

Gemeinde Mötzingen

Erschließungsgebiet Röte II & III
71159 Mötzingen

Geotechnische Stellungnahme zum Umgang mit Karsterscheinungen

23.10.2023

RBS-Auftrags-Nr. 820024-034

Die vorliegenden Unterlagen sind unser Eigentum und als solches urheberrechtlich geschützt. Die Veröffentlichung und Vervielfältigung bedarf unserer vorherigen schriftlichen Zustimmung. Wir weisen darauf hin, dass eine Verletzung unseres Urheberrechts zivilrechtliche Schritte bis hin zum Schadensersatzanspruch zur Folge hat.

820024-034 / 23.10.2023

Inhalt

1. Aufgabenstellung	3
2. Verwendete Unterlagen	4
3. Untersuchungsumfang	5
4. Lage und Untersuchungsgebiet	6
5. Geotechnische Vorerkundungen	6
6. Erkundungskampagne 2023	7
6.1 Topografische Analyse	8
6.2 Geophysikalische Untersuchungen	11
6.3 Ergebnisse der Lockergesteins-Sondierungen	15
6.4 Ergebnisse der Festgesteins-Bohrungen	16
7. Geologische Interpretation	17
8. Bautechnische Maßnahmen	19
8.1 Erschließungsbauwerke (Leitungsgräben, Straßen, etc.)	19
8.2 Hochbau	20
9. Sonstiges	23

Verzeichnis der Anlagen

Anlage 1A: Schummerungskarte (DGM Analyse)

Anlage 1B: Setzungsbeträge (DGM Analyse)

Anlage 1C: Hebungs-/Auffüllungsbeträge (DGM Analyse)

Anlage 2: Lageplan mit geophysikalischen Profilschnitten, Anomalien und Bohr-/Sondierpunkten

Anlage 3: Lageplan mit interpretiertem Störungsmuster und Bohr-/Sondierpunkten

Anlage 4: Zwischenergebnisse – Geophysikalische Voruntersuchungen vom 18.11.2022

Anlage 5: Endbericht – Geophysikalische Messkampagne vom 24.04.2023

Anlage 6: Sondierprofil zur geophysikalischen Messkampagne vom 18.11.2022

Anlage 7: Umwelttechnische Untersuchung zur geophysikalischen Messkampagne vom 18.11.2022

Anlage 8: Sondierprofile zur geophysikalischen Messkampagne vom 24.04.2022

Anlage 9A-D: Kernbohrprofile zur geophysikalischen Messkampagne vom 24.04.2022

Anlage 10: Kernbohrprofile entlang Schnittlinie

Anlage 11A-D: Fotodokumentation zu den Kernbohrprofilen

1. Aufgabenstellung

Die Gemeinde Mötzingen plant die Erschließung der Baugebiete „Röte II & III“ im Südwesten von Mötzingen. Im Zuge der weiteren Planung der Infrastruktur (Straßen, Kanal- und Leitungsbau) ergaben sich Hinweise auf signifikante Verkarstungsstrukturen innerhalb des Erschließungsgebiets „Röte III“.

Um die Relevanz der Verkarstungserscheinungen innerhalb der Erschließungsgebiete zu ermitteln und um diese geotechnisch zu bewerten, wurde die vorliegende Stellungnahme erstellt. Mit den Untersuchungen wurde die RBS wave GmbH beauftragt. Der folgende Bericht stellt die Ergebnisse der Untersuchungen dar.

2. Verwendete Unterlagen

- [1] RBS wave GmbH, „Geotechnisches Gutachten - Erschließungsgebiet Röte III,“ RBS wave GmbH, Ettlingen, 2020.
- [2] RBS wave GmbH, „Geotechnisches Gutachten - Erschließungsgebiet Röte II in 71159 Mötzingen,“ 820024-34, Ettlingen, 2020.
- [3] Geologisches Landesamt Baden-Württemberg, „Geologische Karte 1:25000 - Blatt 7818 Nagold,“ Schmidt, M. (1920) mit Nachträgen von Leiber J. und Etzold, A. (1989), Stuttgart, 1989.
- [4] Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (LGRB), „Geologische Karte 1:50.000 (GeoLa GK50),“ Freiburg, 2022.
- [5] Dr. Eisele Ingenieurgesellschaft für Umwelttechnik und Bauwesen mbH, „Bestimmung der Deckschichtenmächtigkeit und Untersuchung der Untergrundverhältnisse im geplanten Baugebiet "Röte I",“ IUB-03-RB-0165, Rottenburg a. Neckar, 2003.
- [6] RBS wave GmbH, „Geotechnisches Gutachten - Erschließungsgebiet Röte III in 71159 Mötzingen,“ 820024-34, Ettlingen, 2020.
- [7] Wisshak, M. & Correa, M. L., „Das Pommerlesloch (7418/1) – Eine bedeutende Schachthöhle im Oberen Muschelkalk bei Mötzingen, Landkreis Böblingen,“ *Beiträge zur Höhlen- und Karstkunde in Südwestdeutschland*, Bd. 40, pp. 24-30, 1998.
- [8] Koch, R., Spitzberg, S. & Ufrecht, W., „Sedimentgeologische, mikrofazielle und mineralogische Untersuchungen zur Verkarstung des Trigonodusdolomits (Oberer Muschelkalk, Rottweil-Formation) in Stuttgart,“ *Geologische Blätter für Nordost-Bayern*, Bd. 65, pp. 131-156, 2015.
- [9] Hangen, H. & Baumbusch, J., „Erdfallüberbrückung mit Geokunststoffen im Netz der Deutschen Bahn,“ *El-Spezial*, Bd. 10, Nr. Tiefbau, p. 5, 2015.
- [10] HLNUG, „Klassifikation von Erdfällen und Senkungsmulden in karstgefährdeten Gebieten Hessens - Empfehlungen zur Abschätzung des geotechnischen Risikos bei Baumaßnahmen,“ *Geologische Abhandlungen Hessen des Hessischen Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG)*, Bd. 115, p. 104, 2005.
- [11] DGGT, Empfehlungen für den Entwurf und die Berechnung von Erdkörpern mit Bewehrungen aus Geokunststoffen (EBGEO), Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V. (Hrsg.): Ernst & Sohn Verlag, 2010.
- [12] LBEG, „Hinweise zur geotechnischen Bewertung und zum Umgang mit Subrosion/Erdfällen,“ Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie Niedersachsen, <https://www.lbeg.niedersachsen.de>, Stand 10/2023.

3. Untersuchungsumfang

Zur Erstellung dieses Berichts wurden folgende Untersuchungen vorgenommen:

- Zielgerichtete geophysikalische Untersuchungen entlang definierter Messprofile (Bericht 18.11.2022 und 12.04.2023)
- Flächenhafte geophysikalische Untersuchungen (Bericht 12.04.2023)
- Erkundungsbohrung in aktiver Karststruktur (15.11.2022)
- Ergänzende Rammkernsondierungen/Rammsondierungen im Bereich signifikanter Karststrukturen (20./21.03.2023) zur Kalibrierung und Verifizierung der Geophysik
- Gewerbliche Kernbohrungen im Bereich besonders signifikanter Karsterscheinungen (22.-25.06.2023)
- Auswertung vorhandener Standortunterlagen (Spezialliteratur, Kartenwerke, etc.)
- Auswertung Digitaler Geländemodelle

4. Lage und Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet befindet sich im Südwesten der Gemeinde Mötzingen. Die geographische, geologische sowie allgemeingültige geotechnische Einordnung der betrachteten Erschließungsfläche „Röte III“ können den Baugrundgutachten [1, 2] vom 03.11.2020 entnommen werden.

5. Geotechnische Vorerkundungen

Eine offizielle geologische Kartierung, welche das Erschließungsgebiet umfasst, erfolgte im Jahr 1920 [3] im Rahmen der Erstellung der Geologischen Karte GK25 (Blatt: 7418 Nagold). Eine Erweiterung dieser Kartierung hierzu erfolgte 1989 durch Leiber und Etzold [3]. Diese eher regionale Kartierung erfolgte anhand zur damaligen Zeit vorhandener Aufschluss- und Bohrdaten sowie auf Basis bedingt aussagekräftiger Lesesteinkartierungen. Festgestellt wurde hierbei eine geologische Zweiteilung des Erschließungsgebietes in einen nördlichen Teil, wobei Tonsteine des Unteren Keupers (Lettenkeupers) über dem hangenden Oberen Muschelkalk (Trigonodusdolomit) anstehen, sowie einen südlichen Teil ohne die benannten Lettenkeuper-Deckschichten. Getrennt werden der südliche und nördliche Teil, entsprechend des Kartenwerks, durch eine von den Autoren interpretierte NW-SE-streichende geologische Störung. Verkarstungserscheinungen treten nach Leiber & Etzold [4] gehäuft über das gesamte östliche Kartenblatt entlang von Waldstücken sowie Talenden und Talsohlen auf. Hinweise auf signifikante Verkarstungszonen im Bereich von „Röte III“ sind hierin nicht ersichtlich.

Im Dezember 2003 wurde weiterhin ein Baugrundgutachten [5] im Zuge der Erschließung des Baugebiets „Röte I“ ca. 500 m südöstlich von „Röte III“ angefertigt. Äquivalent zum Baufeld „Röte III“ erfolgt auch in „Röte I“ laut Karte [3] eine geologische Zweiteilung des Baugebietes durch die südöstliche Verlängerung der kartierten Störung. Weder im Gutachten noch in den zugehörigen Bohrprofilen ergaben sich jedoch konkrete Hinweise auf oder bauliche Einschränkungen durch signifikante Karsterscheinungen, welche, entsprechend mündlicher Rückmeldungen durch die Gemeinde, später auch nicht festgestellt wurden.

Im November 2020 wurde für die beiden Baugebiete „Röte II“ [2] und „Röte III“ [6] geotechnische Erschließungsgutachten angefertigt. Ziel war die geotechnische Bewertung der Erschließungsflächen hinsichtlich Straßen- und Leitungsbau, Massenmanagement sowie Versickerungsbauwerke. Auch hierbei ergaben sich im Zuge des beauftragten Leistungsumfanges keine Hinweise auf signifikante Verkarstungserscheinungen. Auch Aufschlusssondierungen (z.B. DPH2, BS2, KRB VV2) im Bereich später identifizierter Karststrukturen ergaben keine Anhaltspunkte auf etwaige Dolinenfüllungen. Festgestellt wurde im Bereich von „Röte III“ zwar die zuvor schon beschriebene geologische Zweiteilung des Gebietes, jedoch erfolgt die lithologische Abgrenzung entgegen den Angaben der geologischen Karte [3] nicht entlang der vermuteten Störung, sondern ca. 100 m weiter nördlich. Im Gebiet von „Röte II“ wurde entgegen den Angaben der geologischen Karte sogar die komplette Abwesenheit der Keuper-Deckschichten nördlich der vermuteten Störung festgestellt, was sich wieder mit den Beobachtungen in „Röte I“ deckt [5].

820024-034 / 23.10.2023

Im Zuge der weiteren Erschließungsplanung der RBS wave GmbH wurde fortführend und basierend auf den bis dahin erhobenen geologischen Daten, ein geologisches 3D-Modell zur Abschätzung der Aushubmassen angefertigt. In diesem Zusammenhang erfolgte eine Verfeinerung des Modells mittels topografischer Auswertung digitaler Geländemodelle. Im Rahmen der topografischen Analyse wurden, im Feld auf den ersten Blick nicht direkt ersichtliche, Absenkungsstrukturen (Mulden), welche aufgrund ihrer Form auf Karsterscheinungen hindeuten, im Bereich von „Röte III“ festgestellt. Parallel wurden spezielle Datenbanken (z.B. Ingenieurgeologische Gefahrenhinweiskarte, historische Luftbilder) und übergreifende geologische Sekundärliteratur zu regionalen Karsterscheinungen bemüht.

Zur Verifizierung der vermuteten Karststrukturen erfolgte am 14.09.2022 ein Ortstermin durch einen Geologen (Dr. Tobias Kling) der RBS wave GmbH. Hierbei konnten einige der abgeleiteten Strukturen bestätigt werden. Auffällig war insbesondere eine Struktur im Osten von „Röte III“. Hierbei handelt es sich um eine ca. 2,5 m x 2,5 m trichterförmige Vertiefung (Tiefe: 0,5 m), wobei Anzeichen für anhaltendes Setzungsverhalten festgestellt wurde.

Die zuvor genannte kleinräumige Vertiefung sowie vier weitere auffällige Muldenstrukturen wurden in Abstimmung mit der Gemeinde mittels geophysikalischer Erkundungsmethoden (Geoelektrik) vom 07.–08.11.2022 durch das Büro Dr. Donié Geo-Consult GmbH entlang vordefinierter Profillinien bis in ca. 10 m u. GOK untersucht. Ergänzend wurde durch die Firma Geotechnik Aalen GmbH am 14.11.2022 eine Rammkernsondierung in der Kleinstruktur abgeteuft. Begleitet wurde Untersuchung vom Landratsamt Böblingen (Hr. Dengler, Abteilung Altlasten) aufgrund eines Altlastenverdachts.

Die Ergebnisse der ersten Untersuchungskampagne wurden am 30.11.2022 im Rathaus Mötzingen durch die RBS wave GmbH der Gemeinde (Herr Bürgermeister M. Hagenlocher, Frau S. Bohn) vorgestellt, mit dem Ergebnis der Notwendigkeit ergänzender und ausführlicher Erkundungsmaßnahmen zur besseren Eingrenzung und Charakterisierung der Verkarstung mit Hinblick auf deren bautechnische Bedeutung. Die Ergebnisse dieser Erkundungsmaßnahmen zusammen mit der ersten, oben genannten geophysikalischen Untersuchungskampagne sind nachfolgend aufgeführt.

6. Erkundungskampagne 2023

In Abstimmung mit dem Auftraggeber fand eine ausführliche Erkundung der Erschließungsflächen statt. Hierfür wurde nachfolgende Herangehensweise gewählt:

- Topografische Analyse verkarstungsgefährdeter Flächenbereiche
- Geophysikalische Untersuchung mit Hinblick auf bautechnisch relevante Schwächezonen
- Kalibrierung und Verifizierung des geophysikalischen Modells durch ergänzende Kleinrammkernsondierungen und Rammsondierungen
- Detailuntersuchung signifikanter geophysikalischer Anomalien durch gewerbliche Kernbohrungen

820024-034 / 23.10.2023

- Interpretation der Ergebnisse

Die Methodik und Erkenntnisse aus der Erkundungsmaßnahmen werden nachfolgend zusammenfassend dargestellt.

6.1 Topografische Analyse

Die Topografie bzw. die Geländemorphologie der Betrachtungsbereiche wurde unter Zuhilfenahme eines digitalen Geländemodells (DGM) aus Laserscanbefliegungsdaten des Landesamts für Geoinformation und Landesentwicklung (LGL) des Landes Baden-Württembergs mit der Auflösung von 1 m x 1 m genauer betrachtet. Verwendet wurden hierfür DGM-ALS1-Daten (Höhengenauigkeit ± 20 cm) basierend auf einer Befliegung vom 19.01.2003 sowie DGM-ALS2-Daten (Höhengenauigkeit ± 15 cm), welche sich aus zwei Befliegungskampagnen vom 30.03.2019 und 16.01.2020 zusammensetzen. Untersucht wurden geomorphologische Auffälligkeiten sowie mögliche Hebungs- und Setzungsbereiche unter Verwendung des Geoinformationssystem ArcGIS Pro 3.0.1 der Firma ESRI Inc.

Geomorphologische Auffälligkeiten wurden mittels Schummerungsanalyse bestimmt (vgl. Anlage 1A). Mit Hilfe der Funktion "Geschummertes Relief" ist in ArcGIS eine quasi-3D Visualisierung des Terrains unter Berücksichtigung der Position der Beleuchtungsquelle und Schatten möglich. In Mötzingen wurde hierbei zur besseren Sichtbarmachung der Strukturen weiterhin ein Korrektur-/Überhöhungsfaktor angewandt, sodass die dargestellten Strukturen im Vergleich zur Realität übertieft bzw. überhöht wirken. Erkennbar sind zwei Geländesprünge (weiße Linien) in Röte III, wobei nördlich des südlichen Geländesprungs noch Reste der Erfurt-Formation (Lettenkeuper) über den Muschelkalkgesteinen anstehen. Die Ergebnisse topografischen Analyse zeigen weiterhin das Vorhandensein von sechs Muldenstrukturen im zentralen Bereich von Röte III, welche allesamt zwischen dem südlichen Geländesprung und einer kartierten Störung [3] liegen. Eine weitere Muldenstruktur wurde im Süden von Röte III festgestellt. Im Bereich von Röte II ergeben sich keine Hinweise auf signifikante Muldenstrukturen.

820024-034 / 23.10.2023

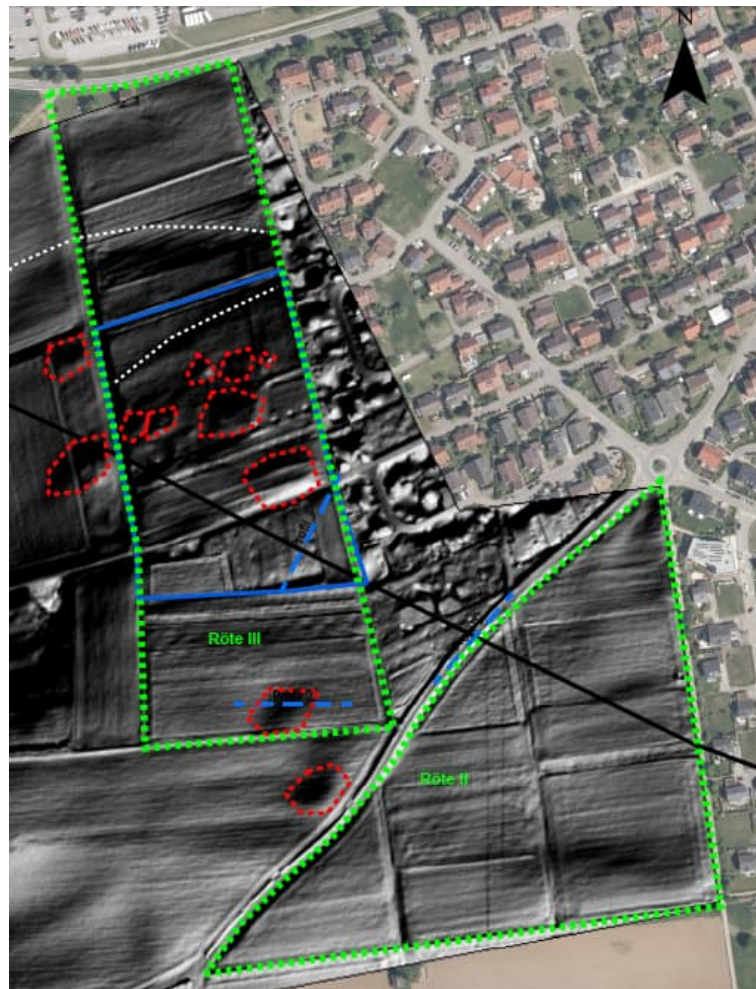


Abbildung 1: Reliefanalyse mittels Schummerung basierend auf DGM-ALS2. (Linien: rot = Muldenstrukturen, grün = Abgrenzung Erschließungsgebiete, weiß = Geländesprünge, schwarz = kartierte Störung, blau = Untersuchungsbereich Geophysik (Detailansicht siehe Anlage 1A))

Weiterhin betrachtet wurden mögliche Setzungsprozesse im Bereich der vermuteten Karststrukturen. Hierfür wurde mittels ArcGIS eine Differenzdarstellung der Geländemodelle zwischen 2003 und 2019/2020 ermittelt (d.h. DGM-ALS1 minus DGM-ALS2). Betrachtet wurden insbesondere Setzungsbeträge >10 cm (Anlage 1B). Setzungsbeträge <10 cm konnten überwiegend dem „Rauschen“ durch die Standardabweichung der Messmethoden und unterschiedlichen Vegetationshöhen sowie dem Zustand der Ackerkrume zum Zeitpunkt der Messungen zugeordnet werden. Für die topografisch erkennbaren Muldenstrukturen innerhalb der Erschließungsflächen (Anlage 1A) ergab sich hierbei lediglich für eine schon im Feld als aktiv festgestellte kleinräumige Vertiefung (vgl. Kapitel 5) ein Setzungsbetrag von ca. 27 cm (Pixel in Schaubild überdeckt durch Bohrpunkt), wobei auch Ungenauigkeiten durch die Standardabweichung der Messmethoden zu berücksichtigen sind und anthropogen bedingte Geländeangleichung in den Jahren zwischen den Messungen nicht quantifizierbar sind, sodass die tatsächlichen Senkungsraten innerhalb der Struktur deutlich abweichen können. Ein weiterer Verdachtspunkt (Setzungsbeträge bis 17 cm) ergibt sich weiterhin für eine Muldenstruktur südlich der Röte III, welche jedoch keines der beiden Erschließungsgebiete tangiert. Weit verbreitete Setzungsbeträge >10 cm im Bereich von Röte II und zu geringerem Maße im nördlichen Bereich von Röte III sind aufgrund ihrer Diffusität voraussichtlich auf die ackerbauliche Nutzungsart der Flächen zum

820024-034 / 23.10.2023

Zeitpunkt der Messungen zurückzuführen. Weitere signifikante Setzungsverdachtspunkte >10 cm in Anlage 1B im Bereich der angrenzenden Bestandsbebauung oder einem westlich angrenzenden Haufwerk sind auf multiple Faktoren wie Bodenabtrag, Bauwerksänderungen sowie Rendering-Artefakte aus der DGM-Generierung zurückzuführen.



Abbildung 2: Setzungen >10 cm (gelb) bis max. 1,6 m (blau) basierend auf DGM-ALS1 und -ALS2. (Punkte = Sondierpunkte; Linien: rot = Muldenstrukturen, schwarz (gestrichelt) = Abgrenzung Erschließungsgebiete, schwarz = kartierte Störung, blau = Untersuchungsbereich Geophysik) [Detailansicht siehe Anlage 1B]

Außerdem betrachtet wurden etwaige Hebungen im Bereich der vermuteten Karststrukturen. Hebungen sollten zwar untypisch für Karstphänomene sein, können jedoch auch Hinweise auf eine Verfüllung möglicher Muldenstrukturen liefern, welche über die topografische Analyse nicht oder nur eingeschränkt zuordenbar sind. Hierfür wurde mittels ArcGIS eine zusätzliche Differenzdarstellung der Geländemodelle ermittelt (hier: DGM-ALS2 minus DGM-ALS1). Betrachtet wurden insbesondere Hebungen >10 cm (Anlage 1C). Hebungen <10 cm konnten analog zu den Setzungen auch hier überwiegend dem „Rauschen“ zugeordnet werden. Auffällige Geländehebungen wurden lediglich im Zentrum einer topografisch schon festgestellten Senkungsmulde im Einfahrtsbereich zum Unteren Bühlweg festgestellt. Da es sich hierbei um eine landwirtschaftlich genutzte Fläche handelt sind die Hebungen voraussichtlich auf Geländeangleichungen zurückzuführen. Weiteren deutlich erkennbaren Hebungen liegen der Neubau des Feldweges (westlich angrenzend an Röte III), Aufschüt-

820024-034 / 23.10.2023

tungen des Haufwerks südwestlich von Röte III, hausbautechnische Änderungen aber auch wieder Rendering-Artefakte zugrunde.



Abbildung 3: Hebungsbeträge >10 cm (gelb) bis max. 2,7 m (blau) basierend auf DGM-ALS1 und -AIS2. (Punkte = Sondierpunkte; Linien: rot = Muldenstrukturen, schwarz (gestrichelt) = Abgrenzung Erschließungsgebiete, schwarz = kartierte Störung, blau = Untersuchungsbereich Geophysik) [Detailansicht siehe Anlage 1C].

6.2 Geophysikalische Untersuchungen

Zusätzlich zur topografischen Analyse wurde weiterhin der Weg geophysikalischer Untersuchungen gewählt. Ziel der geophysikalischen Untersuchungen war die Feststellung von Schwächezonen bzw. Karstphänomenen in Bereichen des Erschließungsgebiets Röte III, für welche auf Basis der Voruntersuchungen eindeutige Hinweise hinsichtlich einer deutlich erhöhten bautechnischen Relevanz vorlagen. Die geophysikalischen Untersuchungen lassen sich in zwei Kampagnen untergliedern:

Im Rahmen von Kampagne 1 wurden vom 07. bis 08.11.2022 fünf topografisch hervorstechende Muldenstrukturen hinsichtlich ihrer Tiefenausdehnung bis in ca. 10 m u. GOK mittels Geoelektrischer Tomographie untersucht. Die Untersuchungen erfolgten hierbei an vier Muldenstrukturen entlang von Einzelprofilen (P7 bis P10, vgl. Abbildung 4), während im Bereich einer besonders auffälligen (aktiven) kleinräumigen Vertiefung im Nordosten des Untersuchungsgebietes kreuzartig jeweils 3 Profile in NNW-SSE und WSW-ENE ausgewertet wurden. Eine ge-

820024-034 / 23.10.2023

naue Beschreibung der Arbeiten, Methodik und Auswertung kann dem beiliegenden geophysikalischen Schlussbericht (Anlage 4) entnommen werden.

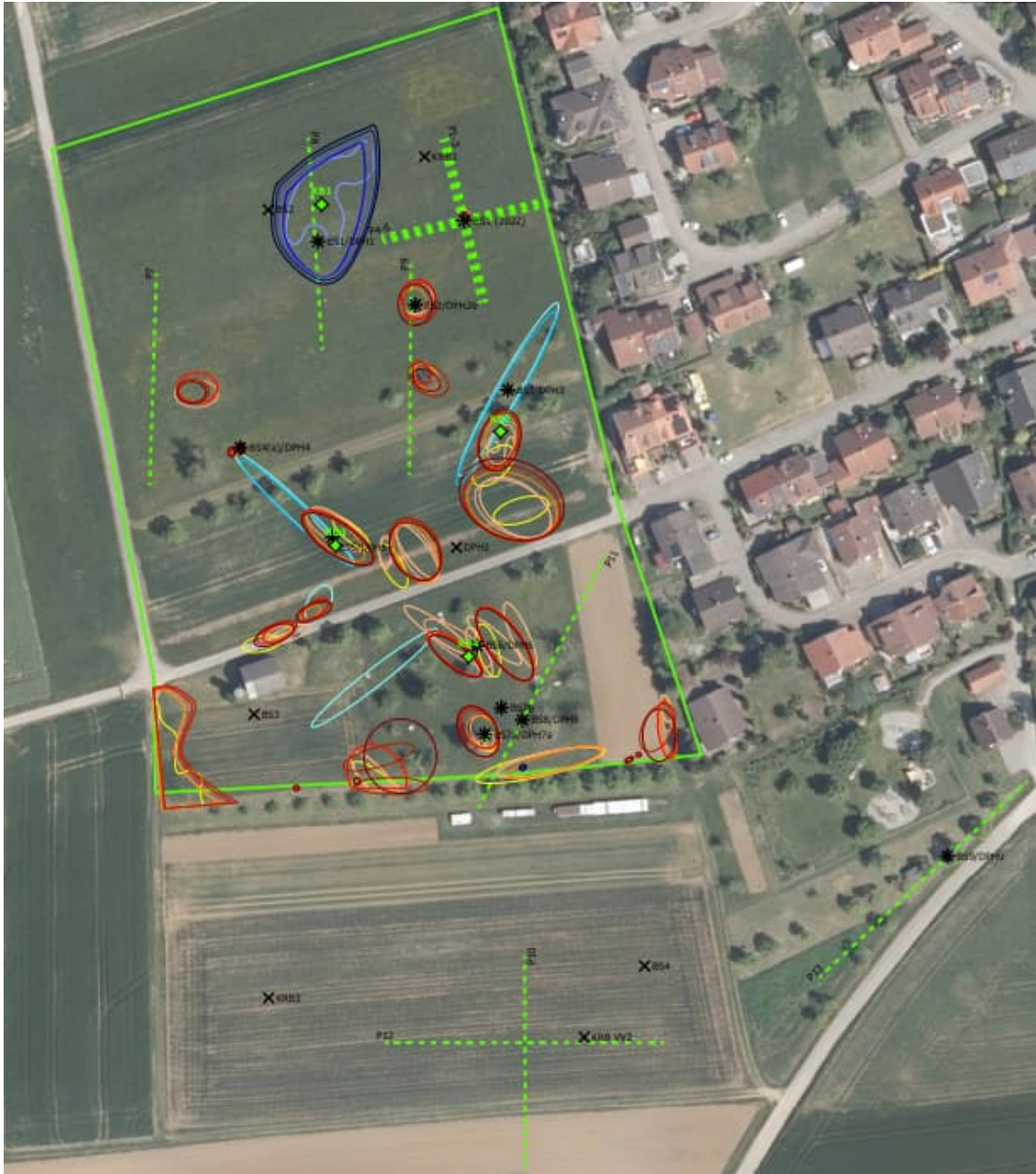


Abbildung 4: Lageplan der geoelektrischen Profile (grüne gestrichelte Linien) und des Bereichs der elektromagnetischen (EM) Kartierung (grüne durchgezogene Linien), der Sondierungspunkte (schwarze Kreuze) sowie der gewerblichen Kernbohrungen (grüne Punkte). Ergänzend sind, auf Grundlage der EM-Kartierung, in roten und blauen Farbtönen Zonen einer möglichen bautechnisch erhöhten Relevanz dargestellt. [Detailansicht siehe Anlage 2, 4 und 5]

Die geophysikalische Kampagne 1 kam zusammengefasst zu folgenden Ergebnissen:

- Bei der Vertiefung, im Zentrum der kreuzförmigen Profilanordnung (P1-6; Abbildung 4), handelt es sich aller Wahrscheinlichkeit um eine Karstschlotte bzw. -Schacht, welche

820024-034 / 23.10.2023

vermutlich im Zusammenhang mit tiefer gelegenen Verkarstungserscheinungen (>8 m u. GOK) steht.

- Im Bereich unterhalb Profil P7 und P8 erhärteten sich die Hinweise möglicher Verkarstungserscheinungen im Untergrund.
- Im Bereich der Profile 9 und 10 konnte kein konkreter Hinweis zur Verkarstung festgestellt werden. Gleichwohl konnte eine Verkarstung (z.B. in größeren Tiefenbereichen) auch nicht gänzlich ausgeschlossen werden.
- Als Folge der Erkenntnisse wurde die dringende Empfehlung einer großflächigen Untersuchung im Bereich von Röte III ausgesprochen.

Auf Basis der vorliegenden Erkenntnisse wurde nachfolgend und in Rücksprache mit der Gemeinde Mötzingen eine zweite geophysikalische Kampagne initiiert. Zusätzlich wurde mit Hr. Dr. Egbert Adam (info@adam-bi.de) ein ausgewiesener Karstfachmann konsultiert. Hierbei fanden vom 14. bis 22.02.2023 ergänzende geophysikalische Untersuchungen im Gebiet von Röte III statt. Ausgeführt wurde eine Elektromagnetische (EM) Flächenkartierung sowie weitere Geoelektrische Tomographien entlang ausgewählter Profillinien. Die Fläche der EM-Kartierung wurde hierbei im Vorhinein mit Herr Dr. Adam abgestimmt und umfasst einen ca. 27.600 m² großen Risikobereich ausgeprägter Verkarstungserscheinungen im näheren Bereich der kartierten Störung. Verkarstungserscheinungen außerhalb dieser Fläche sind, wie in der gesamten Oberen Gäu, zwar generell überall möglich, sollten jedoch entsprechend des tektonischen Settings außerhalb der betrachteten Fläche weniger intensiv ausfallen. Bei der EM-Kartierung werden durch das Anlegen eines elektromagnetischen Feldes die elektrische Leitfähigkeit des Untergrundmaterials bestimmt, um somit Hinweise auf Dichte- oder auch Materialanomalien zu erhalten. Bereiche erhöhter Leitfähigkeiten deuten hierbei auf höhere Ton-/Schluffanteile oder Wassergehalte hin, während geringere Leitfähigkeiten auf Auflockerungsbereiche bzw. erhöhtes Hohl-/Porenraumvolumen hindeuten. In Abbildung 4 sind besonders markante Anomalien im Betrachtungsfeld als blaue (geringere Leitfähigkeiten) und rote (erhöhte Leitfähigkeiten) Umrandungen dargestellt. Die Betrachtungstiefe lag hierbei bei 9 m u. GOK. Die Elektromagnetischen Tomographien wurden analog zur Kampagne 1 durchgeführt. Über ein erzeugtes elektrisches Feld wird hierbei entlang der Profile der elektrische Widerstand (Kehrwert der elektrischen Leitfähigkeit) bestimmt, welcher somit analog zur EM-Kartierung die Detektion von Leitfähigkeitsanomalien ermöglicht. Die Betrachtungstiefe lag hierbei bei ca. 10 bis 15 m u. GOK. Zwei der gewählten Profile (P11 & P13, Abbildung 4) wurden hierbei senkrecht zur vermuteten Verwerfung gelegt, um diese zu lokalisieren. Das Profil P12 wurde ergänzend zu Kampagne 1 senkrecht zur schon vorhandenen Profillinie P10 innerhalb der Karststruktur südlich der EM-Kartierung gelegt. Eine genaue Beschreibung der Arbeiten, Methodik und Auswertung kann dem beiliegenden geophysikalischen Schlussbericht (Anlage 5) entnommen werden.

820024-034 / 23.10.2023

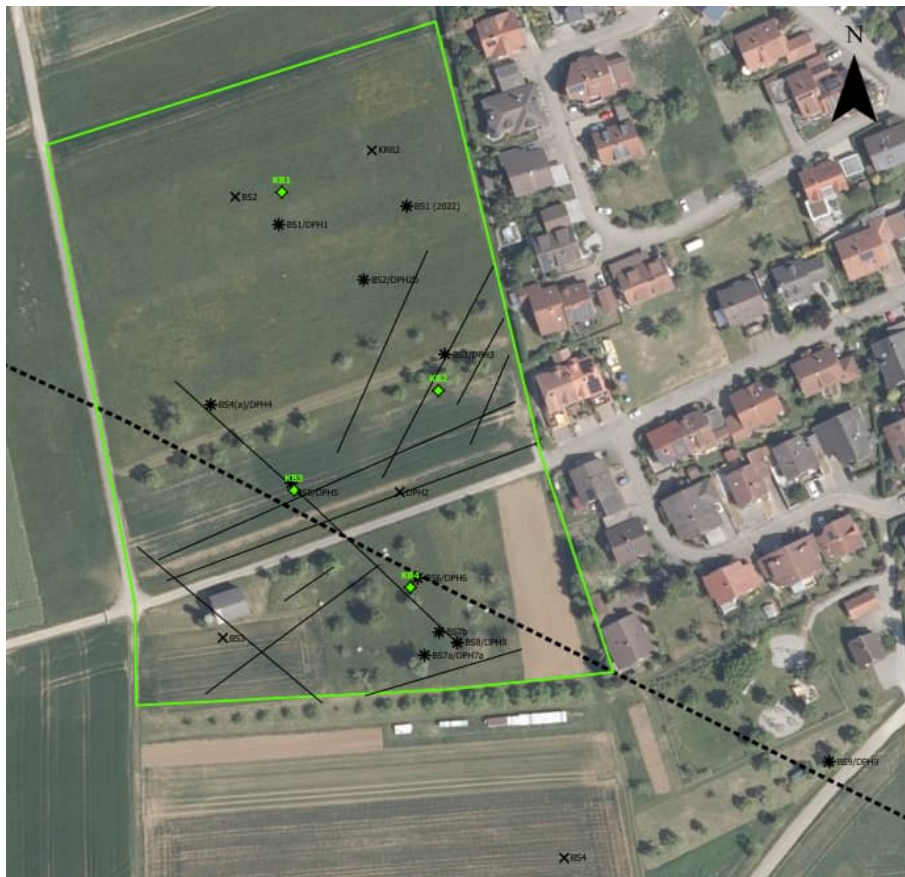


Abbildung 5: Lageplan der interpretierten tektonischen Strukturen (schwarze durchgezogene Linien) und der ursprünglich kartierten Verwerfung (schwarze gestrichelte Linien). [Detailansicht siehe Anlage 3 und 5]

Die geophysikalische Kampagne 2 kam zusammengefasst zu folgenden Ergebnissen:

- Die EM-Kartierung im nördlichen Untersuchungsfeld weist den Ausbiss des Lettenkeuper nach. Südlich des Übergangs stehen unter den Deckschichten die Gesteine des Muschelkalks an (siehe Anlage 5, Seite 21).
- Leitfähigkeitsmaxima über mehrere Tiefenniveaus (Abbildung 4) weisen auf Bereiche mit erhöhten Ton-/Schluffanteilen und/oder Wassergehalten hin, welche wiederum auf eine Verfüllung mit Deckschichten oder Verwitterungsprodukten des Festgesteins (z.B. in Dolinen oder Karstschlotten), eine lokal tiefgreifende Verwitterung oder Auflockerungszonen mit einer feinkörnigen Matrix hindeuten.
- Lineamentartige (ellipsenförmige) Leitfähigkeitsminima in eher größeren Tiefenbereichen (vgl. Abbildung 4) deuten auf markante tektonische Strukturen ohne tonige Trennflächenbeläge hin. Festgestellt wurde hierbei eine komplexe Verwerfungszone (mit parallelen und antithetischen Bruchmustern) innerhalb des Untersuchungsgebietes mit einem leicht abweichenden Verlauf im Vergleich zur geologischen Karte (Abbildung 5).
- Kreisrunde Leitfähigkeitsminima über mehrere Tiefenbereich im nördlichen Betrachtungsgebiet ergaben Hinweise auf eine Auflockerungsphänomen dem keine tektonische Struktur zuordenbar war, sodass weitere Erkundungsmaßnahmen in Form von Bohrungen (Kapitel 6.3 und 6.4) empfohlen wurden.

820024-034 / 23.10.2023

- Als Folge der geophysikalischen Erkenntnisse wurde die dringende Empfehlung weiterer direkter Aufschlüsse zur Charakterisierung der Anomalien ausgesprochen.

Ergänzend sei angemerkt, dass nicht jedem der auf Abbildung 4 verorteten Anomalien auch tatsächlich ein Karstphänomen zugrunde liegen muss. Vor allem kleine, weniger tiefe Anomalien können ggf. auch auf anthropogene Eingriffe (z.B. Verfüllungen von Aufgrabungen) oder sonstige Störkörper zurückzuführen sein. Lokale Abweichungen von der in Abbildung 4 und Abbildung 5 dargestellten Situation können daher und auch aufgrund einer physikalisch bedingten Messungenauigkeit generell nicht ausgeschlossen werden.

6.3 Ergebnisse der Lockergesteins-Sondierungen

Zur Kalibrierung und Verifizierung der geophysikalischen Untersuchungen wurden im Zuge von Kampagne 1 am 14.11.2022 eine Rammkernsondierung (BS1-2022) und in Folge von Kampagne 2 am 20.03.2023 zehn Rammkernsondierungen (BS1 bis BS9, BS4a) sowie neun schwere Rammsondierungen (DPH1 bis DPH9) durch die Geotechnik Aalen GmbH abgeteuft. Die genaue Lage der Bohrungen ist in Abbildung 4 oder Abbildung 5 (bzw. den entsprechenden Anhängen) durch Asterisk-Symbole mit entsprechender Beschriftung verortet. Alle Sondierungen befinden sich im Bereich zuvor interpretierte Strukturen, welche auf Karstphänomene hindeuteten.

Die Rammkernsondierungen BS3, BS5, BS6, BS8 und BS9 mitsamt zugehöriger DPH wurden im Bereich vermuteter Störungszonen abgeteuft und kamen allesamt zwischen 2 und 2,5 m u. GOK zum Erliegen, wobei die Oberkante des Verwitterungshorizonts der angrenzenden Muschelkalkgesteine (Trigonodusdolomit) erreicht wurde. Die Deckschichtmächtigkeiten spiegeln hier das Schichtmodell, welches abseits von Verkarstungsstrukturen über weite Teile der südlichen Röte III und Röte II zu erwarten ist, wider. Hinweise auf eine besondere oberflächennahe Entfestigung entlang dieser „Schwächezonen“ konnten somit nicht festgestellt werden.

Etwas größere Tiefen erreichten die Sondierungen BS2/DPH2 (ca. 4,3 m u. GOK) und BS7/DPH7 (ca. 3,0 m u. GOK). Entsprechend der geophysikalischen Befunde werden hier größere Karststrukturen vermutet, welche somit in der Vergangenheit auch signifikante Setzungen erfuhren, welche anschließend wieder mit Sediment gefüllt wurden. Da die Muldenstruktur der Sondierung BS2 im Feld noch erkennbar ist und in den ersten 1,0 m Auffüllungen angetroffen wurden, steht die Vermutung nahe, dass es sich im Vergleich zum Erkundungsbereich BS7 um ein (auf geologischer Zeitskala) eher jüngeres Karstphänomen handelt. In BS7 wurden weder Auffüllungen angetroffen, noch ist eine Muldenstruktur im Feld und Digitalen Geländemodell ersichtlich. Die Verfüllung und der Geländeausgleich in dieser Karststruktur erscheinen somit abgeschlossen.

Die Sondierung BS1-2022 wurde innerhalb einer vermuteten Karstschlotte abgeteuft. Erreicht wurde hierbei eine Endteufe von 8 m u. GOK. Ein weiterer Bohrfortschritt war aufgrund geräte-technischer Einschränkung nicht möglich. Aufgeschlossen wurden ab 2 m u. GOK überwiegend feinsandige Schluffe und Tone, deren Konsistenz mit zunehmender Tiefe von steif-halbfest bis

820024-034 / 23.10.2023

weich abnimmt. Während es sich bei den beigen weichen Schluffen ab 5 m u. GOK vermutlich um Verwitterungsmaterial des anstehenden Muschelkalks handelt, können für die bindigen Böden zwischen 1,9 und 5,0 m u. GOK die Deckschichten als Ursprung angenommen werden. Bis 1,9 m u. GOK wurden Auffüllungen mit Ziegel-, Inkohlungs- und Betonresten angetroffen, mit welchen die Senkungsmulde in der Vergangenheit verfüllt wurde. Die Bohrung wurde daher durch das LRA Böblingen (Hr. Dengler, Abteilung Altlasten) überwacht. Eine konkrete Altlast konnte nicht bestätigt werden. Jedoch besteht voraussichtlich aufgrund erhöhter PAK-Werte eine erhöhte Entsorgungsrelevanz (>Z2, DK1).

Ähnliche Sondiertiefen wurden auch im Zuge von BS4a/DPH4 festgestellt. Angebohrt wurde hierbei eine Struktur, welche laut EM-Kartierung der in BS1-2022-zugehörigen kleinräumigen Struktur ähnelt. Einen halben Meter neben BS4a (6,0 m u. GOK) musste ein Erstversuch (BS4) schon bei 3,7 m aufgrund fehlenden Bohrfortschritts abgebrochen werden. Die zugehörige DPH erreichte eine Endteufe von 8,3 m u. GOK. Aufgeschlossen in der vermuteten Karstschlotte wurden bis 1,3 m u. GOK, wie in BS1-2022, Auffüllungen mit Ziegel- und Inkohlungsresten, gefolgt von halbfesten bis steifen Schluffen und Tonen. Im Gegensatz zu BS1-2022 nahm die Konsistenz mit zunehmender Tiefe nicht ab, auch gab es keine Hinweise auf aktive Setzung.

Zur Bewertung der Sondierungen BS1 und DPH1 mit Blick auf die zugrundeliegende geophysikalische Anomalie wird auf die entsprechende gewerbliche Kernbohrung in Kapitel 6.4 verwiesen.

6.4 Ergebnisse der Festgesteins-Bohrungen

Ergänzend zu den Lockergesteins-Sondierungen, welche Aufschluss hinsichtlich baurelevanter Bodenverhältnisse (z.B. Konsistenz und Verdichtungsgrad, Feststellung Felsoberkant) zulassen, wurden weiterhin vier Gewerbliche Kernbohrungen durch die Hettmannsperger Bohrgesellschaft mbH abgeteuft. Ziel war hierbei die Gewinnung von intakten Festgesteinsproben, um signifikante und tiefgreifende geophysikalische Anomalien eindeutig einer geologischen Ursache bzw. einem Verkarstungsphänomen zuordnen zu können. In allen vier Bohrungen wurden unter den Lockergesteinsdeckschichten der Trigonodusdolomit ([moD], auch Rottweil-Formation) des Oberen Muschelkalks [mo] bis zum Oberkantenbereich der liegenden Nodosusschichten ([moM], auch Meißner-Formation) durchteuft. Der Grenzbereich Trigonodusdolomit–Nodosusschichten als Zielteufe wurde gewählt, da entsprechend den vorliegenden Literaturhinweisen [7, 8] in diesem Bereich ein erhöhtes Potential hinsichtlich lösungsbedingter Karsthohlräume zu erwarten ist.

Bohrung KB1 (Anlage 9b & 11b) wurde im nördlichen Betrachtungsgebiet innerhalb der auffälligen und tiefgründigen geophysikalischen Anomalie abgeteuft (vgl. Abbildung 4). Aufgrund der geringen Leitfähigkeiten ergaben sich hier Hinweise auf signifikante Auflockerungen im Untergrund (vgl. Kapitel 6.2). Diese Auflockerungen spiegeln sich in KB1 wider (siehe Anlagen 9a, 10 und 11a). Ab ca. 11,3 m u. GOK kam es zu vollständigen Spülungsverlusten mit einem einhergehenden Kernverlust über 0,8 m. Aufgrund der Reaktion des Bohrgerätes wird hier durch den Bohrmeister ein mit extrem weichem Material verfüllter Karsthohlraum oder -Spalte angenommen. Festgestein wurde nachfolgend bis ca. 16 m u. GOK (Bohrungsende) abgeteuft. Nach

820024-034 / 23.10.2023

Prüfung der Endteufe wurde festgestellt, dass mit Bohrungsende noch ein weiterer Hohlraum bis 17 m u. GOK aufgeschlossen wurde. Beide Hohlräume liegen somit noch wie erwartet im Übergangsbereich Trigonodusdolomit–Nodosusschichten. Die, im Vergleich zu den anderen Bohrungen, viel stärker ausgeprägte Zerklüftung des Trigonodusdolomits oberhalb der Hohlräume spiegelt wider, dass die vertikalen Senkungen, welche die übertägig sichtbare Mulde formten, vermutlich im Bereich der festgestellten Hohlräume ihre Ursache zu haben scheinen. Die Dolinenverfüllung (vgl. mit Sondierungen BS1/DPH1) ist ca. 3,5 bis 4 m mächtig und unter anderem geprägt durch entfestigte Restmächtigkeiten (ca. 1- 2 m) des hier noch angrenzenden Lettenkeupers (grünlich-graue Tone).

Bohrung KB2 (Anlage 9b & 11b) wurde im Nahbereich einer vermuteten NE-SW-streichenden Störung und vermutlich angrenzenden Dolinenverfüllungen abgeteuft (vgl. Abbildung 4). Eine mögliche Dolinenverfüllung konnte jedoch aufgrund der geringen Mächtigkeit (ca. 1,5 m) der Lockersedimente am Bohrungsstandort nicht bekräftigt werden. Auffällig im Vergleich zu den anderen Kernbohrungen ist das deutlich intaktere Gesteinsgefüge des Trigonodusdolomits bis zum Übergang zu den Nodosusschichten bei ca. 11,8 m u. GOK. Auffällig sind jedoch deutlich brüchige bzw. gestörte (aufgelockerte) Zonen im Bereich zwischen 5,6 und 6,8 m u. GOK sowie 8,3 und 8,9 m u. GOK, was wiederum den geophysikalisch interpretierten Störungstiefenbereich (vgl. Kapitel 6.2) widerspiegelt. Hinweise auf Hohlräume wurden nicht festgestellt.

Die Bohrung KB3 (Anlage 9c & 11c) und KB4 (Anlage 9d & 11d) wurden im Nahbereich der vermuteten NW-SE-streichenden Hauptverwerfungslinie abgeteuft (vgl. Abbildung 4). Die geophysikalisch ermittelten hohen Leitfähigkeiten in diesem Bereich lassen sich hier voraussichtlich auf einen deutlich erhöhten Feinkornanteil bzw. den erhöhten Verwitterungsgrad des Trigonodusdolomits zurückführen. Geophysikalisch abgeleitete Tiefenbereiche in KB3 mit niedrigen Leitfähigkeiten decken sich in etwa mit den angetroffenen Dolomitsand-Abfolgen zwischen ca. 5,9 und 11,7 m u. GOK. Hierbei handelt es sich um hochporöse (geringer leitfähige) Trigonodusdolomit-Schichten, welche infolge von Verwitterung und Korrosion zu Dolomit-Kristallsand zerfallen sind bzw. schneller entfestigt werden [8]. Ein deutlich entfestigter Zustand der Dolomitsande ist vor allem in KB3 zwischen 5,9 und 8,3 m zu erwarten, wofür der Kernverlust ohne gleichzeitigen Spülungsverlust spricht. Beide Anomalien, sowohl erhöhter als auch geringerer Leitfähigkeit in Abbildung 4, lassen sich im Bereich der Bohrungen KB3 und KB4 somit direkt der vermuteten Störung zuordnen, welche durch einhergehende Wasserwegsamkeiten in die Tiefe typischerweise einen erhöhten Verwitterungsgrad begünstigt. Hinweise auf vorhandene Hohlräume wurden auch in diesen beiden Bohrungen nicht festgestellt.

7. Geologische Interpretation

Durch die geophysikalischen und geologisch/geotechnischen Untersuchungen ergibt sich für das Erschließungsgebiet „Röte III“ folgendes Bild:

- Die in der geologischen Karte ausgewiesene Störung kann in ihrer Lage weitgehend bestätigt werden.

820024-034 / 23.10.2023

- Neben der Hauptstörung sind mehrere parallel und schiefwinklig zur Hauptstörung verlaufende tektonische Elemente auszumachen, welche insbesondere den zentralen Teil von Röte III durchziehen.
- Geknüpft an die tektonischen Schwächezonen treten vermehrt geophysikalische Anomalien auf, welche großteils als Hinweis auf Verkarstungsprozesse und teils aktive teils inaktive Karststrukturen zu interpretieren sind.
- Anomalien mit erhöhter elektrischer Leitfähigkeit korrelieren tendenziell mit „alten“ Karsthohlformen, die in jüngster geologischer und teilweise historischer Zeit mit überwiegend bindigem Bodenmaterial gefüllt wurden.
- Die große (blaue) Anomalie im zentralen Bereich von Röte III (vgl. Abbildung 4) dagegen wird durch rezente Karsthohlräume verursacht. Diese stellen ein erhöhtes Gefährdungspotential im Hinblick auf die Entstehung tagesnaher oder bis an die Geländeoberfläche reichender Hohlformen dar.

Eine Zone intensiver, störungsgebundener Verkarstung zieht sich somit über den zentralen Planbereich von Röte III.

Eine ähnlich intensive Verkarstung im nördlichen und südlichen Planbereich von Röte III sowie innerhalb von Röte II sind nach aktuellem Kenntnisstand unwahrscheinlich. Lokale (z.B. natürlich oder anthropogen überprägte) Karsterscheinungen können jedoch vor allem entlang der Verlängerung der tektonischen Schwächezone nicht gänzlich ausgeschlossen werden. Entsprechend vorliegenden Daten ist stattdessen über weite Bereiche von Röte II und dem südlichen Planbereich von Röte III vielmehr mit geringmächtigen (ca. 1,5 bis 2,5 m), kiesig bis steinigen Schluffen über oberflächennahem Felshorizont zu rechnen. Demgegenüber ist der nördliche Planbereich von Röte III durch nach Norden an Mächtigkeit zunehmende Verwitterungslehme bzw. -Tone sowie Tonsteine des Lettenkeupers geprägt.

8. Bautechnische Maßnahmen

8.1 Erschließungsbauwerke (Leitungsgräben, Straßen, etc.)

Die folgende Tabelle aus Unterlage [9] zeigt einen qualitativen Vergleich verschiedener Varianten zur Sicherung von erdfallgefährdeten Untergrundbereichen. Hiernach sind bei Hohlraumdurchmessern ≥ 4 m Stahlbetontragkonstruktionen am ehesten geeignet. Bei Hohlraumdurchmessern < 4 m sind Überbrückungen mit geosynthetischer Bewehrung gleichermaßen geeignet.

Tabelle 1: Konzepte zur Überbrückung/Instandsetzung von Erdfällen nach [9].

Sicherungskonzept	Klassifizierung*						
	Machbarkeit (technisch)		Duktilität	Konstruktion		Umwelteinfluss	Zuverlässigkeit/ Referenzen
	Hohlraumdurchmesser < 4 m	Hohlraumdurchmesser ≥ 4 m		Kosten	Zeit		
Engmaschige Erkundung und Verwahrung (Injektion)	++	o	-	o	o	+	-
Tiefenverdichtung	+	o	-	o	-	o	-
Überbrückung mit geosynthetisch bewehrten Gründungspolstern auf vertikalen Traggliedern	+	+	-	--	-	o	++
Überbrückung mit Stahlbetontragkonstruktion	++	++	-	--	-	o	++
Überbrückung mit geosynthetischer Bewehrung	++	-	+	+	+	+	++
Überbrückung mit Edeldstahlgeflecht	+	-	-	-	o	+	-

* Klassifizierung: ++ sehr gut, + gut, o durchschnittlich, - schlecht, -- sehr schlecht

Nach Empfehlungen des HLNUG (Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie) [10] ist im Karbonatkarst des Muschelkalks mit punktuellen und vereinzelt Erdfällen zu rechnen. Die Erdfalldurchmesser liegen überwiegend zwischen 1 m und 4 m. Die Bruchgefährdung des Gebirges wird als gering eingestuft.

Unterhalb des ungebundenen Oberbaus wird in den Trassenabschnitten mit geophysikalischen Anomalien ein geogitterbewehrtes Bettungspolster aus grobkörnigen, wasserunempfindlichen Erdmassen in einer Mächtigkeit von 40 cm angeordnet. Nach dem Auskoffern ist auf die Aushubsohle ein gewebtes Geogitter (z.B. Fortrac Geogitter der Firma Huesker oder vergleichbare Produkte) in Verbindung mit einem geotextilen Trennvlies der Robustheitsklasse GRK 3 (erf. $m_A, 5\% \geq 150 \text{ g/m}^2$) vollflächig zu verlegen, entsprechend den Empfehlungen der EBGE [11] seitlich hochzuführen und zur Verankerung in den Bodenaustausch zurückzuschlagen.

Wenn **Versorgungsleitungen** oberhalb der Geogitterbewehrung verlegt werden, sind keine weitergehenden Schutzmaßnahmen in Form von stabilisierenden Rohrauflagern erforderlich. In regelmäßigen Abständen sollten allerdings flexible Dehnungsstrecken o.ä. angeordnet werden, um ein Abreißen der Leitungen bei stärkeren Senkungen zu verhindern.

In Trassenabschnitten mit geophysikalischen Anomalien sollte im Bereich der **Kanaltrassen** ein armiertes Rohraufleger aus Beton hergestellt werden. Die biegesteife Betonplatte (Mindeststärke 25 cm) sollte mindestens 0,5 m beidseitig über den Rohraußendurchmesser auskragen. Bei einem Stufengraben kann die Bodenplatte durchgängig auf dem tieferen Grabenniveau angeordnet werden.

820024-034 / 23.10.2023

Sollten sich, im Zuge der Erschließungsarbeiten abseits der beschriebenen geophysikalischen Anomalien in Röte III oder auch in Röte II, Hinweise auf weitere bautechnisch problematische Karsterscheinungen ergeben, wird empfohlen unverzüglich die örtliche Bauüberwachung hinzuzuziehen, um rechtzeitig bautechnische Maßnahmen veranlassen zu können. In diesem Fall wird unter anderen eine Sohlabnahme durch einen geotechnischen Sachverständigen empfohlen.

8.2 Hochbau

Hochbauthematiken, z.B. für geplante Wohnbebauung, waren nicht Bestandteil der beauftragten geotechnischen Gutachterleistung. Weiterhin lagen zum Zeitpunkt der Stellungnahme keine Angaben zur geplanten Bebauung vor. Nachfolgende Empfehlungen zum Thema Hochbau und die dazugehörigen Gründungsempfehlungen sind daher als allgemeine Hinweise zu verstehen und repräsentieren keine Universallösungen für die zukünftigen Baufelder in Röte II und III. Bauwerksspezifische und somit auch geltende Gründungsempfehlungen sind durch einen separat beauftragten Sachverständigen (z.B. Baugrundgutachter) festzulegen. Diese können je nach geologischer Gegebenheit des jeweiligen Baufeldes auch von den aufgeführten Lösungswegen abweichen.

Aufgrund der komplexen geologischen Verhältnisse sind aus gutachterlicher Sicht bauwerkspezifische, geotechnische (Baugrund-)Gutachten zwingend erforderlich. In diesem Zusammenhang wird auf die voraussichtliche Notwendigkeit zusätzlicher Sondierungen bzw. Bohrungen auf den jeweiligen Baufeldern hingewiesen. Das nötige Erkundungsprogramm wird in der Regel vom zuständigen Sachverständigen gemäß bauwerks- und grundstücksspezifischen Erfordernissen festgelegt. Aufgrund der bisherigen Befunde wird von einer direkten Übertragung der vorhandenen Bohrungen auf Nachbarbereiche dringend abgeraten. Die erhobenen geologischen und geophysikalischen Daten aus den vorliegenden Erschließungsgutachten und den karstspezifischen Untersuchungen können jedoch bei Bedarf und Plausibilität als ergänzende Datenquelle verwendet werden.

Hochbautechnische Hinweise:

Gemäß den Empfehlungen des LBEG (Niedersächsisches Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie) [12] sind die Bereiche geophysikalischer Anomalien in die Erdfallgefährdungskategorie (EGK) 5-6 einzustufen(vgl. Tabelle 2).

820024-034 / 23.10.2023

Tabelle 2: Abgrenzung der Erdfallgefährdungskategorie für Standorte im Gipskarst (nach K.-H. Büchner) [12]. Für Standorte im Karbonatkarst ist die Erdfallgefährdungskategorie um 1 zu verringern.

EGK	Beschreibung
0	Lösliche Gesteine im Untergrund liegen nicht vor. Erdfälle sind nicht möglich.
1	Lösliche Gesteine im Untergrund liegen in so großer Tiefe, dass bisher kein Erdfall bekannt geworden ist, der auf Verkarstung in dieser Tiefe zurückgeführt wird. <i>Es besteht keine Erdfallgefahr.</i>
2	Lösliche Gesteine liegen in einer Tiefe, in der lokal bereits Verkarstung bekannt ist. Erdfälle aus dieser Tiefe sind selten. Sofem in der Nähe überhaupt Erdfälle bekannt sind, liegen sie min. 300 m entfernt.
3	Lösliche Gesteine liegen in einer Tiefe, in der vermutlich Auslaugung stattfindet. Sofem Erdfälle bekannt sind, liegen sie min. 100 m entfernt.
4	Lösliche Gesteine liegen in einer Tiefe, in der vermutlich Auslaugung stattfindet. Im Umkreis von 100 m liegen 1-2 Erdfälle.
5	Lösliche Gesteine liegen in einer Tiefe, in der Auslaugung stattfindet. Im Umkreis von 100 m liegen 3-8 beziehungsweise im Umkreis von 50 m 1-2 Erdfälle.
6	Lösliche Gesteine liegen in einer Tiefe, in der Auslaugung stattfindet. Im Umkreis von 100 m liegen mehr als 8 beziehungsweise im Umkreis von 50 m mehr als 2 Erdfälle. Standorte über alten Erdfällen oder Subrosionssenken.
7	Standorte im Einwirkungsbereich aktiver oder junger Erdfälle.

In erdfallgefährdeten Gebieten sind gemäß LBEG [12] Wohngebäude auf maximal vier Vollgeschosse beschränkt. Eine Flachgründung sowohl unterkellertes als auch nicht unterkellertes zwei- bis dreigeschossiger Wohnhäuser ist möglich. Die Gründung erfolgt i.d.R. über **biegesteife Bodenplatten** (mindestens 25 cm mächtig) oder **Beton-Trägerroste**. Die mittlere Bodenpressung unter den Gründungsplatten wird mit 45 kN/m² bis 70 kN/m² angenommen.

Aufgrund der lokal aufgeweichten bzw. aufgelockerten und damit partiell setzungsempfindlichen Böden, welche v.a. im Bereich von Röte III bis in eine Tiefe von mehr als zwei Metern im Bau- feld anstehen können, wird für betroffene Baufelder ein geogitterbewehrtes Bodenaustausch- polster mit einer Gesamtmächtigkeit von mindestens 105 cm bei fehlender Unterkellerung und

820024-034 / 23.10.2023

von mindestens 60 cm bei Unterkellerung erforderlich. Die erforderlichen Bodenverbesserungsmaßnahmen setzen sich wie folgt zusammen:

- Unterhalb der Bodenplatte ist bei Ausführung einer Abdichtung nach DIN 18195, Teil 6, eine Sauberkeitsschicht aus Beton einzubauen.
- Unterhalb der Sauberkeitsschicht wird eine 20 cm mächtige Schotterschicht der Körnung 0/45 bis 0/56 angeordnet. Die Schotterschicht ist zu verdichten ($D \geq 100 \% D_{Pr}$). Der Verdichtungsgrad ist nachzuweisen.
- Unterhalb der Schottertragschicht wird ein geogitterbewehrtes Bettungspolster aus grobkörnigen, wasserunempfindlichen Erdmassen angeordnet. Nach dem Auskoffern ist auf die Aushubsohle ein knotensteifes Geogitter (z.B. Tensar® TriAx® TX oder Tensar® SSLA30 oder vergleichbare Produkte) in Verbindung mit einem geotextilen Trennvlies der Robustheitsklasse GRK 3 (erf. $m_{A, 5\%} \geq 150 \text{ g/m}^2$) vollflächig zu verlegen, entsprechend den Empfehlungen der EBGEO seitlich hochzuführen und zur Verankerung in den Bodenaustausch zurückzuschlagen. Auf das Geogitter ist eine 40 cm mächtige Lage Grobschotter der Körnung 0/100 aufzutragen und statisch zu verdichten. Bei fehlender Unterkellerung wird über dem Grobschotter als lastverteilendes und frostsicheres Gründungspolster eine weitere 40 cm mächtige Schotterschicht der Körnung 0/45 bis 0/56 angeordnet. Die Einbaulagenstärke ist dem gewählten Verdichtungsgerät anzupassen, sollte jedoch mindestens dem dreifachen Größtkorndurchmesser entsprechen.
- Gegebenenfalls ist zur Schaffung einer Arbeitsebene bei stark aufgeweichten Baugrundverhältnissen im Bereich der UK Bodenaustausch eine Grobschlagschüttung im Vorkopf-Betrieb einzubauen und statisch zu verdichten. Steht in der Gründungsebene bereits Festgestein so kann eine Anpassung der Gründungsempfehlungen durch einen Geotechniker vorgenommen werden.
- Die Aushubsohle ist vor dem Einbau des Bodenaustauschmaterials vom Baugrundgutachter oder einem geotechnischen Sachverständigen abnehmen zu lassen.
- Bei der Wahl des Bodenverbesserungsmaterials sollte darauf geachtet werden, dass der Anteil an abschlämmbaren Körnern ($< 0,063 \text{ mm}$) maximal 15 M.-% beträgt und ein Ungleichförmigkeitsgrad $U > 6$ vorhanden ist.
- Zur Gewährleistung einer Lastausbreitung im Austauschboden unter 45° ist der Bodenauftrag seitlich um das Maß seiner Höhe über die eigentliche Gründungsplatte bzw. den Trägerrost hinaus anzuordnen.

Zur Dimensionierung der Plattengründung kann für das Tragverhalten des Untergrundes bei nachweislich hinreichender Verdichtung der Schotterschicht ein Bettungsmodul $k_s = 10 \text{ MN/m}^3$ (nicht unterkellerte Gebäude) bzw. ein Bettungsmodul $k_s = 15 \text{ MN/m}^3$ (unterkellerte Gebäude) angesetzt werden. Unter einem Trägerrost darf aufgrund höherer Steifigkeiten im Lastausbreitungsbereich ein Bettungsmodul $k_s = 15 \text{ MN/m}^3$ (nicht unterkellerte Gebäude) bzw. ein Bet-

820024-034 / 23.10.2023

tungsmodul $k_s = 20 \text{ MN/m}^3$ (nicht unterkellerte Gebäude) angesetzt werden. Für 1,0 m breite Laststreifen sind die maximal zulässigen mittleren Bodenpressungen auf $\sigma_{zul,k} = 200 \text{ kN/m}^2$ ($R_D = 280 \text{ kN/m}^2$) zu begrenzen. Zur Begrenzung der rechnerischen Maximalsetzungen sind die mittleren Bodenpressungen für die gesamte Bodenplatte auf $\sigma_{zul,m} = 80 \text{ kN/m}^2$ zu begrenzen. Gegebenenfalls ist ein seitlicher Überstand der Bodenplatte über die Außenwände vorzusehen.

Folgende Ausführungshinweise gelten für **Baumaßnahmen im Bereich der geophysikalischen Anomalien**:

- Tragende und aussteifende Wände aus Stahlbeton.
 - Ortbeton
Dicke 20 cm, konstruktiv mit Gründungsplatte u. unterster Decke hohlkastenartig verbinden, Anschlussbewehrung BSt 500 S (IV S) 2 cm²/m beidseitig.
 - Fertigteile
Dicke 15 cm, senkrechte und waagerechte Stoßfugenbewehrung BSt 500 S (IV S) 2 cm²/m beidseitig.
- Netzbewehrung BSt 500 S (IV S) 2 cm²/m beidseitig
- Biegezugbewehrung in Decke und Gründungsplatte BSt 420 S (III S) 6 cm² oben und unten

Folgende Ausführungshinweise gelten für **Baumaßnahmen außerhalb der Bereiche der geophysikalischen Anomalien**:

- Tragende Wände aus:
 - Mauerwerk
Steinfestigkeitsklasse/Mörtelgruppe 15/II
 - Unbewehrtem Ortbeton oder Betonfertigteilen
Dicke 15 cm, senkrechte und waagerechte Stoßfugenbewehrung BSt 500 S (IV S) 2 cm²/m beidseitig.
- In den Gebäudeecken und im Abstand von 5 m Gründungsplatte und unterste Decke durch in den Wänden vorzusehende Zuganker aus Rundstäben BSt 420 S (III S) verbinden. Querschnitt je Verbindung 4 cm²
- Tragende Wände aus Stahlbeton (Ortbeton oder Fertigteile) konstruktiv mit Gründungsplatte und unterster Decke verbinden.
- Anschlussbewehrung BSt 500 S (IV S) 1 cm²/m beidseitig.

Die Frostsicherheit für die Fundamentierung der Gebäude ist durch den beschriebenen Schotteraufbau gewährleistet. Die Tiefpunkte von Schotterfrostschrüzen sind dauerhaft zu dränieren.

9. Sonstiges

Das ingenieurgeologische Modell des Baugrunds, welches die Grundlage der Stellungnahme bildet, resultiert aus punktuellen Aufschlüssen und aus geophysikalischen Datensätzen, welche grundsätzlich mit einer gewissen Unschärfe behafteten sind. Es kann daher lokal zu Abweichungen der hier dargestellten Geologie und des Schichtverlaufs kommen. Außerdem können

820024-034 / 23.10.2023

zeitliche Änderungen des Baugrunds (z.B. durch Witterungseinflüsse), insbesondere bei längeren Abständen zwischen Untersuchung und Baumaßnahme, nicht ausgeschlossen werden.

Im Zuge der Erd- und Gründungsarbeiten im Rahmen der Erschließung ist daher sorgfältig zu überprüfen, ob die angetroffenen Baugrundverhältnisse mit den im Baugrundgutachten und hier erfassten übereinstimmen. Sollte dies nicht der Fall sein oder Zweifel bestehen, so ist der Gutachter unverzüglich zur weiteren Beratung heranzuziehen. Generell ist zu empfehlen, eine Abnahme von Baugruben bzw. der Gründungssohle durchführen zu lassen.

Die Angaben der Stellungnahme beziehen sich auf den gegenwärtigen Planungsstand und sind in dieser Hinsicht als vorläufig anzusehen.

Die vorliegende Stellungnahme ist ausschließlich für die Planung der Erschließungsbauwerke zu verwenden. Für nachfolgende Hochbaumaßnahmen ist ein separates Baugrundgutachten mit einer grundstücksspezifischen Gründungsempfehlung einzuholen.

Aufgestellt:

Ettlingen, den 23.10.2023

RBS wave GmbH



i. V. Daniel Lorch



i. A. Dr. Tobias Kling