höhenniveaubereich von etwa 300 bis 600 m ü. NN und schließt somit die flach bis steil in nördliche Richtungen einfallenden geologischen Einheiten auf, die in diesem Höhenintervall ausstreichen. Somit treten hier im Vergleich zum Talboden und zum Speicherseebereich verstärkt lithologische Wechsel im Festgestein auf.

Entlang des geplanten Triebwasserweges wurden drei Schrägbohrungen in die Donauleite abgeteuft. Diese erschlossen ihrem oberen Bereich Überdeckungen aus Hangschutt mit Mächtigkeiten bis etwa 10 m. Darunter schließt sich vor allem im Steilhangbereich meist eine bis 60 m mächtige Lage stark geklüfteten und aufgelockerten Festgesteins an, bis schließlich im Liegenden weitgehend kompaktes kristallines Festgestein verschiedener petrographischer Ausprägung ansteht.

Die aufgeschlossenen Gesteinsarten umfassen zum Großteil hochmetamorphe Gneise und Diatexite sowie Granite. Allen Gesteinen ist eine mehr oder weniger intensive heiße mylonitische Überprägung gemein. Vereinzelt angefahrne kataklastische bis kakiritische Störungszonen zeugen von einer polyphasen Deformation bis in das Tertiär hinein.

Bei der von der Riedler Mulde aus mit etwa 40° aus der Horizontalen abgeteuften Schrägbohrung SB 21 wurden auf einem Höhenniveau von etwa 330 bis 350 m ü. NN Gesteine der so genannten „Bunten Serie“ erbohrt. Diese ist aus einer Wechsellagerung von meist tektonisch überprägten Gneisen, Silikatmarmor, Kalksilikaten, Amphiboliten und Serpentinitten aufgebaut und weist deutlich geringere Gebirgsfestigkeiten als die mylonitischen Gneise, Diatexite und Granite auf. Dieses Schichtpaket wurde über den gesamten Verlauf der Erkundungsbohrung SB 22 erbohrt. Im geologischen Profil des Triebwasserweges (Anlage 2.2) ist der vermutete Verlauf der „Bunten Serie“ eingezeichnet.

In Bohrung SB 24, die vom Talboden aus 400 m nahezu horizontal mit einer Neigung von 4° in nordöstliche Richtung (50°) in die Donauleite abgeteuft wurde, wurden im Gegensatz zur Bohrung SB 2, die ca. 1 km südöstlich davon auf etwa gleicher Höhe in die Donauleite gebohrt wurde, durchwegs kompakte hochmetamorphe Gneise, Diatexite und Granite (lokal mit Quarzgängen durchsetzt) erbohrt. Die Klüftung fällt meist weitständig mittelsteil ein und zeigt vielfach mit Epidot bzw. Chlorit (Vergrünungen), z.T. auch kalzitisch und limonitisch bestegte Trennflächen. Verzeinzelt sind zerrüttete Scherzonen mit Breiten von in der Regel weniger als einem Meter zu beobachten.

5.1.3 Talboden

Im Gegensatz zum Speichersee wurde im Bereich des Talbodens in der Umgebung des Kraftwerkes Jochenstein die Zersatzdecke von der eiszeitlichen Donau weitgehend ausgeräumt. An ihrer Stelle wurden bis zu ca. 16 m mächtige Ablagerungen von Flusssedimenten sedimentiert.

Diese bestehen in ihrem oberen Bereich (in der Regel bis zu 4 m unter Gelände) aus feinsandigen und schluffigen, bisweilen auch tonigen Hochflutablagerungen bzw. eiszeitlichen äolischen Ablagerungen. Unter dieser Überdeckung stehen dann bis zu 12 m mächtige sandige Kiese bzw. kiesige Sande an. Im Bereich des Kraftwerkes Jochenstein wurde ein Teil dieser Ablagerungen im Zuge der Baumaßnahmen der Schleuse Jochenstein abgetragen und durch sandig-schluffiges, bisweilen auch sandiges bis steiniges Auffüllmaterial ersetzt. Die Donauschotter stehen dort mit Restmächtigkeiten von bis zu 8 m an.



An der Basis der kiesigen Ablagerungen beginnt in der Regel abrupt das Festgestein. Bisweilen ist im Übergangsbereich eine stark klüftige Festgesteinsschicht von 0,5 – 1,5 m zu verzeichnen. Diese Zone ist in der Regel stark zerrüttet und Kluftvorzugsrichtungen sind nicht erkennbar.

Das darunter liegende Festgestein, bestehend aus einer Wechselfolge von z.T. migmatischen Gneisen und flaserigen Graniten, ist in der Regel stark mylonitisiert und mit hydrothermalen Lösungen imprägniert. Auf Klüften sind vielfach mehrere Millimeter starke Mineralbeläge aus Kalzit, Quarz, Chlorit und Epidot erkennbar. Im ungestörten Gesteinsverband kann davon ausgegangen werden, dass diese Klüfte hydrothermal verheilt, also verschlossen und kaum durchgängig sind. Es wurden in den Bohrlochscans vereinzelt offene Klüfte aufgezeichnet. Genaueren Aufschluss zur Durchgängigkeit der angefahrenen Klüfte geben die an den Erkundungsbohrungen durchgeführten hydraulischen Versuche (siehe tabellarische Aufstellung in Anlage 6).

Vereinzelt wurden in den Schrägbohrungen unterhalb der Donau kataklastisch deformierte Zonen angefahren. In diesen Bereichen war in den Bohrungen meist ein Kernverlust zu verzeichnen, da wahrscheinlich durch den Bohrvorgang das gestörte Felsmaterial entfestigt und dessen Feinkornanteil (Störungsmehl) über die Bohrspülung ausgewaschen wurde. Die Raumlagen dieser gestörten Bereiche in den einzelnen Bohrungen lassen den Schluss zu, dass eine kataklastisch deformierte Zone unterhalb der Donau in westnordwestlich-ostsüdöstlicher Richtung verläuft. Auch in den historischen geologischen Planunterlagen aus der Bauzeit des Kraftwerkes Jochenstein ist zwischen den beiden Schleusenkammern ein gestörter Bereich verzeichnet, der in etwa in der Flucht der in den Bohrungen angefahrenen Störungen liegt. Ob diese Zonen räumlich zusammenhängen, kann nicht mit Sicherheit geklärt werden. Trotz des Kernverlustes im Bereich der Störungen weist das Gebirge im Originalgesteinsverband keine wesentlich erhöhten Durchlässigkeiten auf. Diese liegen beispielsweise im Intervall des Kernverlustes in Bohrung SB 26 im Bereich von etwa 10^{-7} m/s.

Die bisher in den Vertikalbohrungen ermittelten Werte ergaben für das Festgestein im Talboden Gebirgsdurchlässigkeiten von 10^{-6} bis 10^{-10} m/s, wobei der Großteil der Werte zwischen 10^{-7} und 10^{-9} m/s liegt.

Häufigkeitsverteilungsanalysen der Kluftdichten zeigen eine schwache tendenzielle Abnahme der Kluftdichten mit zunehmender Tiefe unter Gelände. Es wurden auch in größeren Tiefen stärker geklüftete Bereiche angefahren. Die Kluftdichteverteilung der Bohrung EB26, die im Bereich der geplanten Kraftstation abgeteuft wurde, zeigt beispielsweise, dass unterhalb einer Tiefe von etwa 67 m unter GOK eine starke Abnahme der Kluftdichten zu verzeichnen ist.

Bezüglich der generellen Kluftrichtungen zeigen die Untersuchungen an Bohrungen im Talboden eindeutigere Vorzugsrichtungen als im Speicherseebereich. Vor allem westnordwest-ostsüdost streichende, mittelsteil bis steil einfallende Klüfte dominieren die Verteilung. Diese Richtung verläuft sowohl parallel zur Donau als auch zur Pfahlstörung, in welche sich die Donau im Laufe ihrer Geschichte eingetieft hat. Nord-südlich bis nordost-südwestlich verlaufende Kluftscharen spielen eine sehr untergeordnete Rolle. Ebenso sind horizontale bis flach einfallende Klüfte nur sehr schwach vertreten. Dies liegt zum einen darin begründet, dass die oberflächennahe Zone der Kleinzerklüftung, in der Druckentlastungseffekte zum Tragen kommen, weitgehend von der Donau ausgeräumt wurde, zum anderen darin, dass die ursprüngliche metamorphe Schieferung durch die starke mylonitische Zerrüttung des Gesteins größtenteils stark überprägt wurde.



5.2 Allgemeine hydrogeologische Verhältnisse

Nach der hydrogeologischen Raumgliederung von Bayern (BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT, 2003) liegt das Untersuchungsgebiet im hydrogeologischen Großraum „Südostdeutsches Grundgebirge“ und umfasst den Teil der böhmischen Masse, der in die variszische Orogenese einbezogen wurde. Hier stehen magmatische und unterschiedlich stark metamorphe Einheiten an, die eine Mittelgebirgslandschaft bilden.

Der Teilraum Oberpfälzer-Bayerischer Wald wird als Festgesteins-Kluftgrundwasserleiter mit überwiegend geringer bis äußerst geringer Durchlässigkeit und silikatischem Gesteinschemismus charakterisiert. Grundwasser findet sich vorwiegend in Dehnungsklüften und Störungen, deren Anteil am Gesteinshohlraum zur Tiefe hin abnimmt. Die weitgehend kluftfreie Zone des Kristallins im tieferen Untergrund bildet die Grundwassersohle des Kristallin-Grundwasserstockwerks.

In unterschiedlicher Mächtigkeit sind über den Graniten und Metamorphiten örtlich Verwitterungsdecken ausgebildet, die dann Grundwasser als gekoppelter Poren- und Kluftgrundwasserleiter führen können (im Falle einer Vergrusung des Gesteins). Die Grundwasservorkommen im Zersatz sind in der Regel ungespannt. Abbildung 3 stellt die Grundwassersituation im Grundgebirge schematisch dar.

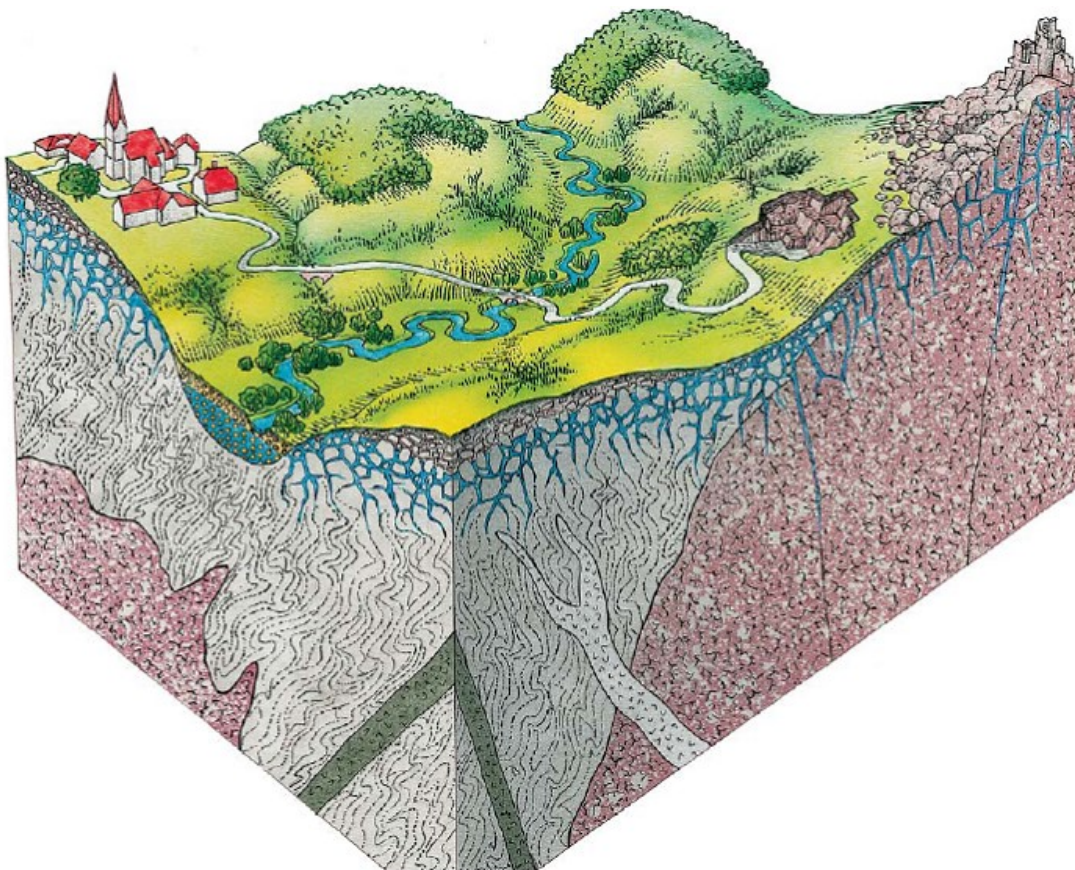


Abbildung 3: Hydrogeologisches Blockbild (Quelle: <http://www.wwa-ts.bayern.de>)

Wegen der in der Regel geringen Ergiebigkeiten unter wechselnden Kluftsituationen ist die Grundwasserführung meist nur von lokaler Bedeutung.

Gemäß BAYERISCHEM GEOLOGISCHEM LANDESAMT (2003) entspricht eine geringe Durchlässigkeit der k_f -Wert-Spanne von $1 \cdot 10^{-5}$ m/s bis $1 \cdot 10^{-7}$ m/s und eine äußerst geringe Durchlässigkeit einem k_f -Wert von $< 1 \cdot 10^{-9}$ m/s. Innerhalb der überwiegend äußerst gering durchlässigen kristallinen Gesteine erfolgt die Grundwasserführung hauptsäch-

lich über Klüfte, die erfahrungsgemäß lokal Durchlässigkeiten von bis zu 10^{-3} m/s aufweisen können.

Die Klüfte haben typische Hauptrichtungen, die an die Tektonik des Gebietes gebunden sind und auch im Oberflächenrelief der Region zum Ausdruck kommen. Für das Grundgebirge des Bayerischen Waldes in der Arberregion, das bereichsweise tektonisch in ähnlicher Weise wie das vorliegende Untersuchungsgebiet überprägt wurde, wies ZEITLHÖFLER (2007) nach, dass topographische Lineamente meist subparallel zu einer dominanten Kluftschar verlaufen. Diese Klüfte verlaufen somit mehr oder weniger hangparallel und weisen durch gravitative Aufweitungen („Hangzerreißung“) die höchsten Durchlässigkeiten auf. RAUM (2002) ermittelte durch Fluoreszenztracerversuche im zentralen Bayerischen Wald, dass die höchsten Abstandsgeschwindigkeiten des Grundwassers vielfach nicht parallel zur Hangfalllinie, sondern spitzwinklig zum Streichen eines Hangs auftreten.

Die Hauptkluftrichtungen liegen überwiegend donauparallel und streichen somit etwa Westnordwest-Ostsüdost bis Nordwest-Südost. Die zweite Hauptkluftrichtung streicht etwa Nord-Süd.

Die Grundwasserfließrichtung im kristallinen Kluftgrundwasserleiter ist auf den Vorfluter Donau nach Süden gerichtet.

In den Deckschichtenaquiferen im Kristallinersatz und den quartären Ablagerungen ist die Grundwasserfließrichtung in der Regel auf die lokalen Bäche und Gräben als Vorfluter gerichtet. Mitunter von der topographischen Fallrichtung abweichende Fließrichtungen erfolgen innerhalb von Inhomogenitäten im Kristallinersatz, die an vergrusste ehemalige Kluftstrukturen gebunden sind.

Im Talbodenbereich der Donau liegt ein Porengrundwasserleiter vor, der durch die zwei Trinkwasserbrunnen GJ4 und GJ5 der Wasserversorgung Jochenstein erschlossen wird.

Analog zu den unterschiedlichen geologischen Verhältnissen im Speicherseebereich, der Donauleite (Triebwasserweg) und im Talboden des Kraftwerks Jochenstein herrschen somit auch unterschiedliche hydrogeologische Verhältnisse in den jeweiligen Teilbereichen vor. In den folgenden Kapiteln werden die hydrogeologischen Besonderheiten der einzelnen Teilgebiete gesondert dargestellt.

Für das gesamte Untersuchungsgebiet wurde der Wasserhaushalt ermittelt. Zur Ermittlung der Grundwasserneubildungsrate nach der Wasserhaushaltsgleichung wurden vom Deutschen Wetterdienst Daten für Niederschlag und Verdunstung für den 30-jährigen Auswertungszeitraum von 1976 bis 2005 zur Verfügung gestellt.

Für die Station Untergriesbach–Glotzing, die von der Lage und den örtlichen Verhältnissen in etwa dem Speicherseebereich entspricht, wurde ein Jahresniederschlag von 1122,3 mm ermittelt. Die Verdunstung wurde anhand der Klimastationen Oberhaus und Fürstenzell mit 634,6 mm ermittelt.

Hieraus errechnet sich ein Gesamtabfluss in Höhe von 487,7 mm/Jahr, gerundet 490 mm/Jahr.

Für die Planung des Energiespeichers Riedl wurden vom Wasserwirtschaftsamt Deggendorf hydrologische Daten für den Dandlbach mitgeteilt. Aus dem mittleren Abfluss lässt sich eine Abflussspende von durchschnittlich $19 \text{ l/s} \cdot \text{km}^2$ errechnen. Dies entspricht einem Abfluss von rund 600 mm/Jahr. Im Schreiben vom Wasserwirtschaftsamt Deggendorf wird die Genauigkeit mit $\pm 25 \%$ angegeben.



Zur Ermittlung der Grundwasserneubildung wird der Informationsbericht des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft Heft 5/1996 mit dem Titel „Die Grundwasserneubildung in Bayern berechnet aus den Niedrigwasserabflüssen der oberirdischen Gewässer“ herangezogen.

Der nächstgelegene Pegel ist die Messstelle Rannasäge Nr. 1916800 an der Ranna, welcher sich nur etwa 5 km nördlich des Untersuchungsgebietes befindet. Für die Jahresreihe 1987 bis 1995 wird der mittlere, aus dem Grundwasser stammende Abfluss MQ_G mit 322 mm/Jahr angegeben. Die spezifische Grundwasserneubildung MQ_G/MQ gibt an, welchen Anteil der Grundwasserabfluss am Gesamtabfluss hat. Dieser wird vorliegend mit 46 % angegeben. Damit lässt sich für das Untersuchungsgebiet die Grundwasserneubildung mit 46 % des Abflusses in Höhe von 490 mm/Jahr, also 225 mm/Jahr abschätzen.

In der oben genannten Publikation wurde für das Quartär des Donautals keine Grundwasserneubildung aus Niedrigwasserabflüssen berechnet. Stattdessen wird zur Abschätzung der Grundwasserneubildung im Talboden bei Jochenstein ein Literaturwert aus den Erläuterungen zur hydrogeologischen Karte 1 : 100.000, Planungsregion 12 Donau-Wald, herangezogen. Gemäß dieser Veröffentlichung liegt der Medianwert der Grundwasserneubildung im Quartär des Donautals bei 180 mm/Jahr. Die Spanne zwischen 10 %- und 90 % Quantil erstreckt sich von 110 bis 265 mm/Jahr.

5.2.1 Speicherseebereich

Im Bereich des geplanten Speichersees ist aus den gewonnenen Daten kein Stockwerksbau einzelner Grundwasserleiter erkennbar. Vielmehr steht das Grundwasser zumeist im Bereich der Zersatzzone bzw. der darunter liegenden Zone der Kleinzerklüftung an. Da bei den Erkundungsbohrungen in diesem Bereich während der Bohrarbeiten in der Regel keine signifikanten Wasserstandsänderungen aufgetreten sind, ist davon auszugehen, dass zumindest im oberflächennahen Bereich bis etwa 50 m unter Gelände wasserführende Klüfte des Festgesteins mit dem in der Zersatzzone stehenden Grundwasser hydraulisch kommunizieren.

Zwei mit Hilfe von Datenloggermessungen durchgeführte Stichtagsmessungen (siehe Grundwassergleichenpläne in Anlage 3) im Juni und August 2011 zeigen keine auffälligen Unterschiede im Verlauf der Grundwassergleichen sowie in den Standrohrspiegelhöhen der einzelnen Messstellen. Die Wasserspiegelschwankungen betrugen in den meisten Messstellen zwischen den zwei Stichtagsmessungen lediglich wenige Zentimeter bis Dezimeter, allein in der Messstelle D 2 wurde ein Wasserspiegelunterschied von etwa 2 m verzeichnet.

Der Verlauf der Grundwassergleichen in Anlage 3 deutet im Bereich des Riedler Beckens einen allgemeinen Grundwasserfluss hin zum Aubach an. Dieser fungiert somit erwartungsgemäß als Vorfluter.

Aufgrund der allgemein sehr steilen Gradienten der Grundwasseroberfläche (beispielsweise beträgt das Grundwassergefälle zwischen Messstelle W 1 und PB 9 an die 9 %) ist anzuzweifeln, ob es sich in diesem Teilbereich um einen zusammenhängenden Grundwasserkörper handelt. Sehr steile Gradienten in der Grundwasseroberfläche bedingen in der Regel entweder hohe Volumenströme oder sehr kleine Durchlässigkeitsbeiwerte. Beides ist in diesem Fall nicht zu erwarten. Aus diesem Grund ist auch die Erstellung eines Grundwassermodells wenig zweckmäßig.

Aufgrund der topographischen Lage des Speichersees sowie der oben angeführten Grundwasserneubildung ist mit großen Volumenströmen, wie sie beispielsweise im Grundwasserbegleitstrom zu größeren Flüssen existieren, nicht zu rechnen. Auch ist im Bereich der Grundwasseroberfläche nicht mit extrem geringen Durchlässigkeitsbeiwerten zu rechnen, die entsprechend steile Gradienten des Grundwasserflusses ver-



ursachen könnten. Hydraulische Versuche im Rahmen der aktuellen Erkundungskampagne ergaben für den Tiefenbereich der angebohrten Grundwasserspiegel, also dem Übergangsbereich Locker-Festgestein Durchlässigkeitsbeiwerte von 10^{-5} m/s bis 10^{-7} m/s.

Im Rahmen von Vorplanungsmaßnahmen in den Jahren 1976 und 1984 (Zusammenstellung in PÖRY (2010)) wurden bei 6 Pumpversuchen und 8 Ausspiegelungsversuchen Durchlässigkeitsbeiwerte von ungefähr $1 \cdot 10^{-5}$ m/s bis $1 \cdot 10^{-7}$ m/s ermittelt. Die Fördermengen lagen zwischen 0,03 und 1,25 l/s. Der Ruhewasserspiegel war 2 Stunden nach Pumpende wieder hergestellt. Die Versuche wurden von STENZEL (1984) ausgewertet. In diesem Bericht wurde die oben genannte Wertespanne ohne Zuordnung zu einzelnen Bohrungen angegeben. Die Pumpversuchs- bzw. Auswertungsprotokolle liegen nicht vor.

Die Analyse gestörter Proben aus Schürfgruben (IFB EIGENSCHENK, 2011, vgl. Anlage 10) ergab Durchlässigkeitsbeiwerte zwischen $2 \cdot 10^{-11}$ bis $5 \cdot 10^{-10}$ m/s (Hanglehm) und $4 \cdot 10^{-8}$ bis $7 \cdot 10^{-7}$ m/s (verwitterter Kristallinersatz). In-situ Versickerungsversuche in Schürfen während der gleichen Untersuchungskampagne (IFB EIGENSCHENK, 2011a, vgl. Anlage 10) lieferten für grusigen bzw. verwitterten Kristallinersatz k_f -Werte von $2 \cdot 10^{-8}$ bis $4 \cdot 10^{-4}$ m/s.

Für den Tiefenbereich bis 100 m unter GOK wurden an ausgewählten Vertikalbohrungen diverse hydraulische Tests durchgeführt. Die dabei ermittelten Gebirgsdurchlässigkeiten schwanken stark in Abhängigkeit vom Zerklüftungsgrad des getesteten Gesteins. Aus insgesamt 15 Packertests wurden für die Bohrungen im Bereich des Speichersees Durchlässigkeitsbeiwerte im Bereich von 10^{-5} bis 10^{-10} m/s ermittelt. Die Gegenüberstellung dieser Werte mit den Kluftdichten zeigt einen deutlichen Zusammenhang zwischen Zerklüftungsgrad und Durchlässigkeit des Gesteins. Für den untersuchten Teufenbereich ist eine Abnahme der Durchlässigkeitsbeiwerte mit zunehmender Tiefe nicht erkennbar. Die Durchlässigkeit ist lediglich an das Vorhandensein klüftiger Bereiche gebunden.

Zur Bestimmung der Durchlässigkeiten des tieferen Untergrunds im Bereich des Speichersees kann die Schrägbohrung SB 1 herangezogen werden. Diese wurde mit einem Winkel von 60° über eine Strecke von 500 m in Richtung Donautal abgeteuft. Somit wurde eine vertikale Tiefe unter dem Ansatzpunkt von etwa 430 m erreicht. Der Wertebereich der ermittelten Durchlässigkeitsbeiwerte zeigt hier klar, dass in Tiefen unterhalb etwa 100 m unter GOK mit stark verringerten Durchlässigkeiten zu rechnen ist.

Die Durchlässigkeitsbeiwerte liegen im Tiefenbereich zwischen 100 m und etwa 430 m unter Gelände im Bereich von 10^{-8} – 10^{-11} m/s. Obwohl eine Tendenz zu geringen k_f -Werten mit zunehmender Tiefe erkennbar ist, wurden immer wieder durchlässigere Bereiche durchörtert. Wie auch bei den Vertikalbohrungen konnten aufgrund der Verwendung von Spülwasser keine Bergwasserzutritte während des Bohrvorgangs beobachtet werden. Somit wurde die Bergwasserführung aus den Wasserständen nach Abschluss der Bohrarbeiten (Ruhewasserspiegel) ermittelt. Zudem wurden die Bohrungen EB 22 und SB 21 als Grundwassermessstelle im Festgestein ausgebaut.

Während bei den Vertikalbohrungen der Bohrwasserspiegel zwischen dem Anbohren von Grundwasser und dem Abschluss der Bohrarbeiten nur wenig schwankte, stieg das bei Bohrmeter 47,6 angetroffenen Grundwasser in der Bohrung SB 1 (dies entspricht ungefähr einer vertikalen Tiefe von 41 m unter GOK) bis auf etwa 11,50 m unter GOK bei Beendigung der Bohrarbeiten an. Dies ist mit dem Anbohren einer lokal mit gespanntem Bergwasser erfüllten Kluft zu erklären.



5.2.2 Triebwasserweg

Die im Bereich des geplanten Triebwasserwegs abgeteuften Schrägbohrungen SB 21, SB 23 und SB 24 weisen unterschiedliche hydraulische Charakteristiken auf. So wurde in der Bohrung SB 24, die im Bereich des geplanten Triebwasserwegs bis 400 m mit einer Neigung von 4° in die Donauleiten abgeteuft wurde, kein Bergwasser angetroffen, während in Bohrung SB 21 der Ruhewasserspiegel bei etwa 615 m ü. NN und in Bohrung SB 23 bei etwa 409 m ü. NN liegt. In Bohrung SB 22 wurde der Bergwasserspiegel mit etwa 440 m ü. NN ermittelt.

Flowmeterbefahrungen in den Bohrungen SB 21 und SB 23 zeigten keine nennenswerten Wasserzutritte in größerer Tiefe. In Bohrung SB 21 wurde der Hauptwasserzutritt bei ca. 58 m u. GOK ermittelt, darunter war kein Grundwasserfluss messbar. Hydraulische Versuche an dieser Bohrung ergaben für den Tiefenbereich zwischen 65 und 422 m u. GOK Durchlässigkeitsbeiwerte von 10^{-8} – 10^{-11} m/s.

In Bohrung SB 23 konnte mittels Flowmeter bei ca. 90 m u. Ansatzpunkt ein Wasserzutritt an der Unterkante des temporär eingebrachten Sperrrohres festgestellt werden. Im Tiefenintervall zwischen 102 und 302 m wurden in insgesamt fünf Teststrecken Durchlässigkeitsbeiwerte von $< 10^{-9}$ m/s ermittelt.

In Bohrung SB 22 wurden ab einer Bohrtiefe von ca. 90 m wiederholt Bergwasserzutritte mit artesischem Überdruck (Druckhöhe ca. 1 – 2 m über dem Bohransatzpunkt) und Schüttungen zwischen 0,3 und 11,25 l/s angetroffen. Die im Bohrsteckenintervall von 87 bis 552 m durchgeführten WD-Versuche ergaben Durchlässigkeitsbeiwerte zwischen $8 \cdot 10^{-6}$ und $8 \cdot 10^{-10}$ m/s.

Für Bohrung SB 24 ergaben die Auswertungen der durchgeführten hydraulischen Versuche Durchlässigkeitsbeiwerte im Bereich von $2 \cdot 10^{-9}$ bis $8 \cdot 10^{-11}$ m/s in durchwegs kompakten hochmetamorphen Gneisen und Graniten.

Dagegen wurden in der Schrägbohrung SB 2, die etwa 1,2 km östlich des geplanten Triebwasserweges flach geneigt in die Donauleite abgeteuft wurde, Wechselfolgen lithologisch stark unterschiedlicher Gesteine erbohrt. Diese reichen von Gneisen und Graniten über Amphibolite und Serpentine bis hin zu Kalksilikaten und Silikatmarmoren. Diese verschiedenen Gesteine unterscheiden sich auch in ihrer Reaktion auf tektonische Spannungen und somit in ihrer Klüftungsneigung. Zusätzlich sind in Marmorlagen (ganz selten anzutreffen) Lösungserscheinungen aufgrund von sauerem Grundwasser denkbar. Dort kann es vereinzelt zu lokalen Verkarstungserscheinungen und damit verbunden zu einem verstärkten Bergwasserandrang kommen. So wurde in Bohrung SB 2 ein Bergwasserandrang von im Schnitt bis zu 7,5 l/s ermittelt.

5.2.3 Talboden

Im Talboden am Fuß der Donauleite existiert ein mehrere Meter mächtiger Porengrundwasserleiter, der von der Ortschaft Jochenstein mit zwei Brunnen wasserwirtschaftlich genutzt wird. Dieser obere Grundwasserleiter wird von einer bis zu 4 m mächtigen Schicht aus feinkörnigen Hochflutablagerungen bzw. äolischen Ablagerungen überdeckt, die das Grundwasservorkommen vor oberflächlichem Eintrag von Schadstoffen schützt.

Darunter stehen im Allgemeinen 8 bis 10 m mächtige sandige Kiese bzw. kiesige Sande an. Ein in diesen Sedimenten durchgeführter Pumpversuch ergab einen Durchlässigkeitsbeiwert von $7 \cdot 10^{-4}$ m/s. Die Grundwassersohle bilden die magmatischen und metamorphen Gesteine des Grundgebirges, die in diesem Bereich bei etwa 17 m u. GOK anstehen.



Im Bereich des Schleusenvorhafens des Kraftwerks Jochenstein ist der Grundwasserleiter baulich zur Donau hin abgedichtet (vgl. Anlage 3). Innerhalb dieser Abdichtung liegt der Grundwasserspiegel bei etwa 9 bis 10 m u. GOK und korrespondiert hydraulisch mit dem Donaupegel im Kraftwerksunterwasser. Aufgrund des geringen Grundwassergefälles von etwa 1 ‰ wurden überschlägig Abstandsgeschwindigkeiten von 10 bis 25 cm/Tag ermittelt.

Im Bereich zwischen dem Kraftwerk Jochenstein und der Ortschaft Jochenstein verlaufen die Grundwassergleichen sehr homogen und zeigen einen Grundwasserstrom parallel zur Donau an. Dort ist der Grundwasserleiter durch eine Ufermauer in Form einer vor Ort auf das Festgestein betonierten Schwergewichtsmauer zur Donau hin abgedichtet, die bis etwa zur Verbindungsstraße der Ortschaft Jochenstein mit der Kreisstraße PA 51 reicht. Östlich davon kommuniziert der Grundwasserleiter mit der Donau. Bei normalen Donauwasserständen fließt östlich der Ufermauer das Grundwasser in die Donau ab (vgl. Anlage 3, Grundwassergleichenplan vom 22.10.2013). Bei rasch ansteigenden Donaupegeln exfiltriert die Donau über kurze Zeiträume in den Porengrundwasserleiter (vgl. Anlage 3, Grundwassergleichenplan vom 10.10.2013). Die Auswertung von Pegelganglinien ergab, dass dieses Fließregime maximal 10 Tage anhält, bevor sich die Grundwasserfließrichtung wieder zur Donau hin umkehrt.

Unterhalb des quartären Porengrundwasserleiters des Donautals steht ein gering bis äußerst gering durchlässiger Kluftgrundwasserleiter an. Da die Verwitterungszone von der sich eintiefenden Donau weitestgehend ausgeräumt wurde, existiert hier ein scharfer Kontrast zwischen dem oberen gut durchlässigen und dem unteren sehr gering durchlässigen Grundwasserstockwerk. Es existiert eine geringmächtige Übergangszone von 0,5 bis 1,5 m Schichtdicke, die aus stark zerrüttetem Festgestein besteht. Diese steht mit dem hangenden Porengrundwasserleiter in hydraulischem Kontakt und weist Durchlässigkeitsbeiwerte auf, die nur unwesentlich geringer als die der darüber liegenden Sande und Kiese sind.

An den Vertikalbohrungen EB 25, EB 26, EB 27, EB 29, EB 30, EB 33 und EB 34, in denen mylonitische Gneise mit vereinzelt Granit- und Quarzgängen erbohrt wurden, wurde zur Bestimmung der Gebirgsdurchlässigkeit ein umfangreiches hydraulisches Versuchsprogramm durchgeführt. Hierbei zeigte sich, dass die ermittelten Durchlässigkeitsbeiwerte im Vergleich zu den im Speicherseebereich ermittelten (bei ähnlichen Kluftdichten) um etwa 2 bis 3 Größenordnungen niedriger liegen. So weisen die Gesteine im Talboden Gebirgsdurchlässigkeiten von 10^{-6} bis 10^{-11} m/s auf, wobei der Großteil der Werte zwischen 10^{-7} und 10^{-9} m/s liegt. Die in den Schrägbohrungen unterhalb der Donau gemessenen Werte liegen ebenfalls in diesem Bereich, wobei auch im Intervall des Kernverlustes in Bohrung SB 26 Durchlässigkeitsbeiwerte von etwa 10^{-7} m/s ermittelt wurden.

Auch zeigte sich beispielsweise an Bohrung EB 26, dass höhere Kluftdichten nicht zwangsläufig zu höheren Durchlässigkeiten führen müssen. So weist beispielsweise dort der Tiefenbereich zwischen 22,5 und 31 m die höchste Kluftdichte der gesamten Bohrung auf. Gleichzeitig sind hier allerdings auch die geringsten Durchlässigkeitsbeiwerte zu verzeichnen.

Wie bereits im vorhergehenden Kapitel zur Geologie des Talbodens erwähnt, liegt der Grund hierfür höchstwahrscheinlich in der hydrothermalen Verheilung vormals offen stehender Klüfte. Obwohl entlang dieser Flächen bei der Entnahme von Bohrkernen oftmals Brüche verlaufen, sind diese Klüfte im ungestörten Gesteinsverband aufgrund der Mineralneubildungen auf den Kluftflächen nur sehr gering durchlässig.

Die anderen abgeteuften Vertikalbohrungen im Talbereich zeigen ebenfalls eine relativ homogene Lithologie, die aus hellen flaserigen Graniten bzw. dunklen mylonitisch überprägten Gneisen (vereinzelt mit Quarzgängen durchsetzt) besteht. In diesen Bereichen liegt die Klüftungsneigung der Gesteine vorwiegend in den auf sie wirkenden



tektonischen Spannungen begründet. Die im Bohrkern vielfach als offene Klüfte angetroffenen Trennflächen sind im ungestörten Gesteinsverband meist mit Kluftletten oder Mineralisierungen abgedichtet bzw. verheilt. Dies ist durch die Präsenz von Mineralbelägen (vielfach Kalzit, oft auch Epidot/Chlorit, vereinzelt auch Graphit) auf Trennflächen, Kalzitadern im kompakten Bohrkern, und letztendlich auch durch die hydraulischen Versuche, die sogar in augenscheinlich gestörten Bereichen meist Durchlässigkeitsbeiwerte von $\leq 10^{-7}$ m/s ergaben, begründet.

6 Baugrund und geotechnische Schichtenfolge

Die nachfolgenden Beschreibungen der Schichtpakete beziehen sich hinsichtlich der Bodenklassifizierung auf die VOB/C DIN 18300, Ausgabe 2012-09. Diese wurde mit der Veröffentlichung der DIN 18300, Ausgabe 2015-08 außer Kraft gesetzt. In der aktuellen Version wurde die Einteilung in Bodenklassen durch die Definition von Homogenbereichen ersetzt. Da die Baugrundgutachten, auf welche sich der vorliegende Bericht bezieht, vor der Novellierung der DIN 18300 erstellt wurden, wird im Sinne der Konsistenz weiterhin auf die Bodenklassen zurückgegriffen, zumal diese in der Baupraxis nach wie vor verwendet werden. Die nachfolgend beschriebenen Schichtpakete können aber im Wesentlichen mit den Homogenbereichen gemäß der der aktuellen DIN 18300 gleichgesetzt werden.

6.1 Speicherseebereich

Die Felderkundungen haben den aufgrund der regionalen geologischen Situation zu erwartenden Bodenaufbau im Wesentlichen bestätigt. Generalisierend lassen sich die erkundeten Bodenschichten für die projektierte Baumaßnahme in folgende signifikante Schichtpakete zusammenfassen.

Die im Folgenden behandelten Schürfe sind im Lageplan in Anlage 1.3 verortet. Der Oberboden (Mutterboden) wurde keinem Schichtpaket zugeordnet, da er bautechnisch nicht relevant ist. Oberboden ist vor Beginn der Bauarbeiten abzuschleifen, seitlich zu lagern und zweckentsprechend wiederzuverwenden. Oberboden ist der Bodenklasse 1 nach DIN 18 300 zugehörig. Es liegt die Bodengruppe OU nach DIN 18 196 vor.

6.1.1 Schichtpaket 1 – Auffüllungen

In den Schürfen SCH S18 und SCH S20 wurden anthropogene Auffüllungen mit Dicken von 1,6 m bzw. 1,2 m angetroffen. Es handelt sich um sandige, schwach tonige Schluffe und schluffige, sandige Tone. Die Konsistenzen wurden als weich und steif angesprochen. An Fremdbestandteilen wurden teilweise Ziegelreste angetroffen.

Gemäß DIN 18 196 können diese Böden mit den Gruppensymbolen [UL/TL/TM] gekennzeichnet werden. Nach DIN 18 300 handelt es sich um Böden der Bodenklasse BKL 4. Bei Wasserzutritt und/oder dynamischer Belastung können diese Böden ihre bodenmechanischen Kennwerte deutlich und schnell verschlechtern. Es kann dann breiige Konsistenz auftreten, womit die Bodenklasse BKL 2 vorliegt.

Diese Böden besitzen eine geringe Scherfestigkeit und sind stark zusammendrückbar.

6.1.2 Schichtpaket 2 – Organische Böden

Die Böden dieses Schichtpaketes wurden im Schurf SCH S7 und im Schurf SCH S24 sowie in EB 2 und dort ab Geländeoberkante bis in 0,4 m bzw. 1,6 m angetroffen. Es handelt sich um Moorboden in Form von sandigen Torfen im Wechsel mit Faulschlamm. Bei Letzterem handelt es sich um schwarzgrauen Schlamm mit zersetzten Pflanzenresten, welcher im Wasser sedimentiert ist.

Gemäß DIN 18 196 können diese Böden mit den Gruppensymbolen HZ/F gekennzeichnet werden. Nach DIN 18 300 handelt es sich um Böden der Bodenklasse BKL 1 bis BKL 2.

Diese Böden besitzen eine sehr geringe Scherfestigkeit und sind sehr stark zusammendrückbar. Die Verdichtungsfähigkeit dieser Böden ist äußerst schlecht, die Wasserdurchlässigkeit mittel bis gering.

6.1.3 Schichtpaket 3 – Hanglehm

In diesem Schichtpaket werden die oberflächennahen Bodenschichten zusammengefasst, welche ein überwiegend bindiges Verhalten aufweisen. Es handelt sich meist um tonige, schwach sandige Schluffe, welche teilweise auch schwach kiesige Nebenteile aufweisen und meist eine graubraune bis braune Färbung aufweisen. Die Konsistenzen wurden als weich oder steif angesprochen und konnten durch Laborversuche bestätigt werden.

Böden dieses Schichtpaketes wurden in nahezu allen Schürfen angetroffen. Die Schichtmächtigkeiten schwanken zwischen 1,0 m und 3,5 m.

Gemäß DIN 18 196 können diese Böden mit den Gruppensymbolen TL/TM/UM/UA gekennzeichnet werden. Nach DIN 18 300 handelt es sich um Böden der Bodenklasse BKL 4. Bei Wasserzutritt und/oder dynamischer Belastung können diese Böden ihre bodenmechanischen Kennwerte deutlich und schnell verschlechtern. Es kann dann breiige Konsistenz auftreten, womit die Bodenklasse BKL 2 vorliegt.

Diese Böden besitzen eine geringe Scherfestigkeit und sind stark zusammendrückbar. Die Verdichtungsfähigkeit dieser Böden ist schlecht, die Wasserdurchlässigkeit gering. Diese Böden besitzen eine starke Witterungs- und Erosionsempfindlichkeit.

6.1.4 Schichtpaket 4 – Kristallinersatz, verwittert

In diesem Schichtpaket wird der stark verwitterte Kristallinersatz, der z.T. gravitativ umgelagert wurde, zusammengefasst. Es handelt sich um schluffige bis teilweise stark schluffige, schwach kiesige bis kiesige Sande. Teilweise können auch Steine und Blöcke eingelagert sein. Die Schichtmächtigkeiten liegen meist bei über 2 m und können lokal auch deutlich mehr betragen.

Gemäß DIN 18 196 können diese Böden mit dem Gruppensymbol SU* gekennzeichnet werden. Nach DIN 18 300 handelt es sich um Böden der Bodenklasse BKL 4.

Diese Böden besitzen eine mittlere Scherfestigkeit und sind mittel zusammendrückbar. Die Verdichtungsfähigkeit dieser Böden ist mäßig bis schlecht, die Wasserdurchlässigkeit mittel bis gering. Diese Böden besitzen eine starke Witterungs- und Erosionsempfindlichkeit.

6.1.5 Schichtpaket 5 – Kristallinersatz, Grus

In diesem Schichtpaket wird der weniger stark verwitterte und vorwiegend in situ gebildete Kristallinersatz bezeichnet (autochtoner Zersatz). Es handelt sich im Bohrkern meist um sandigen, schwach schluffigen Kies und untergeordnet um kiesigen, schwach schluffigen Sand. Die Einzelkörner weisen eine kantige Kornform auf. Im ungestörten Gesteinsverband ist ein stärkerer Kornzusammenhalt zu erwarten. Die Schichtmächtigkeiten liegen meist bei 1 m bis 2 m und kann teilweise auch weniger betragen. Unter dieser Schicht folgt meist das anstehende gering- bis unverwitterte Festgestein.



Gemäß DIN 18 196 können diese Böden mit dem Gruppensymbol GI/GU und untergeordnet SU gekennzeichnet werden. Nach DIN 18 300 handelt es sich um Böden der Bodenklasse BKL 3.

Diese Böden besitzen eine große Scherfestigkeit und sind gering zusammendrückbar. Die Verdichtungsfähigkeit dieser Böden ist mäßig bis gut, die Wasserdurchlässigkeit mittel bis groß, wobei sie im ungestörten, nicht aufgelockerten Zustand entsprechend geringer zu erwarten ist.

6.1.6 Schichtpaket 6 – Kristallin (Mylonitisierte Gneise und Diatexite)

Das anstehende angewitterte bis unverwitterte Festgestein wurde in mehreren Schürfen angetroffen. Dabei konnte jeweils nur die Felsoberkante aufgeschlossen werden.

Mit den Bohrungen (EB und PB) wurde das Festgestein direkt aufgeschlossen. Dabei handelt es sich um einen zum Teil grobkörnigen, zum Teil porphyrisch anmutenden, mylonitisch überprägten Gneis bzw. Diatexit, in dem vereinzelt Granitgänge vorkommen. Der Gneis bzw. Diatexit ist reich an Feldspatklasten. Die Schieferung ist bereichsweise nur undeutlich ausgebildet und teilweise verfaltet. An der Oberkante des Schichtpaketes und entlang von Störungszonen ist das Gestein stärker geklüftet und verwittert. In dieser Übergangsszone zwischen Zersatzzone und unverwittertem Festgestein herrschen Steine und Blöcke vor, welche der Bodenklasse BKL 6 der DIN 18 302 zugerechnet werden kann.

Das metamorphe Gefüge, das in den Bereichen der homogenisierten Diatexite allenfalls noch reliktsch existiert, fällt flach in nordnordöstliche bis nordöstliche Richtung ein. Vor allem im oberflächennahen Bereich bildete sich parallel dazu, vermutlich aufgrund von Druckentlastungseffekten, ein Trennflächensystem aus. Ein ähnlich streichendes, aber steiler einfallendes Kluftsystem (System k3 in INTERGEO (2011d)) schneidet vielfach die Schieferungsflächen.

Eine weitere Trennflächenschar streicht mit steilem südsüdwestlichen bis südwestlichen Einfallen in etwa parallel zum Donautal und besitzt zusammen mit der Schieferung und dem steil NNE bis NE einfallenden Kluftsystem die reliefbildnerische Hauptfunktion. Dem untergeordnet streicht eine Trennflächenschar steil bis saiger einfallend subparallel zum Taleinschnitt des Dandlbaches in nordnordöstlich-südsüdwestlicher Richtung. Das Streichen dieses Systems unterliegt lokalen Variationen und kann vereinzelt von NNE-SSW über N-S bis hin zu NNW-SSE verlaufen. Bereichsweise ist auch ein separates steil einfallendes NNW-SSE streichendes Trennflächensystem ausgebildet.

Die Kluftflächen sind im NNE-SSW streichenden System weitgehend eben und glatt, in den anderen Trennflächenscharen eben bis wellig und rau bis glatt. Mineralbestege bestehen im oberflächennahen Bereich zumeist aus Limonit. In größeren Tiefen wird dieser von hydrothermalen Mineralisationen wie Chlorit und Epidot, sowie Kalzit und feinkristallinen Sulfiden (Pyrit) abgelöst. Vereinzelt wurden v. a. auf schieferungsp parallelen Trennflächen auch graphitische Bestege gefunden. Auch Harnischlineationen sind bisweilen zu beobachten. Die Kluftabstände werden in den Kapiteln zu den jeweiligen Bauwerken (Kapitel 8) beschrieben.

Nach DIN 4023 kann das Festgestein mit dem Kurzzeichen Mem bzw. PI bezeichnet werden. Nach DIN 18 300 handelt es sich um Böden der Bodenklasse BKL 7, untergeordnet BKL 6.

6.2 Triebwasserweg

Hinsichtlich der Felslösbarkeit in den Untertagebauwerken erfolgte zusätzlich zu den in-situ Bohrlochversuchen ein umfangreiches felsmechanisches Untersuchungsprogramm an den im Rahmen der Erkundungsbohrungen gewonnenen Bohrkernen. Der Untersuchungsumfang umfasst Dichtebestimmungen, ein- und triaxiale Druckfestigkeitsversuche, Spaltzugversuche, Abrasivitätsuntersuchungen und Bestimmungen der Mineralbestände aus Dünnschliffen. Die Ergebnisse dieser Versuche können den Prüfberichten in Anlage 11 entnommen werden.

6.2.1 Schichtpaket 1 – Hangschutt und Kristallinersatz

Im Steilhangbereich der Donauleiten ist das kristalline Festgestein in der Regel mit Hangschutt und Kristallinersatz überdeckt. Dieser besteht aus verwittertem und mechanisch zerlegtem Kristallin. Die Korngrößenverteilung kann je nach Raumlage des Aufschlusses stark schwanken. In der Regel vergrößert sich das Korn mit zunehmender Tiefe, bis es in die stark zerklüfteten oberen Bereiche des Festgesteins übergeht. Somit handelt es sich meist um sandigen, schwach schluffigen Kies und untergeordnet um kiesigen, schwach schluffigen Sand, der mit zunehmender Tiefe in einen steinigen Kies mit schwankendem Feinkornanteil übergeht. Die Einzelkörner weisen eine kantige Kornform auf. In Steilhangbereichen besteht der Hangschutt vorwiegend aus kantigen Steinen bis Blöcken.

Die Mächtigkeit dieses Schichtpaketes variiert aufgrund des extremen Reliefs der Donauleiten stark. So fehlt diese Schicht im Bereich mehr oder weniger senkrechter Felsfreistellungen komplett, während an deren Fuß ein mehrere Meter mächtiger Akkumulationsbereich besteht. In den Bohrungen SB 21 und SB 23 wurden Mächtigkeiten dieses Schichtpaketes von 12 m bzw. 10 m erbohrt.

Aufgrund des Geländebefundes können diese Böden gemäß DIN 18 196 mit dem Gruppensymbol GI/GU und untergeordnet SU gekennzeichnet werden. Nach DIN 18 300 handelt es sich um Böden der Bodenklasse BKL 3.

6.2.2 Schichtpaket 2 – Kompaktes Kristallin (Mylonitisierte Gneise, Diatexite und Granite)

Mit sämtlichen Bohrungen im Bereich der Donauleiten wurde das Festgestein aufgeschlossen. Dabei handelt es sich um einen zum Teil grobkörnigen, zum Teil porphyrisch anmutenden, mylonitisch überprägten Gneis bzw. Diatexit, in dem vereinzelt Granitgänge vorkommen. Der Gneis bzw. Diatexit ist reich an Feldspatklasten. Die Schieferung ist bereichsweise nur undeutlich ausgebildet und teilweise verfaltet. An der Oberkante des Schichtpaketes und entlang von Störungszonen ist das Gestein stärker geklüftet und verwittert. In dieser Übergangsszone zwischen Zersatz-/Hangschuttzone und unverwittertem Festgestein herrschen Steine und Blöcke vor, welche der Bodenklasse BKL 6 nach DIN 18 302 zugerechnet werden kann. Dieses Schichtpaket ist identisch mit Schichtpaket 6 im Speicherseebereich.

Das metamorphe bzw. mylonitische Gefüge ist abschnittsweise stark ausgeprägt und fällt flach bis steil in nordnordöstliche Richtung ein. In Bereichen mit einer ausgeprägten Schieferung werden Trennflächen in dieser Vorzugsrichtung angelegt, andernfalls ist diese Trennflächenschar weniger prominent. Wenig oder nicht geschieferte granitische Abschnitte weisen generell eine geringere Klüftungsneigung auf.

Weitere Hauptklüftsysteme verlaufen mittelsteil bis senkrecht in südsüdwestliche bis südwestliche Richtung einfallend in etwa parallel zur Donau (WNW-ESE) sowie steil



bis senkrecht einfallend in nordnordöstlich-südsüdwestlicher Richtung (z.B. parallel zum Taleinschnitt des Dandlbaches).

Die Kluftflächen sind im NNE-SSW streichenden System weitgehend eben und rau bis glatt, in den anderen Trennflächenscharen eben bis wellig und rau bis glatt. Mineralbestege bestehen im oberflächennahen Bereich zumeist aus Limonit. In größeren Tiefen wird dieser von hydrothermalen Mineralisationen wie Chlorit und Epidot, sowie Kalzit und feinkristallinen Sulfiden (Pyrit) abgelöst. Vor allem die kalzitischen Bestege führten vielfach zu einer kompletten Verheilung der Klüfte, die sich allerdings schon bei geringer Belastung wieder öffnen können. Vereinzelt wurden v. a. auf schieferungsparallelen Trennflächen auch graphitische Bestege gefunden. Auch Harnischlineationen sind bisweilen zu beobachten. Die Kluftabstände werden in den Kapiteln zu den jeweiligen Bauwerken (Kapitel 8) beschrieben.

Die im Rahmen der Bohrlochscannings ermittelte Trennflächengeometrie wird durch die Detailkartierung (INTERGEO, 2011d) im Bereich der Donauleiten bestätigt.

Nach DIN 4023 kann das Festgestein mit dem Kurzzeichen Mem bzw. Pl bezeichnet werden. Nach DIN 18 300 handelt es sich um Böden der Bodenklasse BKL 7, untergeordnet BKL 6.

6.2.3 Schichtpaket 3 – Gebräches Kristallin („Bunte Serie“)

In die Metamorphite des Schichtpaketes 2 sind bereichsweise Gesteine der so genannten „Bunten Serie“ eingeschaltet. Diese bestehen aus einer Wechselfolge von meist tektonisch überprägten Gneisen, Silikatmarmor, Kalksilikaten, Amphiboliten und Serpentiniten und weisen deutlich geringere Gebirgsfestigkeiten als die mylonitischen Gneise, Diatexite und Granite auf. Aufgrund ihrer geringeren Festigkeiten sind die Gesteine dieses Schichtpaketes vielfach durch bruchhafte Störungen zerschert bzw. kataklastisch überprägt. Zudem sind aufgrund des hohen Durchtrennungsgrades in diesem Schichtpaket verstärkt Bergwasserzutritte zu erwarten.

Gesteine dieses Schichtpaketes wurden in den untersten 50 m der Bohrung SB 21 und nahezu über die gesamte Länge von Bohrung SB 22 von Unterkante Schichtpaket 1 bis zu einer Bohrlänge von knapp 500 m erbohrt. Im Rahmen früherer Erkundungskampagnen wurden diese Gesteine auch in den Bohrungen SB 1 und SB 2 angetroffen. Auf dem Höhenniveau des aufgrund der Lageverhältnisse zu erwartenden Ausstriches wurden Gesteine dieses Schichtpaketes auch im Rahmen der Oberflächenkartierung (INTERGEO GMBH, 2011d) angesprochen.

Aufgrund des gebrächen Gesteinscharakters ist die Orientierung des Trennflächengefüges anhand der Bohrkerne nicht zu ermitteln. Es ist anzunehmen, dass sich Großklüfte und Störungen weitgehend an den Vorzugsrichtungen des Trennflächengefüges im kompakten Kristallin orientieren, während Kleinklüfte aufgrund des hohen Zerlegungsgrades des Gebirges regellos im Raum angeordnet sind.

Nach DIN 4023 kann das Festgestein je nach Ausprägung mit den Kurzzeichen Mem oder Meb bezeichnet werden. Nach DIN 18 300 handelt es sich um Böden der Bodenklasse BKL 6, untergeordnet BKL 7.

6.3 Talboden

6.3.1 Schichtpaket 1 – Auffüllungen

Im Schurf SCH F7 sowie in sämtlichen Erkundungsbohrungen im Kraftwerksbereich wurden unter einer Mutterbodenauflage anthropogene Auffüllungen angetroffen. Diese können Mächtigkeiten von bis zu 10 m erreichen. Bei den aufgeschlossenen Böden handelt es sich um gemischtkörnige Böden in Form von sandigen bis stark sandigen, schwach schluffigen bis schluffigen und teilweise schwach steinigen Kiesen. Vor allem in der sandig-kiesigen Ausprägung sind sie teilweise kaum von den natürlich anstehenden Donaushottern zu unterscheiden. Bisweilen sind auch organische Anteile wie Holz zu finden. Die Kornform wurde meist als rundkörnig angesprochen. In den Erkundungsbohrungen im Bereich des geplanten Krafthauses wurden vielfach auch Auffüllungen in Form von sandigem Schluff bzw. schluffigem Sand mit geringem Anteil von Grobkomponenten angetroffen.

Gemäß DIN 18 196 können diese Böden mit den Gruppensymbolen [GU/GU*] bzw. [SU/SU*/TL/TM] bei schluffig-sandiger Ausprägung gekennzeichnet werden. Nach DIN 18 300 handelt es sich um Böden der Bodenklasse BKL 3 bis BKL 4. Bei Wasserzutritt und/oder dynamischer Belastung können die künstlichen Auffüllungen in sandig-schluffiger Ausprägung ihre bodenmechanischen Kennwerte deutlich und schnell verschlechtern. Es kann dann breiige Konsistenz auftreten, womit die Bodenklasse BKL 2 vorliegt.

Diese Böden besitzen eine große, bzw. im Falle sandig-schluffiger Ausprägung geringe bis mittlere Scherfestigkeit und sind in Abhängigkeit der Lagerungsdichte mittel bis stark zusammendrückbar. Die Verdichtungsfähigkeit dieser Böden ist mittel bis gut, die Wasserdurchlässigkeit mittel bis groß. Sandig-schluffige Auffüllungen sind schlecht verdichtungsfähig und gering wasserdurchlässig und besitzen eine starke Witterungs- und Erosionsempfindlichkeit.

6.3.2 Schichtpaket 2 – Talfüllung, sandig und bindig

Die Böden dieses Schichtpaketes wurden auf dem Gelände der Baumaßnahme im Zuge der Errichtung des Kraftwerkes Jochenstein durch Material des Schichtpaketes 1 ersetzt. Östlich der Freiluftschananlage stehen sie natürlich an und wurden im Rahmen der Erkundungen für die geplante Organismenwanderhilfe aufgeschlossen. Diese Böden wurden in verschiedenen Schürfen östlich der Freiluftschananlage bis in 4,6 m unter Geländeoberkante aufgeschlossen. Es handelt sich bei diesen Böden um schluffigen, sandigen, schwach organischen Ton sowie feinsandigen bis teilweise stark feinsandigen, tonigen Schluff. Die Konsistenz der Böden wurde als weich bis steif angesprochen.

Dieses Schichtpaket ist auf dem unmittelbaren Baugelände der Kraftstation nicht zu erwarten. Jedoch besteht die Möglichkeit, dass diese Böden zwischen der Kreisstraße PA 51 und dem Fuß der Donauleite auf Höhe der Kraftstation noch existieren.

Gemäß DIN 18 196 können diese Böden mit den Gruppensymbolen TL/TM/SU*/ST* gekennzeichnet werden. Nach DIN 18 300 handelt es sich um Böden der Bodenklasse BKL 4. Bei Wasserzutritt und/oder dynamischer Belastung können diese Böden ihre bodenmechanischen Kennwerte deutlich und schnell verschlechtern. Es kann dann breiige Konsistenz auftreten, womit die Bodenklasse BKL 2 vorliegt.

Diese Böden besitzen eine geringe bis mittlere Scherfestigkeit und sind überwiegend stark zusammendrückbar. Die Verdichtungsfähigkeit dieser Böden ist schlecht, die Wasserdurchlässigkeit gering. Diese Böden besitzen eine starke Witterungs- und Erosionsempfindlichkeit.



6.3.3 Schichtpaket 3 – Kies

Die Böden dieses Schichtpaketes wurden in den Schürfen östlich der Freiluftschaltanlage unter den Auenablagerungen (Auenlehm bzw. Auensand) und in sämtlichen Erkundungsbohrungen auf dem Kraftwerksgelände unter der anthropogenen Auffüllung angetroffen. Es handelt sich um schwach schluffige, sandige bis stark sandige Kiese von gerundeter Kornform und grauer Färbung. Bereichsweise wurden darüber hinaus steinige Anteile und Blöcke angetroffen. Die Kornform von Steinen und Blöcken ist zum Teil kantig.

Gemäß DIN 18 196 können diese Böden mit den Gruppensymbolen GU/GI gekennzeichnet werden. Nach DIN 18 300 handelt es sich um Böden der Bodenklasse BKL 3. Diese Böden besitzen eine große Scherfestigkeit und sind gering zusammendrückbar. Die Verdichtungsfähigkeit dieser Böden ist gut, die Wasserdurchlässigkeit mittel bis groß.

6.3.4 Schichtpaket 4 – Kristallin (Mylonitisierte Gneise und Magmatite)

Die Lage des Festgesteins ist aus den beiden Brunnenbohrungen GJ4 und GJ5 der Wasserversorgung Jochenstein sowie aus sämtlichen bisher vorliegenden Erkundungsbohrungen bekannt. Demnach liegt die Festgesteinsoberkante nördlich der Donau im gesamten Talbodenbereich bei Jochenstein relativ konstant zwischen 272 und 273 m ü. NN.

Lithologisch handelt es sich bei diesem Schichtpaket um eine Wechselfolge aus mylonitischen Gneisen verschiedener Aufschmelzungsgrade mit eingeschalteten Granit- und Quarzgängen. In den Planunterlagen aus der Errichtungsphase des Kraftwerkes Jochenstein wird diese Einheit als „Lagengneis“ angesprochen. Bereichsweise sind auch mächtigere mylonitisch überprägte flaserige Granite anzutreffen. Entlang von bruchhaften Störungszonen ist das Gestein stärker geklüftet und zerlegt. Diese Störungszonen sind je nach ihrem geologischen Alter kakiritisch (also als unverfestigtes Störungsmaterial) oder kataklastisch (bruchhaft zerschertes, aber dennoch kohäsives Gestein) ausgeprägt. Im Vergleich zum ungestörten Fels besitzen diese Bereiche je nach Art der tektonischen Überprägung geringere Festigkeiten. WD-Versuche ergaben, dass auch nach der Bohrkernansprache augenscheinlich zerrüttete und aufgeloockerte Bereiche im Originalgesteinsverband weitgehend als hydraulisch gering- bis undurchlässig anzusehen sind.

Die tektonischen und metamorphen Gefüge sind im Bereich des Talbodens in Bezug auf ihre Orientierung homogener angelegt als im Speicherseebereich. Das metamorphe bzw. mylonitische Gefüge ist abschnittsweise stark ausgeprägt und fällt mittelsteil bis steil in nordnordöstliche Richtung ein. In Bereichen mit einer ausgeprägten Schieferung werden Trennflächen in dieser Vorzugsrichtung angelegt, andernfalls ist diese Trennflächenschar weniger prominent.

Weitere Hauptklufsysteme verlaufen steil bis senkrecht einfallend in etwa parallel zur Donau (WNW-ESE) sowie steil bis senkrecht einfallend in nordnordöstlich-südsüdwestlicher Richtung (z.B. parallel zum Taleinschnitt des Dandlbaches). Vor allem entlang der donauparallelen Trennflächen sind oftmals Anzeichen sprödetektonischer Deformation in Form von verfestigten Kataklastiten sowie auch wenig kohäsiven Störungsbrekzien sichtbar.

Die Kluftflächen sind im NNE-SSW streichenden System weitgehend eben und rau bis glatt, in den anderen Trennflächenscharen eben bis wellig und rau bis glatt. Mineralbestege bestehen im oberflächennahen Bereich zumeist aus Limonit. In größeren Tiefen wird dieser von hydrothermalen Mineralisationen wie Chlorit und Epidot, sowie Kalzit und feinkristallinen Sulfiden (Pyrit) abgelöst. Vor allem die kalzitischen Bestege führten vielfach zu einer kompletten Verheilung der Klüfte, die sich allerdings schon



bei geringer Belastung wieder öffnen können. Vor allem im Bereich des Talbodens, also im Nahbereich der z.T. hydrothermal überprägten Donaustörung, fällt eine Quarzföhrung in den Klüften auf. Auch Harnischlineationen sind bisweilen zu beobachten. Die Kluftabstände werden in den Kapiteln zu den jeweiligen Bauwerken (Kapitel 8) beschrieben.

Dieses Schichtpaket ist weitgehend identisch mit Schichtpaket 2 im Bereich des Triebwasserweges.

Ein Verwitterungshorizont ist an der Oberkante des Festgesteines nicht oder nur in geringer Ausprägung vorhanden. Jedoch sind die obersten 1 bis 1,5 m des Festgesteins unterhalb der Donauschotter in der Regel stark zerlegt.

Nach DIN 4023 kann das Festgestein mit den Kurzzeichen Mem und Pl bezeichnet werden. Nach DIN 18 300 handelt es sich durchwegs um Böden der Bodenklasse BKL 7.

6.4 Baugrund und Grundwasser

Im Bereich des Speichersees ist im großen Umfang mit Lockergestein und Hanglehm zu rechnen. In tieferen Bereichen wird auch eine nicht unerhebliche Menge an Festgestein erwartet, welches dann auch im Großteil der geplanten Beckensohle anstehen wird. Lediglich in einem kleinen Bereich wird eine Auffüllung in der Beckensohle erforderlich.

Beim Aushub ist mit dem Antreffen lokal wenig ergiebiger Grundwasserhorizonte in den Zersatzböden zu rechnen. Im Bereich des Talbodens kann auch vermehrter Grundwasserandrang vorliegen.

Entlang der Stollentrasse des Triebwasserweges ist vor allem im Bereich des Schichtpaketes 3 (vgl. Kapitel 6.2.3) mit vereinzelt Zutritten von Bergwasser zu rechnen. In Bohrung SB 22 wurden Wasserföhrungen bis 11,25 l/s in eng begrenzten Wegsamkeiten angetroffen. Im Umfeld dieser Bohrung liegt der Bergwasser-Druckspiegel bei ca. 440 m ü. NN. In den Bohrungen SB 21 und SB 23 wurde vor allem oberflächennahes, in SB 24 gar kein Grundwasser angetroffen, so dass die Angabe eines Bergwasserspiegels im Umfeld dieser Bohrungen nicht möglich ist.

Die Kraftstation im Talbereich wird in das Festgestein einbinden. Beim Herstellen der Baugrube sind Lockergesteinsschichten bis in knapp 20 m Tiefe zu berücksichtigen. Hinsichtlich der Grundwasserverhältnisse ist das weiträumig zusammenhängende Grundwasserstockwerk im Quartär zu berücksichtigen, welches östlich der Ortschaft Jochenstein direkten Anschluss zum Donauwasser hat, im direkten Nahbereich der Kraftstation aber durch Dichtwände gegen den Donauwasserspiegel abgedichtet ist (vgl. Grundwassergleichenpläne in Anlage 3).

Vergleichbare Baugrundsituationen liegen beim donauseitigen Ein- und Auslaufbauwerk vor. Die Stollenbauwerke werden durchgehend im Bereich des Festgesteines zu liegen kommen. Hierbei sind im Talboden wiederum die Grundwasserverhältnisse des quartären Stockwerkes zu berücksichtigen, das dort direkt mit der Donau kommuniziert.

6.5 Eignung von Aushub-/Ausbruchmaterial als Zuschlagstoff

Zur Minimierung der Menge an Liefermaterialien als Zuschlagstoffe für Asphalt und Beton und damit zur Reduzierung der Verkehrslast während des Baubetriebs ist geplant, das bei der Herstellung des Speichersees im nordwestlichen Teilbereich des Baufeldes anfallende Aushub- bzw. Ausbruchmaterial je nach Eignung als Zuschlagstoff wiederzuverwerten.



Hierzu wurde ausgehend von den geplanten Aushubtiefen sowie auf Grundlage der geotechnischen Laborversuche (IFB EIGENSCHENK, 2019a und 2019b, TU MÜNCHEN, 2020 und MATCON, 2019) das Volumen des als Zuschlagstoff geeigneten Felsmaterials ermittelt.

Als Gütekriterium für die Eignung des Felsmaterials als Zuschlagstoff wurde die Frostschutzklasse F1 gemäß TL Gestein 04 (FGSV, 2007) festgelegt. Diese entspricht im vorliegenden Fall dem unverwitterten Festgestein im nordwestlichen Bereich des Speichersees, welches im Bohrkern visuell identifiziert und somit für die Interpolation von Schichtgrenzen herangezogen wurde. Gemäß der durchgeführten geotechnischen Laboruntersuchungen ist das unverwitterte Festgestein der Frostschutzklasse F1 grundsätzlich als Zuschlagstoff für Asphalt (TU MÜNCHEN, 2020) sowie für Beton (MATCON, 2019) geeignet.

Entsprechend der für den nordwestlichen Teil des Speichersees durchgeführten Volumenberechnungen ist auf Grundlage der zur Verfügung stehenden Bohrdaten bei einer maximalen Aushubkote auf 607 m ü. NN ein als Zuschlagstoff geeignetes Felsvolumen von 56.800 m³ gewinnbar. Eine Vertiefung des geplanten Aushubbereichs auf eine Kote von 602 m ü. NN erhöht das gewinnbare Felsvolumen auf rund 160.000 m³.

6.6 Staubinhaltsstoffe

Von Bohrkernen repräsentativer Bohrungen im Speicherseebereich und im Talboden wurden Proben entnommen und diese auf potenzielle Gehalte von Schadstoffen, welche durch Staubbildung im Zuge der Bauarbeiten freigesetzt werden könnten, untersucht (IFB EIGENSCHENK, 2020, siehe Anlage 14).

Der an vier Materialproben untersuchte Parameterumfang umfasst die Schwermetalle SM8 (Arsen, Blei, Cadmium, Chrom gesamt, Kupfer, Nickel, Quecksilber, Zink) und zusätzlich Thallium und Uran in der Originalsubstanz. Zusätzlich wurden zwei Materialproben auf Asbest untersucht.

Im Ergebnis wurden Stoffgehalte angetroffen, die kennzeichnend für geogen schwach erhöhte Schwermetallgehalte im Ostbayerischen Grundgebirge sind. Die einzige Ausnahme bildet der gegenüber der zu erwartenden geogenen Wertespanne etwas erhöhte Chromgehalt im Festgestein in einer Bohrung im Talboden.

In den beiden untersuchten Materialproben konnte im Rahmen der Bestimmungsgrenzen kein Asbest nachgewiesen werden. Aufgrund der geologischen Rahmenbedingungen ist in dem vorliegenden Kristallin mit gneisartigen Gesteinen ein Vorkommen von Asbest nicht zu erwarten.

Der allgemeine Grenzwert für einatembaren Staub (E-Staub) liegt bei 10 mg/m³ Luft. Alle festgestellten Schwermetallgehalte der untersuchten Gesteinsproben liegen in einer Größenordnung, bei denen die größten festgestellten Gehalte so gering sind, dass bei Einhaltung des oben genannten Grenzwertes für Staub die jeweiligen Grenzwerte für die Schwermetallgehalte in der Staubfraktion weit unterschritten werden.

Der Schwermetallgehalt der untersuchten Gesteine ist daher bereits bei Einhaltung des Staubgrenzwertes für E-Staub von 10 mg/m³ nicht mehr relevant. Die Staubgrenzwerte für alveolengängiger Staub (A-Staub) mit 1,25 mg/m³ sowie für alveolengängigen Quarzstaub mit 15 µg/m³ sind noch deutlich geringer.

Damit ist bei Einhaltung der Grenzwerte für allgemeinen Staub sowie für Quarzfeinstaub auch die Einhaltung der Grenzwerte für alle Schwermetalle sichergestellt.

7 Folgerungen für die Aushub- und Ausbruchsarbeiten

Bei den Aushubarbeiten werden im Bereich des Speichersees und für die Baugruben der Bauwerke im Talboden zu großen Teilen Lockergestein mit Böden der Bodenklassen BKL 3 und BKL 4 anfallen. Es handelt sich hierbei um leicht bis mittelschwer zu lösende Böden. In geringem Umfang werden Böden der Bodenklassen BKL 1 und BKL 2 anfallen.

Darüber hinaus ist im Bereich des Speichersees sowie vor allem im Bereich der Baugrube der Kraftstation in großen Teilen Festgestein zu lösen. Die Einbindtiefe des Speicherseebodens in das Festgestein wurde in Anlage 5 modelliert. Der Triebwasserweg wird durchwegs im Festgestein angelegt. Das Festgestein ist zum Großteil der Bodenklasse BKL 7 und nur in geringem Umfang der Bodenklasse BKL 6 zuzuordnen.

Klüftiges Gestein mit gut ausgebildetem Trennflächensystem kann mit Reißzahn oder Hydraulikmeißel aufgelockert werden. Gestein dieser Art wird voraussichtlich nur in geringem Umfang anfallen. Zum Großteil wird ein Lösen des Festgesteines mit Sprengen und pneumatisch angetriebenem Meißel vorzusehen sein. Der Triebwasserweg wird über seine gesamte Länge mit zyklischem Vortriebsverfahren Niederdruckstollen.

8 Ingenieurbauwerke

Neben der Anlage des Speicherseebeckens sind Ingenieurbauwerke geplant, die nachfolgend aufgelistet sind:

- Kraftstation mit Maschinenschacht
- Ein-/Auslaufbauwerk Donau mit Lotschacht
- Niederdruckstollen
- Schrägstollen und Schrägschacht
- Ein-/Auslaufbauwerk Speicherbecken

8.1 Speicherseebereich

Im Rahmen des Neubaus des Energiespeichers Riedl ist die Anlage eines Speichersees geplant.

Der geplante Speichersee soll Abmessungen von ca. 500 x 650 m aufweisen. Der geplante Speicherinhalt soll 4,91 Mio. m³ betragen. Die Geometrie soll an die örtlichen Verhältnisse angepasst werden. Da es sich um ein nach Süden fallendes Hanggelände handelt, wird die Beckensohle ein Gefälle in südliche Richtung von 1 % aufweisen. Damit wird sich die Beckensohle nach den vorliegenden Planunterlagen zwischen 608,8 m ü. NN im Norden und 604,6 m ü. NN im Süden befinden. Im Südwesten wird der Grundablass angeordnet, die dabei vorzusehende Eintiefung wird ein Sohlenniveau von 599,2 m ü. NN aufweisen.

Das geplante maximale Stauziel im Speichersee liegt bei 630,5 m ü. NN, das Absenkeziel liegt bei 610,0 m ü. NN.

Das Speicherbecken wird teilweise in das vorhandene Gelände eingetieft. Darüber hinaus werden Erddämme erforderlich, da die Dammkrone des Beckenrandes bei 632,5 m ü. NN liegen soll und dieses Niveau über das umgebende Gelände hinausragt. Abhängig von dem vorhandenen Gelände ergeben sich dabei unterschiedliche



Dammhöhen. Im Norden und Osten werden die Dammhöhen maximal bei 4,5 m liegen, im Westen und im Süden ergeben sich Dammhöhen von 15,0 m. Im Süden ist dabei teilweise eine Angleichung des Geländes durch Anschüttung bis hinunter auf eine Kote von 600,0 m ü. NN erforderlich.

Die Böschungsneigungen der Erddämme sollen auf der Luftseite 1 : 5 und auf der Wasserseite 1 : 2 betragen.

Die beim Geländeabtrag anfallenden Aushubmassen sollen, soweit möglich, vollständig für die Herstellung der Dammschüttungen verwendet werden. Auf Grundlage der durchgeführten Untersuchungen kann das anstehende Felsgestein (vgl. Anlage 11) aller Voraussicht nach nicht als Zuschlagstoff für Asphalt Beton oder als Filtermaterial verwendet werden. Diese Materialien müssen im benötigten Umfang zugeführt werden.

Die Sohle des Speichersees und die wasserseitigen Böschungsflächen sollen mit einer Abdichtung versehen werden.

Unterhalb der Abdichtung ist ein Dränagesystem in der Beckensohle geplant. Weiterführende Informationen zum Dränwasserandrang sind Kapitel 8.5 zu entnehmen. Unterhalb des wasserseitigen Böschungsfußes ist ein Kontrollgang mit einer lichten Höhe von 2,5 m vorgesehen.

Beim geplanten Bau des Speicherbeckens wird ein Geländeabtrag um 10,0 m bis 15,0 m notwendig. Darüber hinaus werden Erddämme mit Schütthöhen von mindestens 4,0 m bis teilweise bis zu über 15,0 m erforderlich. Auf der Wasserseite ergeben sich damit insgesamt Böschungshöhen von mindestens 24,0 m bis zu über 30,0 m.

Bei einer geplanten Beckensohle zwischen 605,37 m ü. NN und 608,8 m ü. NN ist nach den vorliegenden Erkundungsergebnissen zum Großteil angewittertes bis unverwittertes Festgestein in der Beckensohle zu erwarten. Lediglich in der Beckenmitte im Bereich des bestehenden Bachlaufes und in Richtung zum südöstlichen Ausgang der Talsohle ist Lockergestein der Schichtpakete 3 bis 5 zu erwarten. Im unmittelbaren Nahbereich zum Bach sind darüber hinaus organische Böden in Mächtigkeiten von wenigen Dezimetern bis 1,5 m vorhanden.

Im Bereich des Bachtals am südöstlichen Ausgang der Talmulde ist ein Geländeauftrag in der Beckensohle erforderlich, da das natürliche Gelände teilweise unter der planmäßigen Beckensohle liegt.

In der Aufstandsfläche der Dämme ist vorwiegend mit den Böden der Schichtpakete 3 und 4 zu rechnen. Diese besitzen eine mittlere Scherfestigkeit. Für die geplanten Dammschüttungen mit den vorgesehen Böschungsneigungen von nicht steiler als 1 : 2 liegen damit im Allgemeinen ausreichend tragfähige Baugrundverhältnisse vor. Werden lokal Böden mit weicher Konsistenz oder durch die Witterung aufgeweichte Böden angetroffen, so sind diese in der Dammaufstandsfläche zu entfernen.

Lediglich in kleinen Bereichen ist mit den organischen Böden des Schichtpaketes 2 in der Dammaufstandsfläche zu rechnen. Diese sind vollständig zu entfernen und durch gut verdichtbares, nichtbindiges Material zu ersetzen.

8.2 Kraftstation

Die geplante Kraftstation besteht zum überwiegenden Teil aus dem unterirdischen Maschinenschacht. Dieser wird einen Durchmesser von 35 m aufweisen und gliedert sich in elf Ebenen.

Die Gründungssohle des Schachtes liegt bei etwa 60 m unter der Geländeoberfläche. Bis etwa 20 m unter Geländeoberfläche ist Lockergestein in Form von künstlicher Auffüllung und Donaukiesen zu erwarten. Das darunterliegende Festgestein besteht aus einer Abfolge von mylonitischen Gneisen und eingeschalteten Graniten.

Die Sicherung der Baugrube im Lockergestein soll mit einer kreisförmigen überschnittenen Bohrpfahlwand erfolgen. Die Bohrpfähle sollen dabei in das unverwitterte Festgestein einbinden. Die Innenseite der Bohrpfahlwand wird mit Spritzbeton überdeckt.

Im Bereich des Festgesteins wird die Baugrubensicherung mit einer Spritzbetonschale durchgeführt.

Bei der Bemessung der Bohrpfahlwand sind neben dem aktiven Erddruck der Wasserdruck im Bereich des ersten quartären Grundwasserstockwerkes zu berücksichtigen. Dabei wird voraussichtlich erst die statische Berechnung zeigen, ob eine wirtschaftliche Dimensionierung allein über die Kreisform der Baugrube möglich ist, oder ob zusätzlich eine Rückverankerung mit Verpressankern erforderlich wird. Die Spritzbetonschale im Festgestein wird mehrlagig bewehrt und rückverankert.

Durch die Herstellung der Bohrpfahlwand und der Spritzbetonschale ist insgesamt eine ausreichende Dichtheit gegenüber dem Grundwasser herzustellen. Eine Restwasserhaltung ist in der Baugrube zur Ableitung von anfallendem Wasser vorzusehen.

8.3 Ein-/Auslaufbauwerk

Im Talboden ist an der Donau ein Auslaufbauwerk vorgesehen. Dieses besitzt in der Draufsicht eine etwa dreiecksförmige Form. Darüber hinaus wird in der Flusssohle eine Geschiebeschwelle als geschlossene Spundwand angeordnet.

Die Umschließung des Bauwerkes erfolgt mit einer Bohrpfahlwand, welche in das Festgestein einbindet. Die Bohrpfahlwand wird voraussichtlich mit Verpressankern rückverankert. Die Erfordernis hierfür wird sich im Zuge der statischen Berechnungen ergeben.

Der Baugrund im Bereich des Ein-/Auslaufbauwerkes besteht bis in etwa 18 m unter Geländeoberkante aus Lockergestein in Form von Auffüllungen, Talfüllungen und Kiesen. Unterhalb davon ist das Festgestein anstehend.

Im Bereich der Ein-/Auslauföffnung zum Fluss wird darüber hinaus bauzeitlich eine Baugrubenumschließung erforderlich. Diese wird voraussichtlich als Spundwand erstellt. Hierbei sind voraussichtlich Zusatzmaßnahmen vorzusehen, um eine dichte Einbindung in das Festgestein zu erreichen. Dies kann mit Auflockerungsbohrungen im Festgestein und anschließenden Injektionen im Bereich des Spundwandfußes ausgeführt werden.

8.4 Tunnelbauwerke

Im Folgenden werden die technische Ausführung sowie die beim Vortrieb zu erwartenden geologischen Verhältnisse beschrieben. Für eine detaillierte Darstellung der baulichen Ausgestaltung wird auf die technischen Berichte zum Bauablauf und zur Vorbemessung der Triebwasserwegauskleidung (PÖRY ENERGY GMBH UND RMD CONSULT, 2011a und b) verwiesen. Die Winkelbeziehungen zwischen Trennflächengefüge und den Stollenachsen sind in Anlage 8 graphisch illustriert.



8.4.1 Schrägschacht

Der Schrägschacht schließt an das Ein-/Auslaufbauwerk Speichersee an und fällt in Richtung Talboden mit einem Gefälle von 90,04 % ab. Es ist ein Innendurchmesser von 4,3 m geplant. Nach Ausbruch des Schachtes wird eine betonhinterfüllte Stahlpanzerung eingebaut. Der Ausbau wird mittels Spalt- und Gebirgsinjektionen an den Fels angebunden und gegen Bergwasserzutritte abgedichtet. Der Verlauf des Schrägschachtes wurde mit der Erkundungsbohrung SB 21 über die volle projektierte Länge erkundet.

Für den Ausbruch des Schrägschachtquerschnittes wird ein Schachtvortrieb im konventionellen Verfahren zur Ausführung kommen.

Im Bereich des Schrägschachtes sind durchwegs kompakte mylonitische Gneise und Granite (Schichtpaket 2 – Triebwasserweg) zu erwarten. Aufgrund der geringen Gebirgsdurchlässigkeit in diesem Schichtpaket ist hier nur mit geringem Bergwasseranstrang zu rechnen (vgl. Kapitel 8.6).

Ausgehend vom Ein-/Auslaufbauwerk Speichersee durchfährt der Schrägschacht zunächst einen Übergangsbereich zwischen aufliegendem Hanglehm bzw. Kristallinzeratz und dem tiefer liegenden unverwitterten Festgestein. Gemäß Bohrung SB 21 steht Fels ab etwa 20 m u. GOK an. Dieser besteht aus mittelständig (meist schieferungsparallel) geklüftetem angewittertem Fels bis etwa 40 m u. GOK an. Von dort aus nehmen mit zunehmender Tiefe sowohl Zerlegungs- als auch Verwitterungsgrad ab. Bis etwa 60 m u. GOK ist eine Anbindung des Kluftnetzwerks an den obersten Grundwasserleiter zu erwarten. Der unterste nennenswerte Kluftwasserzutritt wurde in Bohrung SB 21 mittels Flowmeter bei 59 m u. GOK gemessen, darunter waren keine Zutritte mehr messbar.

Die Achse des Schrägschachtes verläuft geomechanisch günstig mehr oder weniger senkrecht zum Verlauf der metamorphen Schieferungsflächen. Unterhalb der oberflächennahen Auflockerungszone (> 40 m u. GOK) sind schieferungsparallele Brüche weitständig verteilt. Vereinzelt sind kleinere Störungszonen zu erwarten, die meist schieferungsparallel verlaufen und somit auf kürzestem Weg gequert werden. In der Regel weisen diese Mächtigkeiten von < 1 m auf und zeichnen sich durch dm-mächtige Brekziensäume und sehr engständig geklüftete Zonen aus. Mächtigere Zerüttungszonen im Bereich des Schrägschachtes wurden entlang von Bohrung SB 21 in den Tiefenintervallen 176 – 192 m, 212 – 220 m, 297 – 300 m und 330 – 334 m angetroffen. In diesen Zonen ist beim Tunnelvortrieb vereinzelt mit Nachfall kleinerer Materialmengen zu rechnen. Die Ablösung größerer Kluftkörper aus der Firste ist nicht zu erwarten.

Weitere Kluftsysteme in diesem Bereich verlaufen WNW-ESE mit steilem Einfallen nach NNE, WNW-ESE mit steilem Einfallen nach SSW und NNE-SSW mit steilem bis saigerem Einfallen. Im Bohrkern sind diese weitständig bis sehr weitständig vertreten. Aufgrund des steilen Einfallens und der steilen Neigung des Bohrloches ist aber anzunehmen, dass diese Trennflächen in der Bohrung unterrepräsentiert sind. Zudem verläuft das NNE-SSW streichende Kluftsystem subparallel zur Bohrrichtung der Schrägbohrung, was die Wahrscheinlichkeit des Anschneidens dieser Klüfte weiter reduziert.

8.4.2 Schrägstollen

Der Schrägstollen wird unterhalb des Schrägschachtes hergestellt und mündet im Talboden im Maschinenschacht der Kraftstation. Es ist ein Gefälle in Talrichtung von 15 % geplant, die Gesamtstrecke wird etwa 900 m betragen.

Es ist ein Innendurchmesser von 4,3 m geplant. Der Ausbruchsquerschnitt erhält eine betonhinterfüllte Stahlpanzerung. Der Ausbau wird mittels Spalt- und Gebirgsinjektionen an den Fels angebunden und gegen Bergwasserzutritte abgedichtet. Der Verlauf des Schrägstollens wurde mit den Erkundungsbohrungen SB 22, SB 23 und SB 24 in Teilbereichen erkundet.

Der Schrägstollen wird komplett im konventionellen Vortrieb ausgebrochen.

Im Bereich des Schrägstollens sind in Teilabschnitten kompakte mylonitische Gneise und Granite (Schichtpaket 2 – Triebwasserweg) zu erwarten. Es ist über eine Strecke von etwa 600 - 650 m beginnend ca. 50 Meter nach dem speicherseeseitigen Ende des Schrägstollens mit gebrächem Gebirge (Schichtpaket 3 – Triebwasserweg) zu rechnen.

Im Bereich des Schichtpaketes 2 ist nur ein geringer Bergwasserandrang zu erwarten. In Bohrung SB 24 wurde kein Wasser angetroffen. In Bohrung SB 23 beschränken sich Wasserzutritte auf die obersten 90 m. Auf Höhe des geplanten Triebwasserweges ergaben weder Flowmeterbefahrungen noch hydraulische Versuche signifikante Wasserwegsamkeiten. Nach den Erkenntnissen aus Bohrung SB 22 muss im Bereich des Schichtpaketes 3 mit mehreren l/s Bergwasser gerechnet werden.

Die Achse des Schrägstollens verläuft in etwa senkrecht zum Streichen der metamorphen Schieferung wie auch des generellen Schichtaufbaus. Schieferungsparallele Trennflächen bilden eines der Hauptkluftsysteme. Die Schieferung fällt in Vortriebsrichtung in einem Winkel von 40° - 60° zum Achsverlauf des Stollens, was als geomechanisch günstig einzustufen ist.

Weitere Kluftsysteme in diesem Bereich verlaufen WNW-ESE mit steilem Einfallen nach NNE, WNW-ESE mit steilem Einfallen nach SSW und NNE-SSW mit steilem bis saigerem Einfallen. Im Bohrkern sind diese weitständig bis sehr weitständig vertreten. Aufgrund des steilen Einfallens und der steilen Neigung der Bohrlöcher ist anzunehmen, dass diese Trennflächen in den Bohrungen unterrepräsentiert sind. Zudem verläuft das NNE-SSW streichende Kluftsystem subparallel zur Bohrrichtung der Schrägbohrungen, was die Wahrscheinlichkeit des Anschneidens dieser Klüfte weiter reduziert.

Größere Störungen sind im Schichtpaket 2 (Triebwasserweg) nicht zu erwarten. In Bohrung SB 23 wurden im Tiefenintervall von 191 bis 206 m einige kleine Zerrüttungszonen bzw. engständig geklüftete Bereiche mit RQD-Werten von 0 bis 40 angefahren. Diese verlaufen in etwa parallel zur Schieferung und schneiden den Triebwasserweg ca. bei Station 945 m. Eine Ablösung größerer Kluftkörper aus der Firste ist aufgrund der Lagerungsverhältnisse und Kluftabstände wenig wahrscheinlich.

Schichtpaket 3 (Triebwasserweg) wurde durch Bohrung SB 22 erschlossen. Über die gesamte Bohrung hinweg ist das Gebirge stark kataklastisch überprägt. Einzelne Störungen sind aufgrund des Zerlegungsgrades im Bohrkern nicht identifizierbar. Aus diesem Grund ist auch beim Stollenvortrieb mit einer erhöhten Gebirgszerlegung und damit verbunden mit kleinstückigem Nachfall zu rechnen. Dies kann vereinzelt einen erhöhten Sicherungsaufwand, wie beispielsweise die Stabilisierung der Ortsbrust mittels Spritzbeton, nach sich ziehen.

Im Bereich dieses Schichtpaketes ist für das wasserwegsames Kristallingebirge ein erhöhter Bergwasserandrang zu erwarten. Nach den Erkenntnissen aus Bohrung SB 22 liegt der Bergwasserandrang über lokale Wegsamkeiten auf einer Strecke von etwa 500 m zwischen ca. 5 und 11 l/s. In wasserwegsamen Bereichen ist dadurch eine Verminderung der Scherfestigkeit entlang von Trennflächen möglich. Insbesondere sind hiervon graphitbestegte Klüfte betroffen, da Graphit als natürliches Schmiermittel fungiert. Graphit wird vereinzelt in mm-mächtigen Belägen vorwiegend auf schieferungsparallelen Klüften angetroffen. An karbonatischen Einschaltungen



sind aufgrund des verhältnismäßig weichen Kristallinwassers geringe Lösungserscheinungen möglich. Gesteine mit höherem Karbonatgehalt sind nur sehr untergeordnet in diesem Schichtpaket vertreten. Eine generelle Entfestigung oder Aufquellen der Gesteine dieses Schichtpaketes durch den Kontakt mit Bergwasser ist nicht zu erwarten.

8.4.3 Niederdruckstollen

Als Verbindung zwischen dem Lotschacht unterhalb des Ein-/Auslaufbauwerkes Donau und der Kraftstation ist ein Unterwasserstollen als Niederdruckstollen mit Ringbetonauskleidung geplant. Dieser wird eine Gesamtlänge von rund 180 m und einen Außendurchmesser von 5,9 m aufweisen. Der Innendurchmesser beträgt 4,8 m. Die Sohle des Bauwerkes wird voraussichtlich bei etwa 43 m unter der Flusssohle der Donau liegen. Die Auskleidung wird mittels Spalt- und Gebirgsinjektionen an den Fels angebunden und gegen Bergwasserzutritte abgedichtet. Der Niederdruckstollen befindet sich durchwegs innerhalb des Festgesteins, das in diesem Bereich aus einer weitgehend kompakten Wechsellagerung aus mylonitisierten Gneisen und z.T. flaserigen Graniten besteht. Der Verlauf des Niederdruckstollens wurde mit den Erkundungsbohrungen SB 25, SB 26 und SB 27 in Teilbereichen erkundet.

Die Achse des Niederdruckstollens verläuft ausgehend vom Lotschacht mit einem Verschnittwinkel von etwa 50° - 70° zum Streichen der metamorphen bzw. mylonitischen Schieferung. Schieferungsparallele Trennflächen bilden eines der Hauptkluftsysteme. Die Schieferung fällt in Vortriebsrichtung in einem Winkel von 20° - 45° zum Achsverlauf des Stollens, was als geomechanisch günstig einzustufen ist. Die Kluftabstände dieses Systems sind im Tiefenbereich des geplanten Triebwasserweges mittelständig, bereichsweise auch engständig.

Weitere Kluftsysteme in diesem Bereich verlaufen donauparallel WNW-ESE mit steilem bis saigeren Einfallen, sowie NNE-SSW mit steilem bis saigerem Einfallen. Im Bohrkern sind diese weitständig bis sehr weitständig vertreten. Aufgrund des steilen Einfallens und der steilen Neigung der Bohrlöcher ist anzunehmen, dass diese Trennflächen in den Bohrungen unterrepräsentiert sind. Zudem verläuft das NNE-SSW streichende Kluftsystem subparallel zur Bohrrichtung der Schrägbohrungen, was die Wahrscheinlichkeit des Anschneidens dieser Klüfte weiter reduziert. Ein Großteil dieser Klüfte wurde hydrothermal verheilt und ist im Originalgesteinsverband als geschlossen anzusehen. Durch die Auflockerung im Zuge von Bohr- bzw. Vortriebsarbeiten können sich diese Trennflächen wieder öffnen.

Unterhalb der Donau besteht eine steilstehende talparallele kataklastisch deformierte Störungszone in etwa auf Höhe der Trennmauer zwischen Nord- und Südkammer der Schleuse. Umfangreiche hydraulische Versuche ergaben für den Bereich der Störung Durchlässigkeitsbeiwerte in der Größenordnung 10^{-7} m/s. Eine hydraulische Anbindung an die Donau ist nicht nachweisbar. Durch den Bohrvorgang wurde die Kataklastizone mechanisch aufgelockert und durch die Bohrspülung das feinkörnige Störungsmaterial ausgewaschen. Im Bohrkern wurden Bruchstücke mit Durchmessern von etwa 3 bis 10 cm geborgen. Es ist zu erwarten, dass diese Störung durch den Niederdruckstollen ca. zwischen Station 130 m und 150 m ab Lotschacht durchfahren wird. Die Ablösung größerer Kluftkörper im Bereich der Störung ist nicht zu erwarten.

Der Ausbruch des Stollenquerschnittes erfolgt im konventionellen Vortrieb. Aufgrund der speziellen Vortriebssituation unter der Donau und den damit verbundenen hydrogeologischen Verhältnissen wird vorgeschlagen, während der Vortriebsarbeiten von der Ortsbrust aus jeweils 20 m bis 25 m vorzubohren. Damit sollen bereits vor Ausbruch des eigentlichen Stollens detaillierte Erkenntnisse über die geologische Situation und eventuell zu erwartende Wassereinbrüche gewonnen werden.



Bei stärkeren Wasserzutritten sind von der jeweiligen Ortsbrust aus Injektionsbohrungen fächer- bzw. schirmförmig vorzutreiben und das Gestein zu verpressen.

8.4.4 Lotschacht

Unterhalb des Ein-/Auslaufbauwerkes Donau ist ein Lotschacht mit einer Tiefe von ca. 43 m vorgesehen. Der Innendurchmesser soll 10 m betragen. Die Schachtachse wurde mit Bohrung EB 34 erkundet.

Die Oberkante des Lotschachtes wird bei Oberkante Festgestein festgelegt. Dies bedeutet, dass der Lotschacht durch konventionellen Ausbruch im Festgestein hergestellt wird.

Die geologische Situation gestaltet sich ähnlich wie im Bereich des Niederdruckstollens. Unter einer ca. 18 m mächtigen Überlagerung aus Auffüllung und Donaukies stehen mylonitische Gneise mit eingeschalteten Graniten an. Die Hauptkluftrichtung verläuft parallel zur metamorphen Schieferung und fällt mittelsteil in nordnordöstliche Richtung ein. Kluftabstände nehmen tendenziell mit zunehmender Tiefe von mittelständig bis hin zu weitständig ab.

Weitere Kluftsysteeme sind analog zum Unterwasserstollen zu erwarten. Aufgrund der vertikalen Bohrlochgeometrie wurden diese nur sehr vereinzelt angetroffen. Somit können durch den punktuellen Aufschluss durch Bohrung EB 34 keine zuverlässigen Aussagen zu den Kluftabständen der steilstehenden Trennflächensysteme getroffen werden.

Im Tiefenbereich zwischen 46 und 48 m u. GOK wurde in Bohrung EB 34 eine Kataklastizone mit steilstehenden Einzeltrennflächen durchörtert. Möglicherweise handelt es sich hierbei um eine kleine Parallelstörung der im Kapitel 8.4.3 erwähnten Störung. Generell ist im Bereich des Lotschachtes mit weitgehend standfestem Gebirge zu rechnen.

8.5 Entwässerung Speicherseebereich

Für den Bereich des Speichersees ist geplant, anfallendes Grund- und Sickerwasser über eine Ringdränage zu fassen und dem Vorfluter Dandlbach zuzuführen. Zur Abschätzung des grundwasserbürtigen Dränwasserandrangs und der Dimensionierung dieser Dränage wurde durch die IFB EIGENSCHENK GMBH (2010c) ein Gutachten verfasst.

Darin wird dargelegt, dass die abgeschätzte durchschnittlich anfallende grundwasserbürtige Wassermenge aus der Ringdränage 3 l/s nicht überschreiten dürfte. bis dato vorliegenden Durchflussmessungen bei Trockenwetterabfluss am Dandlbach ergibt eine Größenordnung von 5 l/s. Die bisherigen Schüttungsmessungen im Einzugsgebiet des Speichersees bestätigen diese Größenordnung.

Während der Schneeschmelze und nach sehr ergiebigen Niederschlägen ist zu erwarten, dass der maximale Abfluss und damit der Drainagewasseranfall signifikant höher als der durchschnittliche ist. Für die Zeit der Schneeschmelze sollten daher wesentlich (z. B. um den Faktor 5 bis 10) höhere Drainagewassermengen als die abgeschätzten durchschnittlichen angesetzt werden.

Die Berechnungen ergeben, dass während der Bauphase mit einem Sickerwasseranfall von bis zu mehreren zehner l/s zu rechnen ist. Im Falle des Anschneidens wasserführender Klüfte während der Bauzeit wird der Grundwasseranfall unverzüglich durch geeignete Abdichtungsmaßnahmen weitgehend minimiert, so dass hier eine gegebenenfalls weiter ins Hinterland reichende Entleerung der wassergefüllten Klüfte



unterbunden wird. Darüber hinaus anfallendes Grundwasser wird über die Ringdränage dem Vorfluter zugeführt.

Aufgrund der erheblichen Unsicherheiten der Abschätzungen des Dränwasseranfalls und nicht gänzlich auszuschließender Zuflüsse durch Undichtigkeiten aus dem geplanten Speicherbeckenbauwerk wird die Ringdränage ausreichend für den zu erwartenden Sickerwasseranfall dimensioniert. Dieser könnte z.B. für den grundwasserbürtigen Anteil im Bereich von 100 l/s liegen. Damit sollten auch zu erwartende höhere Sickerwassermengen während der Bauphase bei der hier eintretenden Grundwasserabsenkung mit erfasst sein.

Zur Bewertung der Untersuchungsergebnisse wird darauf verwiesen, dass eine exakte rechnerische Ermittlung aufgrund der Rahmenbedingungen nicht möglich ist. Für die Erläuterung der Methodik der Abschätzung wird auf das erwähnte Gutachten (IFB EIGENSCHENK, 2010c) verwiesen. Die vorgesehene Dimensionierung der Ringdränage ermöglicht einen Abfluss von deutlich mehr als 500 l/s und sollte somit ausreichend sein.

8.6 Bergwasseranfall im Triebwasserweg

Aufgrund der Unwägbarkeiten hinsichtlich des Bergwasserandranges in Kluftgrundwasserleitern ist die Extrapolation der bisher aus den Erkundungsbohrungen gewonnenen Erkenntnisse auf den eigentlichen Triebwasserweg nur bedingt möglich.

Im Bereich des Talbodens wurde am Hangfuß der Donauleiten (Bohrung SB 24) kein Bergwasser angetroffen. Über das Hangprofil der Donauleiten wurden in den einzelnen Erkundungsbohrungen Bergwasserstände auf verschiedenen Höhenniveaus angetroffen. Für die in untenstehender Tabelle aufgelisteten Bohrungen wurden Ruhewasser- bzw. Druckspiegel und, falls möglich, Zutrittsmengen ermittelt. Um ein größeres Inventar an Messwerten zu erhalten wurden zusätzlich auch die Schrägbohrungen früherer Erkundungskampagnen hinzugezogen.

Bohrung	Ansatzhöhe [m ü. NN]	Bohrlänge [m]	Grund- bzw. Bergwasser- spiegel [m ü. NN]	Wasserzutritt (ca.) [l/s]
U2	594,50	301,10	566,50	n/a
U3	423,00	195,80	398,20	n/a
SB 1	624,06	500	612,53	n/a
SB 2	290,73	453	338,70 (ca.)	7,5
SB 21	624,65	450	615,00 (ca.)	0,2 (Flowmetermessung, Zutritt bei 58 m u. GOK)
SB 22	438,65	550	440,00 (ca.)	0,3 – 11,25
SB 23	437,92	300	409 (ca.)	0,02 (Flowmetermessung, Zutritt bei ca. 91 bis 94 m u. GOK)
SB 24	290,94	400	n/a	n/a

Tabelle 1: Bergwasserstände und -zutritte in den in der Donauleite abgeteufte Erkundungsbohrungen

Zur Tiefenlage der Bergwasserzutritte in den Bohrungen, die im Bereich des geplanten Triebwasserweges liegen, lassen sich folgende Aussagen treffen. In den Bohrungen SB 21 und SB 23 wurden Flowmeterbefahrungen durchgeführt, die detaillierte Informationen zu den Bergwasserzutritten lieferten.

In Bohrung SB 21 wurde bei 58 m unter Ansatzpunkt ein geringer Wasserzutritt von etwa 0,2 l/s ermittelt. Bis zur Endteufe waren keine weiteren Zutritte mehr messbar. Die Bohrung SB 21 wurde bis 65 m u. Ansatzpunkt mit einer Filterstrecke von 42 – 65 m u. Ansatzpunkt als Grundwassermessstelle ausgebaut.

In Bohrung SB 23 war unterhalb der Hilfsverrohrung bei 90 m unter Ansatzpunkt kein Wasserzutritt messbar. Ein Zustrom von ca. 0,02 l/s erfolgte nur an der Unterkante der Hilfsverrohrung aus dem darüber befindlichen stark klüftigen Gebirge bis 90 m unter Ansatzpunkt. Die Bohrung wird in diesem oberen Intervall als Grundwassermessstelle ausgebaut.

In Bohrung SB 22 trat ab einer Bohrtiefe von 91 m unter Ansatzpunkt kontinuierlich Bergwasser in die Bohrung ein. Bereichsweise stieg der Wasserandrang bis auf 11,25 l/s an. Die Lagen stärkerer Wasserzutritte entlang der Bohrstrecke sind im geologischen Schnitt des Triebwasserweges (Anlage 2) verzeichnet bzw. im Schlussbericht zu den Schrägbohrungen (Anlage 9) tabellarisch erfasst. Es ist zu erwarten, dass sich Bergwasserzutritte auch im gebräunten Gebirge auf diskrete wasserwegsame Zonen beschränken, da beispielsweise im Kreuzungsbereich von Bohrung SB 22 mit dem geplanten Triebwasserweg Durchlässigkeitsbeiwerte von 10^{-10} m/s mit hydraulischen Versuchen ermittelt wurden, obwohl die Bohrkerne aus diesem Teufenbereich einen hohen Zerlegungsgrad aufweisen.

8.7 Gewässer- und Grundwasserregulierung während der Bauzeit

8.7.1 Speicherseebereich

Bei Beginn der Baumaßnahme und vor Beginn der Abtragsarbeiten ist das Bachbett des Aubachs von unten beginnend umzuverlegen. Durch diese Maßnahme wird voraussichtlich eine Reduzierung des Wasserzuflusses im geplanten Abtragungsbereich erzielt.

Bei Abtrag des Geländes ist in den höher liegenden Bereichen mit lokalen Stauhorizonten und Schichtwasser/Grundwasser mit einer verstärkten Wasserführung entlang von Inhomogenitäten wie z. B. vergrusste Quarzbänder, Grenzflächen oder auch alten Baumwurzeln zu rechnen. Bei Antreffen von Wasser sind Gräben anzulegen, welche eine gezielte Entwässerung zum Geländetiefpunkt in der Baugrube ermöglichen.

Mit Grundwasser in größerer Menge ist am Geländetiefpunkt und damit im Talgrund nahe des bestehenden Bachlaufes zu rechnen. Es wird empfohlen, die Abtragarbeiten vom Geländetiefpunkt im Süden aus zu beginnen und nach Norden vorzuarbeiten. Das angeschnittene Grundwasser kann dann mit Gräben gezielt der tiefer liegenden Vorflut zugeleitet werden. Damit wird zudem eine Entwässerung der höher liegenden Schichten erreicht.

Die Gräben können in den Böden des Schichtpaketes 5 als offene Gräben ausgebildet werden, da die anstehenden Böden ausreichend standfest sind. In den Böden des Schichtpaketes 4 sollten die Gräben mit Dränkies verfüllt werden, da diese Böden stärker erosionsempfindlich sind und über längere Zeit nicht ausreichend standfest sind. Bei starkem Andrang von Schichtwasser ist zusätzlich ein Dränrohr vorzusehen.



Bei Erreichen der Beckensohle sind die planmäßig vorgesehenen Dränleitungen einzubauen, welche dann für die restliche Bauzeit die Bauwasserhaltung besorgen können.

8.7.2 Triebwasserweg

Beim Vortrieb des Triebwasserstollens ist vor allem im Bereich von Schichtpaket 3 (gebräuchtes Kristallin) mit dem Eindringen von Bergwasser zu rechnen. Es ist vorgesehen, durch geeignete Maßnahmen die Wasserzutritte bauzeitlich zu fassen und mittels einer offenen Wasserhaltung frei auslaufend über den Triebwasserstollen abzuführen. Zusätzlich werden zur Verringerung des Bergwasserandrangs über radiale Bohrlöcher gebirgsvergütende Injektionen eingebracht.

Der Spalt zwischen Gebirge und Auskleidung wird durch weitere Injektionen verpresst. Nach Fertigstellung der Stollenauskleidung ist der Triebwasserweg weitestgehend gegen das Bergwasser abgedichtet. Die Stollenauskleidung erfolgt in Form einer hinterbetonierten Stahlpanzerung über die gesamte hochdruckseitige Länge vom Ein-/Auslaufbauwerk Speichersee bis zum Krafthaus. In die Stahlpanzerung werden Entlastungsventile eingesetzt, um bei einer temporären Entleerung des Triebwasserweges z.B. zu Wartungszwecken eine Verformung der Panzerung durch den außen anstehenden Bergwasserdruck zu vermeiden.

In Bereichen mit kompaktem Kristallin (Schichtpaket 2) ist nicht mit signifikanten Bergwassermengen zu rechnen.

8.7.3 Kraftstation – Niederdruckstollen – Lotschacht

In der Baugrube des Maschinenschachtes der Kraftstation sowie in der Baugrube des Lotschachtes beim Ein- Auslaufbauwerk und im Niederdruckstollen ist eine offene Wasserhaltung zur Ableitung von Oberflächenwasser und gegebenenfalls eindringendem Leckagewasser zu betreiben. Hierfür sind Entwässerungsgräben bzw. Drängräben und Pumpensümpfe vorzusehen.

Mit größerem Wasseranfall ist nach Herstellung der wasserdichten Verbauwände (Bohrpfahlwand bzw. Spundwand) und bei vortriebsbegleitenden Injektionsmaßnahmen beim Stollenbau nicht zu rechnen.

9 Geländeaufschüttungen

9.1 Allgemeines

Geländeaufschüttungen werden im großen Maßstab für die Erstellung der Erddämme erforderlich, welche das Speicherseebecken umschließen. Darüber hinaus werden Geländeaufschüttungen zum Teil in der Beckensohle sowie für den Neubau bzw. die Umverlegung von Zufahrtsstraßen erforderlich.

Die Schüttmaterialien für Geländeaufschüttungen sollen dabei soweit möglich aus dem Abtragsbereich gewonnen werden. Zusätzlich wird ggf. Ausbruchsmaterial aus dem Stollenausbruch verwendet, welches hierfür entsprechend aufbereitet wird.

9.2 Bautechnische Folgerungen

Das anfallende Aushubmaterial ist in unterschiedlicher Qualität als Dammschüttmaterial geeignet. Nach DIN 19 700-10 kann jedes Fest- und Lockergestein als Baustoff für Stützkörper Verwendung finden, wenn es keine organischen, löslichen, veränder-



lichen oder quellfähigen Komponenten im maßgeblichen Anteil enthält. Damit können im vorliegenden Fall grundsätzlich alle anfallenden Böden mit Ausnahme des Oberbodens und der Böden des Schichtpaketes 2 (Organische Böden im Speicherseebereich) wiederverwendet werden.

Das anstehende Festgestein ist als Dammschüttmaterial gut wiederzuverwenden. Nicht bis schwach verwittertes Gestein zeichnet sich in der Regel durch eine hohe Druckfestigkeit und Verwitterungsbeständigkeit aus. Es besitzt meist eine hohe Widerstandsfähigkeit gegenüber mechanischer Beanspruchung und verändert bei Wasserzutritt nicht seine Eigenschaften. Im Falle eines stärkeren Verwitterungsgrades, wie er z.B. entlang von Kluftzonen bzw. Störungen auftreten kann, ist die Widerstandsfähigkeit des Festgesteins reduziert. Es kann dann die Eigenschaften der unten beschriebenen Schichtpakete 5 bzw. 4 annehmen. Das Festgestein ist mit Brechanlagen aufzubereiten. Dabei ist eine weitgestufte Kornverteilung des gebrochenen Materials mit einem Feinkorngehalt < 15 Gew.-% anzustreben.

Ebenfalls geeignet sind die Böden des Schichtpaketes 5 (Kristallinersatz, Grus im Speicherseebereich). Dieses Material kann ohne Aufbereitung sofort wiedereingebaut werden. Es empfiehlt sich ein Einbau dieses Materials mit Vibrationswalzen.

Nur mäßig verdichtbar sind die Böden des Schichtpaketes 4 (Kristallinersatz, verwittert im Speicherseebereich). Die Verdichtungsfähigkeit ist von der Kornabstufung und dem Feinkorngehalt des Bodens abhängig. Bei sehr hohem Feinkorngehalt verschlechtert sich insgesamt die Verdichtungsfähigkeit. Es empfiehlt sich eine Verdichtung mit schweren Vibrationswalzen, Gummiradwalzen oder Schafffußwalzen. Letztere werden insbesondere bei hohen Feinkorngehalten favorisiert. Die im Rahmen der Erkundung ermittelten natürlichen Wassergehalte in diesen Böden liegen über den mit den Proctorversuchen ermittelten optimalen Wassergehalten. Bei hohen Feinkorngehalten von über 30 % ist zu erwarten, dass die Böden das Wasser schlecht abgeben und keine optimale Verdichtung erzielt werden kann. Es ist dann eine Zwischenlagerung zum Abtrocknen oder eine Bindemittelzugabe vorzusehen.

Schlecht verdichtbar sind die Böden des Schichtpaketes 3 (Hanglehm im Speicherseebereich). Die natürlichen Wassergehalte zum Zeitpunkt der Erkundung liegen deutlich über den optimalen Wassergehalten, welche in den Proctorversuchen für eine Proctordichte von 100 % ermittelt wurden. Darüber hinaus reagieren diese Böden empfindlich auf Zutritt von Niederschlagswasser und weichen schnell auf. Der Einbau ist deshalb nur bei trockener Witterung möglich. Wenn der natürliche Wassergehalt der Böden durch Zwischenlagerung und Einbau bei trockenen Witterungsbedingungen nicht in ausreichendem Maße reduziert werden kann oder dies aufgrund schlechter Witterungsbedingungen nicht möglich ist, sind Zusatzmaßnahmen vorzusehen. Es empfiehlt sich die Zugabe eines Bindemittels in Form eines Kalk-Zement-Gemisches. Die hierfür erforderliche Zugabemenge ist durch eine Eignungsprüfung zu ermitteln und hängt darüber hinaus von den Einbauwassergehalten ab. Als grobe Abschätzung kann eine Zugabemenge von 2 % bis 3 % angenommen werden.

Nach den ZTV-W LB 205 gelten für die zum Wiedereinbau vorgesehenen Schüttmaterialien in den Dämmen des Speicherbeckens folgende Anforderungen an die Verdichtung:

Schichtpaket 3 (Speicherseebereich): $D_{Pr} \geq 97 \%$

Schichtpaket 4 (Speicherseebereich): $D_{Pr} \geq 97 \%$

Schichtpaket 5 (Speicherseebereich): $D_{Pr} \geq 100 \%$

Gebrochenes Gestein: $D_{Pr} \geq 100 \%$



Um den geforderten Verdichtungsgrad zu erzielen, ist es erforderlich, dass insbesondere bei bindigen Böden die natürlichen Wassergehalte in derselben Größenordnung liegen wie die optimalen Wassergehalte beim Proctorversuch.

Unverwittertes Festgestein des Schichtpaketes 6 im nordwestlichen Bereich des Speichersees (Frostschutzklasse F1) ist gemäß der ergänzenden Laboruntersuchungen aus den Jahren 2019 und 2020 (vgl. Anlagen 12 und 13) grundsätzlich als Zuschlagstoff bei der Asphalt- und Betonherstellung geeignet.

10 Ergänzende Hinweise

Die Empfehlungen und Folgerungen des vorliegenden geotechnischen Berichtes wurden auf der Grundlage einer Vielzahl von punktuellen Baugrundaufschlüssen und weitergehenden Auswertungen und Kenntnissen erarbeitet. Die vorliegenden Baugrundaufschlüsse werden für die geotechnische Beurteilung als ausreichend angesehen. Örtlich sind aufgrund der Geologie Abweichungen in der Schichtenfolge, Schichtmächtigkeit und Ausdehnung nicht ausgeschlossen.

Die Angaben des vorliegenden geotechnischen Berichtes sind im Zuge der weiteren Planungen, z. B. der Ausführungsplanung zu ergänzen, dies gilt insbesondere für die boden- und felsmechanischen Kennwerte, welche auf Grundlage weiterer Laborversuche detailliert festzulegen sind.

11 Literatur

BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT (HRSG.) (2003): Hydrogeologische Raumgliederung von Bayern. - GLA Fachbericht Band 20. - 85 S.; München (Bayer. Geol. Landesamt).

BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT (HRSG.) (2011): Geowissenschaftliche Landesaufnahme in der Planungsregion 12 Donau – Wald. Erläuterungen zur Hydrogeologischen Karte 1 : 100.000. - 214 S.; Augsburg (Bayer. Landesamt f. Umwelt).

BIENAWSKI, Z. T. (1976); Rock mass classifications in rock engineering. – Exploration für Rock Engineering. - Vol. 1, S. 97 – 107 (Johannesburg).

DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR GEOTECHNIK (Hrsg.) (2012): Handbuch für Tunnelbau 2012. - 377 S.; VGE Verlag GmbH (Essen).

DIN EN ISO 14689-1 (2011): Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Fels – Teil 1: Benennung und Beschreibung (ISO 14689-1:2003); Deutsche Fassung EN ISO 14689-1:2003. - 26 S.; Beuth (Beuth).

FREEZE, A. R. & CHERRY, J.A. (1979): Groundwater. Englewood Cliffs, N.J. (Prentice-Hall).

GIRMSCHIED, G. (2008): Baubetrieb und Bauverfahren im Tunnelbau. - 694 S.; Ernst & Sohn (Berlin).

HÖLTING, B. & COLDEWEY, W. G. (2005): Hydrogeologie: Einführung in die Allgemeine und Angewandte Hydrogeologie. - 326 S.; München (Spektrum Akademischer Verlag).

LANGGUTH, H.-R. & VOIGT, R. (2004): Hydrogeologische Methoden. - 1005 S.; Berlin (Springer).



PRINZ, H. & STRAUß, R. (2006): Abriss der Ingenieurgeologie. - 671 S.; Elsevier (München).

RAUM, K. D. (2002): Markierungstechnische, bruchtektonisch-gefügekundliche und fotogeologische Untersuchungen zur Ermittlung der Grundwasserfließverhältnisse in der Verwitterungszone kristalliner Gesteine in Quellgebieten des Oberpfälzer/Bayerischen Waldes (Ost-Bayern/Deutschland). - Diss. Naturw. Fak. Friedrich-Alexander Univ. Erlangen-Nürnberg. 240 S.; Erlangen.

STOBER, I. (1995): Die Wasserführung des kristallinen Grundgebirges. - 191 S.; Stuttgart (Enke).

WASSERWIRTSCHAFTSAMT TRAUNSTEIN (2011): Hydrogeologisches Blockbild. http://www.wwa-ts.bayern.de/boden_und_grundwasser/die_natur_des_grundwassers/grundwasservorkommen/index.htm

ZEITLHÖFLER, M. (2007): Brittle Petrofabrics in the Central Bavarian Forest (SE Germany): Tectonic Evolution, Geomorphological Effects, and Hydrogeologic Implications. - Diss. Fak. f. Geowissenschaften, Ludwig-Maximilians-Universität München. 250 S.; München.

