



Untersuchung der Deckschichten- verhältnisse auf dem ehemaligen Fränkischen Wunderland in Plech

Auftraggeber: **Karls Tourismus GmbH
Purkshof 2
18182 Rövershagen**

Auftragnehmer: GeoTeam Gesellschaft für umweltgerechte
Land- und Wasserwirtschaft mbH
Wilhelmsplatz 7

Bayreuth, 13.02.2025

95444 Bayreuth
R. Wesinger
Geschäftsführung

P. Schultheiß
Dipl. Geologe

Inhaltsverzeichnis

1	Veranlassung	4
2	Durchgeführte Arbeiten.....	5
2.1	Vorbereitende Arbeiten	5
2.2	Rammkernbohrungen	5
2.3	Geoelektrische Messungen.....	6
3	Geologie und Hydrogeologie	6
4	Ergebnisse der Untersuchungen.....	8
4.1	Geologie in den Bohrungen	8
4.2	Aufbau der Schichten in den Geoelektrischen Profilen	9
4.3	Grundwasser.....	10
5	Beurteilung	11
5.1	Gesamtschutzfunktion der Grundwasserüberdeckung	11
5.2	Oberirdische Entwässerung	14
6	Schlussfolgerung.....	14
7	Literatur- und Quellenangaben.....	16

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Lage der Kleinbohrungen	6
Tabelle 2	Geologie in den Kleinbohrungen	8
Tabelle 3	Mittlere Punktzahlen G _L in den Bohrprofilen.....	12
Tabelle 4	Beurteilung der Gesamtschutzfunktion der Grundwasserüberdeckung	13

Anlagenverzeichnis

Anlage 1	Übersichtslageplan	M 1:15.000
Anlage 2	Geologische Karte	M 1:15.000
Anlage 3	Detallageplan	M 1: 4.000
Anlage 4	Isopachenplan Deckschichten	M 1:2.500
Anlage 5	Fläche im Untersuchungsgebiet mit mindest. mittl. Gesamtschutzfunktion	
Anlage 6	Schichtenverzeichnisse Kleinbohrungen	
Anlage 7	Fotodokumentation Bohrkerne	
Anlage 8	Gutachten Geophysikalische Prospektion GEO.BÜRO DR. TARASCONI	
Anlage 9	Ermittlung Schutzfunktion der Deckschichten nach HÖLTING	

1 **Veranlassung**

Die KARLS TOURISTIK GMBH plan zusammen mit der GEMEINDE PLECH die touristische Nachnutzung des ehemaligen Freizeitparks „Fränkisches Wunderland“. In den letzten Jahren wurde das Gelände nicht genutzt. Die ehemalige Bebauung ist noch vorhanden. Der Marktgemeinderat hat am 07.03.2022 beschlossen, den Bebauungsplan zu ändern und einen qualifizierten Bebauungsplan aufzustellen.

Bis an die Staatsstraße 2163 zwischen BAB A9-Anschlussstelle Plech und dem Ortseingang von Plech reicht das Wasserschutzgebiet der Trinkwassergewinnung Ranna der N-Ergie AG. Das Gemeindegebiet westlich der Staatsstraße liegt aber auch im Einzugsgebiet dieser Trinkwassergewinnung.

Der für die Trinkwassergewinnung genutzte Grundwasserleiter sind die verkarsteten Kalk- und Dolomitgesteine des Malms. Der Grundwasserleiter ist durch seine Karsthohlräume sehr empfindlich gegenüber Verunreinigungen. Dementsprechend sind die jüngeren Ablagerungen in Form von Deckschichten über dem Karstgrundwasserleiter für die Reinigungswirkung versickernden Oberflächenwassers bedeutsam.

Aufgrund der historisch geologischen Entwicklung der vorliegenden Landschaft ist die Grenzfläche zwischen dem Grundwasserleiter und den darüber liegenden jüngeren Ablagerungen und Schichten nicht gleichmäßig. Bekannt sind steil aufragende Kalk- oder Dolomitstotzen, die als typisches Merkmal der Frankenalb gelten und ursächlich für die Namensgebung „Fränkische Schweiz“ waren. Bekannt sind diese vor allem in den tief ausgeräumten Flusstälern. Auf den Hochflächen kommen diese allerdings auch vor, bleiben dann aber oft unter den jüngeren Sedimenten versteckt. Solche Malmstotzen können hydraulische Kurzschlüsse zwischen Oberfläche und Grundwasser darstellen. Da hier Einträge mit dem Sickerwasser über Spalten, Klüfte und Karsthohlräume sehr schnell und ohne Filterwirkung der Deckschichten in das Grundwasser gelangen können. Daher sollte das Zielgebiet auf solche „Anomalien“ in der Grenzfläche zwischen Malm und Kreide untersucht werden.

Mit Schreiben vom 24.04.2024 wurde die GEOTEAM GmbH mit der Durchführung der Arbeiten beauftragt.

Dem vorliegenden Gutachten liegen des weiteren Aufträge des Auftraggebers an die Firmen

- ABB - AQUA BOHR- UND BRUNNENBAU GMBH für die Bohrarbeiten,
- GEO. BÜRO DR. TARASCONI für die Geoelektrischen Messungen und
- SÜDDEUTSCHE KAMPFMITTERÄUMUNG vor.

Das vorliegende Gutachten fasst die Untersuchungsergebnisse zusammen und bewertet sie hinsichtlich der Deckschichtenfunktionen auf der Untersuchungsfläche.

2 Durchgeführte Arbeiten

2.1 Vorbereitende Arbeiten

Die erste Besichtigung für die geplanten Untersuchungen auf dem Untersuchungsgebiet fand am 15.02.2024 statt. Dabei wurde ein Konzept für die vorgesehenen Arbeiten vor Ort erstellt. Am 01.03.2024 wurde das Wasserwirtschaftsamt über den geplanten Umfang der Arbeiten informiert, ohne genaue Positionsangaben der Profile und Bohrungen.

Die Bohranzeige für die Kleinbohrungen wurde am 14.08.2024 an das LANDRATSAMT BAYREUTH gestellt. Mit Datum vom 06.09.2024 wurde diese mit Auflagen erteilt.

Am 26.09.2024 fand die Begehung mit der Bohrfirma ABB statt. Auf deren Wunsch fand dann am 07.11.2024 die Kampfmittelfreigabe für die einzelnen Bohrpunkte statt.

2.2 Rammkernbohrungen

Zur Kartierung der Deckschichten wurden im Untersuchungsgebiet drei Kleinbohrungen durchgeführt und die erbohrten Schichten geologisch aufgenommen.

Die Bohrfirma ABB führte die Kleinbohrarbeiten zwischen dem 07.11. und dem 12.11.2024 durch. Die Arbeiten fanden im Trockenbohrverfahren mit einer Rammkernbohranlage auf Raupenlafette statt. Der Bohrkern wurde in 1-Meter-Kisten ausgelegt und durch den unterzeichnenden Geologen aufgenommen und dokumentiert.

Zu den Positionen der Kleinbohrungen siehe Detaillageplan Anlage 3 und Schichtenverzeichnisse in Anlage 6 sowie folgende Tabelle.

Tabelle 1 Lage der Kleinbohrungen

Nummer		KB-2024-01	KB-2024-02	KB-2024-03
Rechtswert		677835,8	677727	677880,0
Hochwert		5503 504	5503 515	5503 653
Höhe GOK	m ü. NN	458,01	462,42	452,17

2.3 Geoelektrische Messungen

Die geoelektrischen Messungen wurden zwischen Oktober und November 2024 durchgeführt. In der Anlage 8 liegt der Abschlussbericht der geophysikalischen Prospektion bei.

3 Geologie und Hydrogeologie

Das Untersuchungsgebiet liegt auf der Nördlichen Frankenalb. Der Untergrund baut sich aus Gesteinen und Lockersedimenten des Jura, der Kreide und des Känozoikums auf. Wichtigstes Strukturelement ist die von NW nach SE verlaufende Veldensteiner Mulde. Plech liegt auf der SW Flanke der Mulde.

Der Grundwasserleiter sind die verkarsteten, jurassischen Kalk- und Dolomitgesteine (Karbonat). Die Verkarstung ist primär das Ergebnis von Kalk- und Dolomitlösung durch in das Gestein eindringendes Sickerwasser. Die Verkarstung begann schon in der Kreidezeit (ab 145 Mio. Jahren) und dauert noch heute an. Die Fränkische Alb ist sichtbar geprägt von den Erscheinungen des Oberflächenkarsts, vor allem Dolinen, Ponore und Trockentäler. Das Untersuchungsgebiet liegt im tiefen Karst, d. h., dass die Basis des Vorfluters – der *Pegnitz* – über der Basis des Karstgrundwassers liegt. Das unterirdische Karstwasser wird gespeist aus dem einsickernden Niederschlagswasser auf dem unbedeckten sowie bedeckten Kalk- und Dolomitgesteinen, dem Bodenwasser, dem einfließenden Wasser oberirdischer Gerinne und aus dem Kondenswasser.

Drei Faktoren bedingen die Durchlässigkeit der Karbonatgesteine für Wasser, die Porosität, die Klüftung und die Schichtfugen. Davon sind die Klüfte für die Karstmorphologie wie für die Karsthydrographie von besonderer Bedeutung. Sie beeinflussen nicht nur das Bild der Oberfläche, sondern auch die unterirdischen Wasserwege, die unter

vadosen Bedingungen, also oberhalb des ständig mit Grundwasser gefüllten Gebirges, nur auf Klüften angelegt werden können, sofern diese sich durch Kalklösung zu Spalten erweitert haben. Die Infiltration (Versickerung) geht im System der Spalten und Hohlräume derart schnell vonstatten, dass die potentiell vorhandene Filterfunktion des Kalk- und Dolomitgesteins nicht wirken kann. Durch Markierungsversuche mit Farbstoffen (Tracern) sind mancherorts Geschwindigkeiten des Grundwassers von > 1.000 m/d bekannt.

Die in Trinkwassereinzugsgebieten erforderliche Reinigungs- und Rückhaltewirkung gegenüber Schadstoffen kommt in Karstgebieten demnach fast ausschließlich den unverfestigten oder stellenweise schwach verfestigten Kreidesedimenten, jüngerenumlagerungen (Alblehme) sowie Bodenentwicklungen aus diesen Ausgangssubstraten zu. Große Teile der Albhochfläche werden von der lehmig-tonigen Albüberdeckung eingenommen. Unter dem Einfluss tropischen Klimas im Tertiär (vor 64 – 2,5 Millionen Jahre) wurden Malmkalke und –mergel verwittert. In den Kaltzeiten des darauffolgenden Quartärs wurden die Lehmböden durch periglaziale Solifluktion (Bodenfließen) umgelagert und füllen heute – teils mit beträchtlichen Mächtigkeiten – die Senken zwischen den Dolomit- und Massenkalkkuppen.

Zwischen Albüberdeckung und Malmkarst und stellenweise noch heute bis an die Oberfläche reichend, liegen häufig wenig bis nicht verfestigte Sedimente der Oberen Kreide. Diese Kreidesedimente bestehen aus Tonen, Schluffen, Sanden, Kiesen und stellenweise auch Erzen die vor über 64 Millionen Jahren auf dem verkarsteten Festland der Frankenalb abgelagert wurden. Auf dem unregelmäßigen, verkarsteten Untergrund wurden im Laufe der Zeit große Teile wieder erodiert und abtransportiert. Besonders weit verbreitet ist die Kreidebedeckung noch im *Veldensteiner Forst*.

Da die Verkarstung des Malms schon vor der Überlagerung der kretazischen Sedimente eingesetzt hatte, ist die Mächtigkeit der Kreidereste ebenso wie die der lehmig-tonigen Albüberdeckung starken Schwankungen unterworfen. Stellenweise können diese Deckschichten innerhalb kurzer Distanz von über 100 m auf wenige Meter zurückgehen.

Der verkarstete Grundwasserleiter beinhaltet in seiner Gänze eines der großen Grundwasservorkommen Nordbayerns, die sogenannte Veldensteiner Mulde, in der auch das Untersuchungsgebiet liegt. Verursacht wird die Bedeutung durch die beschriebene Aushöhlung des Untergrunds (Verkarstung) und die Muldenstruktur des unterirdischen Gebirges, wodurch der Abfluss des Grundwassers lateral stark reduziert ist. Unterhalb des Untersuchungsgebietes liegt die mittlere Grundwasserspiegelhöhe bei ca. 425 mNN. Die Fließrichtung ist nach Osten auf die *Pegnitz* hin ausgerichtet.

Die Geländeoberfläche des Untersuchungsgebietes liegt in den flacheren Bereichen zwischen 450 und 470 mNN. Daraus ergibt sich ein mittlerer Flurabstand zur mittleren Grundwasseroberfläche von 25 – 45 m.

4 Ergebnisse der Untersuchungen

4.1 Geologie in den Bohrungen

Die Bohrung KB-2024-01 im östlichen Zentrum der Untersuchungsfläche liegt nach der Amtlichen Geologischen Karte (GK25) im Grenzbereich zwischen pleistozänen Schichten aus Lehm (Quartär), die weite Flächen um die aufragenden felsigen Höhen rund um das Untersuchungsgebiet überdecken, und an der Oberfläche anstehenden Kreideablagerungen. Die obersten 0,50 m bestanden aus einer schluffigen und tonigen, sehr schwach humosen Lehmschicht. Diese sind der quartären Albüberdeckung zuzuordnen. Darunter folgten bis zur Endteufe von 12,0 m u. GOK sandige Kreidesedimente. Kalk- und Dolomitgesteine wurden nicht angetroffen. (Vgl. Lageplan in Anlage 3, Schichtenverzeichnis in Anlage 6 und Kurzzusammenfassung in Tabelle 2)

Tabelle 2 Geologie in den Kleinbohrungen

Rammkernsondierung	Gesamttiefe	Oberboden + Alblehmüberdeckung (Schluff)	Kreidesedimente (Sand)	Kalk- und Dolomitgestein (verwittertes Festgestein)	Basis der Deckschichten erreicht?
	m	m u. GOK			
KB 2024-01	12,00	0 - 0,50	0,50 - 12,0	-	Nein
KB-2024-02	10,00	0 – 1,0	1,0 – 10,0	-	Nein
KB-2024-03	8,60	0 – 3,60	3,60 – 8,30	8,30 – 8,60	ja

Die Bohrung KB-2024-02 im westlichen Zentrum der Untersuchungsfläche liegt nach der Amtlichen Geologischen Karte (GK25) im Grenzbereich zwischen Kreideüberdeckung und an der Oberfläche anstehendem Kalk- und Dolomitmfels, der sich nur wenige Meter westlich des Bohrpunktes als massiver Malmstotzen über das umliegende Gelände erhebt. Die Bohrung durchteufte eine 1,0 m mächtige Tonschicht die der Alb-

überdeckung zugeordnet wird. Darunter folgten sandige und schluffige Kreidesedimente bis zur Endteufe von 10,0 m. (Vgl. Lageplan in Anlage 3 , Schichtenverzeichnis in Anlage 6 und Kurzzusammenfassung in Tabelle 2)

Die Bohrung KB-2024-03 im Norden der Untersuchungsfläche liegt nach der GK25 auf Sedimenten der Albüberdeckung. Diese bestehen nach dem Bohrgut aus Schluffen und Tone in einer Gesamtmächtigkeit von 3,60 m. Darunter folgen feinsandige Kreidesedimente. Bei 8,55 m stieß die Bohrung auf den Verwitterungshorizont der Kalk- und Dolomitgesteinen. (Vgl. Lageplan in Anlage 3 , Schichtenverzeichnis in Anlage 6 und Kurzzusammenfassung in Tabelle 2)

4.2 Aufbau der Schichten in den Geoelektrischen Profilen

Aus dem Gutachten zu den geoelektrischen Profilen in Anlage 8 geht hervor, dass alle zu erwartenden geologischen Formationen gemessen wurden:

- tiefgründige, geringohmige, kreidezeitliche und quartäre Deckschichten,
- flachgründige kreidezeitliche und quartäre Deckschichten,
- hochohmiger Malmkarst (Dolomit- und Kalkfelsen), die Deckschichten unterlagernd und
- Relikte hochohmigen Malms innerhalb der Deckschichten.

Das sich darstellende Bild aus den Kleinbohrungen und den geoelektrischen Untersuchungen ist ein lebhaftes Relief des Karstgebirges im Untersuchungsgebiet mit wechselnden Tiefenlagen zwischen über 60 m Tiefe und bis an der Oberfläche sichtbaren anstehenden Dolomitfelsen. Dass an der Oberfläche anstehende Gebirge bildet die Rahmenhöhen des Untersuchungsgebietes im Süden und im Osten. Im Süden, am Waldrand, liegen die Felsen des Malmkarsts offen und bilden z.T. steile Wände. Im Osten, entlang des Parkplatzes und beiderseits der Zufahrtsstraße von Schönthal an der Staatsstraße 2163 und dem Parkplatz steigt der Wald steil an und bedeckt die unmittelbar bis unter den Waldböden anstehenden Felsen.

Innerhalb des Untersuchungsgebiets, auf der Flur-Nr. 1541, gibt es eine Felsformation die einige Meter aus dem Gelände aufragt und mit einer Holzkirche gekrönt ist. Östlich davon, in ca. 10 m Entfernung, wurde die Kleinbohrung KB-2024-02 abgeteuft, die bis 12 m Tiefe ausschließlich Kreideschichten aufschloss; dort also die Malmkarstoberfläche tiefer als 12 m liegt. Im Westen, in ca. 30 m Entfernung verlief das geoelektrische Profil KARL 6, das über 20 m mächtige Deckschichten aus Kreide- und Quartärsedimenten, sowie daneben auch Malmschutt direkt unter dem Bodenhorizont aber über darunterliegende, mindestens 30 m Kreidesedimenten gemessen hat. Dort bestehen

die Deckschichten also nicht nur aus Kreidesedimenten, sondern auch aus Dolomit- und Kalkschutt. Hier ist trotz der hohen Deckschichtenmächtigkeit von einer wasser-durchlässigen Verbindung auszugehen.

Auf dem Flurstück 1615 und 1617, im Norden des Untersuchungsgebietes, hat die Geoelektrik „Weißjuraschutt“ identifiziert. Das sind Verwitterungsrelikte des älteren Malmgebirges, das während der Kreidezeit innerhalb deren Sedimente mit eingelagert wurde.

Im Nordosten der Flurnummer 1613 ragt der Malmkarst bis 6 m unter den Deckschichten auf. Das korreliert gut mit der Bohrung KB-2024-03 die dort auch bei 8,30 m schon auf die Verwitterungsschicht des Karsts getroffen ist.

4.3 Darstellung der Deckschichtenmächtigkeiten

Der Isopachenplan der Deckschichtenmächtigkeiten in Anlage 4 stellt die Mächtigkeiten in Bezug zur Geländehöhe dar. Für die weitere Nutzung des Geländes sind nur die relativen Tiefen von Bedeutung. Der Isopachenplan wurde anhand der Messwerte aus den geoelektrischen Messungen und den Bohrungen erstellt. Dabei wurden mittels Q-GIS die interpretierten Tiefenlagen aus den Tabellen 2 – 9 in Anlage 8 in eine shape-Datei eingetragen und es wurde berücksichtigt, dass in manchen Profilen und in zwei Bohrungen die Basis nicht erreicht wurde. Auch wurden zusätzliche Punkte mit der Tiefe „0“ eingefügt, wo keine Deckschichten vorhanden sind.

Die Werte in der shape-Datei wurde mittels der radialen Basisfunktion „thin plate spline“ von GRASS in Q-GIS einer Interpolation von einer nicht allzu großen Datenmenge unterzogen. Das Ergebnis sind glatte Interpolanten. Diese wurden anschließend noch händisch und mit geologischem Sachverstand nachbearbeitet. Das Ergebnis sind die Mächtigkeiten der Deckschichten, die vorliegendem Kenntnisstand die Realitäten bestens wiedergeben.

4.4 Grundwasser

In keiner der drei Bohrungen wurde Grundwasser erreicht. Aus den geoelektrischen Profilen ließ sich kein durchgehender Grundwasserspiegel ableiten (vgl. Anlage 8).

5 Beurteilung

5.1 Gesamtschutzfunktion der Grundwasserüberdeckung

Aufgrund der in verschiedenen Markierungsversuchen in der Veldensteiner Mulde nachgewiesenen hohen Abstandsgeschwindigkeiten im Karstgrundwasserleiter ist die Reinigungswirkung der Deckschichten für die hydrogeologische Beurteilung der Standorteignung maßgeblich. Anhand der Bohrprofile wurde die Ermittlung der Gesamtschutzfunktion der Grundwasserüberdeckung nach HÖLTING u.a. (1995) vorgenommen. Diese Methode erlaubt eine getrennte Einstufung des Bodens und der ungesättigten Zone. Der rein mechanische Ansatz berücksichtigt allerdings nicht die besondere Bedeutung der obersten Bodenschicht, in der die mikrobiologische Reinigungswirkung aufgrund des aktiven Bodenlebens und des höheren Gehalts an organischer Substanz ihr Maximum erreicht.

In zwei der drei Kleinbohrungen wurde der Grundwasserleiter, der Malmkarst, nicht erreicht. Nur in der Bohrung KB-2024-03 war der felsige Untergrund bei 8,55 m u. GOK erreicht worden.

Die Schichtenaufnahmen der Bohrungen wie sie in der Anlage 6 beigelegt sind, bildet die Grundlage der Bewertung. Ausgegangen wird von einem mittlerem Grundwasserflurabstand von 53 m im Untersuchungsgebiet. Das ist das Maximum des in Kapitel 3 genannten rechnerischen Bandbreite bezogen auf die mittlere Grundwasseroberfläche. Da es bei den geoelektrischen Untersuchungen keinen Hinweis auf einen geschlossenen Grundwasserkörper gab, erscheint dieser Ansatz akzeptabel. Für den 1 m-Bodenhorizont werden die ungünstigeren Verhältnisse aus der Bohrung KB-2024-01 herangezogen.

Bei der Methode nach Hölting u.a. (1995) können anhand eines Punktebewertungssystems die unterschiedlichen Standorteinheiten verglichen werden. Folgende Kenngrößen fließen in die Berechnung ein:

1. **Nutzbare Feldkapazität im effektiven Wurzelraum des Bodens** (Punktzahl B): Entsprechend dem Bohrprofil KB-2024-01 mit 0,50 m Schluff und Ton (Feldkapazität > 520 mm/1m) und 0,50 m Grobsand (Feldkapazität < 130 mm/1m) ergibt sich die mittlere Punktzahlen von **B = 320**.
2. **Sickerwassermenge** (Faktor W): Aus der Karte Mittlere jährliche Grundwasserneubildung in Bayern 1981 – 2010 (LfU, 2018) ist eine Grundwasserneubildung von 400 – 600 mm/a bzw. 12,6 – 19,0 l/s km² für das Untersuchungsgebiet zu entnehmen. Dieser geht al Faktor **W = 0,75** in die Berechnung ein.
3. **Gesteinsart der ungesättigten Zone** (Punktzahl G_L bzw. G_F): In erster Linie sind

die Kreideschichten im Untersuchungsgebiet Lockergesteine. Deren Punktzahlen bewegen sich zwischen 75 (Sand, schwach tonig) und 270 (Schluff+Ton). Der Mittelwert aus allen drei Schichtprofilen ist 154 (vgl. Folgende Tabelle).

Tabelle 3 *Mittlere Punktzahlen G_L in den Bohrprofilen*

		KB-2024-01	KB-2024-02	KB-2024-03
Gesteinsbezeichnung nach DIN 4022, Teil 1, ergänzt		11 m Sand, tonig	4,0 m Schluff + Ton	1,60 m Schluff + Ton
Punktzahl G_L pro m Schichtmächtigkeit		140	270	270
Gesteinsbezeichnung nach DIN 4022, Teil 1, ergänzt		-	5,0 m Sand, tonig	4,70 m Sand, schluffig
Punktzahl G_L pro m Schichtmächtigkeit		-	140	75
Gemittelte Punktzahl G_L pro m		140	198	125

4. **Mächtigkeit der ungesättigten Zone** (Faktor M_L bzw. M_F): Hier wird die Tiefenlage an den geoelektrischen Profilen für die Deckschichten angesetzt.
5. **Hängendes Grundwasserstockwerk** mit Quellen (Zuschlag Q): Da im Untersuchungsgebiet selber keine Quellen austreten, erfolgt kein Zuschlag.
6. **Artesische Druckverhältnisse** (Zuschlag D): Da im Untersuchungsgebiet freie Grundwasserverhältnisse herrschen, erfolgt kein Zuschlag.

Der Rechenweg zur Ermittlung der Gesamtpunktzahl ist in Anlage 9 dargestellt. Diese wurden für Mächtigkeiten analog der für die Mächtigkeitsdarstellung der Deckschichten in Anlage 4 gewählten 10 m, 20 m, 30 m etc. ermittelt. Zusätzlich wurde jeweils auch Berechnung durchgeführt, die eine Eingriffstiefe von 3,0 m berücksichtigte.

In Tabelle 4 sind die sich aus den Gesamtpunktzahlen ergebenden Verweilzeiten des Sickerwassers in der ungesättigten Zone zusammengestellt.

Deckschichten- mächtigkeit	Gesamtpunktzahl nach HÖLTING		Verweilzeit des Sickerwassers	
	unter Gelände	unter Kellersohle bei 3 m u. GOK	unter Gelände	unter Kellersohle bei 3 m u. GOK
7,50 m u. GOK	991	-	mehrere Monate bis ca. 3 Jahre	-
10 m u. GOK	1.280	809	3 – 10 Jahre	mehrere Monate bis ca. 3 Jahre
20 m u. GOK	2.435	1.964	10 – 25 Jahre	3 – 10 Jahre
30 m u. GOK	3.590	3.119	10 – 25 Jahre	10 – 25 Jahre
40 m u. GOK	4.745	4.274	> 25 Jahre	> 25 Jahre

Vor allem an den Randbereichen des Untersuchungsgebietes im Süden und im Osten tritt der Karstgrundwasserleiter bis an die Oberfläche und zeichnet sich durch sehr markante Steilanstiege im Gelände ab. Dort sind keine Deckschichten vorhanden. In diesen Bereichen ist die Gesamtschutzfunktion sehr gering. In einem Bereich, innerhalb der bestehenden Westernstadt, steht der Fels auch bis über Geländeniveau an. Das liegt westlich der KB-2024-02 und ist höchst wahrscheinlich ein Teil des im geoelektrischen Profil KARL 6 erkennbaren verstützten Dolomitblocks („Weißjuraschutt“).

Im geoelektrischen Profil KARL 1 wurden innerhalb der günstigen Deckschichten auch Malmschutt identifiziert. Jeder vertikale Meter innerhalb der Deckschichten aus Malmschutt reduziert die Bewertung der Deckschichtenfunktion deutlich. Wie der Berechnung in Anlage 9 zu entnehmen ist, werden für 10 m Deckschichten im günstigen Falle

eine Punktzahl S2 von 1.386 erreicht. Für Malm dolomit als Deckschicht ist ein verkarsungsfähiges Festgestein anzusetzen und mit einem Strukturfaktor für unbekannte Verhältnisse zu multiplizieren. Daraus ergibt sich für die identische Profilmächtigkeit eine Punktzahl S2 von 225. Mit dem obersten Profilmeter zusammen wird somit nur eine sehr geringe Gesamtschutzfunktion erreicht.

Es wird deutlich, dass die Gesamtschutzfunktion umso höher ist, je mächtiger die Deckschichten aus Kreidesedimenten und Albüberdeckung sind, und je weniger in den Boden eingegriffen wird.

5.2 Oberirdische Entwässerung

Neben der Schutzfunktion der Deckschichten ist in Karstgebieten insbesondere die Art der oberirdischen Entwässerung bei der Gefährdungsabschätzung zu berücksichtigen. Das Untersuchungsgebiet ist Teil einer Karstlandschaft ohne Vorfluter. Es gibt hier auch keine Gerinne, die temporär Wasser führen. Alle Straßen haben keine Straßenbegleitgräben.

Karstgebiete kennzeichnen u. a. Dolinen und Ponore. Insbesondere nach Starkregenereignissen oder während der Schneeschmelze erfolgt die Grundwasserneubildung in Karstgebieten teilweise über Dolinen und Ponore, vor allem wenn diese in der Tiefenlinie eines Trockentals liegen. Auf der Untersuchungsfläche sind keine Dolinen oder Ponore bekannt.

6 Schlussfolgerung

Die Kleinbohrungen und geoelektrischen Untersuchungen gaben keine Hinweise auf die Tiefenlage der Grundwasseroberfläche im Malmkarst. Deshalb wird bei der Betrachtung von mindestens 25 m Flurabstand ausgegangen (vgl. Kapitel 3).

In weiten Bereichen des Untersuchungsgebietes liegen Schichten aus Quartär- und Kreidesedimenten über dem Grundwasserleiter, bzw. reichen nach der zuvor erst aufgestellten Behauptung bis in das Grundwasser hinein. Die Messergebnisse der Geoelektrik benennen Mächtigkeiten der Deckschichten zwischen 6 und > 60 m.

Die Bewertung der Deckschichten wurde anhand der Bohrprofile erstellt und in die Tiefe interpoliert sowie über das gesamte Untersuchungsgebiet gemittelt. Die Bewertung der Gesamtschutzfunktion der Deckschichten lässt Rückschlüsse auf die Verweilzeiten des Sickerwassers zu, bis es auf das Grundwasser trifft.

Aus der Beurteilung der Gesamtschutzfunktion der Deckschichten (vgl. Kapitel 5.1) geht hervor, dass ab einer Deckschichtenmächtigkeit von 10 m, bestehend aus Kreide- und Quartärsedimenten, eine mittlere Gesamtschutzfunktion vorliegt (Verweildauer Sickerwasser 3 – 10 Jahre). Mit zunehmender Deckschichtenmächtigkeit (20 – 30 m) ist die Gesamtschutzfunktion hoch (10 – 25 Jahre).

In der Anlage 5 ist der Bereich mit mindestens 10 m Deckschichtenmächtigkeit eingezeichnet, unter dem eine mittlere Gesamtschutzfunktion der Deckschichten gewährleistet ist.

Wenig geeignet für Bebauungen und den Umgang und die Lagerung wassergefährdender Stoffe, sind Flächen mit einer Deckschichtenmächtigkeit < 10 m und selbstverständlich Flächen ohne nennenswerte Deckschichtenvorkommen. Dies betrifft vor allem randliche Bereiche sowie zwei Bereiche innerhalb 10 m-Isopache. Dort ragen Felsnadeln aus dem Malmgebirge hoch bis in die Deckschichten hinein, bzw. treten zusammen mit Malmschutt innerhalb der Deckschichten auf.

Zusätzlich gibt es noch einen Bereich im Norden jenseits der Straße, östlich der Regenrückhaltebecken an der BAB A9, die zwar insgesamt mächtige Deckschichten aufweisen, aber innerhalb derer Dolomitschutt bzw. Dolomitblöcke liegen und damit die Deckschichtenfunktion erheblich reduzieren (Teilflächen der Flur-Nr. 1615 + 1617). Aufgrund ihrer Lage nur wenige Meter unter der Geländeoberfläche bis nahe an die mutmaßliche Grundwasseroberfläche ist dieser Bereich nicht geeignet für bauliche Maßnahmen oder den Umgang mit wassergefährdenden Stoffen.

In den Anlagen werden die Kreideschichten der Einfachheit halber mit Deckschichten bezeichnet, obwohl per Definition Deckschichten nur über dem Grundwasser auftreten. Die tieferen Kreideschichten, die unter der Grundwasseroberfläche liegen, sind in diesem Sinne eigentlich keine Deckschichten. Dies spielt für die Bewertung allerdings keine Rolle, weil alle identifizierten Bereiche mit mindestens mittlerer Gesamtschutzfunktion über der mittleren Grundwasseroberfläche liegen (vgl. auch ersten Absatz in diesem Kapitel).

Wir empfehlen, das Gutachten als Diskussionsgrundlage und für die weitere Planung den zuständigen Behörden sowie dem Wasserversorger N-Ergie AG vorzulegen.

7 Literatur- und Quellenangaben

GOETZE, F., MEYER, R.K.F. UND TREIBS, W. (1975): Geol. Kt. v. Bayern 1 : 25.000 Nr. 6334 Betzenstein, Erl. – 147 S.

HÖLTING B. (1996): Hydrogeologie. – Berlin, Heidelberg.

HÖLTING, B., T. HÄRTLE, K.H. HOHENBERGER, K.H. NACHTIGALL, E. VILLINGER, W. WEINZIERL, J.P. WROBEL (1995): Konzept zur Ermittlung der Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung. Geol. Jb., C 63, 5 – 24, Hannover.

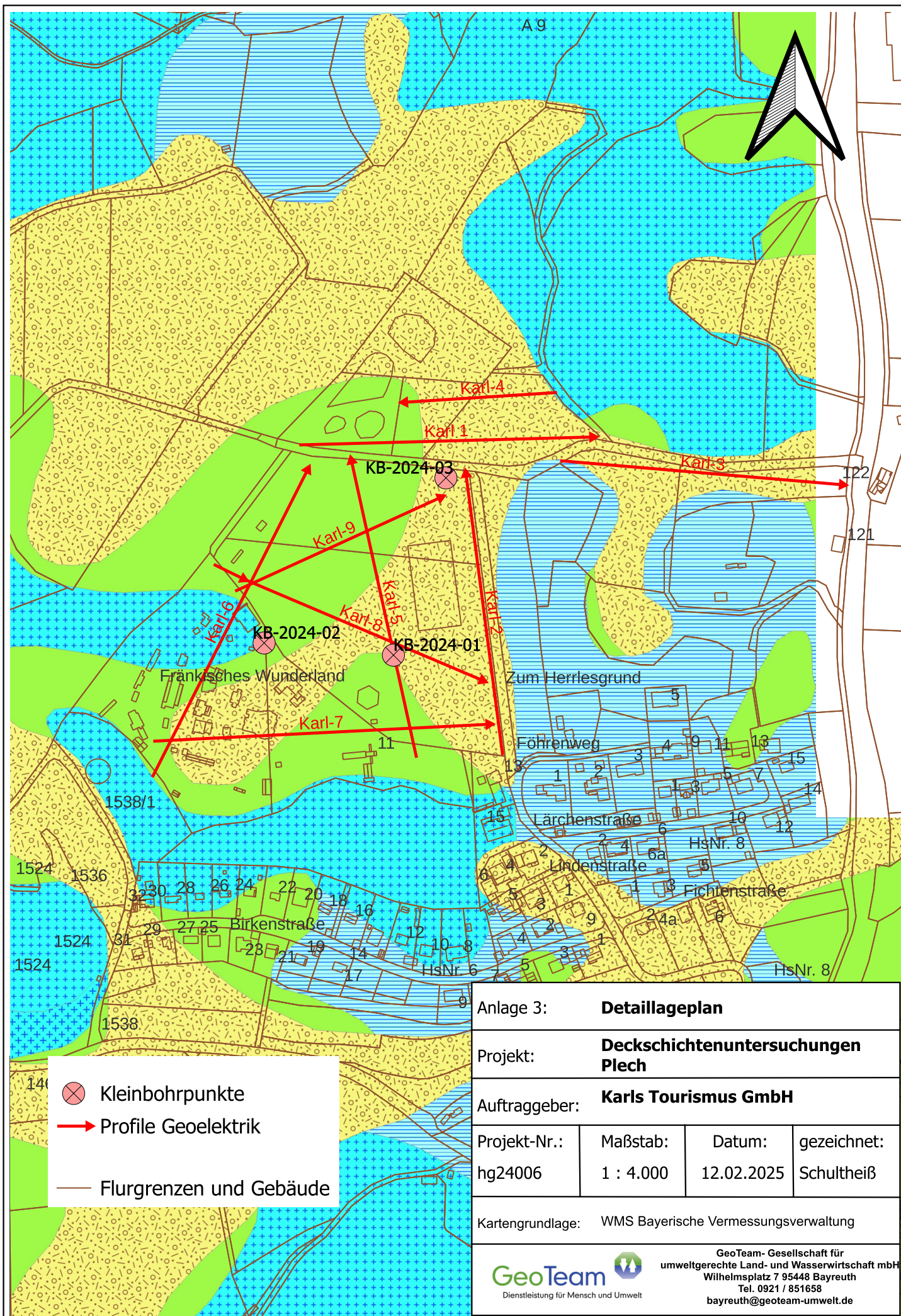
LANDRATSAMT BAYREUTH (04.09.2024): Bohrfreigabe Kleinbohrungen zur Deckschichtenkartierung. FB 43 – 6421/2/25. - Bayreuth

LfU (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT) (2018): Mittlere jährliche Grundwasserneubildung in Bayern 1981 – 2010 – München.

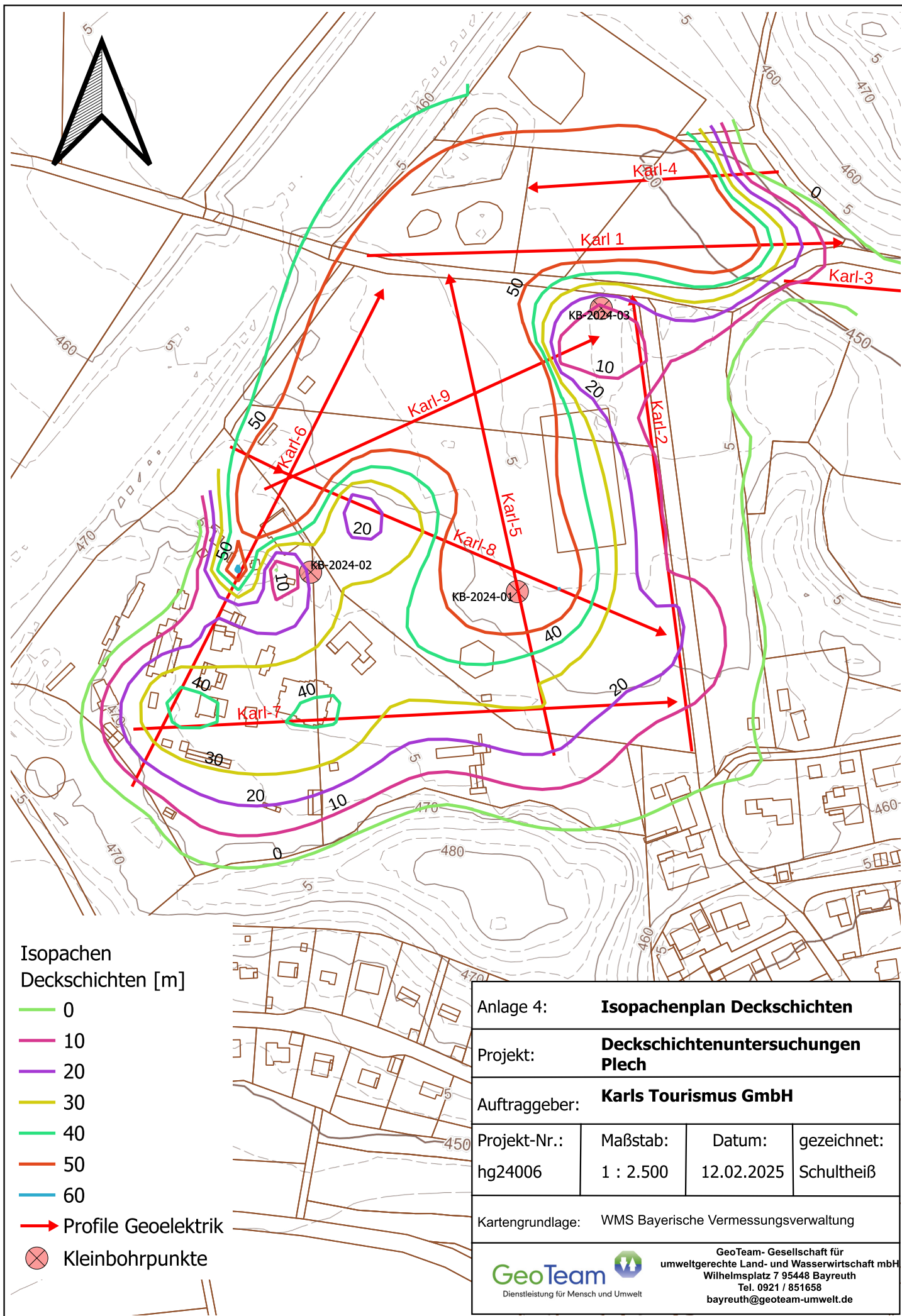
MARKT PLECH (2022): Amtsblatt Jahrgang 2022 26.03.2022 Nummer 3. Wiederbelebung des ehemaligen Fränkischen Wunderlandes – Plech wird erster Standort für ein „Karls Erlebnis-Dorf“ in Süddeutschland. Änderung des Flächennutzungsplans mit Landschaftsplan im Bereich des Bebauungsplans „Spitzleite“; Bekanntmachung des Aufstellungsbeschlusses gemäß § 2 Abs. 1 Satz 2 BauGB.

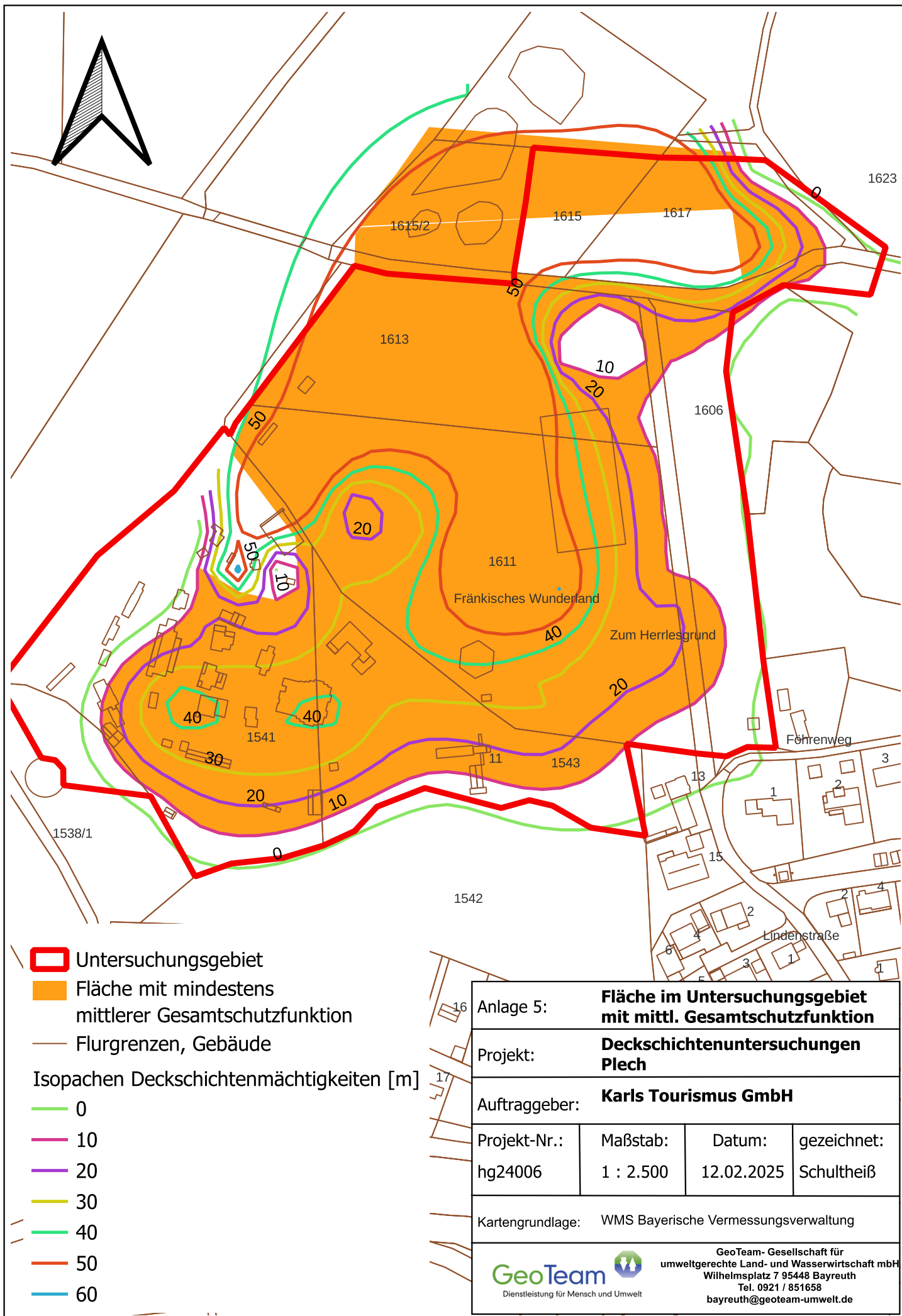


Anlage 1:		Übersichtslageplan	
Projekt:		Deckschichtenuntersuchungen Plech	
Auftraggeber:		Karls Tourismus GmbH	
Projekt-Nr.:	Maßstab:	Datum:	gezeichnet:
hg24006	1 : 15.000	12.02.2025	Schultheiß
Kartengrundlage:		WMS Bayerische Vermessungsverwaltung	
GeoTeam		GeoTeam- Gesellschaft für umweltgerechte Land- und Wasserwirtschaft mbH Wilhelmsplatz 7 95448 Bayreuth Tel. 0921 / 851658 bayreuth@geoteam-umwelt.de	
Dienstleistung für Mensch und Umwelt			



Anlage 3:	Detallageplan		
Projekt:	Deckschichtenuntersuchungen Plech		
Auftraggeber:	Karls Tourismus GmbH		
Projekt-Nr.:	Maßstab:	Datum:	gezeichnet:
hg24006	1 : 4.000	12.02.2025	Schultheiß
Kartengrundlage: WMS Bayerische Vermessungsverwaltung			
GeoTeam  Dienstleistung für Mensch und Umwelt GeoTeam- Gesellschaft für umweltgerechte Land- und Wasserwirtschaft mbH Wilhelmsplatz 7 95448 Bayreuth Tel. 0921 / 851658 bayreuth@geoteam-umwelt.de			





DIN 4022	Schichtenverzeichnis					Anlage 6
Für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben						
Projekt: Plech Karls Erlebnisdorf – Deckschichtenkartierung						
Bohrung		Nr. KB-2024-01		/Blatt	1	
Datum: 12.11.2024						
1	2				3	4 5 6
Bism unter Ansatz- punkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen				Bemerkungen Sonderproben Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust Sonstiges	Entnommene Proben
	b) Ergänzende Bemerkungen					
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut	d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang	e) Farbe			
	f) übliche Benennung	g) geologische Benennung	h) Gruppe	i) Kalkgehalt		
0,50	a) Schluff + Ton, sehr schwach feinsandig, sehr schwach humos					
	b) Sand besteht aus Quarzkörnern, kantengerundet					
	c) locker - bindig	d) leicht zu bohren	e) hell- + dunkelbraun, rote + schwarze Schlieren			
	f) Oberboden	g)	h)	i) 0		
1,0	a) Grobsand, schwach schluffig, sehr schwach tonig					
	b) Sand besteht aus Quarzkörnern, kantengerundet					
	c) locker	d) leicht zu bohren	e) rötlich braun, schwach rot mellierte			
	f) Sand	g) Oberkreide	h)	i) 0		
3,95	a) Feinsand, tonig, mittelsandig					
	b) Sand besteht aus Quarzkörnern, kantengerundet; stellenweise tonigere Partien					
	c)	d) leicht zu bohren	e) karminrot			
	f) Sand	g) Oberkreide	h)	i) 0		
8,50	a) Mittelsand, feinsandig, sehr schwach tonig					
	b) Sand besteht aus Quarzkörnern, kantengerundet					
	c) locker	d) leicht zu bohren	e) karminrot			
	f) Sand	g) Oberkreide	h)	i) 0		

DIN 4022		Schichtenverzeichnis						Anlage 6		
Für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben										
Projekt: Plech Karls Erlebnisdorf – Deckschichtenkartierung										
Bohrung		Nr. KB-2024-01				/Blatt 2		Datum: 12.11.2024		
1	2					3	4	5	6	
9,50	a) Grobsand, schwach tonig									
	b) Sand besteht aus Quarzkörnern, kantengerundet									
	c) locker		d) leicht zu bohren		e) karminrot, stellenw. weißl. und gelbl. melliert					
	f) Sand	g) Oberkreide	h)		i) 0					
10,00	a) Grobsand, sehr schwach tonig									
	b) Sand besteht aus Quarzkörnern, kantengerundet									
	c) locker		d) leicht zu bohren		e) karminrot					
	f) Sand	g) Oberkreide	h)		i) 0					
10,50	a) Grobsand und Feinkies									
	b) Sand besteht aus Quarzkörnern, kantengerundet									
	c) locker, feucht		d) leicht zu bohren		e) hellrot					
	f) Sand	g) Oberkreide	h)		i) 0					
12,00	a) Sand, sehr schwach tonig									
	b) Fein- und Mittel- und Grobsand besteht aus Quarzkörnern, kantengerundet									
	c) locker		d) leicht zu bohren		e) karminrot					
	f) Sand	g) Oberkreide	h)		i) 0					

DIN 4022		Schichtenverzeichnis				Anlage 6	
Für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben							
Projekt: Plech Karls Erlebnisdorf – Deckschichtenkartierung							
Bohrung		Nr. KB-2024-02		/Blatt 1		Datum: 12.11.2024	
1	2			3	4	5	6
<i>Bism unter Ansatz- punkt</i>	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen			Bemerkungen Sonderproben Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust Sonstiges	Entnommene Proben		
	b) Ergänzende Bemerkungen						
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut	d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang	e) Farbe		Art	Nr.	Tiefe in m (Unter- kante)
	f) übliche Be- nennung	g) geologische Be- nennung	h) Gruppe				
0,10	a) Ton, humos						
	b)						
	c) bindig	d) leicht zu boh- ren	e) dunkelbraun				
	f) Oberbo- den	g)	h)				
0,60	a) Ton, schwach schluffig, sehr schwach sandig, hu- mos						
	b) Sand besteht aus Quarzkörnern, kantengerundet						
	c) bindig	d) leicht zu boh- ren	e) dunkelbraun				
	f) Ton	g) Albüber- deckung	h)				
1,00	a) Ton, sehr schwach schluffig, sehr schwach san- dig						
	b) Sand besteht aus Quarz und Dolomitsteinen (fein – grobsandig)						
	c) bindig	d) leicht zu boh- ren	e) hellbraun				
	f) Ton	g) Albüber- deckung	h)				

DIN 4022	Schichtenverzeichnis					Anlage 6			
Für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben									
Projekt: Plech Karls Erlebnisdorf – Deckschichtenkartierung									
Bohrung Nr. KB-2024-02			Bohrung Nr. KB-2024-02						
/Blatt 2									
1	2					3	4	5	6
2,00	a) Grobsand, tonig								
	b) Sand besteht aus Quarzkörnern, kantengerundet								
	c) locker bis bindig		d) leicht zu bohren		e) gelblich braun				
	f) Sand	g) Oberkreide	h)		i) 0				
6,00	a) Schluff und Ton, schwach sandig								
	b) Sand besteht aus Quarzkörnern, kantengerundet								
	c) locker bis bindig		d) leicht zu bohren		e) gelblich braun und stellenweise weißl. mellierte				
	f) Schluff und Ton	g) Oberkreide	h)		i) 0				
8,00	a) Feinsand, tonig, grobsandig								
	b) Sand besteht aus Quarzkörnern, kantengerundet								
	c) bindig		d)		e) gelblich braun				
	f)	g) Oberkreide	h)		i) 0				
10,00	a) Feinsand, tonig, grobsandig								
	b) Sand besteht aus Quarzkörnern, kantengerundet								
	c) bindig		d) leicht zu bohren		e) gelblich braun, partiell rote Schlieren				
	f)	g) Oberkreide	h)		i)				

DIN 4022	Schichtenverzeichnis						Anlage 6			
Für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben										
Projekt: Plech Karls Erlebnisdorf – Deckschichtenkartierung										
Bohrung		Nr. KB-2024-03		/Blatt 1		Datum: 13.11.2024				
1	2				3	4	5	6		
Bism unter Ansatzpunkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen				Bemerkungen Sonderproben Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust Sonstiges	Entnommene Proben				
	b) Ergänzende Bemerkungen									
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut		d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang			e) Farbe		Art	Nr.	Tiefe in m (Unter-kante)
	f) übliche Benennung		g) geologische Benennung			h) Gruppe				
0,10	a) Schluff, sehr schwach tonig, humos									
	b) durchwurzelt									
	c) locker, erdfeucht		d) leicht zu bohren						e) dunkelbraun	
	f) Oberboden		g)						h)	
0,60	a) Schluff, tonig									
	b)									
	c) bindig - locker		d) leicht zu bohren						e) braun	
	f) Lehm		g) Albüberdeckung						h)	
0,95	a) Ton, schluffig									
	b)									
	c) bindig		d) leicht zu bohren						e) hellbraun	
	f) Ton		g) Albüberdeckung						h)	
2,00	a) Schluff, tonig, schwach sandig, schwach feinkiesig									
	b) Sand und Kies bestehen aus Quarzen und Eisensandsteingeröllen									
	c) bindig		d) leicht zu bohren						e) braun	
	f) Lehm		g) Albüberdeckung						h)	

DIN 4022	Schichtenverzeichnis					Anlage 6				
Für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben										
Projekt: Plech Karls Erlebnisdorf – Deckschichtenkartierung										
Bohrung		Nr. KB-2024-03		/Blatt	2	Datum: 13.11.2024				
1	2					3	4	5	6	
3,60	a) Ton, schluffig									
	b)									
	c) bindig		d) leicht zu bohren		e) braun					
	f) Ton		g) Albüberdeckung		h) i) 0					
8,30	a) Feinsand, sehr schwach schluffig, sehr schwach kiesig									
	b) Quarzsand, kantengerundet; Kies aus weißen Feinsandsteinen									
	c) locker		d) leicht zu bohren		e) hellbraun					
	f) Sand		g) Oberkreide		h) i) 0					
8,55	a) Schluff, feinsandig									
	b) Verwitterungsmaterial									
	c) locker		d) leicht zu bohren		e) hellbraun					
	f) Dolomit- asche		g) Malm		h) i) +					
8,60	a) Grobkies und Steine									
	b) Dolomitstein, massig									
	c) fest		d) hoher Bohr- widerstand		e) weißlich					
	f) Fels		g) Malm		h) i) +					

0 m
1 m
2 m
3 m
4 m
5 m
6 m
7 m
8 m
9 m
10 m
11 m



GeoTeam 		GeoTeam Gesellschaft für umweltgerechte Land- und Wasserwirtschaft mbH Wilhelmsplat 7 95444 Bayreuth	
Dienstleistung für Mensch und Umwelt			
Auftraggeber:		Karls Tourismus GmbH	
Vorhaben:		Deckschichtenuntersuchungen Plech	
Anlage 7.1:		Fotodokumentation Kleinbohrung KB-2024-01	
Projekt-Nr.:	Maßstab:	Datum:	Gezeichnet:
hg24006	-	13.02.2025	Schultheiß

0 m

1 m

2 m

3 m

4 m

5 m

6 m

7 m

8 m

9 m



GeoTeam  Dienstleistung für Mensch und Umwelt		GeoTeam Gesellschaft für umweltgerechte Land- und Wasserwirtschaft mbH Wilhelmsplat 7 95444 Bayreuth	
Auftraggeber:		Karls Tourismus GmbH	
Vorhaben:		Deckschichtenuntersuchungen Plech	
Anlage 7.2:		Fotodokumentation Kleinbohrung KB-2024-02	
Projekt-Nr.:	Maßstab:	Datum:	Gezeichnet:
hg24006	-	13.02.2025	Schultheiß

0 m

1 m

2 m

3 m

4 m

5 m

6 m

7 m

8 m



GeoTeam  Dienstleistung für Mensch und Umwelt		GeoTeam Gesellschaft für umweltgerechte Land- und Wasserwirtschaft mbH Wilhelmsplat 7 95444 Bayreuth	
Auftraggeber:		Karls Tourismus GmbH	
Vorhaben:		Deckschichtenuntersuchungen Plech	
Anlage 7.3:		Fotodokumentation Kleinbohrung KB-2024-03	
Projekt-Nr.:	Maßstab:	Datum:	Gezeichnet:
hg24006	-	13.02.2025	Schultheiß

Geophysikalische Prospektion
im Rahmen des Projektes

**Deckschichtenkartierung im Rahmen der Erschließung von
„Karls Erlebnisdorf“ (ehemaliges Fränkisches Wunderland),
Markt Plech, Verwaltungsgemeinschaft Betzenstein,
Kreis Bayreuth, Oberfranken**

Abschlussbericht 2024-009/29952

Methodik:	Geoelektrische Widerstandstomographie (ERT)
Auftraggeber:	Karls Tourismus GmbH Purkshof 2, 18182 Rövershagen
Planungsbüro:	GeoTeam Ges. für umweltgerechte Land- und Wasserwirtschaft mbH Wilhelmsplatz 7, 95444 Bayreuth Projektbearbeiter: Herr Peter Schultheiß, Dipl.-Geol.
Ausführungszeitraum:	Oktober/November 2024
Berichtsdatum:	20. Dezember 2024



INHALT

1	Einleitung	6
1.1	Auftragsgegenstand	6
1.2	Lokalität	7
1.3	(Hydro-) Geologie	10
2	Geophysik	12
3	Ergebnisse und Interpretation	14
3.1	Ergebnisse der Profilmessungen	14
3.2	Interpretation	21
4	Zusammenfassende Bewertung	27
5	Schlussbemerkung	32

ABBILDUNGEN

Abbildung 1: Übersichtslageplan mit Umgriff des Untersuchungsgebietes (rot).	6
Abbildung 2: Lageplan des Messgebietes mit Profillinien (Profil-m 0+000 jeweils an Beschriftung). Gelb: Bohrpunkte GeoTeam Bayreuth vom November 2024.	8
Abbildung 3: Beschaffenheit der Geländeoberfläche, exemplarisch für nicht oder nur partiell versiegelte Oberflächen; hier: Profile KARL 2 (links) und 3 (Mitte) sowie KARL 4 (rechts; Standort jeweils am Profilbeginn/vgl. Abbildung 2).....	9
Abbildung 4: Beschaffenheit der Geländeoberfläche exemplarisch für befestigte Oberflächen; Profil KARL 6 im Bereich der ehemaligen Westernstadt (Standort ca. Profil-m 0+100, Blickrichtung nach SSW; vgl. Abbildung 2).	10
Abbildung 5: Widerstandstomographie Profil KARL 1, Messrichtung von W nach O (vgl. Lageplan der Abbildung 2). Profil nicht überhöht. Logarithmische Skalierung (Faktor 1,26).....	16
Abbildung 6: Widerstandstomographie Profil KARL 2, Messrichtung von S nach N (a.a.s. Abbildung 5).	16
Abbildung 7: Widerstandstomographie Profil KARL 3, Messrichtung von W nach O (a.a.s. Abbildung 5).	17

Abbildung 8: Widerstandstomographie Profil KARL 4, Messrichtung von W nach O (a.a.s. Abbildung 5).	17
Abbildung 9: Widerstandstomographie Profil KARL 5, Messrichtung SSO-NNW (a.a.s. Abbildung 5).	18
Abbildung 10: Widerstandstomographie Profil KARL 6, Messrichtung SSW-NNO; a.a.s. (Abbildung 5).	18
Abbildung 11: Widerstandstomographie Profil KARL 7, Messrichtung von W nach O (a.a.s. Abbildung 5).	19
Abbildung 12: Widerstandstomographie Profil KARL8.1 (links) und 8 (rechts), Messrichtung WNW-OSO (a.a.s. Abbildung 5).	19
Abbildung 13: Widerstandstomographie Profil KARL 9, Messrichtung WSW-ONO (a.a.s. Abbildung 5).	20
Abbildung 14: Widerstandsprofil KARL 1 mit interpretierten Großeinheiten. Aufnahmerichtung West → Ost. (vgl. Lageplan der Abbildung 2). Profil nicht überhöht. Logarithmische Skalierung (Faktor 1,26). Größere Darstellung s. Abbildung 5. Erläuterungen im Text.	21
Abbildung 15: Widerstandsprofil KARL 2 mit interpretierten Großeinheiten. Aufnahmerichtung Süd → Nord. Bohrung KB-2024-3 ca. 17 m westlich der Profillinie auf Höhe Profil-m 0+238 (Weißjura ab ca. 8,3 m unter OK Gelände). A.a.s. Abbildung 14.....	22
Abbildung 16: Widerstandsprofil KARL 3 mit interpretierten Großeinheiten. Aufnahmerichtung West → Ost. A.a.s. Abbildung 14.....	22
Abbildung 17: Widerstandsprofil KARL 4 mit interpretierten Großeinheiten. Aufnahmerichtung West → Ost. A.a.s. Abbildung 14.....	23
Abbildung 18: Widerstandsprofil KARL 5 mit interpretierten Großeinheiten. Aufnahmerichtung Süd → Nord. Bohrung KB-2024-2 bei Profil-m 0+089 (Weißjura unterhalb Bohrendteufe 10 m unter OK Gelände). A.a.s. Abbildung 14.....	24
Abbildung 19: Widerstandsprofil KARL 6 mit interpretierten Großeinheiten. Aufnahmerichtung SSW → NNO. A.a.s. Abbildung 14.....	24

Abbildung 20: Widerstandsprofil KARL 7 mit interpretierten Großeinheiten. Aufnahmerichtung West → Ost. A.a.s. Abbildung 14.....	25
Abbildung 21: Widerstandsprofil KARL 5 mit interpretierten Großeinheiten. Aufnahmerichtung WNW → OSO. Bohrung KB-2024-2 bei Profil-m 0+140 (Weißjura unterhalb Bohrendteufe 10 m unter OK Gelände). A.a.s. Abbildung 14.	26
Abbildung 22: Widerstandsprofil KARL 5 mit interpretierten Großeinheiten. Aufnahmerichtung WSW → ONO. Bohrung KB-2024-3 bei Profil-m 0+089 (Weißjura unterhalb Bohrendteufe 10 m unter OK Gelände). A.a.s. Abbildung 14.	26

TABELLEN

Tabelle 1: Koordinaten der Start- und Endpunkte der geoelektrischen Widerstandsprofile (UTM 32 Nord).	8
Tabelle 2: Interpretierte Tiefenlage der OK Weißjura (in m ü. NN) und überschlägige Mächtigkeiten (in m) der Deckschichten in Profil KARL 1. Profilverlauf s. Abbildung 2, Start-/Endpunkte s. Tabelle 1.....	28
Tabelle 3: Interpretierte Tiefenlage der OK Weißjura (in m ü. NN) und überschlägige Mächtigkeiten (in m) der Deckschichten in Profil KARL 2. Profilverlauf s. Abbildung 2, Start-/Endpunkte s. Tabelle 1.....	28
Tabelle 4: Interpretierte Tiefenlage der OK Weißjura (in m ü. NN) und überschlägige Mächtigkeiten (in m) der Deckschichten in Profil KARL 3. Profilverlauf s. Abbildung 2, Start-/Endpunkte s. Tabelle 1.....	29
Tabelle 5: Interpretierte Tiefenlage der OK Weißjura (in m ü. NN) und überschlägige Mächtigkeiten (in m) der Deckschichten in Profil KARL 4. Profilverlauf s. Abbildung 2, Start-/Endpunkte s. Tabelle 1.....	29
Tabelle 6: Interpretierte Tiefenlage der OK Weißjura (in m ü. NN) und überschlägige Mächtigkeiten (in m) der Deckschichten in Profil KARL 5. Profilverlauf s. Abbildung 2, Start-/Endpunkte s. Tabelle 1.....	30
Tabelle 7: Interpretierte Tiefenlage der OK Weißjura (in m ü. NN) und überschlägige Mächtigkeiten (in m) der Deckschichten in Profil KARL 6. Profilverlauf s. Abbildung 2, Start-/Endpunkte s. Tabelle 1.....	30

Tabelle 8: Interpretierte Tiefenlage der OK Weißjura (in m ü. NN) und überschlägige Mächtigkeiten (in m) der Deckschichten in Profil KARL 7. Profilverlauf s. Abbildung 2, Start-/Endpunkte s. Tabelle 1. Kursiv: unsicher wegen unscharfer Grenzziehung Weißjura/Überdeckung.....31

Tabelle 9: Interpretierte Tiefenlage der OK Weißjura (in m ü. NN) und überschlägige Mächtigkeiten (in m) der Deckschichten in Profil KARL 8. Profilverlauf s. Abbildung 2, Start-/Endpunkte s. Tabelle 1. Kursiv: Ansprache als Weißjura unsicher.....31

Tabelle 10: Interpretierte Tiefenlage der OK Weißjura (in m ü. NN) und überschlägige Mächtigkeiten (in m) der Deckschichten in Profil KARL 9. Profilverlauf s. Abbildung 2, Start-/Endpunkte s. Tabelle 1.....32

ANLAGEN

DVD/CD-ROM mit Bericht (PDF), Rohdaten (TXT), QGIS-Projektdat

1 EINLEITUNG

1.1 Auftragsgegenstand

Die Karls Tourismus GmbH, 18182 Rövershagen/Mecklenburg-Vorpommern, plant auf dem brach liegenden Gelände des 1976 eröffneten und in den 2010er Jahren geschlossenen Fränkischen Wunderlandes in 91287 Plech/Oberfranken die Errichtung eines Freizeitparks „Karls Erlebnisdorf“.

Nähere Angaben über das BV liegen dem Bearbeiter zum Zeitpunkt der Berichterstellung nicht vor.

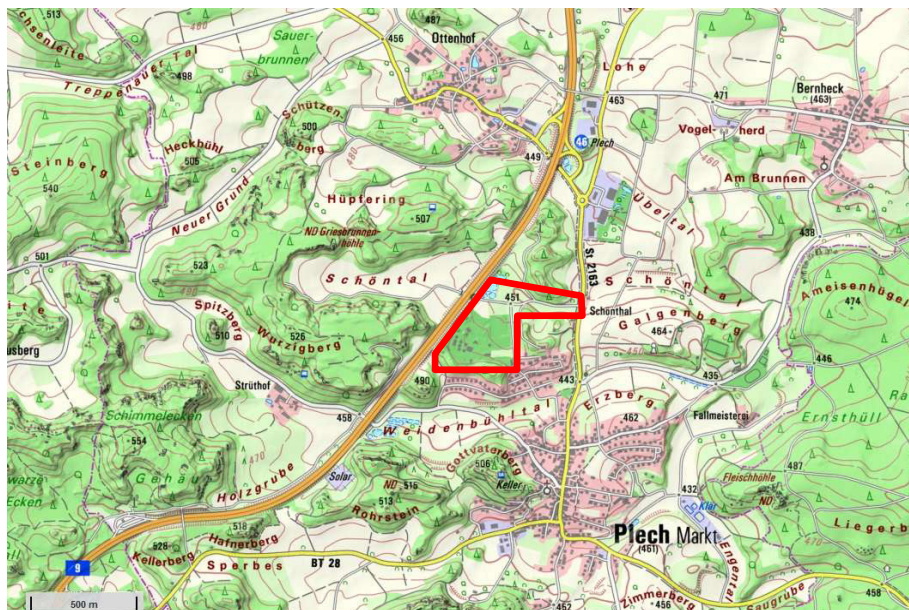


Abbildung 1: Übersichtslageplan¹ mit Umgriff des Untersuchungsgebietes (rot).

¹ verändert nach: Online-Datenbank BayernAtlas (www.geodaten.bayern.de). Plan nicht maßstäblich, nicht zur Maßentnahme geeignet.

Da Teile des Planungsbereichs im Einzugsgebiet der Trinkwasserversorgung Ranna der N-Ergie AG Nürnberg zu liegen kommen, wurde das GEOBÜRO DR. TARASCONI von der Karls Tourismus GmbH (AG) mit der Durchführung geoelektrischer Untersuchungen² zur Ermittlung der Mächtigkeit der Überdeckung potenziell Grundwasser leitender Schichten beauftragt.

Im vorliegenden Bericht werden die Messdurchführung sowie -grundlagen beschrieben und die Ergebnisse der Untersuchungen zusammenfassend bewertet. Darüber hinausgehende Untersuchungen wurden nicht vereinbart.

1.2 Lokalität

Das Untersuchungsgebiet kommt ca. 750 m nördlich des Zentrums von Plech unmittelbar östlich der Autobahn BAB A 9 zu liegen (**Abbildung 2**). Auf dem Gelände befinden sich mehrere Gebäude und Anlagen, zudem Baumbestand und – durch den langjährigen Leerstand bedingt – teils dichtes Buschwerk. Der nördliche Grundstücksbereich ist durch offene Grünflächen mit losem Baumbestand gekennzeichnet.

Insgesamt fällt das Gelände des Freizeitparks über eine Strecke von rund 400 m von SW nach NO von ca. 473 auf 451 m ü. NN ein und steigt nördlich eines landwirtschaftlichen Nutzwegs erneut an.

Im Norden des ehemaligen Freizeitparks wurden drei Widerstandsprofile aufgenommen (KARL 1, 3 und 4; s. **Abbildung 2**), auf dem Gelände selbst bzw. unmittelbar an dieses angrenzend sechs Profile (KARL 2, KARL 5 bis 9; *ebda.*). Lage und Länge der einzelnen Profillinien orientieren sich an den Vorgaben des Planungsbüros und waren, i.W. bedingt durch lokale Behinderungen wie dichtes Buschwerk oder Gebäude, den örtlichen Gegebenheiten anzupassen.

² Beauftragung vom 29. Juli 2024 gemäß Angebot vom 25. April 2024.

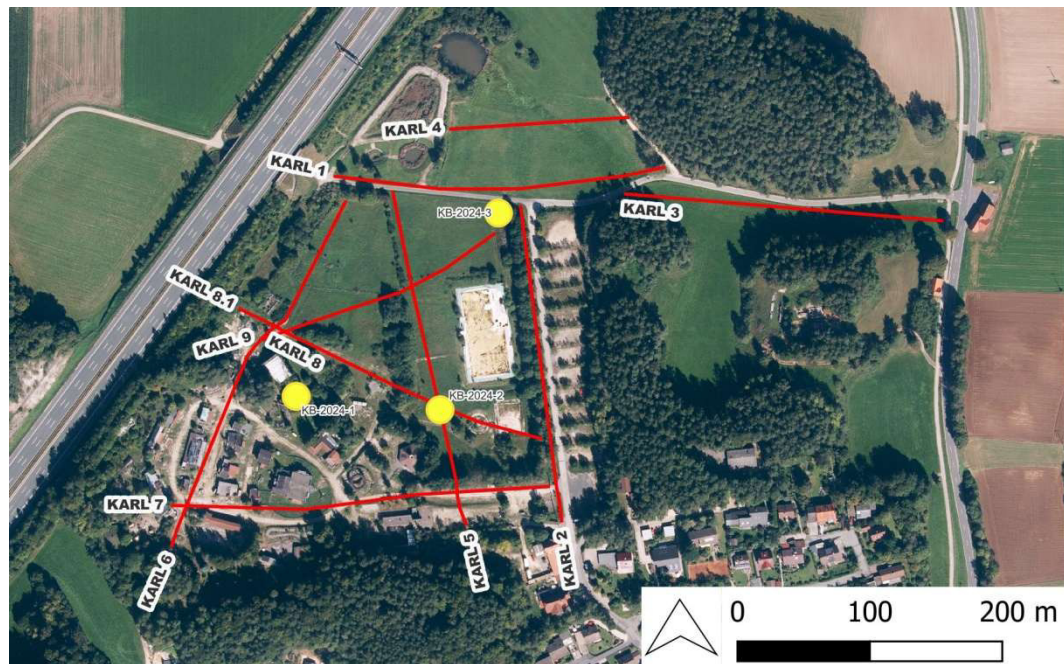


Abbildung 2: Lageplan³ des Messgebietes mit Profilinien (Profil-m 0+000 jeweils an Beschriftung). Gelb: Bohrpunkte GeoTeam Bayreuth vom November 2024.

Profile und Topographie wurden mit einer Toleranz im unteren cm-Bereich mittels GNSS eingemessen. Die Koordinaten der Start- und Endpunkte der Profile sind **Tabelle 1**, Höhenschnitte den Widerstandsprofilen der Abbildung 5 ff. zu entnehmen.

Hinweise auf die Messungen potenziell und in nennenswertem Umfang beeinträchtigende Faktoren, etwa erdverlegte Stromleitungen, lagen zum Zeitpunkt der Untersuchungen für keines der Profile vor, sind jedoch aufgrund der Vornutzung v.a. für den südlichen Teil des Untersuchungsgebietes nicht auszuschließen.

Tabelle 1: Koordinaten der Start- und Endpunkte der geoelektrischen Widerstandsprofile (UTM 32 Nord).

³ Hintergrund: Luftbild DOP20 RGB (OpenData), Bayerische Vermessungsverwaltung – www.geodaten.bayern.de

ERT-Profil Nr.	Startpunkt	Endpunkt	min./max. Höhe [m ü. NN]
KARL 1	677756,7 5503681,4	678004,8 5503688,1	449,1...455,4
KARL 2	677927,7 5503420,5	677896,7 5503658,2	452,1...462,3
KARL 3	677976,1 5503668,1	678214,8 5503647,8	446,4...449,6
KARL 4	677973,4 5503725,5	677843,9 5503717,2	449,1...452,1
KARL 5	677855,3 5503418,3	677800,3 5503669,4	460,0...468,3
KARL 6	677633,2 5503402,0	677764,3 5503661,69	461,7...475,6
KARL 7	677633,9 5503432,2	677917,6 5503446,5	466,1...474,8
KARL 8	677711,1 5503568,1	677912,1 5503482,8	457,6...461,1
KARL 8.1	677684,8 5503580,9	677711,1 5503568,1	461,2...463,5
KARL 9	677702,8 5503558,4	677876,8 5503637,8	452,4...462,4



Abbildung 3: Beschaffenheit der Geländeoberfläche, exemplarisch für nicht oder nur partiell versiegelte Oberflächen; hier: Profile KARL 2 (links) und 3 (Mitte) sowie KARL 4 (rechts; Standort jeweils am Profilbeginn/vgl. Abbildung 2).



Abbildung 4: Beschaffenheit der Geländeoberfläche exemplarisch für befestigte Oberflächen; Profil KARL 6 im Bereich der ehemaligen Westernstadt (Standort ca. Profil-m 0+100, Blickrichtung nach SSW; vgl. Abbildung 2).

1.3 (Hydro-) Geologie

Während des oberen Jura kommt es im Arbeitsgebiet zur Ablagerung von Kalken in Schicht- oder massiger Fazies (Bankkalke bzw. „Schwammriffe“; Weißjura α bis ξ). Die Kalke sind nach der einschlägigen geologischen Karte⁴ vollständig dolomitisiert.

Nach dem Rückzug des jurassischen Flachmeers ab dem obersten Weißjura fällt die Malmtafel trocken. Erosion und Verkarstung der Jurakalke bzw. des aus diesen hervorgegangenen Dolomits führen zur Bildung steilwandiger Hohlformen bis in mehrere Zehner, teils bis zu 200 Meter Tiefe.

⁴ geologische Karte i.M. 1 : 25.000 GK25 6334 Betzenstein einschl. Erläuterungen, Stand 1975.–Bayer. Geol. Landesamt (München); sowie Online-Datenbank BayernAtlas mit Fachschale digitale geologische Karte DGK25 - www.geodaten.bayern.de.

In der Oberkreide führen Erosionsprozesse im Zuge der Hebungsbewegungen im Alten Gebirge im Osten zur Verfüllung der Karsthohlformen und damit zum weitgehenden Reliefausgleich. Bei den Ablagerungen handelt sich um bindige, ± sandige Böden.

Im Quartär kommt es durch Erosion der Oberkreidesedimente zur Modellierung des heutigen Reliefs und zur Ablagerung von ± geröllführendem Hang- und Schwemmlehm. Felsstürze und eine erneute, insgesamt jedoch weniger tief reichende Phase der Verkarstung der Weißjurakalke sind weitere Phänomene der quartären Landschaftsgeschichte.

Ausweislich der geologischen Karte steht Dolomit in kurzer Distanz südlich und östlich des Untersuchungsgebiets sowie kleinräumig im östlichen Bereich des Freizeitparks an. Große Teile des (nord-) westlichen und südlichen Untersuchungsgebietes werden von den Ablagerungen der Oberkreide überdeckt; quartäre Ablagerungen sind v.a. im östlichen Park, am Hang nördlich des Parks sowie entlang der Zufahrt von der St 2163 anzutreffen.

Die OK Weißjura wurde bei den im Rahmen der Planungen veranlassten Kleinbohrungen KB-2024-1 f. bis auf die jeweiligen Endteufen von 10–12 m nicht angefahren; Bohrung KB-2024-3 traf diese in 8,3 m unter OK Gelände an⁵.

Detaillierte Angaben zum Grundwasserspiegel liegen nicht vor. In einer 1938 angelegten Bohrung rund 300 m nw. des Untersuchungsgebietes wurde bis auf Endteufe von 240 m (220 m ü. NN) kein zusammenhängender Grundwasserkörper angetroffen⁶, jedoch eine 120 m mächtige oberflächliche Überdeckung sowie bis zu 5 m große Lösungshohlräume in den Jurakalken.

In den durch das Planungsbüro veranlassten Bohrungen wurde kein Grundwasser angetroffen.

⁵ Bohrungen GeoTeam Bayreuth vom November 2024.

⁶ Qu.: <https://www.umweltatlas.bayern.de> bzw. <https://boreholemap.bgr.de>, Bohrungs-ID BIS-BY_6334BG000001.

2 GEOPHYSIK

Geoelektrische Messungen machen sich die Leitfähigkeitsunterschiede der einzelnen Bodenschichten, Gesteine oder der darin eingebetteten Objekte zunutze. Die Leitfähigkeit von Böden und Gesteinen wird i.W. durch den Anteil und die Struktur der Poren und Trennflächen, die Bodenfeuchtigkeit, die Menge und Art der im Wasser gelösten Elektrolyten sowie die Mineralogie des Bodens oder Fels' bestimmt. So sind feuchte bindige Böden entsprechend leitfähiger bzw. zeichnen sich durch einen geringeren Widerstand aus als kompakter Fels.

Für geoelektrische Messungen wird auf der Geländeoberfläche Strom einer bekannten Stromstärke I durch zwei geerdete Elektroden A und B in den Untergrund eingespeist (Sendedipol) und die resultierende Potenzialdifferenz U an zwei weiteren Elektroden M und N gemessen (Empfangsdipol). Der spezifische Widerstand ρ_s ergibt sich aus den gemessenen Werten für Stromstärke und Spannung sowie einem von der Anordnung der Elektrodenpaare abhängigen Korrekturfaktor⁷.

Bei der Multielektroden-Geoelektrik (*electrical resistivity tomography*, ERT) werden Messketten mit mehreren Elektroden geradlinig ausgelegt, wobei die einzelnen Elektroden in wechselnder Reihenfolge und mit variablen Abständen als Sende- bzw. Empfangsdipol(e) fungieren⁸. Die Erkundungstiefe bestimmt sich aus der Messkonfiguration und den maximalen Dipolabständen (Auslagelänge).

Die Messwerte bilden die Grundlage für die Modellierung eines Untergrundprofils. Hierzu wird im Rahmen der Datenaufbereitung unter Berücksichtigung der Geländetopographie ein theoretisches Ausgangsmodell über mathematische Prozesse schrittweise verfeinert, bis eine

⁷ s. hierzu RHETT, H. (2001): An introduction to electrical resistivity in geophysics. – in: Am. J. Phys., v. 69 (9), S. 943–952; LANGE, G. (1997): Gleichstromelektrik. – in: KNÖDEL, K. ET AL. (1997): Geophysik. Handbuch Erkdg. Untergrds. Dep. Atl., Bd. 3: S. 122–368; Berlin (Springer).

⁸ Widerstandsmessgerät 4P Light 10W mit drei Messketten à 20 Elektroden mit maximal 5 m Elektroden separation; Erich Lippmann Geophysikalische Messgeräte (LGM), D-94571 Schaufling (D); für technische Spezifikationen s. Dokumentation zum Gerät.

hinreichende Anpassung an die ermittelten Messwerte erreicht wird (Inversionsrechnung⁹). Ergebnis ist die zweidimensionale Darstellung der Verteilung der Widerstände im Untergrund¹⁰ (Pseudosektion).

Um sich im geoelektrischen Profil bemerkbar zu machen, müssen die einzelnen Schichten hinreichend deutliche Kontraste und eine – je nach Messmethode und Elektrodenseparation – ausreichend hohe Mächtigkeit aufweisen. Jedes Inversionsmodell stellt somit eine bestmögliche Annäherung an die geologischen Verhältnisse im Erkundungsbereich dar, ist jedoch nicht im Sinne eines geologischen Profilschnitts zu verstehen.

Aufgrund der Fragestellung und der lokalen Gegebenheiten wurden die Messungen in Dipol-Dipol-Konfiguration mit Elektrodenabständen von 5 m ausgeführt.

Für die Auswertung der Widerstandsprofile werden die folgenden *überschlägigen (!)* spezifischen Widerstände¹¹ zugrunde gelegt:

- Quartär, (Hang-/Schwemm-) Lehm, Talfüllung; ± Gerölle
führend, wenige Meter mächtig, nass bis feucht (5) 35 ... 200 $\Omega \cdot m$
- Oberkreide; tonig-sandig, ± Gerölle führend
bis 30 m unter OK Gelände, bevorzugt 35 ... 100 $\Omega \cdot m$ und 250 ... 600 $\Omega \cdot m$
ab 30 m unter OK Gelände 150 ... 250 $\Omega \cdot m$
- Malmkalk und -dolomit; klüftig/verwittert bis kompakt (300) 1.500 ... 3.000 $\Omega \cdot m$

⁹ Inversionssoftware Res2DInv, Fa. Geotomo Software Sdn Bhd Malaysia, v. 4.9.3.

¹⁰ weitere Informationen zu geoelektrischen Widerstandsmessungen im Allgemeinen und Inversionsrechnungen s. z.B. LOKE, M.H. (2000): Electrical imaging surveys for environmental and engineering studies. – 61 S.; WELLER, A., LEWIS, R. & NIEDERLEITHINGER, E. (2008): Geophysikalische Verfahren zur Strukturerkundung und Schwachstellenanalyse von Flussdeichen. – 29 S. (Berlin) und LOKE, M.H. (2018): 2-D and 3-D electrical imaging surveys. – 197 S., 163 Abb. und die darin jeweils genannte weiterführende Literatur.

¹¹ in den Erläuterungen zur geologischen Karte genannte, direkt ermittelte Werte; in Klammern: Erfahrungswerte; vgl. hierzu auch z.B. KNÖDEL, K. ET AL. (1997): Geophysik, Tab. 5.5. – in: Handbuch zur Erkundung des Untergrundes von Deponien und Altlasten, Band 3: 1063 S., 421 Abb., 53 Tab; Berlin (Springer).

Unsicherheiten bei der Abgrenzung der Überdeckungen gegen (stark) verwitterte Weißjurakarbonate sind aufgrund der teils überlappenden Wertebereiche nicht auszuschließen. Darüber hinaus ist eine Unterscheidung zwischen den kreidezeitlichen Deckschichten und denen des Quartär allein auf Basis der Widerstandsmessungen kritisch einzuschätzen.

3 ERGEBNISSE UND INTERPRETATION

3.1 Ergebnisse der Profilmessungen

Insgesamt dominieren im geoelektrischen Widerstandsprofil **KARL 1** (Abbildung 14) Böden mit Widerständen in der Größenordnung $< 400 \Omega \cdot m$. Die niedrigsten Werte ($< ca. 160 \Omega \cdot m$) werden v.a. oberflächennah erreicht. Zwischen Profil-m 0+085...0+145 und weniger signifikant zwischen 0+160...0+190 treten insbesondere zum Hangenden deutlich gegen das Umgebende abgegrenzte, bis 15...20 m mächtige Abschnitte mit Werten bis zu $3.200 \Omega \cdot m$ auf.

Profil **KARL 2** zeichnet sich durch eine deutliche Zweiteilung in Böden $< ca. 150 \Omega \cdot m$ und $> ca. 650 \Omega \cdot m$ aus; das Maximum liegt bei $4.800 \Omega \cdot m$. In den tieferen Abschnitten im Umfeld Profil-m 0+110 ist in den hoch-ohmigen Böden eine nicht scharf begrenzte Zone horizontal wechselnder Widerstände erkennbar.

Auffällig sind die in Profil **KARL 3** dominierenden hoch-ohmigen Schichten ($\rho_s > 1.600 \Omega \cdot m^{12}$). Die Überdeckung durch Böden mit Widerständen $< ca. 100 \Omega \cdot m$ erreicht eine Mächtigkeit von maximal 5 m; höhere Mächtigkeiten treten nur bis Profil-m ca. 0+025 auf.

In Profil **KARL 4** werden bis auf Endteufe der Messungen (ca. 420 m ü. NN) i.W. Böden mit Widerständen von maximal ca. $250 \Omega \cdot m$ angetroffen. Eine scharf ausgeprägter Kontrast

¹² Die absoluten Werte von maximal $22.000 \Omega \cdot m$ sind aufgrund Instabilitäten der Inversionsrechnung nicht aussagekräftig.

zwischen Böden < 100 und $> 200 \Omega \cdot m$ fällt von West nach Ost (442 auf 435 m ü. NN) ein. Am Profilende werden Werte bis $400 \Omega \cdot m$ erreicht.

In Profil **KARL 5** erreichen die Widerstände Werte bis $400 \Omega \cdot m$. Maxima sind im Abschnitt Profil-m 0+075...0+110 sowie 0+140...0+180 zu erkennen (vgl. hierzu auch Profil KARL 6), wohingegen oberflächlich Widerstände $< 100 \Omega \cdot m$ dominieren. Hoch-ohmige Böden als Hinweis auf anstehenden Weißjura fehlen.

Profil **KARL 6** lässt Parallelen zu dem i.M. ca. 140 m weiter östlich gelegenen Profil KARL 5 erkennen, zeigt jedoch Einschaltungen hoch-ohmiger Bereiche ($> 600 \Omega \cdot m$ bis $7.200 \Omega \cdot m$), die sowohl lateral wie auch horizontal scharfen Abgrenzungen zeigen.

Oberflächennahe Böden mit Widerständen unter $300...400 \Omega \cdot m$, mit nur kleineren, lokal begrenzten Zonen mit Werten von bis zu $630 \Omega \cdot m$ (z.B. Profil-m 0+015, 0+160, 0+225), und darunter folgend höher-ohmige Schichten mit maximal $1.100 \Omega \cdot m$ kennzeichnen Profil **KARL 7**¹³.

Die Widerstände in Profil **KARL 8** erreichen Maxima von i.W. $400 \Omega \cdot m$ ¹⁴. Eine Differenzierung zwischen Böden unter ca. $100 \Omega \cdot m$ bzw. über $125...160 \Omega \cdot m$ ist erkennbar. Werte bis $500 \Omega \cdot m$ werden zwischen Profil-m 0+035...0+080 in einer Teufe von ca. 10 m unter OK Gelände erreicht; deren Begrenzung v.a. zum Hangenden ist scharf ausgebildet.

KARL 9 ist durch i.W. Widerstände $< 200 \Omega \cdot m$ gekennzeichnet; oberflächennah sind die geringsten Werte zu verzeichnen. Am Ende des Profils, ab ca. Profil-m 0+160 steigen in einer Tiefe von rund 6...14 m die Werte auf bis $820 \Omega \cdot m$ an; der Kontakt zu Hangenden ist in diesem Bereich scharf ausgeprägt.

¹³ Für das Minimum am tiefsten Punkt auf Höhe Profil-m 0+160 werden Auswirkungen der Datenaufbereitung nicht ausgeschlossen, sodass dieses im Rahmen der Auswertung hier nicht näher berücksichtigt werden soll.

¹⁴ Das bei Profil-m 0+190 erkennbare Maximum von $2.800 \Omega \cdot m$ kann zweifelsfrei auf moderne Einbauten zurückgeführt und daher vernachlässigt werden.

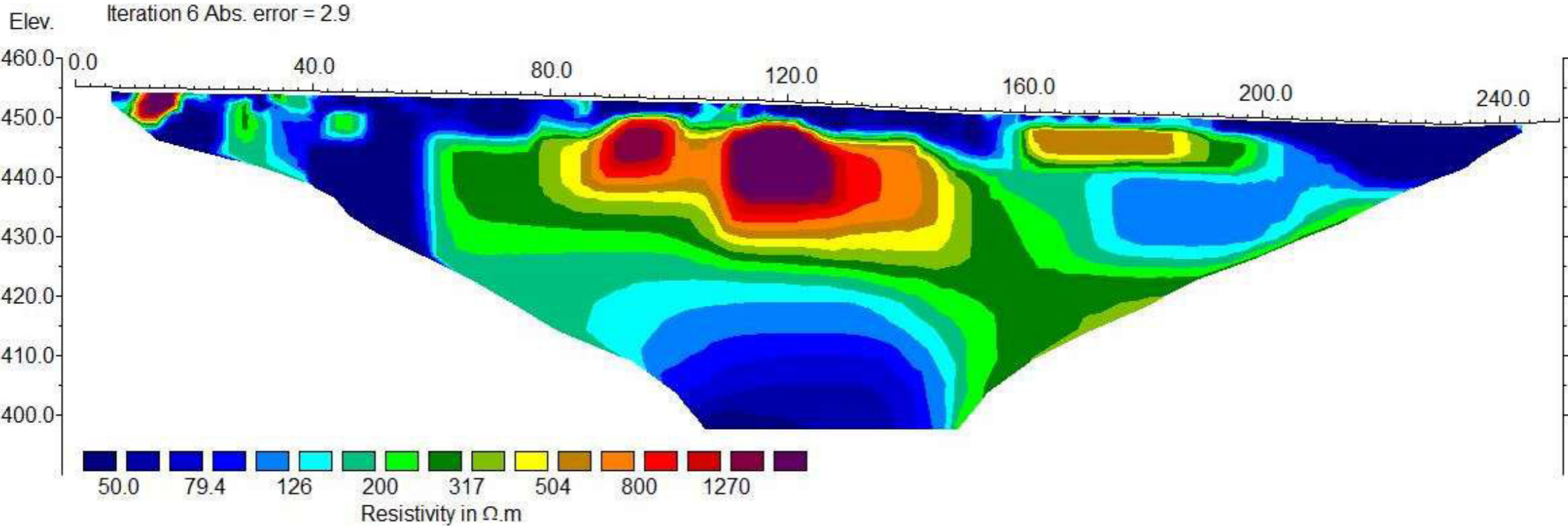


Abbildung 5: Widerstandstomographie Profil KARL 1, Messrichtung von W nach O (vgl. Lageplan der Abbildung 2). Profil nicht überhöht. Logarithmische Skalierung (Faktor 1,26).

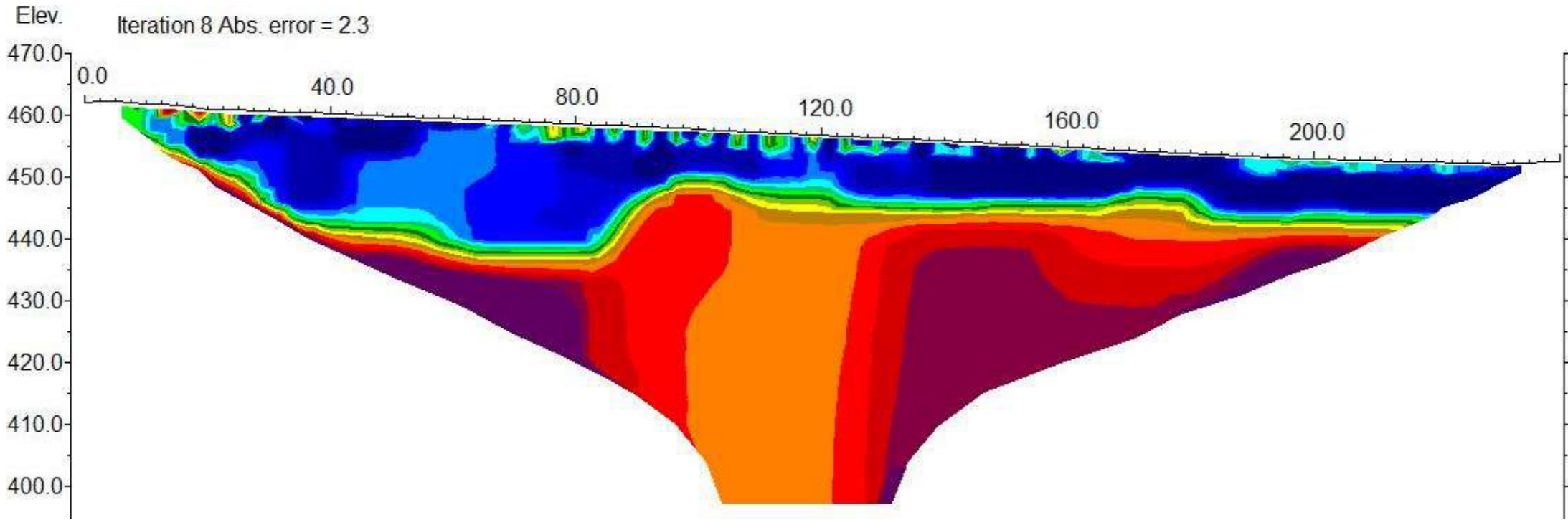


Abbildung 6: Widerstandstomographie Profil KARL 2, Messrichtung von S nach N (a.a.s. Abbildung 5).

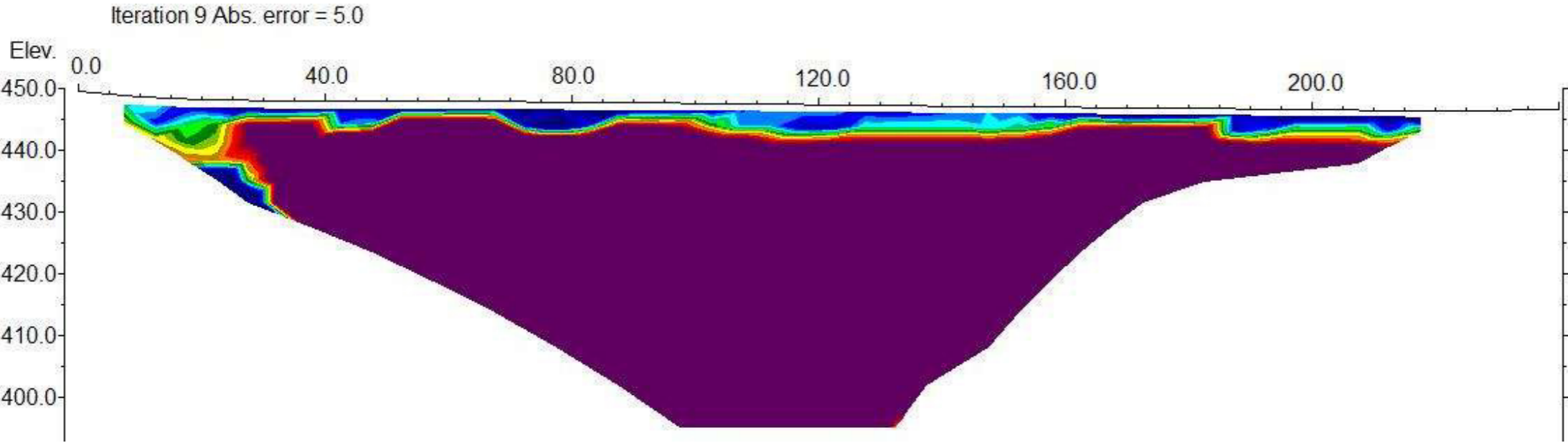


Abbildung 7: Widerstandstomographie Profil KARL 3, Messrichtung von W nach O (a.a.s. Abbildung 5).

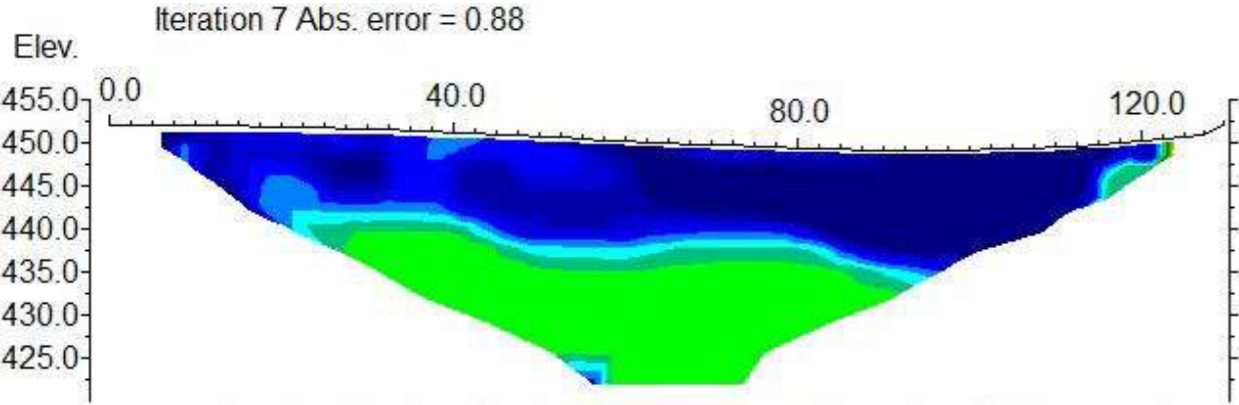


Abbildung 8: Widerstandstomographie Profil KARL 4, Messrichtung von W nach O (a.a.s. Abbildung 5).

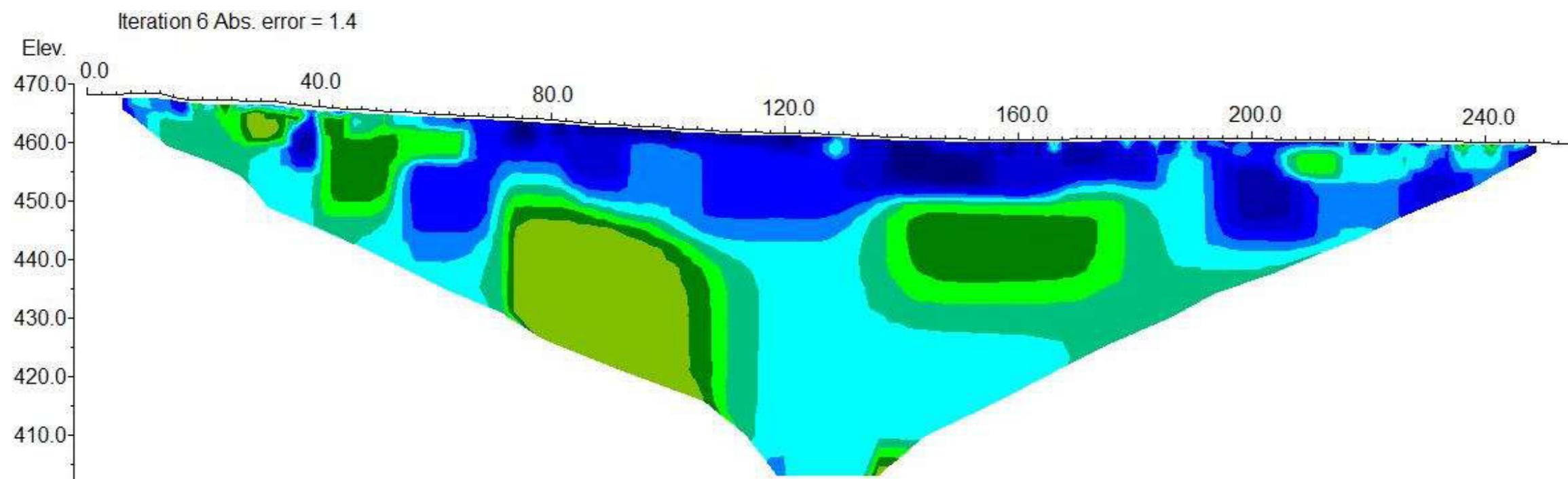


Abbildung 9: Widerstandstomographie Profil KARL 5, Messrichtung SSO-NNW (a.a.s. Abbildung 5).

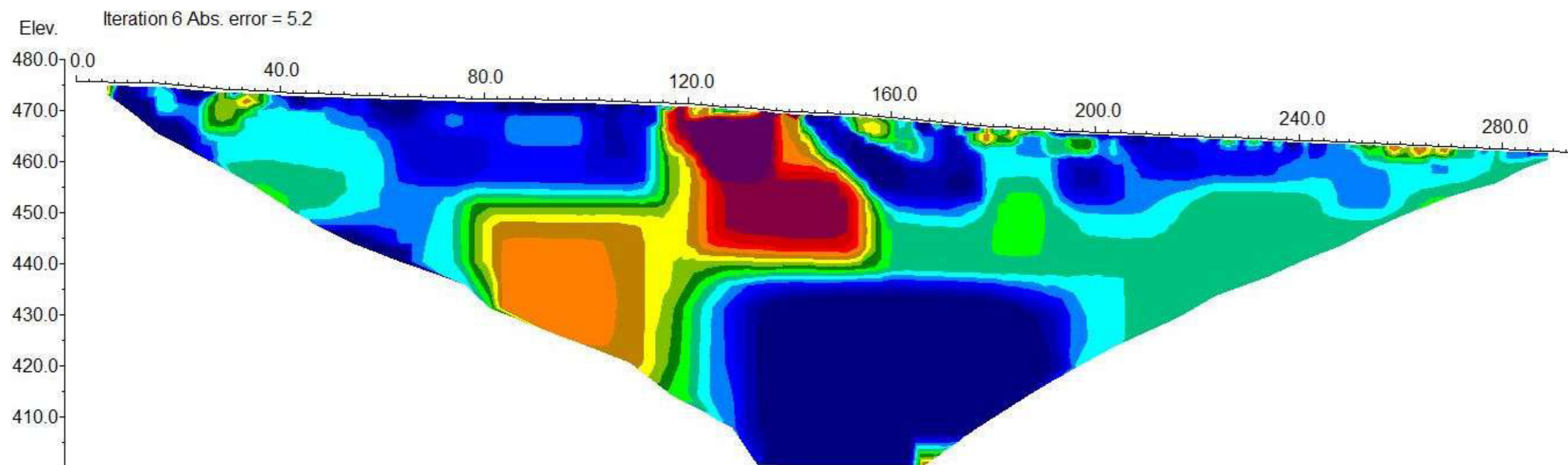


Abbildung 10: Widerstandstomographie Profil KARL 6, Messrichtung SSW-NNW; a.a.s. (Abbildung 5).

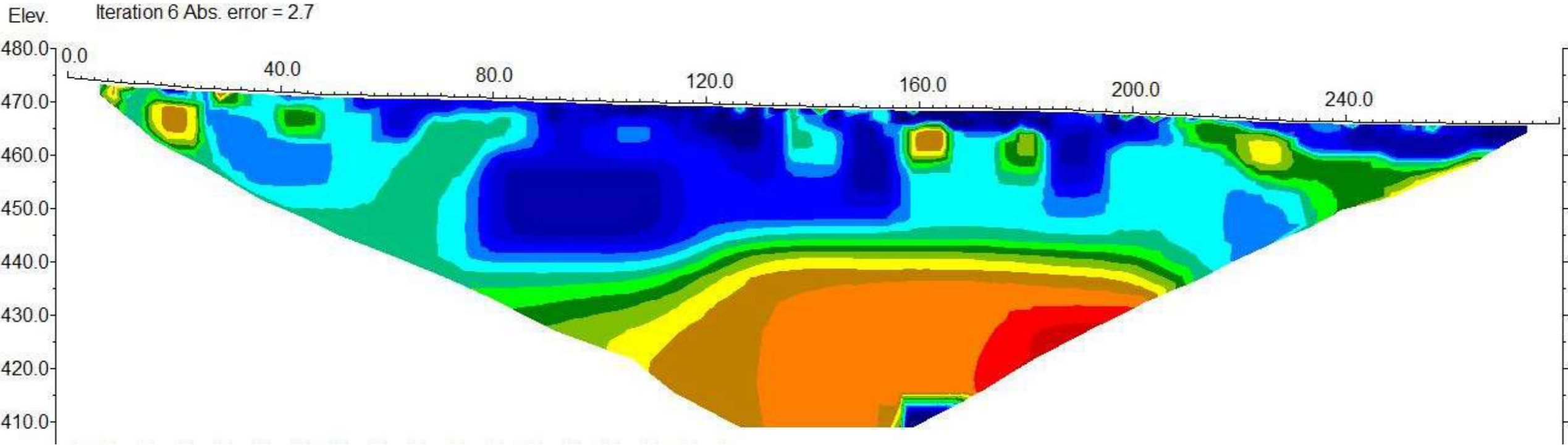


Abbildung 11: Widerstandstomographie Profil KARL 7, Messrichtung von W nach O (a.a.s. Abbildung 5).

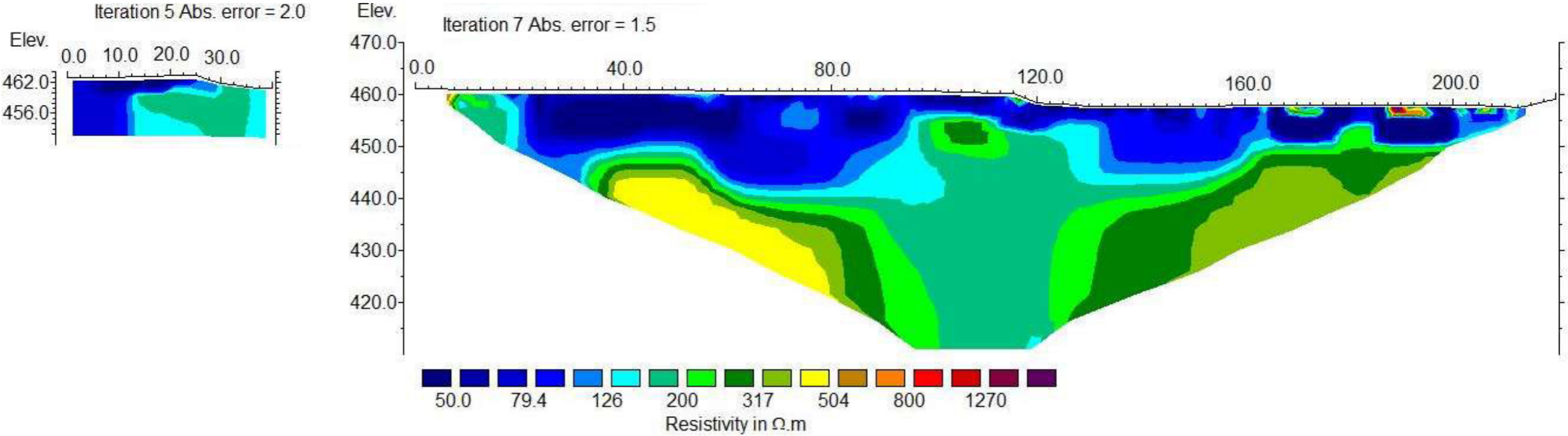


Abbildung 12: Widerstandstomographie Profil KARL8.1 (links) und 8 (rechts), Messrichtung WNW-OSO (a.a.s. Abbildung 5).

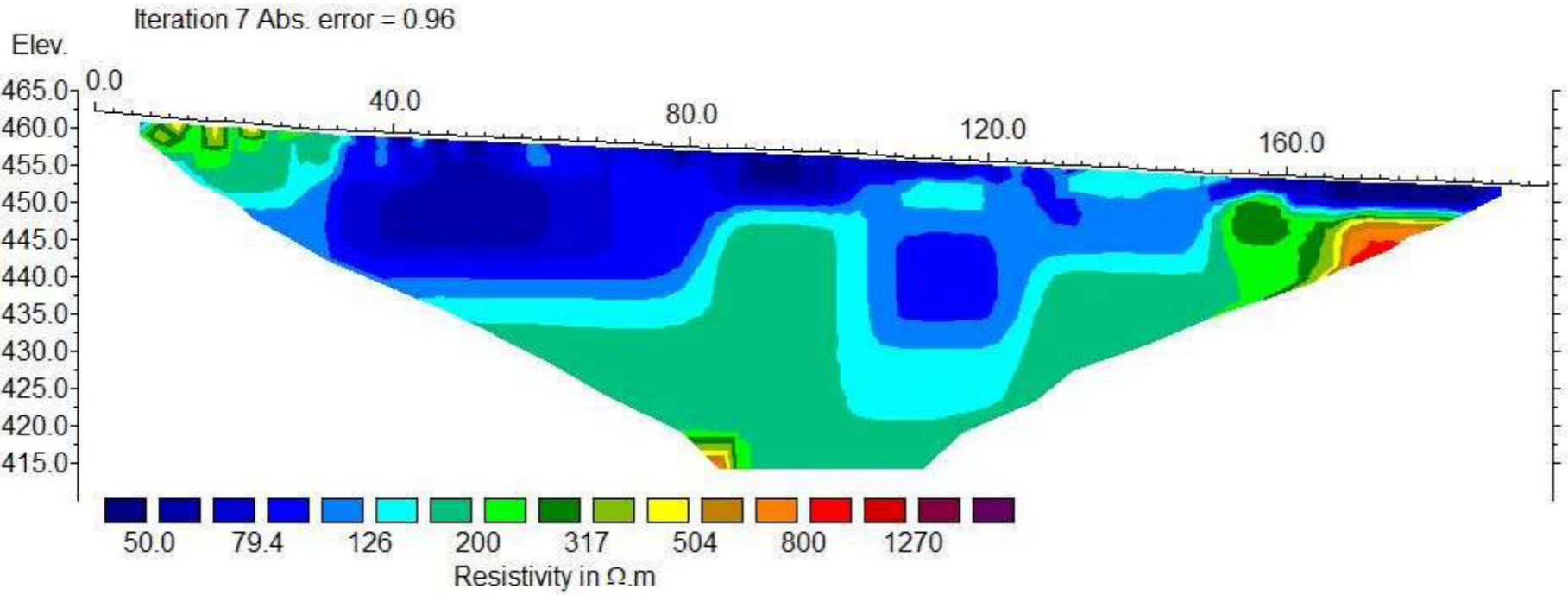


Abbildung 13: Widerstandstomographie Profil KARL 9, Messrichtung WSW-ONO (a.a.s. Abbildung 5).

3.2 Interpretation

Profil **KARL 1** wird, in Übereinstimmung mit den in Kapitel 2 genannten Widerstandswerten, mit bis zu 55...60 m mächtigen kreidezeitlichen und quartären Ablagerungen interpretiert, denen in geringer Teufe Schutt bzw. allochthone Blöcke (?) von Weißjurakarbonaten eingelagert sind; anstehender Weißjura ist nicht abzuleiten (**Abbildung 14**).

Eine Unterscheidung zwischen quartären und oberkretazischen Bildungen allein aufgrund der Widerstände ist grundsätzlich kritisch zu sehen. Gemäß der geologischen Karte verläuft die Grenze zwischen den beiden Einheiten bei ca. Profil-m 0+105.

Für die kleinräumig vorhandenen hohen Widerstandsanomalien am Beginn des Profils kann aufgrund der Nähe zum umzäunten Regenrückhaltebecken ein moderner Ursprung (Leitungen, Metallzaun o.ä.) nicht ausgeschlossen werden.

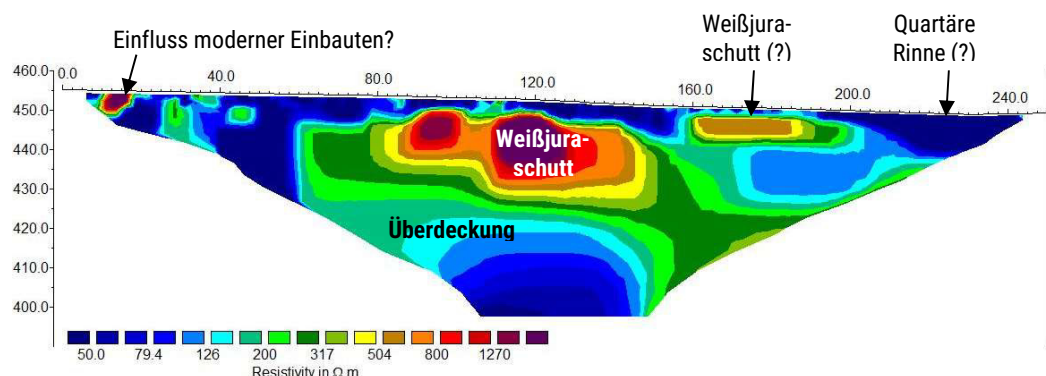


Abbildung 14: Widerstandsprofil KARL 1 mit interpretierten Großeinheiten. Aufnahme-richtung West → Ost. (vgl. Lageplan der Abbildung 2). Profil nicht überhöht. Logarithmische Skalierung (Faktor 1,26). Größere Darstellung s. Abbildung 5. Erläuterungen im Text.

In guter Übereinstimmung sowohl mit der geologischen Karte als auch dem Befund der 17 m westlich des nördlichen Profildendes gelegenen Bohrung KB-2024-3 werden die oberflächennahen niedrig-ohmigen Böden des Profils **KARL 2** den (quartären) Deckschichten zugerechnet, die den anstehenden Weißjura mit scharfem Kontakt und einer Mächtigkeit von bis zu 25 m in der

südlichen Profilhälfte und 7-10 m im Norden überlagern. Die OK Weißjura kommt entsprechend auf ca. 438-455 m ü. NN zu liegen (**Abbildung 15**).

Steil stehende Trennflächen im Umfeld von Profil-m 0+110 m sind nicht auszuschließen.

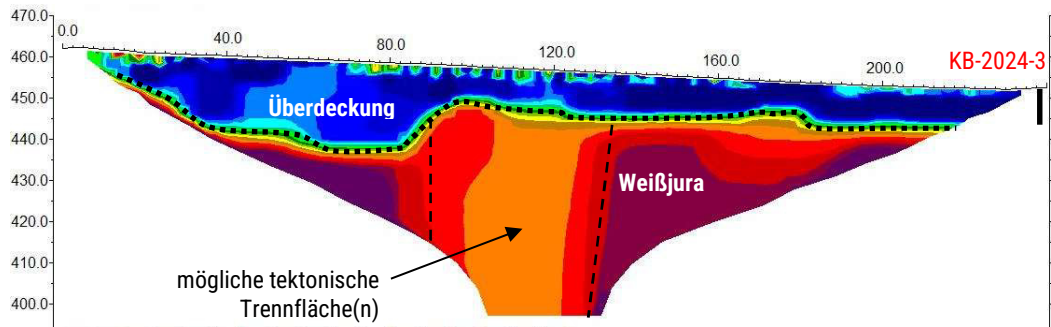


Abbildung 15: Widerstandsprofil KARL 2 mit interpretierten Groseinheiten. Aufnahmeorientierung Süd → Nord. Bohrung KB-2024-3 ca. 17 m westlich der Profillinie auf Höhe Profil-m 0+238 (Weißjura ab ca. 8,3 m unter OK Gelände). A.a.s. Abbildung 14

Gemäß der geologischen Karte sind über die gesamte Profillänge von **KARL 3** aushaltend quartäre Ablagerungen zu erwarten. Der wenige Meter nördlich des Messprofils am Hang anstehende Dolomit lässt auch für KARL 3 Fels in geringer Teufe vermuten. Die Ergebnisse der Geoelektrik lassen sich mit der beschriebenen geologischen Situation sehr gut korrelieren; die OK Fels kommt auf 440-445 m ü. NN zu liegen (**Abbildung 16**).

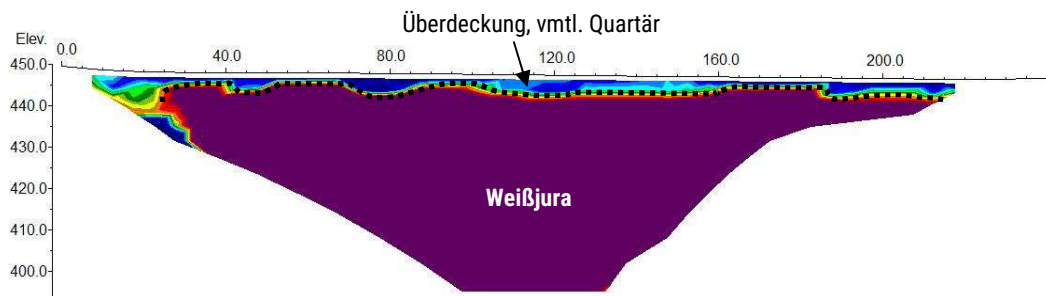


Abbildung 16: Widerstandsprofil KARL 3 mit interpretierten Groseinheiten. Aufnahmeorientierung West → Ost. A.a.s. Abbildung 14.

Das Fehlen hoch-ohmiger Böden wie etwa in den Profilen KARL 2 f. weist für Profil **KARL 4** auf eine OK Weißjura unterhalb der maximalen Erkundungstiefe bzw. in mehr als 30 m unter OK Gelände hin (**Abbildung 17**). In der geologischen Karte sind i.W. quartäre Ablagerungen ausgehalten; eine Korrelation der Widerstandsbereiche zwischen 9-15 m unter OK Gelände i.S. der Grenze zwischen Quartär und Oberkreide erscheint aufgrund der hohen Mächtigkeit des Quartärs zweifelhaft.

Das Widerstandsmaximum am Geländeanstieg am östlichen Ende wird auf den dort zu erwartenden, im geoelektrischen Profil jedoch nicht hinreichend erfassten anstehenden Weißjura und/oder Schüttungen im Zusammenhang mit dem dort verlaufenden Wirtschaftsweg zurückgeführt.

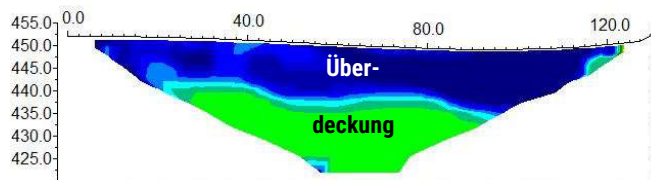


Abbildung 17: Widerstandsprofil KARL 4 mit interpretierten Großeinheiten. Aufnahmeorientierung West → Ost. A.a.s. Abbildung 14.

Die Schichtenfolge in Profil **KARL 5** wird mit bis zu 60 m mächtigen Überdeckungen interpretiert (**Abbildung 18**). Die bei Profil-m 0+090 niedergebrachte Bohrung KB-2024-2 traf bis auf Endteufe auf 10 m unter OK Gelände (451 m ü. NN) Oberkreide an.

Die OK Weißjura wird mit < 400 m ü. NN angenommen. Im direkten Vergleich mit Profil KARL 6 (s. dort) wird allerdings nicht ausgeschlossen, dass der steil stehende Wechsel der Widerstände zwischen ca. Profil-m 0+075 und 0+105 auf tektonische Trennflächen und Weißjurarelikte zurückzuführen ist.

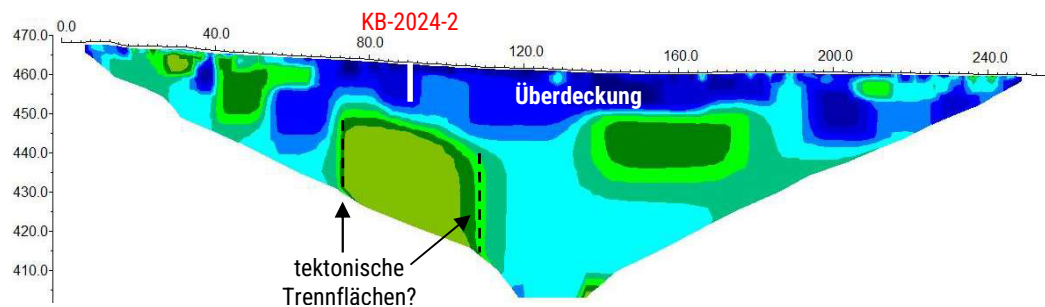


Abbildung 18: Widerstandsprofil KARL 5 mit interpretierten Groseinheiten. Aufnahme­richtung Süd → Nord. Bohrung KB-2024-2 bei Profil-m 0+089 (Weißjura unterhalb Bohrendteufe 10 m unter OK Gelände). A.a.s. Abbildung 14.

Das Messbild von Profil **KARL 6** wird durch oberflächlich anstehende post-jurassische Überdeckungen erklärt. Der in der geologischen Karte für Profil-m ca. 0+100...0+160 ausgehaltene und auch im Widerstandsprofil nachweisbare Weißjura wird nicht i.S. anstehenden Dolomits gesehen, sondern als verstürzter Block eines durch Erosion/Verkarstung herauspräparierten, ehemals steil aufragenden Felsrelikts. Anstehender Weißjura wäre bei dieser Interpretation nur zwischen Profil-m 0+080...0+110 in ca. 15...20 m unter OK Gelände bzw. auf ca. 450 m ü. NN, sonst in > 60 m Teufe bzw. < 410 m ü. NN zu erwarten (**Abbildung 19**).

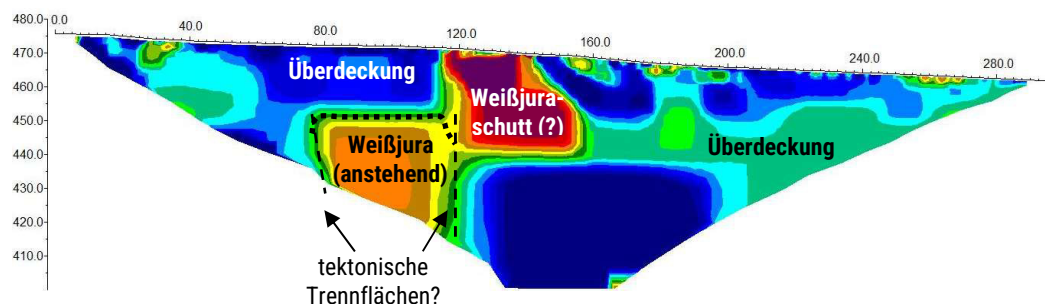


Abbildung 19: Widerstandsprofil KARL 6 mit interpretierten Groseinheiten. Aufnahme­richtung SSW → NNO. A.a.s. Abbildung 14.

Profil **KARL 7** wird i.S.v. mindestens 25 m bis zu > 45 m mächtigen Überdeckungen mit eingeschaltetem Weißjura-Schutt (Blöcke?) interpretiert. Die OK anstehenden Weißjuras wird in

425...445 m ü. NN angenommen; Unsicherheiten ergeben sich aus dem (im Vergleich zu in Profil KARL 2) unscharfem Übergang sowie dem „Abtauchen“ der Weißjura-Oberfläche an den Profilrändern (Abbildung 20).

Zwar lassen sich die scharf gegen das Liegende abgrenzbaren niedrig-ohmigen Böden ab ca. Profil-m 0+230 mit den in der geologischen Karte für diese Abschnitte ausgehaltenen quartären Ablagerungen korrelieren, eine verlässliche Differenzierung innerhalb der Überdeckung ist jedoch allein aufgrund der geoelektrischen Messungen nicht zuverlässig möglich.

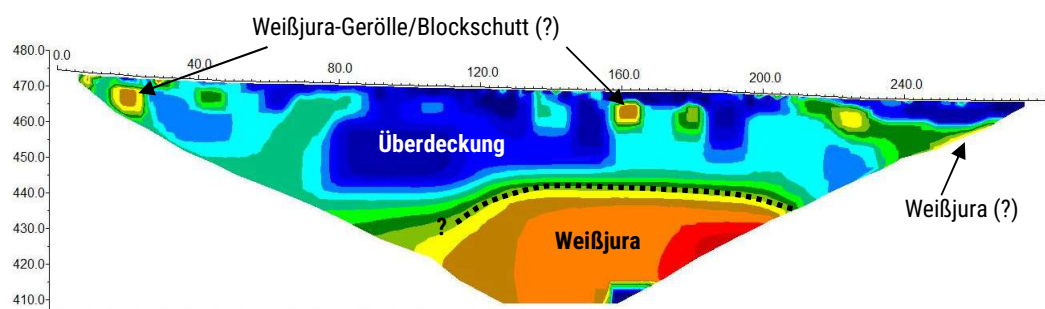


Abbildung 20: Widerstandsprofil KARL 7 mit interpretierten Groseinheiten. Aufnahme­richtung West → Ost. A.a.s. Abbildung 14.

Bei Profil-m 0+140 schneidet KARL 5 die Messbahn von **KARL 8** bzw. kommt Bohrung KB-2024-2 zu liegen. Damit übereinstimmend kann auch der in KARL 8 angetroffene Untergrund mit Oberkreide-Ablagerungen korreliert werden. Die Überdeckungen erreichen eine Mächtigkeit von bis zu ca. 50 m (**Abbildung 21**).

Die OK Weißjura wird auf Teufen < 410 m ü. NN angenommen. Es ist jedoch nicht auszuschließen, dass die zwischen ca. Profil-m 0+035...0+080 in der Tiefe erhöhten Widerstände auf anstehenden (verwitterten?) Weißjura zurückzuführen sind.

Die niedrigen Widerstände des Profils **KARL 8.1** (ebda.) weisen eher auf natürliche Überdeckungen und/oder künstliche Auffüllungen aus Bodenaushub mit Felsanteil denn anstehenden Weißjura als Ursache für den Geländeanstieg hin.

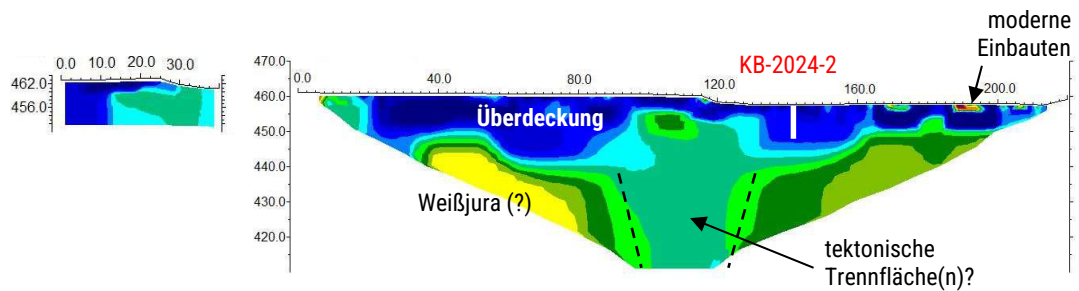


Abbildung 21: Widerstandsprofil KARL 8.1 (links) und KARL 8 (rechts) mit interpretierten Großeinheiten. Aufnahme-richtung WNW → OSO. Bohrung KB-2024-2 bei Profil-m 0+140 (Weißjura unterhalb Bohrendteufe 10 m unter OK Gelände). A.a.s. Abbildung 14.

Die Ergebnisse von Profil **KARL 9** deuten auf eine Mächtigkeit der post-jurassischen Überdeckung von bis zu über 40 m hin; am Profilende reduziert sich diese auf rund 5 m (**Abbildung 22**). Ausweislich der geologischen Karte stehen oberflächlich bis ca. Profil-m 0+160 Oberkreide-, danach quartäre Ablagerungen an.

Die hohen Widerstände am Profilende werden auf anstehenden Weißjura ab einer Teufe von 450...455 m ü. NN zurückgeführt. Diese Ansprache korreliert mit dem Befund des Profils KARL 2 bzw. wird durch die 15 m onö. des Profilendes gelegene Bohrung KB-2024-3 bestätigt.

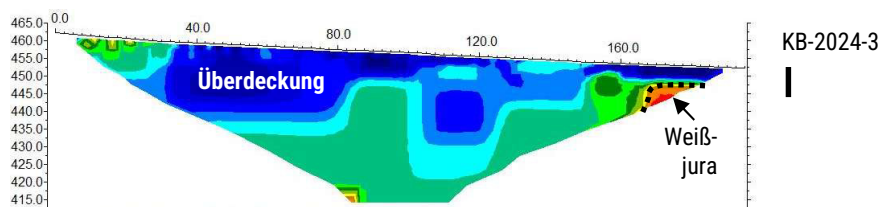


Abbildung 22: Widerstandsprofil KARL 9 mit interpretierten Großeinheiten. Aufnahme-richtung WSW → ONO. Bohrung KB-2024-3 bei Profil-m 0+089 (Weißjura unterhalb Bohrendteufe 10 m unter OK Gelände). A.a.s. Abbildung 14.

4 ZUSAMMENFASSENDE BEWERTUNG

Die Ergebnisse der Widerstandsmessungen zeigen ein ausgeprägtes Relief der Jura-Oberfläche, mit Mächtigkeiten der Deckschichten zwischen < 5 und vermutlich > 65 m. Gesicherter Weißjura tritt nur in den ERT-Profilen KARL 2, 3, 7 und 9 auf; evtl. auch in KARL 8. Auch räumlich nah beieinander liegende Profile lassen dabei deutliche Unterschiede bzgl. der Höhenlage des Weißjura erkennen.

Die in den Bohrungen KB-2024-2 f. angetroffene Schichtenfolge korreliert gut mit den Widerstandsprofilen. Die in KB-2024-1 bis in 12 m unter OK Gelände angetroffenen Kreideablagerungen lassen sich mit den jeweils über 10 m mächtigen Überdeckungen der nahe gelegenen Profile 6 und 8 mit vergleichen.

Steil stehende Kontraste der Widerstände lassen auf die in Kapitel 1.3 geschilderten steilwandigen Karsterscheinungen (z.B. Profil KARL 6), ggf. auch Trennflächen (Störungen, Klüfte etc.; KARL 2) schließen. Die in den Profilen KARL 2, 5 und 6 erkennbaren steil stehenden Elemente können i.S. einer Zone W-O-streichender Trennflächen (Störungszone?) interpretiert werden.

Eine Differenzierung zwischen oberkretazischen und quartären Ablagerungen allein aufgrund der Widerstandsprofile ist nicht zuverlässig möglich, wenngleich die in der geologischen Karte ausgehaltenen Quartärvorkommen zum weit überwiegenden Teil mit niedrig-ohmigen Böden $\rho_s < 100 \Omega \cdot m$ korrelieren.

Die interpretierten Höhenlagen anstehenden Weißjuras bzw. die darauf basierenden überschlägigen Mächtigkeiten der postjurassischen Überdeckungen sind in **Tabelle 2 ff.** dargelegt.

Ein durchgehender Grundwasserspiegel lässt sich aus den Daten nicht ableiten.

Tabelle 2: Interpretierte Tiefenlage der OK Weißjura (in m ü. NN) und überschlägige Mächtigkeiten (in m) der Deckschichten in Profil KARL 1. Profilverlauf s. Abbildung 2, Start-/Endpunkte s. Tabelle 1.

Station	OK Weißjura [m ü. NN]	Geländehöhe [m ü. NN]	Mächtigkeit [m]
0+040	< 439	454	≥ 14
0+080	< 415	454	≥ 39
0+120	< 399	453	≥ 54
0+160	< 408	451	≥ 43
0+200	< 428	451	≥ 22
0+240	< 445	451	≥ 5

Tabelle 3: Interpretierte Tiefenlage der OK Weißjura (in m ü. NN) und überschlägige Mächtigkeiten (in m) der Deckschichten in Profil KARL 2. Profilverlauf s. Abbildung 2, Start-/Endpunkte s. Tabelle 1.

Station	OK Weißjura [m ü. NN]	Geländehöhe [m ü. NN]	Mächtigkeit [m]
0+020	453	461	8
0+030	447	461	14
0+40	442	460	18
0+060	438	459	21
0+080	438	458	21
0+090	445	458	13
0+100	450	458	7
0+110	446	457	11
0+120	446	456	10
0+160	445	455	10
0+170	446	454	8
0+180	446	454	8
0+190	442	453	11
0+200	442	453	10

Tabelle 4: Interpretierte Tiefenlage der OK Weißjura (in m ü. NN) und überschlägige Mächtigkeiten (in m) der Deckschichten in Profil KARL 3. Profilverlauf s. Abbildung 2, Start-/Endpunkte s. Tabelle 1.

Station	OK Weißjura [m ü. NN]	Geländehöhe [m ü. NN]	Mächtigkeit [m]
0+020	440	448	8
0+030	446	448	2
0+040	443	448	5
0+045	443	448	5
0+050	446	448	2
0+060	446	448	2
0+080	443	448	5
0+090	445	448	3
0+100	445	448	3
0+110	443	448	5
0+120	442	447	6
0+140	442	447	5
0+160	444	447	3
0+180	444	447	3
0+190	442	447	5
0+200	443	446	4
0+210	442	447	5

Tabelle 5: Interpretierte Tiefenlage der OK Weißjura (in m ü. NN) und überschlägige Mächtigkeiten (in m) der Deckschichten in Profil KARL 4. Profilverlauf s. Abbildung 2, Start-/Endpunkte s. Tabelle 1.

Station	OK Weißjura [m ü. NN]	Geländehöhe [m ü. NN]	Mächtigkeit [m]
0+020	< 442	452	≥ 10
0+040	< 431	451	≥ 20
0+060	< 422	450	≥ 28
0+080	< 427	450	≥ 22
0+100	< 437	449	≥ 12
0+120	< 445	451	≥ 7

Tabelle 6: Interpretierte Tiefenlage der OK Weißjura (in m ü. NN) und überschlägige Mächtigkeiten (in m) der Deckschichten in Profil KARL 5. Profilverlauf s. Abbildung 2, Start-/Endpunkte s. Tabelle 1.

Station	OK Weißjura [m ü. NN]	Geländehöhe [m ü. NN]	Mächtigkeit [m]
0+040	< 443	466	≥ 23
0+080	< 426	464	≥ 38
0+120	< 404	461	≥ 58
0+160	< 418	461	≥ 43
0+200	< 438	461	≥ 23
0+240	< 454	460	≥ 6

Tabelle 7: Interpretierte Tiefenlage der OK Weißjura (in m ü. NN) und überschlägige Mächtigkeiten (in m) der Deckschichten in Profil KARL 6. Profilverlauf s. Abbildung 2, Start-/Endpunkte s. Tabelle 1.

Station	OK Weißjura [m ü. NN]	Geländehöhe [m ü. NN]	Mächtigkeit [m]
0+040	< 451	473	≥ 22
0+060	< 441	473	≥ 32
0+080	450	472	22
0+100	450	472	22
0+115	450	471	22
0+120	< 413	471	≥ 58
0+160	< 401	469	≥ 67
0+200	< 423	466	≥ 43
0+240	< 440	464	≥ 24
0+280	< 455	463	≥ 7

Tabelle 8: Interpretierte Tiefenlage der OK Weißjura (in m ü. NN) und überschlägige Mächtigkeiten (in m) der Deckschichten in Profil KARL 7. Profilverlauf s. Abbildung 2, Start-/Endpunkte s. Tabelle 1. Kursiv: unsicher wegen unscharfer Grenzziehung Weißjura/Überdeckung.

Station	OK Weißjura [m ü. NN]	Geländehöhe [m ü. NN]	Mächtigkeit [m]
0+040	< 451	472	≥ 21
0+080	< 435	471	≥ 36
0+110	430	470	40
0+120	435	470	35
0+130	440	470	30
0+140	442	469	28
0+160	442	469	27
0+180	441	469	28
0+200	438	468	30
0+220	< 441	467	≥ 26
0+240	< 450	466	≥ 16
0+260	< 458	466	≥ 8

Tabelle 9: Interpretierte Tiefenlage der OK Weißjura (in m ü. NN) und überschlägige Mächtigkeiten (in m) der Deckschichten in Profil KARL 8. Profilverlauf s. Abbildung 2, Start-/Endpunkte s. Tabelle 1. Kursiv: Ansprache als Weißjura unsicher.

Station	OK Weißjura [m ü. NN]	Geländehöhe [m ü. NN]	Mächtigkeit [m]
0+020	< 449	461	≥ 12
0+040	445	461	16
0+050	445	461	16
0+060	440	461	21
0+070	437	461	24
0+080	435	461	26
0+100	< 410	461	≥ 51
0+120	< 411	458	≥ 37
0+160	< 431	458	≥ 27
0+200	< 450	458	≥ 8

Tabelle 10: Interpretierte Tiefenlage der OK Weißjura (in m ü. NN) und überschlägige Mächtigkeiten (in m) der Deckschichten in Profil KARL 9. Profilverlauf s. Abbildung 2, Start-/Endpunkte s. Tabelle 1.

Station	OK Weißjura [m ü. NN]	Geländehöhe [m ü. NN]	Mächtigkeit [m]
0+040	< 438	460	≥ 22
0+080	< 419	458	≥ 39
0+100	< 414	457	≥ 43
0+120	< 422	456	≥ 34
0+160	< 438	454	≥ 16
0+165	440	454	14 m
0+170	447	453	6 m
0+180	447	453	6 m

5 SCHLUSSBEMERKUNG

Der vorliegende Bericht umfasst 32 Textseiten einschließlich Deckblatt lt. Inhaltsverzeichnis. Er ist nur in seiner Gesamtheit verbindlich. Jede Vervielfältigung des Berichtes oder von Teilen daraus, analog wie digital, sowie die Weitergabe des Berichtes oder der darin dargelegten Ergebnisse an nicht unmittelbar mit dem Projekt befasste Dritte bedarf der vorherigen schriftlichen Zustimmung des Bearbeiters.

Fürth, 20. Dezember 2024

Dr. Markus Tarasconi, Dipl.-Geol.
Berat. Geowissenschaftler BDG

Anlage 9

Ermittlung Schutzfunktion der Deckschichten nach HÖLTING

Bewertung nach Hölting

Abstand GOK bis Oberkante Malm-Karst
Mittlere Grundwasseroberfläche

10 m
liegt unterhalb

Bewertung der GwÜberdeckung nach dem Konzept von Hölting u.a. (1995)

1. Ermittlung der Punktzahl für den Boden bis 1 m u. GOK

Punktzahl B	(nutzbare Feldkapazität des Bodens):	320	(es wird zu Hälfte Ton+
Faktor W	(Grundwasserneubildung):	0,75	Schluff und Grobsand
Punktzahl S1	(= B x W):	240	angesetzt)

2. Ermittlung der Punktzahl für die einzelnen Gesteinsschichten unterhalb 1 m u. GOK

					Punktzahl S2
Tiefe (m u. GOK)	Mächtigkeit M (m)	Deckschicht	Punktzahl G	G x M	
7,50	6,50	Kreidesedimente	154	1.001	
10,00	9,00	Kreidesedimente	154	1.386	
20,00	19,00	Kreidesedimente	154	2.926	
30,00	29,00	Kreidesedimente	154	4.466	
40,00	39,00	Kreidesedimente	154	6.006	

3. Ermittlung der Gesamtpunktzahl zur Beurteilung der Gesamtschutzfunktion ohne Eingriff

Zuschlag Q	(hängendes GwStockwerk mit Quellen)	0	
Zuschlag D	(artesische Druckverhältnisse)	0	

berücksichtigter Profilbereich (m u. GOK)	7,50 m	10 m	20 m	30 m	40 m
Summe Z (= G x M)	1.001	1.386	2.926	4.466	6.006
Gesamtpunktzahl (= Z x W + Q + D (+ S1))	991	1.280	2.435	3.590	4.745
Einstufung der Gesamtschutzfunktion	gering	mittel	hoch	hoch	sehr hoch
Verweildauer des Sickerwassers in der GwÜberdeckung	mehrere Monate bis ca. 3 Jahre	3 - 10 Jahre	10 - 25 Jahre	10 - 25 Jahre	> 25 Jahre

3. Ermittlung der Gesamtpunktzahl zur Beurteilung der Gesamtschutzfunktion mit Eingriff

berücksichtigter Profilbereich (m u. GOK)	3,0 - 10,0	3,0 - 20,0	3,0 - 30,0	3,0 - 40,0
Summe Z (= G x M)	1.078	2.618	4.158	5.698
Gesamtpunktzahl (= Z x W + Q + D)	809	1.964	3.119	4.274
Einstufung der Gesamtschutzfunktion	gering	mittel	hoch	sehr hoch
Verweildauer des Sickerwassers in der GwÜberdeckung	3 - 10 Jahre	10 - 25 Jahre	10 - 25 Jahre	> 25 Jahre