

AUFTRAGGEBER:



Zimmerstraße 54
10117 Berlin

PROJEKT:

B 107, SÜDVERBUND CHEMNITZ - A 4
VERKEHRSEINHEIT 323.1
Bau-km 0+000 bis Bau-km 6+075

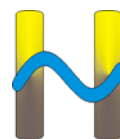
GUTACHTEN

TEKTUR A

ERGÄNZENDE UNTERSUCHUNGEN ZUM
GEOHYDRAULISCHEN MODELL
NSG „UM DEN EIBSEE“

BEARBEITUNG:

Büro für Hydrologie und Bodenkunde
Gert Hammer
Beethovenstraße 3
01465 Dresden OT Langebrück
Tel.: 035201/71065
Fax: 035201/71085
Hydrologie@t-online.de



GUTACHTEN

VORHABEN: B 107, SÜDVERBUND CHEMNITZ - A 4
VERKEHRSEINHEIT 323.1
ERGÄNZENDE UNTERSUCHUNGEN ZUM
GEOHYDRAULISCHEN MODELL
NSG „UM DEN EIBSEE“

AUFTRAGGEBER: DEGES
DEUTSCHE EINHEIT FERNSTRAßENPLANUNGS-
UND -BAU GMBH
ZIMMERSTRASSE 54
10117 BERLIN

AUFTRAGNEHMER: BÜRO FÜR HYDROLOGIE UND BODENKUNDE
GERT HAMMER
BEETHOVENSTR. 3
01465 DRESDEN OT LANGEBRÜCK

Dresden, den 17. DEZEMBER 2019



BEARBEITUNG GERT HAMMER
BÜRO FÜR HYDROLOGIE UND BODENKUNDE GERT HAMMER

Projekt: B 107, Südverbund Chemnitz - A 4, VKE 323.1
Bau-km 0+000 bis Bau-km 6+075
hier: Gutachten zu den ergänzenden Untersuchungen zum geohydraulischen Modell
NSG „Um den Eibsee“

Inhaltsverzeichnis

Tabellenverzeichnis	4
Abbildungsverzeichnis	4
Abkürzungsverzeichnis	5
1 Aufgabenstellung	6
2 Hydrologische Verhältnisse im Untersuchungsgebiet (Wasserhaushalt, Oberflächenabfluss)	6
2.1 Vorbemerkung	6
3 Hydrogeologische Verhältnisse	8
4 Meteorologische Verhältnisse im Zeitraum von Januar bis Mai 2019	15
5 Ganglinien der Grundwasserstände von März bis Mai 2019	16
6 Zusammenfassung der Abflussverhältnisse entsprechend der gemessenen Ganglinien	19
7 Bestimmung der Abflussmengen durch geohydraulische und hydrologische Modellierung	21
7.1 Angewendetes Modell	21
7.2 Modellaufbau	23
7.3 Modellvalidierung	25
7.4 Abflussbilanzen	26
8 Zusammenfassung	28
9 Literatur	30
Anlagenverzeichnis	33

Projekt: B 107, Südverbund Chemnitz - A 4, VKE 323.1
Bau-km 0+000 bis Bau-km 6+075
hier: Gutachten zu den ergänzenden Untersuchungen zum geohydraulischen Modell
NSG „Um den Eibsee“

Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Durchflusskennwerte des Eubaer Baches (Quelle: https://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/infosysteme/mnqh-q-regio/website/)	8
Tab. 2:	Koordinaten und Geländehöhen [m ü. NHN] der Grundwassermessstellen und Erkundungsbohrungen (Quellen: Hartig & Ingenieure 2009; Büro für Hydrologie und Bodenkunde Gert Hammer 2018)	14
Tab. 3:	Bezeichnung der Grundwassermessstellen in den Untersuchungszeiträumen 2017 und 2019	14
Tab. 4:	Durchlässigkeitswerte der obersten Modellschicht	24
Tab. 5:	Hydraulische Bodenparameter	25
Tab. 6:	Scheitelabflüsse [m ³ /s] der Grabenabschnitte bei Starkniederschlagsereignis HQ10 und 24 Stunden Dauer (siehe Anlage 13.3)	27

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Übersichtslageplan des Naturschutzgebietes „Um den Eibsee“ und der Fließgewässer	7
Abb. 2:	Kartenausschnitt westlich des Eibsees (Quelle: Geologische Karte des Freistaates Sachsen, Blatt 5143 Chemnitz, Maßstab 1:25.000)	9
Abb. 3:	Kartenausschnitt für den Bereich des Eibsees (ungefähre Lage) (Quelle: Geologische Karte Erzgebirge/Vogtland, Maßstab 1:100.000)	10
Abb. 4:	Flysch: Sedimentation in tiefen Rinnen vor der Deckenstirn; Molasse: Auffüllung der Vorsenke mit Abtragungsschutt aus dem aufsteigenden Gebirge (Quelle: SEBASTIAN 2013)	11
Abb. 5:	Ganglinie des Füllungszustandes des Bodenspeichers am Beispiel der GWM 3 (aus HARTIG & INGENIEURE 2009)	18
Abb. 6:	Eibsee mit anstehendem Phyllit	20

Projekt: B 107, Südverbund Chemnitz - A 4, VKE 323.1
Bau-km 0+000 bis Bau-km 6+075
hier: Gutachten zu den ergänzenden Untersuchungen zum geohydraulischen Modell
NSG „Um den Eibsee“

Abkürzungsverzeichnis

A 4	Bundesautobahn 4
Abb.	Abbildung
B 107	Bundesstraße 107
bzw.	beziehungsweise
DEGES	Deutsche Einheit Fernstraßenplanungs- und -bau GmbH
DGM	Digitales Geländemodell
DWD	Deutscher Wetterdienst
GIS	Grafisches Informationssystem
GWM	Grundwassermessstelle
HÜK200	Hydrogeologische Übersichtskarte im Maßstab 1:200.000
Kap.	Kapitel
km	Kilometer
LfULG	Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
m	Meter
ml/s	Milliliter je Sekunde
m ³ /s	Kubikmeter je Sekunde
NHN	Normalhöhennull
NSG	Naturschutzgebiet
o. g.	oben genannt
R	Widerstand des Bodens [Ω m]
Tab.	Tabelle
uh.	unterhalb
ü.	über
VKE	Verkehrseinheit
z. T.	zum Teil

Projekt: B 107, Südverbund Chemnitz - A 4, VKE 323.1
Bau-km 0+000 bis Bau-km 6+075
hier: Gutachten zu den ergänzenden Untersuchungen zum geohydraulischen Modell
NSG „Um den Eibsee“

1 Aufgabenstellung

Die DEGES (Deutsche Einheit Fernstraßenplanungs- und -bau GmbH) plant im Auftrag des Freistaates Sachsen den Neubau der B 107, Südverbund Chemnitz - A 4, VKE 323.1 (Bau-km 0+000 - Bau-km 6+075). Das Naturschutzgebiet „Um den Eibsee“ befindet sich zwischen den Bau-km 0+600 und 1+100 unmittelbar östlich der geplanten Trasse.

Da sich die Trasse der B 107 hier im Einschnitt befindet und eventuell eine Dichtungswand notwendig ist, kann es möglicherweise zur Veränderung der Abflussverhältnisse kommen. Im Rahmen des Gutachtens soll ermittelt werden, ob und in welchem Umfang der Wasserhaushalt des Naturschutzgebietes durch die Baumaßnahme beeinflusst wird. Außerdem sollen durch die Untersuchungen Aussagen über den Zufluss von Grund- und Sickerwasser zur Trasse während der Bau- und späteren Betriebsphase erhalten werden, um gegebenenfalls weitere Maßnahmen prognostizieren zu können. Insbesondere soll die Notwendigkeit der bisher vorgesehenen Dichtungswand überprüft werden. Dazu werden weitere Bohrungen niedergebracht sowie Grundwassermessstellen (GWM) errichtet, um das im Gutachten von 2018 (BÜRO FÜR HYDROLOGIE UND BODENKUNDE GERT HAMMER 2018) enthaltene Modell für das Umfeld des Eibsees erweitern und präzisieren zu können.

2 Hydrologische Verhältnisse im Untersuchungsgebiet (Wasserhaushalt, Oberflächenabfluss)

2.1 Vorbemerkung

Das betrachtete Untersuchungs- bzw. Modellgebiet (Landnutzung **Anlage 5.1**, Bodenarten **Anlage 5.2**) wird im Süden und Osten von der oberirdischen Wasserscheide des Einzugsgebietes des Eibsees bzw. Naturschutzgebietes begrenzt. Die westliche Grenze verläuft entlang der Wohnbebauung an der Walter-Klippel-Straße. Im Norden wurde als Rand eine Höhengleiche entlang der Eubaer Straße festgelegt (**Anlage 6.1**).

Wie im Gutachten (BÜRO FÜR HYDROLOGIE UND BODENKUNDE GERT HAMMER 2018) bereits dargelegt wurde, durchquert die geplante Trasse der B 107 das Untersuchungsgebiet auf einer Länge von 500 m von Bau-km 0+600 bis Bau-km 1+100. Das eigentliche Kerngebiet des Naturschutzgebietes „Um den Eibsee“ befindet sich auf einer Höhe von durchschnittlich 350 bis 450 m ü. NHN bei einem Geländegefälle von 2 %, während die südlich angrenzenden Hänge ein Gefälle von 10 % aufweisen.

Projekt: B 107, Südverbund Chemnitz - A 4, VKE 323.1
Bau-km 0+000 bis Bau-km 6+075
hier: Gutachten zu den ergänzenden Untersuchungen zum geohydraulischen Modell
NSG „Um den Eibsee“

Landschaftspflegerisch genutzt wird das Naturschutzgebiet (Abb. 1) durch den Verein zur Förderung von Landschaftspflege und Naturschutz e. V. (Natur-Hof Chemnitz) zur Beweidung mit Deutsch-Angus Rindern und Burenziegen.

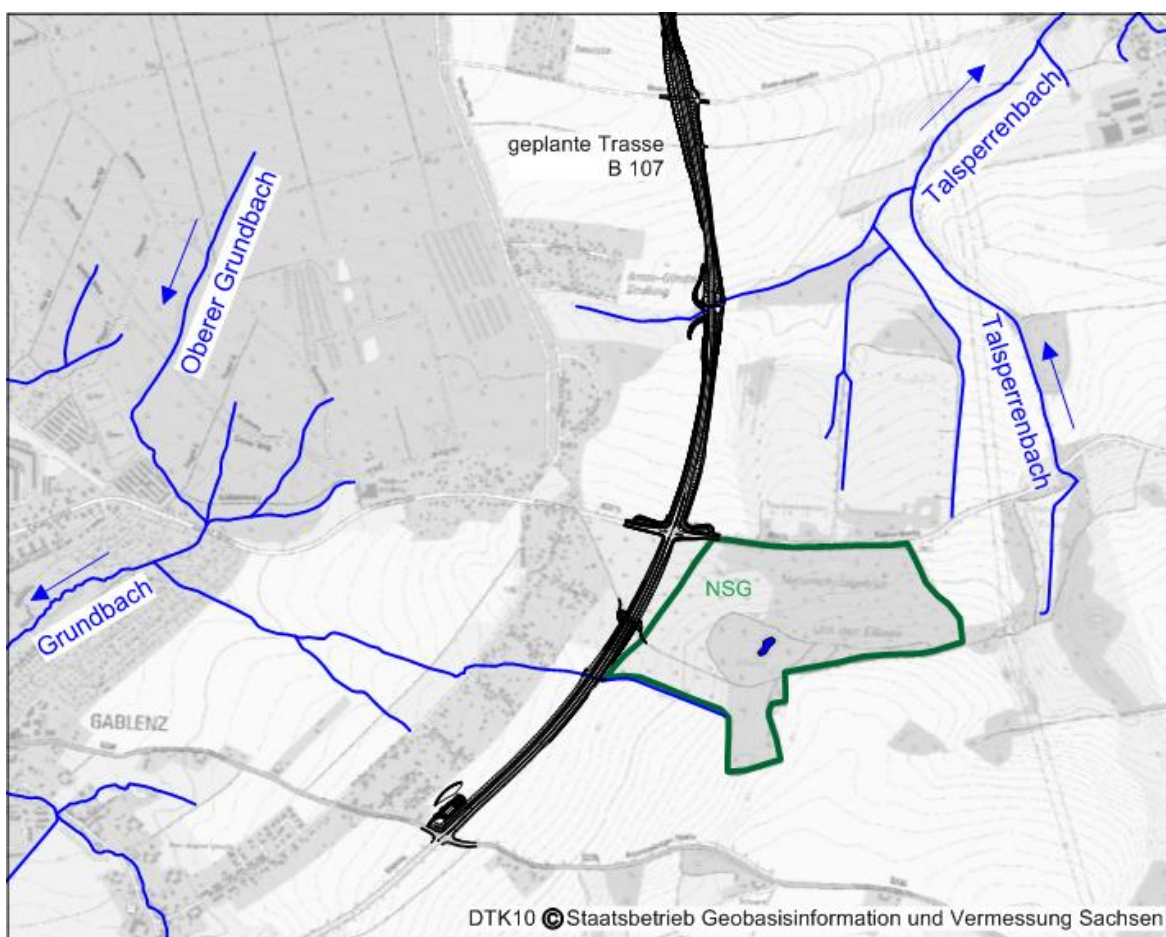


Abb. 1: Übersichtslageplan des Naturschutzgebietes „Um den Eibsee“ und der Fließgewässer

Der Wasserhaushalt des Untersuchungsgebietes wird durch ober- und unterirdischen Abfluss von Niederschlag der Hanglagen zum westlich gelegenen Grundbach und östlich bzw. nördlich abfließenden Talsperrenbach beeinflusst (Abb. 1). Aufgrund der Hanglagen besitzt die Verdunstung besondere Bedeutung.

Zunächst fließt der gefallene Niederschlag von den Hanglagen im Süden auf der Geländeoberfläche sowie in der Auflockerungszone des Festgesteines in das Naturschutzgebiet. Ein Teil dieses Abflusses speist den Eibsee. Da sich die Auflockerungszone unmittelbar unter Gelände befindet, treten in den Sommermonaten hohe Verdunstungsraten nach Niederschlägen auf. Allerdings ist die Aufnahmekapazität dieser Schicht begrenzt, so dass bei Starkregen bevorzugt Oberflächenabfluss eintritt, der im Naturschutzgebiet zu Überflutungen führt. Hier

Projekt: B 107, Südverbund Chemnitz - A 4, VKE 323.1
Bau-km 0+000 bis Bau-km 6+075
hier: Gutachten zu den ergänzenden Untersuchungen zum geohydraulischen Modell
NSG „Um den Eibsee“

teilt sich der Abfluss in Richtung der Vorfluter Talsperrenbach im Osten und in Richtung Grundbach im Westen.

Allgemein kann bei der geringen Größe des Einzugsgebietes des Eibsees bzw. des Naturschutzgebietes „Um den Eibsee“ sowie der zu geringen Mächtigkeit der wasserführenden Schichten (siehe Kap. 3) von einer stark schwankenden Wasserführung gesprochen werden, die entscheidend durch die Variabilität des auftretenden Niederschlags sowie der Verdunstung geprägt ist. Dabei dominiert jedoch bei Starkregenereignissen der Oberflächenabfluss gegenüber dem bodeninneren Abfluss.

Entsprechend des Wasserhaushaltsportales Sachsen (http://whhportal-sachsen.hydro.tu-dresden.de/saeuleB/index_b.html) beträgt der durchschnittliche jährliche Niederschlag im Untersuchungsgebiet 907,22 mm/a und die durchschnittliche jährliche reale Verdunstung 545,74 mm/a. Für das Einzugsgebiet des Grundbaches und Talsperrenbaches (Eubaer Bach) konnten die in Tab. 1 enthaltenen Werte entnommen werden.

	Gewässerkennzahl	MQ [m³/s]	MNQ [m³/s]
Eubaer Bach uh. Mündung Talsperrenbach	542692	0,176	0,069

Tab. 1: Durchflussskennwerte des Eubaer Baches (Quelle: <https://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/infosysteme/mnqhq-regio/website/>)

3 Hydrogeologische Verhältnisse

Die geologischen Verhältnisse des Untersuchungsgebietes sind durch metamorphes Gestein, Abtragungsprozesse und unterschiedliche tektonische Prozesse entstanden. Insbesondere die Erkenntnisse über die tektonischen Prozesse und den damit verbundenen Druck- und Temperaturverhältnissen wurden in den letzten Jahren aktualisiert und sind weiterhin Gegenstand geologischer Forschung (LINNEMANN & ROMER 2010, SEBASTIAN 2013).

Außer diesen Quellen bildete die Geologische Karte des Freistaates Sachsen, Blatt 5143 Chemnitz, Maßstab 1:25.000 (Ausschnitt Abb. 2), die Geologische Karte Erzgebirge/Vogtland, Maßstab 1:100.000 (Ausschnitt Abb. 3) sowie die Hydrogeologische Übersichtskarte (HÜK200), Maßstab 1:200.000 (**Anlage 2**) die Grundlage zur Beschreibung der stratographischen Verhältnisse des Standortes.

Projekt: B 107, Südverbund Chemnitz - A 4, VKE 323.1
 Bau-km 0+000 bis Bau-km 6+075
 hier: Gutachten zu den ergänzenden Untersuchungen zum geohydraulischen Modell
 NSG „Um den Eibsee“

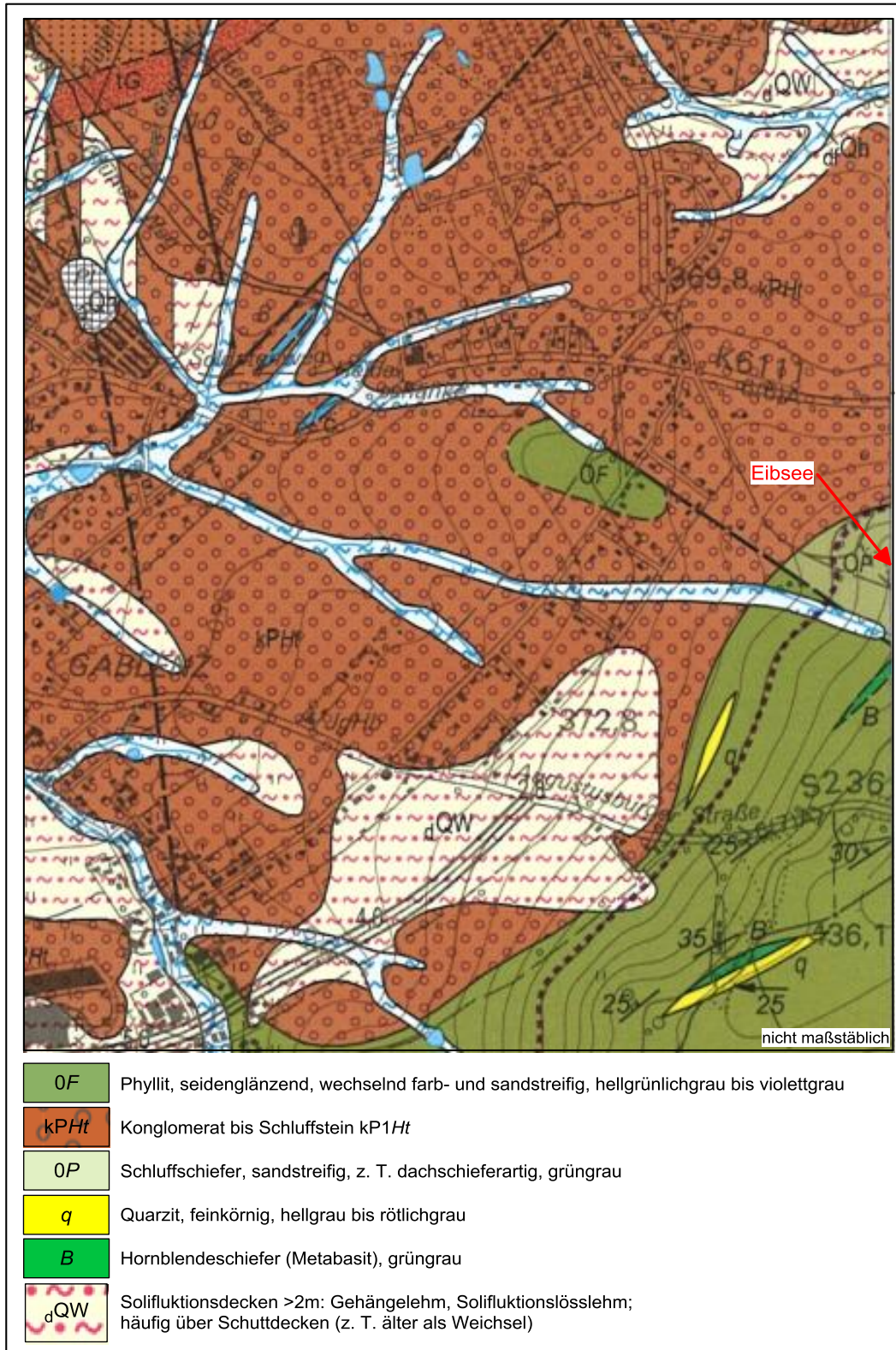


Abb. 2: Kartenausschnitt westlich des Eibsees (Quelle: Geologische Karte des Freistaates Sachsen, Blatt 5143 Chemnitz, Maßstab 1:25.000)

Projekt: B 107, Südverbund Chemnitz - A 4, VKE 323.1
 Bau-km 0+000 bis Bau-km 6+075
 hier: Gutachten zu den ergänzenden Untersuchungen zum geohydraulischen Modell
 NSG „Um den Eibsee“

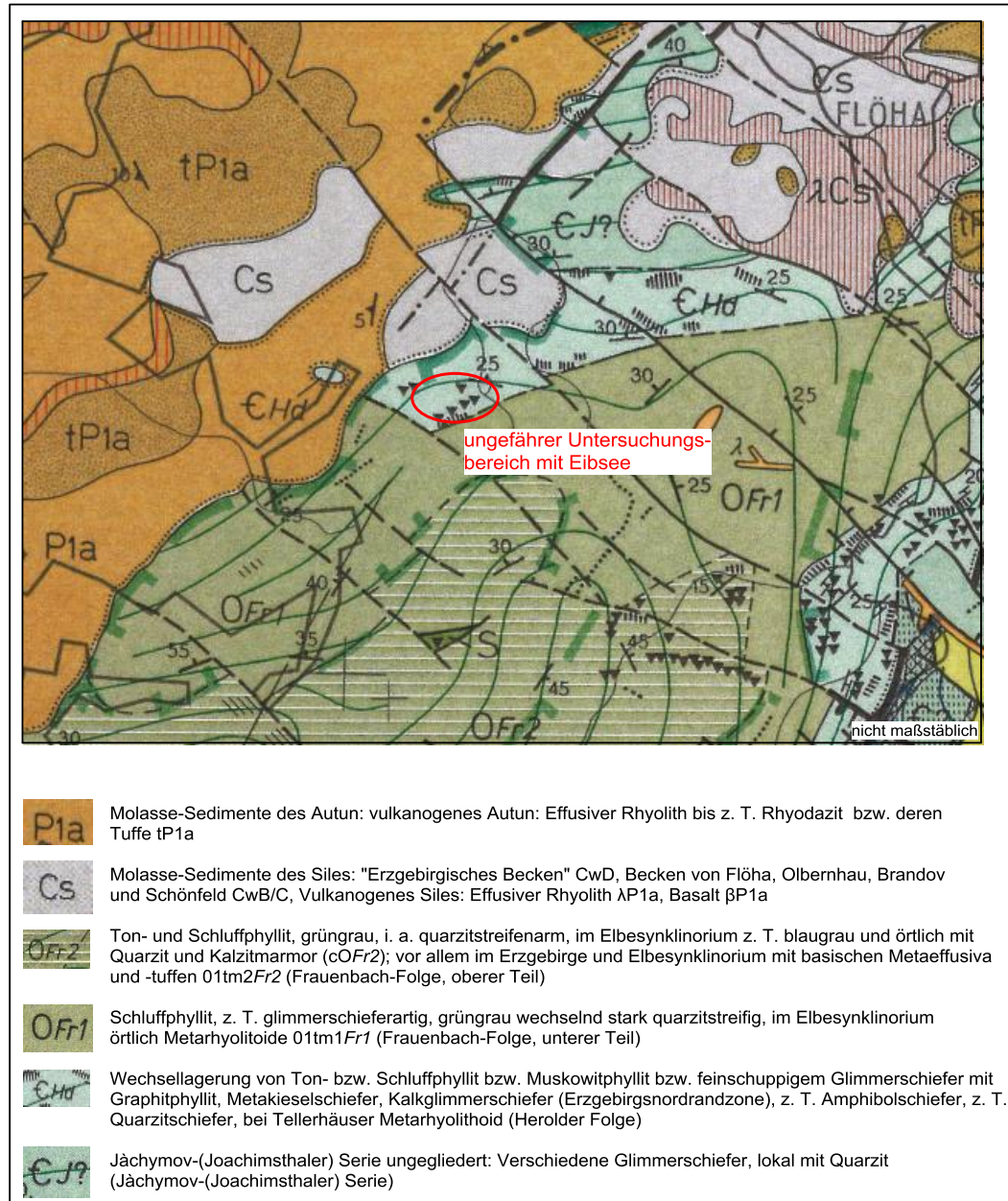


Abb. 3: Kartenausschnitt für den Bereich des Eibsees (ungefähre Lage) (Quelle: Geologische Karte Erzgebirge/Vogtland, Maßstab 1:100.000)

Aus den Abbildungen 2 und 3 ist erkennbar, dass der Bereich östlich des Eibsees durch Abtragungsprodukte während des Oberkarbons gekennzeichnet ist. Im nördlichen und westlichen Bereich können sich metamorphe Ablagerungen des Silurs über die Phyllite des Präkambriums geschoben haben. Die vereinfachte Darstellung erhebt natürlich keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Um tiefer in das Thema Geologie des Erzgebirges einzudringen, wird auf die o. g. Literatur verwiesen.

Projekt: B 107, Südverbund Chemnitz - A 4, VKE 323.1
 Bau-km 0+000 bis Bau-km 6+075
 hier: Gutachten zu den ergänzenden Untersuchungen zum geohydraulischen Modell
 NSG „Um den Eibsee“

Obwohl die Petrographie und Stratigraphie die Grundlagen der Betrachtungen bilden, soll nachfolgend die Darstellung der hydrogeologischen Verhältnisse im Mittelpunkt stehen, da sie die Voraussetzung zur Beantwortung der wasserhaushaltlichen Fragestellungen sind.

Entsprechend der genannten Kartenwerke verläuft die Grenze zwischen den Abtragungsprodukten Molasse und Schluffschiefer und dem Phyllitkomplex durch das Naturschutzgebiet „Um den Eibsee“ (Abb. 2 und 3, **Anlage 2**). Demzufolge sind die geologischen Verhältnisse nördlich und westlich des Eibsees (Molasse) durch Sedimente des Rotliegenden des Erzgebirgsbeckens bestimmt, die entsprechend SEBASTIAN (2013) aus Sandsteinen und Konglomeraten bestehen und zum Hangenden und zum Beckenzentrum zunehmend Ton- und Schluffstein aufweisen.

Während die Sedimente des Rotliegenden (Molasse) vorwiegend terrestrischen Ursprungs sind, bestehen nordöstlich des Gebietes lagernde Schluffschiefer aus marinen Ablagerungen, die durch erhöhten Druck und durch erhöhte Temperaturen zu Schiefer umgewandelt wurden (SEBASTIAN 2013) .

Letztlich gehört der südlich vorhandene Phyllitkomplex zu den schiefrigen Außenschalen des erzgebirgischen Gneiskomplexes, der auf den Schluffschiefer (Flysch) geschoben wurde. Anschaulich sind die Verhältnisse in SEBASTIAN (2013) dargestellt (Abb. 4).

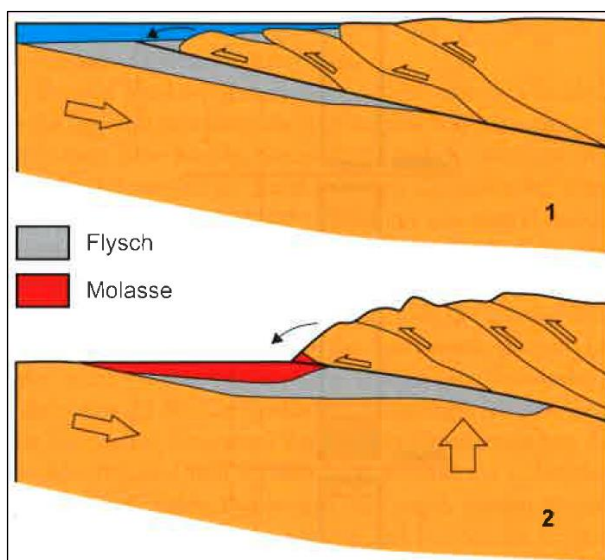


Abb. 4: Flysch: Sedimentation in tiefen Rinnen vor der Deckenstirn; Molasse: Auffüllung der Vor-senke mit Abtragungsschutt aus dem aufsteigenden Gebirge (Quelle: SEBASTIAN 2013)

Projekt: B 107, Südverbund Chemnitz - A 4, VKE 323.1
Bau-km 0+000 bis Bau-km 6+075
hier: Gutachten zu den ergänzenden Untersuchungen zum geohydraulischen Modell
NSG „Um den Eibsee“

Aus Abb. 4 wird deutlich, dass die Sedimente des Flysches bereits vor der Bewegung des Phyllitkomplexes abgetragen, abgelagert und danach umgewandelt wurden. Die Ablagerung der Sedimente der Molasse erfolgte dagegen erst nach der Bewegung und es trat keine dominante Metamorphose ein.

Aus den recherchierten Unterlagen konnten keine Störungen von regionaler Bedeutung entnommen werden, welche die unterirdischen Abflussverhältnisse entscheidend beeinflussen. Allgemein kann nicht ausgeschlossen werden, dass im tieferen Untergrund in den Formationen möglicherweise grundwasserführende Kluftbereiche bzw. Schichten vorhanden sind. Diese eventuell vorhandenen Grundwasserleiter sind jedoch nicht Gegenstand der Betrachtung, da sowohl die Tiefe des Einschnittes der Trasse als auch die Tiefe des Eibsees nicht mehr als 12 m beträgt (Abb. 5) und keine Grundwasserleiter in dieser Tiefe angeschnitten wurden.

Erste Erkenntnisse über oberflächennahe Lagerungsverhältnisse am Ostrand des Gebietes wurden durch die Auswertung des geoelektrischen Profils in (BÜRO FÜR HYDROLOGIE UND BODENKUNDE GERT HAMMER 2018) gewonnen. In den **Anlagen 4.1** sowie **4.2** sind die Lage des geoelektrischen Profils sowie die spezifischen elektrischen Widerstände des Untergrundes entsprechend der Wenner- und Dipol-Dipol-Anordnung dargestellt.

Aus der für oberflächennahe Messungen geeigneten Wenner-Anordnung wird deutlich, dass 1 m bis 2 m unter Gelände eine Zersatzzone existiert, die geringe Widerstände (R) und einen höheren Feuchtigkeitsgehalt besitzen muss. Am südlichen Bereich des Profils sind auch hohe Widerstände an der Oberfläche erkennbar. Die Widerstände (R) können mit der Aufschichtung des Phyllits (mit großen Widerständen) über den Schluffschiefer (mit sehr geringen Widerständen) erklärt werden (siehe Abb. 4).

Deutlicher werden diese Lagerungsverhältnisse aus der Darstellung des Profils im Süden entsprechend der Dipol-Dipol-Anordnung (**Anlage 4.2**) für tiefere Schichten. Die niedrigen Widerstände unter 100 Ω m lassen auf Sedimente mit hohen Tongehalten schließen.

Im nördlichen Bereich des Profils ist sowohl in der Wenner- als auch in der Dipol-Dipol-Anordnung ein gestörter Bereich mit sehr hohen Widerständen erkennbar. Hier befindet sich entsprechend der Geologischen Karte Erzgebirge/Vogtland, Maßstab 1:100.000 eine Schichtgrenze zwischen dem Schluffschiefer und der Molasse.

Weitere Datengrundlagen bildeten die Bohrerergebnisse und Wasserstände im geotechnischen Bericht (HARTIG & INGENIEURE 2009) im Bereich des geplanten Einschnittes östlich des

Projekt: B 107, Südverbund Chemnitz - A 4, VKE 323.1
Bau-km 0+000 bis Bau-km 6+075
hier: Gutachten zu den ergänzenden Untersuchungen zum geohydraulischen Modell
NSG „Um den Eibsee“

Naturschutzgebietes. Während des Niederbringens dieser Aufschlüsse wurde kein Wasser vorgefunden. Erst nach einem Tag konnte Wasser in den Messstellen nachgewiesen werden. Außerdem führten der durchgeführte Slug-Test (Kurztest in Situ zur Durchlässigkeit) zu Durchlässigkeitsbeiwerten von $4 \cdot 10^{-6}$ m/s. Somit wäre der Grundwasserabfluss pro m² bei einem Gefälle von 0,5 % 5 bis 10 l/Tag.

Um weitere Aussagen über die Abflussverhältnisse im Naturschutzgebiet zu erhalten, wurden in den Sommermonaten im Jahr 2017 insgesamt 5 Erkundungsbohrungen im östlichen und nördlichen Teil des Naturschutzgebietes niedergebracht (BÜRO FÜR HYDROLOGIE UND BODENKUNDE GERT HAMMER 2018) (GWM 4 (alt: GWM 5), GWM 5 (alt: GWM 2), GWM 6 (alt: GWM 1) sowie B 2 (alt: GWM 3) und B 3 (alt: GWM 4)) (**Anlage 1**). In den Bohrungen wurde Wasser auch erst nach einem Tag Standzeit festgestellt. Dabei floss das Wasser aus den oberen Schichten zu. Im Weiteren erfolgte an 3 Standorten der Ausbau zu Grundwassermessstellen (GWM 4, GWM 5 und GWM 6), um von August bis Oktober 2017 die Wasserstände kontinuierlich im Intervall von 1 Stunde zu messen.

Die an den Messstellen GWM 5 und GWM 6 gemessenen Wasserstände (BÜRO FÜR HYDROLOGIE UND BODENKUNDE GERT HAMMER 2018) von August bis Oktober 2017 schwankten sehr stark. An der Messstelle GWM 4 an der Eubaer Straße blieb der Wasserstand dagegen konstant.

Um Aussagen über den Wasserhaushalt östlich des Naturschutzgebietes im Bereich der Trasse zu erhalten, wurden 4 weitere Bohrungen bis in eine Tiefe von 3 m niedergebracht (GWM 1, GWM 2, GWM 3, B 1 in **Anlage 1**). Drei davon wurden zu temporären Grundwassermessstellen ausgebaut (GWM 1, GWM 2, GWM 3). Weiterhin wurden die Lagen und Höhen der Grundwassermessstellen GWM 1, GWM 2, GWM 3, GWM 4, GWM 5, GWM 6 sowie der Bohrungen B 1, B 2 und B 3 vermessen (Tab. 2).

Projekt: B 107, Südverbund Chemnitz - A 4, VKE 323.1
 Bau-km 0+000 bis Bau-km 6+075
 hier: Gutachten zu den ergänzenden Untersuchungen zum geohydraulischen Modell
 NSG „Um den Eibsee“

Grundwasser- messstellen	Rechtswert	Hochwert	Geländehöhe [m ü. NHN]
<i>Büro für Hydrologie und Bodenkunde Gert Hammer (2018) und zusätzliche Erkundungsbohrungen 2019</i>			
GWM 1	358680	5633036	379,61
GWM 2	358856	5632953	383,18
GWM 3	358946	5632915	386,30
GWM 4	359341	5633027	387,68
GWM 5	359599	5632930	400,26
GWM 6	359653	5632862	405,04
B 1	359022	5632847	397,55
B 2	359605	5632726	417,64
B 3	359311	5632688	425,39
<i>Hartig & Ingenieure (2009)</i>			
KB2 (GWM)	358882	5632938	389,44
GWM 2	358779	5632986	384,18
GWM 3	358781	5632929	384,53
GWM 4	358830	5632853	387,42
GWM 5	358968	5632858	395,42
GWM 6	358948	5633042	389,64
GWM 7	358887	5633024	387,91

Tab. 2: Koordinaten und Geländehöhen [m ü. NHN] der Grundwassermessstellen und Erkundungsbohrungen (Quellen: Hartig & Ingenieure 2009; Büro für Hydrologie und Bodenkunde Gert Hammer 2018)

Die Standorte GWM 1 bis GWM 5 der Untersuchungen aus dem Jahr 2017 (BÜRO FÜR HYDROLOGIE UND BODENKUNDE GERT HAMMER 2018) wurden zur Eingliederung in die ergänzenden Untersuchungen 2019 umbenannt (Tab. 3, **Anlage 1**).

Untersuchungen 2017	Untersuchungen 2019
GWM 1	GWM 6
GWM 2	GWM 5
GWM 3	B 2
GWM 4	B 3
GWM 5	GWM 4

Tab. 3: Bezeichnung der Grundwassermessstellen in den Untersuchungszeiträumen 2017 und 2019

An den Messstellen GWM 1, GWM 2, GWM 3, GWM 5, GWM 6 sowie an der Messstelle GWM 3 (aus HARTIG & INGENIEURE 2009) (**Anlage 1**) wurden mit Hilfe von Datenloggern (Diver, vanEssen Instruments, 2019) die Wasserstände sowie Wassertemperaturen kontinuierlich vom 09.03.2019 bis zum 24.05.2019 ermittelt.

Projekt: B 107, Südverbund Chemnitz - A 4, VKE 323.1
Bau-km 0+000 bis Bau-km 6+075
hier: Gutachten zu den ergänzenden Untersuchungen zum geohydraulischen Modell
NSG „Um den Eibsee“

Zum Verständnis der Ergebnisse der Wasserstandmessungen in Bezug auf die hydrogeologischen Verhältnisse werden zunächst die klimatologischen Parameter von Niederschlag, Lufttemperatur, Sonnenscheindauer und Luftfeuchtigkeit von Januar bis Mai 2019 betrachtet.

4 Meteorologische Verhältnisse im Zeitraum von Januar bis Mai 2019

In den **Anlagen 7.1** bis **7.4** sind die Tageswerte des Niederschlags, der Lufttemperatur, der Sonnenscheindauer und der Luftfeuchtigkeit der Station Chemnitz (Quelle: <https://cdc.dwd.de/portal/>, DWD - Deutscher Wetterdienst, Station Chemnitz, ID 853) von Januar bis Mai 2019 abgebildet.

Aus der Darstellung der täglichen Niederschlagswerte (**Anlage 7.1**) wird deutlich, dass im Januar relativ hohe Niederschlagsmengen mit Spitzenwerten über 15 mm/Tag gefallen sind. Deutlich weniger Niederschlag fiel dagegen im Februar, während im März wieder Spitzenwerte von über 10 mm/Tag auftraten. In den ersten Wochen im April fielen dagegen fast keine Niederschläge. Werte über 10 mm/Tag wurden erst wieder Ende April sowie im Mai erreicht. Als Ergebnis kann festgestellt werden, dass in den Monaten Januar, März und Mai relativ viel Niederschlag fiel, während in den Monaten Februar und April Trockenperioden überwogen.

Die Lufttemperatur (**Anlage 7.2**) wurde im Januar 2019 an der Station Chemnitz durch Minus-Werte oder Werte, die wenige Grad über Null lagen, charakterisiert. Damit fiel der überwiegende Teil der Niederschläge in diesem Monat in fester Form und führte zur Ausbildung einer Schneedecke. Von Februar bis Mitte März stiegen die Temperaturen kontinuierlich bis auf 8°C an, sodass in dieser Periode Schneeschmelze auftrat und ein großes Wasserdargebot vorhanden war. Neben dem durch die Schneeschmelze entstandenen Wasser führten die Niederschläge im März 2019 zur weiteren Erhöhung des Dargebotes. Im Zeitraum von März bis Mitte April blieb die Lufttemperatur tendenziell konstant. Erst Ende April setzte wieder eine Zunahme ein, sodass die durchschnittlichen Temperaturen Ende Mai 15°C erreichten.

Neben der Ganglinie der Lufttemperatur bilden die dargestellten Ganglinien der täglichen Sonnenscheindauer (**Anlage 7.3**) sowie der Luftfeuchtigkeit (**Anlage 7.4**) die Grundlage zur Berechnung der potenziellen Verdunstung nach Turc/Ivanov (DYCK & PESCHKE 1995). Entsprechend des Verfahrens konnten, wie bei der Ganglinie der täglichen Lufttemperatur,

Projekt: B 107, Südverbund Chemnitz - A 4, VKE 323.1
Bau-km 0+000 bis Bau-km 6+075
hier: Gutachten zu den ergänzenden Untersuchungen zum geohydraulischen Modell
NSG „Um den Eibsee“

Phasen mit tendenziell konstanten sowie stetig steigenden Werten festgestellt werden (**Anlage 8**). Obwohl die Beträge schwanken, wurde als Trend bis Februar eine konstante Verdunstung von 0,75 mm/Tag ermittelt. Eine Erhöhung des Trends auf tägliche Werte von 2 mm trat bis Mitte April auf. Eine weitere Erhöhung auf 3 mm/Tag erfolgt im Mai 2019.

5 Ganglinien der Grundwasserstände von März bis Mai 2019

Die in den **Anlagen 9.1 bis 9.6** dargestellten Ganglinien der gemessenen Wasserstände an den einzelnen Grundwassermessstellen zeigen unterschiedliche Verläufe. Diese Unterschiede resultieren primär aus der Lage der Messstellen. Die Messstellen GWM 1 bis GWM 3 sowie die Messstelle GWM 3 (aus HARTIG & INGENIEURE 2009) befinden sich in unmittelbarer Nähe der geplanten Fahrbahn der B 107 (**Anlage 1**), wo Molasse verbreitet ist (**Anlage 2**). An den Messstellen GWM 5 und GWM 6 am östlichen Rand des Naturschutzgebietes bestimmt dagegen Schluffschiefer mehr oder weniger die geologischen Verhältnisse. Die Ganglinien dieser beiden stratigrafischen Bereiche unterscheiden sich deutlich (Vergleich der **Anlagen 9.1, 9.3, 9.6** und **9.4, 9.5**).

Die Ganglinien der Wasserstände in den Messstellen im Bereich der Molasse GWM 1, GWM 3 und GWM 3 (aus HARTIG & INGENIEURE 2009) sind in den Darstellungen durch abfallende Verläufe bis Mitte April sowie einer relativ gleichbleibenden Entwicklung bis zum Ende der Untersuchungsperiode gekennzeichnet. An den Messstellen GWM 1 und GWM 3 tritt nach dem Rückgang des Wasserdargebotes ab Mitte April Wasser nur noch zeitweise auf. Die Ganglinie an der Messstelle GWM 3 (aus HARTIG & INGENIEURE 2009) zeigt bis Mitte April ebenfalls den steilen Abfall nachfolgend den konstanten Verlauf. Von dieser Tendenz weicht allerdings die Ganglinie an der Messstelle GWM 2 ab, welche sich ebenfalls im Bereich der Molasse befindet. Der Wasserstand an dieser Messstelle wird durch Oberflächenabfluss bis März sowie durch die Niederschläge im Mai 2019 bestimmt. Die GWM 2 befindet sich unmittelbar an einem Graben zur oberirdischen Entwässerung und wird damit entscheidend durch dessen Abfluss beeinflusst.

Ein wesentliches Auswertungsergebnis der Ganglinien der Messstellen im Bereich der Molasse (GWM 1, GWM 3 und GWM 3 (aus HARTIG & INGENIEURE 2009)) ist, dass die Wasserstände durch das Dargebot von Niederschlag abzüglich der Verdunstung bestimmt werden.

Projekt: B 107, Südverbund Chemnitz - A 4, VKE 323.1
Bau-km 0+000 bis Bau-km 6+075
hier: Gutachten zu den ergänzenden Untersuchungen zum geohydraulischen Modell
NSG „Um den Eibsee“

Eine dominante Grundwasserbewegung mit Durchlässigkeitswerten von $4 \cdot 10^{-6}$ m/s (Slug-Test von HARTIG & INGENIEURE 2009) ausgeschlossen werden.

Die obersten Bodenschichten aus Mutterboden und Lößlehm stellen, wie RICHTER (1986) schrieb, einen Wasserspeicher dar, der bei größerem Wasserdargebot, wie im Januar und Februar 2019, gefüllt war. Mit einsetzender Verdunstung im März entleerte sich dieser Speicher, so dass ab April in den Messstellen nur noch gleichbleibende oder keine Wasserstände auftraten (GWM 1, GWM 3, GWM 3 (aus HARTIG & INGENIEURE 2009). Aufgrund des höheren Feuchteangebotes konnte Bodenwasser nur noch im Bereich der Gräben mit Oberflächenabfluss nachgewiesen werden (GWM 2).

Bestätigt wird diese Aussage durch die Ganglinien der gemessenen Wassertemperaturen (**Anlage 10.1**) im Vergleich mit der gemessenen Lufttemperatur (DWD, Station Chemnitz) sowie Bodenlufttemperatur in der GWM 6 (**Anlage 10.2**). Die Ganglinien der Wassertemperaturen an den Messstellen GWM 1, GWM 3 und GWM 3 (aus HARTIG & INGENIEURE 2009) pulsieren ebenfalls wie die täglichen Werte der Luft- und Bodenlufttemperatur in der GWM 6. Damit handelt es sich in den Messstellen um Niederschlag, der recent in den Boden eingedrungen ist. Grundwasser im Untergrund nimmt die gleichbleibende Temperatur des Gesteines ein, was hier nicht der Fall ist.

Damit können 3 Schlussfolgerungen gezogen werden:

1. Es existiert kein Grundwasserleiter im oberen Bereich der Molasseschichten. Die Schichten können entsprechend der Durchlässigkeit (Slug-Test, HARTIG & INGENIEURE 2009) als Grundwassergeringleiter betrachtet werden.
2. Der gefallene Niederschlag fließt entweder an der Oberfläche ab oder füllt den Bodenspeicher. Die Entleerung dieses Speichers wird dominant durch Verdunstung erreicht.
3. Der Bodenspeicher besitzt eine geringe Kapazität und ist nicht tiefgründig, da bei größeren Verdunstungswerten an den Messstellen GWM 1, GWM 3 und GWM 3 (aus HARTIG & INGENIEURE 2009) eine vollständige Entleerung erfolgte.

Die 3. Schlussfolgerung soll nachfolgend durch die Darstellung der Füllzustände des Bodenspeichers an der GWM 3 (aus HARTIG & INGENIEURE 2009) in Folge der Niederschläge und Verdunstung im Zeitraum von Januar bis Mai 2019 erläutert werden.

Projekt: B 107, Südverbund Chemnitz - A 4, VKE 323.1
 Bau-km 0+000 bis Bau-km 6+075
 hier: Gutachten zu den ergänzenden Untersuchungen zum geohydraulischen Modell
 NSG „Um den Eibsee“

Der Bodenspeicher an dieser Messstelle, bestehend aus durchwurzelter Mutterboden und Lößlehm, besitzt eine Mächtigkeit von ca. 0,4 m und eine entwässerbare Porosität von 0,15 (HÖLTING & COLDEWEY 2009). Daraus kann ein Speichervolumen von $0,06 \text{ m}^3/\text{m}^2$ ermittelt werden. Es wird weiter angenommen, dass dieser Speicher ausschließlich durch Niederschläge gefüllt und durch Verdunstung entleert wird (**Anlagen 7.1 und 8**).

Aus der Ganglinie des Füllungszustandes des Speichers (Abb. 5) wird deutlich, dass am 12.01.2019 die volle Füllung des Speichers ($0,06 \text{ m}^3/\text{m}^2$) erreicht war. Danach ist kein weiterer Zufluss möglich. Der gesamte nachfolgend gefallene Niederschlag fließt an der Oberfläche ab. Mit Überwiegen der Verdunstung Ende März 2019 (**Anlage 8**) wird der Bodenspeicher entleert (Abb. 5), so dass Mitte April die vollständige Entleerung erreicht ist. Die Korrektheit der Annahme des Speicherkonzeptes wird durch das nahezu proportionale Verhalten der synthetisch entwickelten Ganglinie des Speicherfüllzustandes (Abb. 5) und der Ganglinie des Wasserstandes der GMW 3 (aus HARTIG & INGENIEURE 2009) (**Anlage 9.6**) bestätigt.

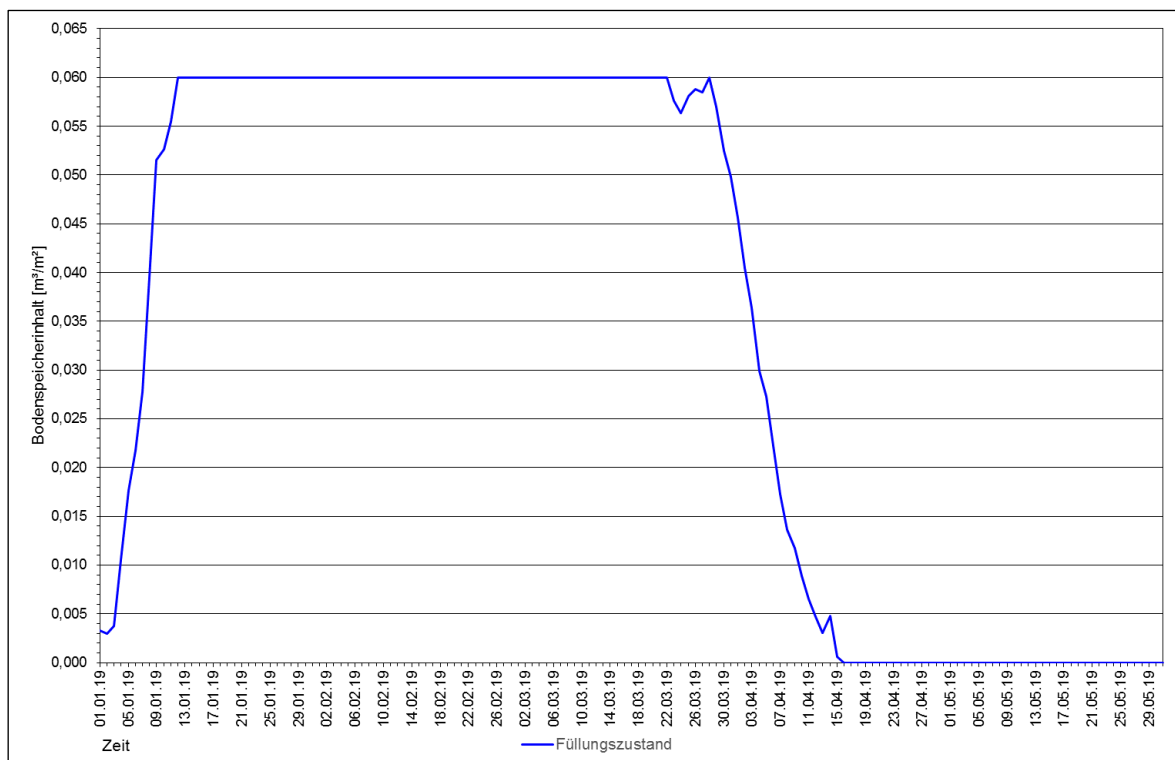


Abb. 5: Ganglinie des Füllungszustandes des Bodenspeichers am Beispiel der GWM 3 (aus HARTIG & INGENIEURE 2009)

Projekt: B 107, Südverbund Chemnitz - A 4, VKE 323.1
Bau-km 0+000 bis Bau-km 6+075
hier: Gutachten zu den ergänzenden Untersuchungen zum geohydraulischen Modell
NSG „Um den Eibsee“

An den Grundwassermessstellen GWM 1, GWM 2, GWM 3 und GWM 3 (aus HARTIG & INGENIEURE 2009) wurde von einer geringen Kapazität des Bodenspeichers im Gebiet der Molasse ausgegangen. Die Ganglinien der GWM 5 und GWM 6 im Bereich des Schlufsschiefers weisen dagegen auf ein größeres Speichervolumen im Boden hin. Durch die Ergebnisse der Bohrungen sowie der geoelektrischen Erkundungen wurden Tiefen der Zersatzzone von 1 m bis 1,5 m festgestellt. In diesem Fall wäre keine Sättigung des Bodenspeichers möglich. Die Wasserstände besitzen immer einen gewissen Abstand zum Gelände, somit kann die Verdunstung nur in abgeschwächter Form wirksam sein. Die Ganglinien in den **Anlagen 9.4** und **9.5** (gemessene Wasserstände in den GWM 5 und GWM 6) spiegeln die Verhältnisse wider. Ein völliges Leerlaufen des Speichers ist aus den Ganglinien nicht erkennbar, da keine konstanten Wasserstände auftraten. Wenn die Wasserstände eine gewisse Tiefe erreicht haben, nimmt die Verdunstung ab, so dass bei längeren Trockenperioden ein quasistationärer Zustand auftritt.

Bestätigt werden diese Verhältnisse durch die Ganglinien der Wassertemperatur an beiden Messstellen (**Anlage 10.1**). Die Ganglinien der Wassertemperaturen der GWM 5 und GWM 6 spiegeln die Lufttemperaturen in gedämpfter Form wider. Die Wassertemperaturen werden stärker von dem Gestein in größerer Tiefe beeinflusst. Besonders deutlich ist diese Konstellation an der Messstelle GWM 6 zu erkennen. Hier liegt der Wasserstand mit 2 bis 3 m tief unter Gelände, demzufolge tritt die größte Temperaturbeeinflussung durch das Gestein auf, was den geringsten Temperaturgradienten zur Folge hat.

Allerdings ist die Verwitterungszone des Schlufsschiefers durchlässiger als der Boden über der Molasse. Besonders an der GWM 6, dem Übergangsbereich von Phyllit und Schlufsschiefer, wurden im März 2019 besonders heftige und kurze Veränderungen des Wasserspiegels beobachtet, welche nicht nur durch Niederschlag und einsetzende Verdunstung begründet werden können. Hier muss eine gute Wasserwegsamkeit vorhanden sein, so dass Zu- und Abfluss möglich ist.

6 Zusammenfassung der Abflussverhältnisse entsprechend der gemessenen Ganglinien

Im Ergebnis der hydrogeologischen und wasserhaushaltlichen Untersuchungen sowie durch die Wasserstand- und Temperaturmessungen im 1.Quartal 2019 konnte nachgewiesen werden, dass der Abfluss nahezu vollständig auf der Oberfläche sowie oberflächennah erfolgt.

Projekt: B 107, Südverbund Chemnitz - A 4, VKE 323.1
Bau-km 0+000 bis Bau-km 6+075
hier: Gutachten zu den ergänzenden Untersuchungen zum geohydraulischen Modell
NSG „Um den Eibsee“

Nur im Verwitterungsbereich des Schlufschiefers ist eine ausgeprägtere Fließbewegung (Interflow) unterirdisch in Richtung des Talsperrenbaches vorhanden. Grundwasserabfluss im eigentlichen Sinn konnte nicht nachgewiesen werden. Auch der ca. 10 m tiefe ehemalige Steinbruch zum Abbau von Phyllit und heutiger Eibsee (Abb. 5) im Naturschutzgebiet „Um den Eibsee“ ist mit Oberflächen- und oberflächennahen Wasser gefüllt.



Abb. 6: Eibsee mit anstehendem Phyllit

Aufgrund des stark wechselnden Oberflächenabflusses sowie oberflächennahen Abflusses schwanken die Wasserstände im Eibsee stark. In der Trockenperiode im Sommer 2018 besaß er gemäß Aussage der Geschäftsführerin des Natur-Hofes Chemnitz nahezu kein Wasser.

Östlich ist das Untersuchungsgebiet durch Molasse gekennzeichnet. In dem Bereich besitzen die obersten Schichten Speichereigenschaften. Dieser Speicher wird durch Niederschlag gefüllt und durch Verdunstung entleert. Er besitzt allerdings eine begrenzte Kapazität, so dass ein großer Teil des fallenden Niederschlages an der Oberfläche abfließt.

Aufgrund der geringen Durchlässigkeit des Grundwassergeringleiters kann von keiner dominanten Fließbewegung im Boden gesprochen werden.

Der Einschnitt der geplanten Fahrbahn der B 107 sowie auch der Abschnitt des Einzugsgebietes des Grundbaches befinden sich im Bereich des Molassekomplexes. Unterirdische Abflüsse sind demzufolge sekundär. Das Gebiet wird durch Oberflächenabfluss bestimmt, wie die vielen vorhandenen Gräben im Naturschutzgebiet verdeutlichen.

Projekt: B 107, Südverbund Chemnitz - A 4, VKE 323.1
Bau-km 0+000 bis Bau-km 6+075
hier: Gutachten zu den ergänzenden Untersuchungen zum geohydraulischen Modell
NSG „Um den Eibsee“

Um Aussagen über die Abflussmengen zu erhalten, sollen durch geohydraulische und wasserhaushaltliche Modellierung die Prozesse nachvollzogen werden. Allerdings beinhalten die Berechnungen einen gewissen Unsicherheitsgrad, da der Füllzustand des Bodenspeichers eine entscheidende Größe darstellt, die von einer Reihe schwer zu erfassender Faktoren abhängig ist.

7 Bestimmung der Abflussmengen durch geohydraulische und hydrologische Modellierung

7.1 Angewendetes Modell

Unter geohydraulischer Modellierung versteht man die Nachbildung von unterirdischen Strömungsvorgängen im Bereich der gesättigten und ungesättigten Bodenzone, mit der wesentliche (realitätsnahe) Eigenschaften widerspiegelt werden können. Ziel der Modellierung ist es, die Wirkung von Eingriffen in ein System zu prognostizieren und Bilanzen zu erstellen, um entsprechend optimale Maßnahmen ableiten zu können. Modelle zur Erfassung der unterirdischen Strömung beruhen auf der Lösung von Differenzial- bzw. Differenzgleichungen, basierend auf den Beziehungen von DARCY und RICHARDS. Zur Lösung der partiellen Differenzialgleichungen werden in der Regel numerische Verfahren angewendet, die eine Orts- und Zeitdiskretisierung der Prozesse voraussetzen. Dabei können Werte für jeden Ort und für jeden Zeitpunkt in einem betrachteten Gebiet und in einem bestimmten Zeitraum ermittelt werden. Numerische Lösungsverfahren setzen voraus, dass das betrachtete Gebiet in Subräume (Zellen) diskretisiert wird und bestimmte Zeitintervalle zur Berechnung festgelegt werden. Für jede Zelle des Modellgebietes müssen die geohydraulischen Parameter Durchlässigkeit und Speicherkoeffizient bekannt sein. Die Wasserstände an den Schwerpunkten der Zellen (Netzknoten), die zur Berechnung miteinander gekoppelt sind, stellen die Unbekannten eines linearisierten Differentialgleichungssystems (System aus linearen Differenzgleichungen) dar. Zur Lösung des Gleichungssystems wurden unterschiedliche Verfahren entwickelt.

Zur Berechnung der Wasserstände und Abflüsse wurde das Programm MODFLOW–OWHM eingesetzt (HANSON et al. 2014). Die Anwendung dieses Programmes erfordert die Unterteilung eines Gebietes in Rechtecksubräume (rechteckige Zellen), für deren Schwerpunkte Wasserstände durch Lösung des Differenzgleichungssystems berechnet werden. Die Größe der Rechteckelemente kann dabei innerhalb eines Strömungsgebietes unterschiedlich

Projekt: B 107, Südverbund Chemnitz - A 4, VKE 323.1
Bau-km 0+000 bis Bau-km 6+075
hier: Gutachten zu den ergänzenden Untersuchungen zum geohydraulischen Modell
NSG „Um den Eibsee“

sein. Ebenso können vertikal mehrere unterschiedlich mächtige Ebenen (Modellschichten) betrachtet werden, die miteinander gekoppelt sind. Die rechteckigen Zellen des Netzwerks aus einem Modellgebiet werden in aktive und passive Zellen unterteilt. Die aktiven Zellen werden vom Grundwasser durchströmt. Die passiven Zellen gehören nicht zum Strömungsfeld. Demzufolge werden für sie keine Berechnungen durchgeführt. Für die zur Ermittlung der Wasserstände in den aktiven Zellen notwendige Lösung des Differenzengleichungssystems bietet das Programm MODFLOW-OWHM mehrere Verfahren an. Für den betrachteten Fall wurde die NEWTON-KRYLOW-Methode (KNOLL & KEYES 2004) angewendet. Sie hat insbesondere Vorteile bei der Betrachtung ungespannter Grundwasserströmungen, wenn einzelne Zellen infolge fallender Grundwasserstände temporär nicht durchflossen werden.

Um das Gleichungssystem lösen zu können, müssen bestimmte Randbedingungen bekannt sein. Bei Strömungsmodellen werden generell die Randbedingungen in 1. Art (bekannte Wasserstände), 2. Art (bekannte Zu- und Abflüsse) und 3. Art (Kombination aus 1. und 2. Art) unterteilt. Das Programm MODFLOW-OWHM besitzt eine Reihe von Packages (Module) zur Nachbildung des Grundwassermanagements sowie zur Nachbildung der Interaktion mit dem Oberflächenwasser, die auf den 3 Arten von Randbedingungen beruhen. Da mithilfe von MODFLOW-OWHM neben der Grundwasserströmung parallel hydrologische Prozesse (Niederschlag, Verdunstung, Bodenspeicher) sowie der Oberflächenabfluss hydraulisch nachvollziehbar sind, kann das Programm zum Management sowohl für Grund- als auch für Oberflächenwasser eingesetzt werden.

Zur Erfassung der Prozesse im Naturschutzgebiet mit dem vorhandenen Grabensystem und dem Eibsee wurden die Module STR, LAKE und UZF angewendet.

Mit dem Modul STR kann der Wasseraustausch zwischen Fließgewässer- und Bodenwasser nachvollzogen werden. Außerdem kann mit dem Programm die Fließbewegung im Oberflächengewässer mit Hilfe der kinematischen Welle nachempfunden und die Wasserstände im Boden sowie im Gewässer die Wasserstände und Abflusswerte ermittelt werden.

Das LAKE-Modul wird zur Nachbildung des Wasseraustausches zwischen Teichen und Grundwasser sowie zur Berücksichtigung des Niveauunterschiedes angewendet. Dabei wird nicht nur die Wasserbewegung durch die Gewässersohle, sondern auch der seitliche Wasseraustausch zwischen den einzelnen Modellschichten und den Teichen berücksichtigt. Durch Anwendung des Moduls können sowohl Grundwasserstände als auch Wasserstände in Seen bzw. Teichen berechnet werden. Notwendig für den Einsatz des Modules sind Angaben über die Durchlässigkeit der Teichsohlen sowie deren Geometrien. Die Berechnung der Wasserstände in stehenden Gewässern wird unter Beachtung der Niederschläge, der

Projekt: B 107, Südverbund Chemnitz - A 4, VKE 323.1
Bau-km 0+000 bis Bau-km 6+075
hier: Gutachten zu den ergänzenden Untersuchungen zum geohydraulischen Modell
NSG „Um den Eibsee“

Verdunstung sowie eventueller Zuflüsse bzw. der Entnahmen von Oberflächenwasser vorgenommen.

Das UZF-Modul erlaubt das Nachvollziehen der vertikalen Fließbewegung des Wassers in der ungesättigten Zone und die Berücksichtigung der Infiltration von Niederschlagswasser in den Boden, der Verdunstung von Wasser aus der ungesättigten Bodenzonen sowie aus dem Grundwasserleiter. Es liefert physikalisch begründete Aussagen zur Grundwasserneubildung und hat vor allem bei instationären (zeitlich variablen) Betrachtungen gegenüber anderen Verfahren den Vorteil, dass neben den atmosphärischen Prozessen die beeinflussenden Faktoren im Boden wie Durchlässigkeit und Grundwasserstände einbezogen werden. Außerdem kann man mit Hilfe des Moduls das Programm erkennen, ob die berechneten Grundwasserstände höher sind als das Geländeniveau. In diesem Fall kann das Grundwasser nicht weiter ansteigen und es entsteht Oberflächenabfluss. Da mit Hilfe des Moduls die Strömung in der ungesättigten Zone infolge von Gravitation und Saugspannung auf der Grundlage einer vereinfachten Form der RICHARDS-Gleichung (NISWONGER 2006) beschrieben wird, sind Werte für die hydraulischen Bodenparameter Porenvolumen, Wassergehalt bei Feldkapazität, nicht entwässerbarer Wassergehalt (unterhalb des permanenten Welkepunktes), vertikale Durchlässigkeit bei gesättigten Verhältnissen sowie Parameter zur Beschreibung des Zusammenhanges zwischen Saugspannung und Bodenwassersättigung bzw. Durchlässigkeit notwendig (BROOKS & COREY 1964).

7.2 Modellaufbau

Das Modellgebiet (**Anlage 6.1**) mit einer Fläche von ca. 1,35 km² wurde in 119 x 80 Zellen mit einer Größe von 15 m x 15 m unterteilt. Als Gebiet für die Berechnungen (aktive Zelle) der unterirdischen und oberirdischen Wasserbewegung sowie des Bodenwasserhaushaltes wurde das Naturschutzgebiet sowie die südlich angrenzenden Hänge angenommen (**Anlage 6.1**). Vertikal bildet das digitale Geländemodell die obere Grenze. Weiterhin erfolgte die Unterteilung in 2 Modellschichten. In der obersten Schicht finden die Prozesse des Bodenwasserhaushalts statt (Speicherfüllung, Verdunstung und Abfluss). Sie spiegeln die Auflockerungszone des Festgesteines sowie den Boden über der Molasse wider. Die Mächtigkeit der Schicht ist unterschiedlich. In Gebieten mit Schluffschiefer und Phyllit als Untergrund wurde

Projekt: B 107, Südverbund Chemnitz - A 4, VKE 323.1
 Bau-km 0+000 bis Bau-km 6+075
 hier: Gutachten zu den ergänzenden Untersuchungen zum geohydraulischen Modell
 NSG „Um den Eibsee“

von 1,2 m Mächtigkeit ausgegangen, während die Stärke des Bodens über der Molasse 0,5 m beträgt.

Die Durchlässigkeitswerte der obersten Schicht (Tab. 4, **Anlage 6.2**) sind von dem darunter liegenden Gestein abhängig. Durch die hydrogeologischen Untersuchungen wurden in Kontaktbereichen von Formationen besonders große Durchlässigkeiten festgestellt.

Formation	Durchlässigkeit [m/s]
Phyllit (außerhalb Kontaktzone)	$1 \cdot 10^{-9}$ (Grundwasserstauer)
Phyllit (innerhalb Kontaktzone)	$1 \cdot 10^{-5}$ bis $1 \cdot 10^{-9}$ (teilweise grundwasserleitend)
Schluffschiefer (außerhalb Kontaktzone)	$1 \cdot 10^{-9}$ (Grundwasserstauer)
Schluffschiefer (innerhalb Kontaktzone)	$1 \cdot 10^{-5}$ (Grundwasserstauer)
Sedimente der Molasse	$5 \cdot 10^{-6}$ bis $1 \cdot 10^{-9}$ (Grundwassergeringleiter bis Grundwasserstauer)

Tab. 4: Durchlässigkeitswerte der obersten Modellschicht

Die darunter lagernde 2. Schicht stellt mit einer Mächtigkeit von 15 m den obersten Teil des Festgesteines bzw. der Molasse dar, der keine dominanten grundwasserleitenden Eigenschaften besitzt. Es wurde durchgehend von einer Durchlässigkeit von $1 \cdot 10^{-8}$ m/s ausgegangen.

Neben den Parametern für das Modellgebiet sind Aussagen über den Wasseraustausch an den Rändern notwendig. Bestimmt wird dieser Austausch (**Anlage 6.3**) entsprechend der Durchlässigkeit der 1. Schicht. Infolge der hier vorhandenen geringen Durchlässigkeiten sind nachvollziehbare Ausflüsse nur am Ostrand zum Talsperrenbach möglich. Allgemein kann von sehr geringen Randzuflüssen bzw. -abflüssen im Boden gesprochen werden.

Nach Niederschlagsereignissen wird zunächst der Bodenspeicher gefüllt, danach erfolgt die Entleerung durch Verdunstung und Oberflächenabfluss. Zur Nachbildung der Prozesse wurden die Module UZF und STR des Programmes MODFLOW-OWHM angewendet.

Zur Nachbildung des Bodenspeichers benötigt das Modul UZF die hydrologischen Bodenparameter.

Projekt: B 107, Südverbund Chemnitz - A 4, VKE 323.1
 Bau-km 0+000 bis Bau-km 6+075
 hier: Gutachten zu den ergänzenden Untersuchungen zum geohydraulischen Modell
 NSG „Um den Eibsee“

	Boden über Molasse	Verwitterungs- zone im Kontaktbereich	Verwitterungs- zone außerhalb Kontaktbereich
Vertikale Durchlässigkeit bei Sättigung [m/s] KA5 (2005)	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-8}$
Wassergehalt bei Feldkapazität [-] KA5 (2005)	0,3	0,2	0,2
Wassergehalt am permanenten Welkepunkt [-] KA5 (2005)	0,15	0,1	0,1
Parameter von BROOKS & COREY (1964)	3,5	1,7	1,2

Tab. 5: *Hydraulische Bodenparameter*

Weiterhin benötigt das Modul die täglichen Werte für Niederschlag und Verdunstung (Kap. 4, **Anlagen 7.1** und **8**).

Wenn die Niederschlagsintensität größer ist als die vertikale Durchlässigkeit oder die Niederschlagsmenge größer als die Feldkapazität, entsteht Oberflächenabfluss, der entsprechend den in **Anlage 6.4** dargestellten Einzugsgebieten den Gräben zufließt.

Zur Nachbildung der Fließbewegung des Wassers in den Gräben wurde das STR-Modul mit Grabenbreiten von 3 m angewendet.

7.3 Modellvalidierung

Aufgrund der Unsicherheiten (DGM, inhomogene beeinflusste Böden) waren die Bestimmungen der Isohypsen bzw. Wassergehalte der Böden problembehaftet. Es wurde deshalb zunächst stationäre Rechnungen für die Verhältnisse im Januar 2019 durchgeführt. Zu diesem Zeitpunkt war der größte Teil der Böden wassergesättigt (**Anlage 12**). Im Rahmen der Genauigkeit des Digitalen Geländemodells (DGM) konnten bereits realistische Wasserstände ermittelt werden. Um Aussagen über abfließende Wassermengen zu erhalten, werden instationäre Rechnungen unter Berücksichtigung der Speichereigenschaften von Böden vorausgesetzt. Die entsprechenden Berechnungen zur Ermittlung von Wasserständen wurden mit dem Modul UZF des Programmes MODFLOW-OWHM mit den in Tab. 5 dargestellten Parametern vom 09.03.2019 bis 31.05.2019 durchgeführt. Für die Messstellen GWM 1, GWM 3, GWM 5, GWM 6 und GWM 3 (aus HARTIG & INGENIEURE 2009) sind die Ganglinien in den **Anlagen 11.1** bis **11.5** dargestellt.

Bei der Interpretation muss berücksichtigt werden, dass mit dem Modul UZF die vertikale Fließbewegung im Boden mit Hilfe der kinematischen Welle nachgebildet wird. Damit können

Projekt: B 107, Südverbund Chemnitz - A 4, VKE 323.1
Bau-km 0+000 bis Bau-km 6+075
hier: Gutachten zu den ergänzenden Untersuchungen zum geohydraulischen Modell
NSG „Um den Eibsee“

Rückstauerscheinungen des Wassers im Boden nicht dargestellt werden. Außerdem wird die Zelle bei vollständiger Entleerung des Speichers in eine passive Zelle umgewandelt. Auch durch später einsetzenden Niederschlag kann diese Zelle nicht wieder aktiviert werden, so dass der Wasserstand auf dem gleichen Niveau bleibt. Trotz der Einschränkungen konnten die Entleerungsvorgänge der Bodenspeicher mit hinreichender Genauigkeit widergespiegelt werden, so dass davon ausgegangen werden kann, dass die berechneten unter- und oberirdischen Abflüsse der Realität entsprechen (Kap. 6.3).

Die größten Probleme bei der Validierung bereitete die Quantifizierung der Verdunstung. Sie stellt den empfindlichsten Parameter dar, der die Speicherfüllung und damit den oberirdischen Abfluss entscheidend beeinflusst. Die Verdunstung an sich ist aber auch eine sehr komplexe Größe, welche von einer Reihe von Parametern abhängig ist, die nur schwer erfassbar sind.

Bei den Berechnungen wurde zunächst von den Beziehungen von TURC/IVANOV ausgegangen. Da es sich beim Untersuchungsgebiet um einen Südhang handelt, waren die bisher berechneten Verdunstungswerte zu klein, um die Speicherentleerung an den Messstellen GWM 1, GWM 3 und GWM 3 (aus HARTIG & INGENIEURE 2009) nachvollziehen zu können. Eine gute Anpassung (**Anlagen 11**) von gemessenen und berechneten Werten konnte mit dem Faktor 1,5 erreicht werden. Infolge der tiefgründigeren Zerrüttungszonen liegen die Wasserstände an den Messstellen GWM 5 und GWM 6 tiefer. Aus einem geringeren Temperaturgradienten in tieferen Bodenschichten resultiert eine geringe Verdunstung. Ab Wasserständen von ca. 2 m wurde die entsprechend nach TURC/IVANOV berechnete Verdunstung halbiert und damit eine gute Anpassung von gemessenen und berechneten Werten der Bodenspeicherentleerung an den Messstellen GWM 5 und GWM 6 erreicht.

7.4 Abflussbilanzen

Mit dem Modell wurden die täglichen Abflüsse im Einschnittbereich von Bau-km 0+600 bis Bau-km 1+100 durch unterirdischen Zufluss und Niederschlag für den Zeitraum vom 01.01.2019 bis 31.05.2019 ermittelt.

Außerdem konnten mit Hilfe des Modelles Aussagen über den Oberflächenabfluss in den Gräben bei einem Starkniederschlagsereignis mit 10-jährigem Wiederkehrintervall und 24 Stunden Dauer getroffen werden.

Projekt: B 107, Südverbund Chemnitz - A 4, VKE 323.1
Bau-km 0+000 bis Bau-km 6+075
hier: Gutachten zu den ergänzenden Untersuchungen zum geohydraulischen Modell
NSG „Um den Eibsee“

Letztlich wird der mittlere Zu- und Abfluss zum Eibsee dargestellt.

Um eine Aussage über die Art und Notwendigkeit einer Wasserhaltung für den Einschnittbereich zu erhalten, erfolgten die Berechnungen für den unterirdischen Zufluss, den oberirdischen Zufluss aus Niederschlag sowie dem nicht den Gräben zufließenden Oberflächenwasser. Aus **Anlage 13.2** wird deutlich, dass unterirdisch nur sehr kleine Mengen dem Einschnitt mit insgesamt **1,67 - 2,87 ml/s** bzw. **150 - 250 l/Tag** in Zeitraum vom 01.01.2019 bis 31.05.2019 zufließen. Wesentlich größer ist die dem Einschnitt oberflächlich zufließende Wassermenge von **1,36 l/s** bzw. **118 m³/Tag**.

Für das Starkniederschlagsereignis mit 10-jährigem Wiederkehrintervall und 24 Stunden Dauer sind die Abflüsse für die einzelnen Grabenabschnitte (Lage der Abschnitte in **Anlage 13.1**) in Tab. 6 (Scheitelabflüsse) und als Werte in der **Anlage 13.3** dargestellt. Daraus wird deutlich, dass die größten Abflüsse in den Abschnitten 1, 2, 3, 5 und 6 mit 449 l/s bis 724 l/s sowie im Grabenabschnitt 10 mit 326 l/s auftreten.

Grabenabschnitte	Scheitelabflüsse [m³/s]
Abschnitt 1	0,687
Abschnitt 2	0,639
Abschnitt 3	0,449
Abschnitt 5	0,724
Abschnitt 6	0,591
Abschnitt 8	0,128
Abschnitt 9	0,063
Abschnitt 10	0,326
Abschnitt 11	0,039
Abschnitt 12	0,269
Abschnitt 14	0,165
Abschnitt 17	0,103
Abschnitt 19	0,062
Abschnitt 22	0,382
Abschnitt 23	0,355
Abschnitt 24	0,232

Tab. 6: Scheitelabflüsse [m³/s] der Grabenabschnitte bei Starkniederschlagsereignis HQ10 und 24 Stunden Dauer (siehe Anlage 13.3)

Die Grabenabschnitte 22 und 23 weisen ebenfalls hohe Scheitelabflüsse auf. Sie besitzen jedoch keine Bedeutung für den Wasserhaushalt der Trasse der B 107, da sie in den Tal-sperrenbach entwässern.

Projekt: B 107, Südverbund Chemnitz - A 4, VKE 323.1
Bau-km 0+000 bis Bau-km 6+075
hier: Gutachten zu den ergänzenden Untersuchungen zum geohydraulischen Modell
NSG „Um den Eibsee“

Schlussfolgernd haben die stationären Berechnungen ergeben, dass zum Eibsee jährlich durchschnittlich ca. 1.100 m³ Oberflächenwasser bzw. oberflächennahes Wasser zufließen. Etwa die gleiche Menge an Wasser verdunstet, so dass nur ein sehr geringer Teil versickern kann.

8 Zusammenfassung

Es ist vorgesehen, die Bundesstraße B 107, Südverbund Chemnitz - A 4, VKE 323.1 (Bau-km 0+000 bis Bau-km 6+075) im Bereich des Naturschutzgebietes „Um den Eibsee“ zwischen Bau-km 0+600 und Bau-km 1+100 im Einschnitt zu verlegen.

Zur Erstellung der Planungsunterlagen sind Aussagen über den unterirdischen Wasseranrang sowie über den Oberflächenabfluss notwendig. Außerdem befindet sich die geplante Trasse in unmittelbarer Nähe des Naturschutzgebietes „Um den Eibsee“. In diesem Bereich mit dem Eibsee sowie auch in den benachbarten Einzugsgebieten des Talsperrenbaches sowie des Grundbaches dürfen keine Veränderungen des Abflusses durch die Baumaßnahme entstehen. Zum Nachweis wurden hydrogeologische, hydrologische und geoelektrischen Untersuchungen durchgeführt, Bohrungen niedergebracht sowie die Wasserstände teilw. im 1. bzw. 2. Quartal 2019 kontinuierlich gemessen.

Als Ergebnis dieser Untersuchungen wurde festgestellt, dass das Gebiet geologisch in die Hauptkomplexe Molasse, Schluffschiefer und Phyllit unterteilt werden kann und dass diese drei Hauptkomplexe Grundwassergeringleiter bis Grundwasserstauer darstellen. Die drei Hauptkomplexe nehmen weiterhin in den obersten Schichten entweder in der Auflockerungszone des Festgesteines bei Schluffschiefer und Phyllit oder in der oberen Bodenzone bei unterlagernder Molasse Niederschlagswasser auf. Mit Ausnahme der Kontaktzonen zwischen den Festgesteinen besitzen sowohl Auflockerungszonen als auch die Böden der Molasse geringe horizontale Durchlässigkeiten. Sie stellen deshalb Speicherschichten dar und gestatten nur eine geringe horizontale Wasserbewegung. Da diese Speicher nur eine geringe Kapazität besitzen, sind sie bei Niederschlagsereignissen sehr schnell mit Wasser gefüllt. Somit kann kein weiteres Wasser in den Boden eindringen, was zu verstärktem Oberflächenabfluss führt.

Die durch die Erkundung erhaltenen Ergebnisse bildeten die Grundlage zur Nachbildung der Prozesse mit Hilfe eines hydraulisch-hydrologischen Modelles. Als Ergebnis konnten daraus Abflussbilanzen für das unter- und oberirdische Wasser ermittelt werden.

Projekt: B 107, Südverbund Chemnitz - A 4, VKE 323.1
Bau-km 0+000 bis Bau-km 6+075
hier: Gutachten zu den ergänzenden Untersuchungen zum geohydraulischen Modell
NSG „Um den Eibsee“

Als weiteres wesentliches Ergebnis wurde festgestellt, dass der Wasseraustausch im Untersuchungsgebiet ausschlaggebend durch Niederschlag, Verdunstung und Oberflächenabfluss bestimmt wird. Der Abfluss im Boden besitzt nur eine geringe Bedeutung, da die Schichten gering bis nicht wasserleitend sind. Demzufolge fließen unterirdisch insgesamt unter Mittelwasserbedingungen dem Einschnitt nur 150 bis 250 l/Tag zu, während bei Hochwasserereignissen (HQ10) Oberflächenabflüsse über 600 l/s an mehreren Stellen die Fahrbahn queren können. In dem Fall sind entsprechende Durchlässe sowie Rückhaltemaßnahmen vorgesehen, so dass es zu keinem Rückstau und zu Veränderungen des Abflusses im Einzugsgebiet des Grundbaches kommen kann.

Auch eine Beeinflussung der Abflüsse im Naturschutzgebiet sowie der Zuflüsse zum Eibsee können durch die Baumaßnahme ausgeschlossen werden, da hier hauptsächlich Oberflächenabfluss bzw. oberflächennaher Abfluss vorhanden ist, der nicht veränderbar ist.

Fazit zur Planung der Entwässerung:

Durch die Messungen der Grundwasserstände sowie durch die Berechnungen der Abflussmengen wurde festgestellt, dass an den Böschungen von einer unterirdischen Abflussspende von 0,1 bis 0,2 l/Tag/m² ausgegangen werden kann. Es besteht deshalb keine Notwendigkeit einer Dichtungswand. Sinnvoll ist dagegen eine Sickerschicht, da die Oberflächenabflussspende durch den den Einschnitt erreichenden Niederschlag im Mittel 4 l/Tag/m² beträgt und im Hochwasserfall Scheitelabflussspenden bis 2 m³/Tag/m² auftreten.

Die Berechnungen zur Ermittlung der unterirdisch zufließenden Wassermengen wurden allerdings auf der Grundlage der Ergebnisse von lokalen Bohrungen durchgeführt. Nicht auszuschließen sind nicht erfasste Inhomogenitäten innerhalb der Molasse, die zu örtlichen Abweichungen führen. Während der Bauausführung ist deshalb die Betrachtung der hydrogeologischen Eigenschaften des Untergrundes notwendig.

Letztlich entsprachen die für das Einzugsgebiet der Trasse ermittelten Abflüsse in den Gräben für ein 10-jähriges Hochwasserereignis den zur Planung der Entwässerung angewendeten Werten („Erläuterungsbericht zur wassertechnischen Untersuchung, B 107 Südverbund Chemnitz - A 4, VKE 323.1“, Unterlage 18.1; Quelle: E-Mail der DEGES vom 24.10.2019).

Somit wird durch die durchgeführten Messungen und Berechnungen das Entwässerungskonzept bestätigt.

Projekt: B 107, Südverbund Chemnitz - A 4, VKE 323.1
Bau-km 0+000 bis Bau-km 6+075
hier: Gutachten zu den ergänzenden Untersuchungen zum geohydraulischen Modell
NSG „Um den Eibsee“

9 Literatur

- BEVEN, K.J. & KIRKBY, M.J. (1979): A physically based variable contributing area model of basin hydrology. - Hydrol. Sci. Bull., 24(1), S. 43 - 69.
- BROOKS, R. H. & COREY, A. T. (1964): Hydraulic Properties of Porous Media. - Hydrology Papers. - Colorado State University Fort Collins, Colorado.
- BÜRO FÜR HYDROLOGIE UND BODENKUNDE GERT HAMMER (2018): B 107, Südverbund Chemnitz - A 4, VKE 323.1, Geohydraulisches Modell NSG „Um den Eibsee“. - im Auftrag von: DEGES Deutsche Einheit Fernstraßenplanungs- und -bau GmbH, 17.01.2018.
- BÜRO FÜR HYDROLOGIE UND BODENKUNDE GERT HAMMER (2019): B 107, Südverbund Chemnitz - A 4, VKE 323.1, Ergänzende Untersuchungen zum geohydraulischen Modell NSG „Um den Eibsee“; Zwischenbericht. - im Auftrag von: DEGES Deutsche Einheit Fernstraßenplanungs- und -bau GmbH, 04.07.2019.
- DYCK, S. & PESCHKE, G. (1995): Grundlagen der Hydrologie. - Verlag für Bauwesen, 3. Auflage, Berlin.
- FISCHER, F. (1990): Das Rotliegende des ostthüringisch-vestsächsischen Raumes. - Dissertation, TU Bergakademie Freiberg, Freiberg, 1990.
- HANSON, R.T., BOYCE, S.E., SCHMID, WOLFGANG, HUGHES, J.D., MEHL, S.M., LEAKE, S.A., MADDOCK, THOMAS, III & NISWONGER, R.G. (2014): One-Water Hydrologic Flow Model (MODFLOW-OWHM): U.S. Geological Survey Techniques and Methods 6–A51, 120 p., <http://dx.doi.org/10.3133/tm6A51>.
- HARBAUGH, A. W. (2005): MODFLOW-2005, The U.S. Geological Survey Modular Groundwater Model - The Groundwater Flow Process. - USGS, U.S. Geological Survey Techniques and Methods 6-A16, 2005.
- HARTIG & INGENIEURE GESELLSCHAFT FÜR INFRASTRUKTUR- UND UMWELTPLANUNG (2009): Geotechnischer Bericht zur Baugrunduntersuchung - Hydrogeologie Bereich NSG „Um den Eibsee“. - hartig & ingenieure - Gesellschaft für Infrastruktur- und Umweltplanung, Chemnitz, 2009.
- HOYNINGEN-HUENE, J.V. (1981): Die Interzeption des Niederschlags in landwirtschaftlichen Pflanzenbeständen. - Schr. D. DVWK, Hamburg.
- HÖLTING, B. & COLDEWEY, W. G. (2009): Hydrogeologie - Einführung in die Allgemeine und Angewandte Hydrogeologie. - Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg, 2009.

Projekt: B 107, Südverbund Chemnitz - A 4, VKE 323.1
Bau-km 0+000 bis Bau-km 6+075
hier: Gutachten zu den ergänzenden Untersuchungen zum geohydraulischen Modell
NSG „Um den Eibsee“

- KA5 (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung. - Hrsg. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe und den geologischen Landesämtern in der Bundesrepublik Deutschland, 5. Auflage, Hannover 2005.
- KARRENBERG, H. (1981): Hydrogeologie der nichtverkarstungsfähigen Festgesteine. - Hrsg. Springer Verlag, Wien, 1981.
- KNOLL, D.A. & KEYES, D.E. (2004): Jacobian-free Newton-Krylov methods: a survey of approaches and applications: Journal of Computational Physics, 193, issue 2, p. 357-397.
- KNÖDEL, K., KRUMMEL, H. & LANGE, G. (Eds.)(1997): Handbuch zur Erkundung des Untergrundes von Deponien und Altlasten. - Bd. 3, Geophysik, Springer-Verlag.
- KOLITSCH, S. (2008): Hydrogeologische Analyse und großräumige Modellierung des Weiteren Vorerzgebirgssenkensraumes. - Dissertation, Fakultät für Geowissenschaften, Geotechnik, und Bergbau der Technischen Universität Bergakademie Freiberg, 14.02.2008.
- LINNEMANN, U. & ROMER, R. L. (2010): Pre-Mesozoic Geology of Saxo-Thuringia: From the Cadomian Active Margin to the Variscan Orogen. - Schweizerbart Science Publishers, 2010.
- MCDONALD, M.G., AND HARBAUGH, A.W. (1988): A modular three-dimensional finite-difference ground-water flow model: Techniques of Water-Resources Investigations of the United States Geological Survey, Book 6, Chapter A1, 586 p.
- NISWONGER, R.G., PRUDIC, D.E. & REGAN, R.S. (2006) Documentation of the Unsaturated-Zone Flow (UZF1) Package for modeling unsaturated flow between the land surface and the water table with MODFLOW-2005: U.S. Geological Survey Techniques and Methods 6-A19, 62 p.
- NISWONGER, R.G., PANDAY, S. & IBARAKI, M. (2011): MODFLOW-NWT, a Newton Formulation for MODFLOW-2005. - USGS, Groundwater Resources Program, Techniques and Methods 6-A37, 2011.
- RICHTER, J. (1986): Der Boden als Reaktor. - Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart.
- SCHNEIDER, J.W., RÖßLER, R., FISCHER, F. (2012): Rotliegend des Chemnitz-Beckens. - In: Deutsche Stratigraphische Kommission (Hrsg.; Koordination und Redaktion: H. Lützner & G. Kowalczyk für die Subkommissionen Perm-Trias): Stratigraphie von Deutschland X.Rotliegend. Teil I: Innervariscische Becken. - Schriftenreihe der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften, Heft 61: 530-588; Hannover.
- SCHULLA, J. (1997, 2013): Hydrogeologische Modellierung von Flussgebieten zur Abschätzung der Folge von Klimaänderungen. - ETH Zürich.
- SCHULLA, J. (2013): Model Description WaSiM. - ETH Zürich.



Projekt: B 107, Südverbund Chemnitz - A 4, VKE 323.1
Bau-km 0+000 bis Bau-km 6+075
hier: Gutachten zu den ergänzenden Untersuchungen zum geohydraulischen Modell
NSG „Um den Eibsee“

SCHULLA, J. & JASPER, K. (1998): Modellbeschreibung WaSiM-ETH. - ETH Zürich.

SEBASTIAN, U. (2013): Die Geologie des Erzgebirges. – Springer-Verlag, 2013.

Projekt: B 107, Südverbund Chemnitz - A 4, VKE 323.1
Bau-km 0+000 bis Bau-km 6+075
hier: Gutachten zu den ergänzenden Untersuchungen zum geohydraulischen Modell
NSG „Um den Eibsee“

Anlagenverzeichnis

Anlage 1: Übersichtslageplan Grundwassermessstellen

Anlage 2: Geologische Verhältnisse im Untersuchungsgebiet entsprechend der Hydrogeologischen Übersichtskarte 1:200 000 (HÜK200)

Anlage 3: Bohrprofile und Schichtenverzeichnisse

Anlage 3.1: Bohrprofile und Ausbauzeichnungen der errichteten Grundwassermessstellen im Zuge der Baugrunduntersuchungen im Bereich des NSG „Um den Eibsee“
(hartig & ingenieure Gesellschaft für Infrastruktur und Umweltplanung)

Anlage 3.2: Schichtenverzeichnisse der neu errichteten Grundwassermessstellen GWM 4 bis GWM 6 sowie B 2 und B 3
(JOANNIKLING GmbH)

Anlage 4: Geoelektrische Untersuchungen

Anlage 4.1: Übersichtslageplan geoelektrische Untersuchungen

Anlage 4.2: Ergebnisse der geoelektrischen Untersuchungen (spezifischer elektrischer Widerstand [Ωm]), Wenner- und Dipol-Dipol-Anordnung

Anlage 5: Landnutzung und Bodenarten

Anlage 5.1: Klassifizierung der Landnutzung im Untersuchungsgebiet entsprechend WaSiM-ETH

Anlage 5.2: Klassifizierung der Bodenarten im Untersuchungsgebiet entsprechend WaSiM-ETH

Anlage 6: Modellaufbau

Anlage 6.1: Modellaufbau: aktive Zellen und Randbedingungen

Anlage 6.2: Modellaufbau: Durchlässigkeitswerte k_f

Anlage 6.3: Modellaufbau: Geländehöhen [m ü. NHN]

Projekt: B 107, Südverbund Chemnitz - A 4, VKE 323.1
Bau-km 0+000 bis Bau-km 6+075
hier: Gutachten zu den ergänzenden Untersuchungen zum geohydraulischen Modell
NSG „Um den Eibsee“

Anlage 7: Klimadaten der Station Chemnitz (DWD, ID 853)

Anlage 7.1: Tagessumme der Niederschlagshöhe [mm/Tag], Station Chemnitz (ID 853),
01.01.2019 - 31.05.2019

Anlage 7.2: Mittlere Lufttemperatur auf 2 m Höhe [°C] mit polynomischer Trendlinie,
Station Chemnitz (ID 853), 01.01.2019 - 31.05.2019

Anlage 7.3: Tagesmittel der Sonnenscheindauer [h], Station Chemnitz (ID 853),
01.01.2019 - 31.05.2019

Anlage 7.4: Tagesmittel der relativen Feuchte auf 2 m Höhe [%], Station Chemnitz
(ID 853), 01.01.2019 - 31.05.2019

Anlage 8: Ganglinie der Verdunstung (PET) [mm/Tag] nach Turc/Ivanov,
01.01.2019 - 31.05.2019

**Anlage 9: Gemessene Grundwasserstände in den Datenloggern vom 09.03.2019
bis 24.05.2019**

Anlage 9.1: Gemessener Grundwasserstand [m ü. NHN] in der GWM 1,
09.03.2019 - 24.05.2019

Anlage 9.2: Gemessener Grundwasserstand [m ü. NHN] in der GWM 2,
09.03.2019 - 24.05.2019

Anlage 9.3: Gemessener Grundwasserstand [m ü. NHN] in der GWM 3,
09.03.2019 - 24.05.2019

Anlage 9.4: Gemessener Grundwasserstand [m ü. NHN] in der GWM 5,
09.03.2019 - 24.05.2019

Anlage 9.5: Gemessener Grundwasserstand [m ü. NHN] in der GWM 6,
09.03.2019 - 24.05.2019

Anlage 9.6: Gemessener Grundwasserstand [m ü. NHN] in der GWM 3 (Hartig & Ing.
2009), 09.03.2019 - 24.05.2019

Anlage 10: Gemessene Temperaturen

Anlage 10.1: Gemessene Wassertemperaturen in den GWM, 09.03.2019 - 24.05.2019

Anlage 10.2: Gemessene Bodenlufttemperatur [°C] in der GWM 6 und Lufttemperatur
[°C] auf 2 m Höhe (Station Chemnitz, ID 853), 09.03.2019 - 24.05.2019

Projekt: B 107, Südverbund Chemnitz - A 4, VKE 323.1
Bau-km 0+000 bis Bau-km 6+075
hier: Gutachten zu den ergänzenden Untersuchungen zum geohydraulischen Modell
NSG „Um den Eibsee“

Anlage 11: Vergleich berechnete und gemessene Grundwasserstände vom 09.03.2019 bis 11.05.2019

Anlage 11.1: Vergleich berechneter und gemessener Grundwasserstand [m ü. NHN] in der GWM 1, 09.03.2019 - 11.05.2019

Anlage 11.2: Vergleich berechneter und gemessener Grundwasserstand [m ü. NHN] in der GWM 3, 09.03.2019 - 11.05.2019

Anlage 11.3: Vergleich berechneter und gemessener Grundwasserstand [m ü. NHN] in der GWM 5, 09.03.2019 - 11.05.2019

Anlage 11.4: Vergleich berechneter und gemessener Grundwasserstand [m ü. NHN] in der GWM 6, 09.03.2019 - 11.05.2019

Anlage 11.5: Vergleich berechneter und gemessener Grundwasserstand [m ü. NHN] in der GWM 3 (aus Hartig & Ingenieure 2009), 09.03.2019 - 11.05.2019

Anlage 12: Berechnete Hydroisohypsen [m ü. NHN] an den GWM 1, 2, 3, 5 und 6

Anlage 13: Modell Gräben

Anlage 13.1: Modellaufbau Grabenabschnitte

Anlage 13.2.1: Durchschnittliche tägliche Zuflüsse [m³/s] der Trasse im Zeitraum 01.01.2019 - 31.05.2019 (Diagramm)

Anlage 13.2.1: Durchschnittliche tägliche Zuflüsse [m³/s] der Trasse im Zeitraum 01.01.2019 - 31.05.2019 (Tabelle)

Anlage 13.3: Abflüsse [m³/s] in den Grabenabschnitten, Niederschlagsereignis HQ10, Dauer 24 h, n = 0,01 (Tabelle)