

Beurteilung der möglichen Remobilisierung von Sedimenten und deren Transport

unter Berücksichtigung der hydraulischen Verhältnisse im Stausee Windischleuba und unterhalb

im Rahmen der orientierenden Altlastenuntersuchung



Auftraggeber:

Projekt 25ZH00004.1-251211

Vertrag vom 11. 12. 2025

Bearbeiter:

Prof. Dr.- Ing. habil. Reinhard Pohl, Dresden

Dresden, im Februar 2026

Auftragnehmer: Prof. Dr.-Ing. habil. Reinhard Pohl
Ingenieurbüro für Wasserbau, Wasserwirtschaft
und Technische Hydromechanik
Schneebergstraße 33, D – 01277 Dresden,
damsafety23@gmail.com
Telefon +49 (0) 351 21074699

Beurteilung der möglichen Remobilisierung von Sedimenten und deren Transport unter Berücksichtigung der hydraulischen Verhältnisse im Stausee Windischleuba und unterhalb im Rahmen der orientierenden Altlastenuntersuchung

Inhalt

1	Einführung.....	5
2	Aufgabenstellung.....	5
3	Bearbeitungsschritte.....	5
4	Das Untersuchungsgebiet	7
4.1	Allgemeine Beschreibung.....	7
4.2	Rauheiten im Gerinne und Gelände	9
5	Die Talsperre Windischleuba.....	11
5.1	Allgemeine Angaben	11
5.2	Staudamm.....	13
5.3	Hochwasserentlastungsanlage.....	15
5.4	Betriebsauslass.....	16
5.5	Stausee.....	18
5.6	Untergrundverhältnisse	26
5.7	Bodendurchlässigkeiten	30
6	Zufluss	33
6.1	HQ ₁₀₀	33
6.2	Plausibilisierung von Bemessungszuflüssen	37
7	Hydronumerische Berechnung der Beckendurchströmung und Ergebnisse	43
7.1	Kritische Schubspannung und Geschwindigkeit	43
7.2	Hydronumerische Modellierung der Beckendurchströmung.....	47
7.3	Bewertung der Ergebnisse zur Beckendurchströmung	51
8	Geohydraulische Untersuchungen und Ergebnisse	53
8.1	Unterströmung des Staudammes und des Entlastungsbauwerkes	53
8.2	Hydronumerische Modellierung der Grundwasserströmung	55

8.3	Bewertung der Ergebnisse zur Grundwasserströmung.....	62
9	Zusammenfassung, Schlussfolgerungen.....	65
10	Literatur	67
11	Arbeitsunterlagen.....	69
12	Abbildungsverzeichnis	71
13	Tabellenverzeichnis	75
14	Anlagen	77

Foto Titelseite: *R. Pohl* 2025

Beurteilung der möglichen Remobilisierung von Sedimenten und deren Transport unter Berücksichtigung der hydraulischen Verhältnisse im Stausee Windischleuba und unterhalb

im Rahmen der orientierenden Altlastenuntersuchung

Zusammenfassung

Im vorliegenden Gutachten wurden die Remobilisierung und der mögliche Transport von Sedimenten aus dem Stauraum der Talsperre Windischleuba durch den Oberflächen- und Grundwasserabfluss untersucht.

Im Falle einer geschlossenen Aulehmschicht im Becken und darüber abgelagerten Sedimenten ist eine Auswaschung der Sedimente und ein Transport von Partikeln durch das Grundwasser nach Unterstrom nahezu ausgeschlossen, zumal die Bohrpfahlwand unter dem Staudamm der Talsperre Windischleuba eine zweite Barriere bildet.

Sollten dennoch Wasserwegigkeiten bestehen, die jedoch bisher nicht festgestellt wurden, würde sich der Grundwasserstrom zur Pleiße hin bewegen und bewegliche Kleinstpartikel und lösliche Stoffe im Fluss abtransportieren, wenn eine Exfiltration möglich ist.

Der Abfluss des hundertjährigen Hochwassers durch den ansonsten teilweise nicht mehr eingestauten Stauraum der Talsperre zeigt überwiegend Geschwindigkeiten und Schubspannungen, die nicht oder nur in geringem Umfang zu einer Erosion des oberflächlich anstehenden Materials führen, soweit sich dessen Kenntnis in kritische Geschwindigkeiten und Schubspannungen umsetzen lässt. In den anteilmäßig sehr kleinen Bereichen höherer Fließgeschwindigkeiten könnte es teilweise zur Remobilisierung von Sedimenten kommen, von denen sich ein Teil im Bereich des Dauerstaus wegen der dort verminderten Fließgeschwindigkeiten wieder absetzen könnte.

Insgesamt ist aus hydraulischer Sicht festzustellen, dass die Gefahr der Remobilisierung von Sedimenten im Stauraum der Talsperre und deren Verteilung in der Umwelt vergleichsweise gering beziehungsweise mengenmäßig begrenzt ist.

Durch die teilweise heterogene Datenlage entsteht eine gewisse Unschärfe in der Betrachtung, die sich nur mit großem Erkundungs- und Berechnungsaufwand vermindern ließe. Gleichwohl kann davon ausgegangen werden, dass sich die in der vorliegenden Untersuchung gemachten Grundaussagen nicht oder nur graduell ändern würden.

1 Einführung

Das Einzugsgebiet der durch die Talsperre Windischleuba fließenden Pleiße umfasst frühere Industrie- und Bergbauggebiete, so dass eine Schadstoffbelastung von Sedimenten im Stauraum denkbar ist. Wie auf den Internetseiten des Landkreises Altenburger Land ausgeführt wird, ergab eine erste Erkundung des von der Kreisverwaltung beauftragten Sachverständigenbüros SAKOSTA im Oktober 2022, dass mit großer Wahrscheinlichkeit im Bereich der Talsperre mit Schadstoffen zu rechnen ist und weitere Untersuchungen erforderlich sind.

2 Aufgabenstellung

Im Rahmen dieser Untersuchungen soll mit Hilfe des vorliegenden Gutachtens beurteilt werden, ob unter Berücksichtigung der hydraulischen Verhältnisse eine Remobilisierung und ein Transport von Sedimenten ober- und unterirdisch möglich und wahrscheinlich ist.

3 Bearbeitungsschritte

Dazu wurden folgende Bearbeitungsschritte unternommen: Zunächst erfolgte im Rahmen der Grundlagenermittlung die Beschaffung und das Studium der vorhandenen Unterlagen. Auf dieser Basis erfolgte die Ermittlung und Beschreibung der hydraulischen Systeme und deren Randbedingungen. Es wurden hydraulische Berechnungen durchgeführt, deren Ergebnisse bewertet und verglichen wurden.

Dafür wurde für den Oberflächenabfluss ein zweidimensionales hydraulisch-numerisches Modell des Flutwellenausbreitungsbereiches innerhalb und unterhalb der Stauanlage erstellt (HYDRO_AS-2D). Die Geländedaten wurden einem hoch aufgelösten digitalen Geländemodell (Geoportale Thüringen und Sachsen DGM1), entnommen.

Zur Abschätzung der unterirdischen Strömungsverhältnisse wurde ein Aquifer mit Hilfe des Programms ASM-WIN untersucht. Die sehr heterogene Datenlage rechtfertigt nur eine Modellierung mit vergleichsweise großen Elementen. Mit verschiedenen Szenarien wird versucht, die möglichen Strömungswege einzugrenzen.

4 Das Untersuchungsgebiet

4.1 Allgemeine Beschreibung

Das Untersuchungsgebiet, der Stauraum der Talsperre Windischleuba und deren Unterwasserbereich, liegt im Altenburger Land im östlichsten Teil des Freistaates Thüringen und umfasst das Tal der Pleiße, die von Süden nach Norden aus Sachsen kommend weiter nach Sachsen in die Stadt Leipzig und dort in die Weiße Elster fließt. Das Flussgebiet der Pleiße südlich von Leipzig ist sehr stark durch den ehemaligen Bergbau und frühere Industrien geprägt, was sich auch in zahlreichen Flussverlegungen und durch das Vorhandensein vieler Regulier- und Verteilbauwerke an Wasserläufen widerspiegelt.

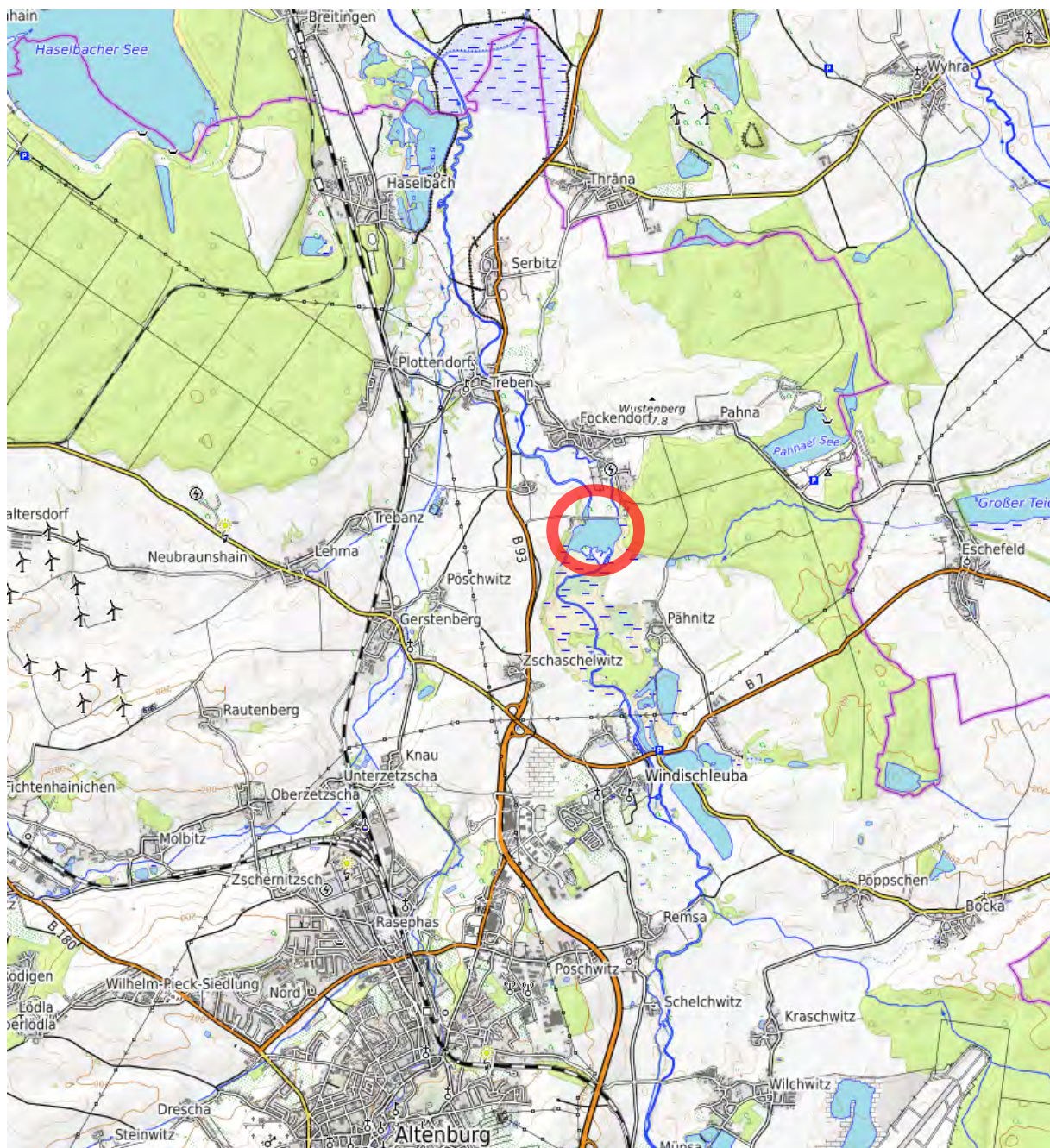


Abbildung 1: Lage der untersuchten Stauanlage (OpenTopoMap)

Unterhalb der Sperrstelle fließt die Pleiße an der etwas höher gelegenen Ortschaft Fockendorf vorbei, fließt durch Treben und anschließend an Serbitz vorbei nach Regis-Breitingen. Dort wird eine potenzielle Hochwasserwelle durch die Hochwasserrückhaltebecken Regis-Serbitz oder Borna abgemindert oder aufgefangen.



Abbildung 2 Talsperre Windischleuba: Pleiße im Unterwasserbereich, Tosbecken mit Zahnschwelle, Fischtreppe links, Ortschaft Fockendorf hinten (Foto R. Pohl 2025)



Abbildung 3 Talsperre Windischleuba: Unterwasserbereich Mühlgraben Fockendorf hinten (Foto R. Pohl 2025)



Abbildung 4 Talsperre Windischleuba: Mühlgraben und Mühle Fockendorf (Foto R. Pohl 2025)

4.2 Rauheiten im Gerinne und Gelände

Für das 2D-HN-Berechnungsmodell erfolgte die Abschätzung des Reibungsbeiwertes nach *Strickler* entsprechend der Landnutzung.

Im ehemaligen Beckenbereich, der nur noch bei Hochwasser eingestaut wird, befinden sich Ablagerungen, deren Oberflächenrauheit nach *Strickler* mit Werten zwischen 25 und 40 $\text{m}^{1/3}/\text{s}$ eingeschätzt werden könnte. Da der Bereich jedoch teilweise sehr dichten hölzernen und krautigen Bewuchs aufweist, muss für geringere und mittlere Überstauhöhen eine rauere Oberfläche berücksichtigt werden. Dem wurde in der vorliegenden Untersuchung Rechnung getragen, indem Werte zwischen 15 und 20 $\text{m}^{1/3}/\text{s}$ angesetzt wurden. Eine Differenzierung wurde nicht vorgenommen, weil die durch die abflussbeeinflussende Bewuchsdichte a) jahreszeitlich schwankt, b) nicht genügend genau kartiert vorliegt, c) höhere Fließgeschwindigkeiten im Flussbett selbst durch größere Tiefen erreicht werden und d) eine moderate Abweichung der Rauheitswerte nach oben und unten vom angenommenen Mittelwert keine wesentliche Änderung des Gesamtergebnisses erwarten lässt.



Abbildung 5 Talsperre Windischleuba: dichter Bewuchs und Sediment im trocken liegenden Hauptstauraum am Dammweg (zwischen linkem Vorbecken und dem Hauptbecken) von Pähnitz nach Borgishain (Foto: Pohl 2026)

5 Die Talsperre Windischleuba

Die Talsperre Windischleuba befindet sich ungefähr 40 km südlich von Leipzig nordöstlich der ostthüringischen Stadt Altenburg im Landkreis Altenburger Land auf thüringischem Gebiet an der südlichen Grenze der Leipziger Tieflandsbucht. Sie staut die in Süd-Nord-Richtung nach Leipzig fließende Pleiße, einen rechten Nebenfluss der Weißen Elster. In Fließrichtung gesehen, ist sie die erste Stauanlage im Stauanlagensystem der Unteren Pleiße in einem Gebiet, in dem im 20. und bis zum Beginn des 21. Jahrhunderts der Braunkohlebergbau (Tagebau) umging. Weil die Pleiße, aus Sachsen kommend das thüringische Altenburger Land durchfließt und dann wieder das sächsische Gebiet südlich von Leipzig erreicht, wurde der Betrieb der Anlage von der Talsperrenverwaltung des Freistaates Sachsen übernommen.

Die Talsperre wurde ursprünglich als Brauchwasserspeicher für die Industrie und zum Hochwasserschutz des Gebietes um Leipzig gebaut.

5.1 Allgemeine Angaben

Die Talsperre wurde von 1951 bis 1953 errichtet und von 2007 bis 2009 umgebaut und instandgesetzt. Bei diesem Umbau wurde das Auslassbauwerk mit drei Hubschützen durch eine feste Überlaufschwelle am linken Ufer ersetzt. Der damalige Grundablass wurde rückgebaut. Die Vollstauhöhe wurde abgesenkt. Dadurch wurde der Stauraum verringert und Teile des ehemaligen Beckens fielen trocken und sind heute teilweise begrünt. Auf den Sedimenten der Pleiße hat sich an den Ufern der Talsperre und im Hochwasserstauraum eine Weichholzaue gebildet.

Die Talsperre Windischleuba liegt in einem Vogel- und Naturschutzgebiet, welches zahlreichen Vogelarten ein Zuhause bietet. Bei der Sanierung wurde ein Fischpass am linken Hang errichtet. Seitdem ist sie durchgängig für Fische und andere Wasserlebewesen.

Da das Einzugsgebiet der durchfließenden Pleiße auch frühere Industrie- und Bergbaugebiete umfasst, ist eine Schadstoffbelastung von Sedimenten im Stauraum nicht auszuschließen. Wie auf den Internetseiten des Landkreises Altenburger Land ausgeführt wird, ergab eine erste Erkundung des von der Kreisverwaltung beauftragten Sachverständigenbüros SAKOSTA im Oktober 2022, dass mit großer Wahrscheinlichkeit im Bereich der Talsperre mit Schadstoffen zu rechnen ist und weitere Untersuchungen erforderlich sind. Dieser Bericht beschreibt auch detailliert die sedimentologische Geschichte der Talsperre und die Quelle möglicher Schadstoffe im Einzugsgebiet.

Grundsätzlich besteht theoretisch die Möglichkeit, dass es bei sich schnell ändernden hohen Durchflüssen oder einem Dammbbruch zu einer Remobilisierung von schadstoffbelasteten Sedimenten kommen könnte.

In den Karten (z. B. OpenStreetMap) sind noch ein östliches und westliches Vorbecken eingetragen, welche aber in der vorliegenden Untersuchung nur eine untergeordnete Rolle spielen, weil der bei Fockendorf liegende Hauptdamm und dessen Stauraum betrachtet werden.

Tabelle 1: Technische Daten der Talsperre Windischleuba

<p>Talsperrenverzeichnis Deutschland 2026 © Reinhard Pohl, Dresden</p>  <p>Foto: Pohl 2025</p>	
Name	<u>TS Windischleuba</u>
Klasse	2 (mittlere Talsperre)
Betreiber	LTV Sachsen, Betrieb Elbaue/Mulde/Untere Weiße Elster, Staumeisterei Regis
Nutzung, Anlagenzweck	Brauchwasser, Hochwasserschutz
Landkreis	Altenburger Land
Bauart	Zonierter Erddamm mit geneigter Innendichtung, Lehmsporn
Fertigstellung/Erweiterung	1953/1974, 2009
Höhe über Gründung	12,80 m
Kronenhöhe	163 m NHN
Vollstau	158,75 m NHN
Kronenlänge Absperrbauwerk	335 m
Hochwasserentlastung	Feste Überlaufschwelle auf der Westseite B = 54,5 m
Auslässe	Grundablass auf der Ostseite
Gestautes Gewässer	Pleiße
Einzugsgebiet	595 km ²
Gesamtstauraum	0,11 Mio. m ³
Stauseeoberfläche	Bei Vollstau aus der übergebenen Beckeninhaltslinie ungefähr 26 ha, bei Messung im Luftbild und Abgleich in der Örtlichkeit ungefähr 12 ha
MQ, BHQ ₁ , BHQ ₂	2,9 m ³ /s, 289 m ³ /s, 415 m ³ /s
Jahreszuflussvolumen	91,77 Mio. m ³ /a
Ausbaugrad	0,001
Weitere Informationen, Quelle	https://www.smul.sachsen.de/ltv/13772.htm

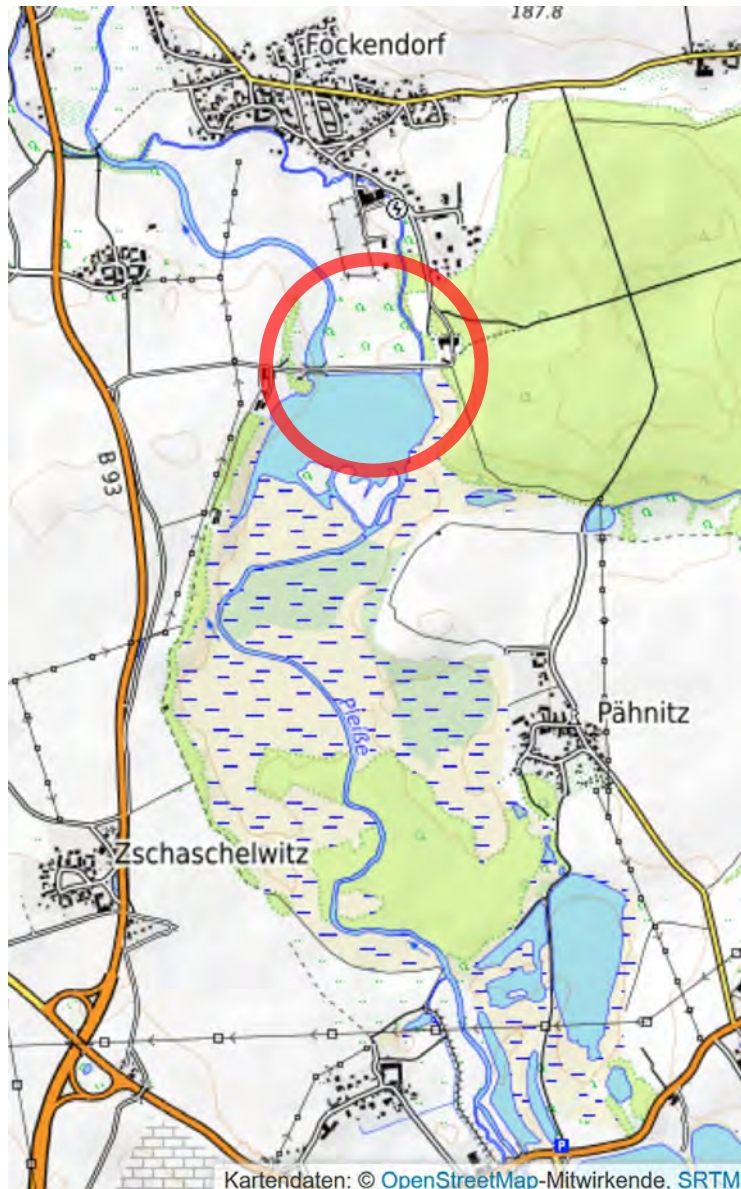


Abbildung 6 Lage der Talsperre Windischleuba (OpenTopoMap.org 2025)

5.2 Staudamm

Das Absperrbauwerk ist ein zonierter Erddamm mit geneigter Innendichtung und Lehmsporn. Die Dammhöhe beträgt im Taltiefsten ca. 7 m über der Talsohle, ca. 10 m über der Flusssohle und 12,80 m über der Gründung. Die Kronenstraße ist asphaltiert, 335 m lang und 6 m breit (Angaben auf der Website der LTV). Die Böschungsneigung beträgt ca. 1 : 3 . Die jetzige Dammkrone liegt auf einer Höhe von ca. 163 m ü. NN. Am östlichen Ende des Dammbauwerkes befindet sich der Betriebsauslass mit dem anschließenden Mühlgraben.



Abbildung 7 Talsperre Windischleuba: Blick über die Staudammkrone nach Osten (Foto: R. Pohl 2025)



Abbildung 8 Talsperre Windischleuba: Blick von der Staudammkrone zum Grundablass-/Betriebsauslass-Einlauf (Foto: R. Pohl 2025)



Abbildung 9 Talsperre Windischleuba: links Messquerschnitt auf der Luftseite des Staudammes (Foto: R. Pohl 2025)

Abbildung 10 Talsperre Windischleuba: rechts Luftseite des Staudammes (Foto: R. Pohl: November 2025)



Abbildung 11 Talsperre Windischleuba: Blick vom Staudamm auf den verbliebenen Stausee bei Vollstau (Foto: R. Pohl 2025)

5.3 Hochwasserentlastungsanlage

Die Hochwasserentlastungsanlage ist als feste Wehrschwelle mit vier von Pfeilern getrennten Feldern und einer Gesamtüberfallbreite von 54,50 Metern auf der Höhe 158,75 m NN ausgebildet. Daraus ergibt sich, dass bei einer Überfallhöhe von $h_{\bar{u}} = 80$ cm und einem

geschätzten Überfallbeiwert von $C = 2 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$ ungefähr $Q = 225 \text{ m}^3/\text{s}$ abfließen können. Der Vollstau liegt auf einer Höhe von 158,75 m ü. NN. Das sich anschließende Tosbecken besitzt eine Zahnschwelle (Abbildung 12).



Abbildung 12 Talsperre Windischleuba: Hochwasserentlastungsanlage als feste Wehrschwelle und Tosbecken mit Zahnschwelle. Echolot-Beckenpegel an der Flügelmauer. Oberwasserseitiger Ein-/Ausstieg der Fischtreppe an der linken Wehrwange (Foto: R. Pohl 2025)

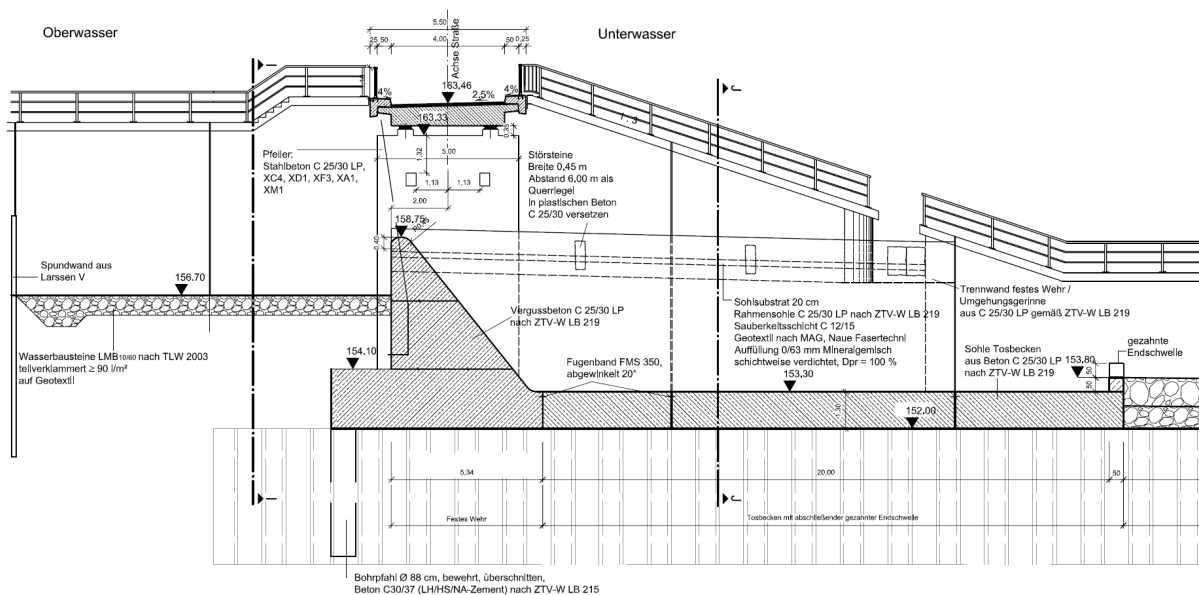


Abbildung 13 Talsperre Windischleuba: Hochwasserentlastungsanlage als feste Wehrschwelle mit überschrittener, ungefähr 4,50 m tiefer, bis auf 147,5 m NN herunterreichender Bohrpfehlwand und Tosbecken mit Zahnschwelle (Bestandsplan 21, Kubens-Ingenieurgesellschaft 2014).

5.4 Betriebsauslass

Der ursprüngliche Grundablass wurde zurückgebaut. Der jetzige Betriebsauslass, der auch die Funktion des Grundablass teilweise erfüllen kann, kreuzt auf der Ostseite den Damm und besitzt am Einlaufbauwerk einen Schieber, der den Rohreinlauf auf der Wasserseite verschließt. Der Auslauf des Grundablasses speist den Mühlgraben, der unterhalb der Ortschaft Fockendorf wieder in die Pleiße fließt. Auf Grund des im Vergleich zur Wehrschwelle augenscheinlich sehr geringen möglichen Durchflusses spielt der Grundablass mengenwirtschaftlich im Hochwasserfall keine Rolle.



Abbildung 14 links: Talsperre Windischleuba: Grundablasselinlauf am Damm (Foto: R. Pohl)

Abbildung 15 rechts: Talsperre Windischleuba: Grundablassablauf der Luftseite des Dammes (Foto: R. Pohl)



Abbildung 16 Talsperre Windischleuba: luftseitige Dammböschung und Grundablassablauf der Luftseite des Dammes (Foto: R. Pohl)

5.5 Stausee

Die Fläche des Stausees beträgt bei Vollstau nach der vorliegenden Beckeninhaltslinie ergeben sich ungefähr 26 ha, bei Messung im Luftbild und Abgleich in der Örtlichkeit ungefähr 12 ha. Die Wassertiefe wird mit 2,30 m angegeben. Die neueste vorliegende Beckeninhaltslinie und Oberflächenfunktion stammen aus dem Jahre 1998. Weil die Anlage über keine Spülschützen verfügt, ist zu vermuten, dass die Sohlage höher ist als zur Zeit der Beckenvermessung. Für die Berechnung im Zuge der vorliegenden Untersuchung konnte der Stauraum nicht berücksichtigt werden, weil im digitalen Geländemodell des Thüringischen Landesvermessungsamtes nicht dessen Sohlage, sondern der Wasserspiegel auf 158,75 m also in Höhe des Vollstaus verzeichnet ist.

Das ehemalige Pleißeetal besaß an dieser Stelle eine Breite von ca. 400 m [5a]. Ursprünglich betrug die Geländehöhe im Talbereich ca. 156 m ü. NN – 156.5 m ü. NN [5a].



Abbildung 17 Talsperre Windischleuba: Luftbild des Dauerstaus und des Absperrbauwerkes. Blick nach Süden. (Leipziger Volkszeitung Online-Ausgabe v. 27. 3. 2022, Foto: Mario Jahn)



Abbildung 18 Talsperre Windischleuba: Blick vom Grundablassablauf auf den Stausee. Vor dem Grundablassseinlauf sammelt sich Schaum (Foto: R. Pohl)



Abbildung 19 Stausee mit Warnschild in Bezug auf die Gefahr des Einsinkens in das schlammige Sediment (Foto: R. Pohl 2025)



Abbildung 20 Stausee im Luftbild. Es ist erkennbar, dass große Teile verlandet und bewachsen sind (mapy.com 11/2025)



Abbildung 21 Staudammabschnitt mit der Hochwasserentlastungsanlage/Überfallschwelle mit Tosbecken, Fischpass und Zahnschwelle im Luftbild. Links an der Flügelmauer der automatische Beckenpegel (mapy.com 11/2025)

Für die Stauraumaufteilung und den Stauinhalt liegen die nachfolgenden Informationen vor (LTV Sachsen). Auf Grund der seit der Ermittlung der Beckeninhaltslinie zu erwartenden Sedimentation ist anzunehmen, dass der Stauinhalt geringer ist.

Tabelle 2: Stauraumaufteilung der Talsperre Windischleuba (LTV 2025)

Tiefstes Absenkziel Z_T Totraum I_T	156,45 m NN 0,000 Mio. m ³
Absenkziel Z_A Reserveraum I_R	158,75 m NN 0,110 Mio. m ³
Stauziel Z_S Betriebsraum I_{BR}	158,75 m NN *) 0,000 Mio. m ³
Vollstau Z_V Gewöhnlicher Hochwasserrückhalteraum I_{GHR} Stauraum I_S ($I_T+I_R+I_{BR}+I_{GHR}$)	158,75 m NN *) 0,000 Mio. m ³ 0,110 Mio. m ³
Hochwasserstauziel Z_{H1} / Z_{H2} Außergewöhnlicher Hochwasserrückhalteraum I_{AHR1} / I_{AHR2} Gesamtstauraum I_{G1} / I_{G2}	160,51 m NN / 161,06 m NN 1,096 Mio. m ³ / 1,738 Mio. m ³ 1,206 Mio. m ³ / 1,848 Mio. m ³
Freibord bei Hochwasserstauziel Z_{H1} / Z_{H2}	2,79 m / 2,24 m
Freibord erforderlich	0,80 m / 0,31 m
Dammkrone Z_{Kr}	163,30 m

*) entspr. Plangenehmigung vom 27.04.2006 für den hochwasserschutzgerechten Umbau der TS Windischleuba

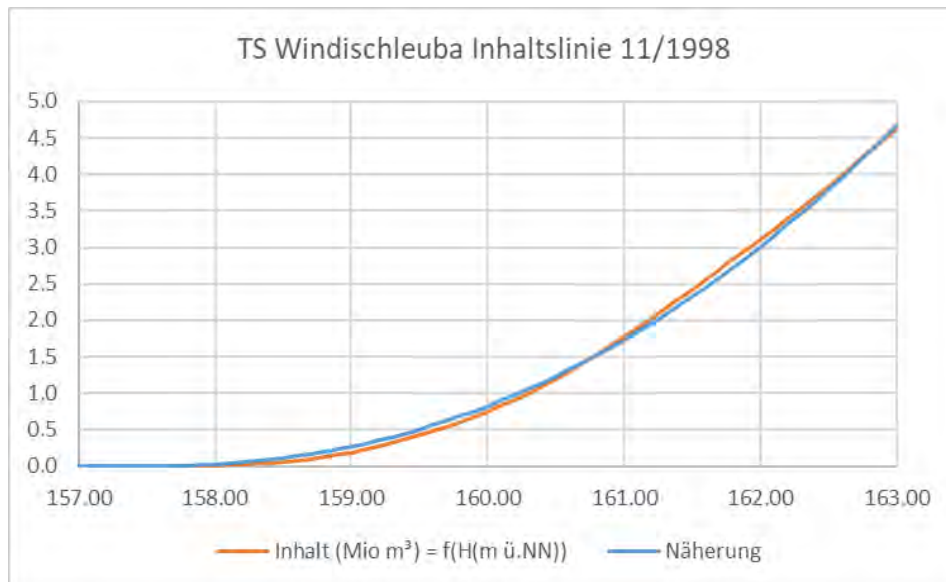


Abbildung 22 Talsperre Windischleuba: Stauinhaltslinie und Oberflächenfunktion mit Approximationsfunktion

Für die Stauinhaltslinie wurde vom Bearbeiter die folgende Näherungsgleichung ermittelt:

$$H = (V/110000)^{1/2,2} + 157,5 \quad (26)$$

und

$$V = 110000 (H - 157,5)^{2,2} \quad (27)$$

mit V in m³ und H in m NHN.



Abbildung 23 Talsperre Windischleuba: Einspurige Behelfsbrücke der B7 über die Pleiße an der Stauwurzel (Foto: Pohl 2026)



Abbildung 24 Talsperre Windischleuba: südlicher Stauraum Stauwurzel (Foto: Pohl 2026)



Abbildung 25 Talsperre Windischleuba: Windischleuba dichter Bewuchs und Sediment im Stauraum rechtes Vorbecken (Foto: Pohl 2026)



Abbildung 26 Talsperre Windischleuba: dichter Bewuchs und Sediment im Stauraum Trenndamm mit Ausspiegelungsdurchlass linkes und rechtes Vorbecken (Foto: Pohl 2026)



Abbildung 27 Talsperre Windischleuba: dichter Bewuchs und Sediment im Stauraum linkes Vorbecken (Foto: Pohl 2026)



Abbildung 28 Talsperre Windischleuba: Pleiße im Stauraum (Foto: Pohl 2026)

Abbildung 29 Talsperre Windischleuba: Pleiße im Stauraum (Foto: Pohl 2026)



Abbildung 30 Talsperre Windischleuba: Sediment im Stauraum (Foto: Pohl 2026)

5.6 Untergrundverhältnisse

Nach [5a] ist unter Bezugnahme auf die vorliegenden hydrogeologischen Karten innerhalb des Pleißetales der Grundwasserleiter 1 in Form von Flussschotter vollständig ausgebildet. Die Grundwasserfließrichtung ist nach Norden gerichtet. Für eine Grundwasserwassermessstelle in Treben sind für den Grundwasserleiter folgende Daten angegeben: Oberkante: 151,2 m ü. NN, Mächtigkeit: 6 m, Wasserdurchlässigkeit: $4.5 \cdot 10^{-2}$ m/s.

Des Weiteren wird im Stauraum, in den Vorländern und der Flussaue von einer flächendeckenden Aulehmschicht ausgegangen, die im früheren (vor der Sanierung 2009), bis an die Vorbecken an der B7 heranreichenden Dauerstauraum von einer Sedimentationsschicht aus der Zeit des Talsperrenbetriebes in der Größenordnung von einem Meter Mächtigkeit überlagert wird.

Im Internet ist die Bohrpunktkarte Deutschland (Abbildung 31) der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe verfügbar, aus der in begrenztem Umfang Informationen zum Untergrund entnommen werden können:

(https://www.bgr.bund.de/DE/BGR/Wissenschaftliche-Infrastruktur/Geodateninfrastruktur/Bohrpunktkarte-Deutschland/bohrpunktkarte-deutschland_node.html).

In Abbildung 31 sind die hinterlegten Bohrpunkte eingetragen. Nicht an allen Punkten liegen Bohrprofile vor. Weiterhin ist festzustellen, dass in einigen Profilen der Aquifer nicht vollständig durchbohrt wurde, so dass dessen Mächtigkeit unbekannt bleibt. Die Höhenlage des Aquifers in benachbarten Bohrlöchern ist zudem auch nach Berücksichtigung der Bohransatz-/ Geländehöhe mitunter deutlich verschieden.

Insgesamt ist die vorliegende Datenlage sehr heterogen, sowohl was die Verteilung der Informationen über das Untersuchungsgebiet als auch deren Werte betrifft.

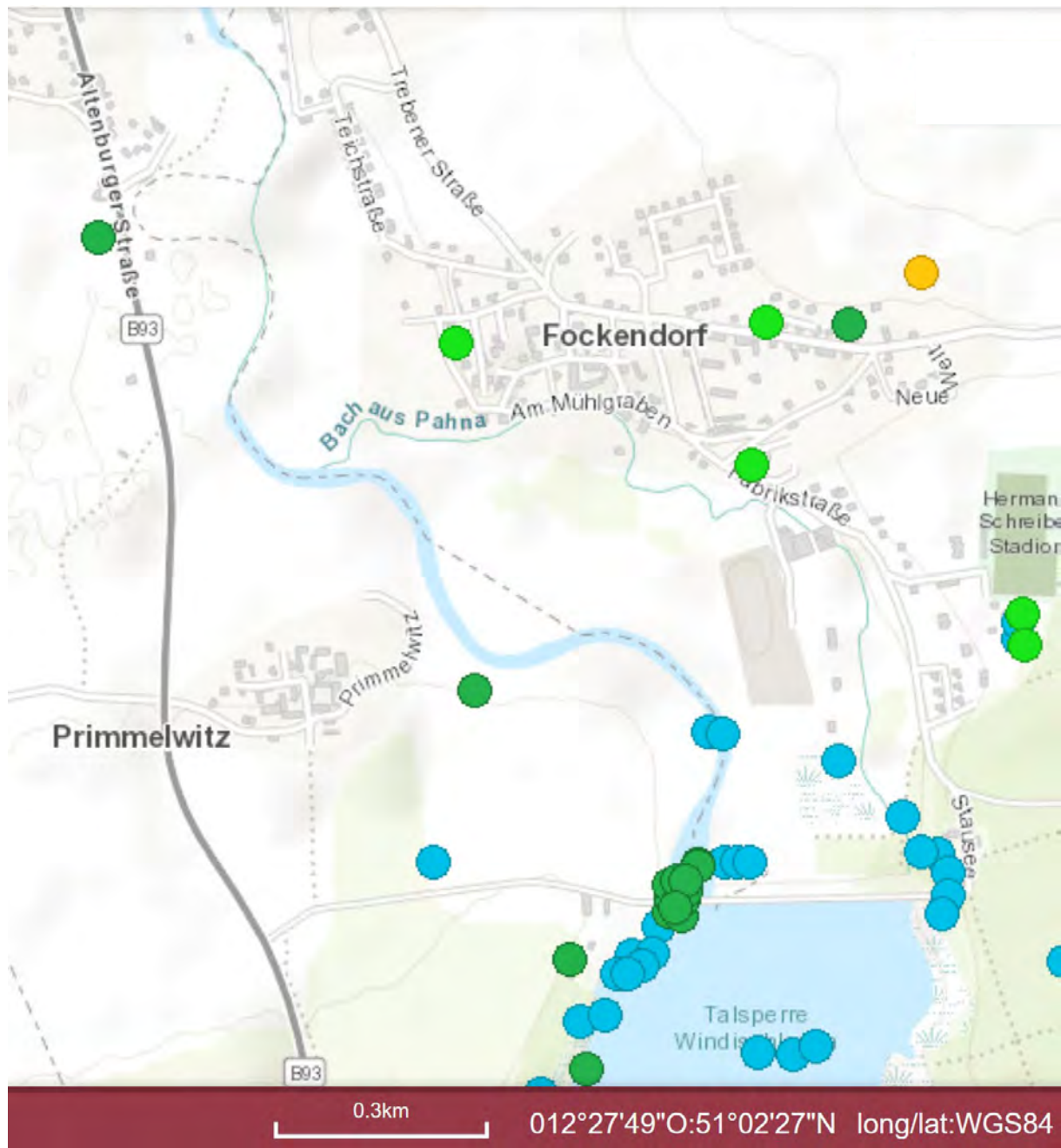


Abbildung 31 Bohrpunktkarte Deutschland der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe verfügbar (https://www.bgr.bund.de/DE/BGR/Wissenschaftliche-Infrastruktur/Geodateninfrastruktur/Bohrpunktkarte-Deutschland/bohrpunktkarte-deutschland_node.html)

Weitere Informationen zum Untergrund sind in den Arbeitsunterlagen [5a] und [5b] enthalten.



- Legende:**
- Atscheidung mit Bezeichnung und Höhe in m ü. Werknetz
 - Atscheidung mit Bezeichnung und Höhe in m ü. Werknetz
 - Bohrung mit Bezeichnung und Höhe in m ü. Werknetz
 - Rammschneidung mit Bezeichnung und Höhe in m ü. Werknetz

Planungsgrundlage:
 Vermessungsunterlagen des Vermessungsbüros Vende vom Juli 2000
 und des Ingenieurbüros Hillert & Romels vom 29.27.09.2005,
 sowie Planungsunterlagen der Kubers Ingenieurgeellschaft mbH vom Jan. 2005

Auftraggeber  Landestalsperrenverwaltung des Freistaates Sachsen Talsperrenverwaltung Pirna 01752 Pirna / Bahnhofsstraße 14 Tel.: 0 35 91 / 786-071 / Fax: 0 35 91 / 786-105	
Auftragnehmer  INGENIEURBÜRO LUTZ WOITKE BAUGRUND / GEOLOGIE / GEOPHYSIK 04800 Altkubitz / Hasenweg 19 Tel.: 0 34 47 / 50 09 13 / Fax: 0 34 47 / 55 15 59	
Lagebezug: RD 83 Landkreis: Altenburger Land Gemarkung: Fockendorf	
Höhenbezug: Werknetz (NNv) Gemeinde: Fockendorf Flurstück:	
Talsperre Windischleuba Hochwasserschutzgerechter Umbau Lageplan der Aufschlusspunkte	
Datum: Jan. 06 Gezeichnet: Ilgen Bearb.: Jan. 06 Gepr.: Jan. 06 Gezeichnet: Woitke	Unterschrift:
Auftragsnr.: 4500038014 Projekt-Nr.: IB Woitke: 05-137 Maßstab: 1:1.000 Anlage 1 Blatt 3	

Abbildung 32 Bodenuntersuchungspunkte in Staudammnähe und in der Nähe des Unterwasserpegels aus [5a] (s. Anhang)

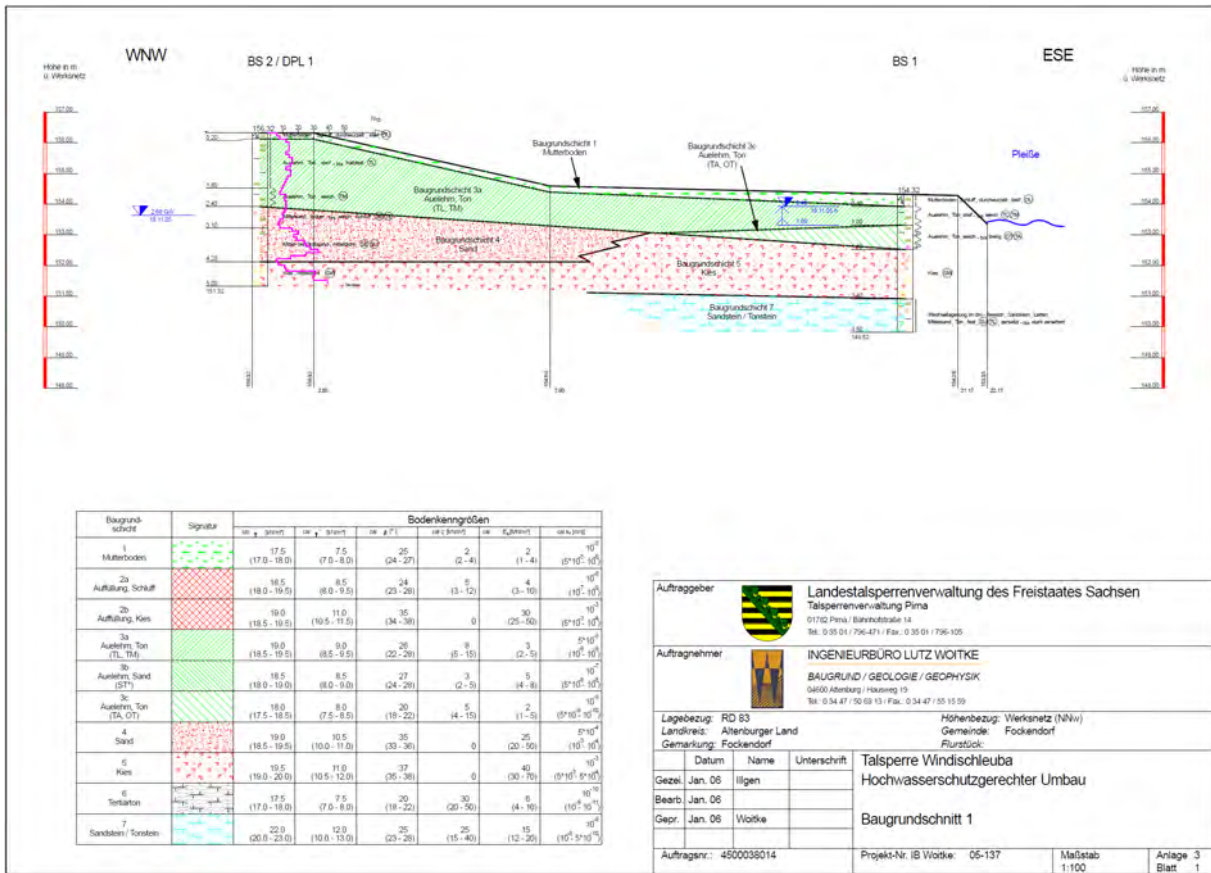


Abbildung 33 Bodenprofil in der Nähe des Unterwasserpegels aus [5a]

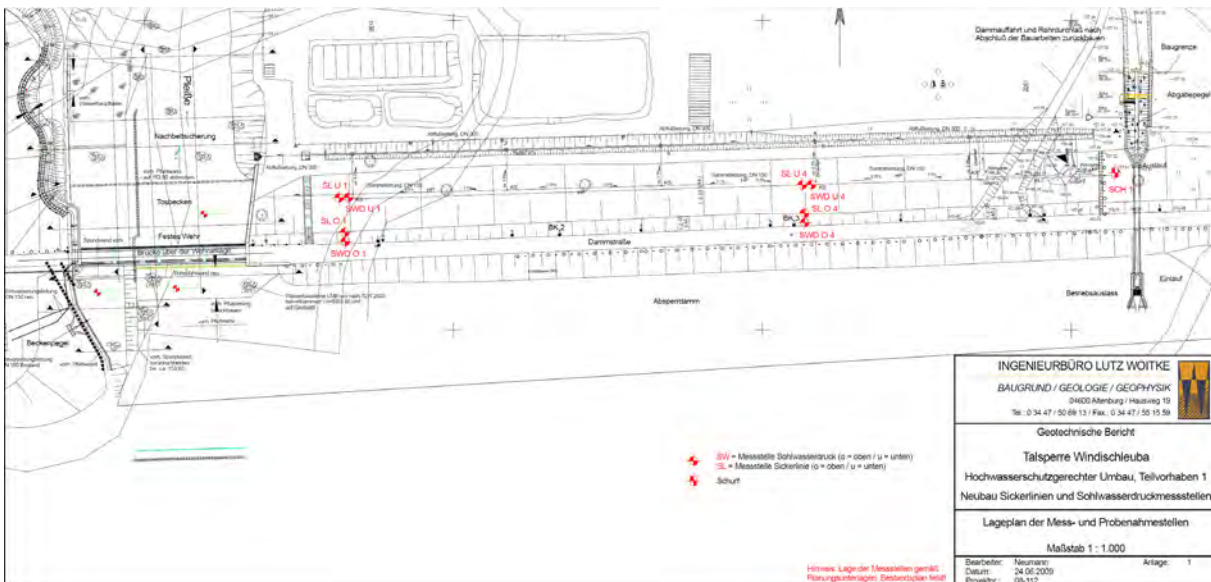


Abbildung 34 Bodenuntersuchungspunkte in Staudammnähe [5b] (s. Anhang)

In Abbildung 35 sind die Höhenlagen aus dem DGM1 des Untersuchungsgebietes unterhalb der Talsperre eingetragen. Alle Flächen, die höher liegen als die Dammkrone, sind nicht farbig hinterlegt. Daraus wird ersichtlich, dass ein Oberflächenabfluss aus der Talsperre bei Hochwasser nur in dem farbig markierten Gebiet und eine Grundwasserströmung nur zu dem markierten Gebiet hin und dann weiter in Fließrichtung der Pleiße stattfinden kann.

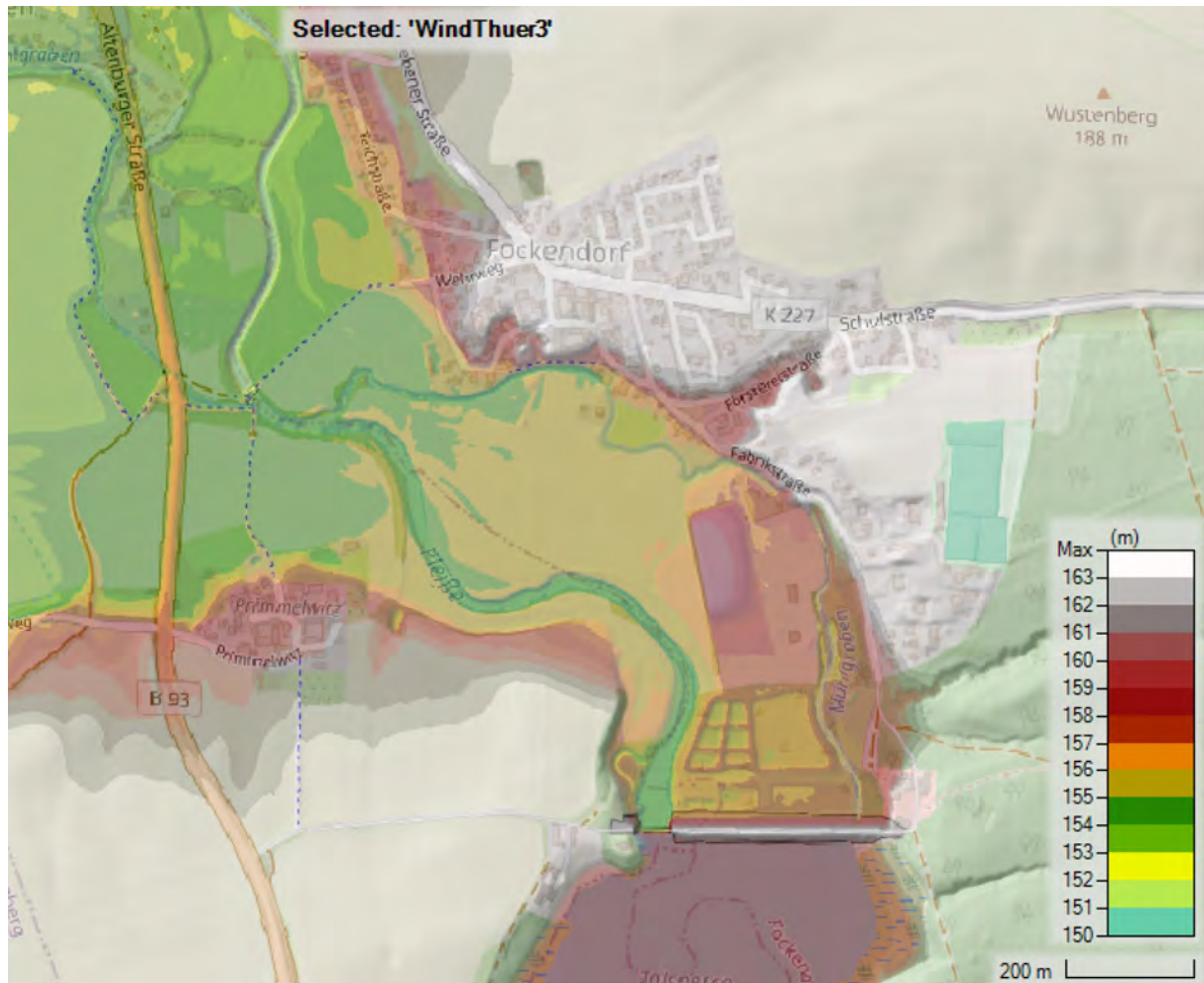


Abbildung 35 Geländehöhen im Untersuchungsgebiet unterhalb der Sperrstelle (DGM1)

5.7 Bodendurchlässigkeiten

Die auf die Filterfläche bezogene Fließgeschwindigkeit (Filtergeschwindigkeit) des Wassers im Boden kann nach *Darcy* berechnet werden:

$$v_f = k_f \cdot I$$

mit dem Durchlässigkeitsbeiwert k_f (in m/s) und dem hydraulischen Gradienten (= Energieliniengefälle = Energiehöhenverlust/Fließstrecke). Bei den geringen Geschwindigkeiten im Boden entspricht die Energiehöhe de facto der Druckhöhe, also dem Grundwasserspiegel im ungespannten Aquifer (Grundwasserleiter).

Die oben dargestellte Gleichung beschreibt den linearen Bereich. Für einige Anwendungen ergibt sich eine bessere Beschreibung des physikalischen Vorganges im prä- oder postlinearen Bereich, wo der Exponent der Geschwindigkeit etwas von eins nach oben oder unten abweichen würde. Für die vorliegende Näherungsrechnung musste das nicht berücksichtigt werden.

Aus der Filtergeschwindigkeit kann durch Division mit der Porosität (Porenanteil) die Abstandsgeschwindigkeit berechnet werden, mit der sich strömende Teilchen durch die Poren des Bodens bewegen.

Mit kleiner werdender Korngröße verringert sich die Durchlässigkeit. Diesbezügliche Erfahrungswerte liegen in verschiedenen Quellen tabelliert vor (z. B. Tabelle 3).

Üblicherweise wird der Durchlässigkeitsbeiwert im so genannten *Darcy*-versuch mit möglichst ungestörten Proben experimentell im Labor bestimmt (DIN 18130-1:1998-05 Baugrund - Untersuchung von Bodenproben; Bestimmung des Wasserdurchlässigkeitsbeiwerts - Teil 1: Laborversuche (zurückgezogen)). Es gibt aber auch die Möglichkeit, diesen aus der Kornverteilungslinie nach *Beyer 1964* zu bestimmen, was in einigen hier vorliegenden Bodenuntersuchungen so erfolgt ist.

Tabelle 3 Durchlässigkeitsbeiwerte nach Darcy für unterschiedliche Böden (Tab. 7. 1. aus Zanke 2013)

Bodenart	k _f -Werte für Wasser in m/s		
	Mindestens	Häufig	Höchstens
Kies, gleichkörnig	1.10 ⁻²	1.10 ⁻¹	2.10 ⁻¹
Kies, sandig, mit wenig Feinkorn	1.10 ⁻⁶	5.10 ⁻³	1.10 ⁻²
Kies, sandig, mit Schluff- oder Tonbeimengungen	1.10 ⁻⁸	5.10 ⁻⁵	1.10 ⁻⁴
Sand, gleichkörnig, fein	1.10 ⁻⁵	1.10 ⁻⁴	2.10 ⁻⁴
Sand, gleichkörnig, grob	2.10 ⁻⁴	2.10 ⁻³	5.10 ⁻³
Sand, abgestuft, kiesig	2.10 ⁻⁵	2.10 ⁻⁴	5.10 ⁻⁴
Sand mit Feinkorn	1.10 ⁻⁷	5.10 ⁻⁶	1.10 ⁻⁵
Schluff, wenig plastisch	1.10 ⁻⁸	5.10 ⁻⁶	1.10 ⁻⁵
Schluff, plastisch	1.10 ⁻⁹	5.10 ⁻⁷	1.10 ⁻⁶
Ton, geringplastisch	2.10 ⁻⁹	5.10 ⁻⁸	1.10 ⁻⁷
Ton, mittelplastisch	1.10 ⁻¹⁰	5.10 ⁻⁹	5.10 ⁻⁸
Ton, hochplastisch	1.10 ⁻¹¹	5.10 ⁻¹⁰	1.10 ⁻⁹
Ton oder Schluff mit organischen Beimengungen	2.10 ⁻¹¹	5.10 ⁻¹⁰	1.10 ⁻⁹

Insbesondere bei sehr feinkörnigen Materialien hängt die Durchlässigkeit auch von der Zähigkeit (Viskosität) der Flüssigkeit und somit von deren Temperatur ab. Die temperaturabhängigen Durchlässigkeiten werden verschiedentlich mit der Zahl der Celsiustemperatur indiziert, z. B. für 10°C. Der k₁₀-Wert ist der auf 10 °C normierte Durchlässigkeitsbeiwert eines Bodens.

Der Zusammenhang zwischen k₁₀ und k_f ergibt sich aus der Temperaturabhängigkeit der dynamischen Viskosität des Wassers:

$$k_{10} = k_f \cdot \eta_T / \eta_{10}$$

mit der dynamischen Viskosität η_T des Wassers bei der Messtemperatur T, und der dynamischen Viskosität η_{10} des Wassers bei 10 °C. Weil die Viskosität mit steigender Temperatur abnimmt, ist bei T > 10°C: k₁₀ < k_f und bei T < 10°C: k₁₀ > k_f. mit T in °C.

Allerdings ist diese Umrechnung nicht in DIN 18130-1 normiert.

6 Zufluss

6.1 HQ₁₀₀

Auftragsgemäß soll die mögliche Remobilisierung von Sedimenten für den hundertjährigen Hochwasserscheitel, also den Durchfluss HQ₁₀₀, der im Mittel alle 100 Jahre einmal erreicht oder überschritten wird, untersucht werden. Für das HQ₁₀₀ wird für den unterhalb der Talsperre Windischleuba liegenden sächsischen Pegel Regis-Serbitz auf der Website ein Wert von HQ₁₀₀ = 32 m³/s angegeben. <https://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/infosysteme/mnqh-regio/website/>. In Bezug auf die Bemessungsabflüsse HQ₅₀₀ = 289 m³/s und HQ₅₀₀₀ = 412 m³/s für die Talsperre Windischleuba (LTV) erscheint dieser Scheitelwert zunächst zu klein. Auf der Website der sächsischen Umweltdaten wird der Hinweis gegeben, dass der Durchfluss am Pegel Regis-Serbitz durch die Bewirtschaftung der LTV Sachsen beeinflusst wird. Insofern wäre eine Erklärung für diesen sehr kleinen Wert, dass das Hochwasserrückhaltebecken Regis-Serbitz und der Speicher Borna den größten Teil einer Hochwasserwelle zurückhalten und groß genug sind, bei nahezu allen Jährlichkeiten nur ca. 32 m³/s durchzulassen. Da die Talsperre Windischleuba oberhalb der Hochwasserrückhaltebecken liegt, ist dort ein größerer Wert für das hundertjährige Hochwasser zu erwarten.

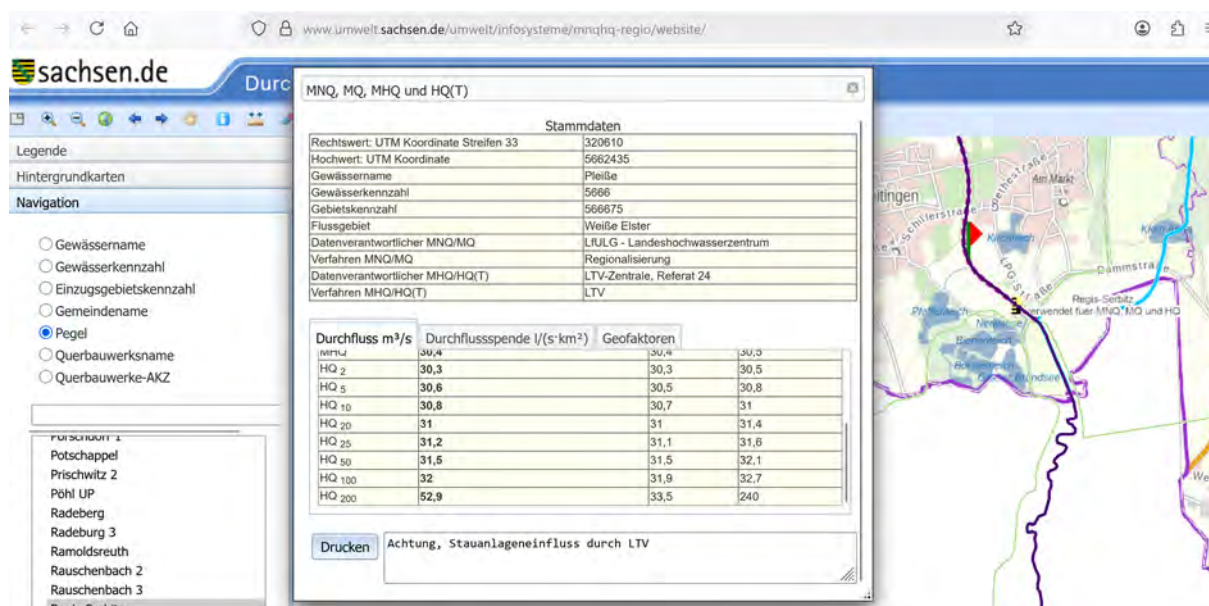


Abbildung 36: HQ₁₀₀ = 32 m³/s und HQ₂₀₀ = 53 m³/s (LTV Sachsen 2025
(<https://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/infosysteme/mnqh-regio/website/>))

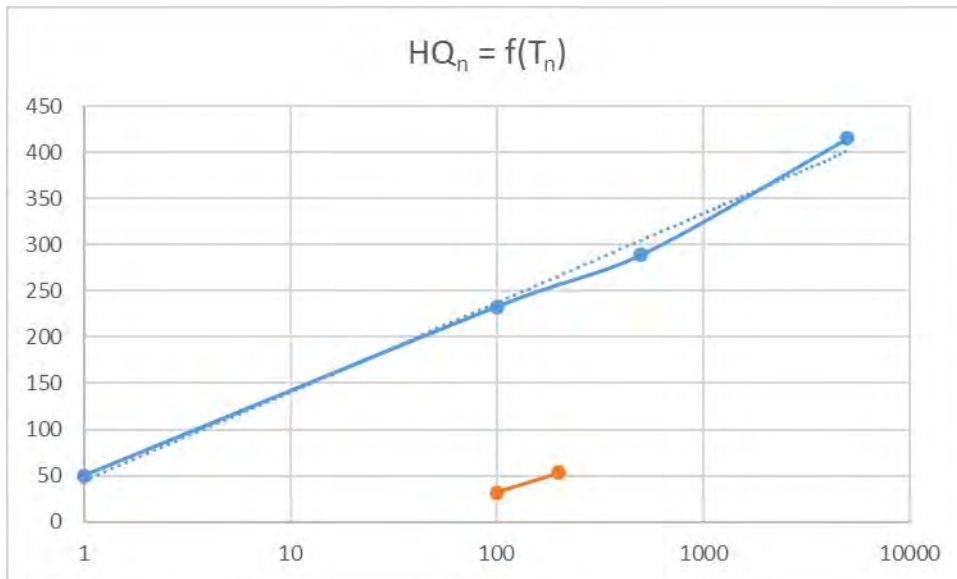


Abbildung 37: Hochwasserscheitel und Wiederholungszeitspanne (Jährlichkeit) $HQ_n = f(T_n)$ für die von der LTV übermittelten Scheitel der doppelgipfligen Bemessungsganglinien für $BHQ_1 = HQ_{500}$ und $BHQ_2 = HQ_{5000}$ (blau) sowie die Werte der Pleiße unterhalb Regis-Breitungen (rot)

Nach einem Zeitzeugenprotokoll eines früheren Anwohners und Wasserbaufachmannes (Anl. 2.6 des Berichtes zur historischen Entwicklung [1], SAKOSTA GmbH 2022) wurde der Damm der Talsperre Windischleuba bei dem großen Hochwasser von 1954 stark durchfeuchtet und fast überflutet. Der Zufluss soll damals mit ca. 300 m³/s deutlich über der maximalen Wasserabgabe von 180 m³/s gelegen haben. Zudem erwiesen sich damals die zur Bedienung der Gleitschütztäfel für die Grundablässe eingebauten Elektromotoren als zu schwach dimensioniert, so dass diese unter dem erhöhten Anpressdruck nicht mehr zu öffnen waren.

Seit dem Umbau zu Beginn des 21. Jahrhunderts verfügt die Talsperre Windischleuba nur noch über den nicht beherrschbaren Hochwasserrückhalteraum, der sich aus dem Rückstau infolge der Überfallhöhe über der festen Wehrschwelle ergibt. Insofern wird die Abminderung von größeren Hochwasserscheiteln eher gering ausfallen.

Eine weitere Möglichkeit zur Abschätzung des Scheitelwertes für das HQ_{100} an der Sperrstelle ist eine Skalierung mit Bezug auf den oberhalb befindlichen Pegel Gößnitz in Ostthüringen (Stationsnummer 57751.0, Betreiber TLUBN, Einzugsgebiet 293,0 km², 62,8 km oberhalb Mündung, Lage (UTM32): Ostwert 741253, Nordwert 5643316, $HQ_{100} = 137,0$ m³/s, Quelle: Hochwassernachrichtenzentrale Thüringen. hnz.thueringen.de). Aus der Skalierung mit dem Flächenexponenten-Verhältnis

$$Q_p = Q_{ref} \cdot (A_E/A_{ref})^x$$

ergeben sich mit den üblichen Werten für den Exponenten x zwischen 0,6 und 0,75 folgende Scheitelwerte

$$Q_p = Q_{ref} \cdot (A_E/A_{ref})^{0.75} = 137 \text{ m}^3/\text{s} \cdot (595 \text{ km}^2/293 \text{ km}^2)^{0.6} = 210 \text{ m}^3/\text{s} \text{ bzw.}$$

$$Q_p = 137 \text{ m}^3/\text{s} \cdot (595 \text{ km}^2/293 \text{ km}^2)^{0.75} = 233 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Es gibt keine öffentlich zugängliche, für die Talsperre Windischleuba ermittelte HQ_{100} -Zuflussganglinie. Aus diesem Grunde wird, weil keine anderen Informationen vorliegen, eine einfache trianguläre Ganglinie mit folgenden Schätzwerten verwendet: Anstiegszeit bis zum Scheitel $t_p = 18$ Stunden (Annahme, mittlere Reaktionszeit für ein mittleres Einzugsgebiet) und Basisdauer $t_b = 72$ Stunden (die Flutwelle läuft ca. 3 Tage).

Unsicherheiten ergeben sich bei dieser Abschätzung aus der Wahl des Skalierungsexponenten, der Zeiten t_p und t_b , der räumlichen Niederschlagsverteilung, und dem Retentionsvermögen des Einzugsgebiets. Real beobachtete Ganglinien (oder modellierte Ganglinien aus einem hydrologischen Einzugsgebietsmodell wie HEC-HMS, HBV, SWAT) können abweichen.

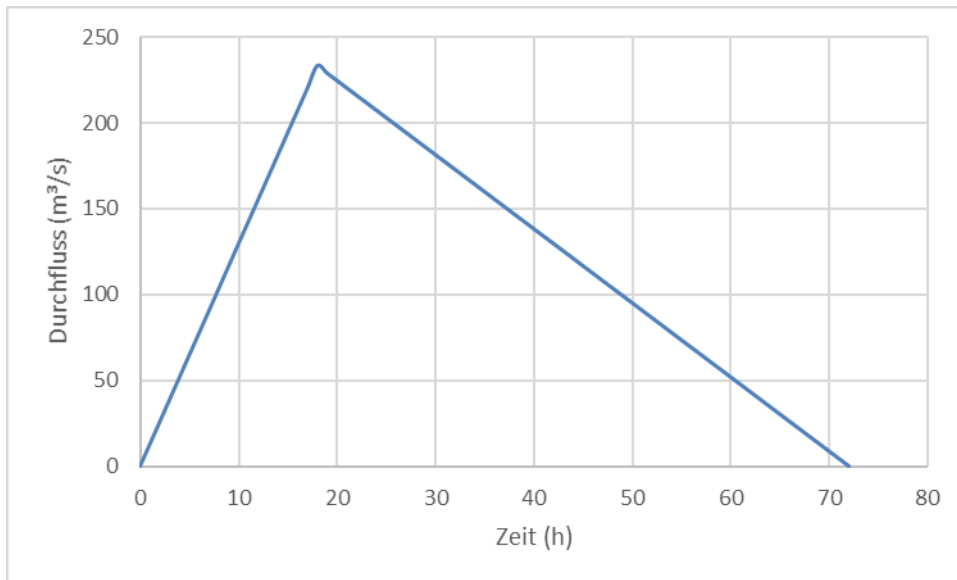


Abbildung 38: Angenommene Zuflussganglinie $HQ_{100} = f(t)$

Für alternative Ansätze könnten anstelle der Dreiecksganglinie z. B. eine Ganglinie in der von Kozeny vorgeschlagenen Form, das SCS-Unit-Hydrograph-Verfahren oder ein Nash-Unit-Hydrograph (mit Parameteranpassung) verwendet werden. In Bezug auf das Ergebnis (die Fließgeschwindigkeiten oder Schubspannungen im Stausee ist daraus allerdings kein verbessertes Ergebnis zu erwarten.

Für die Pleiße in Neukirchen bei Crimmitschau wird ein $HQ_{100} = 108 \text{ m}^3/\text{s}$ angegeben (in Hochwassergefahrenkarten und Hochwasserrisikokarten für Neukirchen, Gewässer Pleiße Gefahr durch Überschwemmung, Stand November 2020, Ersteller: Bauer Tiefbauplanung GmbH, Industriestraße 1, 08280 Aue).

Bei HQ_{200} zeigen die sächsischen Hochwassergefahren- bzw. Risikokarten (Abbildung 39) noch keine Ausuferungen oder Überflutungen der Pleiße an, was auf einen geringer angesetzten Durchflusswert oder den vermuteten Rückhalt der Becken Regis-Serbitz und Borna zurückzuführen sein könnte, die sich unterhalb der Ortslage Fockendorf befinden.

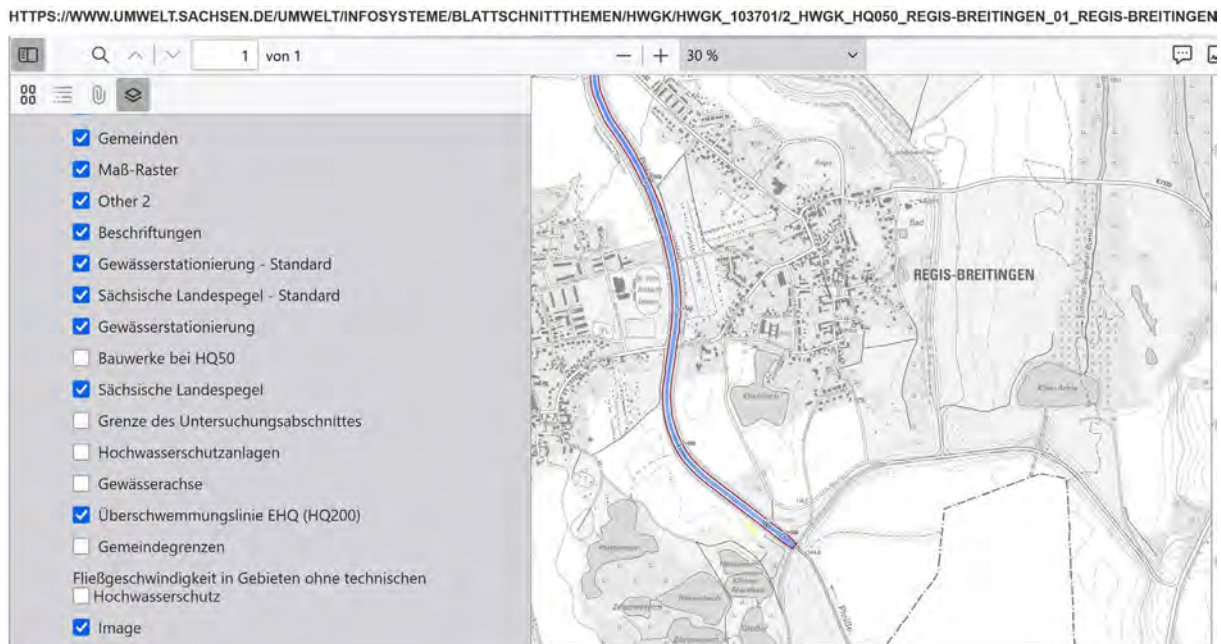


Abbildung 39 Hochwassergefahrenkarte Sachsen. Überschwemmungslinie des HQ₂₀₀ bleibt innerhalb des durch die Deiche begrenzten Flussschlauches. Der Durchfluss des HQ₂₀₀ ist nicht benannt.

Die thüringische Hochwassergefahrenkarte zeigt für HQ₂₀₀ eine Überflutung bis zum HRB Regis-Serbitz an, die aber die höher gelegene Ortschaft Fockendorf kaum betrifft (Abbildung 40). Für HQ₁₀₀ ergeben sich etwas geringere Überflutungsflächen.

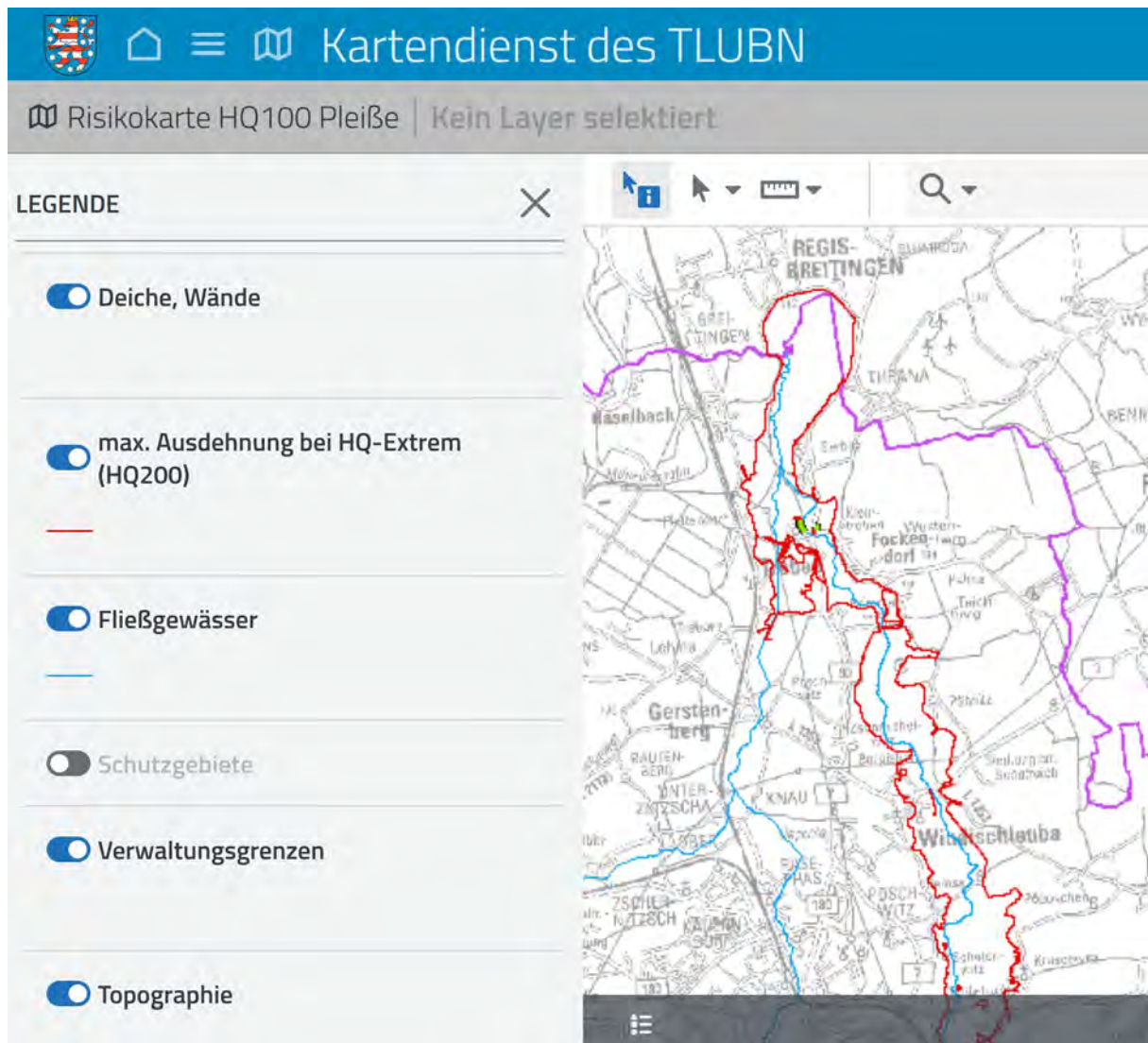


Abbildung 40 Hochwassergefahrenkarte Thüringen. Überschwemmungslinie des HQ₂₀₀ (rot). Hochwasser HQ₂₀₀ führt zur Ausuferung bis zum Rückhaltebecken Regis-Serbitz. Der Durchfluss des HQ₂₀₀ ist nicht benannt.

6.2 Plausibilisierung von Bemessungszuflüssen

Für die mittelgroße Talsperre der Klasse 2 (DIN 19700-11: 2004-07 Stauanlagen) wurden die folgenden doppelgipfligen Bemessungshochwasserzuflussganglinien für den Bemessungsfall 1 $BHQ_1 = HQ_{500} = 289 \text{ m}^3/\text{s}$ und für den Bemessungsfall 2 $BHQ_2 = HQ_{5000} = 412 \text{ m}^3/\text{s}$ von der Landestalsperrenverwaltung Sachsen übermittelt. Es ist zu erkennen, dass die Ganglinie des selteneren Ereignisses aus der des häufigeren Ereignisses durch Skalierung mit über die Zeit wechselnden Faktoren zwischen 1 und 2 abgeleitet wurde (Abbildung 41).

Hochwasserganglinien HQ500 und HQ5.000- Zufluss TS Windischleuba

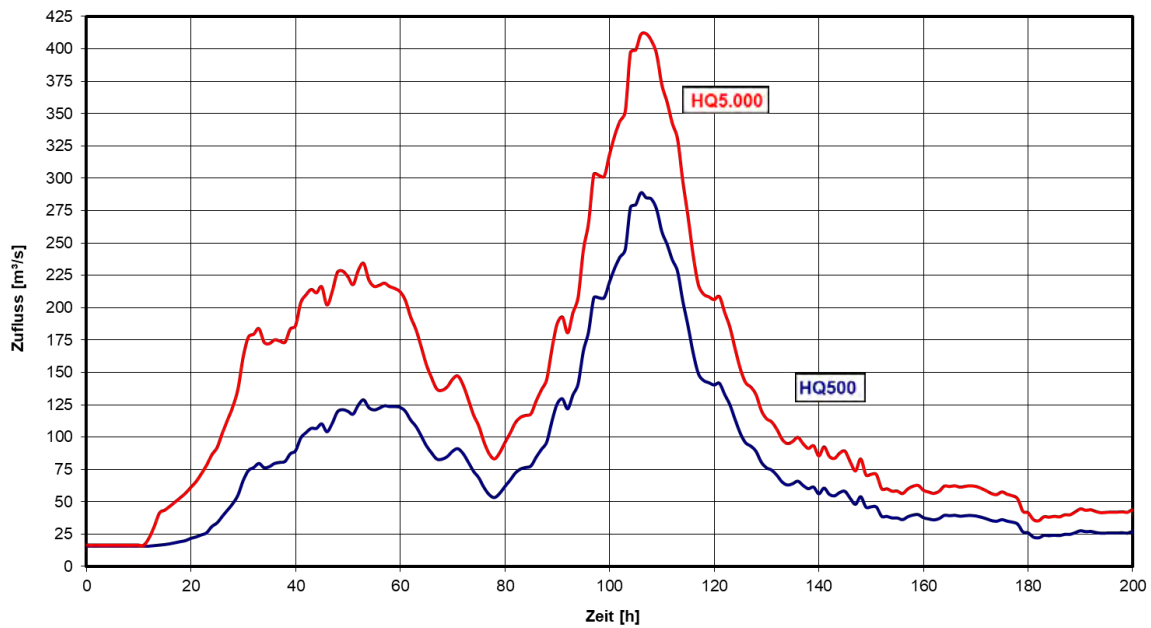


Abbildung 41: Bemessungshochwasserzuflussganglinien für den Bemessungsfall 1 $BHQ_1 = HQ_{500} = 289 \text{ m}^3/\text{s}$ und für den Bemessungsfall 2 $BHQ_2 = HQ_{5000} = 412 \text{ m}^3/\text{s}$ (LTV Sachn 2025)

Die Zuflussganglinie wurde für die Untersuchung eines ersten Szenarios mit der von *Kozeny* vorgeschlagenen mathematischen Funktion

$$HQ(t) = Q_B + (Q_S - Q_B) \cdot \left(\left[\frac{t+ddt}{t_A} \right] \cdot e^{\left(1 - \left[\frac{t+ddt}{t_A} \right] \right)} \right)^{nm} \quad (21)$$

an die Bemessungshochwasserzuflussganglinie für das HQ_{5000} mit folgenden Parametern angepasst (Tabelle 4, Abbildung 42):

Tabelle 4: Kennwerte der Zuflussganglinie.

Ganglinie [Kozeny]	Scheitel 1	Scheitel 2
Basiszufluss (m^3/s) Q_B	20	0
Zuflussscheitel (m^3/s) Q_S	230	400
Anstiegszeit (h) t_A	47	107
Formfaktor n_n	8	60
Zeitverschiebung (h) ddt	0	0

$$HQ(t) = Q_B + Q_{S1} \cdot \left(\left[\frac{t}{t_{A1}} \right] \cdot e^{\left(1 - \left[\frac{t}{t_{A1}} \right] \right)} \right)^{n1} + Q_{S2} \cdot \left(\left[\frac{t}{t_{A2}} \right] \cdot e^{\left(1 - \left[\frac{t}{t_{A2}} \right] \right)} \right)^{n2} \quad (22a)$$

$$HQ(t) = 20 + 230 \cdot \left(\left[\frac{t}{47} \right] \cdot e^{\left(1 - \left[\frac{t}{47} \right] \right)} \right)^8 + 400 \cdot \left(\left[\frac{t}{107} \right] \cdot e^{\left(1 - \left[\frac{t}{107} \right] \right)} \right)^{60} \quad (t \text{ in h}) \quad (22b)$$

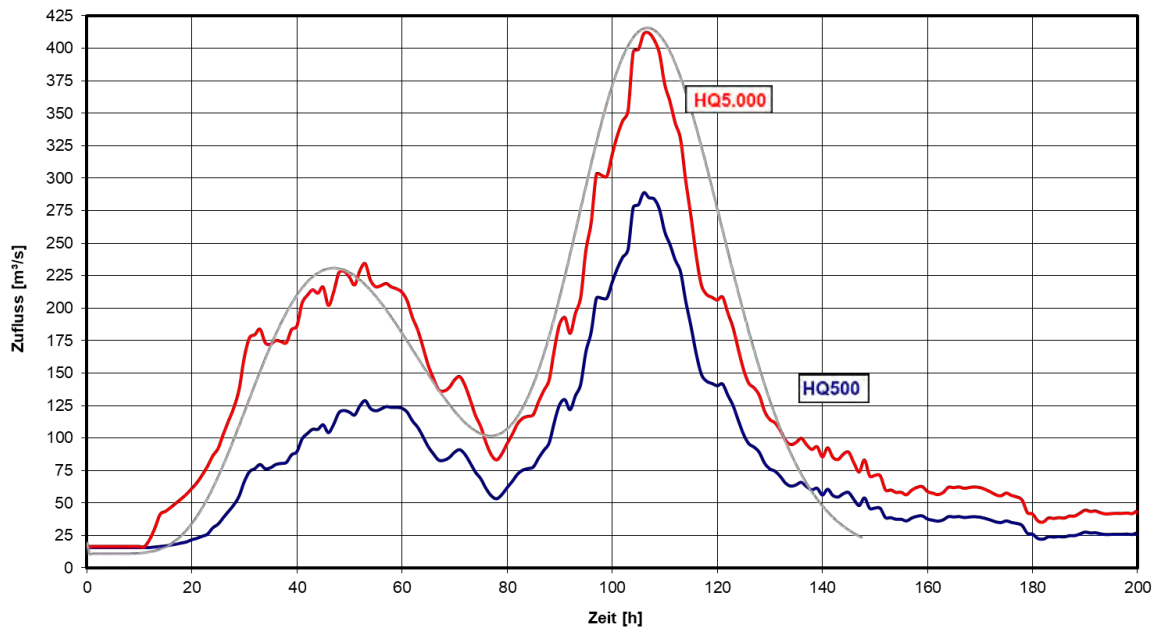


Abbildung 42: Bemessungshochwasserzuflussganglinien für den Bemessungsfall 1 $BHQ_1 = HQ_{500} = 289 \text{ m}^3/\text{s}$ und für den Bemessungsfall 2 $BHQ_2 = HQ_{5000} = 412 \text{ m}^3/\text{s}$ (LTV Sachen 2025) und mit Hilfe der Gleichung (22) nach Kozeny approximierten doppelgipfligen Zuflussganglinie für das HQ_{5000} . (Szenario 1)

Zur Einordnung des Bemessungshochwassers werden die nachfolgenden Überlegungen angestellt:

Eine Auswertung von beobachteten extremen Abflussspenden der Erde wurde von *Wundt* 1947, 1949/1950 (vgl. *Barben* 2001) vorgenommen. Die dargestellten Hüllkurven gelten für das Festland der Erde mit Ausnahme der polaren Eiskappen und Wüstengebiete. Für die Ermittlung dieser Hüllkurve verwendete *Wundt* seinerzeit ungefähr 600 Beobachtungsdaten.

Die Hüllkurve aus der älteren Veröffentlichung (*Wundt* 1949/1950) mit Abflusswerten, die im Laufe der Zeit für die gegebene Fläche durchschnittlich mit einer Wahrscheinlichkeit von 90% nicht überschritten werden, hält *Wundt* in seiner Veröffentlichung von 1965 vor allem für europäische Verhältnisse noch für repräsentativ, empfiehlt aber die Abminderung der Abflusswerte bei Einzugsgebietsflächen kleiner 100 km^2 , ohne jedoch zu beschreiben, wie diese Werte abzumindern sind. Die Hüllkurve wird mit Gleichung (22) beschrieben, wobei $HQ_{90\%}$ den Spitzenabfluss in $[\text{m}^3/\text{s}]$ bezeichnet.

$$HQ_{90\%} = 13,8 \cdot A_E^{0,6} \quad (22)$$

Danach ergeben sich nach *Wundt* für die Talsperre Windischleuba mit einem Einzugsgebiet von $A_E = 595 \text{ km}^2$ ungefähr $HQ = 640 \text{ m}^3/\text{s}$ bei 10% Nichtunterschreitung (90% Unterschreitung).

Durch Nachrechnung der Ereignisse am Hochwasserrückhaltebecken Glashütte 2002, an der Steinbachtalsperre (NRW) und an den Pegeln Altenahr und Bad Bodendorf an der Ahr 2021 konnte gezeigt werden, dass die Scheitel der abgelaufenen Hochwasser mit der Gleichung (22) in Mittelgebirgslagen durchaus zutreffend berechnet wurden und somit das eigentliche seltenere Bemessungshochwasser durchaus noch größer sein müsste.

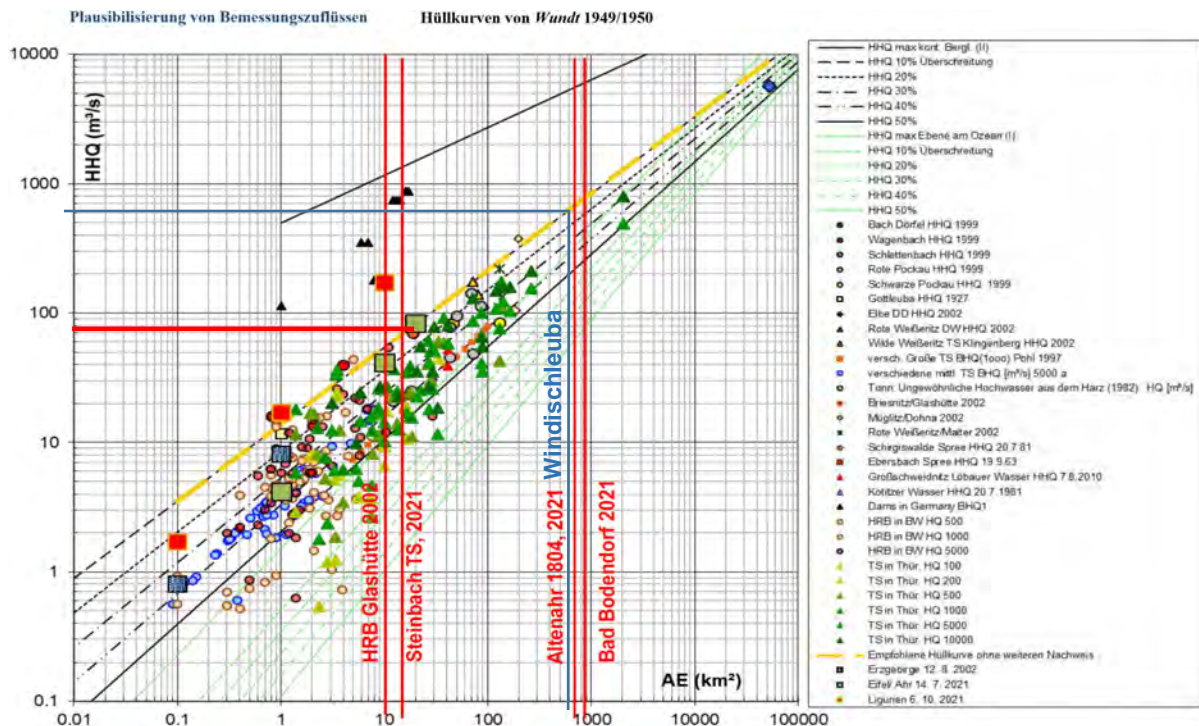


Abbildung 43: Hochwasserscheitel (HHQ) in Abhängigkeit des Einzugsgebietes im Bergland im Vergleich mit den Ergebnissen von Wundt 1949

Wenn das Hochwasserereignis vom 12. 8. 2002 betrachtet wird, bei dem am Erzgebirgskamm in Zinnwald in 24 Stunden 312 mm Niederschlag gemessen wurden und an anderer Stelle 350 mm vom 12. 8. 2002, 7 Uhr bis zum Folgetag hochgerechnet wurden (Bericht des Sächsischen Landesamtes für Umwelt und Geologie vom Dezember 2002), können damals Stundenwerte des Niederschlages von 30 mm und mehr erreicht worden sein. Neuere Prognosen nennen in Kammlagen sogar 704 mm als mögliche Niederschlagshöhe in 24 Stunden¹. Das wird für das vorliegende, weiter entfernt liegende Einzugsgebiet nicht flächendeckend zu erwarten sein. Wenn die Niederschlagshöhe von 30 mm aber zu Plausibilisierungszwecken hier innerhalb einer Stunde bei gesättigtem Untergrund mit vollständigem Oberflächenabfluss wenigstens für die Hälfte des Einzugsgebietes angenommen werden soll, ergäbe sich eine Fülle der einstündigen Hochwasserwelle (Blockfunktion) von 8,9 Mio. m³ mit einem Beckenzufluss, der je nach Retention in der fließenden Welle mehrere hundert Kubikmeter pro Sekunde erreichen kann.

Ein Vergleich dieser Niederschlagshöhen mit Angaben des Deutschen Wetterdienstes zeigt, dass diese Werte durchaus im Bereich des Erwartbaren liegen. Der DWD gibt als Bemessungsniederschlag mit einem Wiederkehrintervall (Wiederholungszeitspanne) von 100 Jahren für das Untersuchungsgebiet einen Wert von $P_{100} = 100 \text{ mm} \dots 140 \text{ mm}$ an (Abbildung 44). Wenn es 24 Stunden lang durchgehend regnet und der Niederschlag linear von Null auf den Höchstwert an- und wieder absteigt (Dreiecksverteilung) ergäbe sich als Maximalzufluss 1380 m³/s, wenn im Einzugsgebiet keine Speicherung, Versickerung oder Verdunstung stattfänden. Die Fülle der Hochwasserzuflusswelle betrüge dann mehr als 59 Mio. m³. Wenn nur ein Drittel dieses Niederschlages der Talsperre Windischleuba zufließen

¹ Winkler, U.: Entwicklung der Talsperrenbewirtschaftung seit Anfang der 1990iger Jahre.-Vortrag auf der Fachveranstaltung „Geschichte im Fluss“ der Landestalsperrenverwaltung Sachsen am 17. September 2024 in Chemnitz.

würde, ergäbe sich ein Scheitelzufluss in der Größenordnung des HQ_{5000} und eine Fülle von etwa 20 Mio. Kubikmetern.



KOSTRA-DWD-2010R

Bemessungsniederschlag
D = 1440 min (24 h), T = 100 a

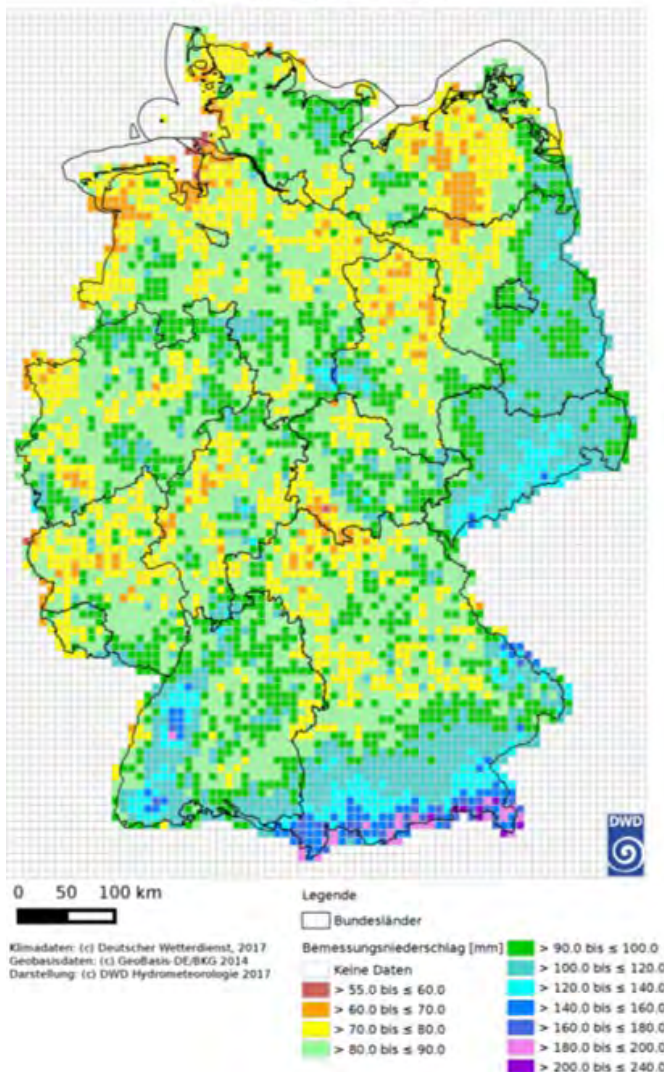


Abbildung 44 Hundertjährige Bemessungsniederschlagshöhe in 24 Stunden. Kostra-DWD 2010R

Weil der Grundablass/Betriebsauslass nur einen relativ kleinen Anteil zum Gesamtabfluss beitragen kann und trotz des Rechens möglicherweise beim einsetzenden Hochwasser durch Treibzeug teilweise verlegt/zugesetzt werden könnte, ist dieser im vorliegenden Kontext nicht berechnungsrelevant.

7 Hydronumerische Berechnung der Beckendurchströmung und Ergebnisse

7.1 Kritische Schubspannung und Geschwindigkeit

Um die Möglichkeit der Remobilisierung von Sedimenten zu ermitteln, gibt es vor allem zwei physikalische Größen, die als Kriterien herangezogen werden können. Das ist zum einen die Sohlschubspannung, also die Schleppspannung die das Wasser auf die Gerinnewand und die dort befindlichen, möglicherweise beweglichen Bodenteilchen ausübt und zum zweiten die (mittlere) Geschwindigkeit (kritische Fließgeschwindigkeit, „Erosionsgeschwindigkeit“) zur Bestimmung des Erosionsbeginns in Flüssen des strömenden Wassers. Für beide Größen existieren empirische, in der Fachliteratur tabellierte Grenzwerte, bei deren Überschreitung von einem Erosionsbeginn ausgegangen wird.

Allerdings handelt es sich hierbei nicht um exakte Grenzwerte, sondern um empirische Mittelwerte, deren tatsächliche (Mess-) Werte einer gewissen Streuung unterliegen. Hinzu kommt, dass sich auch die beiden kritischen oder Grenzwerte (Schubspannung τ_{krit} und Geschwindigkeit v_{krit}) in Tabelle 5 nicht immer ineinander überführen lassen, was theoretisch erwartbar wäre.

Tabelle 5: Sohl- und Wandbeschaffenheit offener Gerinne mit Rauheit nach Strickler und kritische Schubspannung und Geschwindigkeit für den Erosionsbeginn (nach Bollrich 2019)

Sohl- bzw. Wandbeschaffenheit	Korngröße, Kantenlängen mm	τ_{crit} N/m ²	v_{crit} m/s	k_{St} m ^{1/3} /s
a) Kolloidaler Boden				
lehmiger Sand		2,0		} 60 bis 50
lockerer Schlamm		2,5	0,10 ... 0,15	
lockerer Lehm		3,5	0,15 ... 0,20	
sandiger Lehm			0,40 ... 0,60	
fest gelagerter Lehm, Ton bzw. Schlamm		12	0,70 ... 1,0	
b) Einzelkorngefüge vorherrschend				
Schluff	0,02 ... 0,063		0,10 ... 0,20	} 50 bis 40
Feinsand	0,063 ... 0,2	0,5 ... 1,0	0,20 ... 0,35	
Mittelsand	0,2 ... 0,63	1,0 ... 2,0	0,35 ... 0,45	
Grobsand	0,63 ... 2,0	3,0 ... 6,0	0,45 ... 0,60	
Feinkies	2,0 ... 6,3	8,0 ... 12,0	0,60 ... 0,80	
Mittelkies	6,3 ... 20	15	0,80 ... 1,25	
Grobkies	20 ... 63	45	1,25 ... 1,60	
Flussschotter, Geröll	50 ... 75 75 ... 100		1,7 ... 1,8 1,9 ... 2,0	35 30 28
c) Befestigungen				
Steinschüttung	32/63	30 ... 58		} 30 bis 20
	63/90	40 ... 75		
	63/125	75 ... 100		
	100 ... 150		1,90 ... 3,40	
Steinpackung,	150 ... 200	53 ... 73	2,60 ... 3,80	
Steinpflasterung	200 ... 300	73 ... 160		
Rasen, gut	} – lange Belastung	15 ... 18	1,5	} 50 bis 40
verwurzelt		20 ... 30	1,8	
Betongitterplatten mit Rasen		108		
mit Sand		40 ... 50		
mit Kies		50 ... 100		
Beton, ohne Geschiebebewegung			4,0	
mit Geschiebebewegung			2,5	
Rauwehr, Spreutlage		30 ... 40		
Weidenwuchs, mehrjährig		100 ... 140		
Bruchsteinpflaster in Zementmörtel			5,0	

Eine weitere Tabelle mit experimentell ermittelten Werten für den Shields-Parameter und die kritische Schubspannung τ_a (N/m²) wurde vom *U.S. Geological Survey (USGS)* [7] in einem wissenschaftlichen Bericht veröffentlicht. Die darin verwendete Bodenklassifikation (Korngröße) unterscheidet sich teilweise von der hierzulande üblichen, was z. B. daran ersichtlich ist, dass nach DIN die „Körner“ über 63 mm Siebdurchmesser als Steine bezeichnet werden. Die Schubspannungswerte in der Tabelle geben an, ab welcher Schubspannung das Sediment im Flussbett beginnt, sich zu bewegen (Erosionsbeginn):

Tabelle 6: Korngröße, Shields-Parameter und kritische Schubspannung für den Erosionsbeginn (nach USGS [7])

Partikelklassifikation	Korngröße (mm)	Shields-Parameter θ (dimensionslos)	Kritische Schubspannung τ_a (N/m ²)
Sehr grober Kiesel (coarse cobble)	128–256 mm	~0,054	~112 – 223
Feiner Kiesel (fine cobble)	64–128 mm	0,052–0,054	~53.8 – 112
Sehr grober Kies (very coarse gravel)	32–64 mm	0,05–0,052	~25.9 – 53.8
Grober Kies (coarse gravel)	16–32 mm	0,047–0,05	~12.2 – 25.9
Mittlerer Kies (medium gravel)	8–16 mm	0,044–0,047	~5.7 – 12.2
Feiner Kies (fine gravel)	4–8 mm	0,042–0,044	~2.7 – 5.7
Sehr feiner Kies (very fine gravel)	2–4 mm	0,039–0,042	~1.3 – 2.7
Sehr grober Sand	1–2 mm	0,029–0,039	~0.47 – 1.3
Grober Sand	0.5–1 mm	0,033–0,029	~0.27 – 0.47
Mittlerer Sand	0.25–0.5 mm	0,048–0,033	~0.194 – 0.27
Feiner Sand	0.125–0.25 mm	0,072–0,048	~0.145 – 0.194
Sehr feiner Sand	0.0625–0.125 mm	0,109–0,072	~0.110 – 0.145
Grober Schluff	0.031–0.0625 mm	0,165–0,109	~0.0826 – 0.110
Mittlerer Schluff	0.0156–0.031 mm	0,25–0,165	~0.0630 – 0.0826

Des Weiteren lassen sich die Grenzwerte für den Geschiebebeginn aus den Diagrammen nach *Shields* oder *Hjulström* ableiten, die aber auch keine größere Genauigkeit bieten.

In letztgenanntem Diagramm sind die kritischen Geschwindigkeiten (für den Erosionsbeginn) als Funktion der Korngröße dargestellt. Grobkörnige Materialien erfordern in der Regel höhere Geschwindigkeiten für Erosion. Sehr feine Körnungen (~Ton/Schluff) erfordern ebenfalls etwas höhere Geschwindigkeiten wegen der Kohäsion, die tendenziell mit kleiner werdenden Korngrößen zunimmt.

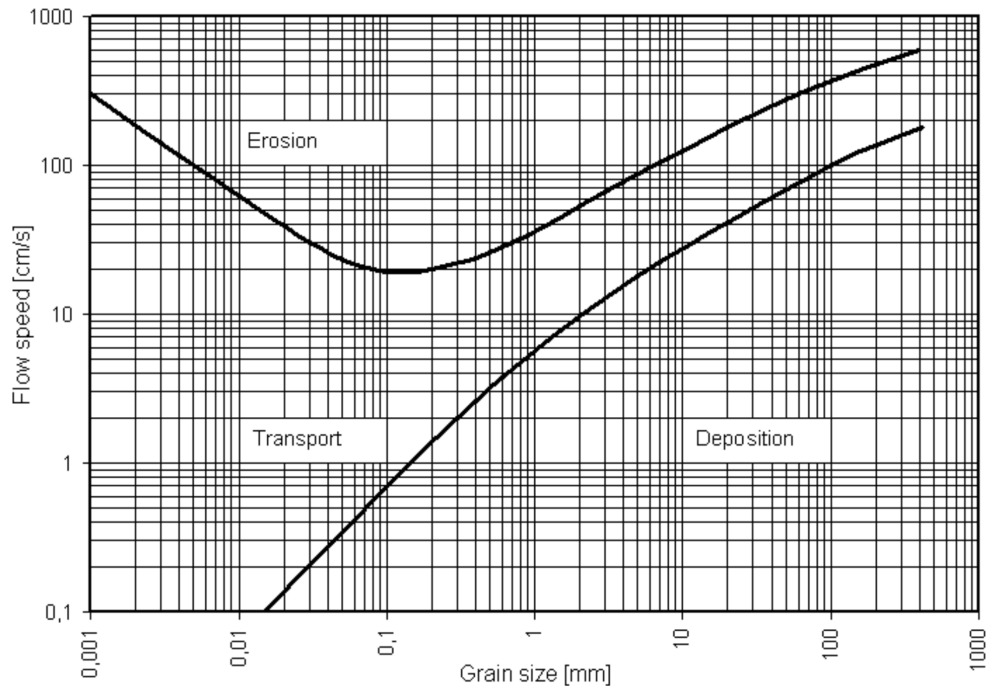


Abbildung 45 Hjulström Diagramm für die Einordnung der Feststoffbewegung in Fließgewässern.

Tabelle 7: Beispiele für die kritische Geschwindigkeit des Geschiebebeginns aus dem Hjulström-Diagramm (typische Bereiche, näherungsweise):

Korngröße (mm)	Kritische Erosions-Geschwindigkeit (m/s)	Anmerkung
0,001 (Ton)	~0,5 – 1,0	hohe Kohäsionskraft, schwer zu erodieren
0,01 (feiner Schluff)	~0,3 – 0,8	Erosion möglich, braucht mittlere Geschwindigkeit
0,1 (Sand)	~0,2 – 0,6	relativ leichter Erosionsbeginn
1 (mittlerer Sand)	~0,5 – 1,0	Sand bewegt sich bei höheren Geschwindigkeiten
10 (Kies)	~1,0 – 1,5	grobe Körner erfordern deutlich höhere Geschwindigkeiten

Diese Orientierungswerte sind aus empirisch-grafischen Diagrammen abgeleitet worden (*Hjulström & Sundborg*) und können je nach Quelle leicht variieren. Genauere Werte sind deutlich von der Wassertiefe, der Riffelung der Sohle, der Turbulenz usw. abhängig.

Außer diesen rechnerischen Möglichkeiten, die auf Erfahrungswerten basieren, können experimentelle Methoden genauere Aussagen im Einzelfall liefern. Im Labor können Gerinneversuche mit möglichst ungestörten Proben durchgeführt werden, in denen der Beginn der ersten Kornbewegungen bei schrittweise gesteigerter Fließgeschwindigkeit festgestellt wird. In situ sind verschiedene Feldmethoden anwendbar, wie z. B. die Beobachtung von Tracersteinen, Spülversuche, fotogrammetrische Beobachtungen mittels Drohnenaufnahmen oder wiederholte Querprofilaufnahmen im Zusammenspiel mit Durchflussmessungen bei Hochwasser.

7.2 Hydronumerische Modellierung der Beckendurchströmung

Mit Hilfe einer hydronumerischen Modellierung des Oberflächenabflusses wurde die Beckendurchströmung bei Hochwasser untersucht. Dazu wurde das Programm HEC-RAS 6.3.1 (Hydrologic Engineering Center – River Analysis System) des U.S. Army Corps of Engineers (USACE) verwendet [8]. Dabei handelt es sich um eine Simulationssoftware zur Modellierung der Hydraulik von Wasserströmungen in natürlichen Flüssen und anderen offenen Gerinnen. Das Programm ermöglicht die eindimensionale und zweidimensional tiefengemittelte numerische Nachbildung von Strömungsvorgängen.

In der vorliegenden Untersuchung wurde ein Strömungsgebiet von der Stauwurzel an der Bundesstraße 7 bis unterhalb des Staudammes Windischleuba modelliert.

Als Zuflussganglinie wurde die vereinfachte Ganglinie aus Abbildung 38 verwendet. Die Geländegeometrie wurde aus dem DGM1 (Digitales Geländemodell mit Messpunktabstand von $1 \times 1 \text{ m}^2$) des Thüringischen Landesvermessungsamtes entnommen. Die Höhenangaben beziehen sich auf die Landoberfläche und die Oberfläche von stehenden und fließenden Gewässern zum Zeitpunkt der Laserscanbefliegung. Als untere Randbedingung wurde der gerinnebedingte Normalabfluss verwendet. Die Rauheit des Stauraumes wurde im Mittel mit $k_{St} = 16 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ angenommen.

Für das HQ_{100} wurde aus den oben beschriebenen Gründen ein Durchfluss von $233 \text{ m}^3/\text{s}$ eingesetzt.

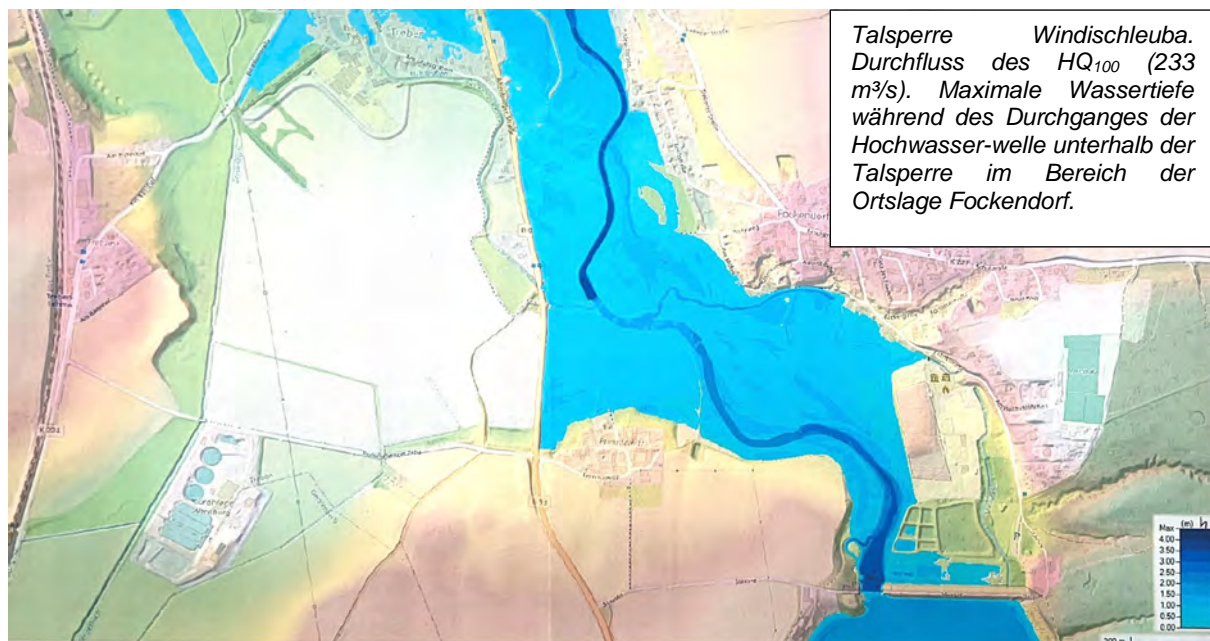


Abbildung 46 Talsperre Windischleuba. Durchfluss des HQ_{100} ($233 \text{ m}^3/\text{s}$). Maximale Wassertiefe während des Durchganges der Hochwasserwelle unterhalb der Talsperre im Bereich der Ortslage Fockendorf.

Die Wassertiefen in den bei HQ_{100} überströmten Vorländern der Pleißeau unterhalb der Talsperre und unterhalb von Fockendorf liegen zwischen 50 cm und 1,50 m (Abbildung 46). Lediglich in der Pleiße selbst werden unmittelbar unterhalb des Entlastungsbauwerkes der Talsperre und unterhalb des Wehres Fockendorf Tiefen von bis zu 4 m erreicht. Insofern das

Hochwasser Feststoffe transportiert, können diese bei abnehmendem Durchfluss und abnehmender Geschwindigkeit im Flussbett und den Vorlandwiesen abgelagert werden.

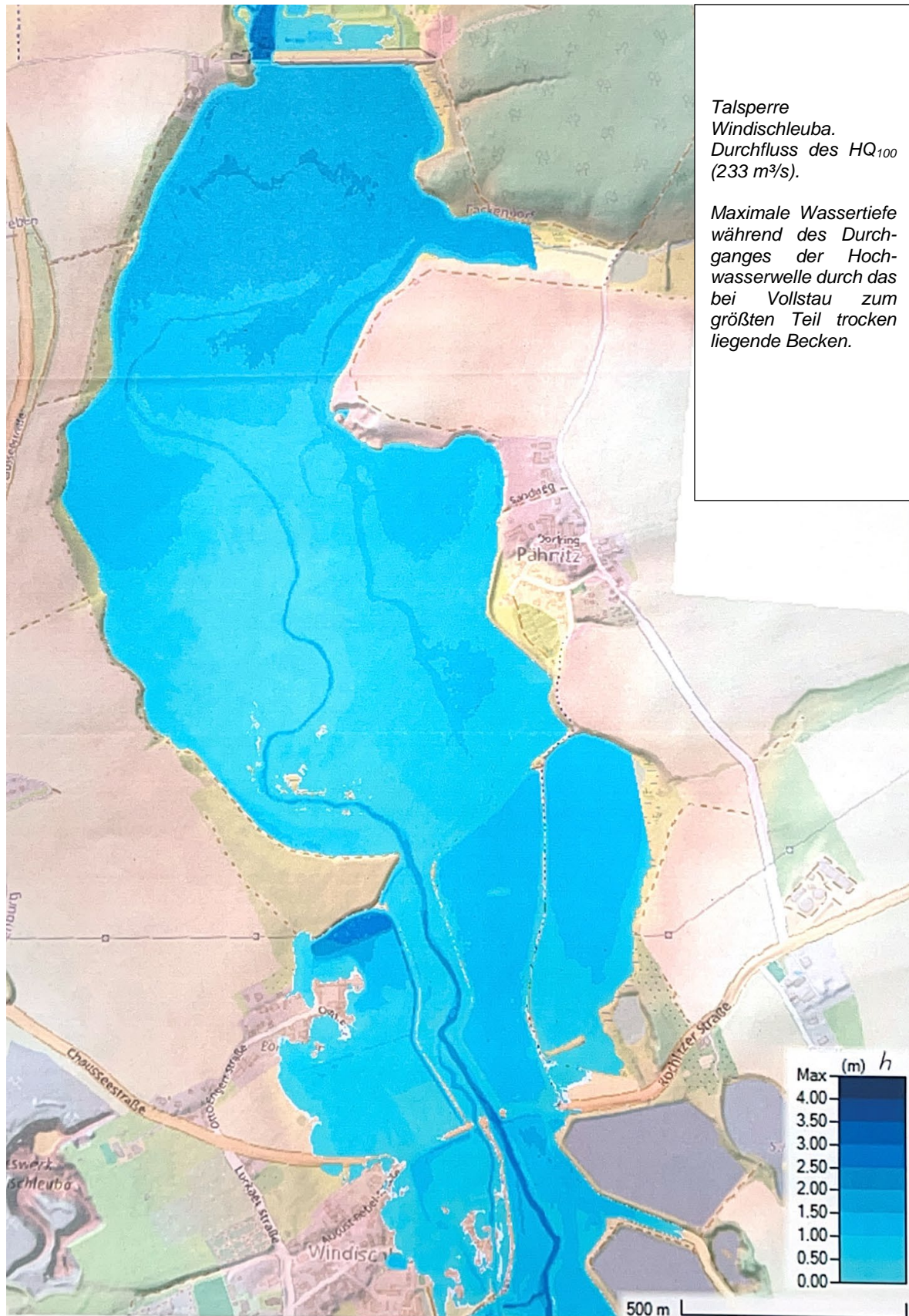


Abbildung 47 Talsperre Windischleuba. Durchfluss des HQ₁₀₀ (233 m³/s). Maximale Wassertiefe während des Durchganges der Hochwasserwelle durch das bei Vollstau zum größten Teil trocken liegende Becken.

Auch im Stauraum sind die maximalen Wassertiefen relativ gering. Der normalerweise trocken liegende Bereich wird mit Tiefen von 0,50 bis 1,50 m überströmt, während der Dauerstaubereich bei Hochwasser 2 bis 2,50 m tief ist.

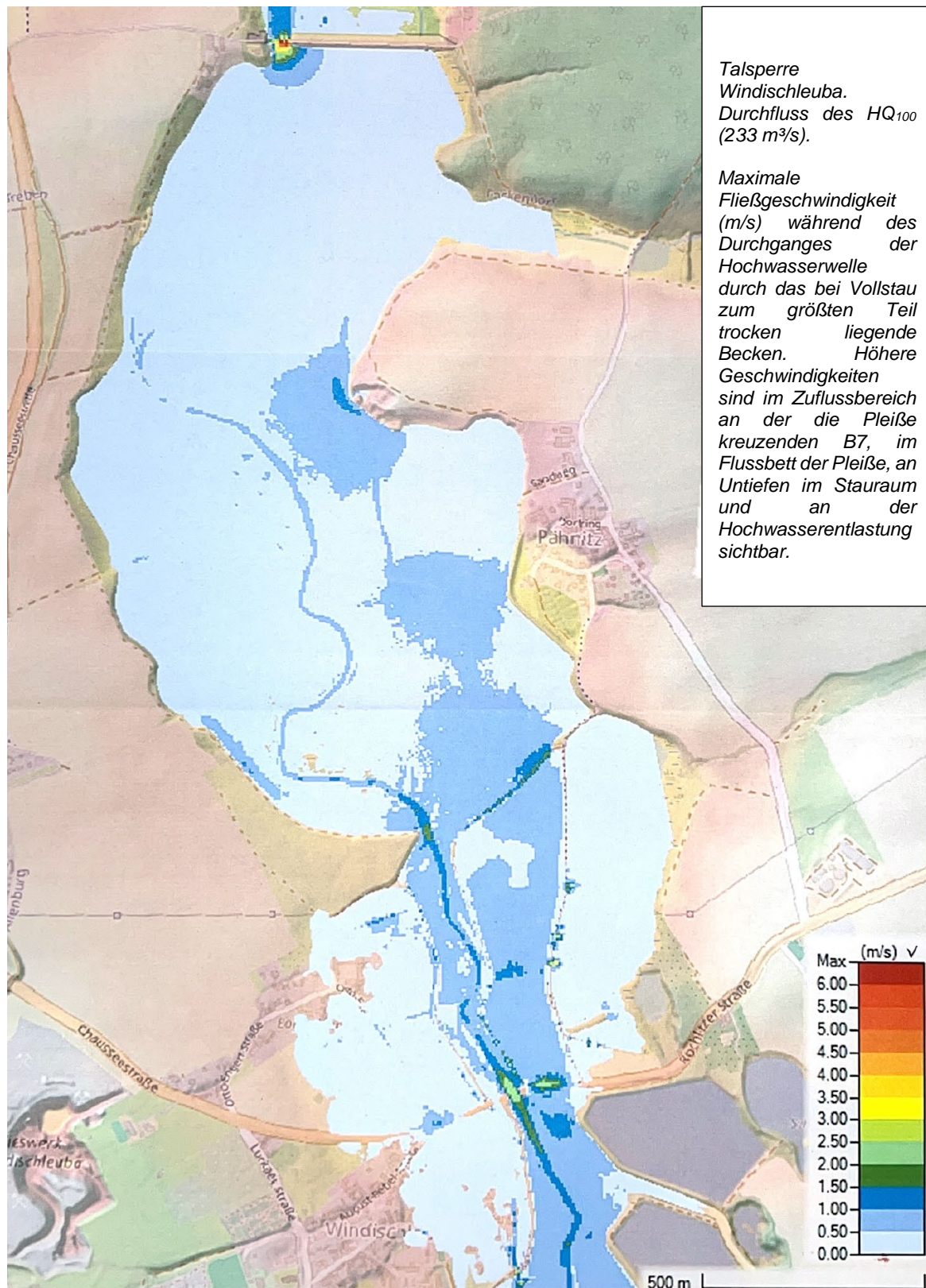


Abbildung 48 Talsperre Windischleuba. Durchfluss des HQ₁₀₀ (233 m³/s). Maximale Fließgeschwindigkeit (m/s) während des Durchganges der Hochwasserwelle durch das bei Vollstau zum größten Teil trocken liegende Becken. Höhere Geschwindigkeiten sind im Zuflussbereich an der die Pleiße kreuzenden B7, im Flussbett der Pleiße, an Untiefen im Stauraum und an der Hochwasserentlastung sichtbar.

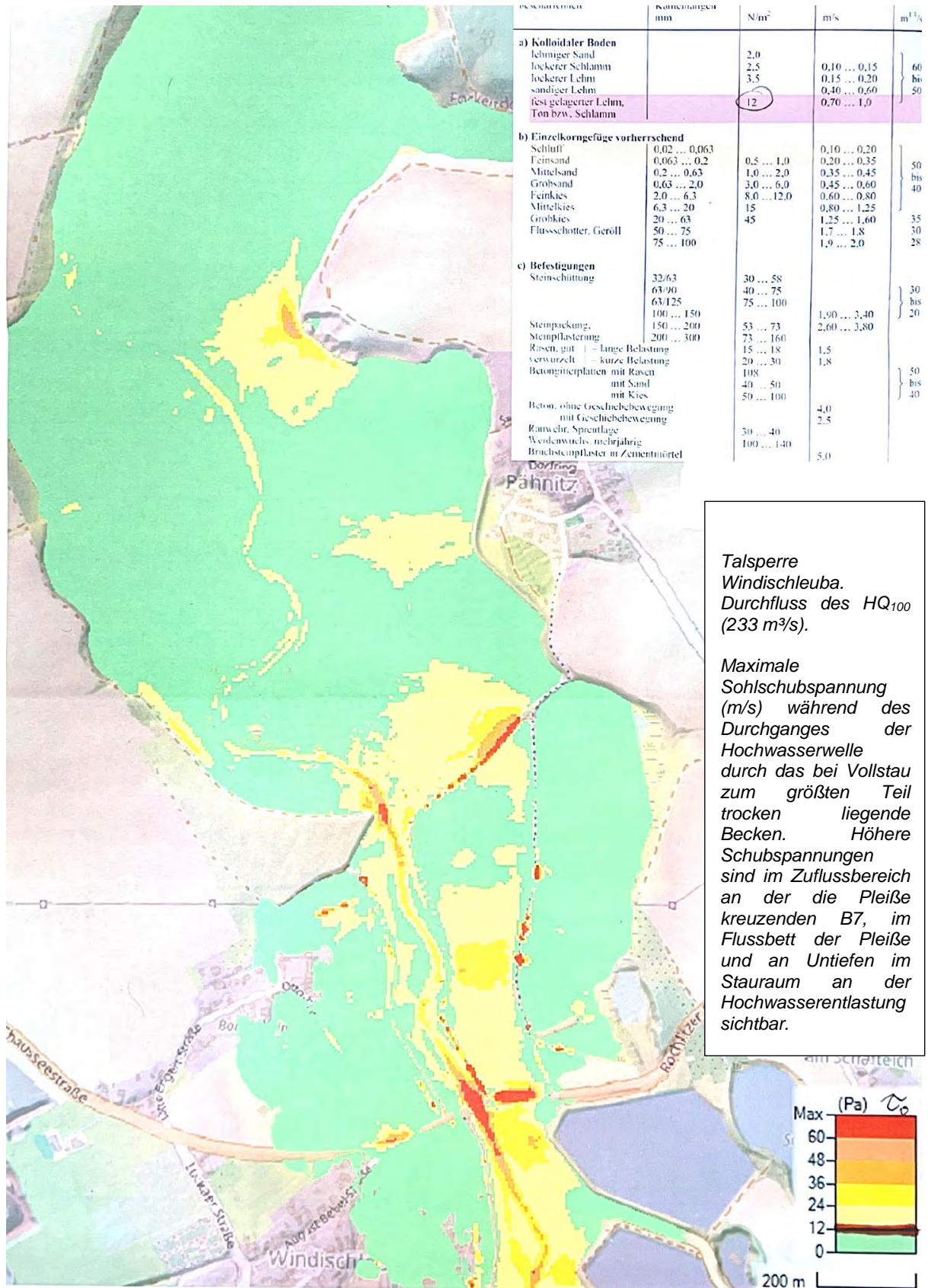


Abbildung 49 Talsperre Windischleuba. Durchfluss des HQ₁₀₀ (233 m³/s). Maximale Sohlschubspannung (m/s) während des Durchganges der Hochwasserwelle durch das bei Vollstau zum größten Teil trocken liegende Becken. Höhere Schubspannungen sind im Zuflussbereich an der die Pleiße kreuzenden B7, im Flussbett der Pleiße und an Untiefen im Stauraum an der Hochwasserentlastung sichtbar.

Die maximalen Fließgeschwindigkeiten sind während des Durchganges der Hochwasserwelle durch das bei Vollstau zum größten Teil trocken liegende Becken vergleichsweise gering und liegen in ca. 70% der Stauseefläche unter 0,5 m/s und in etwa weiteren 25% der Seefläche unter 1 m/s. Höhere Geschwindigkeiten sind nur im Zuflussbereich an der die Pleiße kreuzenden B7, im Flussbett der Pleiße, an Untiefen im Stauraum und an der Hochwasserentlastung sichtbar (Abbildung 48).

Weil die Schubspannung eine Funktion der Fließgeschwindigkeit ist, verhält sich die Verteilung der Schubspannungen im Becken analog zu denen der Geschwindigkeit, was an den farbigen Markierungen in Abbildung 49 im Vergleich zu Abbildung 48 mit wenigen kleinen Ausnahmen sichtbar wird.

7.3 Bewertung der Ergebnisse zur Beckendurchströmung

Aus den Abbildungen 48 und 49 können die beim Abfluss des HQ_{100} auftretenden Fließgeschwindigkeiten und Schubspannungen abgelesen werden. Unter Berücksichtigung der Tabelle 5 wird erkennbar, dass fest gelagerter Lehm, Ton oder Schlamm auf mehr als 95% der Stauffläche nicht oder kaum erodiert werden würde. Bei locker gelagerten und feinen Einzelkornmaterialien ist mit Erosion in vielleicht der Hälfte der Fläche zu rechnen. Wie schon oben angemerkt, gibt es hier keinen exakten Umschlagpunkt v_{krit} oder τ_{krit} , sondern einen Bereich, in dem sich die Erosion zunehmend bemerkbar macht.

Im digitalen Geländemodell der Thüringischen Landesvermessung ist im Bereich des Dauerstaus und im Bereich des Flusstaus die Wasseroberfläche als Gelände angegeben². Dadurch ist die in die Berechnung eingehende Fließfläche kleiner als die tatsächliche. Das führt zu größeren Fließgeschwindigkeiten und Schubspannungen in den Berechnungsergebnissen, die auf der sicheren Seite liegen. Es ist also in diesen Bereichen in situ mit weniger Erosionsneigung zu rechnen, als es nach den Ergebnisdarstellungen zu erwarten wäre.

Die auch im Dauerstaubereich geringe Wassertiefe bei gleichzeitig großer Fließfläche mit sich bis kurz vor dem Überfall immer mehr verlangsamender Strömung lässt dort über einen längeren Zeitraum per Saldo Ablagerungen erwarten (Abb. 47), die den jetzt noch 12 ha großen See nach und nach verkleinern.

Gleichwohl ist anzunehmen, dass die Verhältnisse dynamisch sind: Bei einer anlaufenden Hochwasserwelle mit höheren Fließgeschwindigkeiten und Schubspannungen wird in einigen Bereichen eine gewisse Erosion stattfinden, die aber beim abklingenden Hochwasser durch das Absetzverhalten bei geringeren Geschwindigkeiten durch Sedimentation wieder kompensiert wird.

Höhere Geschwindigkeiten treten unter der Brücke der B7 und beim Überströmen des Dammweges (Zwischen den beiden Vorbecken und dem Hauptbecken) von Pähnitz nach Borgishain, im direkten Flussbett sowie erwartungsgemäß im unmittelbaren Zustrombereich zum Entlastungsbauwerk der Hauptsperre auf.

Es wird vermutet, dass im Flussbett eher Flussschotter und weniger Sedimente anzutreffen sind. Der Flussschotter könnte bei möglicherweise erodierter Aulehmschicht in hydraulischer Verbindung mit dem Aquifer 1 stehen.

Um eine Berechnung zu ermöglichen, wurden verschiedene Annahmen getroffen. Diese betreffen die Ganglinie des HQ_{100} , die Unterwasserbedingung, die Klarwasserannahme, die

² Dieser Fehler ließe sich durch den Einsatz von (grünen) tieferreichenden Speziallasern korrigieren.

einheitlichen Sohl- und Gerinnerauheiten, das Berechnungsgitter und die für den Erosionsbeginn kritische Fließgeschwindigkeit bzw. Sohlschubspannung. Modifikationen dieser Werte oder eine experimentelle Nachprüfung der kritischen Fließgeschwindigkeit bzw. Sohlschubspannung könnten graduell abweichende Ergebnisse liefern, die aber nach Auffassung des Autors die grundsätzlichen Aussagen nicht in Frage stellen dürften.

8 Geohydraulische Untersuchungen und Ergebnisse

8.1 Unterströmung des Staudammes und des Entlastungsbauwerkes

Der zweite Teil der Fragestellung bezieht sich auf die Möglichkeit der Auswaschung von Schadstoffen aus dem Beckensediment mit Eintrag in das Grundwasser und Auswirkungen in der Ortslage Fockendorf. Abbildung 51 zeigt den ergänzten Dammquerschnitt und den Querschnitt des Massivbauwerkes. Im Falle einer Wasserwegigkeit im Untergrund kämen die beiden eingetragenen Sickerwege in Frage.

Um die Durchsickerung des Dammes und des Untergrundes abschätzen zu können, wird zunächst davon ausgegangen, dass die auf der Dammkrone (163,00 m NN) angesetzte Bohrung SWDo1 den Dammaufbau repräsentativ abbildet.

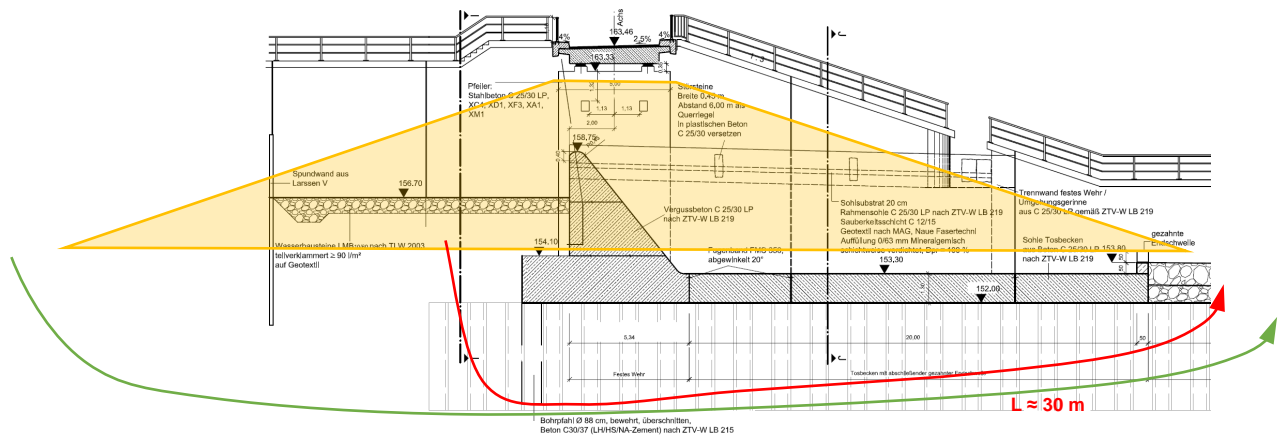


Abbildung 50 Talsperre Windischleuba: Mögliche Sickerwege (Unterströmung) im Dammquerschnitt und Querschnitt der Hochwasserentlastungsanlage³ (aus Bestandsplan 21, Kubens-Ingenieurgesellschaft 2014).

Bevor das Wasser in dem zwischen 152,00 und 153,20 m NN liegenden Aquifer den Damm relativ leicht unterströmen zu könnte, müsste es erst durch die 2,30 m dicke Aulehmschicht hindurchtreten (Abbildung 51). Wenn dafür die gesamte aktive Seefläche von 12 ha gleichmäßig zur Verfügung stünde, ein Druckhöhenunterschied zwischen Ober- und Unterwasser von 5 m vorläge und die Durchlässigkeiten der Aulehmschicht mit $k_f = 10^{-6}$ m/s und die der 1,20 m mächtigen und 400 m breiten Kiesschicht mit 10^{-3} m/s angesetzt würden, ergäbe sich folgende Überschlagsrechnung:

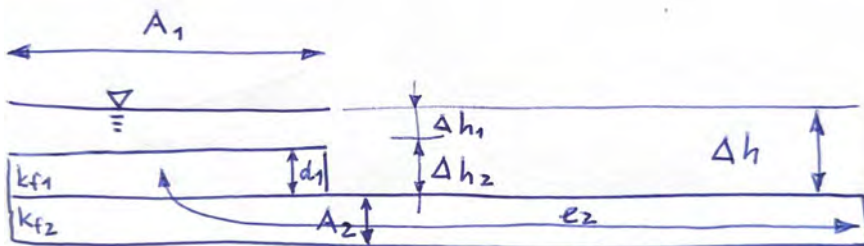


Abbildung 51 Skizze für überschlägliche Ermittlung der Unterströmung

³ Die Höhenmarken der Brückenplatte und der OK Pfeiler korrespondieren nicht mit den Abmessungen des Bauzeichnungs-Originals und der Höhe der Auflager (0,35 m). (RP)

$$Q = A_1 \cdot k_{f1} \cdot \frac{\Delta h_1}{d_1} = A_2 \cdot k_{f2} \cdot \frac{\Delta h_2}{l_2}$$

$$\Delta h_1 = \frac{A_2}{A_1} \cdot \frac{k_{f2}}{k_{f1}} \cdot \frac{d_1}{l_2} \cdot (\Delta h - \Delta h_1)$$

$$\Delta h_1 = \frac{\frac{A_2}{A_1} \cdot \frac{k_{f2}}{k_{f1}} \cdot \frac{d_1}{l_2} \cdot \Delta h}{\left(1 + \frac{A_2}{A_1} \cdot \frac{k_{f2}}{k_{f1}} \cdot \frac{d_1}{l_2}\right)} = 0,42 \text{ m}$$

mit $A_1 = 12 \text{ ha}$; $A_2 = 400 \cdot 1,2 \text{ m}^2$; $d_1 = 2,3 \text{ m}$; $l_2 = 100 \text{ m}$; $k_{f1} = 10^{-6} \frac{\text{m}}{\text{s}}$; $k_{f2} = 10^{-3} \frac{\text{m}}{\text{s}}$

$$\Delta h_2 = 4,58 \text{ m}$$

$$Q_1 = 120000 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{0,421}{2,3} = 0,022 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}; \quad Q_2 = 400 \cdot 1,2 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{4,58}{100} = 0,022 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

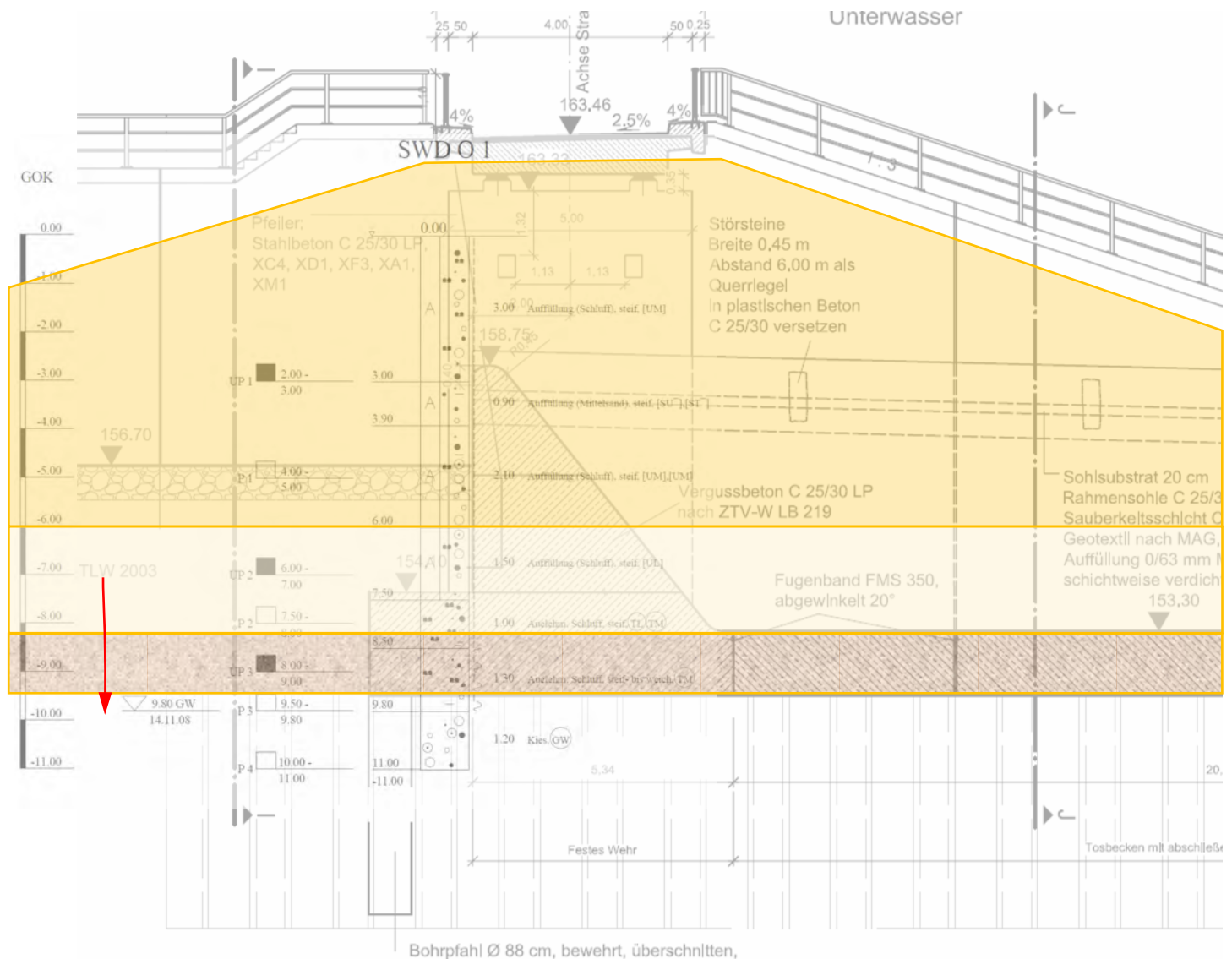


Abbildung 52 Talsperre Windischleuba: Möglicher Sickerweg: Durchströmung der Aulehmschicht und Eintritt des Sickerwassers in den Kiesaquifer, der aber durch die überschrittene, ungefähr 4,50 m tiefe, bis auf 147,5 m NN herunterreichende Bohrpfahlwand unterbrochen (gestaut) wird. (aus Bestandsplan 21, Kubens-Ingenieurgesellschaft 2014, überlagert mit Bohrlochdokumentation SWD01 aus [5b]).

Es würde sich somit eine Unterströmung von 22 l/s ergeben. Dieser Wert dürfte auf Grund der Art der Annahmen auf der sicheren Seite liegen, weil ein gleichmäßiger Eintritt des Sickerwassers über den ganzen Seeboden nicht zu erwarten ist und die Durchlässigkeit des als sandiger Kies [5b] beschriebenen Aquifers möglicherweise auch noch geringer ist. Zudem ist in dieser Rechnung noch nicht berücksichtigt, dass der Aquifer durch die überschrittene Bohrpfahlwand gegen den Stausee gedichtet ist. Das Sickerwasser müsste also einen noch längeren Weg durch Schichten geringer Durchlässigkeit nehmen, in die die Bohrpfahlwand einbindet. Dadurch würden sich der Durchlässigkeitsbeiwert und der hydraulische Gradient und in der Folge auch die Filtergeschwindigkeit und der Durchfluss weiter vermindern.

Nach persönlicher Mitteilung von Frau Dipl.-Ing. H. Salewski, Betriebsleiterin Talsperren und Hochwasserrückhaltebecken der Landestalsperrenverwaltung Sachsen am 26. 1. 2026, sind sowohl in der Beckensohle als auch in der Bohrpfahlwand keine Fehlstellen bekannt. Es kann also von einer dichtenden Wirkung der Aulehmschicht im Zusammenwirken mit den Beckensedimenten, der Bohrpfahlwand und der zonierten Damminnendichtung ausgegangen werden, die den Transport von Schadstoffpartikeln durch den Untergrund verhindert. Selbst wenn Wasser in sehr kleinen Mengen mit sehr geringen Geschwindigkeiten in den Untergrund eintritt, ist zu erwarten, dass Schadstoffpartikel von den durchsickerten Sedimenten und dem Aulehm ausgefiltert und zurückgehalten werden. Insofern könnten nur in Lösung gegangene Beimischungen transportiert werden.

8.2 Hydr numerische Modellierung der Grundwasserströmung

Obwohl bereits in der überschläglichen Berechnung gezeigt werden konnte, dass ein Eintritt von remobilisierten Schadstoffen mit dem Wasser aus dem Stauraum in den Grundwasserleiter der Pleißeau sehr unwahrscheinlich ist, solange die Aulehmschicht und die zusätzlich durch Kolmation dichtenden Sedimentschichten nicht abgetragen, geöffnet, durchörtert, durchbohrt oder auf andere Weise unwirksam gemacht werden, wurde mit einem numerischen Grundwassermodell untersucht, wie sich durch den Damm oder Untergrund sickerndes Wasser ausbreiten könnte.

Nachfolgend wurden verschiedene Einwirkungssituationen mit dem Finite-Differenzen-Programm ASM-WIN [9] näherungsweise modelliert.

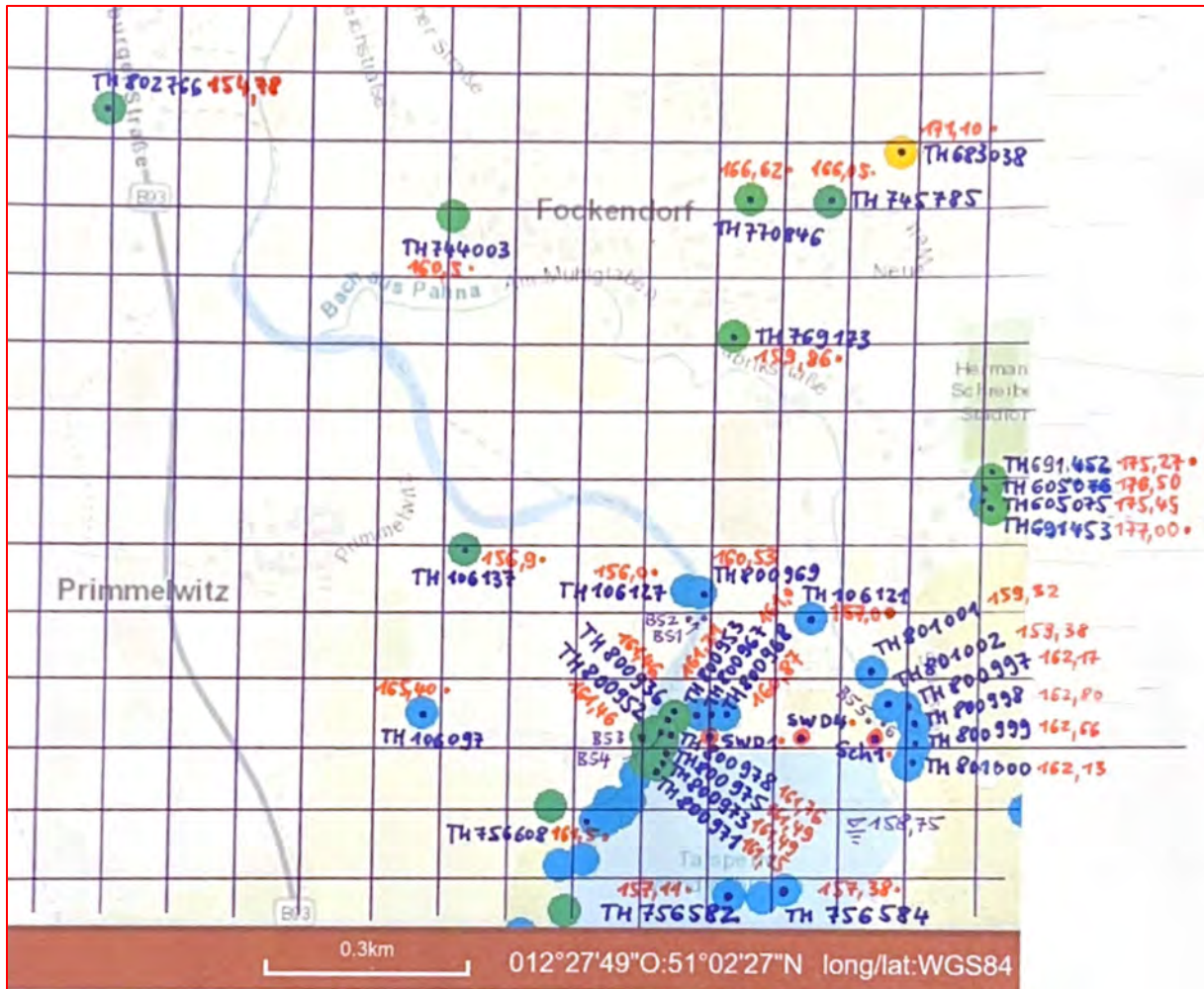
Beim Programm ASM-WIN handelt es sich um eine zweidimensionale Grundwassermodellierungssoftware, mit der es möglich ist, die Grundwasserströmung in einem Aquifer mit vertikaler oder horizontaler Ausrichtung nachzustellen. Das Untersuchungsgebiet wird in quadratische Berechnungselemente aufgeteilt, deren Größe sich sinnvollerweise auch an der Datenlage orientiert.

Die im vorliegenden Fall eher heterogene Datenlage (Abbildung 53) hat zu Rasterabständen von 100 Metern und zu Elementen mit einem Hektar Fläche geführt. In Anlehnung an die DIN 19712:2013-01, (Hochwasserschutzanlagen an Fließgewässern), in der ein Mindestabstand der Erkundung von 100 Metern entlang der Hochwasserschutzlinie empfohlen wird, ist hier das gleiche Maß gewählt, ohne dass inhaltlich ein direkter Zusammenhang bestünde.

Diese Elementgröße gestattet nur näherungsweise Einschätzungen, die aber wegen der Datenlage auch bei höheren Auflösungen nicht an Genauigkeit und Zuverlässigkeit gewinnen würden, da auch dann die Eingabewerte großflächig interpoliert wären.

Im ASM-WIN- Modell wurden die von der Pleiße durchflossenen Zellen als Festpotenzial auf der Höhe der Wasserspiegellage betrachtet. Das bedeutet, dass eine Verbindung zwischen Grundwasserleiter und Fluss zumindest stellenweise angenommen wird, was einer erodierten oder nicht vorhanden gewesenen Aulehmschicht im Flussbett (Flussschotter) gleichkäme.

Wegen fehlender Angaben mussten Ober- und Unterkante des Aquifers sowie die Durchlässigkeitsbeiwerte weiträumig interpoliert werden.



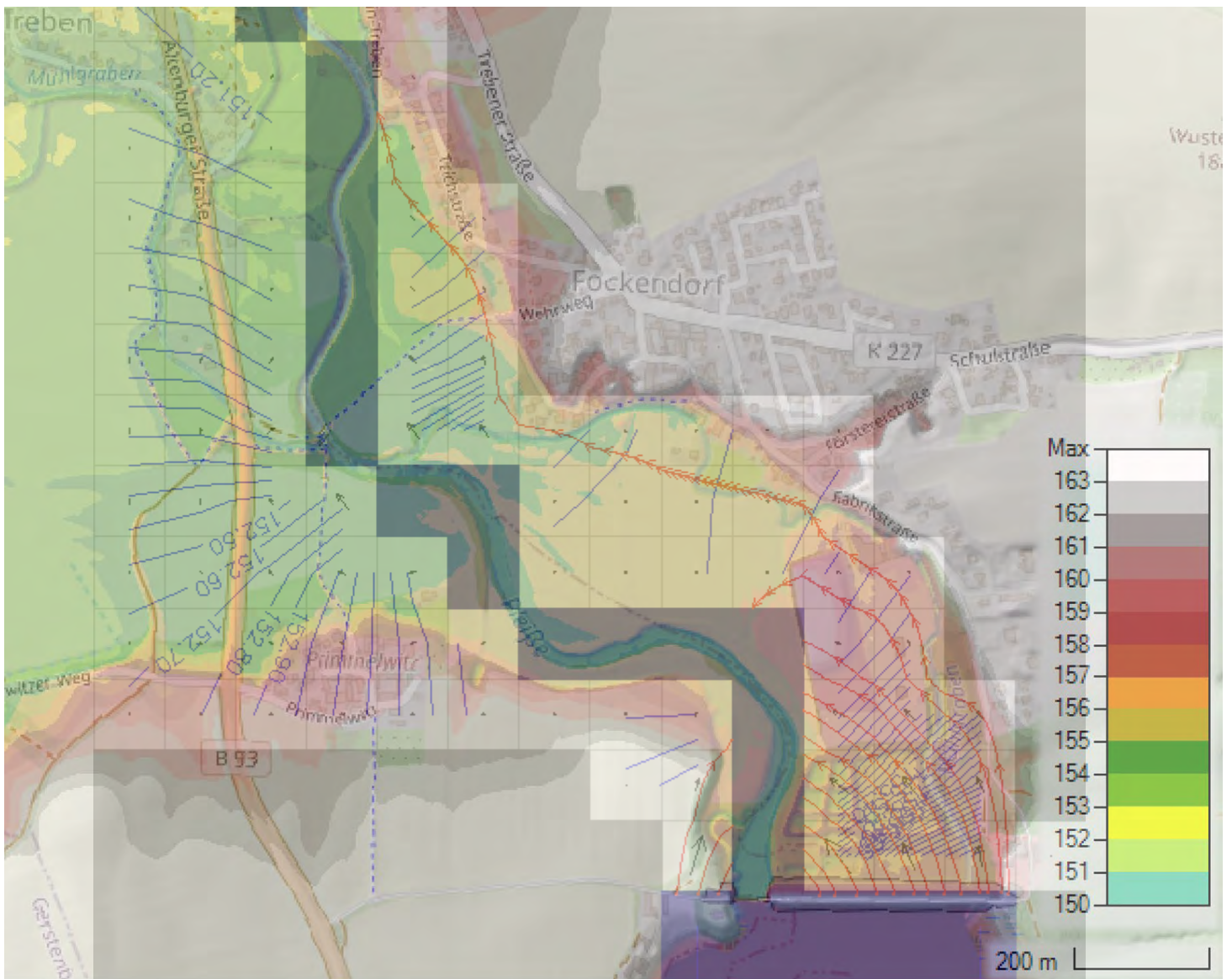


Abbildung 54 Talsperre Windischleuba: Überlagerung der Modellgeometrie (ASM-WIN), der OpenStreetMap-Karte und des digitalen Höhenmodells, in dem nur die Höhen unterhalb der Staudammkrone farbig gekennzeichnet sind.

Es wurden verschiedene Einwirkungssituationen untersucht, deren Ergebnisse nachfolgend dargestellt sind.

Zunächst wurde keine Grundwasserneubildung berücksichtigt (Abbildung 55). Es wurden Wasseraustritte aus dem Stauraum in den Grundwasserleiter (Aquifer $k_f = 10^{-3}$ m/s) angenommen, auch wenn diese, wie im vorangegangenen Abschnitt dargestellt, sehr unwahrscheinlich sind. Die blauen Potenzielllinien sind im 10 - cm Abstand dargestellt. Die roten Bahnliesen kreuzen die Potenzielllinien unter einem rechten Winkel (sind bei hier betrachteter stationärer Strömung mit den Potenzielllinien identisch). Der Stausee und die Pleiße sind als Festpotenzial berücksichtigt. Wegen der Zellengröße von 1 ha erstreckt sich das Festpotenzial über 100 m oder mehr in das Vorland, obwohl die Pleiße hier meist nicht breiter als 20 m ist.

Die rote Bahnliese zeigt, welchen Weg die Wasserteilchen und eventuelle Inhaltsstoffe nehmen würden. Es ist erkennbar, dass auch weit seitlich angenommene Emissionen der Pleiße zufließen. Die Abstandsgeschwindigkeit ist gering. Die Pfeile auf den roten Bahnliesen markieren die 30 Tage-Distanz,

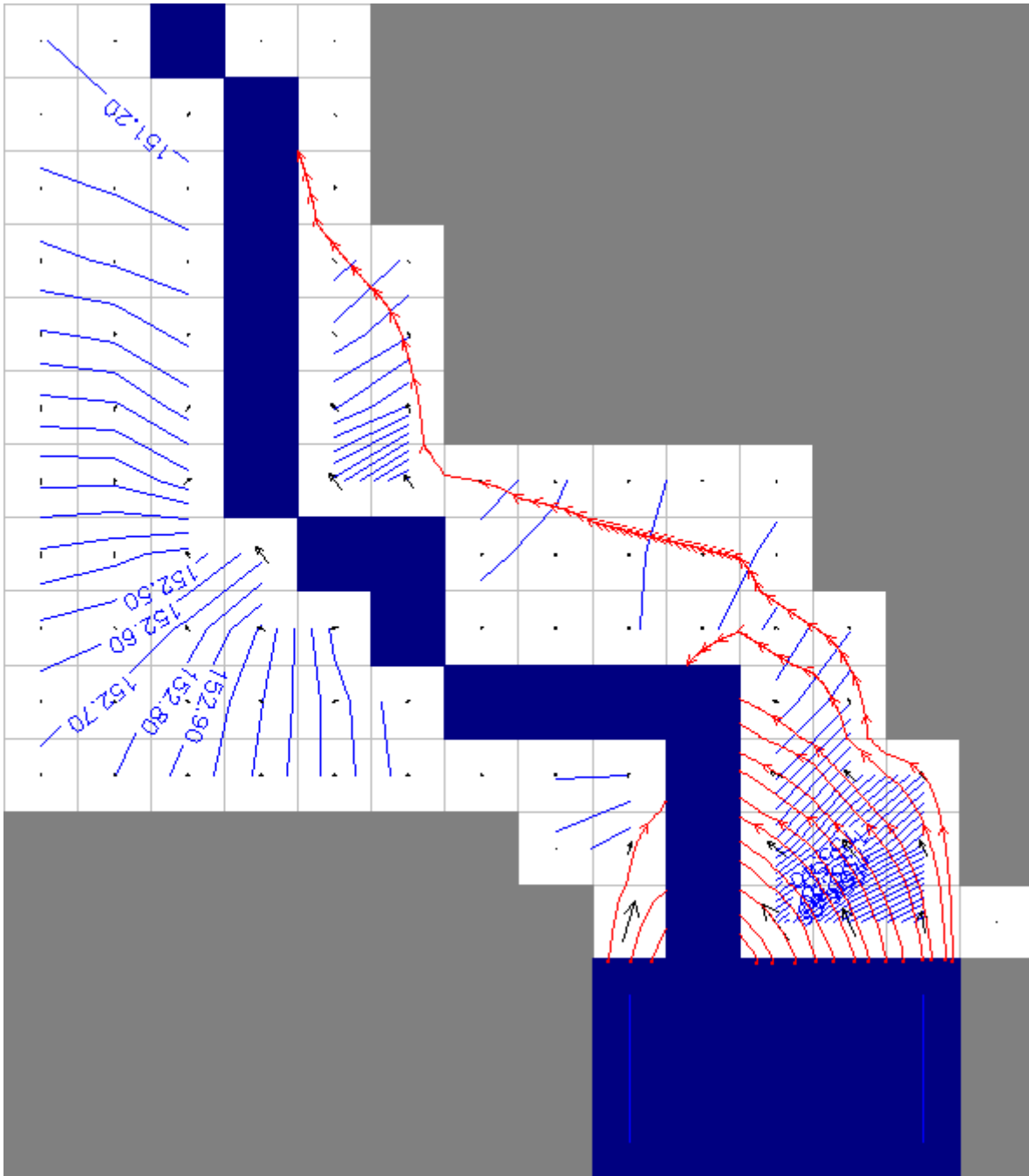


Abbildung 55 Berechnungsergebnis mit ASM-WIN: Ohne Grundwasserneubildung, mit angenommenen Wasseraustritten aus dem Stauraum in den Grundwasserleiter (Aquifer $k_f = 10^{-3}$ m/s), rote Bahnlinien. Pfeile markieren 30 Tage-Distanz, Stausee und Pleiße als Festpotenzial. Rastermaß 100 m (1 ha). Potenziellinien im 10-cm Abstand.

In der nächsten Einwirkungssituation wurde mit einer Grundwasserneubildung von $q_{\text{GWN}} = 4,75 \cdot 10^{-9}$ m³/sm² gerechnet. Das entspricht ungefähr einer jährlichen Versickerung von 150 mm Niederschlag. Es ist erkennbar, dass dies die Zuströmung zur Pleiße verstärkt und die roten Bahnlinie stärker zum Fluss hin ablenkt.

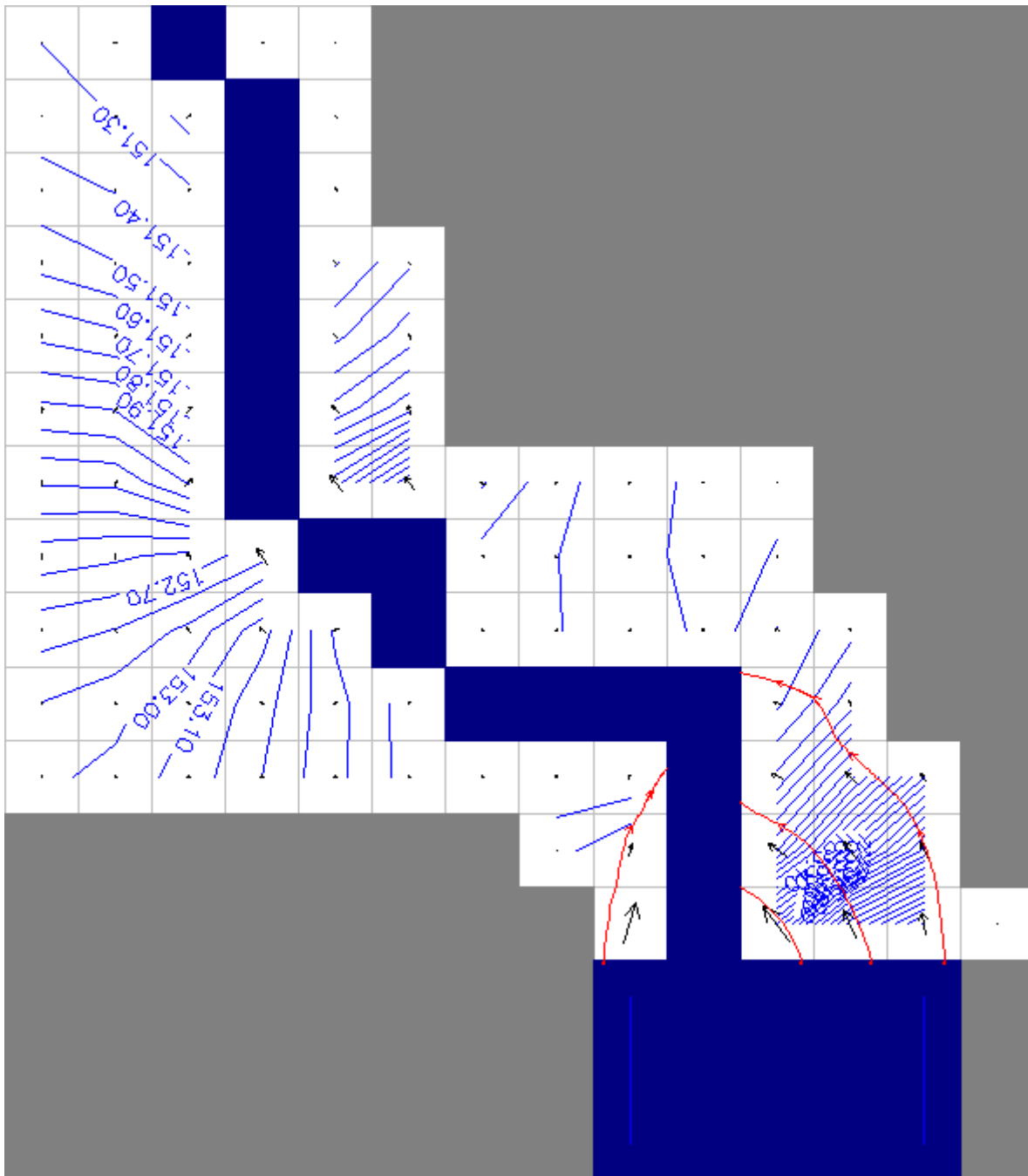


Abbildung 56 Berechnungsergebnis mit ASM-WIN: Mit Grundwasserneubildung $q_{GWN} = 4,75 \cdot 10^{-9} \text{ m}^3/\text{sm}^2$, mit angenommenen Wasseraustritten aus dem Stauraum in den Grundwasserleiter (Aquifer $k_f = 10^{-3} \text{ m/s}$), rote Bahnlinien. Pfeile markieren 30-Tage-Distanz, Stausee und Pleiße als Festpotenzial. Rastermaß 100 m (1 ha) (1 ha). Potenzielllinien im 10-cm Abstand.

Die nächste Berechnung wurde ohne Grundwasserneubildung über die gesamte Fläche, dafür aber mit Hangzufluss aus dem höherliegenden Gebiet ($2,4 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{sm}$) der Ortschaft Fockendorf durchgeführt. Die Ergebnisse ähneln der vorhergehenden Variante.

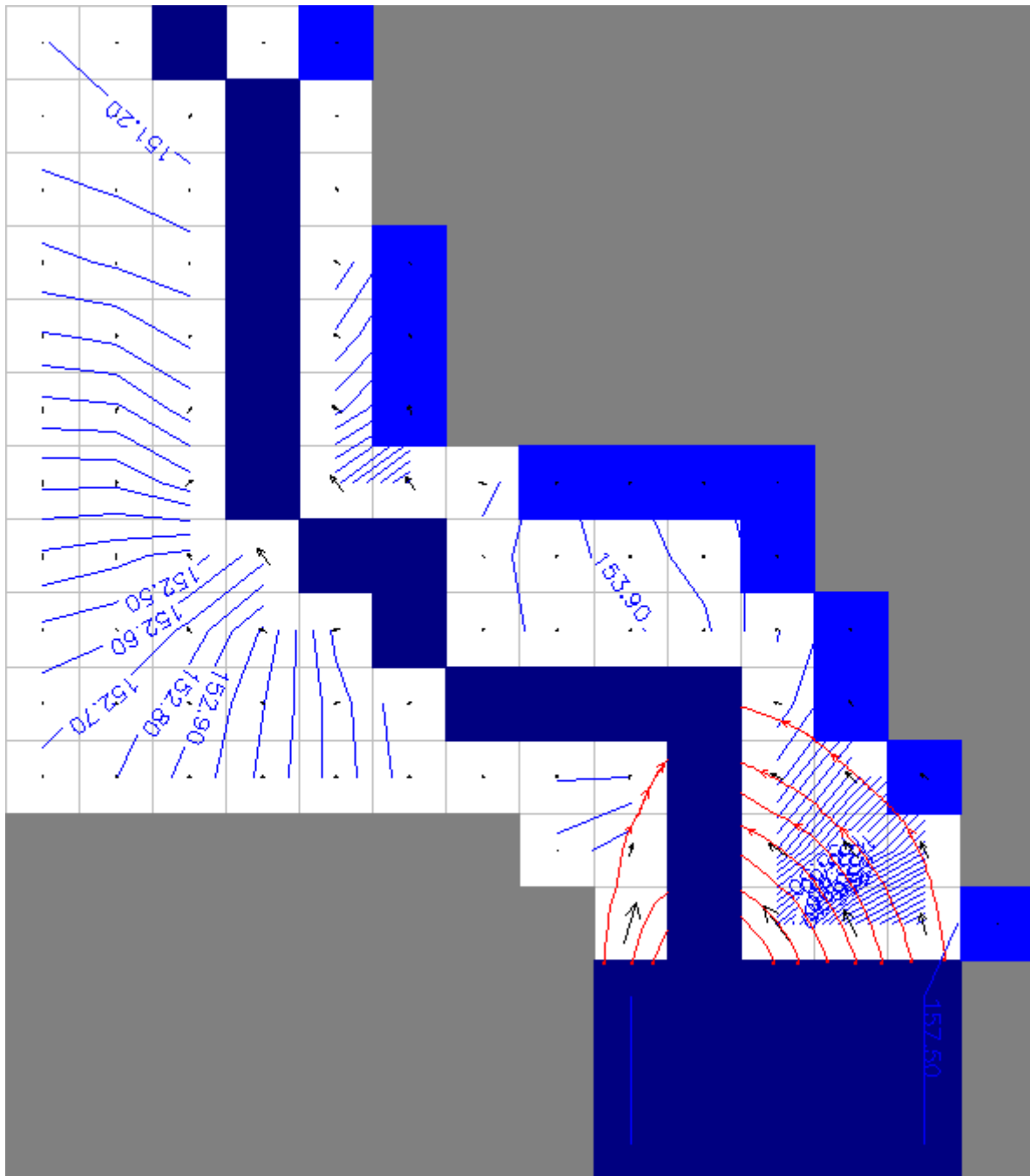


Abbildung 57 Berechnungsergebnis mit ASM-WIN: Ohne Grundwasserneubildung, mit Hangzufluss aus dem höherliegenden Gebiet ($2,4 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{sm}$) der Ortschaft Fockendorf mit angenommenen Wasseraustritten aus dem Stauraum in den Grundwasserleiter (Aquifer $k_f = 10^{-3} \text{ m/s}$), rote Bahnlinien. Pfeile markieren 30 Tage-Distanz, Stausee und Pleiße als Festpotenzial. Rastermaß 100 m (1 ha). Potenziellinien im 10-cm Abstand.

Das folgende Berechnungsergebnis zeigt eine angenommene Einwirkungssituation mit Grundwasserneubildung, mit Hangzufluss aus dem höherliegenden Gebiet ($2,4 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{sm}$) der Ortschaft Fockendorf, mit angenommenen Wasseraustritten aus dem ansonsten abgedichteten Stauraum ($k_f = 10^{-8}$) in den Grundwasserleiter (Aquifer $k_f = 10^{-3} \text{ m/s}$). (Rot: Bahnlinien. Pfeile markieren 30 Tage-Distanz, Stausee und Pleiße als Festpotenzial. Rastermaß 100 m (1 ha). Potenziellinien im 10 - cm Abstand.)

Insbesondere in der Nähe des luftseitigen Dammfußes ist erkennbar, dass sich die Fließrichtung des Grundwassers geändert hat. Dieses fließt nicht mehr zunächst parallel zur Pleiße sondern parallel zum Damm direkt in die Pleiße, was offensichtlich der verbesserten

„Spülwirkung“ des größeren quer fließenden Wasserstromes und dem Wegfall der Längsströmung wegen der besseren Dammdichtung geschuldet ist.

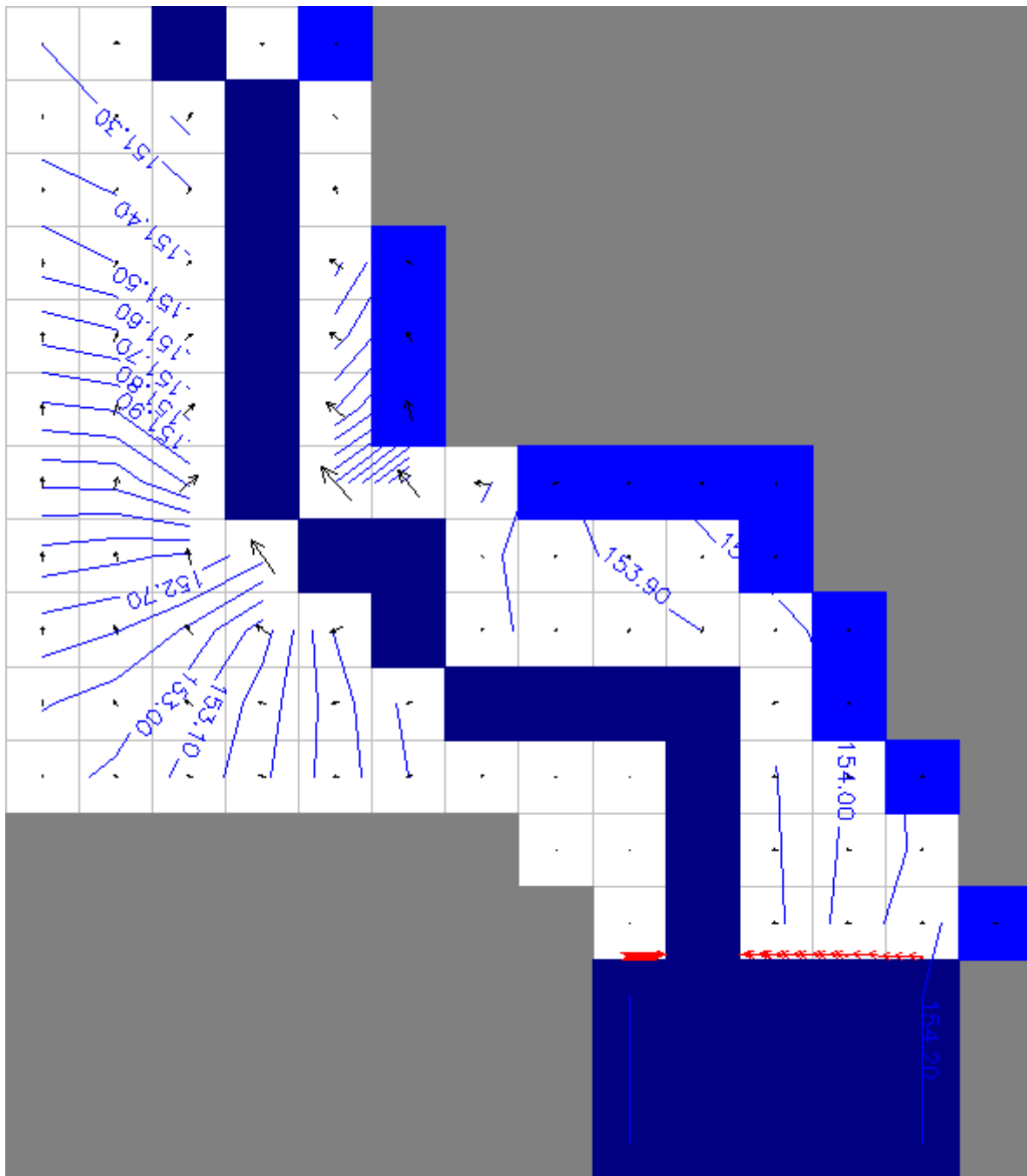


Abbildung 58 Berechnungsergebnis mit ASM-WIN: Mit Grundwasserneubildung, mit Hangzufluss aus dem höherliegenden Gebiet ($2,4 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{sm}$) der Ortschaft Fockendorf mit angenommenen Wasseraustritten aus dem ansonsten abgedichteten Stauraum ($k_f = 10^{-8}$) in den Grundwasserleiter (Aquifer $k_f = 10^{-3} \text{ m/s}$), rote Bahnlinien. Pfeile markieren 30 Tage-Distanz, Stausee und Pleiße als Festpotenzial. Rastermaß 100 m (1 ha) (1 ha). Potenzielllinien im 10-cm Abstand.

Abweichend zur vorhergehenden Situation (Grundwasserneubildung, Hangzufluss $2,4 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{sm}$) wird nun mit einem angenommenen lokalen Wasseraustritt von 3 l/s aus dem ansonsten abgedichteten Stauraum ($k_f = 10^{-8}$) in den Grundwasserleiter (Aquifer $k_f = 10^{-3} \text{ m/s}$) gerechnet. An Hand der roten Bahnlinien ist zu sehen, dass sich auch in diesem Fall die

Strömung schnell der Pleiße zuwendet, wenn die angenommene Exfiltration aus dem Grundwasserleiter stattfinden kann.

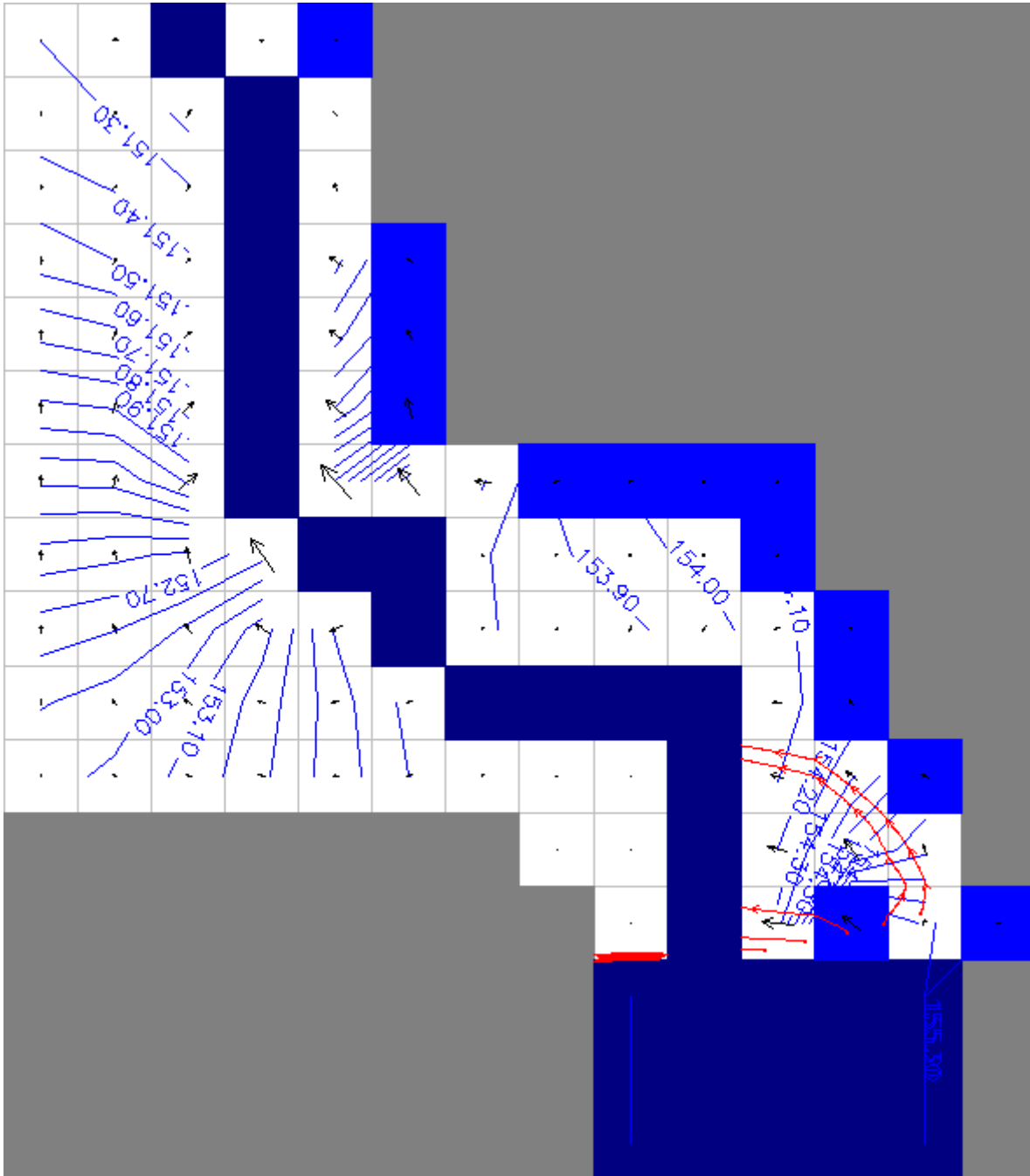


Abbildung 59 Berechnungsergebnis mit ASM-WIN: Mit Grundwasserneubildung, mit Hangzufluss aus dem höherliegenden Gebiet ($2,4 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{sm}$) der Ortschaft Fockendorf, mit einem angenommenen lokalen Wasseraustritt von 3 l/s aus dem ansonsten abgedichteten Stauraum ($k_f = 10^{-8}$) in den Grundwasserleiter (Aquifer $k_f = 10^{-3} \text{ m/s}$), rote Bahnlinien. Pfeile markieren 30 Tage-Distanz, Stausee und Pleiße als Festpotenzial. Rastermaß 100 m (1 ha) (1 ha). Potenziellinien im 10-cm Abstand.

8.3 Bewertung der Ergebnisse zur Grundwasserströmung

Die Grundwasserströmung unterhalb des Staudammes im Bereich der Ortschaft Fockendorf wurde in ausgewählten Einwirkungssituationen zunächst für eine einheitliche Durchlässigkeit

des Aquifers von $k_f = 10^{-3}$ m/s, die nach Tabelle 3 für leicht sandige Kiese angenommen werden kann, untersucht, weil individuell ermittelte Werte nur punktuell vorhanden sind.

Hinsichtlich der Randbedingungen (Gebietsgrenzen, Festpotenziale, Aquiferabmessungen usw.) ist eine sehr große Anzahl von Kombinationen denkbar, deren vollständige Untersuchung abgesehen vom Umfang vor allem auch wegen der zur Verfügung stehenden Informationen an Grenzen stößt.

Die betrachteten Einwirkungssituationen lassen trotz unterschiedlicher Randbedingungen gemeinsam erkennen, dass das am luftseitigen Dammfuß der Talsperre möglicherweise im Aquifer anfallende Wasser der Pleiße zufließt und abgesehen von wenigen Gebäuden in der Talauflage nicht die Ortslage Fockendorf erreichen kann. Auf Grund der Höhenlage ist unter Annahme eines dem Gelände folgenden Schichtenverlaufes, die z. B. durch den höher gelegenen Bohrpunkt TH770846 gestützt wird, zu erwarten, dass das Grundwasser wie auch das Oberflächenwasser von Fockendorf in das tiefer gelegene Pleißetal fließt und somit kein Talsperrenwasser über den Grundwasserleiter die Ortslage erreicht.

Es ist weiterhin davon auszugehen, dass sich unter den Sedimenten auf der Beckensohle des Stauraumes die abdichtende Aulehmschicht befindet, die eine mögliche Grundwasserinfiltration auf kleinste Wassermengen reduziert. Auch die Sedimente selbst haben eine abdichtende, kolmative Wirkung, so dass dadurch mögliche Wassereintritte zusätzlich erschwert werden.

Diese dichtende Beckenauskleidung würde auch dazu beitragen, dass die geringen Mengen an infiltriertem Wasser gefiltert werden und als Beimengungen vermutlich nur lösliche Stoffe in Frage kommen.

Abweichungen von der beschriebenen Situation könnten sich in Bezug auf das Grundwasser aus der Sicht des Bearbeiters nur dadurch ergeben, dass sich Störungen oder Fenster in der abdichtenden Aulehm- und Sedimentschicht befinden. Über solche Bereiche ist aber nichts bekannt, wie der Talsperrenbetreiber auf Anfrage mitteilte.

Eine andere Möglichkeit für die Infiltration in den Aquifer könnte darin bestehen, dass im eigentlichen Flussbett der Pleiße im Stauraum, aber vermutlich nicht im Bereich des Dauerstaus, wo sich die Fließgeschwindigkeit stark verlangsamt, Erosionen stattgefunden haben, die den Aquifer punktuell oder in größeren Bereichen freigelegt haben, so dass er dort als hydraulisch vollständig oder teilweise angeschlossen betrachtet werden müsste. Informationen dazu liegen dem Bearbeiter jedoch nicht vor.

Insgesamt ist festzustellen, dass durch eine Verbesserung der Datengrundlage (Aquiferverlauf, Anschlussbedingungen, Sickerwasser- und Grundwasserstandsmessungen, Grundwasserneubildung usw.) eine genauere, höher aufgelöste Modellierung der Grundwasserströmungsverhältnisse möglich wäre. Es kann aber bezweifelt werden, ob der dann zu erwartende Erkenntnisgewinn den sehr großen zusätzlichen Aufwand rechtfertigen würde.

Prinzipiell kämen zur Strömungsbeobachtung auch experimentelle Methoden wie Tracerversuche in Frage, die aber wegen der geringen Strömungsgeschwindigkeiten längere Zeiträume in Anspruch nehmen würden.

9 Zusammenfassung, Schlussfolgerungen

Aus hydromechanischer Sicht kann gesagt werden, dass die vom ober- und unterirdisch abfließenden Wasser aus der Talsperre Windischleuba ausgehenden Gefahren für die Ortschaft Fockendorf äußerst gering sind. Das lässt sich daraus ableiten, dass

- Fockendorf fast vollständig höher liegt als die Staudammkrone (163 m NN),
- aus diesem Grunde auch abfließendes Hochwasser das Dorf nicht erreichen kann,
- deshalb auch die Grundwasserströmung vom Dorf weg zur Pleiße gerichtet ist,
- Sedimente nach Hochwasserdurchgang nur unterhalb in der Pleißebeaue, nicht aber im Ortsbereich abgelagert werden können,
- die Beckensohle durch Aulehm und Sedimente gedichtet ist, was einen Eintrag von Schadstoffen ins Grundwasser erschwert,
- die Remobilisierung von Sedimenten im nur bei Hochwasser überstauten stark bewachsenen Beckenbereich wegen der geringen Fließgeschwindigkeiten erwartungsgemäß sehr gering ist.

Nicht auszuschließen ist eine mäßige Erosion von Sedimenten beim Ablauf des HQ₁₀₀ an einigen exponierten Punkten mit höherer Fließgeschwindigkeit und Schubspannung im normalerweise nicht überstauten Teil des Stauraumes. Weil das aber die Stellen sind, an denen immer schon höhere Fließgeschwindigkeiten zu erwarten waren, liegt die Vermutung nahe, dass Schadstoffe, falls sie dort vorhanden waren, bereits früher erodiert wurden.

Insgesamt bleibt festzustellen, dass die beschriebenen Ergebnisse und Schlussfolgerungen auf Grund der Datenlage (Erstreckung des Aquifers, heterogene Datenlage zum Aquifer und zu den überlagernden Sedimentfolgen im Beckenbereich, unbekannter Zustand der Aulehmschicht, kein Wasserspiegelnivellement zur Kalibrierung der hydraulischen Berechnung, Klarwasserannahme in der hydraulischen Berechnung) einer gewissen Unschärfe unterliegen.

Diese Informationslücken ließen sich mit einem gewissen Aufwand durch Messungen und experimentelle Untersuchungen schließen, wobei die Frage der Verhältnismäßigkeit im Raum steht, weil anzunehmen ist, dass sich die Ergebnisse und Schlussfolgerungen nur graduell unterscheiden würden.

Eine weitere Möglichkeit zur Verbesserung der Aussage bei der vorhandenen Datenlage wäre die Durchführung von Sensitivitätsuntersuchungen oder die Anwendung der Methode der statistischen Versuche (Monte-Carlo-Methode). Mit Hilfe von verteilten Eingangsgrößen könnten dann Verteilungen der Ergebniswerte erzeugt oder Eintrittswahrscheinlichkeiten für bestimmte Szenarien überschlägig berechnet werden.

10 Literatur

Aigner, D. / Carstensen, D. u. a.: Technische Hydromechanik Bd. 2.- Beuth, 2. Aufl. 2015 ISBN 978-3-410-22209-5,

Barben, M. et al. (2001): Übersicht über Verfahren zur Abschätzung von Hochwasserabflüssen, Internationale Kommission für die Hydrologie des Rheingebietes, Lelystad, Niederlande, 2001

Beyer, W.: Zur Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit von Kiesen und Sanden aus der Kornverteilung. In: Wasserwirtschaft-Wassertechnik (WWT) 14. Jahrgang, 1964, S. 165 - 169.

Bollrich, G. (1996): Technische Hydromechanik. Band 1. Verlag für Bauwesen, Berlin München, 4. Auflage

Bollrich, G. (2019): Technische Hydromechanik 1.- Berlin: Beuth Verlag, 8. Aufl. 2019 ISBN 978-3-410-29169-5

Bornschein, A., Pohl, R.: Land use influence on flood routing and retention from the viewpoint of hydromechanics.- In: Journal of Flood Risk Management, Jan 2017 · Online ISSN: 1753-318X, doi: 10.1002/jfr3.12289 (Impact Factor: 1.377, ISI Journal Citation Reports © Ranking: 2015: 44/85 (Water Resources); 144/225 (Environmental Sciences))
Special Issue March 2018: Journal of Flood Risk Management "Land for Flood Risk Management: A catchment-wide and multi-level perspective": A. Bornschein, R. Pohl: Land use influence on flood routing and retention from the viewpoint of hydromechanics.- Pages 6-14, First published: 13 January 2017, <https://doi.org/10.1111/jfr3.12289> Volume11, Issue1

Brunner, G.: HEC-RAS 2D User's Manual.- USACE, Davis, Ca. 2023

DAMBRK: Handbuch zum Programm BOSS DAMBRK. Boss International Incl. Madison, Wisconsin, USA

Fisanto, H.: 2D- hydronumeric modelling of extreme floods considering the downstream system response.- Master Thesis, TU Dresden, Fakultät Bauingenieurwesen, 2021

Kinzelbach, W., Rausch, R.: Grundwassermodellierung: Eine Einführung mit Übungen - ISBN 10: 3443010326 ISBN 13: 9783443010324, Verlag: Borntraeger, 1995

Köhler, A, Bornschein, A, Pohl, R.: Sicherheit mittlerer und kleiner Stauanlagen.- In: Wasserwirtschaft 108(2018)4, S. 24-31, ISSN 0043-0978

LAWA (Bund-/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser) 2017: Empfehlungen für die Überprüfung der vorläufigen Bewertung des Hochwasserrisikos und der Risikogebiete nach EUHWRM-RL. Beschlossen auf der 153. LAWA-Vollversammlung, 16./17. März 2017 in Karlsruhe.

LfUG (2002): Vorläufiger Kurzbericht über die meteorologisch-hydrologische Situation beim Hochwasser im August 2002. Landesamt für Umwelt und Geologie Sachsen, Version 3 (Nov.)

LfULG (2010): Hydrologisches Handbuch – Pegelverzeichnis. Teil 1, Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Freistaat Sachsen, Stand 08/2010

Lohr, H., Winkler, U. (2004): Ermittlung von extremen Abflüssen und Bemessung für die

Talsperre Malter nach dem Auguthochwasser 2002. In: Wasserbauliche Mitteilungen, Institut für Wasserbau und Technische Hydromechanik, Technische Universität Dresden, Heft 27, S. 75-84

Martin, H., Pohl, R. u.a.: Technische Hydromechanik Bd. 4.- Beuth, 3. Aufl. 2014 ISBN 978-3-410-24172-0 <https://katalog.slub-dresden.de/id/0-1555339980/> ISBN 978-3-410-22210-1 (E-Book) http://sdvdbodnodb.slub-dresden.de.wwwdb.dbod.de/beuboo/22210_001.pdf

Pohl, R.; Dornack, S.: Stabilität von Wellenschutzschichten aus Bruchsteinmaterial.- Bemessung der Steingrößen.- Arbeitsblatt 1/2002, Herausgeber: Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie (LfUG)

Pohl, R. u. a. (Aufleger, M., Bettzieche, V., Bieberstein, A., Carstensen, D., Kanne, S., Kast, K., Knallinger, M., Overhoff, G., Sieber, H.-U., Strasser, K.-H., Banzhaf, P.): Stauanlagensicherheit und Folgen bei Überschreitung der Bemessungsannahmen nach DIN 19700.- DWA-Themenheft T1/2017, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA) Hennef 2017, ISBN 978-3-88721-446-3, E-Book: 978-3-88721-447-0.

Pohl, R., Carstensen, D., Aufleger, M.: Verbleibendes Risiko und Notfallpläne für Talsperren, Hochwasserrückhalte-, und Speicherbecken.- In: WASSERWIRTSCHAFT 112(2022)9, S. 12 - 19, ISSN 0043-0978

Sächsische Akademie der Wissenschaften zu Leipzig: Schadstoffdynamik in Einzugsgebieten Abschlussbericht, Leipzig, im Dezember 2010

Sieber, H.-U., Ganz, T., Hille, H., Ihringer, J., Koch, F., Pohl, R., Popp, M., Rudolf, A., Schlenkhoff, A., Schulz, A., Straßer, K.-H.: Anpassungsstrategien für Stauanlagen an den Klimawandel.- In: DWA-Themen T2/2014, Gemeinsamer Themenband von DWA, DTK und DGGT, Hennef, Juni 2014, ISBN 978-3-944328-40-9

Talsperren in Deutschland.- Herausgeber DTK, Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH 2013, eBook: ISBN978-3-8348-2107-2, DOI10.1007/978-3-8348-2107-2, Hardcover ISBN978-3-8348-1447-0

Thomas, H. H. (1976): Engineering of Large Dams. John Wiley & Sons, chapter 3, S. 35ff

Wundt, W.: Die größten Abflusspenden in Abhängigkeit von der Fläche. In: Die Wasserwirtschaft. Heft 2, Jahrgang 40, 1949/1950, S. 59-64.

Wundt, W.: Grenzwerte der Hochwasserspende und der mittleren Abflusspende in Abhängigkeit von der Fläche. In: Die Wasserwirtschaft. Heft 1, Jahrgang 55, 1965.

Zanke, U.: Hydraulik für den Wasserbau.- 3. Auflage 2013, © Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1994, 2003, 2013, ISBN 978-3-642-05488-4 ISBN 978-3-642-05489-1 (eBook), DOI 10.1007/978-3-642-05489-1

DIN 19700-11: 2004-07 Stauanlagen, Talsperren

DWA-Regelwerk: Merkblatt DWA-M 543-1: Geodaten in der Fließgewässermodellierung Teil 1: Grundlagen und Verfahren.- Februar 2019

DWA-Regelwerk: Merkblatt DWA-M 543-2: Geodaten in der Fließgewässermodellierung Teil 2: Bedarfsgerechte Datenerfassung und -aufbereitung.- Februar 2019

DWA-Regelwerk: Merkblatt DWA-M 543-3: Geodaten in der Fließgewässermodellierung Teil 3: Aspekte der Strömungsmodellierung und Fallbeispiele.- Februar 2019

11 Arbeitsunterlagen

- [1] Historische Erkundung Talsperre Windischleuba, Thalix-Nr. 03347, Sakosta GmbH, Oktober 2022
- [2] Hochwassergefahrenkarten und Hochwasserrisikokarten für Neukirchen, Gewässer Pleiße Gefahr durch Überschwemmung, Stand November 2020, Ersteller: Bauer Tiefbauplanung GmbH, Industriestraße 1, 08280 Aue
- [3] Aufschlüsse_mit_Pumpversuchen.xlsx , THÜRINGER LANDESAMT FÜR UMWELT, BERGBAU UND NATURSCHUTZ, Referat 83 | Hydrogeologie, Bodenkunde, Weimar
- [4] Pumpversuch_HyFok1_2024.pdf, THÜRINGER LANDESAMT FÜR UMWELT, BERGBAU UND NATURSCHUTZ , Referat 83 | Hydrogeologie, Bodenkunde, Weimar
- [5b] Geotechnischer Bericht: Hochwasserschutzgerechter Umbau der Talsperre Windischleuba / Teilvorhaben 1. Neubau Sickerlinien und Sohlwasserdruckmessstellen, Auftragsnummer: 08-112, Ingenieurbüro L. Voitke, Altenburg 2009
- [5a] Geotechnischer Bericht: Hochwasserschutzgerechter Umbau der Talsperre Windischleuba - Auftragsnummer: 05-137, Ingenieurbüro L. Voitke, Altenburg, 2006
- [6] Talsperre Windischleuba, Hochwasserschutzgerechter Umbau, Bestandspläne Dammbauwerk (Kubens Ingenieurgesellschaft , 2012, 2013)
- [7] USGS Scientific Investigations Report 2008–5093 (Tabelle 7: kritische Schubspannung in Abhängigkeit von Korngröße)
- [8] Hydronumerisches Berechnungsprogramm HEC-RAS 6.3.1, USACE, Davis, Ca. 2015
- [9] Grundwasserberechnungsprogramm ASM-WIN, Kinzelbach und Rausch 1995

Abwurf der Internetseiten im Januar 2026:

<https://www.wasserwirtschaft.sachsen.de>

<https://www.wasserwirtschaft.sachsen.de/Windischleubabach-11890.html>

https://www.wasserwirtschaft.sachsen.de/TS_Windischleuba.html

<https://www.altenburgerland.de/de/themen-a-bis-z/natur-umwelt/untere-bodenschutzbehoerde/talsperre-windischleuba-wird-auf-schadstoffe-untersucht>

<https://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/infosysteme/mnqh-regio/website/>

https://www.bgr.bund.de/DE/BGR/Wissenschaftliche-Infrastruktur/Geodateninfrastruktur/Bohrpunktkarte-Deutschland/bohrpunktkarte-deutschland_node.html

https://hnz.thueringen.de/hw-portal/pegel/577510_stamm.html



LVZ - Leipziger Volkszeitung

<https://www.lvz.de> › Lokales › Altenburger-land ›

Umweltschutz: Deshalb muss die Talsperre Windischleuba ...

27.03.2022 — Sind die Millionen Kubikmeter Sedimente in der verlandeten Talsperre Windischleuba mit giftigen Schwermetallen und mit radioaktiven Rückständen ...

12 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Lage der untersuchten Stauanlage (OpenTopoMap)	7
Abbildung 2 Talsperre Windischleuba: Pleiße im Unterwasserbereich, Tosbecken mit Zahnschwelle, Fischtreppe links, Ortschaft Fockendorf hinten (Foto R. Pohl 2025)	8
Abbildung 3 Talsperre Windischleuba: Unterwasserbereich Mühlgraben Fockendorf hinten (Foto R. Pohl 2025).....	8
Abbildung 4 Talsperre Windischleuba: Mühlgraben und Mühle Fockendorf (Foto R. Pohl 2025)	8
Abbildung 5 Talsperre Windischleuba: dichter Bewuchs und Sediment im trocken liegenden Hauptstauraum am Dammweg (zwischen linkem Vorbecken und dem Hauptbecken) von Pähnitz nach Borgishain (Foto: Pohl 2026).....	9
Abbildung 6 Lage der Talsperre Windischleuba (OpenTopoMap.org 2025).....	13
Abbildung 7 Talsperre Windischleuba: Blick über die Staudammkrone nach Osten (Foto: R. Pohl 2025)	14
Abbildung 8 Talsperre Windischleuba: Blick von der Staudammkrone zum Grundablass-/Betriebsauslass-Einlauf (Foto: R. Pohl 2025).....	14
Abbildung 9 Talsperre Windischleuba: links Messquerschnitt auf der Luftseite des Staudammes (Foto: R. Pohl 2025).....	15
Abbildung 10 Talsperre Windischleuba: rechts Luftseite des Staudammes (Foto: R. Pohl: November 2025)	15
Abbildung 11 Talsperre Windischleuba: Blick vom Staudamm auf den verbliebenen Stausee bei Vollstau (Foto: R. Pohl 2025)	15
Abbildung 12 Talsperre Windischleuba: Hochwasserentlastungsanlage als feste Wehrschwelle und Tosbecken mit Zahnschwelle. Echolot-Beckenpegel an der Flügelmauer. Oberwasserseitiger Ein-/Ausstieg der Fischtreppe an der linken Wehrwange (Foto: R. Pohl 2025).....	16
Abbildung 13 Talsperre Windischleuba: Hochwasserentlastungsanlage als feste Wehrschwelle mit überschnittener, ungefähr 4,50 m tiefer, bis auf 147,5 m NN herunterreichender Bohrfahlwand und Tosbecken mit Zahnschwelle (Bestandsplan 21, Kubens-Ingenieurgesellschaft 2014).....	16
Abbildung 14 links: Talsperre Windischleuba: Grundablassseinlauf am Damm (Foto: R. Pohl)	17
Abbildung 15 rechts: Talsperre Windischleuba: Grundablassablauf der Luftseite des Dammes (Foto: R. Pohl)	17
Abbildung 16 Talsperre Windischleuba: luftseitige Dammböschung und Grundablassablauf der Luftseite des Dammes (Foto: R. Pohl)	17
Abbildung 17 Talsperre Windischleuba: luftbild des Dauerstaus und des Absperrbauwerkes. Blick nach Süden. (Leipziger Volkszeitung Online-Ausgabe v. 27. 3. 2022, Foto: Mario Jahn).....	18
Abbildung 18 Talsperre Windischleuba: Blick vom Grundablassablauf auf den Stausee. Vor dem Grundablassseinlauf sammelt sich Schaum (Foto: R. Pohl).....	19
Abbildung 19 Stausee mit Warnschild in Bezug auf die Gefahr des Einsinkens in das schlammige Sediment (Foto: R. Pohl 2025)	19
Abbildung 20 Stausee im Luftbild. Es ist erkennbar, dass große Teile verlandet und bewachsen sind (mapy.com 11/2025).....	20
Abbildung 21 Staudammabschnitt mit der Hochwasserentlastungsanlage/Überfallschwelle mit Tosbecken, Fischpass und Zahnschwelle im Luftbild. Links an der Flügelmauer der automatische Beckenpegel (mapy.com 11/2025)	21

Abbildung 22	Talsperre Windischleuba: Stauinhaltslinie und Oberflächenfunktion mit Approximationsfunktion.....	22
Abbildung 23	Talsperre Windischleuba: Einspurige Behelfsbrücke der B7 über die Pleiße an der Stauwurzel (Foto: Pohl 2026).....	23
Abbildung 24	Talsperre Windischleuba: südlicher stauraum Stauwurzel (Foto: Pohl 2026)	23
Abbildung 25	Talsperre Windischleuba: Windischleuba dichter Bewuchs und Sediment im Stauraum rechtes Vorbecken (Foto: Pohl 2026)	24
Abbildung 26	Talsperre Windischleuba: dichter Bewuchs und Sediment im Stauraum Trenndamm mit Ausspiegelungsdurchlass linkes und rechtes Vorbecken (Foto: Pohl 2026)	24
Abbildung 27	Talsperre Windischleuba: dichter Bewuchs und Sediment im Stauraum linkes Vorbecken (Foto: Pohl 2026)	25
Abbildung 28	Talsperre Windischleuba: Pleiße im Stauraum (Foto: Pohl 2026)	25
Abbildung 29	Talsperre Windischleuba: Pleiße im Stauraum (Foto: Pohl 2026)	25
Abbildung 30	Talsperre Windischleuba: Sediment im Stauraum (Foto: Pohl 2026)	26
Abbildung 31	Bohrpunktkarte Deutschland der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe verfügbar (https://www.bgr.bund.de/DE/BGR/Wissenschaftliche-Infrastruktur/Geodateninfrastruktur/Bohrpunktkarte-Deutschland/bohrpunktkarte-deutschland_node.html)	27
Abbildung 32	Bodenuntersuchungspunkte in Staudammnähe und in der Nähe des Unterwasserpegels aus [5a] (s. Anhang)	28
Abbildung 33	Bodenprofil in der Nähe des Unterwasserpegels aus [5a].....	29
Abbildung 34	Bodenuntersuchungspunkte in Staudammnähe [5b] (s. Anhang).....	29
Abbildung 35	Geländehöhen im Untersuchungsgebiet unterhalb der Sperrstelle (DGM1) ...	30
Abbildung 36:	HQ ₁₀₀ = 32 m ³ /s und HQ ₂₀₀ = 53 m ³ /s (LTV Sachsen 2025 (https://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/infosysteme/mnqh-q-regio/website/) ..	33
Abbildung 37:	Hochwasserscheitel und Wiederholungszeitspanne (Jährlichkeit) HQ _n = f(T _n) für die von der LTV übermittelten Scheitel der doppelgipfligen Bemessungsganglinien für BHQ ₁ = HQ ₅₀₀ und BHQ ₂ = HQ ₅₀₀₀ (blau) sowie die Werte der Pleiße unterhalb Regis-Breitungen (rot).....	34
Abbildung 38:	Angenommene Zuflussganglinie HQ ₁₀₀ = f(t).....	35
Abbildung 39	Hochwassergefahrenkarte Sachsen. Überschwemmungslinie des HQ ₂₀₀ bleibt innerhalb des durch die Deiche begrenzten Flussschlauches. Der Durchfluss des HQ ₂₀₀ ist nicht benannt.	36
Abbildung 40	Hochwassergefahrenkarte Thüringen. Überschwemmungslinie des HQ ₂₀₀ (rot). Hochwasser HQ ₂₀₀ führt zur Ausuferung bis zum Rückhaltebecken Regis-Serbitz. Der Durchfluss des HQ ₂₀₀ ist nicht benannt.....	37
Abbildung 41:	Bemessungshochwasserzuflussganglinien für den Bemessungsfall 1 BHQ ₁ = HQ ₅₀₀ = 289 m ³ /s und für den Bemessungsfall 2 BHQ ₂ = HQ ₅₀₀₀ = 412 m ³ /s (LTV Sachsen 2025).....	38
Abbildung 42:	Bemessungshochwasserzuflussganglinien für den Bemessungsfall 1 BHQ ₁ = HQ ₅₀₀ = 289 m ³ /s und für den Bemessungsfall 2 BHQ ₂ = HQ ₅₀₀₀ = 412 m ³ /s (LTV Sachsen 2025) und mit Hilfe der Gleichung (22) nach Kozeny approximierten doppelgipfligen Zuflussganglinie für das HQ ₅₀₀₀ .(Szenario 1)	39
Abbildung 43:	Hochwasserscheitel (HHQ) in Abhängigkeit des Einzugsgebietes im Bergland im Vergleich mit den Ergebnissen von Wundt 1949	40
Abbildung 44	Hundertjährige Bemessungsniederschlagshöhe in 24 Stunden. Kostra-DWD 2010R	41
Abbildung 45	Hjulström Diagramm für die Einordnung der Feststoffbewegung in Fließgewässern.	46

Abbildung 46	Talsperre Windischleuba. Durchfluss des HQ_{100} ($233 \text{ m}^3/\text{s}$). Maximale Wassertiefe während des Durchganges der Hochwasserwelle unterhalb der Talsperre im Bereich der Ortslage Fockendorf.	47
Abbildung 47	Talsperre Windischleuba. Durchfluss des HQ_{100} ($233 \text{ m}^3/\text{s}$). Maximale Wassertiefe während des Durchganges der Hochwasserwelle durch das bei Vollstau zum größten Teil trocken liegende Becken.	48
Abbildung 48	Talsperre Windischleuba. Durchfluss des HQ_{100} ($233 \text{ m}^3/\text{s}$). Maximale Fließgeschwindigkeit (m/s) während des Durchganges der Hochwasserwelle durch das bei Vollstau zum größten Teil trocken liegende Becken. Höhere Geschwindigkeiten sind im Zuflussbereich an der die Pleiße kreuzenden B7, im Flussbett der Pleiße, an Untiefen im Stauraum und an der Hochwasserentlastung sichtbar.	49
Abbildung 49	Talsperre Windischleuba. Durchfluss des HQ_{100} ($233 \text{ m}^3/\text{s}$). Maximale Sohlschubspannung (m/s) während des Durchganges der Hochwasserwelle durch das bei Vollstau zum größten Teil trocken liegende Becken. Höhere Schubspannungen sind im Zuflussbereich an der die Pleiße kreuzenden B7, im Flussbett der Pleiße und an Untiefen im Stauraum an der Hochwasserentlastung sichtbar.	50
Abbildung 50	Talsperre Windischleuba: Mögliche Sickerwege (Unterströmung) im Dammschnitt und Querschnitt der Hochwasserentlastungsanlage (aus Bestandsplan 21, Kubens-Ingenieurgesellschaft 2014).	53
Abbildung 51	Skizze für überschlägliche Ermittlung der Unterströmung.	53
Abbildung 52	Talsperre Windischleuba: Möglicher Sickerweg: Durchströmung der Aulehmschicht und Eintritt des Sickerwassers in den Kiesaquifer, der aber durch die überschrittene, ungefähr 4,50 m tiefe, bis auf 147,5 m NN herunterreichende Bohrpfahlwand unterbrochen (gestaut) wird. (aus Bestandsplan 21, Kubens-Ingenieurgesellschaft 2014, überlagert mit Bohrlochdokumentation SWDo1 aus [5b]).	54
Abbildung 53	Talsperre Windischleuba: Bohrlochpositionen mit Daten aus verschiedenen Quellen [5a], [5b], boreholemap.bgr.de/ für die Ermittlung der Schichtung des Untergrundes. Blaue Beschriftung: Bezeichnung des Bohrpunktes. Rote Beschriftung: Bohransatzhöhe. Die mit einem Punkt gekennzeichneten Aufschlüsse enthalten ein Profil.	56
Abbildung 54	Talsperre Windischleuba: Überlagerung der Modellgeometrie (ASM-WIN), der OpenStreetMap-Karte und des digitalen Höhenmodells, in dem nur die Höhen unterhalb der Staudammkrone farbig gekennzeichnet sind.	57
Abbildung 55	Berechnungsergebnis mit ASM-WIN: Ohne Grundwasserneubildung, mit angenommenen Wasseraustritten aus dem Stauraum in den Grundwasserleiter (Aquifer $k_f = 10^{-3} \text{ m/s}$), rote Bahnlinien. Pfeile markieren 30 Tage-Distanz, Stausee und Pleiße als Festpotenzial. Rastermaß 100 m (1 ha). Potenziellinien im 10-cm Abstand.	58
Abbildung 56	Berechnungsergebnis mit ASM-WIN: Mit Grundwasserneubildung $q_{GWN} = 4,75 \cdot 10^{-9} \text{ m}^3/\text{sm}^2$, mit angenommenen Wasseraustritten aus dem Stauraum in den Grundwasserleiter (Aquifer $k_f = 10^{-3} \text{ m/s}$), rote Bahnlinien. Pfeile markieren 30-Tage-Distanz, Stausee und Pleiße als Festpotenzial. Rastermaß 100 m (1 ha). Potenziellinien im 10-cm Abstand.	59
Abbildung 57	Berechnungsergebnis mit ASM-WIN: Ohne Grundwasserneubildung, mit Hangzufluss aus dem höherliegenden Gebiet ($2,4 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{sm}$) der Ortschaft Fockendorf mit angenommenen Wasseraustritten aus dem Stauraum in den Grundwasserleiter (Aquifer $k_f = 10^{-3} \text{ m/s}$), rote Bahnlinien. Pfeile markieren 30 Tage-Distanz, Stausee und Pleiße als Festpotenzial. Rastermaß 100 m (1 ha). Potenziellinien im 10-cm Abstand.	60

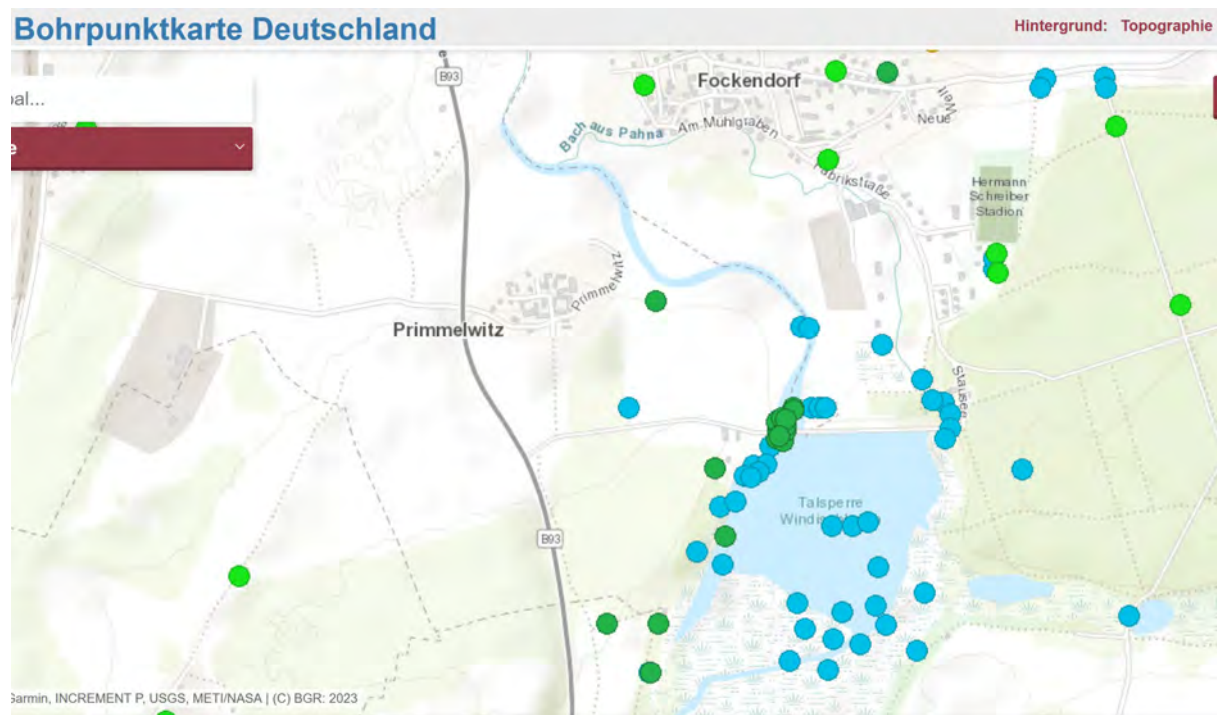
Abbildung 58	Berechnungsergebnis mit ASM-WIN: Mit Grundwasserneubildung, mit Hangzufluss aus dem höherliegenden Gebiet ($2,4 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{sm}$) der Ortschaft Fockendorf mit angenommenen Wasseraustritten aus dem ansonsten abgedichteten Stauraum ($k_f = 10^{-8}$) in den Grundwasserleiter (Aquifer $k_f = 10^{-3} \text{ m/s}$), rote Bahnlinien. Pfeile markieren 30 Tage-Distanz, Stausee und Pleiße als Festpotenzial. Rastermaß 100 m (1 ha) (1 ha). Potenziellinien im 10-cm Abstand.	61
Abbildung 59	Berechnungsergebnis mit ASM-WIN: Mit Grundwasserneubildung, mit Hangzufluss aus dem höherliegenden Gebiet ($2,4 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{sm}$) der Ortschaft Fockendorf, mit einem angenommenen lokalen Wasseraustritt von 3 l/s aus dem ansonsten abgedichteten Stauraum ($k_f = 10^{-8}$) in den Grundwasserleiter (Aquifer $k_f = 10^{-3} \text{ m/s}$), rote Bahnlinien. Pfeile markieren 30 Tage-Distanz, Stausee und Pleiße als Festpotenzial. Rastermaß 100 m (1 ha) (1 ha). Potenziellinien im 10-cm Abstand.	62
Abbildung 60	Bohrpunktkarte Deutschland der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe verfügbar (https://www.bgr.bund.de/DE/BGR/Wissenschaftliche-Infrastruktur/Geodateninfrastruktur/Bohrpunktkarte-Deutschland/bohrpunktkarte-deutschland_node.html)	78
Abbildung 61	Lage der Profillinien	79
Abbildung 62	Schichtenverzeichnis am Bohrpunkt TH_756584, Bohrpunktkarte Deutschland der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe verfügbar (https://www.bgr.bund.de/DE/BGR/Wissenschaftliche-Infrastruktur/Geodateninfrastruktur/Bohrpunktkarte-Deutschland/bohrpunktkarte-deutschland_node.html)	79
Abbildung 63	Schichtenverzeichnis am Bohrpunkt TH_106121, Bohrpunktkarte Deutschland der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe verfügbar (https://www.bgr.bund.de/DE/BGR/Wissenschaftliche-Infrastruktur/Geodateninfrastruktur/Bohrpunktkarte-Deutschland/bohrpunktkarte-deutschland_node.html)	80
Abbildung 64	Schichtenverzeichnis am Bohrpunkt TH_769173, Bohrpunktkarte Deutschland der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe verfügbar (https://www.bgr.bund.de/DE/BGR/Wissenschaftliche-Infrastruktur/Geodateninfrastruktur/Bohrpunktkarte-Deutschland/bohrpunktkarte-deutschland_node.html)	80
Abbildung 65	Schichtenverzeichnis am Bohrpunkt TH_770846, Bohrpunktkarte Deutschland der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe verfügbar (https://www.bgr.bund.de/DE/BGR/Wissenschaftliche-Infrastruktur/Geodateninfrastruktur/Bohrpunktkarte-Deutschland/bohrpunktkarte-deutschland_node.html)	81
Abbildung 66	Schichtenverzeichnis am Bohrpunkt TH_756582, Bohrpunktkarte Deutschland der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe verfügbar (https://www.bgr.bund.de/DE/BGR/Wissenschaftliche-Infrastruktur/Geodateninfrastruktur/Bohrpunktkarte-Deutschland/bohrpunktkarte-deutschland_node.html)	81
Abbildung 67	Schichtenverzeichnis am Bohrpunkt TH_106127, Bohrpunktkarte Deutschland der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe verfügbar (https://www.bgr.bund.de/DE/BGR/Wissenschaftliche-Infrastruktur/Geodateninfrastruktur/Bohrpunktkarte-Deutschland/bohrpunktkarte-deutschland_node.html)	82
Abbildung 68	Schichtenverzeichnis am Bohrpunkt TH_106137, Bohrpunktkarte Deutschland der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe verfügbar (https://www.bgr.bund.de/DE/BGR/Wissenschaftliche-Infrastruktur/Geodateninfrastruktur/Bohrpunktkarte-Deutschland/bohrpunktkarte-deutschland_node.html)	82

Infrastruktur/Geodateninfrastruktur/Bohrpunktkarte- Deutschland/bohrpunktkarte-deutschland_node.html)	82
Abbildung 69 Schichtenverzeichnis am Bohrpunkt TH_744003, Bohrpunktkarte Deutschland der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe verfügbar (<a href="https://www.bgr.bund.de/DE/BGR/Wissenschaftliche-
Infrastruktur/Geodateninfrastruktur/Bohrpunktkarte-
Deutschland/bohrpunktkarte-deutschland_node.html">https://www.bgr.bund.de/DE/BGR/Wissenschaftliche- Infrastruktur/Geodateninfrastruktur/Bohrpunktkarte- Deutschland/bohrpunktkarte-deutschland_node.html)	83
Abbildung 70 Bodenprofile in Staudamnnähe und in der Nähe des Unterwasserpegels aus [5a] (s. Anhang)	84
Abbildung 71 Bodenprofil in der Nähe des Unterwasserpegels aus [5a].....	85

13 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Technische Daten der Talsperre Windischleuba	12
Tabelle 2: Stauraumaufteilung der Talsperre Windischleuba (LTV 2025)	22
Tabelle 3 Durchlässigkeitsbeiwerte nach Darcy für unterschiedliche Böden (Tab. 7. 1. aus Zanke 2013)	31
Tabelle 4: Kennwerte der Zuflussganglinie.	38
Tabelle 5: Sohl- und Wandbeschaffenheit offener Gerinne mit Rauheit nach Strickler und kritische Schubspannung und Geschwindigkeit für den Erosionsbeginn (nach Bollrich 2019).....	44
Tabelle 6: Korngröße, Shields-Parameter und kritische Schubspannung für den Erosionsbeginn (nach USGS [7]).....	45
Tabelle 7: Beispiele für die kritische Geschwindigkeit des Geschiebebeginns aus dem Hjulström-Diagramm (typische Bereiche, näherungsweise):.....	46

14 Anlagen



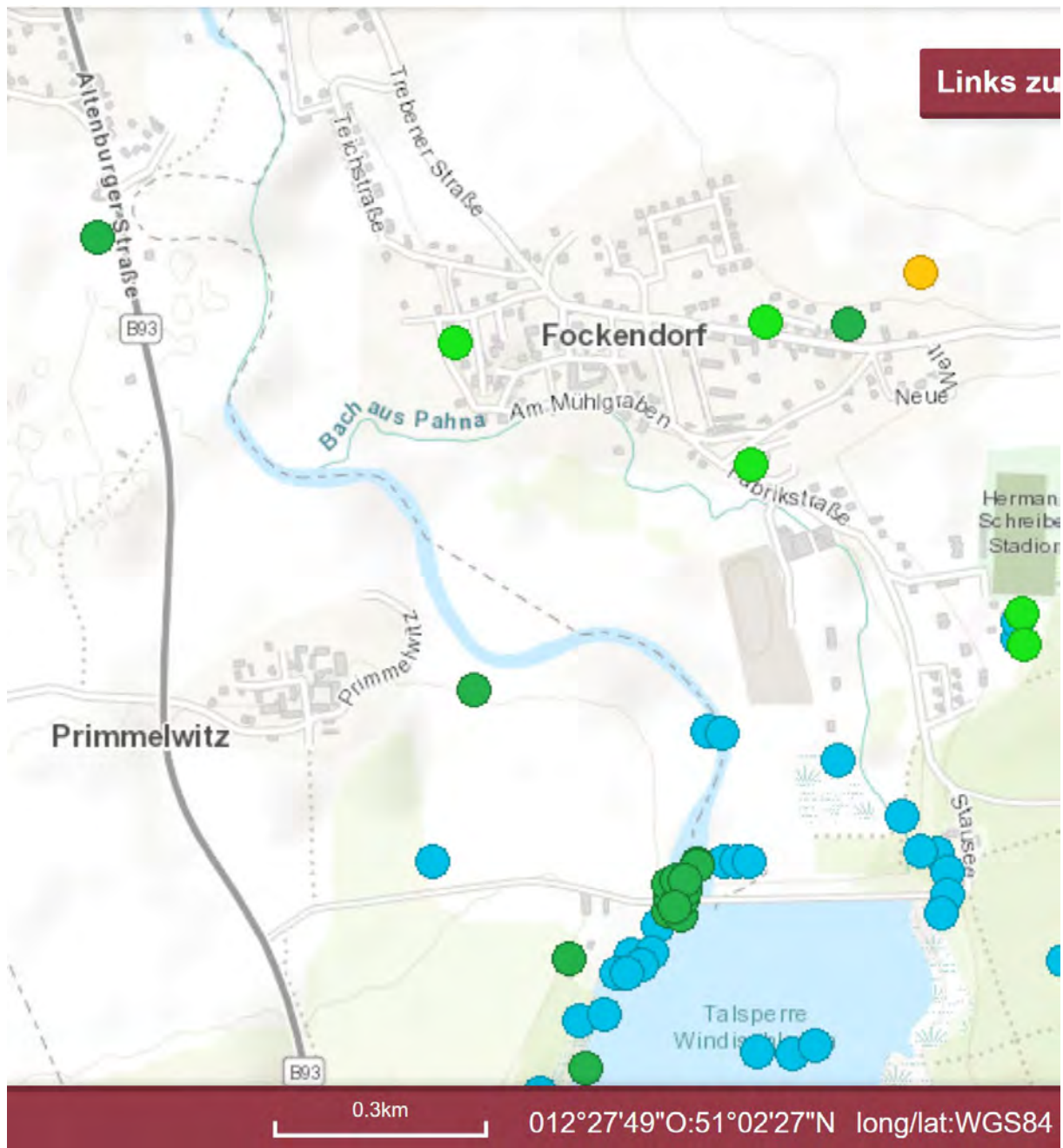


Abbildung 60 Bohrpunktkarte Deutschland der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe verfügbar (https://www.bgr.bund.de/DE/BGR/Wissenschaftliche-Infrastruktur/Geodateninfrastruktur/Bohrpunktkarte-Deutschland/bohrpunktkarte-deutschland_node.html)

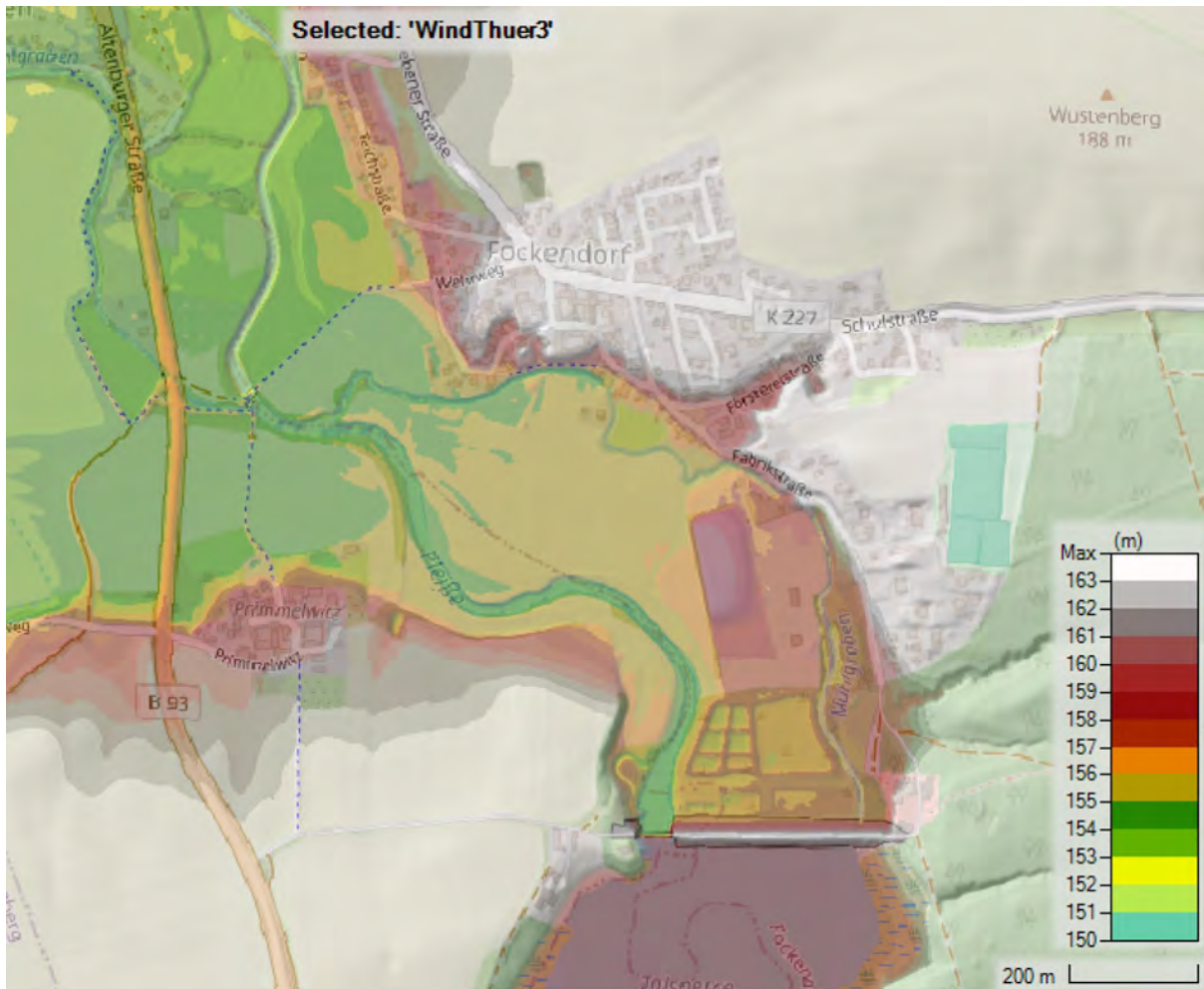


Abbildung 61 Lage der Profillinien

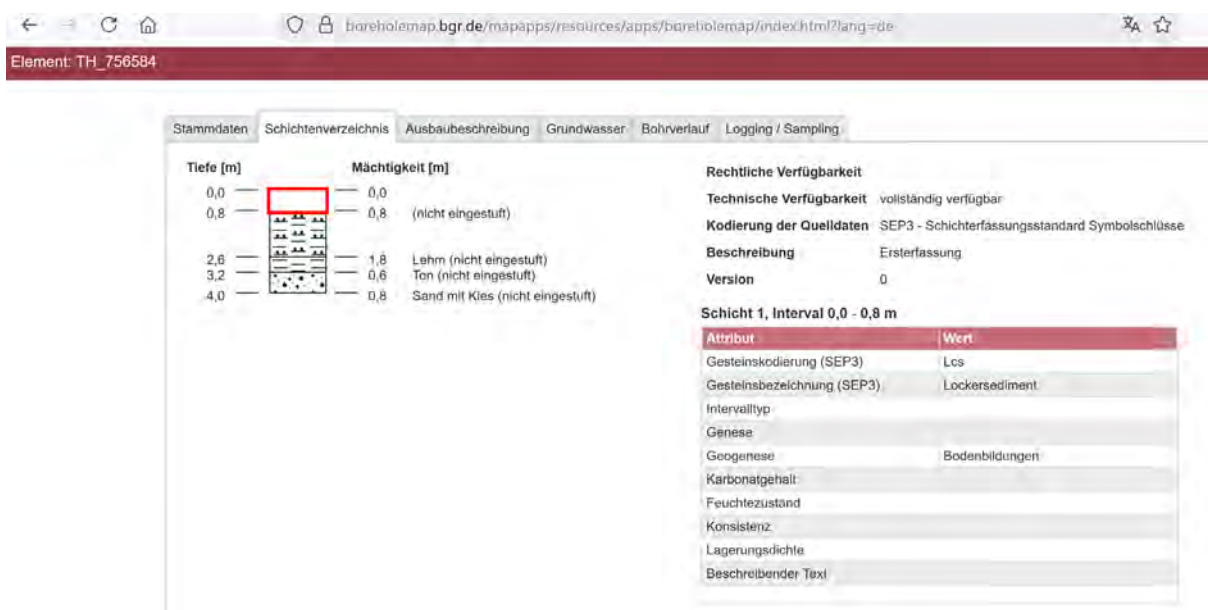


Abbildung 62 Schichtenverzeichnis am Bohrpunkt TH_756584, Bohrpunktkarte Deutschland der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe verfügbar (https://www.bgr.bund.de/DE/BGR/Wissenschaftliche-Infrastruktur/Geodateninfrastruktur/Bohrpunktkarte-Deutschland/bohrpunktkarte-deutschland_node.html)

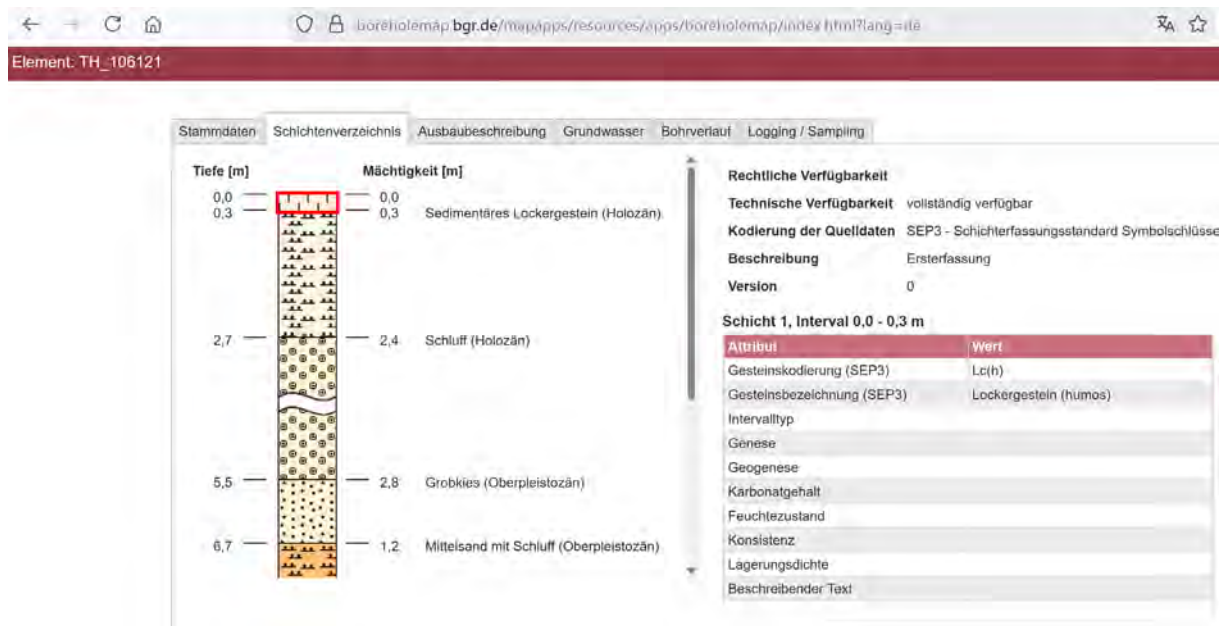


Abbildung 63 Schichtenverzeichnis am Bohrpunkt TH_106121, Bohrpunktkarte Deutschland der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe verfügbar (https://www.bgr.bund.de/DE/BGR/Wissenschaftliche-Infrastruktur/Geodateninfrastruktur/Bohrpunktkarte-Deutschland/bohrpunktkarte-deutschland_node.html)

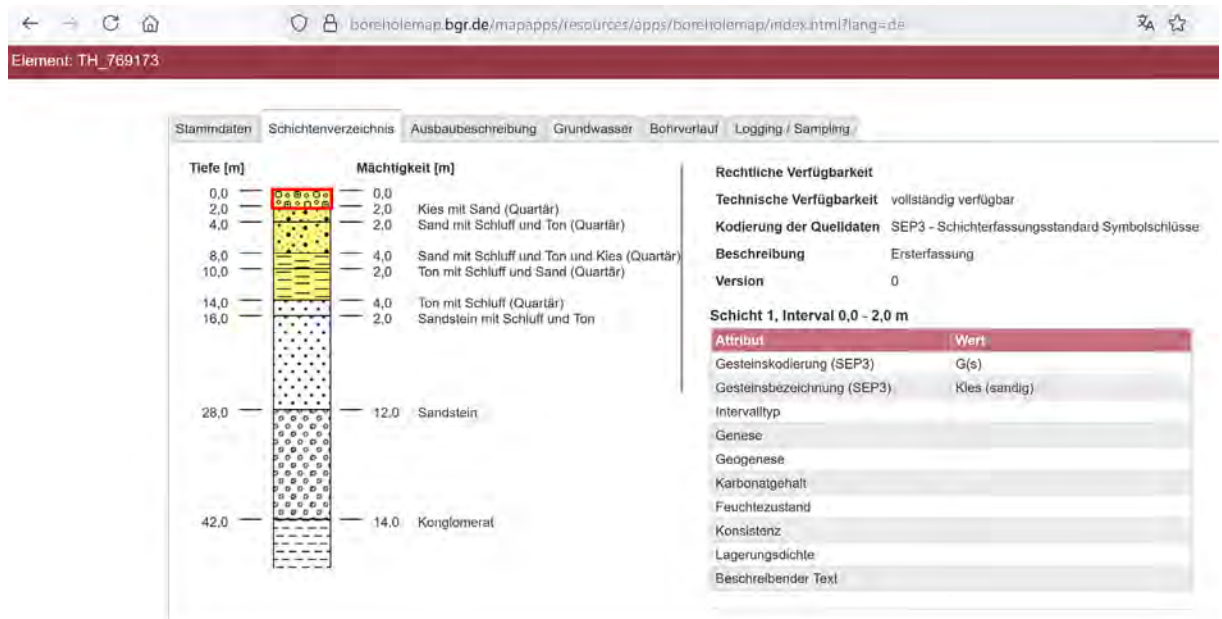


Abbildung 64 Schichtenverzeichnis am Bohrpunkt TH_769173, Bohrpunktkarte Deutschland der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe verfügbar (https://www.bgr.bund.de/DE/BGR/Wissenschaftliche-Infrastruktur/Geodateninfrastruktur/Bohrpunktkarte-Deutschland/bohrpunktkarte-deutschland_node.html)

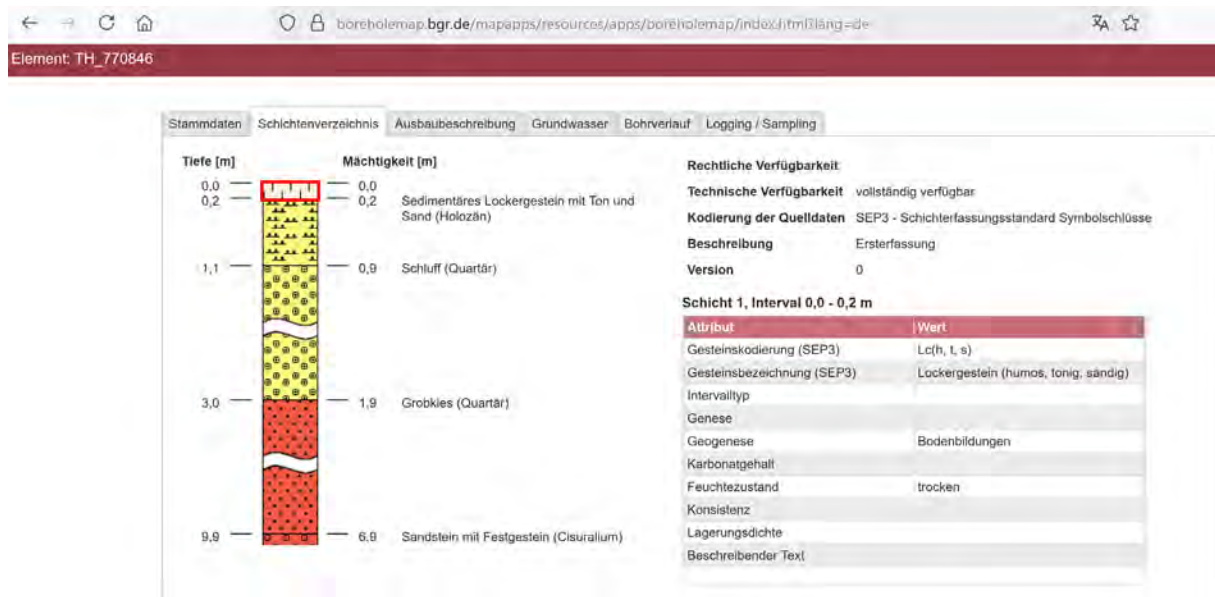


Abbildung 65 Schichtenverzeichnis am Bohrpunkt TH_770846, Bohrpunktkarte Deutschland der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe verfügbar (https://www.bgr.bund.de/DE/BGR/Wissenschaftliche-Infrastruktur/Geodateninfrastruktur/Bohrpunktkarte-Deutschland/bohrpunktkarte-deutschland_node.html)

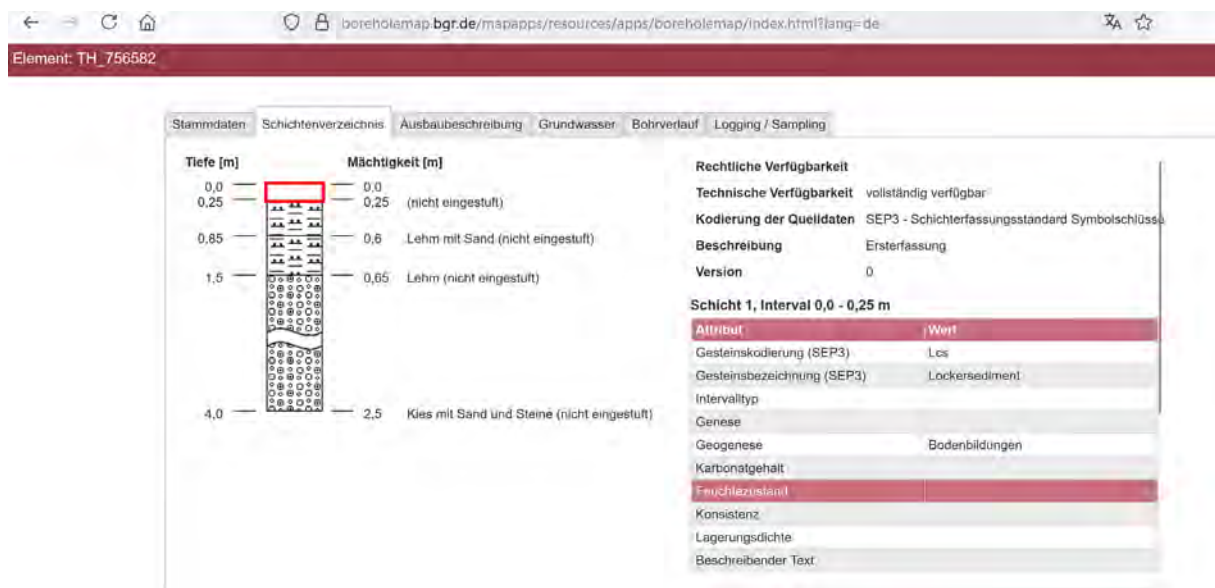


Abbildung 66 Schichtenverzeichnis am Bohrpunkt TH_756582, Bohrpunktkarte Deutschland der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe verfügbar (https://www.bgr.bund.de/DE/BGR/Wissenschaftliche-Infrastruktur/Geodateninfrastruktur/Bohrpunktkarte-Deutschland/bohrpunktkarte-deutschland_node.html)

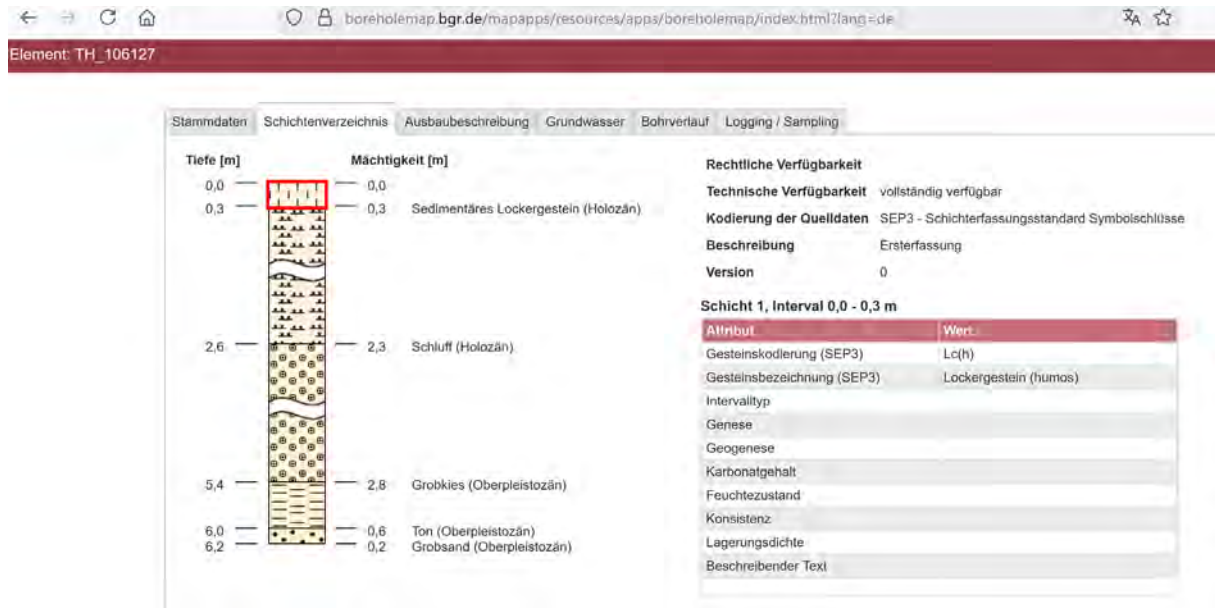


Abbildung 67 Schichtenverzeichnis am Bohrpunkt TH_106127, Bohrpunktkarte Deutschland der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe verfügbar (https://www.bgr.bund.de/DE/BGR/Wissenschaftliche-Infrastruktur/Geodateninfrastruktur/Bohrpunktkarte-Deutschland/bohrpunktkarte-deutschland_node.html)

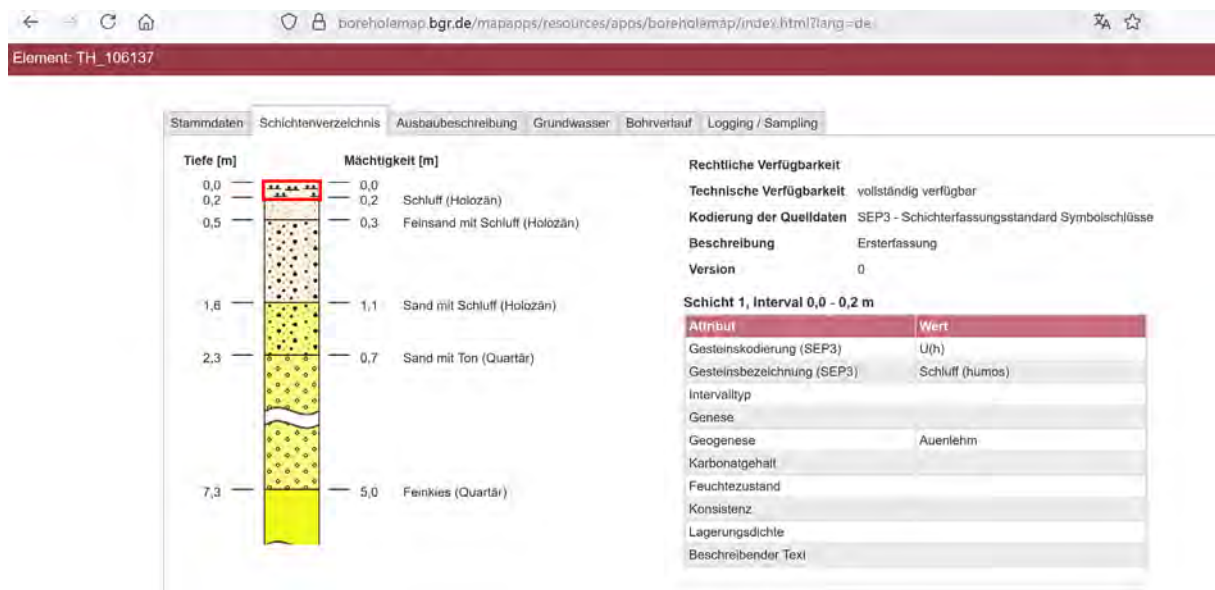


Abbildung 68 Schichtenverzeichnis am Bohrpunkt TH_106137, Bohrpunktkarte Deutschland der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe verfügbar (https://www.bgr.bund.de/DE/BGR/Wissenschaftliche-Infrastruktur/Geodateninfrastruktur/Bohrpunktkarte-Deutschland/bohrpunktkarte-deutschland_node.html)

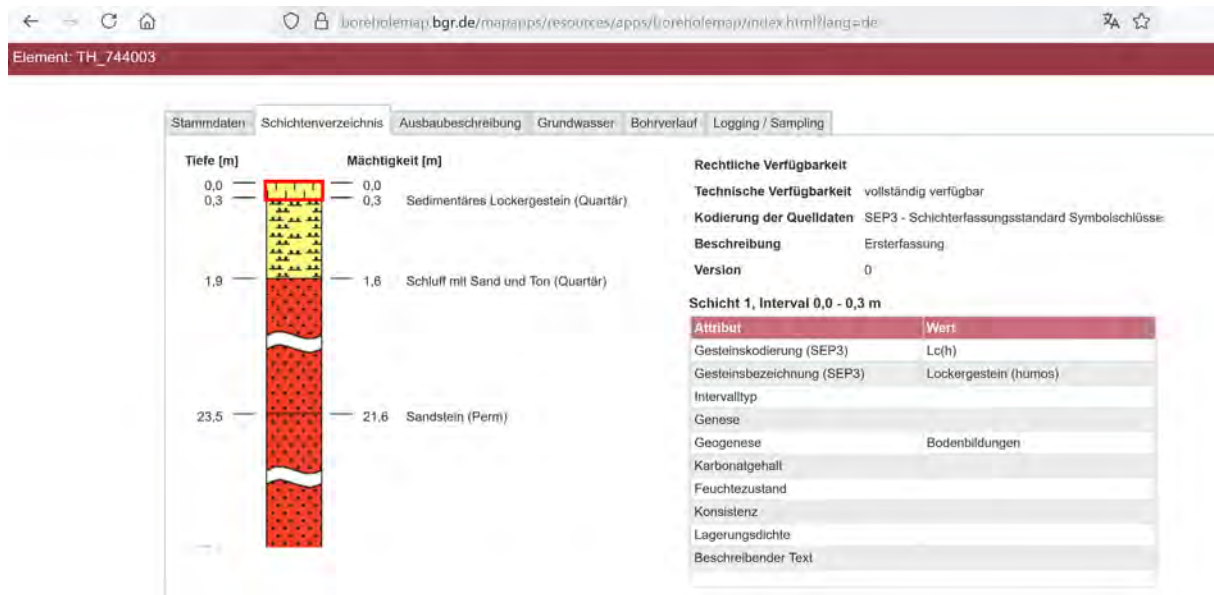
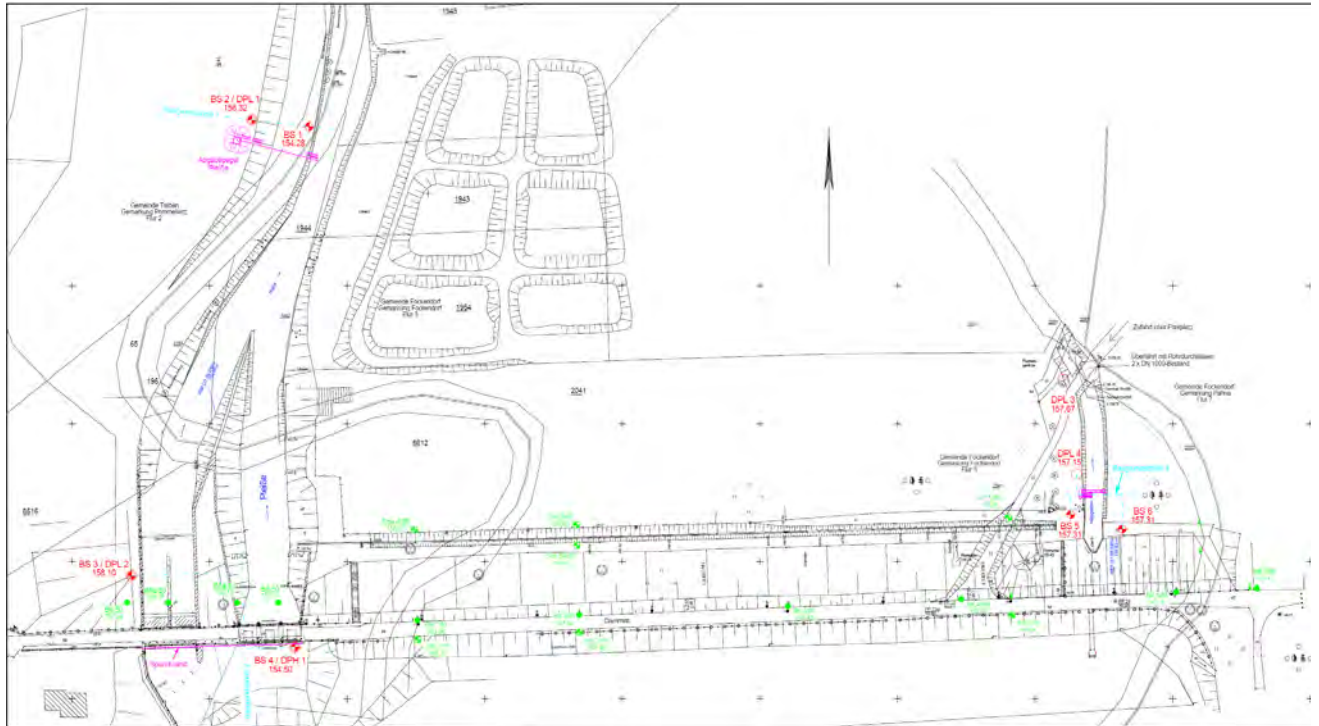


Abbildung 69 Schichtenverzeichnis am Bohrpunkt TH_744003, Bohrpunktkarte Deutschland der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe verfügbar (https://www.bgr.bund.de/DE/BGR/Wissenschaftliche-Infrastruktur/Geodateninfrastruktur/Bohrpunktkarte-Deutschland/bohrpunktkarte-deutschland_node.html)

Bodenprofile aus [5a] Geotechnischer Bericht: Hochwasserschutzgerechter Umbau der Talsperre Windischleuba - Auftragsnummer: 05-137, Ingenieurbüro L. Woitke, Altenburg, 2006



- Legende:
- Abohmung mit Bezeichnung und Höhe in m ü. Werknetz
 - Aufschurf mit Bezeichnung und Höhe in m ü. Werknetz
 - ✕ BS 6 157,31 Bohrung mit Bezeichnung und Höhe in m ü. Werknetz
 - DPL 4 157,15 Rammschichtung mit Bezeichnung und Höhe in m ü. Werknetz

Planungsgrundlage:
 Vermessungsunterlagen des Vermessungsbüros Vierende vom Juli 2000
 und des Ingenieurbüros Hillert & Romels vom 29.27.09.2005,
 sowie Planungsunterlagen der Kubers Ingenieurgesellschaft mbH vom Jan. 2006

Auftraggeber  Landestalsperrenverwaltung des Freistaates Sachsen Talsperrenverwaltung Pima 01752 Pima / Bahnhofsstraße 14 Tel.: 0 35 01 / 786-471; Fax: 0 35 01 / 786-195	
Auftragnehmer  INGENIEURBÜRO LUTZ WOITKE BAUGRUND / GEOLOGIE / GEOPHYSIK 04800 Altenburg / Hölzweg 15 Tel.: 0 34 47 / 50 69 13; Fax: 0 34 47 / 55 15 59	
Lagebezug: RD 83 Landkreis: Altenburger Land Gemarkung: Fockendorf	
Höhenbezug: Werknetz (NNiv) Gemeinde: Fockendorf Flurstück:	
Talsperre Windischleuba Hochwasserschutzgerechter Umbau	
Lageplan der Aufschlusspunkte	
Datum: Name: Unterschrift:	
Gezei: Jan. 06 Ilgen	
Bearb.: Jan. 06	
Gepr.: Jan. 06 Woitke	
Auftragsnr.: 4500038014 Projekt-Nr.: IB Woitke: 05-137 Maßstab: 1:1.000 Anlage 1 Blatt 3	

Abbildung 70 Bodenprofile in Staudammnähe und in der Nähe des Unterwasserpegels aus [5a] (s. Anhang)

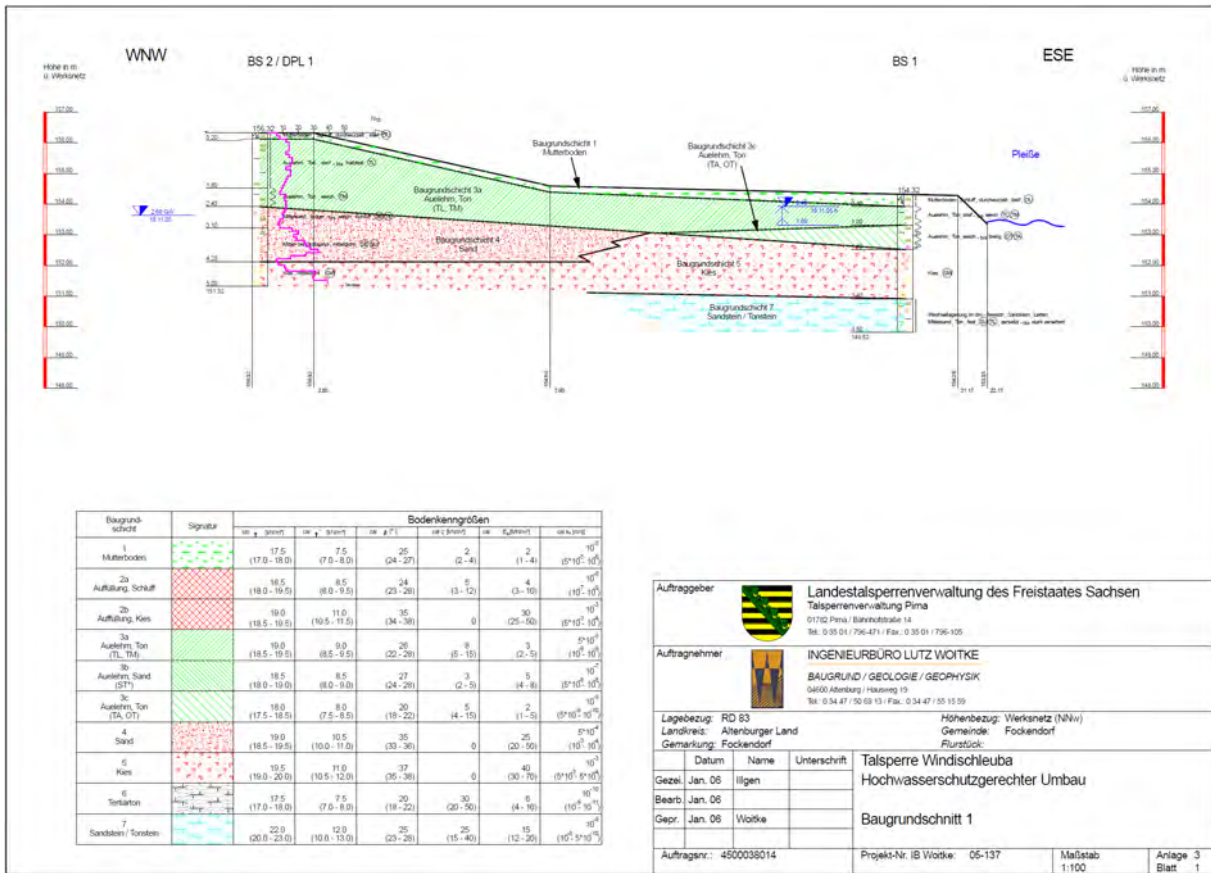
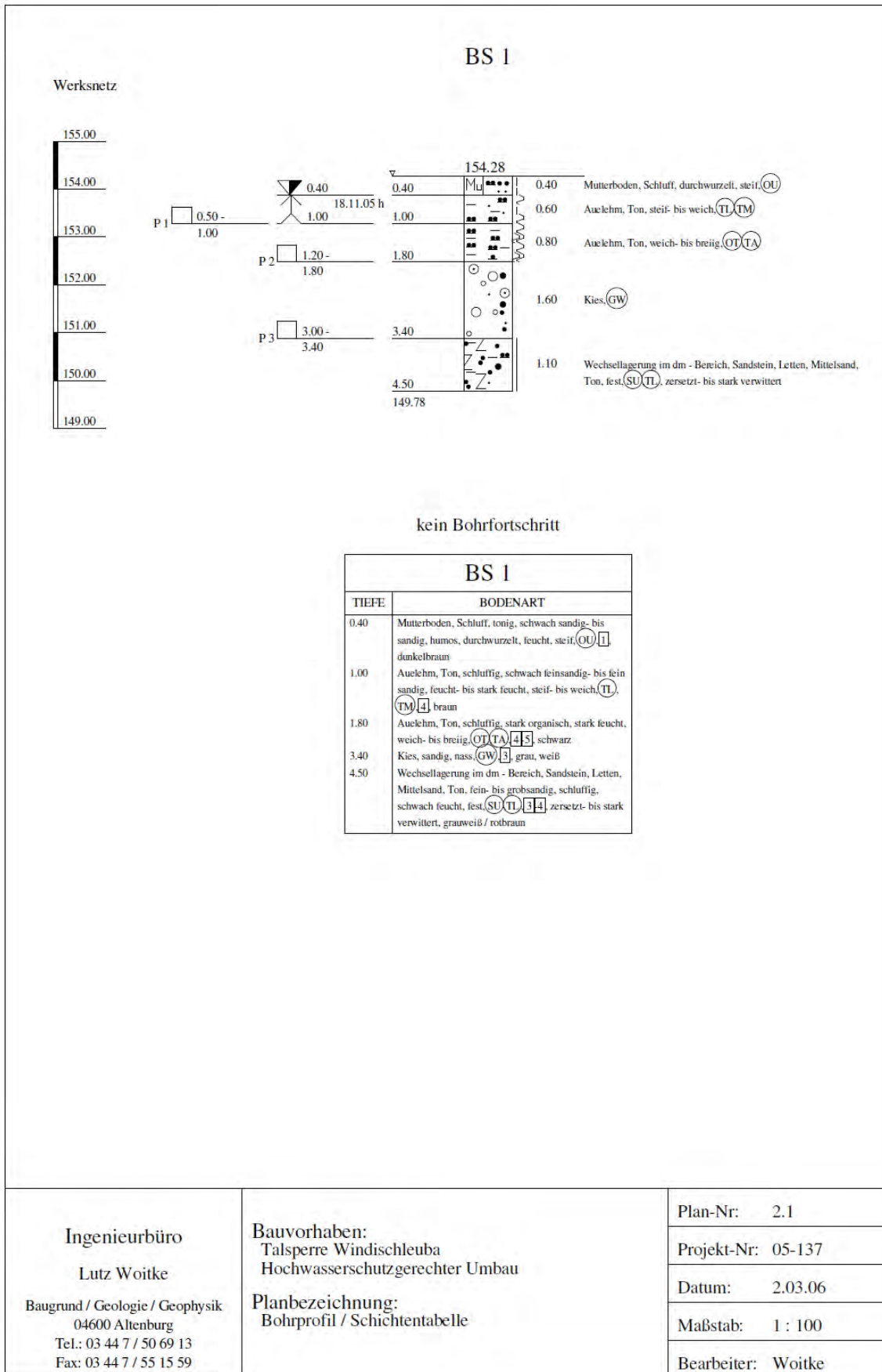
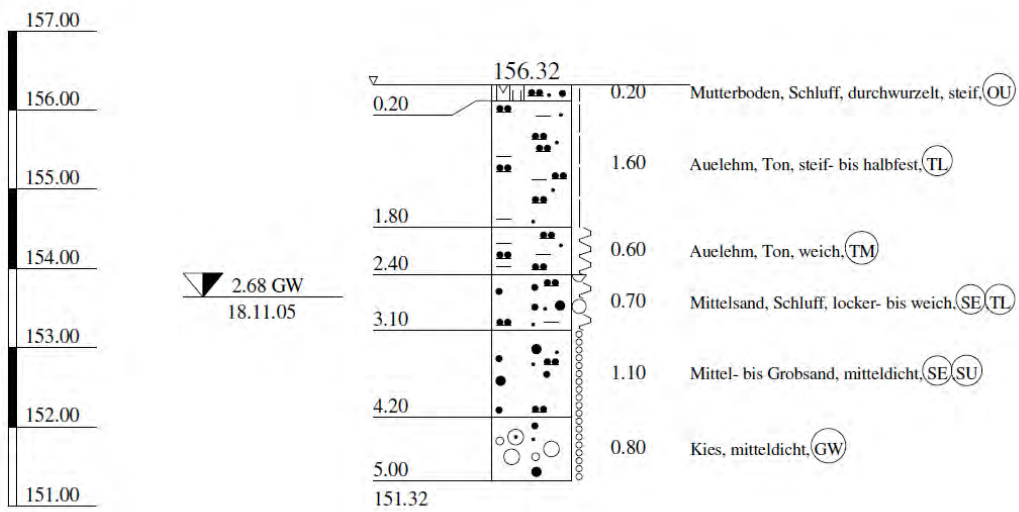


Abbildung 71 Bodenprofil in der Nähe des Unterwasserpegels aus [5a]



Werksnetz

BS 2



BS 2	
TIEFE	BODENART
0.20	Mutterboden, Schluff, sandig, stark humos, durchwurzelt, feucht, steif, (OU) 1, schwarzbraun
1.80	Auelehm, Ton, schluffig, stark feinsandig- bis feinsandig, feucht, steif- bis halbfest, (TL) 4, hellbraun
2.40	Auelehm, Ton, schluffig, schwach feinsandig, stark feucht, weich, (TM) 4, hellbraun - graubraun
3.10	Mittelsand, Schluff, fein- bis grobsandig, tonig, stark sandig, feucht- bis stark feucht, locker- bis weich, (SE), (TL) 3 4, Wechsellagerung
4.20	Mittel- bis Grobsand, feinsandig, schwach schluffig, nass, mitteldicht, (SE, SU) 3, braun
5.00	Kies, sandig, nass, mitteldicht, (GW) 3, grau / weiß

Ingenieurbüro

Lutz Voitke

Baugrund / Geologie / Geophysik

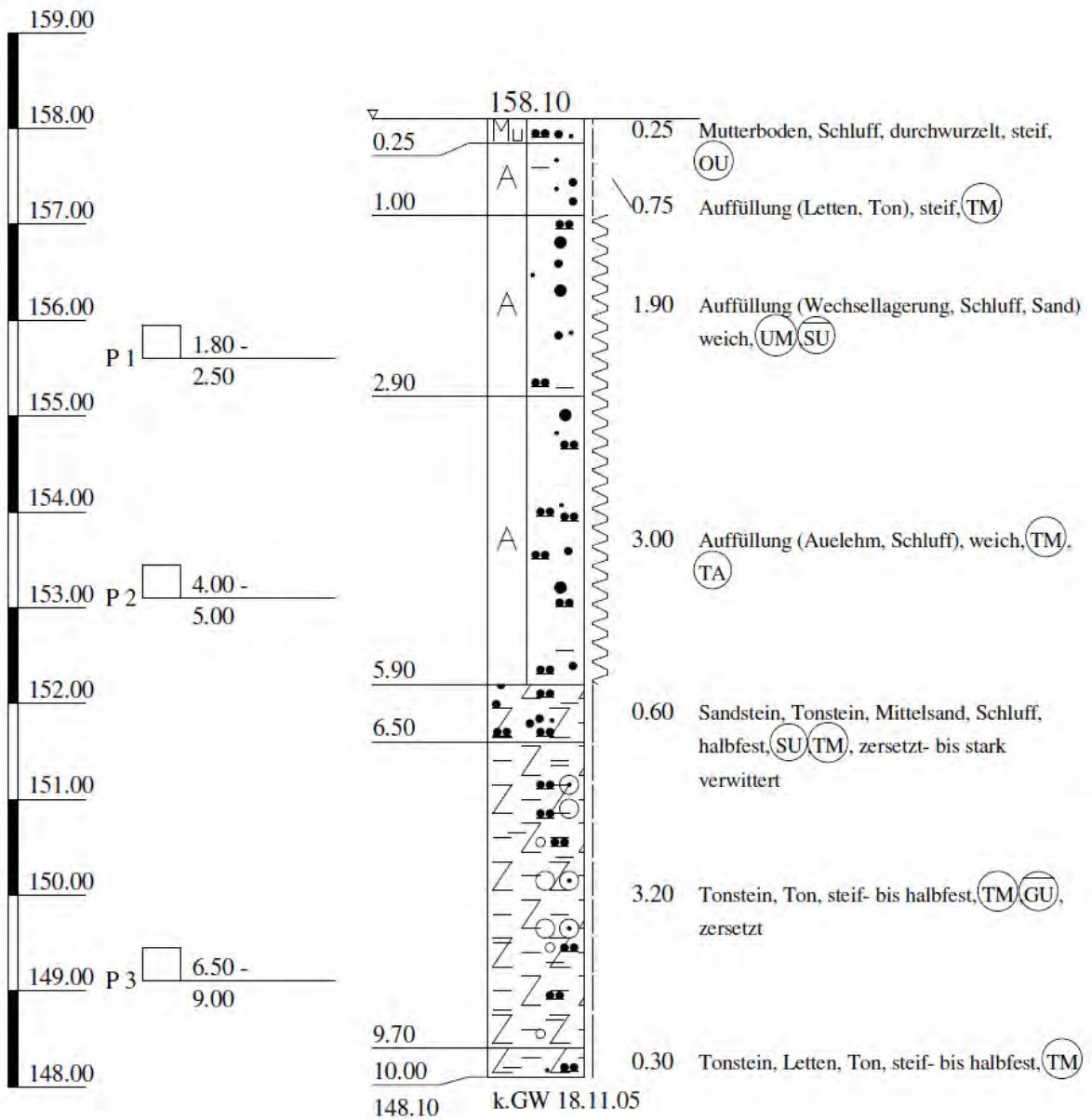
04600 Altenburg

Tel.: 03 44 7 / 50 69 13

Fax: 03 44 7 / 55 15 59

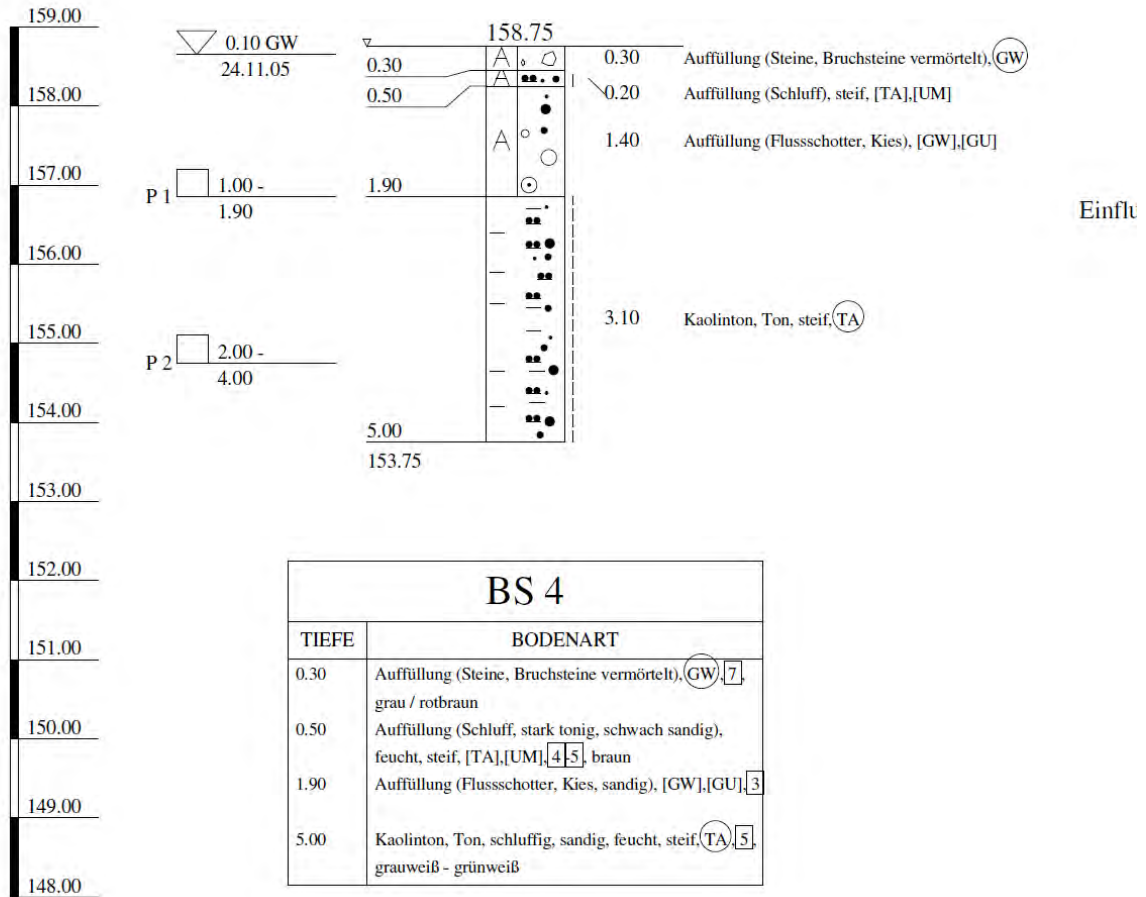
Werksnetz

BS 3



BS 4

Werksnetz



Ingenieurbüro

Lutz Voitke

Baugrund / Geologie / Geophysik

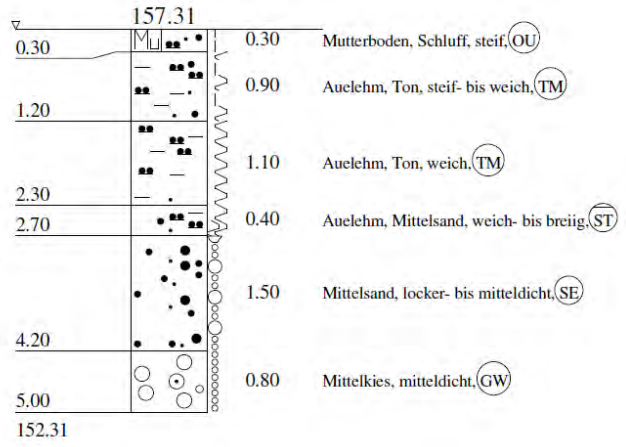
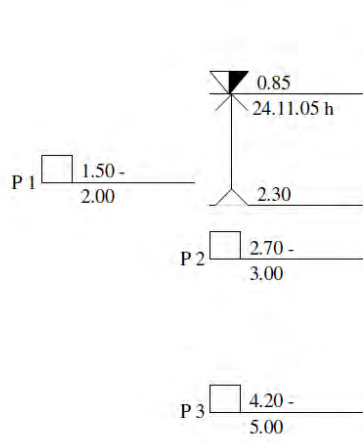
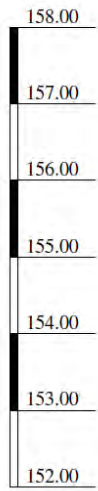
04600 Altenburg

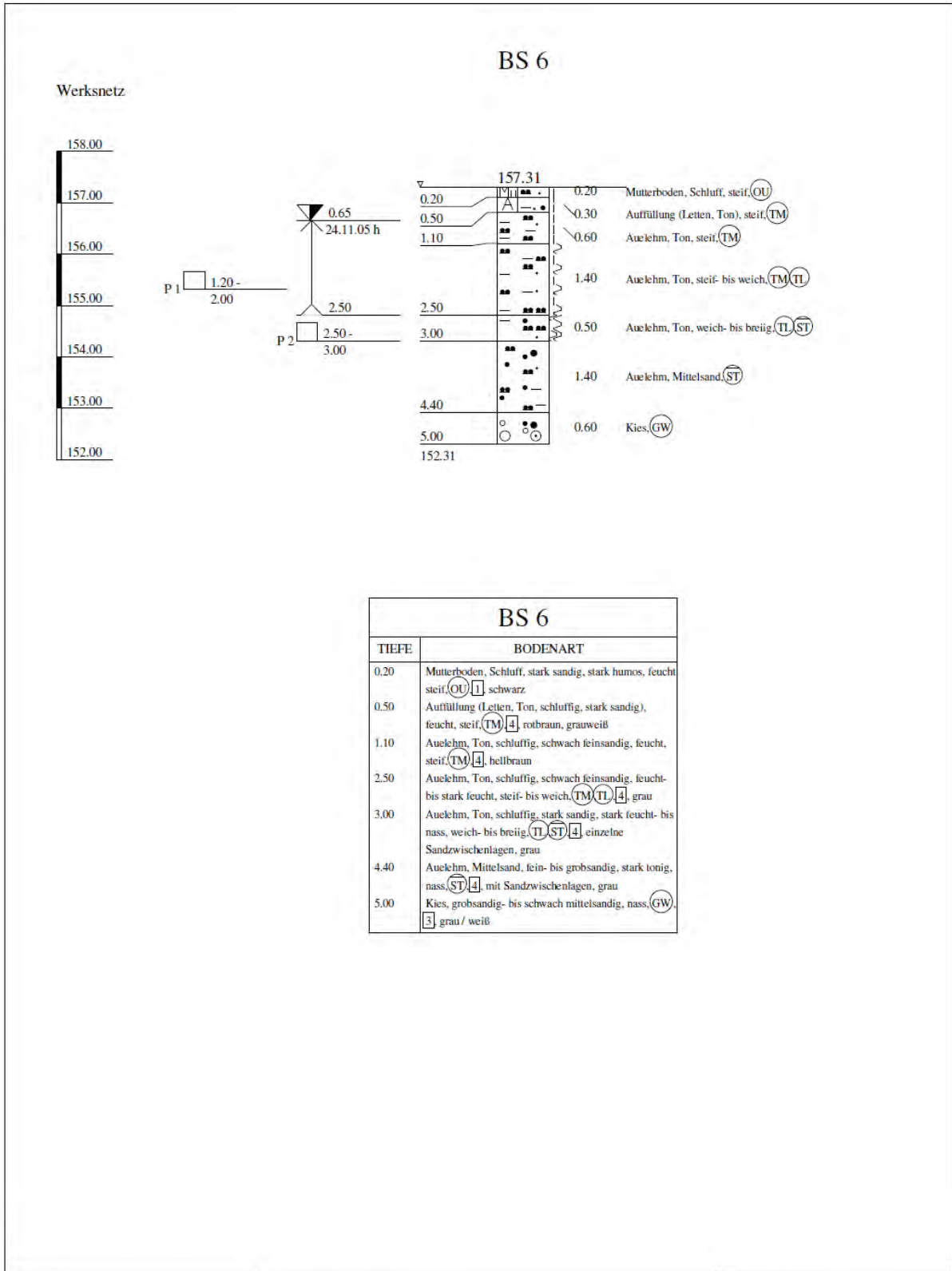
Tel.: 03 44 7 / 50 69 13

Fax: 03 44 7 / 55 15 59

Werksnetz

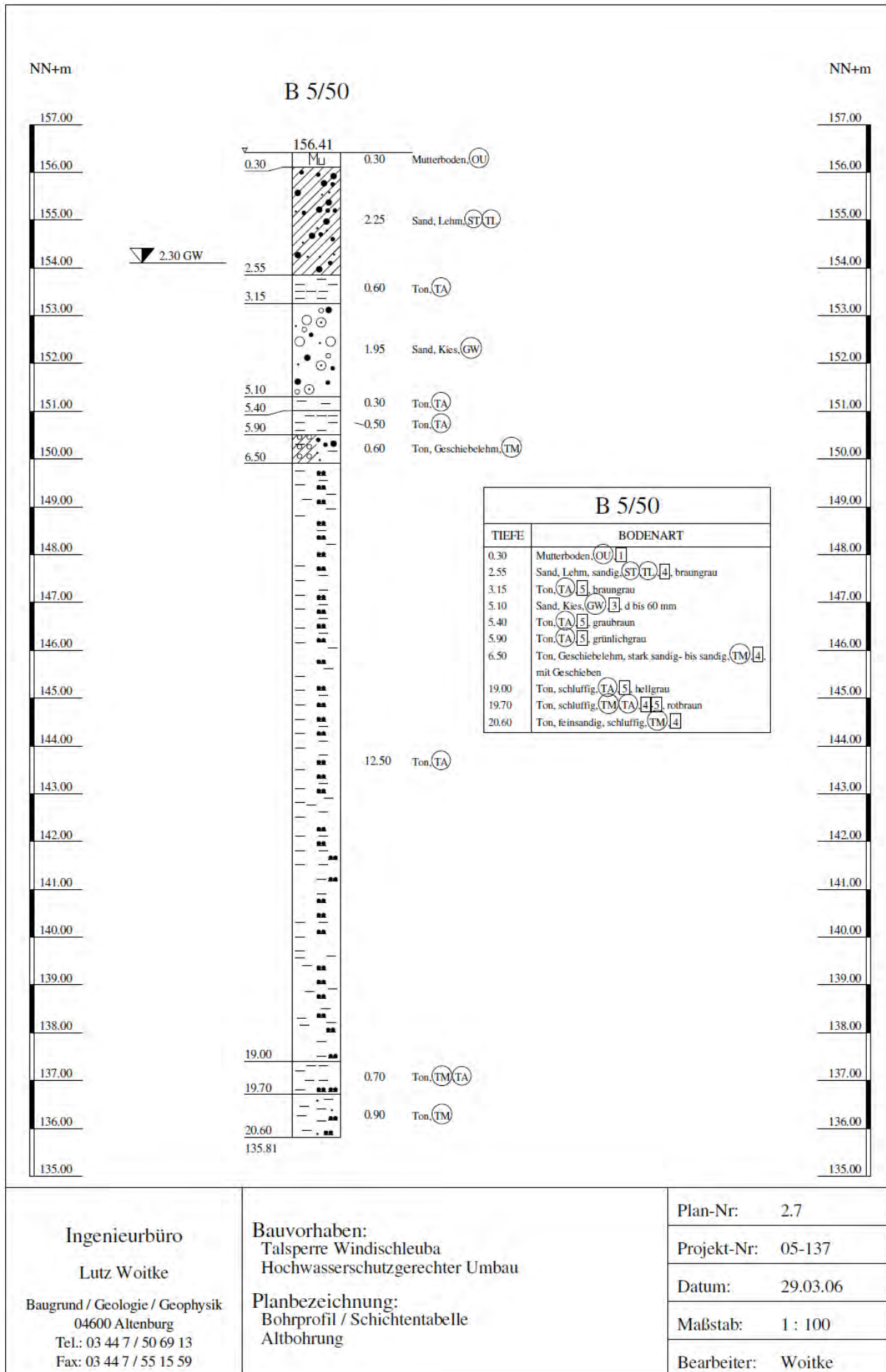
BS 5

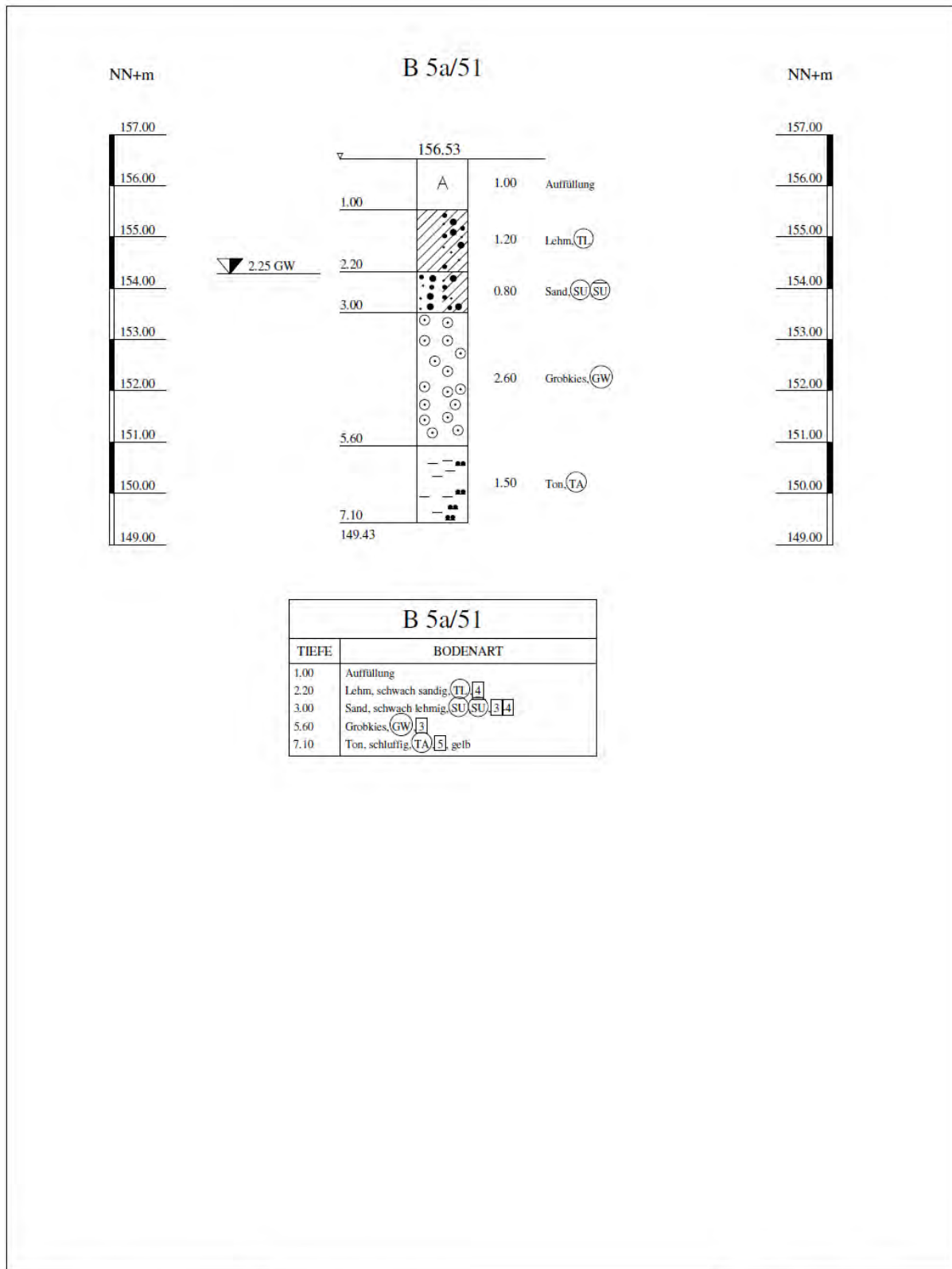




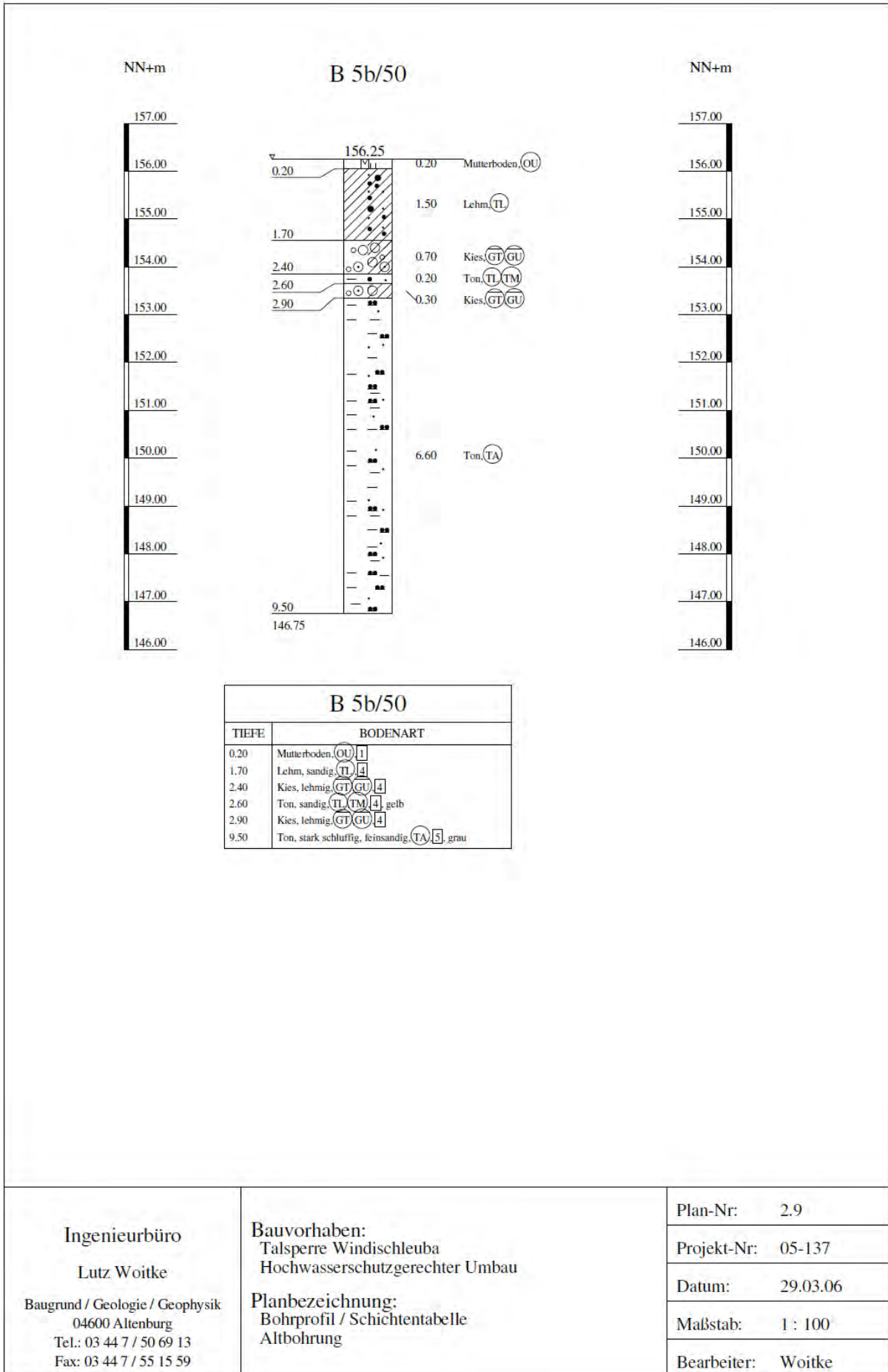
BS 6	
TIEFE	BODENART
0.20	Mutterboden, Schluff, stark sandig, stark humos, feucht steif, (OU) [1] schwarz
0.50	Auffüllung (Letten, Ton, schluffig, stark sandig), feucht, steif, (TM) [4], rotbraun, grauweiß
1.10	Auelehm, Ton, schluffig, schwach feinsandig, feucht, steif, (TM) [4], hellbraun
2.50	Auelehm, Ton, schluffig, schwach feinsandig, feucht- bis stark feucht, steif- bis weich, (TM)(TL) [4], grau
3.00	Auelehm, Ton, schluffig, stark sandig, stark feucht- bis nass, weich- bis breiig, (TL)(ST) [4], einzelne Sandzwischenlagen, grau
4.40	Auelehm, Mittelsand, fein- bis grobsandig, stark tonig, nass, (ST) [4], mit Sandzwischenlagen, grau
5.00	Kies, grobsandig- bis schwach mittelsandig, nass, (GW) [3] grau / weiß

<p style="text-align: center;">Ingenieurbüro Lutz Voitke</p> <p>Baugrund / Geologie / Geophysik 04600 Altenburg Tel.: 03 44 7 / 50 69 13 Fax: 03 44 7 / 55 15 59</p>	<p>Bauvorhaben: Talsperre Windischleuba Hochwasserschutzgerechter Umbau</p> <p>Planbezeichnung: Bohrprofil / Schichtentabelle</p>	Plan-Nr: 2.6
		Projekt-Nr: 05-137
		Datum: 2.03.06
		Maßstab: 1 : 100
		Bearbeiter: Voitke





<p>Ingenieurbüro Lutz Voitke Baugrund / Geologie / Geophysik 04600 Altenburg Tel.: 03 44 7 / 50 69 13 Fax: 03 44 7 / 55 15 59</p>	<p>Bauvorhaben: Talsperre Windischleuba Hochwasserschutzgerechter Umbau</p> <p>Planbezeichnung: Bohrprofil / Schichtentabelle Altbohrung</p>	Plan-Nr: 2.8
		Projekt-Nr: 05-137
		Datum: 29.03.06
		Maßstab: 1 : 100
		Bearbeiter: Voitke

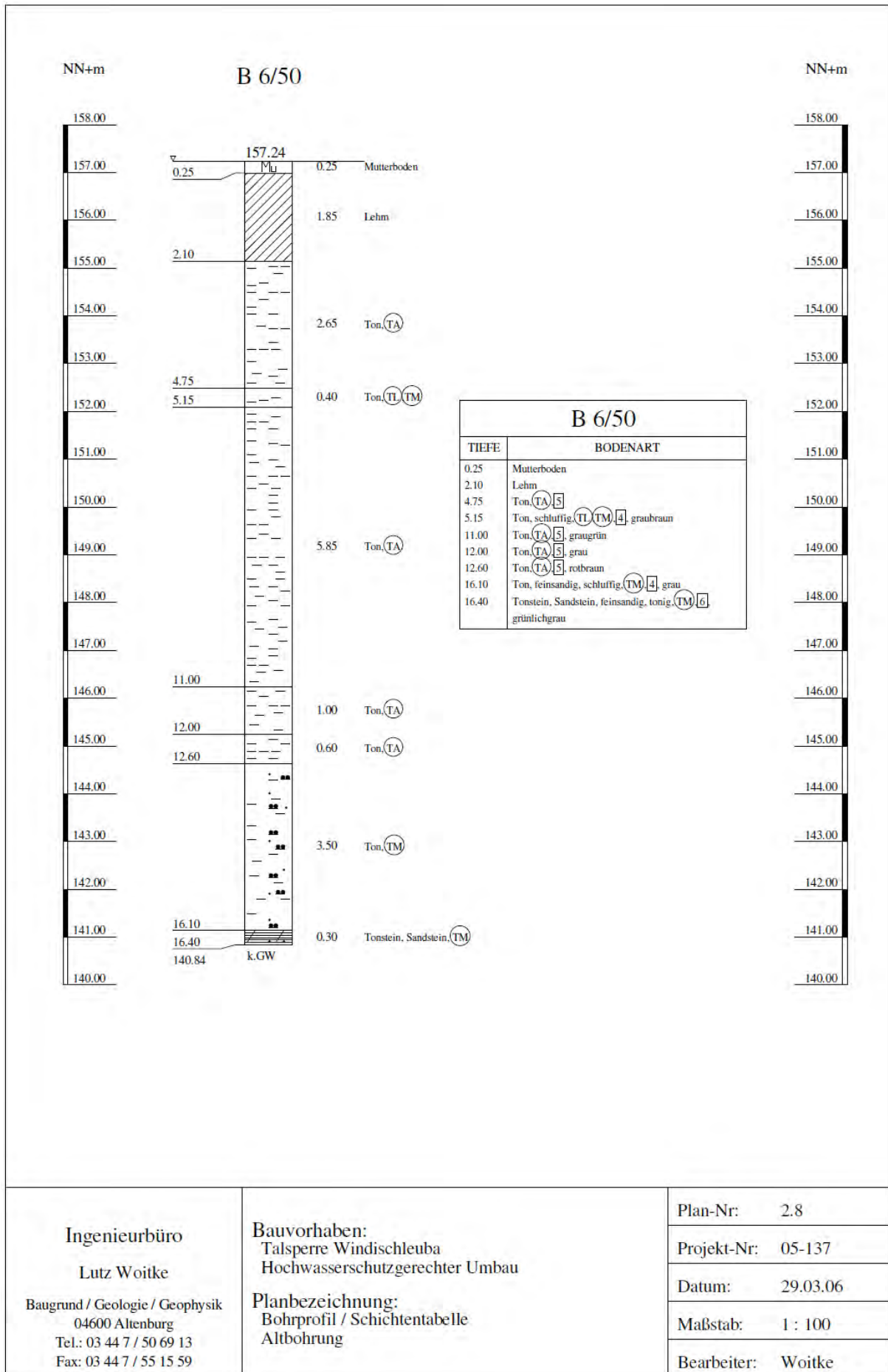


Ingenieurbüro
Lutz Voitke
 Baugrund / Geologie / Geophysik
 04600 Altenburg
 Tel.: 03 44 7 / 50 69 13
 Fax: 03 44 7 / 55 15 59

Bauvorhaben:
 Talsperre Windischleuba
 Hochwasserschutzgerechter Umbau

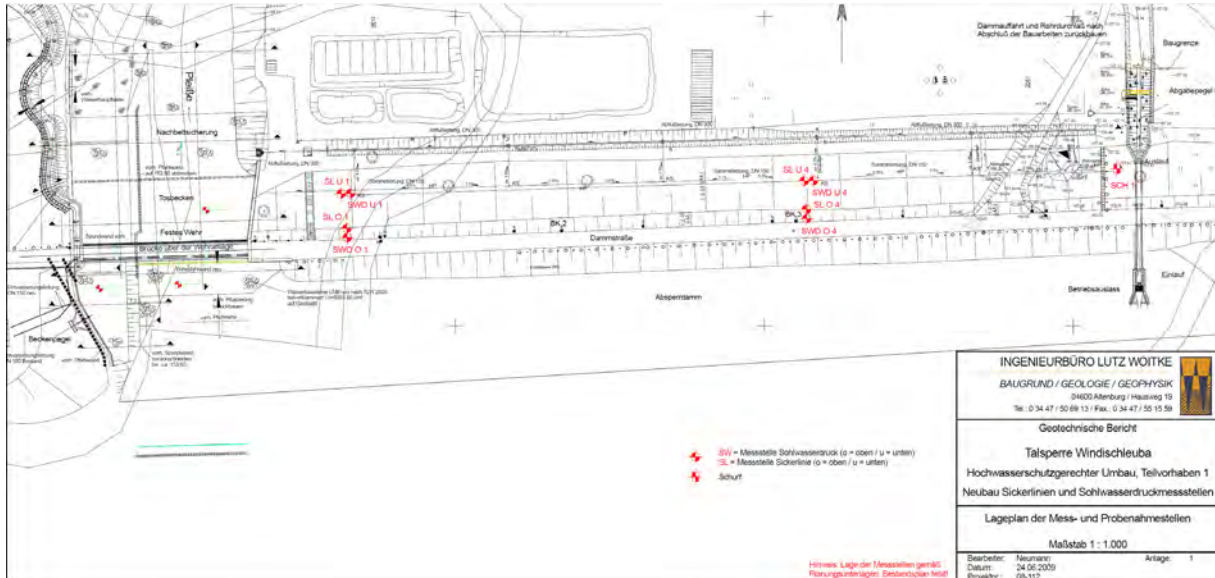
Planbezeichnung:
 Bohrprofil / Schichtentabelle
 Altbohrung

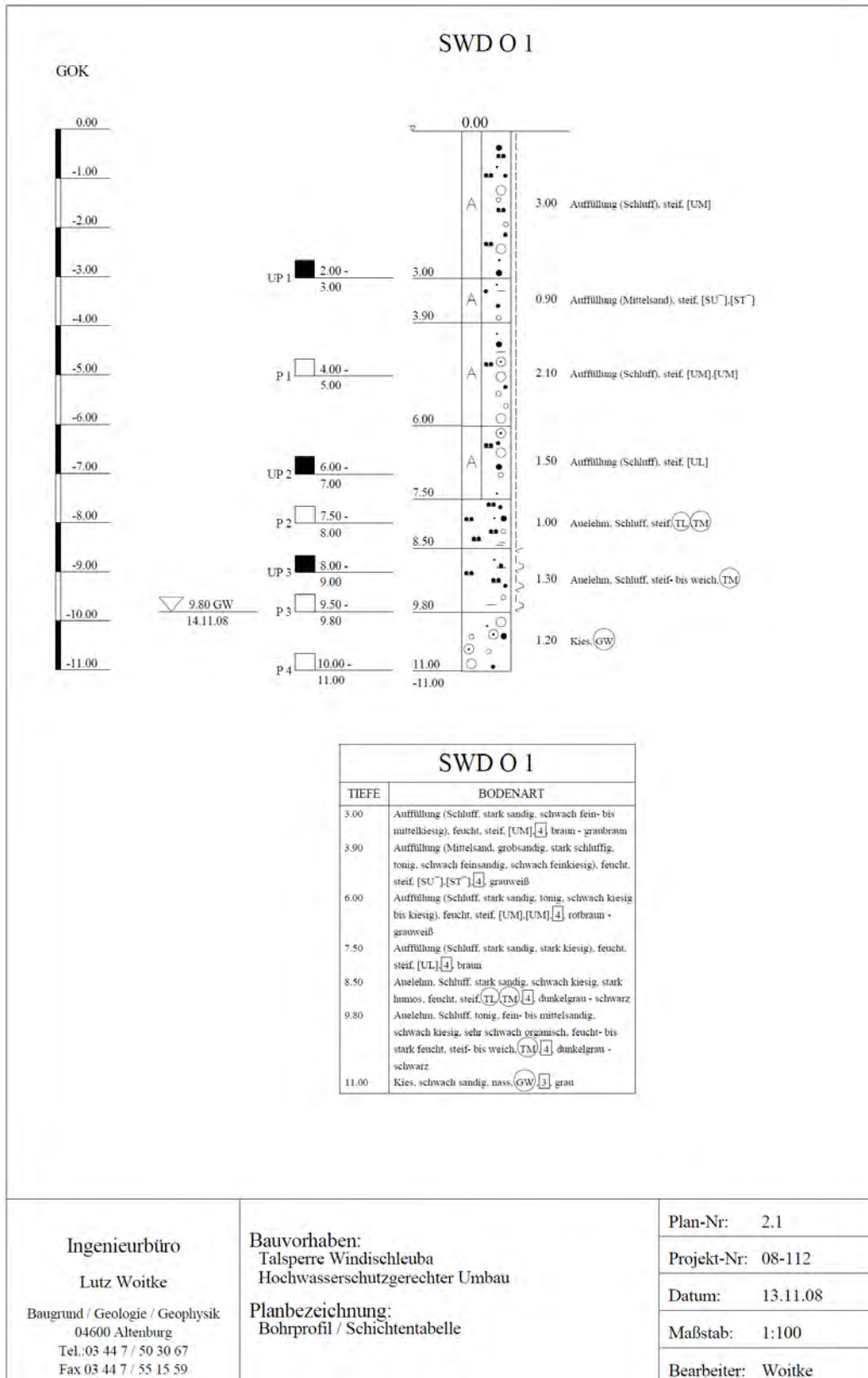
Plan-Nr:	2.9
Projekt-Nr:	05-137
Datum:	29.03.06
Maßstab:	1 : 100
Bearbeiter:	Voitke



<p style="text-align: center;">Ingenieurbüro</p> <p style="text-align: center;">Lutz Voitke</p> <p>Baugrund / Geologie / Geophysik 04600 Altenburg Tel.: 03 44 7 / 50 69 13 Fax: 03 44 7 / 55 15 59</p>	<p>Bauvorhaben: Talsperre Windischleuba Hochwasserschutzgerechter Umbau</p> <p>Planbezeichnung: Bohrprofil / Schichtentabelle Altbohrung</p>	Plan-Nr: 2.8
		Projekt-Nr: 05-137
		Datum: 29.03.06
		Maßstab: 1 : 100
		Bearbeiter: Voitke

Bodenprofile aus [5b] Geotechnischer Bericht: Hochwasserschutzgerechter Umbau der Talsperre Windischleuba / Teilvorhaben 1. Neubau Sickerlinien und Sohlwasserdruckmessstellen, Auftragsnummer: 08-112, Ingenieurbüro L. Voitke, Altenburg 2009





Ingenieurbüro
Lutz Voitke

Baugrund / Geologie / Geophysik
04600 Altenburg
Tel.: 03 44 7 / 50 30 67
Fax 03 44 7 / 55 15 59

Bauvorhaben:
Talsperre Windischleuba
Hochwasserschutzgerechter Umbau

Planbezeichnung:
Bohrprofil / Schichtentabelle

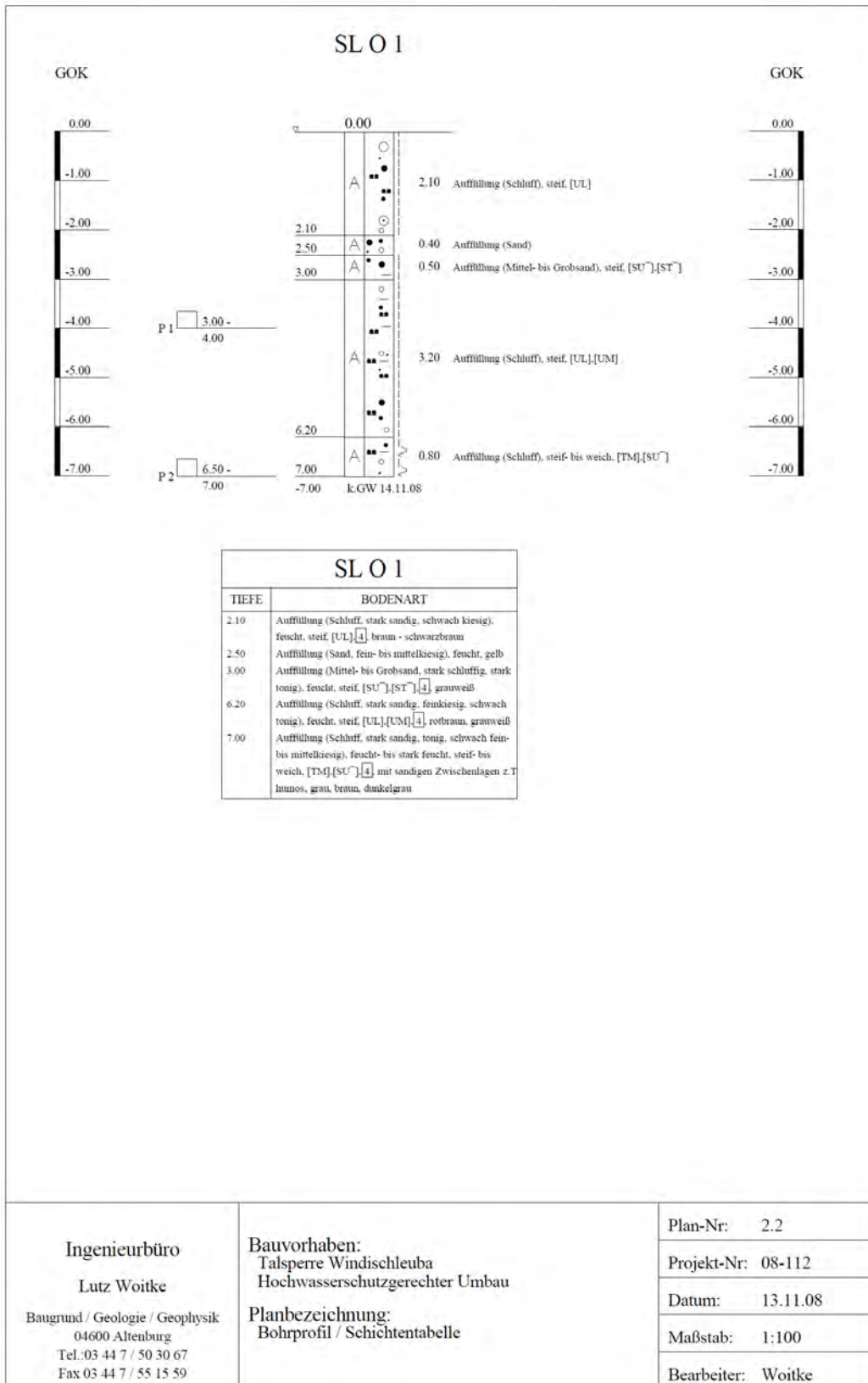
Plan-Nr: 2.1

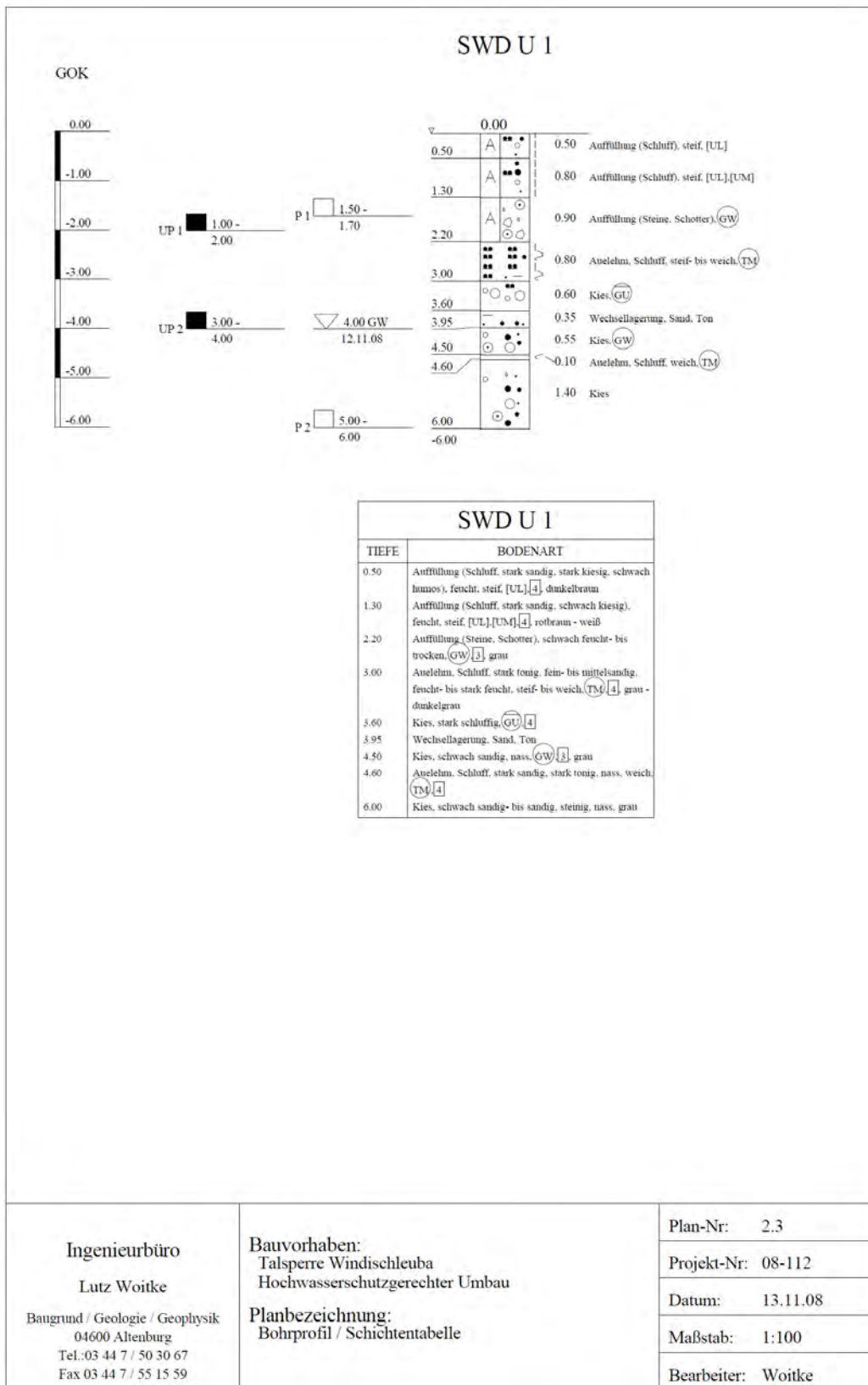
Projekt-Nr: 08-112

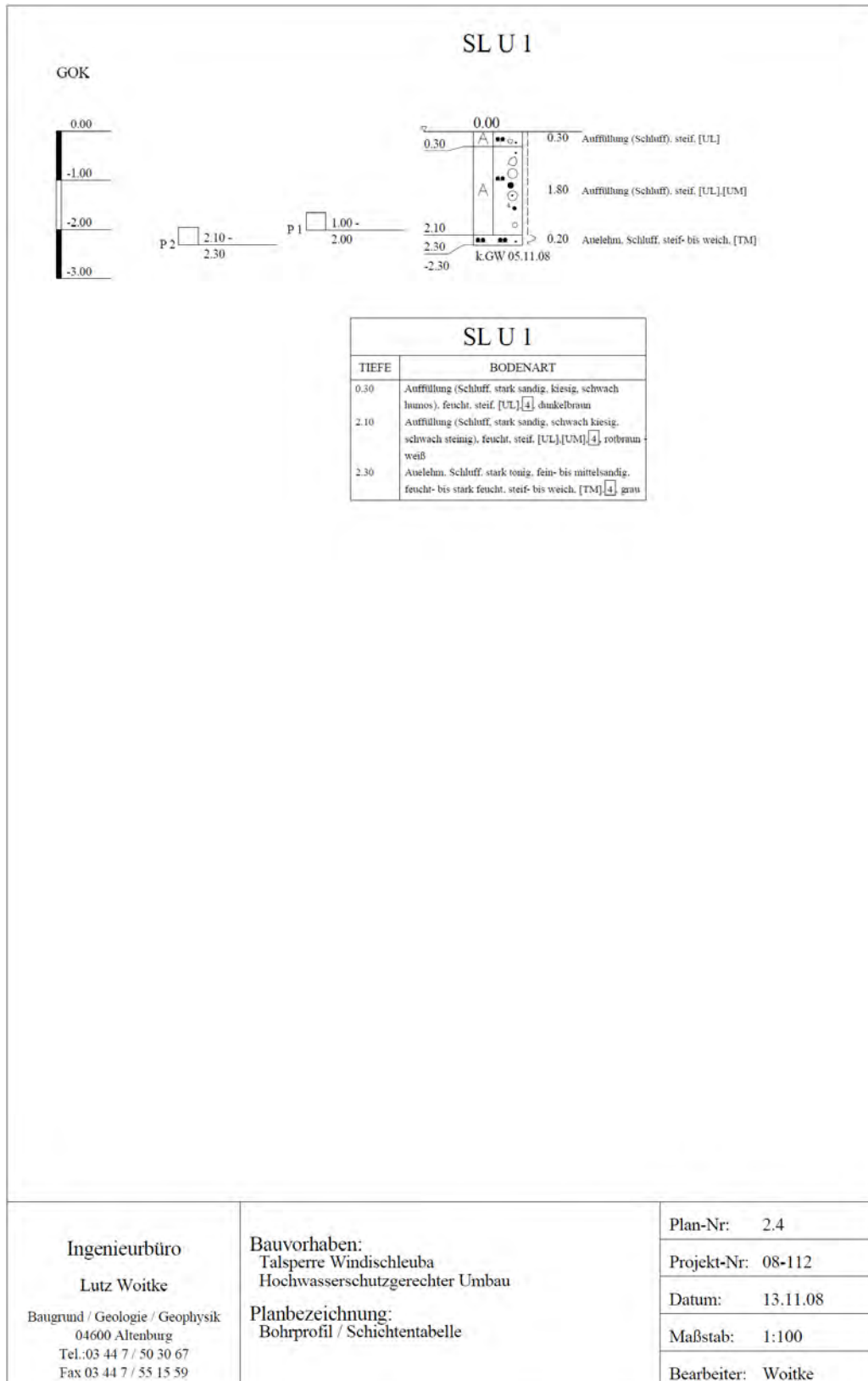
Datum: 13.11.08

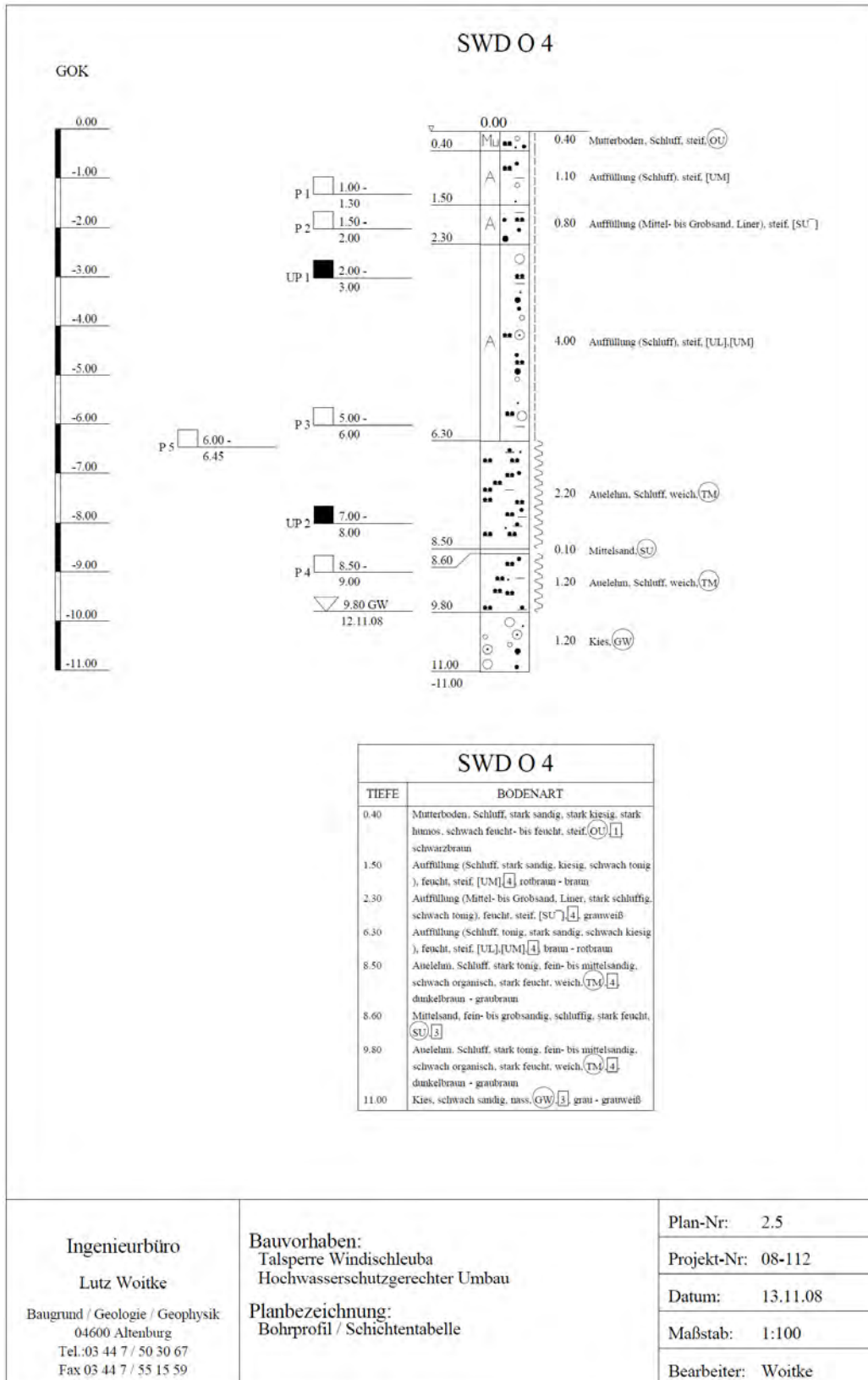
Maßstab: 1:100

Bearbeiter: Voitke









Ingenieurbüro

Lutz Voitke

Baugrund / Geologie / Geophysik
04600 Altenburg
Tel.: 03 44 7 / 50 30 67
Fax 03 44 7 / 55 15 59

Bauvorhaben:
Talsperre Windischleuba
Hochwasserschutzgerechter Umbau

Planbezeichnung:
Bohrprofil / Schichtentabelle

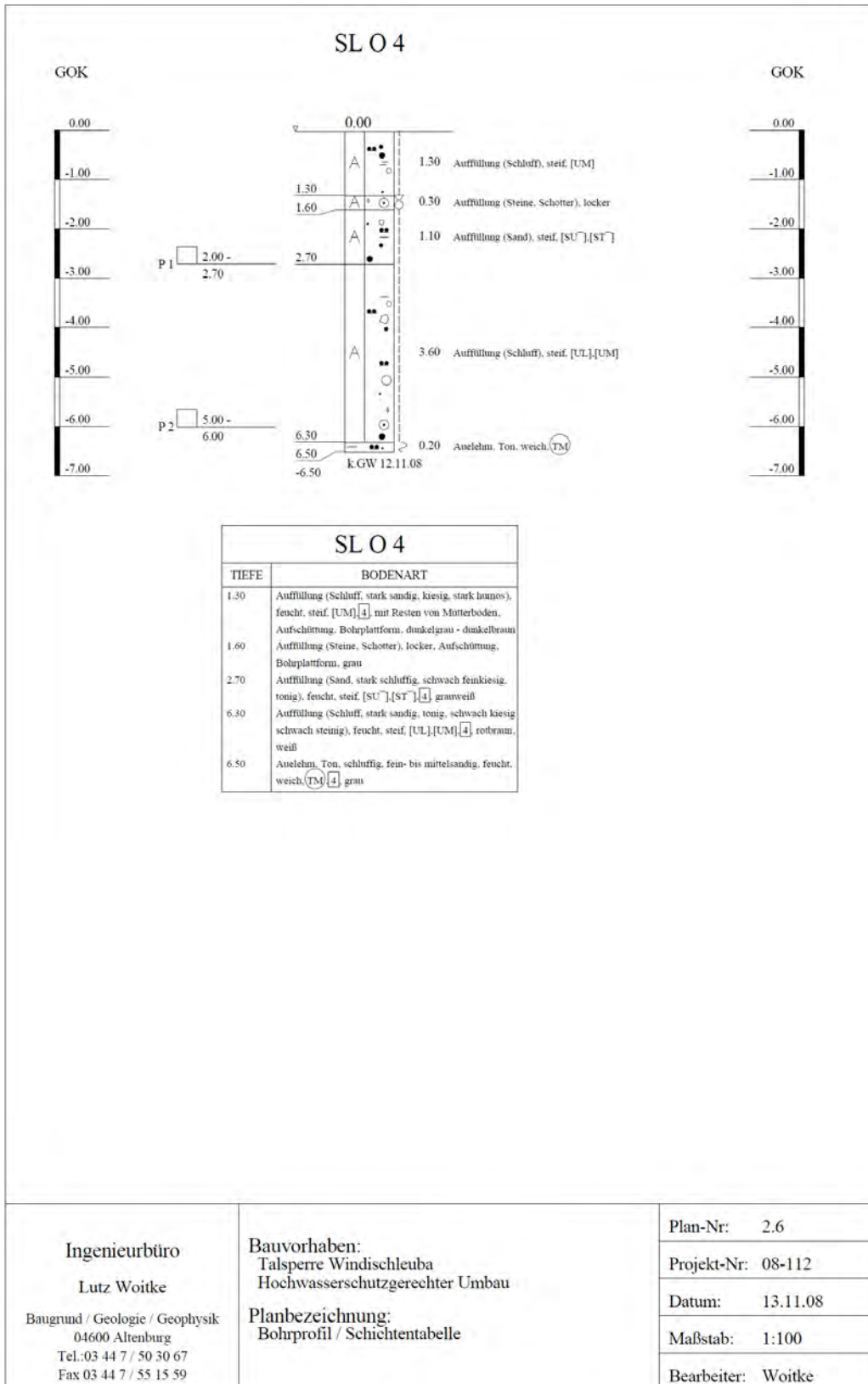
Plan-Nr: 2.5

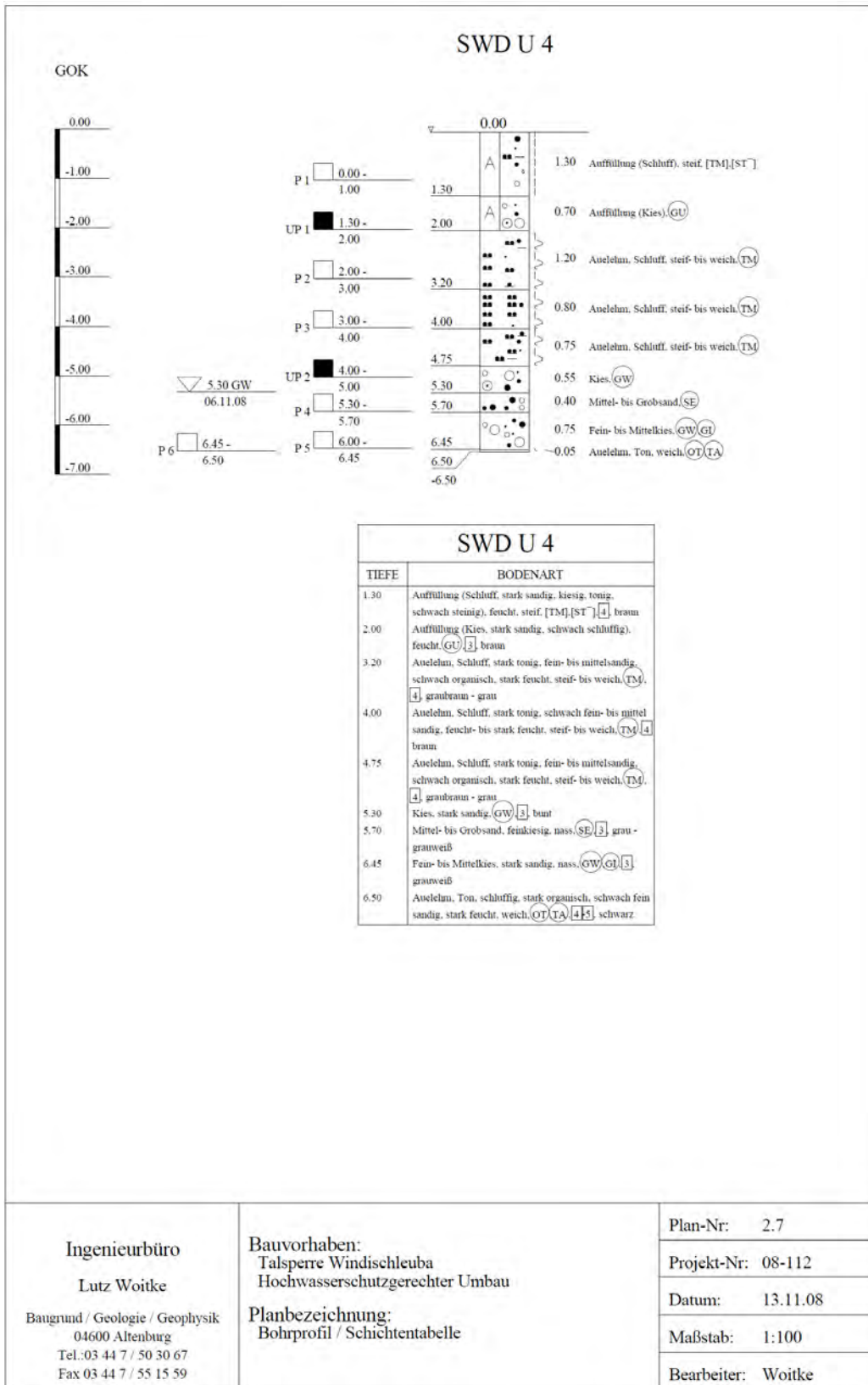
Projekt-Nr: 08-112

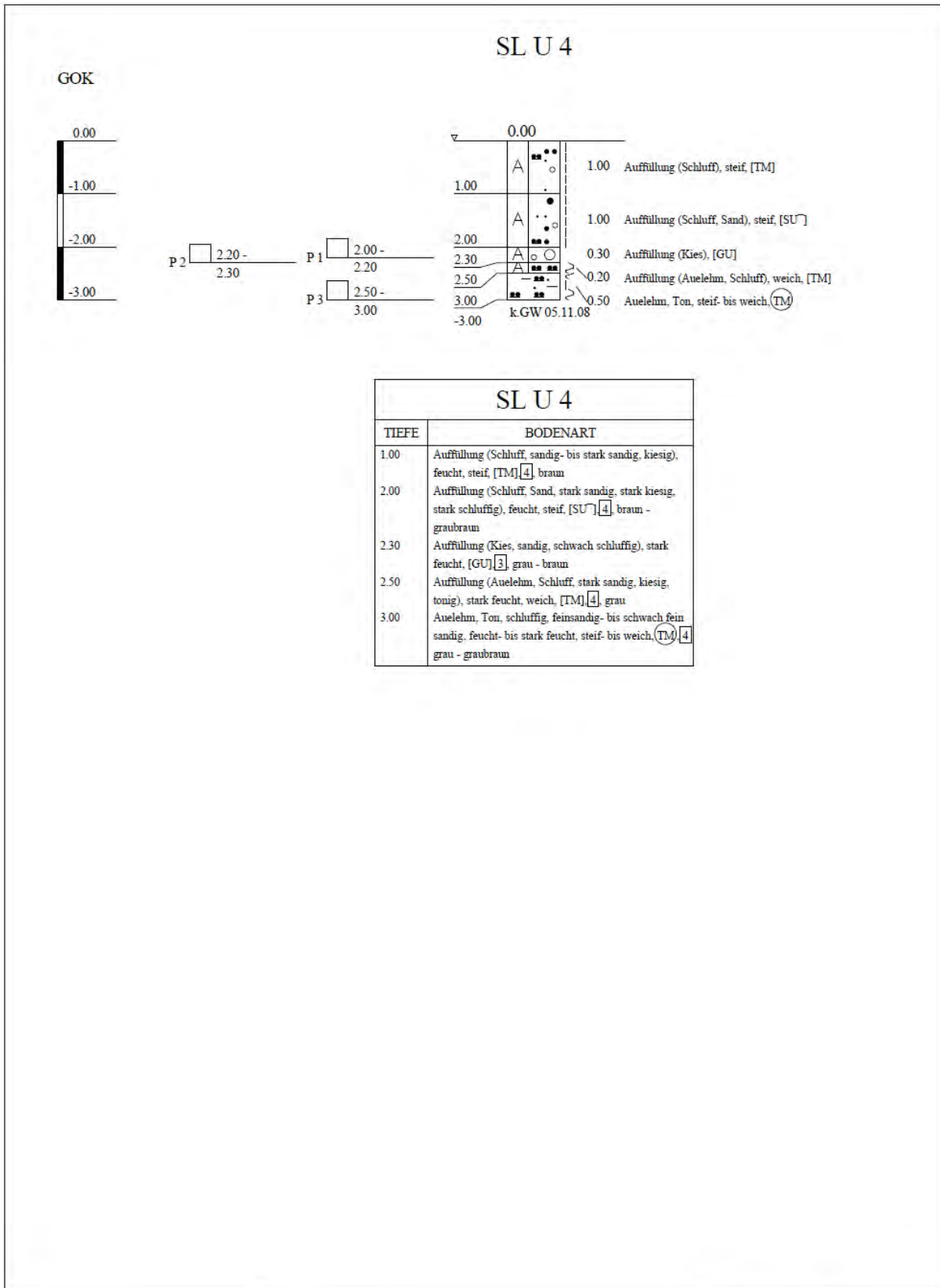
Datum: 13.11.08

Maßstab: 1:100

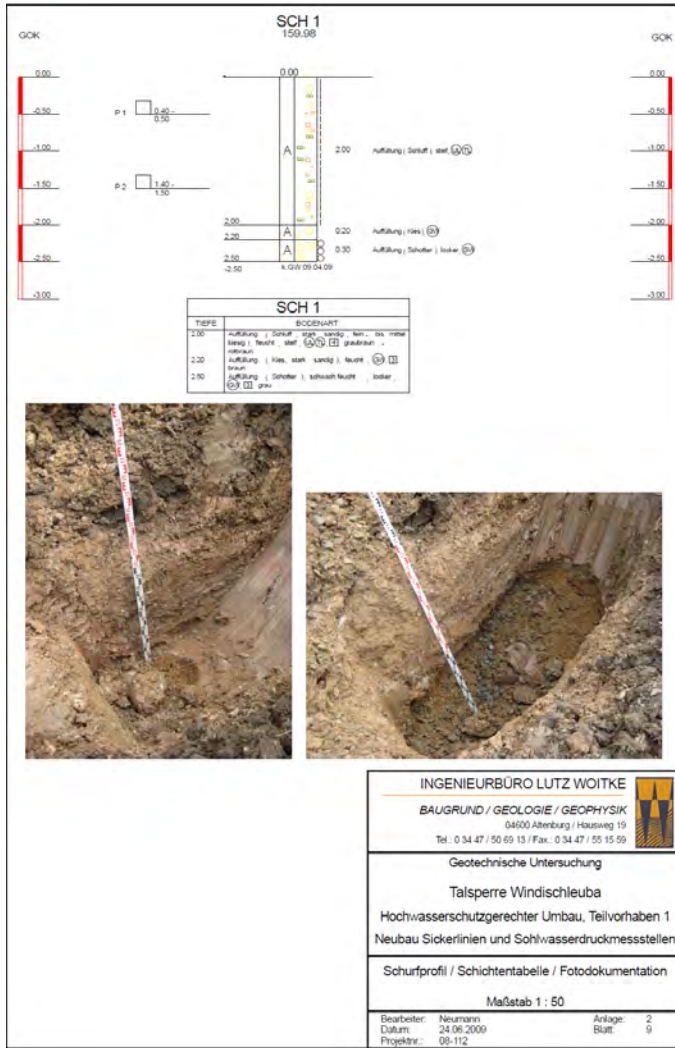
Bearbeiter: Voitke







<p>Ingenieurbüro</p> <p>Lutz Voitke</p> <p>Baugrund / Geologie / Geophysik</p> <p>04600 Altenburg</p> <p>Tel.: 03 44 7 / 50 30 67</p> <p>Fax 03 44 7 / 55 15 59</p>	<p>Bauvorhaben:</p> <p>Talsperre Windischleuba</p> <p>Hochwasserschutzgerechter Umbau</p> <p>Planbezeichnung:</p> <p>Bohrprofil / Schichtentabelle</p>	Plan-Nr: 2.8
		Projekt-Nr: 08-112
		Datum: 13.11.08
		Maßstab: 1:100
		Bearbeiter: Voitke





Pleiße

Einzugs- und
Flussgebiet

Landesgr.
 Kreisgrenze

Wasserscheiden
 (Haupt-) (intern)

Quelle: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/1d/Einzugs-_und_Flussgebietskarte_Pleisse.png

Legende:

- Talsperre Windischleuba
- Bergbaurevier Ronneburg (BB Drosen, BB Beervelde)
- IAA Dänkriz II

Rechnung: 2000003.1-Zr 0206-Anlage 1.0			
Auftraggeber: Landratsamt Altenburger Land	Sakosta <small>Agencia de Informacion Geografica www.sakosta.com</small>		
Projekt:	Talsperre Windischleuba Historische Erkundung		
Titel:	Darstellung Einzugsgebiet der Pleiße mit Lage der Talsperre		
Revidiert:	bearbeitet:	geprüft:	Plan Nr./ Anlage:
1.0/06	Sommer 10/22	Dr. Förster 10/22	1.0

Talsperre Windischleuba 2022-03-24 RGB



2000083.1-221028-Anlage 7.1.pdf

Stützstellen für die Ermittlung des Hauptaquifers										
Probe/Ort	Quelle	Bohransatzhöhe NN	aquifer top m	aquifer bottom m	aquifer top mNN	aquifer bottom mNN	Mächtigkeit	Bodenart	kf	Bemerkungen
BS1	[5a]	154.28	1.80	3.40	152.48	150.88	1.60	Kies	0.01	geschätzt
BS2	[5a]	156.32	4.20	5.00	152.12	151.32	0.80	Kies	0.01	geschätzt
BS3	[5a]	158.10						kein Kies		
BS4	[5a]	158.75	0.50	1.90	158.25	156.85	1.40	Auffüllung Flusssch	0.01	geschätzt
BS5	[5a]	157.31	4.20	5.00	153.11	152.31	0.80	MittelKies	0.01	geschätzt
BS6	[5a]	157.31	4.40	5.00	152.91	152.31	0.60	Kies	0.01	geschätzt
B5/50	[5a]	156.41	3.15	5.10	153.26	151.31	1.95	Sand, Kies	0.04	geschätzt
B5a/51	[5a]	156.51	3.00	5.60	153.51	150.91	2.60	Grobkies	0.02	geschätzt
B5b/50	[5a]	156.25	1.70	2.90	154.55	153.35	1.20	Kies	0.01	geschätzt
B6/50	[5a]	157.24						kein Kies		
SWD o1	[5b]	163.00	9.80	11.00	153.20	152.00	1.20	Kies	0.01	geschätzt
SWD o4	[5b]	163.00	10.00	11.00	153.00	152.00	1.00	Kies	0.0163	Beyer
SWD u1	[5b]	159.00	4.00	6.00	155.00	153.00	2.00	Kies	6E-06	USBR
SWD u4	[5b]	159.00	4.75	5.30	154.25	153.70	0.55	Kies	0.00142	Beyer
TH756584	boreholemap	157.38	3.20	4.00	154.18	153.38	0.80	Kies	0.01	
TH106121	boreholemap	157.00	2.70	5.50	154.30	151.50	2.80	Grobkies	0.02	
TH769173	boreholemap	159.86	0.00	2.00	159.86	157.86	2.00	Kies mit Sand	0.04	
TH770846	boreholemap	166.62	1.10	3.00	165.52	163.62	1.90	Grobkies	0.02	
TH756582	boreholemap	157.11	1.50	4.00	155.61	153.11	2.50	Kies mit Sand und	0.04	
TH106127	boreholemap	156.00	2.60	5.40	153.40	150.60	2.80	Grobkies	0.02	
TH106137	boreholemap	156.90	2.30	7.30	154.60	149.60	5.00	Feinkies	0.03	
TH744003	boreholemap	160.50						kein Kies		
		mittl. Flurabstand =	2.65				mittl. Mächtigkeit =	1.76		

OKG	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	153.60	153.60	151.00	152.00	156.00	158.00	163.00	163.00	169.00	171.00	172.00	175.00	178.00	182.00
2	153.80	153.70	153.70	151.00	154.00	158.00	160.00	163.50	168.00	169.00	170.00	173.00	177.00	182.00
3	153.60	153.70	153.70	151.15	154.00	158.00	160.00	164.00	167.00	168.00	169.00	172.00	176.00	180.00
4	153.50	153.70	154.00	151.30	154.00	157.00	160.00	163.50	166.00	167.00	168.80	170.00	175.00	177.00
5	153.40	153.70	154.10	151.33	154.00	156.00	160.50	163.00	164.00	166.00	166.62	168.50	170.00	172.00
6	153.30	154.30	154.30	151.36	154.50	155.00	158.00	158.00	158.00	158.00	163.00	164.00	164.00	165.00
7	153.20	154.30	154.30	151.40	153.50	153.80	155.00	155.00	155.00	156.00	159.86	169.00	169.00	169.00
8	154.00	154.50	154.50	154.50	153.50	153.80	155.00	155.00	155.00	155.00	157.50	169.00	176.00	172.00
9	153.50	154.50	154.50	154.50	154.50	153.80	155.00	155.00	155.00	155.00	157.00	158.00	173.00	170.00
10	153.50	154.50	155.00	158.00	158.00	157.00	153.80	153.80	153.80	153.80	159.00	157.00	158.00	169.00
11	158.00	158.00	158.00	158.00	158.00	158.00	156.90	157.00	156.00	153.80	156.00	157.00	158.00	166.00
12	160.00	160.00	160.00	160.00	161.00	162.00	161.00	160.00	158.00	153.80	156.00	156.00	157.00	163.00
13	162.00	162.00	162.00	161.00	163.00	167.00	165.00	163.00	158.00	153.80	156.00	156.00	157.00	163.00
14	163.00	163.00	163.00	163.00	164.00	165.00	165.00	165.00	157.50	157.00	157.00	157.00	157.50	163.00
15	164.00	165.00	165.00	165.00	165.00	165.00	165.00	165.00	157.50	157.00	157.00	157.00	157.50	163.00
16	165.00	166.00	166.00	166.00	166.00	166.00	166.00	168.00	157.50	157.00	157.00	157.00	157.50	163.00

OKAq	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	151.20	151.20	148.35	149.35	153.35	155.35	160.35	160.35	166.35	168.35	169.35	172.35	175.35	179.35
2	151.20	151.20	151.20	148.35	151.35	155.35	158.00	160.85	165.35	166.35	167.35	170.35	174.35	179.35
3	150.95	151.20	151.20	148.50	151.35	155.35	157.90	161.35	164.35	165.35	166.35	169.35	173.35	177.35
4	150.85	151.35	151.35	148.65	151.35	154.35	157.80	160.85	163.35	164.35	166.15	167.35	172.35	174.35
5	150.75	151.45	151.45	148.68	151.35	153.35	157.85	160.35	161.35	163.35	165.52	165.85	167.35	169.35
6	150.65	151.65	151.65	148.71	151.85	152.35	155.35	155.35	155.35	155.35	160.35	161.35	161.35	162.35
7	150.55	151.65	151.65	148.75	150.85	151.15	152.35	152.35	152.35	153.35	159.86	166.35	166.35	166.35
8	151.35	151.85	151.85	151.85	150.85	151.15	152.35	152.35	152.35	152.35	154.85	166.35	173.35	169.35
9	150.85	151.85	151.85	151.85	151.85	151.15	152.35	152.35	152.35	152.35	154.35	155.35	170.35	167.35
10	150.85	151.85	152.35	155.35	155.35	154.35	151.15	151.15	151.15	151.15	156.35	154.35	155.35	166.35
11	155.35	155.35	155.35	155.35	155.35	155.35	154.60	154.35	153.35	151.15	153.40	154.30	155.35	163.35
12	157.35	157.35	157.35	157.35	158.35	159.35	158.35	157.35	155.35	151.15	153.35	153.35	154.35	160.35
13	159.35	159.35	159.35	158.35	160.35	164.35	162.35	160.35	153.26	152.48	153.35	153.35	153.11	160.35
14	160.35	160.35	160.35	160.35	161.35	162.35	162.35	162.35	151.70	153.00	154.35	153.00	154.85	160.35
15	161.35	162.35	162.35	162.35	162.35	162.35	162.35	162.35	154.85	154.35	154.35	154.35	154.85	160.35
16	162.35	163.35	163.35	163.35	163.35	163.35	163.35	165.35	154.85	155.00	155.61	154.18	154.85	160.35

UKAq	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	146.50	146.00	146.00	147.58	151.58	153.58	158.58	158.58	164.58	166.58	167.58	170.58	173.58	177.58
2	147.00	147.00	147.00	146.58	149.58	153.58	156.24	159.08	163.58	164.58	165.58	168.58	172.58	177.58
3	148.00	148.00	147.70	146.73	149.58	153.58	156.14	159.58	162.58	163.58	164.58	167.58	171.58	175.58
4	148.50	148.40	148.00	146.88	149.58	152.58	156.04	159.08	161.58	162.58	164.38	165.58	170.58	172.58
5	148.98	149.00	148.50	146.91	149.58	151.58	156.08	158.58	159.58	161.58	163.62	164.08	165.58	167.58
6	148.88	149.88	149.00	146.94	150.08	150.58	153.58	153.58	153.58	153.58	158.58	159.58	159.58	160.58
7	148.78	149.88	149.88	146.98	149.08	149.38	150.58	150.58	150.58	151.58	157.86	164.58	164.58	164.58
8	149.58	150.08	150.08	150.08	149.08	149.38	150.58	150.58	150.58	150.58	153.08	164.58	171.58	167.58
9	149.08	150.08	150.08	150.08	150.08	149.38	150.58	150.58	150.58	150.58	152.58	153.58	168.58	165.58
10	149.08	150.08	150.58	153.58	153.58	152.58	149.38	149.38	149.38	149.38	154.58	152.58	153.58	164.58
11	153.58	153.58	153.58	153.58	153.58	153.58	149.60	149.60	149.60	149.38	150.60	151.50	153.58	161.58
12	155.58	155.58	155.58	155.58	156.58	157.58	156.58	155.58	153.58	149.38	151.58	151.58	152.58	158.58
13	157.58	157.58	157.58	156.58	158.58	162.58	160.58	158.58	151.31	150.88	151.58	151.58	151.35	158.58
14	158.58	158.58	158.58	158.58	159.58	160.58	160.58	160.58	149.94	152.00	152.58	152.00	153.08	158.58
15	159.58	160.58	160.58	160.58	160.58	160.58	160.58	160.58	153.08	152.58	152.58	152.58	153.08	158.58
16	160.58	161.58	161.58	161.58	161.58	161.58	161.58	163.58	153.08	153.24	153.11	153.38	153.08	158.58

kf	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	0.001	0.01	0.01	0.01	0.01	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
2	0.001	0.01	0.01	0.010	0.010	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
3	0.001	0.001	0.01	0.010	0.010	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
4	0.001	0.001	0.01	0.010	0.010	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
5	0.001	0.001	0.01	0.010	0.010	0.001	0.00001	0.001	0.001	0.001	0.020	0.001	0.001	0.001
6	0.001	0.001	0.01	0.010	0.010	0.010	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
7	0.001	0.001	0.01	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.040	0.001	0.001	0.001
8	0.001	0.001	0.01	0.01	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.001	0.001
9	0.001	0.001	0.01	0.01	0.01	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.001
10	0.001	0.001	0.01	0.01	0.01	0.01	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.001
11	0.001	0.001	0.001	0.01	0.01	0.01	0.030	0.030	0.030	0.010	0.020	0.020	0.010	0.001
12	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.030	0.010	0.010	0.010	0.010	0.001
13	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.040	0.001	0.010	0.010	0.010	0.001
14	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.010	0.010	0.010	0.016	0.001	0.001
15	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.001
16	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.040	0.001	0.001	0.001