



Strecke 5300 BÜ Enkingen

Sanierung Bahnübergang Enkingen I (km 63,3)
Rückbau Bahnübergang Enkingen II (km 64,2)
Ausbau der Ersatzwege

Geotechnischer Bericht

Rev 00

Auftraggeber:

DB InfraGO AG
Region Süd
Infrastrukturprojekte Süd
Richelstraße 1
80634 München

Auftragnehmer:



Oberdorfstr. 12
91474 Westheim

AS241004

Westheim, 24.06.2025

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	3
Tabellenverzeichnis	4
Anlagenverzeichnis	5
1 Allgemeine Angaben	6
1.1 Veranlassung und Aufgabenstellung	6
1.2 Vorliegende Baugrundaufschlüsse	9
1.2.1 Hinweise auf Kampfmittelverdacht	9
1.2.2 Baugrundaufschlüsse	9
1.3 Verwendete Unterlagen	12
2 Geomorphologische, ingenieurgeologische seismische, hydrologische und hydrogeologische Verhältnisse	15
2.1 Geomorphologische Verhältnisse	15
2.2 Ingenieurgeologische Verhältnisse	15
2.2.1 Erkenntnisse aus geologischen Karten und Bestandsaufschlüssen	15
2.2.2 Erkenntnisse aus der Erkundungskampagne 2025	16
2.3 Seismische Verhältnisse	18
2.4 Hydrologische Verhältnisse	18
2.5 Hydrogeologische Verhältnisse	18
3 Bodenmechanische Laborversuche	22
4 Orientierende, umweltanalytische Laborversuche	23
4.1 Boden	23
4.1.1 Probenzusammensetzung und Vorbemerkungen	23
4.1.2 Ergebnisse der Untersuchungen der Bodenschichten nach den Anforderungen der Ersatzbaustoffverordnung	24
4.1.3 Empfehlungen	25
4.2 Straßenaufbruch	25
4.3 Gleisschotter	27
4.4 Beton- und Stahlaggressivität der Baugrundsichten	27
5 Geotechnische Beurteilung	30
5.1 Baugrundsichten und Homogenbereiche	30
5.2 Charakteristische Kennwerte für erdstatische Berechnungen	30

5.3	Klassifizierung, Frostempfindlichkeit, Lösbarkeit und Rammbarkeit der Baugrundsichten	31
5.4	Tragfähigkeit der Planumsschutzschicht (PSS) im Bereich des Bahnübergangs Enkingen I	33
6	Geotechnische Empfehlungen	34
6.1	Neubau BÜ-Schaltheus	34
6.1.1	Beschreibung / Bauteilabmessungen	34
6.1.2	Geotechnische Kategorie	34
6.1.3	Gründung des Schaltheuses	34
6.1.4	Baugrubensicherung	35
6.1.5	Bauzeitliche Wasserhaltung	35
6.2	Neubau Signal- und Schrankenanlagen	35
6.2.1	Beschreibung / Bauteilabmessungen	35
6.2.2	Geotechnische Kategorie	36
6.2.3	Geotechnische Angaben zu Rammrohrgründung	36
6.2.4	Geotechnische Angaben zu Gründungen mittels Betonfundamenten	38
6.3	Gleisquerungen	39
6.3.1	Beschreibung / Bauteilabmessungen	39
6.3.2	Geotechnische Kategorie	39
6.3.3	Planungsgrundsätze für Gleisquerungen	40
6.3.4	Angaben zur offenen Bauweise	40
6.3.5	Angaben zur geschlossenen Bauweise	41
6.4	Verkehrsflächen und Neubau der Ersatzwege	41
6.4.1	Beschreibung / Bauteilabmessungen	41
6.4.2	Geotechnische Kategorie	43
6.4.3	Frostsicherheit	43
6.4.4	Angaben zur Straßengründung	43
6.5	Bewertung der Versickerungsfähigkeit	44
6.6	Geotechnische Eignung der Aushubböden für den Wiedereinbau	45
7	Hydrogeologische und wasserwirtschaftliche Beurteilung	47
8	Zusammenfassung und Schlussbemerkungen	48

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Lage der Bahnübergänge und Ersatzwege (Quelle Hintergrundkarte: Bayerische Vermessungsverwaltung – www.geodaten.bayern.de, 2025)	6
Abbildung 2:	Örtliche Verhältnisse am Bahnübergang Enkingen I, Blickrichtung von SW nach NE ...	7
Abbildung 3:	Örtliche Verhältnisse am Bahnübergang Enkingen II, Blickrichtung von SW nach NE ..	7
Abbildung 4:	Örtliche Verhältnisse am geplanten Ersatzweg BÜ Enkingen I - BÜ Enkingen II, Blickrichtung von SE nach NW	8
Abbildung 5:	Örtliche Verhältnisse am geplanten Ersatzweg BÜ Enkingen I - BÜ "Mühle", Blickrichtung von NW nach SE	8
Abbildung 6:	Auszug aus der Geologischen Karte von Bayern 1 : 25.000, Blatt 7129 Deiningen, Bayerisches Landesamt für Umwelt	16
Abbildung 7:	Hochwassergefahrenflächen (blau) im Umfeld des Untersuchungsgebiets [9]; der Verlauf der geplanten Ersatzwege und die BÜs sind rot eingetragen	18
Abbildung 8:	Wassersensible Bereiche (braun) im Umfeld des Untersuchungsgebietes [9], der Verlauf der geplanten Ersatzwege und die BÜs sind rot eingetragen	19
Abbildung 9:	Lage des BÜ-Schalthauses, Auszug aus [1]	34
Abbildung 10:	Lage und Ansichten der Signal- (S) und Schrankenanlagen (A), Auszug aus [1]	36
Abbildung 11:	Mindestbodenkennwerte für die Verwendung der Regelgründung nach [32]	37
Abbildung 12:	Darstellung der Querungen im Bereich des Bahnübergangs Enkingen I, Auszug aus [1]	39
Abbildung 13:	Übergang der Wegebefestigung (Betonplatten) in Schotter am südöstlichen Ende des untersuchten Abschnitts des Ersatzwegs BÜ Enkingen I - BÜ "Mühle", Blickrichtung von S nach N	42
Abbildung 14:	Übergang der Wegebefestigung (Betonplatten) in Schotter am nordwestlichen Ende des untersuchten Abschnitts des Ersatzwegs BÜ Enkingen I - BÜ "Mühle", Blickrichtung W nach E	42

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Zusammenstellung direkter Baugrundaufschlüsse im Untersuchungsgebiet.....	9
Tabelle 2:	Zusammenstellung der durchgeführten Sondierungen mit der schweren Rammsonde (DPH) im Untersuchungsgebiet mit tiefenbezogener Auswertung der Schlagzahlen N ₁₀	10
Tabelle 3:	Geologischer Überblick über die im Bereich der Baumaßnahme anstehenden Böden	16
Tabelle 4:	Erkundete Grundwasserstände während der Baugrunderkundung	20
Tabelle 5:	Zusammensetzung der Mischproben	23
Tabelle 6:	Ergebnisse der Untersuchungen der Bodenschichten nach der Ersatzbaustoffverordnung, Anlage 1, Tabelle 3	24
Tabelle 7:	Bewertung der untersuchten Asphaltsschichten nach LfU-Merkblatt 3.4/1 Anhang 1 ..	26
Tabelle 8:	Ergebnisse der Gleisschotter-Untersuchungen	27
Tabelle 9:	Einstufung der Bodenprobe KRB_10: 3,3 – 4,8 m (miR,F) in Expositions-klassen gemäß DIN 4030-2	27
Tabelle 10:	Einstufung der Bodenprobe KRB_11: 4,5 – 6,0 m (miR,F) in Expositions-klassen gemäß DIN 4030-2	27
Tabelle 11:	Angaben zur Beurteilung der Stahlaggressivität von Erdböden	28
Tabelle 12:	Bodenklasse, Korrosionsbelastung und Korrosionswahrscheinlichkeit bei freier Korrosion von unlegierten und niedriglegierten Eisenwerkstoffen.....	29
Tabelle 13:	Erkundete Baugrundsichtung im Untersuchungsbereich mit Zuordnung zu Homogenbereichen nach DIN 18300:2019	30
Tabelle 14:	Geomechanische, charakteristische Kennwerte für die im Untersuchungsbereich anstehenden Lockergesteine.....	31
Tabelle 15:	Klassifizierung, Frostempfindlichkeit und Lösbarkeit der erkundeten Baugrundsichten	32
Tabelle 16:	Angabe von Pfahlkennwerten für Rammrohrgründungen basierend auf Erfahrungswerten nach EA-Pfähle [33]	37
Tabelle 17:	Mehr- und Minderdicken des frostsicheren Gesamtaufbaus infolge örtlicher Verhältnisse gem. RStO 12	43

Anlagenverzeichnis

Anlage 1 Lagepläne

Anlage 1.1 Lageplan mit Darstellung der Aufschlusspunkte, M 1:5.000

Anlage 1.2 Detaillageplan BÜ Enkingen I, M 1:500

Anlage 2 Aufschlussprofile, Schichtenverzeichnisse und Rammdiagramme

Anlage 2.1 Aufschlussprofile

Anlage 2.2 Schichtenverzeichnisse

Anlage 2.3 Rammsondier-Protokolle

Anlage 3 Ingenieurgeologische Geländeschnitte

Anlage 4 Bodenmechanische Laborversuche

Anlage 5 Umweltanalytische Laborversuche

Anlage 5.1 Auswertung nach Ersatzbaustoffverordnung (Bodenmaterial / Baggergut)

Anlage 5.2 Umweltanalytische Laborbefunde

Anlage 6 Dynamischer Plattendruckversuch

Anlage 7 Einteilung der erkundeten Bodenschichten in Homogenbereiche entsprechend den DIN 18300:2019-09 und 18304:2019-09

Anlage 7.1 Einteilung der erkundeten Bodenschichten entsprechend DIN 18300:2019-09

Anlage 7.2 Einteilung der erkundeten Bodenschichten entsprechend DIN 18304:2019-09

1 Allgemeine Angaben

1.1 Veranlassung und Aufgabenstellung

Die DB InfraGo AG beabsichtigt an der Bahnstrecke 5300 Augsburg–Nördlingen die Sanierung des Bahnübergangs Enkingen I sowie den Rückbau des Bahnübergangs Enkingen II. In diesem Zusammenhang ist weiterhin der Ausbau von bestehenden Feldwegen bzw. Feldweg-Abschnitten als Ersatzweg für den Anliegerverkehr geplant. Das Projektgebiet befindet sich ca. 300 m südlich der Ortschaft Enkingen sowie nördlich und nordwestlich des Möttinger Gewerbegebiets „Enkinger Wegfeld“ im Landkreis Donau-Ries.

In Abbildung 1 ist die Lage der Bahnübergänge mit roten Pfeilen markiert, der Verlauf der Ersatzwege ist mit roten Linien gekennzeichnet.

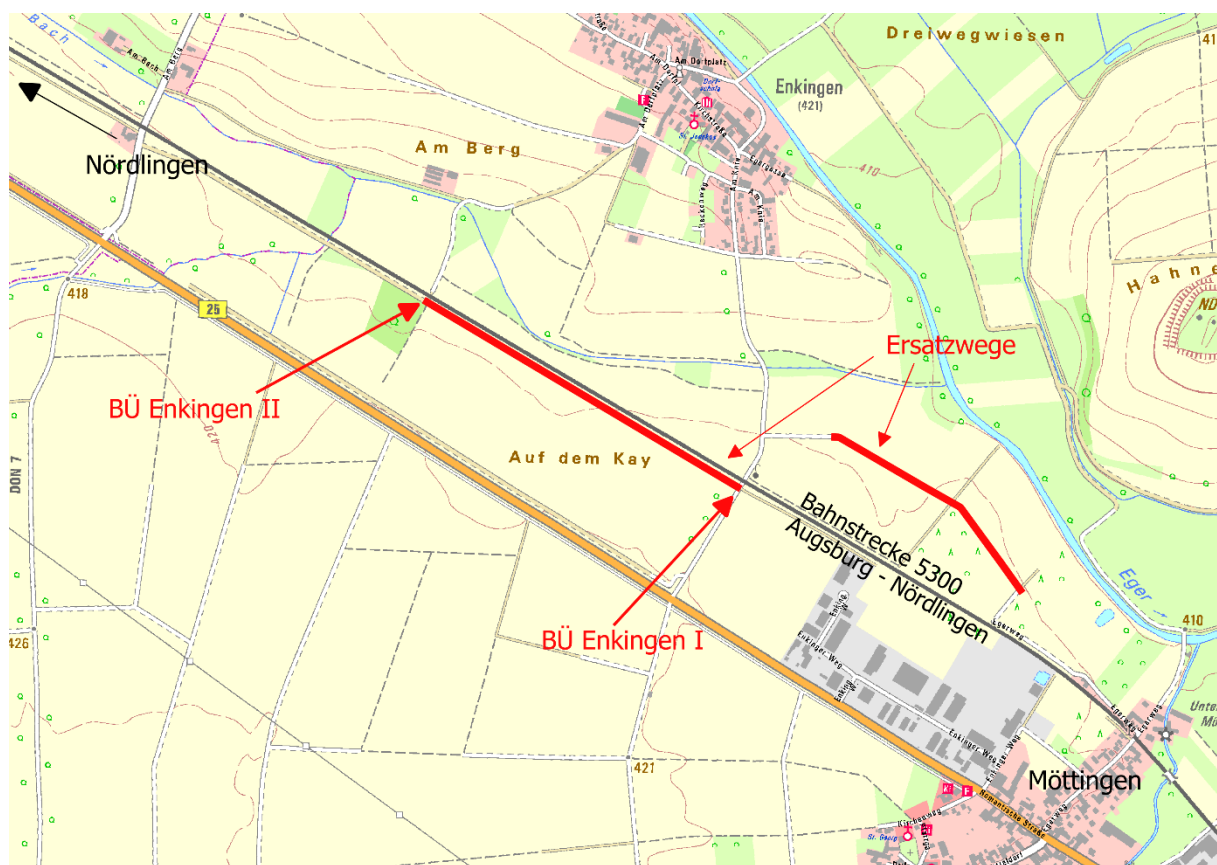


Abbildung 1: Lage der Bahnübergänge und Ersatzwege (Quelle Hintergrundkarte: Bayerische Vermessungsverwaltung – www.geodaten.bayern.de, 2025)

Gemäß den übermittelten Planauszügen [1], [2] und [3] ist vorgesehen, den Bahnübergang Enkingen I zu sanieren. Der Bahnübergang Enkingen II hingegen soll inklusive nördlich angrenzender Asphaltflächen rückgebaut werden (siehe [1] und [2]). Die Ersatzwege zwischen dem Bahnübergang Enkingen I und dem Bahnübergang Enkingen II parallel der Bahnstrecke sowie zwischen dem Bahnübergang Enkingen I und dem Bahnübergang „Mühle“ sollen asphaltiert werden. Ursprünglich war noch ein weiterer Ersatzweg zwischen den Bahnübergängen Enkingen I und Enkingen II, entlang des Großelfinger Bachs vorgesehen. In der aktuellen Planung ist dieser jedoch nicht mehr enthalten. Die folgenden Abbildungen zeigen die örtlichen Verhältnisse an den Bahnübergängen Enkingen I und Enkingen II sowie der Ersatzwege.



Abbildung 2: Örtliche Verhältnisse am Bahnübergang Enkingen I, Blickrichtung von SW nach NE



Abbildung 3: Örtliche Verhältnisse am Bahnübergang Enkingen II, Blickrichtung von SW nach NE



Abbildung 4: Örtliche Verhältnisse am geplanten Ersatzweg BÜ Enkingen I - BÜ Enkingen II, Blickrichtung von SE nach NW



Abbildung 5: Örtliche Verhältnisse am geplanten Ersatzweg BÜ Enkingen I - BÜ "Mühle", Blickrichtung von NW nach SE

1.2 Vorliegende Baugrundaufschlüsse

1.2.1 Hinweise auf Kampfmittelverdacht

Laut dem vorliegenden Ergebnisbericht zur Kampfmittelvorauswertung Hoppingen – Nördlingen, Strecke 5300, km 57,0 – 70,0 [4] liegt im Untersuchungsgebiet im direkten Umfeld der Bahngleise kein Kampfmittelverdacht vor. Bei dem hierbei ausgewerteten Bereich handelt es sich um einen ca. 20 m bis 30 m breiten Streifen entlang der Bahnstrecke. Da nicht alle Aufschlusspunkte durch die kampfmitteltechnische Vorerkundung abgedeckt wurden, erfolgte am 14.03.2025 eine (oberflächliche) kampfmitteltechnische Freimessung der Aufschlusspunkte durch die Firma Raabe aus Giebelstadt.

Vor Ausführung von Bauarbeiten sind alle Eingriffsflächen vorab auf Kampfmittelverdacht zu untersuchen und es ist eine Freigabe zu erwirken.

1.2.2 Baugrundaufschlüsse

Vorbemerkungen

Die Baugrundaufschlüsse der aktuellen Erkundungskampagne wurden mittels Trimble R2 GNSS Empfänger nach Lage und Höhe eingemessen. Die angegebenen Lage-Koordinaten beziehen dabei auf das Koordinatensystem DB_REF / 3-degree Gauss-Kruger Zone 4. Das verwendete Höhensystem ist das Deutsche Haupthöhennetz (DHHN2016).

Die ursprünglich vorgesehenen Aufschlüsse KRB_DPH_01 bis KRB_DPH_08 entlang des Ersatzweges entlang des Großelfinger Bachs wurden in Absprache mit dem AG nicht durchgeführt, da die geänderte Planung diesen Ersatzweg nicht mehr vorsieht. Die Nummerierung der ausgeführten Aufschlüsse startet daher bei der Zahl neun.

Direkte Baugrundaufschlüsse

Zur Erkundung der Untergrundverhältnisse wurden zwischen dem 17.03.2025 und 25.03.2025 insgesamt 21 Rammkernsondierungen (KRB) durchgeführt. Weiterhin wurden an zwei Stellen im Umfeld des Bahnübergangs Enkingen II Kernbohrungen (As) durch die Asphaltdecke der Fahrbahn durchgeführt. Am 25.03. erfolgte darüber hinaus ein Handschurf (SCH) im Gleisschotter in unmittelbarer Nähe zum Bahnübergang Enkingen I.

Zur Sicherstellung der Leitungsfreiheit wurden die Aufschlüsse KRB_DPH_10, KRB_DPH_11 und KRB_DPH_12 am Bahnübergang Enkingen I bis mind. 1,0 m u. GOK händisch vorgeschachtet.

Die Ansatzpunkte sind im Lageplan in der Anlage 1 eingetragen. Die ursprünglich mit 3,0 m angesetzte Endtiefe der Sondierungen KRB_16 bis KRB_29 wurde aufgrund der angetroffenen geringtragfähigen Bodenschichten (vgl. Ergebnisse der indirekten Aufschlüsse) auf 5,0 m erhöht.

Die nachfolgende Tabelle 1 fasst die Angaben zu Lage, Ansatzhöhe und Endteufe der direkten Aufschlüsse zusammen.

Tabelle 1: Zusammenstellung direkter Baugrundaufschlüsse im Untersuchungsgebiet

Lfd. Nr.	Aufschluss	Ansatzhöhe [m ü. NHN]	Rechtswert (DB_REF)	Hochwert (DB_REF)	Endteufe [m u. GOK]	Datum
1	KRB_09	416,70	4395532,16	5410066,95	6,00	18.03.2025
2	KRB_10	417,15	4395518,23	5410024,82	6,00	19.03.2025

Lfd. Nr.	Aufschluss	Ansatzhöhe [m ü. NHN]	Rechtswert (DB_REF)	Hochwert (DB_REF)	Endteufe [m u. GOK]	Datum
3	KRB_11	417,18	4395511,00	5410009,80	6,00	19.03.2025
4	KRB_12	417,51	4395504,16	5409997,04	6,00	19.03.2025
5	KRB_13	417,93	4395482,09	5409984,78	6,00	18.03.2025
6	KRB_14	417,01	4395494,85	5410019,20	6,00	20.03.2025
7	KRB_15	417,30	4395505,27	5410034,79	6,00	20.03.2025
8	KRB_16	417,40	4395478,95	5410013,32	5,00	20.03.2025
9	KRB_17	417,05	4395379,33	5410080,34	5,00	20.03.2025
10	KRB_18	415,86	4395269,80	5410146,22	5,00	25.03.2025
11	KRB_19	414,72	4395157,95	5410208,36	5,00	25.03.2025
12	KRB_20	413,09	4395053,74	5410267,78	5,00	24.03.2025
13	KRB_21	413,20	4394946,39	5410333,44	5,00	24.03.2025
14	KRB_22	413,47	4394836,83	5410401,27	5,00	24.03.2025
15	KRB_23	415,21	4394734,72	5410462,78	5,00	24.03.2025
16	KRB_24	413,98	4395728,35	5410131,94	5,00	17.03.2025
17	KRB_25	414,11	4395834,63	5410074,79	5,00	17.03.2025
18	KRB_26	414,18	4395941,43	5410014,57	5,00	17.03.2025
19	KRB_27	416,73	4396047,49	5409947,54	5,00	17.03.2025
20	KRB_28	416,44	4396118,81	5409849,49	5,00	17.03.2025
21	KRB_29	415,36	4396181,65	5409755,30	5,00	17.03.2025
22	As_01	415,10	4394741,78	5410484,66	0,08	18.03.2025
23	As_02	414,36	4394746,74	5410496,88	0,08	18.03.2025
24	SCH_01	417,00	4395513,66	5410017,13	0,60	25.03.2025

Indirekte Baugrundaufschlüsse

Zur Ermittlung der Lagerungsverhältnisse des anstehenden Untergrundes wurde im unmittelbaren Nahbereich der Rammkernsondierungen jeweils eine schwere Rammsondierungen (DPH nach DIN EN ISO 22476-2), vorliegend bis max. 10,0 m u. GOK, niedergebracht. Die Lage der schweren Rammsondierung kann dem Lageplan in der Anlage 1 entnommen werden. Die Sondierprofile liegen diesem Bericht als Anlage 2 bei. Die wesentlichen Daten der ausgeführten schweren Rammsondierungen sind mit einer tiefenbezogenen Auswertung der Schlagzahlen N_{10} in nachfolgender Tabelle 2 zusammengestellt.

Tabelle 2: Zusammenstellung der durchgeführten Sondierungen mit der schweren Rammsonde (DPH) im Untersuchungsgebiet mit tiefenbezogener Auswertung der Schlagzahlen N_{10}

Lfd. Nr.	Aufschluss	Ansatzhöhe [m ü. NHN]	N_{10} 0 – 1 m	N_{10} 1 – 2 m	N_{10} 2 – 3 m	N_{10} 3 – 5 m	N_{10} 5 – 10 m
25	DPH_09	416,70	0 - 49	1 - 2	2 - 14	2 - 7	5 - 11
26	DPH_10	417,15	- ¹⁾	1 - 2	2 - 3	2 - 9	6 - 10

Lfd. Nr.	Aufschluss	Ansatzhöhe [m ü. NHN]	N ₁₀ 0 – 1 m	N ₁₀ 1 – 2 m	N ₁₀ 2 – 3 m	N ₁₀ 3 – 5 m	N ₁₀ 5 – 10 m
27	DPH_11	417,18	- ¹⁾	1 - 2	2 - 6	5 - 7	6 - 14
28	DPH_12	417,51	- ²⁾	1 - 4	2 - 12	2 - 8	9 - 16
29	DPH_13	417,93	1 - 8	1 - 2	1 - 2	1 - 4	5 - 13
30	DPH_14	417,01	0 - 1	1 - 3	2 - 4	3 - 11	8 - 15
31	DPH_15	417,30	1 - 2	1 - 2	1 - 3	3 - 8	8 - 16
32	DPH_16	417,40	1 - 13	1 - 2	1 - 2	1 - 7	-
33	DPH_17	417,05	1 - 12	1 - 2	1 - 3	1 - 6	-
34	DPH_18	415,86	2 - 4	1 - 5	1 - 2	2 - 4	-
35	DPH_19	414,72	1 - 4	1 - 2	1 - 2	1 - 6	-
36	DPH_20	413,09	1 - 5	0 - 1	2 - 5	3 - 5	-
37	DPH_21	413,20	1 - 4	1 - 2	1 - 2	3 - 8	-
38	DPH_22	413,47	1 - 2	1 - 2	1 - 4	4 - 13	-
39	DPH_23	415,21	1 - 7	1 - 2	1 - 5	1 - 3	-
40	DPH_24	413,98	1 - 15	1 - 2	1 - 3	3 - 12	-
41	DPH_25	414,11	1 - 8	1 - 2	0 - 3	2 - 7	-
42	DPH_26	414,18	2 - 13	1 - 2	0 - 9	1 - 3	-
43	DPH_27	416,73	1 - 12	1 - 3	1 - 2	0 - 6	-
44	DPH_28	416,44	1 - 14	1 - 2	1 - 2	1 - 5	-
45	DPH_29	415,36	1 - 7	1 - 2	1 - 2	0 - 11	-

¹⁾ Vorschachtung bis 1,0 m u. GOK

²⁾ Vorschachtung bis 1,2 m u. GOK

Bestandsaufschlüsse

Nach Recherche über das Geodatenportal der bayerischen Staatsregierung „Umweltatlas“ [10] befinden sich in direkter Nähe zum Untersuchungsbereich keine Bestandsaufschlüsse.

1.3 Verwendete Unterlagen

Planungsunterlagen

- [1] Entwurfsplanung, BÜ Enkingen I, BÜ Enkingen II, Ersatzwege, erstellt von PTB – Ingenieurbüro für Planung, Technologie und Bauüberwachung Magdeburg GmbH, Stand 10/2024, 7.1.4.1_EP_5300_BUE_63.3_Enkingen_I_Krzp.pdf, 7.1.4.6_EP_5300_BUE_63.3_Enkingen_I_HP.pdf, 7.1.4.7_EP_5300_BUE_63.3_Enkingen_I_RQ.pdf, 7.1.4.8_EP_5300_BUE_63.3_Enkingen_LP1000_Ersatzwege.pdf, 7.1.5.1_EP_5300_BUE_63.3_Enkingen-EP_64.2_Enkingen_II_Krzp.pdf, Aufgabenstellung_Baugrund_Enkingen.pdf, E-Mail vom 19.12.2024, Dateien beinhalten Lagepläne, Regelquerschnitt, Höhenprofil und Aufgabenstellung.
- [2] Entwurfsplanung, BÜ Enkingen I, BÜ Enkingen II, Ersatzwege, erstellt von PTB – Ingenieurbüro für Planung, Technologie und Bauüberwachung Magdeburg GmbH, 5300_EP_BUE_63.3_Enkingen.dwg, 5300_EP_BUE_63.3_Enkingen.dwg, E-Mail vom 21.01.2025, Dateien beinhalten Lagepläne.
- [3] Entwurfsplanung, Ersatzweg „Mühle“, erstellt von PTB – Ingenieurbüro für Planung, Technologie und Bauüberwachung Magdeburg GmbH, Stand 27.01.2025, 5300_EP_BUE_62_Muehle_Ersatzweg_nach_Enkingen.dwg, 5300_EP_BUE_62_Muehle_Ersatzweg_Lageplan.pdf, Dateien beinhalten Lagepläne.

Berichte / Gutachten

- [4] Kampfmittelvorerkundung, „Hoppingen-Nördlingen, Strecke 5300, km 57,0 – 70,0“, erstellt von Luftbilddatenbank Dr. Carls GmbH, Estenfeld / Bombs Away B.V., Niederlande, Stand 22.02.2022, 11-1_Hoppingen-Noerdlingen_Strecke_5300_km_57_0-70_0_211028600_Ergebnisbericht.pdf, 11-2_Hoppingen-Noerdlingen_Strecke_5300_km_57_0-70_0_211028600_Ergebniskarten.pdf, E-Mail vom 22.01.2025.
- [5] Büttner, G., Pamer, R., Wagner, B., Hydrogeologische Raumgliederung von Bayern, GLA-Fachbericht 20, herausgegeben vom Bayerischen Geologischen Landesamt, München, 2003.

Karten

- [6] Karte der Naturraum-Haupteinheiten und Naturraum-Einheiten in Bayern, herausgegeben vom Bayerischen Landesamt für Umwelt.
- [7] Geologische Karte des Rieses 1:50.000, herausgegeben vom Bayerischen Geologischen Landesamt, Geologische Sonderkarte, 2005.
- [8] Geologische Karte von Bayern 1:25000, Blatt 7129 Deiningen herausgegeben vom Bayerischen Geologischen Landesamt, 2023.

Online-Auskünfte

- [9] Digitale Kartenwerke des Bayerischen Staatsministeriums der Finanzen und für Heimat (StMFH) <https://geoportal.bayern.de/bayernatlas/> aufgerufen am 06.03.2025.
- [10] Digitale Kartenwerke des Bayerischen Landesamtes für Umwelt (LfU) <https://umweltatlas.bayern.de> aufgerufen am 06.03.2025.
- [11] Erdbebenzonen- und Untergrundklassen, www.gfz-potsdam.de/din4149_erdbebenzonen_abfrage/, aufgerufen am 06.03.2025.

- [12] Geologie des Ries-Sees, Bayerisches Landesamt für Umwelt, <https://www.lfu.bayern.de/geologie/meteorite/ries/riessee/index.htm>, aufgerufen am 06.03.2025.
- [13] Geoportal der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, <https://geoportal.bgr.de/mapapps/resources/apps/geoportal/index.html?lang=de>, aufgerufen am 02.04.2025.

Normen / Regelwerke / Technische Mitteilungen

- [14] Bayerische Technische Baubestimmungen (BayTB), Ausgabe November 2023.
- [15] Eisenbahnspezifische Technische Baubestimmungen (EiTB), 7. Überarbeitung, herausgegeben vom Eisenbahn-Bundesamt, Referat 21, Bonn. 01.01.2025.
- [16] Ril 836, Erdbauwerke planen, bauen und instand halten, DB Netz AG, 8. Aktualisierung, Stand: 05/2022.
- [17] DIN EN 1997-1:2014-03 – Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 1: Allgemeine Regeln.
- [18] DIN 1054:2021-04: Baugrund – Sicherheitsnachweis im Erd- und Grundbau – Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-1.
- [19] DIN EN 1998-1:2010-12 – Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben – Teil 1: Grundlagen, Erdbebeneinwirkungen und Regeln für Hochbauten.
- [20] DIN 4123:2013-04: Ausschachtungen, Gründungen und Unterfangungen im Bereich bestehender Gebäude.
- [21] DIN 4124:2012-01: Baugruben und Gräben- Böschungen, Verbau, Arbeitsraumbreiten.
- [22] DIN 4030-1:2008-06: Beurteilung betonangreifender Wässer, Böden und Gase – Teil 1: Grundlagen und Grenzwerte.
- [23] DIN 50929-3:2024-05: Korrosion der Metalle – Korrosionswahrscheinlichkeit metallener Werkstoffe bei äußerer Korrosionsbelastung – Teil 3: Rohrleitungen und Bauteile in Böden und Wässern.
- [24] DIN 18130-1: Bestimmung des Wasserdurchlässigkeitsbeiwertes – Teil 1: Laborversuche, Mai 1998.
- [25] Verordnung über Anforderungen an den Einbau von mineralischen Ersatzbaustoffen in technische Bauwerke (ErsatzbaustoffV), Ausfertigungsdatum: 09.07.2021, geändert durch Art.1 V v. 13.07.2023 | Nr. 186.
- [26] Merkblatt Nr. 3.4/1, Umweltfachliche Beurteilung der Lagerung, Aufbereitung und Verwertung von Straßenaufbruch, herausgegeben vom Bayerischen Landesamt für Umwelt, Stand 01.03.2019.
- [27] Merkblatt Nr. 3.4/2, Anforderungen an die Verwertung und Beseitigung von Gleisschotter und sonstigen Gleisbaustoffen, herausgegeben vom Bayerischen Landesamt für Umwelt, Stand Juli 2024.
- [28] RStO 12/24, Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Ausgabe 2012, Fassung 2024.
- [29] ZTV E-StB 17, Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Ausgabe 2017.

- [30] RuVA-StB 01, Richtlinien für die umweltverträgliche Verwertung von Ausbaustoffen mit teer-/pechtypischen Bestandteilen sowie für die Verwertung von Ausbauasphalt im Straßenbau, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Ausgabe 2001, Fassung 2005.
- [31] DWA-A 138-1 Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Oktober 2024.
- [32] DB Netz AG: S 8240.25.4 t: Einbauanweisung für Rammrohr mit Adapter – große und kleine Bauform, Ausgabe 08.2016.
- [33] Deutsche Gesellschaft für Geotechnik: Empfehlungen des Arbeitskreises „Pfähle“ (EA-Pfähle), 2. Auflage, 2012.
- [34] Deutsche Gesellschaft für Geotechnik: Empfehlungen des Arbeitskreises „Baugruben (EAB)“, 6. Auflage, 2021

2 Geomorphologische, ingenieurgeologische seismische, hydrologische und hydrogeologische Verhältnisse

2.1 Geomorphologische Verhältnisse

Der Standort der geplanten Baumaßnahmen liegt westlich der Gemeinde Möttingen bzw. südlich des Ortsteils Enkingen, im Landkreis Donau-Ries, entlang der Bahnstrecke 5300 zwischen Augsburg und Nördlingen. Geomorphologisch betrachtet befindet sich das Untersuchungsgebiet im Ries innerhalb des Schwäbischen Keuper-Lias-Land [6].

Die Geländehöhe im Untersuchungsbereich liegt bei etwa 412 bis 417 m ü. NHN. Das Gelände ist im Projektgebiet innerhalb des Rieskraters relativ eben. Die nächstgelegene Erhebung innerhalb des Rieskraters stellt der Hahnenberg mit 466 m ü. NHN dar. Am ca. 5,5 km entfernten Kraterrand bei Mönchsdeggingen steigt das Gelände bis auf ca. 560 m ü. NHN an. Die Flächen im Untersuchungsgebiet werden größtenteils landwirtschaftlich als Äcker und Wiesen genutzt. Am Bahnübergang Enkingen I kreuzt die Ortsverbindungsstraße, die von Enkingen kommend zur Bundesstraße B25 führt, die Bahnstrecke 5300 Augsburg - Nördlingen.

2.2 Ingenieurgeologische Verhältnisse

2.2.1 Erkenntnisse aus geologischen Karten und Bestandsaufschlüssen

Das Untersuchungsgebiet liegt innerhalb des Ries-Kraters, der vor ca. 15 Mio. Jahren im Jungtertiär durch einen Asteriodenimpakt entstand [7]. Bei diesem Ereignis wurden ca. 150 km³ Gestein ausgeworfen und bis in eine Entfernung von ca. 50 km abgelagert (Bunte Trümmernmassen). Im Krater bildete sich ein niederschlagsgespeicherter See, der sich im Laufe der Zeit mit Sedimenten füllte.

Nach [12] setzt die mehr als 300 Meter mächtige Sedimentabfolge des ehemaligen Kratersees mit einer geringmächtigen, grobklastischen Basal-Serie (Konglomerate, Sandsteine) ein. Darüber folgt eine Serie von Tonen und Mergeln. In Flachwasserbereichen am Kraterrand und im aufragenden Bereich des kristallinen Ringes entstanden Riessee-Karbonate als Algenabscheidungen und Absätze von Sprudelquellen. Gegen Ende des Miozäns (vor etwa fünf Millionen Jahren) war die Kraterhohlform völlig aufgefüllt. Ab dem Pleistozän wurde der Krater durch Erosion wieder freigelegt.

Gemäß den geologischen Karten [7] und [10] ist im Projektgebiet zunächst mit dem Antreffen von Lösslehm („Lol“) sowie Talfüllungen („ta“) zu rechnen. Von einer anthropogenen Überprägung in Nahbereichen der Bahnanlagen ist auszugehen. (vgl. Abbildung 6).

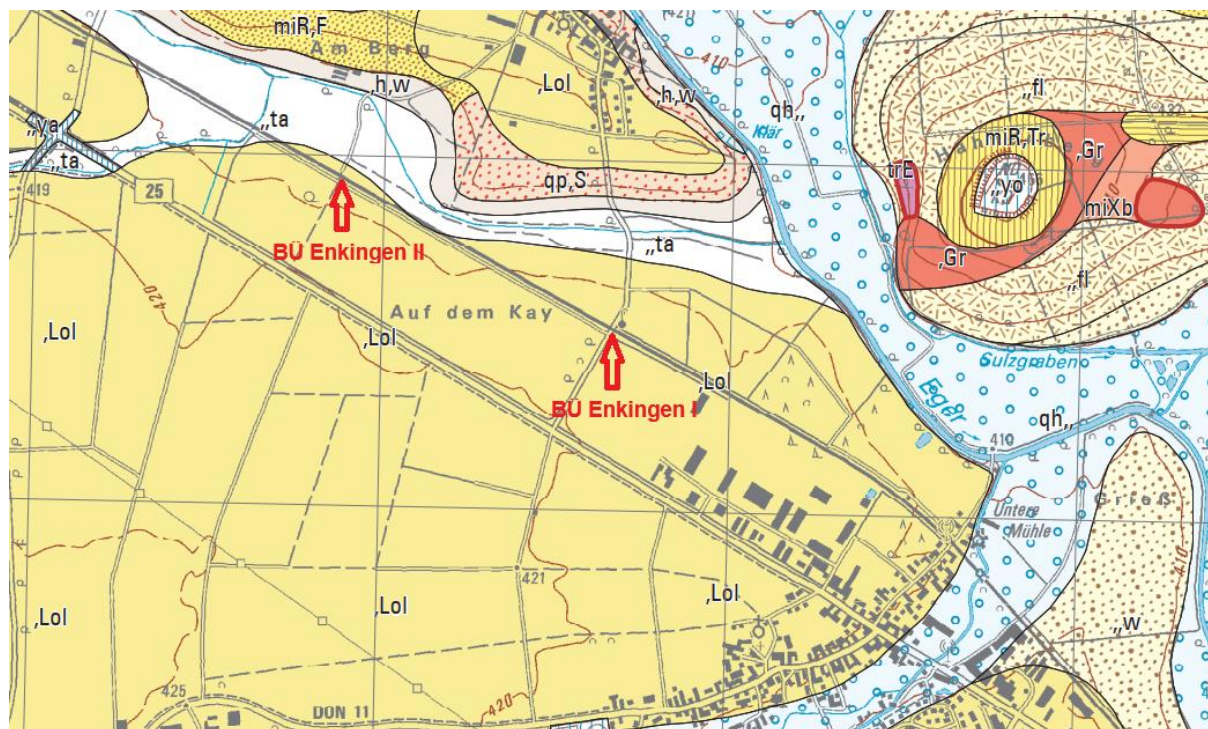


Abbildung 6: Auszug aus der Geologischen Karte von Bayern 1 : 25.000, Blatt 7129 Deiningen, Bayerisches Landesamt für Umwelt

2.2.2 Erkenntnisse aus der Erkundungskampagne 2025

Die vorstehend aus Kartenwerken beschriebene, geologische Situation wurde durch die Erkundungen im März/April 2025 grundsätzlich bestätigt. Einzelheiten zu den in den Aufschlüssen angetroffenen und ermittelten geologischen, geotechnischen und hydrogeologischen Verhältnissen sind in der Anlage 2 (Aufschlussprofile) dokumentiert.

Eine geologische Übersicht über die im Untersuchungsraum angetroffenen stratigraphischen Schicht-einheiten mit ihren jeweiligen Mächtigkeiten ist in der nachfolgenden Tabelle zusammengestellt.

Tabelle 3: Geologischer Überblick über die im Bereich der Baumaßnahme anstehenden Böden

Forma- tion	Abteilung	Stufe, Gestein	erkundete Mächtigkeiten im Untersuchungsraum [m]
Quartär	Holozän	Künstliche Ablagerungen („ya)	0,2 – 1,2
	Pleistozän	Lösslehm („Lol)	0,6 – 4,2
	Pleistozän	Flussablagerungen (qpo,,)	0,6 – 2,3
	Tertiär	Feinsediment, sedimentäre Rieskra- terfüllung (miR,F)	0,3 ¹⁾ – 4,6 ¹⁾

¹⁾ Das Liegende dieser Schicht wurde bis zur Bohrendteufe nicht aufgeschlossen, größere Schichtmächtigkeiten sind daher möglich

Mit Bezug auf den vorstehenden geologischen Überblick und die aktuellen Erkundungsergebnisse ist im Bereich der Bahnübergänge Enkingen I und II und der Ersatzwege von nachfolgendem geologischen Schichtaufbau auszugehen.

Künstliche Ablagerungen („ya)

Entlang vorhandener Feldwege wurden ungebundene Tragschichten aus Kalkschotter erkundet, die sich aus schluffig/tonigen bis stark schluffigen/tonigen, schwach sandigen Kiesen, die überwiegend locker bis mitteldicht gelagert sind, zusammensetzen. Die Stärke der Wege-Befestigung kann variieren, ist stellenweise stark ausgedünnt und schwankt zwischen 0,2 und 0,5 m. Der Wege-Schotter ist insbesondere in den unteren Lagen der Auffüllungen mit anstehendem, stark bindigen Bodenmaterial vermischt. Zudem liegen im Bereich der Feldwege auch schluffige/tonige Auffüllungen weicher bis steifer Konsistenz vor. Die Mächtigkeit der Auffüllungen insgesamt liegt hier zwischen ca. 0,2 und 1,2 m.

Im Umfeld des Bahnübergangs Enkingen I wurden neben stark schluffigen Kiesen mit lockerer bis mitteldichter Lagerung überwiegend bindige Auffüllböden aus weichen, schwach kiesigen bis kiesigen Schluffen/Tonen bis in eine Tiefe von 0,8 m u. GOK angetroffen. Lokal sind Fremdbestandteile in Form von Kalkschotter sowie Ziegelbruch eingelagert.

Im Bereich des Bahnübergangs Enkingen II wurden stellenweise bis ca. 1,1 m unter GOK weiche, schwach kiesige, schwach Tone/Schluffe sowie gemischtkörnige Böden als Auffüllungen abgegrenzt.

Unter der Oberflächenbefestigung der Ortsverbindungsstraße wurden bis in eine Tiefe von 0,3 bis 0,4 m eine Tragschicht aus stark sandigen, steinigen, schwach schluffigen Kiesen mit mitteldichter bis dichter Lagerung erkundet. Direkt unterhalb der gebundenen Tragschicht wurden Steine / Schroppen angetroffen.

Im Rahmen des Schotterschurfes im Gleisbett (SCH_01) am Bahnübergang Enkingen I wurde unterhalb des Gleisschotters eine Planumsschutzschicht (PSS), bestehend aus sandigem bis stark sandigem, schwach schluffigem Kies, erkundet.

Löss / Lösslehme („Lol)

Die ursprünglich vom Wind abgelagerten pleistozänen Löss-Sedimente bestehen aus tonigen, schwach feinsandigen Schluffen und zeichnen sich durch einen Kalkgehalt von 10 % bis 30 % aus. Durch teils mehrfache Umlagerung kann in den Lösslehmern die Korngrößenzusammensetzung zu Gunsten des Tonanteils verändert vorliegen, dabei ist der Kalkgehalt meist deutlich verringert. Im Rahmen der Baugrunderkundung wurden die Lösslehme in Form von teilweise schwach kiesigen, stark tonigen Schluffen bzw. stark schluffigen Tonen in weicher bis steifer, lokal breiiger Konsistenz angetroffen.

Flussablagerungen (qpo,,)

Lokal, in den Aufschlüssen KRB_09, KRB_12, KRB_13, KRB_18 und KRB_27, treten überwiegend stark schluffig/tonige, schwach sandige Kiese bzw. stark schluffig/tonige Sande auf, die als pleistozäne Fluss-Sedimente interpretiert werden. Die Lagerungsdichte der Flussablagerungen ist überwiegend locker bis mitteldicht.

Feinsediment, sedimentäre Rieskraterfüllung (miR,F)

Unter der pleistozänen bis holozänen Überdeckung wurde das Feinsediment des Ries-Sees angetroffen. Bei dem Feinsediment, auch „Ries-See Ton“ genannt, handelt es sich um feingeschichteten Tonstein. Vorliegend ist dieses veränderlich feste Gestein zu mittelpastischen bis ausgesprochen plastischen Tonen in überwiegend steifer bis halbfester Konsistenz verwittert, die lokal aufgeweicht sein können und in diesen Fällen eine breiige bis weiche Konsistenz aufweisen.

2.3 Seismische Verhältnisse

Das Untersuchungsgebiet liegt gemäß DIN 4149 (Fassung 2005) in keiner Erdbebenzone [11].

Es wird darauf hingewiesen, dass im Juli 2021 ein neuer nationaler Anhang DIN EN 1998-1/NA eingeführt wurde, mit dem die Nachweisführung grundlegend geändert wurde. Dieses Regelwerk ist jedoch noch nicht bauaufsichtlich bzw. eisenbahnspezifisch eingeführt.

Bis zur bauaufsichtlichen Einführung sind weiterhin die Regelungen der DIN 4149 anzuwenden.

2.4 Hydrologische Verhältnisse

Die geplanten Ersatzwege verlaufen unweit des Großelfinger Bachs bzw. der Eger. Der Großelfinger Bach mündet zwischen Enkingen und Möttingen in die Eger, die wiederum ca. 3,4 km östlich von Möttingen, bei Heroldingen, in die Wörnitz mündet.

Laut einer Recherche über das Internetportal „BayernAtlas“ der bayerischen Staatsregierung [9] liegt das Projektgebiet außerhalb der Hochwassergefahrenflächen des HQ_{extrem} und festgesetzter Heilquellen-, Trinkwasser- und Landschaftsschutzgebieten sowie FFH-Gebieten und Bodendenkmälern.



Abbildung 7: Hochwassergefahrenflächen (blau) im Umfeld des Untersuchungsgebiets [9]; der Verlauf der geplanten Ersatzwege und die BÜs sind rot eingetragen

2.5 Hydrogeologische Verhältnisse

Grundwasservorkommen und -stockwerksgliederung

Im Bereich der Riessee-Sedimente weist sowohl die Randfazies mit Seekalken und Konglomeraten als auch die Beckenfazies mit sehr gering durchlässigen silikatisch-karbonatischen Mergeln und Tonen

einen meist freien Wasserspiegel mit niedrigem Flurabstand auf [5]. Lössablagerungen überdecken großräumig die Seesedimente. Im Talbereich der Wörnitz und ihrer Seitenzuflüsse (hier Großelfinger Bach) können zudem quartäre, silikatisch-karbonatische Kiese und Sande einen Grundwasserleiter mittlerer Durchlässigkeit bilden.

Laut einer Recherche über das Internetportal „BayernAtlas“ der bayerischen Staatsregierung [9] liegen die untersuchten Bahnübergänge und Ersatzwege im unmittelbaren Umfeld wassersensibler Bereiche, in denen potenziell hohe Grundwasserstände vorliegen können.

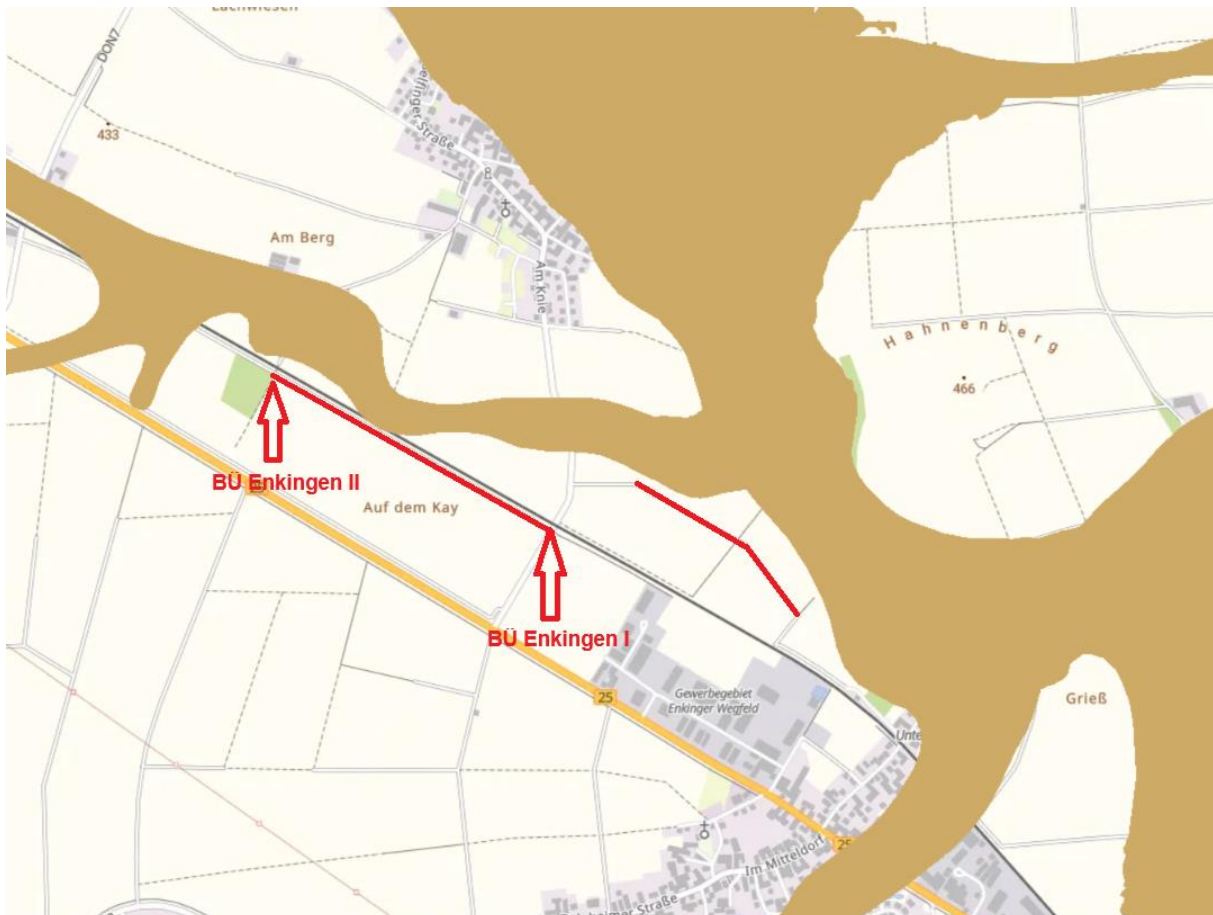


Abbildung 8: Wassersensible Bereiche (braun) im Umfeld des Untersuchungsgebietes [9], der Verlauf der geplanten Ersatzwege und die BÜs sind rot eingetragen

Grundwasserstandsverhältnisse und -fließrichtung

Trotz der geringen hydraulischen Durchlässigkeit ist der obere Grundwasserleiter nahezu flächendeckend innerhalb der Riessee-Sedimente ausgebildet. In den im Rahmen der Baugrunderkundung abgeteufte Aufschlüsse wurde überwiegend ein oberflächennahes Grundwasservorkommen in den Riessee-Sedimenten unter gespannten Verhältnissen angetroffen. Die Grundwasserstände sind in Tabelle 4 aufgelistet. Hierzu ist anzumerken, dass im Erkundungszeitraum März 2025 Mittelwasser- bis Hochwasserverhältnisse vorlagen.

Die Wasserspiegel stiegen nach dem Erbohren an. Da unverrohrte Aufschlüsse ausgeführt wurden und ein längeres Abwarten zu Bohrlochinstabilitäten führen kann, können lokal auch höhere Ruhewasserstände, als die Gemessenen, möglich sein.

In einigen Aufschlüssen wurde kein Grundwasser angetroffen bzw. lediglich vernässtes Bohrgut gefördert. In Einzelfällen stürzte das Bohrloch oberflächennah ein, sodass im Weiteren kein Grundwasserstand gemessen werden konnte. Dies ist ebenfalls in Tabelle 4 vermerkt.

Aufgrund der Höhenlage der Grundwasserspiegel kann davon ausgegangen werden, dass das Grundwasservorkommen in hydraulischem Kontakt mit der nahegelegenen Eger bzw. deren Zuflüssen (hier Großelfinger Bach) steht und in diese entwässert, mit Fließrichtung im Projektgebiet grob von Süd nach Nord (Kraterand -> Eger).

Tabelle 4: Erkundete Grundwasserstände während der Baugrunderkundung

Aufschluss	Ansatzpunkt [m ü. NHN]	Grundwasser angebohrt [m u. GOK]	Ruhewasserstand [m u. GOK]	Ruhewasserstand [m ü. NHN]
KRB_09	416,70	1,90	1,90	414,80
KRB_10	417,15	2,80	2,80	414,35
KRB_11	417,18	nicht angetroffen	nicht angetroffen	nicht angetroffen
KRB_12	417,51	1,34	1,34	416,17
KRB_13	417,93	1,32	1,18	416,75
KRB_14	417,01	5,60	5,60, ab 5,0 m Bohrgut nass	411,41
KRB_15	417,30	3,07	1,65	415,65
KRB_16	417,40	nicht angetroffen	nicht angetroffen	nicht angetroffen
KRB_17	417,05	Bohrgut nass ab 3,0 m	-	Bohrloch verstürzt
KRB_18	415,86	1,35	1,35	414,51
KRB_19	414,72	nicht angetroffen	nicht angetroffen	nicht angetroffen
KRB_20	413,09	2,65	2,65	410,44
KRB_21	413,20	nach Erreichen von 5,0 m Bohrtiefe 2,35	1,55	411,65
KRB_22	413,47	nach Erreichen von 5,0 m Bohrtiefe 1,55	1,40	412,07
KRB_23	415,21	3,05	3,05	412,16
KRB_24	413,98	nicht angetroffen	nicht angetroffen	nicht angetroffen
KRB_25	414,11	1,65	1,65	412,46
KRB_26	414,18	1,93	1,93	412,25
KRB_27	416,73	3,41	3,41	413,32
KRB_28	416,44	-	-	Bohrloch eingestürzt bei 4,1 m
KRB_29	415,36	2,45	2,45	412,91

Hydrochemische Verhältnisse

Chemische Grundwasseranalysen wurden im Rahmen der Baugrunderkundung nicht durchgeführt. Laut dem Geoportal der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe [13] handelt es sich bei dem Grundwasser in betrachtetem Untersuchungsgebiet um erdalkalisch-karbonatische Wässer.

Durchlässigkeit des obersten Aquifers

Auf Grundlage der überwiegend bindigen bis stark bindigen Bodenansprachen sowie der Ergebnisse der Korngrößenanalysen kann von einer geringen bis sehr geringen Durchlässigkeit des örtlichen obersten Grundwasserleiters im Bereich von $1 \cdot 10^{-7}$ m/s bis $1 \cdot 10^{-9}$ m/s ausgegangen werden. Eine vergleichbare hydraulische Durchlässigkeit kann für die Deckschichten aus Lösslehm angenommen werden.

Bemessungswasserstand

Im Rahmen der Baugrunderkundung im März 2025 wurde der höchste Grundwasserstand mit 416,8 m ü. NHN (ca. 1,2 m unter GOK) in der KRB_13 im südlichen Bereich des Bahnübergangs Enkingen I erkundet.

Der geplante Ersatzweg BÜ Enkingen I – BÜ Enkingen II hat ca. zwischen KRB_20 und KRB_21 einen Tiefpunkt. An dieser Stelle befindet sich bei der parallel verlaufenden Bahnlinie ein Durchlassbauwerk für einen Entwässerungsgraben. Es wurden entlang des Ersatzweges Grundwasserstände zwischen 410,4 m ü. NHN und 414,5 m ü. NHN gemessen (vgl. Tabelle 4).

Im Bereich des geplanten Ersatzweges BÜ Enkingen I – BÜ „Mühle“ wurde der höchste Grundwasserstand mit 413,3 m ü. NHN erkundet.

Da es sich um gespannte Grundwasserverhältnisse handelt, wird das Grundwasser voraussichtlich erst bei größeren Eingriffstiefen erschlossen. Die Baumaßnahmen zur Herstellung der Ersatzwege greifen bei Eingriffstiefen bis max. 1,0 m u. GOK voraussichtlich nicht in das oberste Grundwasservorkommen ein.

Auf Grundlage der erkundeten hydrogeologischen Verhältnisse im Projektgebiet werden für den Bauzustand nachfolgende Bemessungsgrundwasserstände für Eingriffe tiefer als 1,0 m u. GOK empfohlen:

Bereich BÜ Enkingen I: $HW_{Bau} = 417,0$ m ü. NHN

Bereich BÜ Enkingen II: $HW_{Bau} = 412,4$ m ü. NHN

Bereich Ersatzweg BÜ Enkingen I – BÜ Enkingen II: $HW_{Bau} = 414,8$ m ü. NHN

Bereich Ersatzweg BÜ Enkingen I – BÜ „Mühle“: $HW_{Bau} = 413,6$ m ü. NHN

Für Aushubzustände bis 1,0 m unter GOK sind die vorgenannten bauzeitlichen Bemessungsgrundwasserstände aufgrund der erkundeten leicht gespannten Verhältnisse als Druckwasserspiegel zu berücksichtigen.

Es wurden hierbei die jeweils höchsten erkundeten Grundwasserspiegel mit einem Sicherheitsaufschlag von ca. 0,25 m angesetzt.

Nach stärkeren Niederschlagsereignissen sind temporär auch Stau- bzw. Schichtwässer in allen Tiefenlagen ab GOK möglich und zu beachten.

Auf Basis der aktuell vorliegenden Erkenntnisse wird folgender Bemessungswasserstand für den Endzustand empfohlen:

Bemessungswasserstand $HW_{End} = \text{Geländeoberkante}$

3 Bodenmechanische Laborversuche

Neben der indirekten Abschätzung von Bodenkennwerten aus den DPH-Widerstandslinien wurden zur direkten Kennwertbestimmung aus den Rammkernbohrungen gestörte Bodenproben entnommen und im Labor hinsichtlich einer bautechnischen Klassifizierung gemäß DIN 18196 und hinsichtlich ihrer Wassergehalte untersucht. Die Ergebnisse der Untersuchungen können im Detail der Anlage 4 entnommen werden. Zusammenfassend bestätigen die bodenmechanischen Laborversuche die Bodenansprachen vor Ort.

4 Orientierende, umweltanalytische Laborversuche

4.1 Boden

4.1.1 Probenzusammensetzung und Vorbemerkungen

Aus Einzelproben der anthropogen beeinflussten Bodenschichten in den Bereichen des Bahnübergangs Enkingen I Nord (MP-1, MP-3) und Süd (MP-2, MP-4), im Bereich des Ersatzwegs BÜ Enkingen I – BÜ Enkingen II (MP-5, MP-6, MP-7) sowie des Ersatzwegs BÜ Enkingen I - BÜ „Mühle“ (MP-8, MP-9) wurden Mischproben hergestellt und im Labor der AGROLAB Labor GmbH in Bruckberg gemäß Ersatzbaustoffverordnung in der Gesamtfraktion untersucht. Die Zusammensetzung der Mischproben ist in Tabelle 5 aufgeführt.

Tabelle 5: Zusammensetzung der Mischproben

Bezeichnung Mischprobe	Einzelproben	Bodenart	Entnahmebereich
MP-1	KRB_09: 0,2 – 0,4 m KRB_10: 0,2 – 0,6 m	A [G, s, u'] A [U/T, g-g*, s]	BÜ Enkingen I Nord
MP-2	KRB_14: 0,3 – 0,5 m KRB_11: 0,2 – 0,5 m KRB_11: 0,5 – 0,8 m	A [U/T, g', o'] A [G, u*/t*, o'-o] U/T, fg', o'	BÜ Enkingen I Süd
MP-3	KRB_10: 0,6 – 1,5 m KRB_15: 0,3 – 0,8 m KRB_15: 0,8 – 2,0 m	T/U, fg' U/T, o' U/T	BÜ Enkingen I Nord
MP-4	KRB_13: 0,3 – 0,5 m KRB_13: 0,5 – 1,5 m KRB_14: 0,5 – 1,5 m	U/T, o' U/T, o' U/T	BÜ Enkingen I Süd
MP-5	KRB_16: 0,0 – 0,4 m KRB_18: 0,0 – 0,2 m KRB_18: 0,2 – 0,6 m	A [G, s, u'/t'] A [U/T, g, o'-o] [U/T, g']	Ersatzweg BÜ Enkingen I – BÜ Enkingen II
MP-6	KRB_16: 0,4 – 0,6 m KRB_19: 0,3 – 0,7 m KRB_19: 0,7 – 1,3 m	A [U/T, g] A [U/T, g*] U/T	Ersatzweg BÜ Enkingen I – BÜ Enkingen II
MP-7	KRB_20: 0,0 – 0,2 m KRB_20: 0,2 – 0,6 m KRB_23: 0,1 – 1,1 m	A [G, u*/t*] A [U/T, g, o'] A [U/T, g', o']	Ersatzweg BÜ Enkingen I – BÜ Enkingen II
MP-8	KRB_25: 0,0 – 0,3 m KRB_27: 0,0 – 0,3 m KRB_28: 0,0 – 0,4 m KRB_29: 0,0 – 0,3 m	A [G, u/t, o'] A [G, u/t] A [G, u'/t', s'] A [G, u*/t*]	Ersatzweg BÜ Enkingen I – BÜ „Mühle“
MP-9	KRB_25: 0,3 – 0,8 m KRB_28: 0,4 – 1,0 m KRB_29: 0,3 – 1,0 m	A [U/T, g', o'] A [G, u*/t*] A [U, t', o', g']	Ersatzweg BÜ Enkingen I – BÜ „Mühle“

4.1.2 Ergebnisse der Untersuchungen der Bodenschichten nach den Anforderungen der Ersatzbaustoffverordnung

Die Ergebnisse der Auswertung der Untersuchung der Bodenschichten sind in der nachfolgenden Tabelle 6 zusammengefasst und können im Prüfbericht 3678865 der Anlage 5 nachvollzogen werden. Unter Berücksichtigung der bindigen Anteile der untersuchten Bodenproben wurden bei der Bewertung die Materialwerte für die Bodenart „Lehm/Schluff“ angesetzt. Die Einteilung der Homogenbereiche, auf die in Spalte 2 Bezug genommen wird, erfolgt in Kapitel 5.1.

Tabelle 6: Ergebnisse der Untersuchungen der Bodenschichten nach der Ersatzbaustoffverordnung, Anlage 1, Tabelle 3

Probenbezeichnung	Homogenbereich	Einstufung nach Ersatzbaustoffverordnung	AVV-Abfallschlüssel	Relevante Schadstoffe > BM/BG-0 und Schadstoffkonzentration
MP-1	HOM-A	BM/BG-0*	170504 / 170506	TOC ¹⁾ = 1,1 % Benzo(a)pyren = 0,31 mg/kg PAK 16 Summe = 3,6 mg/kg PAK 15 Summe = 0,27 µg/l
MP-2	HOM-A	BM/BG-F2	170504 / 170506	TOC ¹⁾ = 2,5 % Benzo(a)pyren = 0,46 mg/kg PAK 16 Summe = 6,1 mg/kg
MP-3	HOM-A	BM/BG-0	170504 / 170506	-
MP-4	HOM-A	BM/BG-0	170504 / 170506	Elektrische Leitfähigkeit ²⁾ = 411 µS/cm
MP-5	HOM-A	BM/BG-0	170504 / 170506	TOC ¹⁾ = 1,31 %
MP-6	HOM-A	BM/BG-0	170504 / 170506	-
MP-7	HOM-A	BM/BG-0	170504 / 170506	TOC ¹⁾ = 1,04 %
MP-8	HOM-A	BM/BG-0	170504 / 170506	-
MP-9	HOM-A	BM/BG-0	170504 / 170506	-

¹⁾ Bodenmaterialspezifischer Orientierungswert. Beim Einbau sind Volumenbeständigkeit und Setzungsprozesse sowie die Vorgaben von § 6 Absatz 11 Satz 2 und 3 der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung zu berücksichtigen.

²⁾ Stoffspezifischer Orientierungswert; bei Abweichungen ist die Ursache zu prüfen. Ursachen für die erhöhte Leitfähigkeit könnten Überreste von Straßen-Streusalz oder andere leicht lösliche Stoffe geogenen Ursprungs sein.

Wie den Angaben der Tabelle 6 zu entnehmen ist, weisen die untersuchten Mischproben MP-1 und MP-2 der obersten Bodenschichten aus dem Bereich des Bahnübergangs Enkingen I einstufigsrelevante Stoffkonzentrationen an PAK (polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe) und Benz(a)pyren auf.

Die untersuchten Böden (MP 5 bis MP 9) aus den Bereichen der geplanten Ersatzwege wurden gemäß den Ergebnissen in Tabelle 6 in die Materialklasse BM/BG-0 eingestuft.

Es wird darauf hingewiesen, dass erfahrungsgemäß auch mit höheren Belastungen, als den erkundeten gerechnet werden muss.

4.1.3 Empfehlungen

Die orientierende abfallrechtliche Untersuchung ersetzt keine abschließende Deklaration des Aushubmaterials im Sinne der Ersatzbaustoffverordnung. Für einen ordnungsgemäßen und fachgerechten Wiedereinbau von Ersatzbaustoffen in technischen Bauwerken aus abfalltechnischer Sicht sind darüber hinaus standort- und verwertungsspezifische Bewertungen vorzunehmen:

- Lage des Einbauortes zu Wasserschutzbereichen
- dem höchsten gemessenen Grundwasserstand (zuzüglich eines Sicherheitsabstands)
- Kenntnis über die Eigenschaft der Grundwasserdeckschichten
- Art der Einbauweise

Generell gilt, dass alle Auffüllböden und alle weiteren organoleptisch auffälligen Böden zu separieren und nach Ausbildung auszubauen sowie auf einer befestigten Fläche auf Haufwerke ($\leq 500 \text{ m}^3$) zu lagern, zu beproben, chemisch zu analysieren und entsprechend den Deklarationsergebnisse ordnungsgemäß zu verwerten / entsorgen sind. Die Zugabe von unbelastetem Material mit dem Ziel der Verdünnung ist nicht zulässig. Die Verwertung hat dabei nach § 7 KrwG grundsätzlich Vorrang vor der Beseitigung.

4.2 Straßenaufbruch

Zur orientierenden abfalltechnischen Beurteilung der vorhandenen Oberflächenbefestigungen wurden die Asphaltproben der Aufschlüsse KRB_RPH_09 (0,0 – 0,09 m) und KRB_DPH_13 (0,0 – 0,13 m) im Bereich des Bahnübergangs Enkingen I sowie der Aufschlüsse AS_01 (0,0 – 0,08 m) und AS_02 (0,0 – 0,08 m) im Bereich des Bahnübergangs Enkingen II an die AGROLAB Labor GmbH in Bruckberg überstellt und nach den Parameter gemäß RuVA StB-01 untersucht. Alle entnommenen Asphaltkerne waren während der Entnahme organoleptisch unauffällig.

Die nachfolgende Tabelle 7 fasst die Ergebnisse der Untersuchungen zusammen. Die Ergebnisse können zudem im Prüfbericht 3678874 der Anlage 5 nachvollzogen werden.

Tabelle 7: Bewertung der untersuchten Asphaltsschichten nach LfU-Merkblatt 3.4/1 Anhang 1

Proben- bezeich- nung	PAK [mg/kg]	Benzo(a)py- ren [mg/kg]	Phenol- index [mg/l]	Verwer- tungsklasse nach RuVA- StB 01	Zuordnung nach LfU- Merkblatt 3.4/1	AVV-Abfall- schlüssel
AS_01	k.S.	<0,50	<0,01	A	Ausbauasphalt ohne Verunrei- nigungen	17 03 02
AS_02	k.S.	<0,50	<0,01	A	Ausbauasphalt ohne Verunrei- nigungen	17 03 02
KRB_DPH _09	3341	150	0,05	C	gefährlicher pechhaltiger Straßenauf- bruch	17 03 01
KRB_DPH _13	24,7	1,9	<0,01	B	gering verun- reinigter Aus- bauasphalt	17 03 02

k.S. = keine Summenbildung, alle Einzelwerte unterhalb der Bestimmungsgrenze

Bei den Asphaltproben AS_01 und AS_02 des Bahnübergangs Enkingen II handelt es sich gemäß dem LfU-Merkblatt 3.4/1 um sog. Ausbauasphalt ohne Verunreinigungen (PAK-Gehalt ≤ 10 mg/kg PAK). Eine Aufbereitung / Wiederverwendung dieser Asphaltsschichten mit Bindemitteln im Heißmischverfahren ist möglich. Es bestehen hier sowohl bei der ungebundenen als auch gebundenen Verwertung keine Auflagen.

Die untersuchte Asphaltprobe KRB_DPH_13, die südlich des Bahnübergangs Enkingen I entnommen wurde, ist gemäß [26] dem sog. gering verunreinigtem Ausbauasphalt zuzuordnen (PAK-Gehalt 10 bis ≤ 25 mg/kg PAK). Eine Verwertung im Heißmischverfahren ist möglich, der Einbau darf jedoch nur unter einer dichten Deckschicht erfolgen.

Bei der untersuchten Asphaltprobe KRB_DPH_09, die nördlich des Bahnübergangs Enkingen I entnommen wurde, wurde ein PAK-Gehalt von 3341 mg/kg ermittelt. Das Material ist somit gemäß [26] als gefährlicher pechhaltiger Straßenaufbruch einzustufen.

Die weiteren Angaben des Merkblatts Nr. 3.4/1 (Bayerisches Landesamt für Umwelt) [26] sind zu beachten.

Aufgrund der am Bahnübergang Enkingen I erkundeten Belastungen der Asphaltsschichten, wird empfohlen, die bestehenden Verkehrsflächen mit einem Bagger, in Bruchschollen auszubauen und auf den Einsatz von Asphaltfräsen zu verzichten, um ggf. eine Abgrenzung und Trennung des hoch belasteten Straßenaufbruchs zu ermöglichen. Die Lagerung muss abgeplant auf versiegelten Oberflächen erfolgen. Die maximale Haufwerksgröße sollte auf ca. 10 m³ bis 50 m³ begrenzt werden, um eine Entsorgung der hochbelasteten Asphaltsschichten möglichst wirtschaftlich zu gestalten. Eine Vermischung mit Bodenmaterial muss unter allen Umständen vermieden werden.

4.3 Gleisschotter

Nach den Ergebnissen der umweltchemischen Untersuchungen gemäß Ersatzbaustoffverordnung ist der Gleisschotter der untersuchten Mischprobe SCH01 (0,0 – 0,45 m) der Materialklasse **GS-1** zuzuordnen. Die Analyse erfolgte in der Fraktion < 32 mm. Die Ergebnisse sind in Tabelle 8 aufgeführt und können im Prüfbericht 3678865 der Anlage 5 nachvollzogen werden.

Tabelle 8: Ergebnisse der Gleisschotter-Untersuchungen

Probenbezeichnung	Bodenart	Einstufung nach Ersatzbaustoffverordnung	AVV-Abfall-schlüssel	Relevante Schadstoffe Schadstoffkonzentration
SCH01	Kies, sandig bis stark sandig, schwach tonig/schluffig	GS-1	17 05 08	PAK 15 Summe 0,65 µg/l

Die Herbizid-Zuordnungswerte für die Verwertung von Gleisschotter gemäß Gleisschottermerkblatt [27] werden in der Probe SCH01 unterschritten, die Einzelwerte der Herbizide liegen jeweils unterhalb der Bestimmungsgrenze.

4.4 Beton- und Stahlaggressivität der Baugrundsichten

Die charakteristischen Bodenproben KRB_10: 3,3 – 4,8 m und KRB_11: 4,5 – 6,0 m aus dem Feinsediment der sedimentären Rieskraterfüllung (miR,F) im Bereich des Bahnübergangs Enkingen I wurden in der AGROLAB Labor GmbH Bruckberg, auf Beton- und Stahlaggressivität untersucht.

Nach den Ergebnissen liegen am Untersuchungsstandort keine betonangreifenden Verhältnisse vor (siehe Tabelle 9 und Tabelle 10).

Tabelle 9: Einstufung der Bodenprobe KRB_10: 3,3 – 4,8 m (miR,F) in Expositionsclassen gemäß DIN 4030-2

Chemische Merkmal	Messwert	XA1	XA2	XA3
SO ₄ ²⁻ [mg/kg]	367	> 2000-3000	> 3000-12000	> 12000-24000
Säuregrad nach Baumann-Gully (ml/kg)	22	>200	In der Praxis nicht anzutreffen.	

Tabelle 10: Einstufung der Bodenprobe KRB_11: 4,5 – 6,0 m (miR,F) in Expositionsclassen gemäß DIN 4030-2

Chemische Merkmal	Messwert	XA1	XA2	XA3
SO ₄ ²⁻ [mg/kg]	1170	> 2000-3000	> 3000-12000	> 12000-24000
Säuregrad nach Baumann-Gully (ml/kg)	23	>200	In der Praxis nicht anzutreffen.	

Die Auswertung der Ergebnisse auf Stahlaggressivität erfolgte nach DIN 50929-3:2018-3 über die Bewertungszahlen Z₁ bis Z₁₄ in der nachfolgenden Tabelle 11 mit anschließender Abschätzung der Korrosionsbelastung bzw. Korrosionswahrscheinlichkeit.

Die Ergebnisse können in den Prüfberichten 3680002 und 3681255 der Anlage 5 nachvollzogen werden.

Tabelle 11: Angaben zur Beurteilung der Stahlaggressivität von Erdböden

Z	Merkmal und Messgröße	Anforderung oder Kriterium	Einheit	Messwert	Bewertung
Bodenproben					
Z ₁	Bodenart - Bindigkeit - Verunreinigungen	Anteil an abschlämmbaren Bestandteilen DIN EN 12501-2:2003-08, Tabelle 1	Massen-Anteile in %	> 80 -	-4 -
Z ₂	spezifischer elektrischer Bodenwiderstand	Niedrigster Widerstand nach Wasserzugabe, gemessen in der Zelle	Ω m	200 bis 500	+2
Z ₃	Bodenfeuchte und Bezug für Z ₆ bis Z ₁₀	Wassergehalt nach Trocknen bei 105 °C	Massen-Anteile in %	28,2 / 26,7	-1
Z ₄	pH-Wert	pH-Wert bei 50 % Wasseranteil	-	8,38 / 8,02	0
Z ₅	Pufferkapazität - Alkalität K _S 4,3	Säurekapazität bis pH 4,3	mmol/kg	5,44 / 8,28	0
Z ₆	Pufferkapazität - Alkalität K _B 7,0	Basekapazität bis pH 7,0	mmol/kg	< 0,4 / < 0,4	0
Z ₇	sulfatreduzierende Bakterien	Sulfid-Gehalt	mg/kg	0,16 / < 0,1	0
Z ₈	Sulfat-Gehalt	Sulfat-Gehalt	mmol/kg	2,84 / 9,09	-1 / -2
Z ₉	Neutralsalze	Chlorid- und Sulfat-Gehalt im wässrigen Auszug	mmol/kg	1,28 / 34,7	0 / -3
Örtliche Begebenheiten					
Z ₁₀	Lage des Objektes zum Grundwasser	Grundwasser vorhanden	-	immer	-1
Z ₁₁	Bodenhomogenität anhand Bodenwiderstandsprofil	Schwankungen des Bodenwiderstandes	-	$ \Delta Z_2 < 2$	0
Z ₁₂	Bodenhomogenität vertikal	Unterschiedliche Bodenwiderstände	-	$2 \leq \Delta Z_2 \leq 3$	-1
Z ₁₃	Bodenhomogenität - Bettung	Artgleicher Boden oder Sand Bodenfremde Bestandteile wie Holz, Wurzeln oder Böden mit Merkmalen nach DIN EN 12501-2:2003-08, Tabelle 1	-	homogen	0

Z	Merkmal und Messgröße	Anforderung oder Kriterium	Einheit	Messwert	Bewertung
Z ₁₄	Bodenhomogenität - unterschiedliche pH-Werte	anthropogene Beeinflussung z. B. Verunreinigungen mit Abbruch, gekalkte Böden	-	$ \Delta Z_4 < 1,5$	0

Berechnung der Bewertungszahlsummen

Freie Korrosion ohne Mitwirkung ausgedehnter Konzentrationselemente:

$$B_0 = Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4 + Z_5 + Z_6 + Z_7 + Z_8 + Z_9 + Z_{10}$$

$$B_0 = -5 / -9$$

Freie Korrosion unter Mitwirken ausgedehnter Konzentrationselemente:

$$B_1 = B_0 + Z_{11} + Z_{12} + Z_{13} + Z_{14}$$

$$B_1 = -4 / -8$$

Tabelle 12: Bodenklasse, Korrosionsbelastung und Korrosionswahrscheinlichkeit bei freier Korrosion von unlegierten und niedriglegierten Eisenwerkstoffen

B ₀ - bzw. B ₁ -Werte	Bodenklasse	Korrosionsbelastung*	Korrosionswahrscheinlichkeit aufgrund der B ₁ -Werte	
	Aufgrund der B ₀ -Werte		Mulden- und Lochkorrosion	Flächenkorrosion
B ₀ = -5 / -9 B ₁ = -4 / -8	II	mittel	gering bis mittel	sehr gering bis gering
* Die Korrosionsbelastung entspricht der Korrosionswahrscheinlichkeit für freie Korrosion ohne Mitwirken ausgedehnter Konzentrationselemente				

Aus den Bewertungszahlsummen B₀ und B₁ ergibt sich die Bodenklasse II mit mittlerer Korrosionsbelastung und einer geringen bis mittleren Mulden- und Lochkorrosions- bzw. einer sehr geringen bis geringen Flächenkorrosionswahrscheinlichkeit.

5 Geotechnische Beurteilung

5.1 Baugrundsichten und Homogenbereiche

Anhand der im März 2025 durchgeführten Baugrundaufschlüsse lässt sich der Untergrund im Bereich der geplanten Baumaßnahme in lithologischer Hinsicht in die in der Tabelle 13 beschriebenen Homogenbereiche (HOM) gemäß DIN 18300:2019-09 für Erdarbeiten einteilen. Zusätzlich erfolgt eine Einteilung in Homogenbereiche für Ramm-, Rüttel- und Pressarbeiten gemäß DIN 18304:2019-09 (RAMM).

Tabelle 13: Erkundete Baugrundsichtung im Untersuchungsbereich mit Zuordnung zu Homogenbereichen nach DIN 18300:2019

Schicht Nr.	Schichtbenennung / Stratigraphische Einheit	Beschreibung / Bodengruppen nach DIN 18196:2023-02	Konsistenz / Lagerungsdichte	Einstufung Homogenbereich gemäß DIN 18300:2019-09	Einstufung Homogenbereich gemäß DIN 18304:2019-09
1	Oberboden	OU/OT, TL	weich bis steif	HOM-O	RAMM-O
2	Straßentrag-schichten und PSS („ya)	[BS], [GE], [GW], [GT], [GU]	mitteldicht bis dicht	HOM-A1	RAMM-A1
3	Künstliche bindige und gemischtkörnige Auffüllungen („ya)	[GU]/[GT], [GU*]/[GT*], [TL], [TM]	locker bzw. weich mitteldicht bzw. steif	HOM-A2	RAMM-A2 RAMM-A3
4	Lösslehm („Lol)	TL, TM	(breiig) ¹⁾ bis weich steif	HOM-B1	RAMM-B1 RAMM-B2
5	Fluss-Ablagerungen (qpo,,)	GU*-GT*, SU*-ST*	locker bis mitteldicht	HOM-B2	RAMM-B2
6	Feinsediment (Ries-See) (miR,F)	TM, TA	(breiig) ¹⁾ bis weich steif halbfest	HOM-B3	RAMM-B1 RAMM-B2 RAMM-B3

¹⁾ Untergeordnete Eigenschaften werden in Klammern angegeben

Der Oberboden (HOM-O) und die Auffüllungen (HOM-A1, HOM-A2) werden aufgrund der besonderen bodenschutzrechtlichen sowie abfallrechtlichen Aspekte jeweils einem gesonderten Homogenbereich zugeordnet. Oberbodenmaterial sollte vor der Baumaßnahme abgetragen und bevorzugt im Projektgebiet wiederverwendet werden.

5.2 Charakteristische Kennwerte für erdstatische Berechnungen

Für die im Bereich der geplanten Baumaßnahmen anstehenden Lockergesteine stellen die in Tabelle 14 zusammengestellten, bodenmechanischen Größen die maßgebenden charakteristischen Bodenkennwerte für erdstatische Berechnungen dar. Die Werte gelten für die anstehenden Böden ohne Berücksichtigung baulicher Eingriffe (z.B. Auflockerung durch Bodenaushub).

Die angegebenen, maßgebenden charakteristischen Kennwerte basieren auf den vorliegenden Erkundungsergebnissen sowie auf Erfahrungswerten von Baumaßnahmen unter vergleichbaren Baugrundverhältnissen und sind als vorsichtige Schätzung desjenigen Wertes zu verstehen, der im Grenzzustand wirkt.

Tabelle 14: Geomechanische, charakteristische Kennwerte für die im Untersuchungsbereich anstehenden Lockergesteine

Homogenbereich	Beschreibung und stratigraphische Zuordnung	Bodengruppe / Konsistenz, Lagerung	Feuchtwichte / Wichte unter Auftrieb γ_k / γ'_k	Reibungswinkel für den drän. Zustand φ'_k	Kohäsion c'_k	Steifemodul $E_{s, k}$
--	--	--	kN/m ³	°	kN/m ²	MN/m ²
HOM-A1 / RAMM-A1	Straßentrag-schichten („ya)	[BS], [GE], [GW], [GT], [GU] mitteldicht	20,0 / 10,0	35,0	0	30 ... 60
HOM-A2 / RAMM-A2	Künstliche bindige und gemischtkörnige Auffüllungen („ya)	[GU]/[GT], [GU*]/[GT*], [TL], [TM] locker bzw. weich	19,0 / 9,0	27,5	0 ... 2	5 ... 15
HOM-A2 / RAMM-A3		mitteldicht bzw. steif	20,0 / 10,0	30,0	0 ... 2	15 ... 30
		dicht	21,0 / 11,0	35,0	0	30 ... 60
HOM-B1 / RAMM-B1 / RAMM-B2	Lösslehm („Lol)	TL, TM breiig	17,0 / 7,0	17,5	3 ... 6	1,0 ... 3,0
		weich bis steif	19,0 / 9,0	22,5	6 ... 10	3,0 ... 6,0
HOM-B2 / RAMM-B2	Flussablagerungen (qpo,,)	GU*-GT*, SU*-ST*, TL locker bis mitteldicht	20,0 / 11,0	30,0	0 ... 5	5 ... 30
HOM-B3 / RAMM-B1	Feinsediment (Ries-See) (miR,F)	TM, TA				
HOM-B3 / RAMM-B2		breiig	17,0 / 7,0	17,5	5 ... 10	1,0 ... 3,0
		weich bis steif	18,0 / 8,0	22,5	10 ... 15	3,0 ... 6,0
HOM-B3 / RAMM-B3		halbfest	19,0 / 9,0	22,5	15 ... 20	6,0 ... 10,0

5.3 Klassifizierung, Frostempfindlichkeit, Lösbarkeit und Rammpbarkeit der Baugrundsichten

In der nachfolgenden Tabelle 15 werden die bodenmechanischen und bautechnischen Eigenschaften der erkundeten Böden bzw. der abgegrenzten Homogenbereiche näher beschrieben und informativ die für die geplanten Baumaßnahmen erforderlichen Bodenklassen nach der alten DIN 18300 sowie die Frostempfindlichkeitsklassen nach ZTVE-E StB 2017 angegeben.

Tabelle 15: Klassifizierung, Frostempfindlichkeit und Lösbarkeit der erkundeten Baugrundsichten

Homogenbereich	Beschreibung und stratigraphische Zuordnung	Bodenklassen nach DIN 18300: 2012-09	Frostempfindlichkeitsklasse (F) nach ZTVE-StB 2017	Lösbarkeit	Rammpbarkeit
HOM-A1 / RAMM-A1	Straßentragschichten und PSS („ya)	3 / 5 ¹⁾	F1 - F2	leicht bis mittelschwer lösbar	mittelschwer bis schwer rammpbar
HOM-A2 / RAMM-A2 / RAMM-A3	Künstliche bindige und gemischtkörnige Auffüllungen („ya)	3 / 4	F2 - F3	leicht lösbar	leicht bis schwer rammpbar
HOM-B1 / RAMM-B1 / RAMM-B2	Lösslehm („Lol)	(2) / 4	F3	mittelschwer lösbar	leicht bis mittelschwer rammpbar
HOM-B2 / RAMM-B2	Fluss-Ablagerungen (qpo,,)	4	F3	leicht bis mittelschwer lösbar	mittelschwer rammpbar
HOM-B3 / RAMM-B1 / RAMM-B2 / RAMM-B3	Feinsediment (Ries-See) (miR,F)	(2) / 4 / 5	F2 - F3	(fließend) mittelschwer bis schwer lösbar	leicht bis schwer rammpbar

¹⁾ Gilt für die Schroppen

Die nach lithologischen Gesichtspunkten differenzierten Baugrundsichten werden im vorliegenden Fall direkt den hinsichtlich des Aufwandes beim Lösen und Laden abzugrenzenden Homogenbereichen nach DIN 18300 sowie für Ramm-, Rüttel- und Pressarbeiten nach DIN 18304 zugeordnet.

Für die Beschreibung der Böden hinsichtlich des Aufwandes beim Lösen sowie beim Rammen gelten die Anlage 7 gelisteten Angaben. Diese orientieren sich an der VOB 2019 + Ergänzungsband 2023 und beinhalten die nach DIN 18300 für Erdarbeiten und DIN 18304 für Rammarbeiten zu benennenden bodenmechanischen Parameter, die die Eigenschaften der abgegrenzten Homogenbereiche vor dem Lösen beschreiben und ausdrücklich keine charakteristischen Kennwerte zur Verwendung in Standsicherheitsnachweisen oder erdstatischen Berechnungen sind.

Die erkundeten und für die Baumaßnahme maßgebenden Auffüllungen (HOM-A1/A2) sowie der Lösslehm (HOM-B1) und die lokal auftretenden Talfüllungen (HOM-B2) sind mechanisch mittels (kräftigem) Hydraulikbagger lösbar. Die Feinsedimente (HOM-B3) werden mit zunehmender Tiefe schwerer lösbar. Innerhalb der erwarteten Aushubtiefen sind die Feinsedimente (HOM-B3) jedoch ebenfalls mittels (kräftigem) Hydraulikbagger lösbar.

Die erkundeten Auffüllungen sind mittelschwer bis schwer (Straßentragschichten, RAMM-A1) bzw. leicht bis schwer (bindige und gemischtkörnige Auffüllungen, RAMM-A2, RAMM-A3) rammpbar. Die natürlichen bindigen Böden sind in weicher bis steifer Konsistenz mittelschwer, in breiig bis weicher Konsistenz

leicht und in halbfester Konsistenz schwer rammbär. Die Böden der Fluss-Ablagerungen werden voraussichtlich im Hinblick auf ihre Lagerungsdichte mittelschwer rammbär sein.

5.4 Tragfähigkeit der Planumsschutzschicht (PSS) im Bereich des Bahnübergangs Enkingen I

Im Zuge der Herstellung des Schotterschurfs SCH_01 wurde an der Basis des 0,45 m mächtigen Gleisschotterbetts eine Planumsschutzschicht angetroffen (Kies, sandig bis stark sandig, schwach tonig/schluffig). Nach Aufweitung des Schurfs konnte auf der freigelegten Oberfläche der PSS ein dynamischer Plattendruckversuch durchgeführt werden. Der ermittelte Wert des dynamischen Verformungsmoduls beträgt $E_{vd} = 65,6 \text{ MN/m}^2$ (s. Anlage 6).

Die im Gründungsbereich anstehenden bindigen Böden sind als stark wassersensibel einzustufen. Ein Aufweichen dieser Bodenschicht z.B. durch Niederschlag ist durch einen zügigen Einbau der Ausgleichsschicht und Rückverfüllung der Baugrube zu vermeiden. Aufgeweichte Schichten sind vollständig bis zu den besser tragfähigen, mind. steifen Bereichen auszuheben und mit dem o.g. sandigen Kiesmaterial (Bodenaustausch) fachgerecht zu verfüllen.

Insgesamt ist bei sachgerechter Gründung in beschriebener Weise für das Schalthaus nur mit begrenzten Setzungen im Bereich von ca. 0,5 bis 1,0 cm zu rechnen.

6.1.4 Baugrubensicherung

Die Baugruben können unter den angetroffenen geotechnischen Rahmenbedingungen unter 45° geböscht hergestellt werden. Die Böschungsoberkanten müssen dabei frei von Lasten gehalten werden, ansonsten sind Standsicherheitsuntersuchungen und ggf. zusätzliche Sicherungen erforderlich. Werden in Tiefen ab ca. 3,0 m u. GOK durchgängig bindige Schichten steifer Konsistenz angetroffen können in diesem Bereich Böschungswinkel bis max. 60° realisiert werden. Beim Antreffen weicher Bodenschichten wird ein Abflachen der Böschungswinkel auf 45°-30° erforderlich. Die Böschungsflächen sind stets auf etwaige Instabilitäten besonderes im Bereich des Böschungsfußes visuell zu kontrollieren.

Alternativ können randgestützte Verbauelemente zum Einsatz kommen.

Die Standsicherheit von bestehenden Gebäuden, Bauwerken, erdverlegten Leitungen und Gründungen darf durch die geplante Baumaßnahme nicht unzulässig reduziert und damit gefährdet werden. Dies ist im Nahbereich zu Gebäuden, Bauteilen und Gründungen zu beachten.

Bei offenen Standzeiten über einer Woche sind die Baugrubenböschungen mit geeigneten Maßnahmen, z.B. durch das verwehungssichere Anbringen einer Folie, vor Austrocknung oder vor Niederschlägen zu schützen.

Im Übrigen sind die Angaben der DIN 4123 [20] und DIN 4124 [21] und zu beachten.

6.1.5 Bauzeitliche Wasserhaltung

Bei Erdarbeiten mit Eingriffstiefen bis max. 1,0 u. GOK wird auf Basis der Erkundungsergebnisse kein Grundwasserandrang erwartet, wenn die Arbeiten in Zeiten mit NW- bis MW-Verhältnissen ausgeführt werden. Eine Wasserhaltung kann hier als offenes System auf die Fassung und das schadlose Ableiten von Niederschlagswasser ausgelegt werden.

Unterhalb 1,0 m u. GOK ist bei Erdarbeiten mit einem Eingriff in das Grundwasser zu rechnen. Die überwiegend stark bindigen Böden im Baufeld sind voraussichtlich als sehr schwach bis schwach durchlässig anzusehen. Für die Ableitung des Grundwassers wird nach derzeitigem Stand eine offene Wasserhaltung mit Gräben und Pumpensümpfen ebenfalls als ausreichend erachtet.

Wasserhaltungsmaßnahmen und die Einleitung der geförderten Wässer sind bei der unteren Wasserbehörde wasserrechtlich zu beantragen.

6.2 Neubau Signal- und Schrankenanlagen

6.2.1 Beschreibung / Bauteilabmessungen

Gemäß des zum Zeitpunkt der Berichterstellung bekannten Planungsstand [1], [2] und [3] ist für den Bahnübergang Enkingen I der Neubau von insgesamt fünf Lichtsignal- und zwei Schrankenanlagen

vorgesehen, wobei zwei Lichtsignale an einem gemeinsamen Mast angebracht werden sollen (vgl. Abbildung 10).

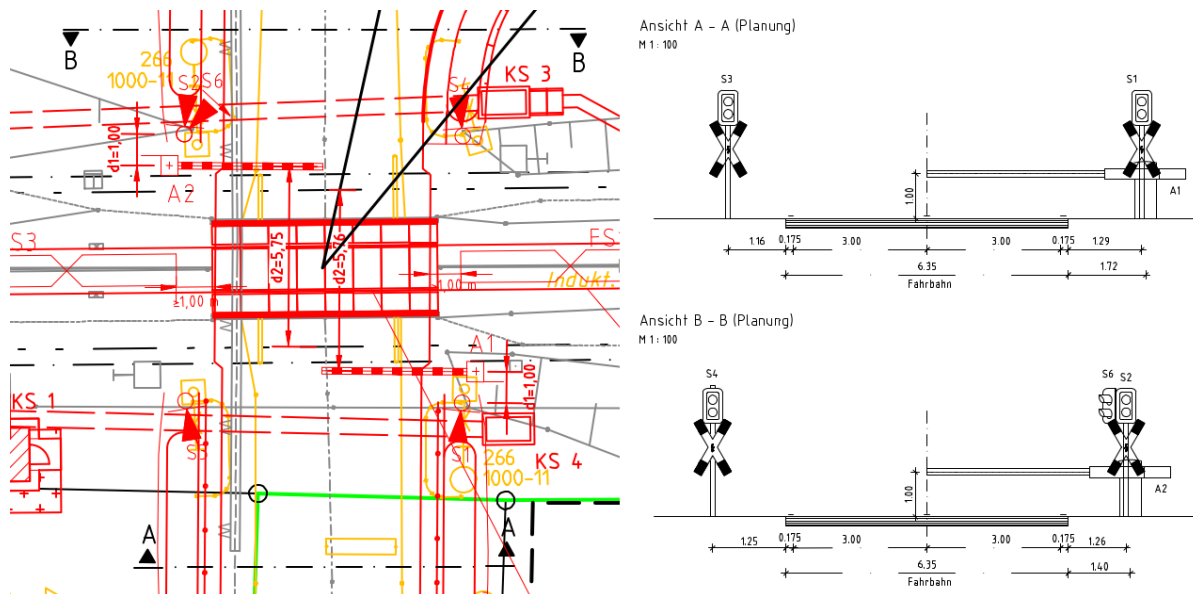


Abbildung 10: Lage und Ansichten der Signal- (S) und Schrankenanlagen (A), Auszug aus [1]

6.2.2 Geotechnische Kategorie

Die Gründungen der Signal- und Schrankenanlagen im vorliegend untersuchten Bereich sind nach aktuellem Kenntnisstand gemäß DIN EN 1997-1:2014-03 [17] sowie unter Berücksichtigung der Ril 836 [16] vorläufig in die Geotechnische Kategorie GK 2 einzustufen.

Die geotechnische Kategorie ist im Zuge der fortschreitenden Planung zu überprüfen und ggf. anzupassen.

6.2.3 Geotechnische Angaben zu Rammrohrgründung

Eine Rammrohrgründung von Signalmasten und Schrankenantrieben stellt entsprechend den Einbauanweisungen der DB Netz AG neben der Betonfußgründung die sog. Regelgründung dar. Welche der beiden Gründungsformen zum Einsatz kommt ist dabei anhand wirtschaftlicher Überlegungen und in Abhängigkeit der örtlichen Gegebenheiten festzulegen. Beim Ansatz von Regelgründungen ist in Böschungen generell die Rammrohrgründung zu verwenden.

Für die Bemessung und den Einbau von Rammrohrgründungen für Signalmasten ist neben den Zulassungen und Einbaubestimmung des Herstellers die Einbauanweisung „S 8240.25.4 t: Einbauanweisung für Rammrohr mit Adapter – große und kleine Bauform“ [32] der DB Netz AG zu berücksichtigen und anzuwenden.

In dieser Einbauanweisung sind sowohl für die große als auch für die kleine Bauform für die Bemessungsfälle „ebenes Gelände“ und „Böschungen“ und in Abhängigkeit des anstehenden Baugrunds (bindige / gemischtkörniger / nichtbindiger Boden, jeweils mit und ohne Berücksichtigung von Grundwasser) Rohrlängen der Rammrohre vorgegeben.

Bei der nachfolgenden Bewertung wird davon ausgegangen, dass für die Gründung von Signalmasten / Lichtzeichen die kleine Bauform, für die Gründung von Schrankenantrieben die große Bauform zur Anwendung kommt.

Zur Anwendung der standardisierten Fälle gemäß Einbauanweisung müssen entsprechende Mindestbodenkennwerte eingehalten werden, die in Abbildung 11 gelistet sind. Werden diese Mindestbodenkennwerte nicht eingehalten, ist die jeweilige Gründung im Einzelfall statisch nachzuweisen. Dazu ist das jeweils nächstliegende Bohrprofil zu Grunde zu legen.

^a Mindestanforderungen an den Baugrund zur Verwendung der Tabellenwerte:
Alle Böden: $\delta_a = 2/3 \varphi$; $\delta_p = - \varphi/2$

Mindestbodenkennwerte	Nichtbindige Böden	Bindige Böden	Gemischtkörnige Böden
E_{sk} [MN/m ²]	20	10 (5) (bei Werten zwischen 5 und 10 ist die Rohrwanddicke auf 14,2 mm zu erhöhen)	10
cal E_{sk} [MN/m ²]	12	6 (3)	6
C [kN/m ²]	-	5	-
φ [°]	30	22,5	27,5
γ [kN/m ³]	18	18	20
γ' [kN/m ³]	10	8	10

^b Alle Rohrlängen bei der großen Bauform gültig für Stahlrohre der Abmessungen
Ø 323,9 mm x 10 mm oder größer.
Bei der kleinen Bauform. Ø 298,5 x 8,8 mm oder größer (BBL) bzw. Ø 323,9 x 8,0 mm bei Invatec (siehe Regelzeichnungen).

Abbildung 11: Mindestbodenkennwerte für die Verwendung der Regelgründung nach [32]

Anhand der Erkenntnisse aus den Baugrundaufschlüssen ist davon auszugehen, dass die Mindestbodenkennwerte nicht über die vollständige Einbringtiefe eines Rammrohres eingehalten werden können. Für eine Detailbemessung der Rammrohrgründung für Signale bzw. Schranken können die Werte für Pfahlmantelreibung bzw. -spitzendruck aus Tabelle 16 angesetzt werden. Die Werte basieren auf Erfahrungswerten nach EA-Pfähle [33] unter Berücksichtigung von Erfahrungen in vergleichbaren Baugrundverhältnissen und beziehen sich auf den vorliegenden Zustand Baugrundsichten im Bereich des BÜ Enkingen I.

Tabelle 16: Angabe von Pfahlkennwerten für Rammrohrgründungen basierend auf Erfahrungswerten nach EA-Pfähle [33]

Homogenbereich	Beschreibung und stratigraphische Zuordnung	Konsistenz / Lagerungsdichte	Scherfestigkeit c_u des undränierten Bodens [kN/m ²] / mittlerer Spitzenwiderstand der Drucksonde q_c [MN/m ²]	Bezogene Pfahlkopfssetzung s/D_{eq}	Pfahlspitzen- druck $q_{b,k}$ [kN/m ²]	Pfahlmantelreibung $q_{s,k}$ [kN/m ²]
RAMM-B2	Lösslehm	weich bis steif	40 / -	0,1	0	10
RAMM-B2	Fluss-Ablagerungen	locker bis mitteldicht	- / 7,5	0,1	0	30
RAMM-B2 / RAMM-B3	Feinsediment (Ries-See)	steif bis halbfest	>100 / -	0,1	600	30

Die Auffüllböden (Ramm A1 bis Ramm A3) sowie die breiigen Lösslehme und Feinsedimente (Ramm B1) sind für einen Lastabtrag nicht geeignet, entsprechend wurden für diese Schichten keine Pfahlkennwerte angegeben.

Die in der Tabelle 16 angegebenen Werte berücksichtigen noch nicht die in Tab. 5.5 der EA-Pfähle [33] angegebenen Reduktionen. In Abhängigkeit des gewählten Stahlrohres sind die in Tabelle 16 angegebenen Pfahlspitzendruck- bzw. Pfahlmantelreibungswerte entsprechend zu reduzieren. Weiterhin ist zu beachten, dass bei Ansatz der vorgenannten Werte eine Einbindung in eine ausreichend tragfähige Schicht (\geq steife Konsistenz), vorliegend in die steifen bis halbfesten Feinsedimente (Ries-See), von mindestens 2,5 m erforderlich ist. Die Werte gelten darüber hinaus nur für gerammte Pfähle. Werden die Pfähle einvibriert, ist eine weitere Reduktion erforderlich. Die weiteren Anwendungshinweise nach Kap. 5.4.4.2 der EA-Pfähle [33] sind zu beachten.

6.2.4 Geotechnische Angaben zu Gründungen mittels Betonfundamenten

Allgemeine Hinweise

Zum derzeitigen Planungsstand liegen keine Informationen zur geplanten Gründungsform vor. Entsprechend werden neben den Rammrohrgründungen nachfolgend auch Angaben für eine mögliche Gründung mittels Betonfundament gemacht.

Die kleine Bauform dürfte vorliegend für die Signalmasten / Lichtzeichen, die große Bauform für die Schrankenanlagen maßgebend werden.

Für die Bemessung und den Einbau von Betonfundamenten für Signalmasten ist neben den Zulassungen und Einbaubestimmung des Herstellers die Einbauanweisung „8240.23 t: Einbauanweisung Betonfundamente – große und kleine Bauform“ der DB Netz AG zu beachten.

Für die Errichtung der Betonfertigteildfundamente sind dort folgende, allgemeine erdbautechnische Hinweise und Bestimmungen enthalten/vorgegeben.

- Der Einbau der Betonfundamente ist für ebenes Gelände sowie Böschungen mit bis zu 20° Neigung zulässig. Bei steileren Böschungen wird eine Bemessung im Einzelfall erforderlich.
- Die Baugrube ist gemäß DIN 4124 unter Beachtung des erforderlichen Gleisabstandes herzustellen. Bei vorhandenem Gleisbett ist ein schotterhaltender Verbau zu errichten.
- Die Baugrubensohle sowie ein ggf. erforderlicher Bodenaustausch sind mit einem geeigneten Gerät ausreichend zu verdichten. Es ist sicherzustellen, dass eine Bodenpressung $> 120 \text{ kN/m}^2$ erreicht wird.
- Nach dem Setzen des Betonfertigteildfundaments ist der seitliche Arbeitsraum lagenweise und allseitig gleichmäßig in Lagenstärken und ausreichend verdichtet einzubauen.

Gründung

Alle Fundamente sind frostsicher zu gründen. Das Projektgebiet liegt nach RStO 12 in der Frosteinwirkungszone II. Es wird daher eine Gründungstiefe von mind. 100 cm unter GOK empfohlen, was nach der aktuellen Planung eingehalten ist.

Auf Basis der Erkundungsergebnisse und der Angaben aus der Entwurfsplanung [1] kommen die Gründungssohlen der Signal- und Schrankenanlagen zwischen ca. 416,0 m ü. NHN und 416,3 m ü. NHN innerhalb des stark bindigen Lösslehms weicher bis steifer Konsistenz (HOM-B1) zum Liegen.

Diese Böden des HOM-B1 sind nur gering tragfähigen und sollten durch ein ca. 0,5 m mächtiges Bodenaustauschpolster aus gut verdichtbaren, tragfähigen Böden der Bodengruppen GW, GI (möglichst

gebrochenes, gut gestuftes sandiges Kiesmaterial, z.B. Korngemisch 0/32 mm) ersetzt werden. Der Bodenaustausch ist in Lagen mit $d \leq 0,3$ m und ausreichend verdichtet ($D_{pr} \geq 100$ %) einzubauen. Zum Trennen und Filtern sollte an der Basis des Bodenaustauschs eine geotextile Trennlage (Vlies GRK 3) vorzusehen. Die Aushubsohle ist zuvor ausreichend nachzuverdichten.

Die im Gründungsbereich anstehenden bindigen Böden sind stark wassersensibel. Ein Aufweichen dieser Bodenschicht z.B. durch Niederschlag ist durch einen zügigen Einbau der Ausgleichsschicht und Rückverfüllung der Baugrube zu vermeiden. Aufgeweichte Schichten sind vollständig bis zu den besser tragfähigen, mind. steifen Bereichen auszuheben und mit dem o.g. sandigen Kiesmaterial (Bodenaustausch) fachgerecht zu verfüllen.

Insgesamt ist bei sachgerechter Gründung in beschriebener Weise für die Signale / Schranken nur mit begrenzten Setzungen im Bereich von $< 1,0$ cm zu rechnen.

Bezüglich möglicher Baugrubensicherungen und der bauzeitlichen Wasserhaltung sind die Angabe in den Kap. 6.1.4 und 6.1.5 analog zu beachten.

6.3 Gleisquerungen

6.3.1 Beschreibung / Bauteilabmessungen

Gemäß des zum Zeitpunkt der Berichterstellung bekannten Planungsstand [1], [2] sind im Zuge der Leitungsverlegung im Umfeld des Bahnübergangs Enkingen I zwei Querungen der Ortsverbindungsstraße sowie eine Gleisquerung der Bahnstrecke 5300 vorgesehen.

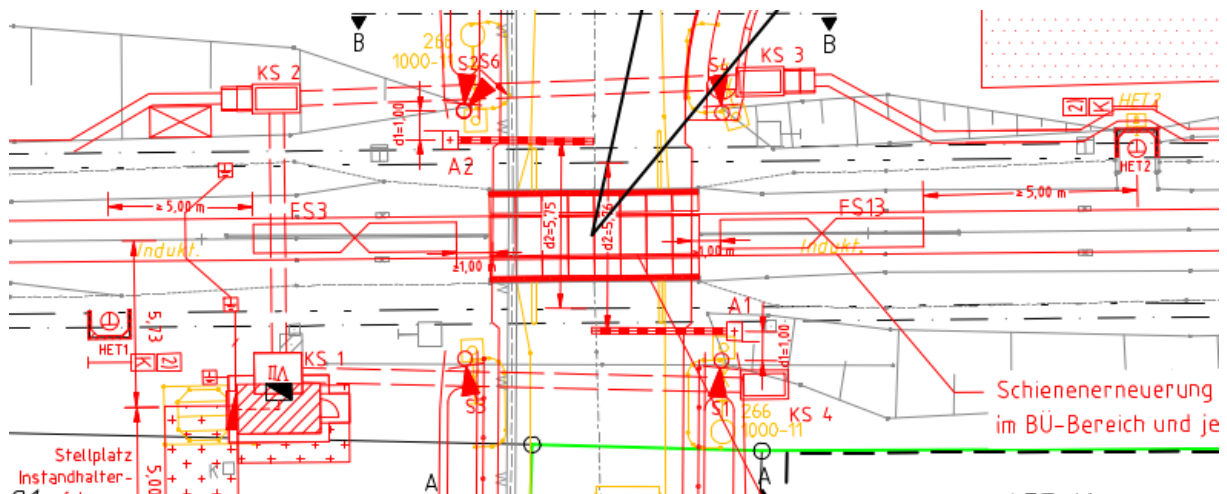


Abbildung 12: Darstellung der Querungen im Bereich des Bahnübergangs Enkingen I, Auszug aus [1]

6.3.2 Geotechnische Kategorie

Die Querungen in offener Bauweise im vorliegend untersuchten Bereich sind nach aktueller Kenntnislage gemäß DIN EN 1997-1:2014-03 [17] sowie unter Berücksichtigung der Ril 836 [16] vorläufig in die Geotechnische Kategorie GK 2 einzustufen. Querungen in geschlossener Bauweise sind hingegen in die Geotechnische Kategorie GK 3 einzustufen.

Die geotechnische Kategorie ist im Zuge der fortschreitenden Planung zu überprüfen und ggf. anzupassen.

6.3.3 Planungsgrundsätze für Gleisquerungen

Querungen von Gleisanlagen sind nach RIL 836 grundsätzlich so zu planen und herzustellen, dass während der Nutzungsdauer keine Beeinträchtigung in Form von Verformungen des umgebenden Erdbauwerks oder der Fahrbahn eintreten können. Des Weiteren ist die Dauerbeständigkeit der Querung und deren Instandhaltungsarmut sicherzustellen.

Folgende Grundsätze für die Planung und Herstellung von Querungen sind nach Modul 836.4501 zu beachten:

- Querungen sollen Bahnanlagen rechtwinklig in gerader Linienführung kreuzen.
- Querungen sollen nicht unter Weichen, Schienenauszügen oder Schienenstößen angeordnet werden.
- Gewählte Querschnittsabmessungen sind auf der gesamten Querungslänge beizubehalten.
- Kabelkreuzungen im Druckbereich sind innerhalb von Schutzrohren zu verlegen. Die Schutzrohre sind über die gesamte Länge der Querung vom Start bis zum Zielschacht anzuordnen.
- Querungen sollten einen Mindestabstand von 2,0 m zu Fundamenten und von 5,0 m zu Oberleitungsmasten einhalten.
- Querungen sind grundsätzlich als überschüttete Bauwerke mit ausreichender Überdeckungshöhe herzustellen.
- Beim Einsatz von Stahlrohren zur Herstellung von Gleisquerungen ist der erforderliche Korrosionsschutz in Abhängigkeit vorhandener aggressiver Wässer und der vorhandenen Bodenaggressivität festzulegen (s. Kap. 4.4).

6.3.4 Angaben zur offenen Bauweise

Sicherung der Leitungsgräben

Die Leitungsgräben können unter den angetroffenen geotechnischen Rahmenbedingungen unter 45° geböscht hergestellt werden. Die Böschungsoberkanten müssen dabei frei von Lasten gehalten werden, ansonsten sind Standsicherheitsuntersuchungen und ggf. zusätzliche Sicherungen erforderlich. Beim Aushub bindiger Böden, die nicht wenigstens steife Konsistenz aufweisen, sind diese abzutragen und anschließend durch eine stabilisierende Vorlastschüttung zu ersetzen. Die Böschungsflächen sind stets auf etwaige Instabilitäten besonderes im Bereich des Böschungsfußes visuell zu kontrollieren.

Alternativ können randgestützte Graben-Verbauelemente zum Einsatz kommen.

Die Standsicherheit von bestehenden Gebäuden, Bauwerken, erdverlegten Leitungen und Gründungen darf durch die geplante Baumaßnahme nicht unzulässig reduziert und damit gefährdet werden. Dies ist im Nahbereich zu Gebäuden, Bauteilen und Gründungen zu beachten.

Bei offenen Standzeiten über einer Woche sind die Baugrubenböschungen mit geeigneten Maßnahmen, z.B. durch das verwehungssichere Anbringen einer Folie, vor Austrocknung oder vor Niederschlägen zu schützen.

Im Übrigen sind die Angaben der DIN 4123 [20] und DIN 4124 [21] und zu beachten.

Bauzeitliche Wasserhaltung

Bei Erdarbeiten mit Eingriffstiefen bis max. 1,0 u. GOK wird auf Basis der Erkundungsergebnisse kein Grundwasserandrang erwartet wenn die Arbeiten in Zeiten mit NW- bis MW-Verhältnissen ausgeführt werden. Eine Wasserhaltung kann hier als offenes System auf die Fassung und das schadloose Ableiten von Niederschlagswasser ausgelegt werden.

Unterhalb 1,0 m u. GOK wird bei Erdarbeiten ggf. Grundwasser angetroffen. Die überwiegend stark bindigen Böden im Baufeld sind voraussichtlich als sehr schwach bis schwach durchlässig anzusehen. Daher kann nach derzeitigem Stand eine offene Wasserhaltung mit Gräben und Pumpensümpfen betrieben werden.

Wasserhaltungsmaßnahmen und die Einleitung der geförderten Wässer sind bei der unteren Wasserbehörde wasserrechtlich zu beantragen.

6.3.5 Angaben zur geschlossenen Bauweise

Nach telefonischer Auskunft des Planungsbüros PTB Ingenieure sind keine Querungen in geschlossener Bauweise geplant.

6.4 Verkehrsflächen und Neubau der Ersatzwege

6.4.1 Beschreibung / Bauteilabmessungen

Neben der Erneuerung der Verkehrsflächen im Umfeld des Bahnübergangs Enkingen I, ist für die Nutzung als Ersatzwege für den Anliegerverkehr der Ausbau von bestehenden Feldwegen geplant (vgl. Abbildung 1).

Ein Ersatzweg verbindet die Bahnübergänge Enkingen I und Enkingen II und verläuft bahnparallel südlich der Bahnstrecke. Der existierende Feldweg soll in Asphaltbauweise ausgebaut werden.

Ein weiterer Ersatzweg verläuft vom Bahnübergang „Mühle“ in Möttingen in Richtung des Bahnübergangs Enkingen I, nördlich der Bahnstrecke. Die existierenden Feldwege sind hier bereichsweise durch Betonplatten befestigt (vgl. Abbildung 13 und Abbildung 14). Untersucht wurde ein geschotterter Abschnitt, der in Asphaltbauweise befestigt werden soll.



Abbildung 13: Übergang der Wegebefestigung (Betonplatten) in Schotter am südöstlichen Ende des untersuchten Abschnitts des Ersatzwegs BÜ Enkingen I - BÜ "Mühle", Blickrichtung von S nach N



Abbildung 14: Übergang der Wegebefestigung (Betonplatten) in Schotter am nordwestlichen Ende des untersuchten Abschnitts des Ersatzwegs BÜ Enkingen I - BÜ "Mühle", Blickrichtung W nach E

6.4.2 Geotechnische Kategorie

Die Straßenbaumaßnahmen sind nach aktueller Kenntnislage gemäß DIN EN 1997-1:2014-03 [17] sowie unter Berücksichtigung der Ril 836 [16] vorläufig in die Geotechnische Kategorie GK 1 einzustufen.

Die geotechnische Kategorie ist im Zuge der fortschreitenden Planung zu überprüfen und ggf. anzupassen.

6.4.3 Frostsicherheit

Die Verkehrsflächen im Bereich des Bahnübergangs Enkingen I, die zur Ortsverbindungsstraße zählen sowie die Ersatzwege sind voraussichtlich in den Belastungsklassenbereich Bk 1,0 bis Bk 3,2 einzustufen.

Auf Basis der Erkundungsergebnisse liegen im Planum der Verkehrsflächen überwiegend Böden der Frostempfindlichkeitsklasse F3 vor. Das Projektgebiet liegt nach RStO 12 in der Frosteinwirkungszone II.

Gem. RStO-12/24 ist für den Belastungsklassenbereich Bk 1,0 bis Bk 3,2 auf dem Untergrund der Frostempfindlichkeitsklasse F3 ein frostsicherer Gesamtaufbau von mindestens 60 cm erforderlich.

Tabelle 17 gibt die Mehr- und Minderdicken des frostsicheren Gesamtaufbaus infolge der örtlichen Verhältnisse wieder.

Tabelle 17: Mehr- und Minderdicken des frostsicheren Gesamtaufbaus infolge örtlicher Verhältnisse gem. RStO 12

Örtliche Verhältnisse		Mehr- / Minderdicke
Frosteinwirkung	Zone II	+ 5 cm
Kleinräumige Klimaunterschiede	Keine besonderen Klimateinflüsse	± 0 cm
Wasserverhältnisse im Untergrund	Grund- oder Schichtenwasser dauernd oder zeitweise höher als 1,5 m unter Planum	+ 5 cm
Lage der Gradienten	Geländehöhe bis Damm ≤ 2,0 m	± 0 cm
Entwässerung der Fahrbahn / Ausführung der Randbereiche	Entwässerung der Fahrbahn über Mulden, Gräben bzw. Böschungen	± 0 cm

Unter Berücksichtigung der örtlichen Verhältnisse wird für die geplanten Verkehrsflächen des Belastungsklassenbereichs Bk 1,0 bis Bk 3,2 ein frostsicherer Gesamtaufbau von insgesamt 70 cm erforderlich.

6.4.4 Angaben zur Straßengründung

Tragfähigkeit des Erdplanums

Die im Baufeld anstehenden bindigen Böden weisen nach den Ergebnissen der Baugrunderkundung durchgängig geringe Tragfähigkeiten auf. Der nach ZTVE-StB 17 geforderte Verformungsmodul von $E_{v2} \geq 45 \text{ MN/m}^2$ auf dem Planum wird durch konventionelle Verdichtungsmaßnahmen allein nicht erreicht werden können.

Zur Sicherstellung der erforderlichen Tragfähigkeit wird ein Bodenaustausch mit geeigneten, gut verdichtbaren, tragfähigen Böden der Bodengruppen GW, GI (möglichst gebrochenes, gut gestuftes sandiges Kiesmaterial, z.B. Korngemisch 0/56 mm) in einer voraussichtlichen Stärke von ca. 0,5 m empfohlen.

Der Bodenaustausch ist in Lagen mit $d \leq 0,3$ m und ausreichend verdichtet ($D_{pr} \geq 100$ %) einzubauen. Zwischen dem Bodenaustauschmaterial und den anstehenden bindigen Schichten ist zur Sicherstellung der Filterstabilität eine geotextile Trennlage (Vlies GRK 3) vorzusehen. Sofern weichplastische Böden anstehen, wird zur Stabilisierung als erste Lage das Eindrücken von Felsklein 0/120 empfohlen. Durch eine Probelastung mit einem schweren Lastzug können Schwachstellen im Vorfeld lokalisiert werden. Der genaue Umfang der Bodenaustauschmaßnahmen ist mit dem geotechnischen Sachverständigen vor Ort festzulegen.

Alternativ kann die Tragfähigkeit auch durch Bodenverbesserungsmaßnahmen mit hydraulischem Bindemittel erhöht werden, das eingefräst oder mittels Schaufelseparator eingearbeitet werden kann. Auf erdverlegte Leitung ist zu achten, Steine größer 63 mm sind im Vorfeld bautechnisch zu entfernen. Der Einsatz einer Fräse ist unweigerlich mit Staubentwicklung verbunden. Eine Beeinträchtigung Dritter (z.B. Wohnbebauung) ist zu vermeiden.

Es wird ein Bindemittelbedarf von 3 Gew.% eines Mischbindemittels (50 % Zement / 50 % Kalk) bei einer Frästiefe von 0,4 m (i. E. ca. 25 kg/m²) abgeschätzt. Es ist darauf hinzuweisen, dass der Bindemittelbedarf abhängig vom Wassergehalt ist und bei hohen Wassergehalten ein stark erhöhter Bedarf auftreten kann. Es wird die Anlage von Testfeldern empfohlen, um den Bindemittelbedarf und die Frästiefe genauer festlegen zu können.

Die im Baufeld anstehenden stark bindigen Böden sind sehr wassersensibel. Bereits geringe Wassergehaltsänderungen können ein vollständiges Aufweichen zur Folge haben. Ein Befahren des strukturrempfindlichen Erdplanums in nassem Zustand ist zu vermeiden. Nach Möglichkeit sollte stehendes Wasser auf dem Erdplanum durch Anlegen eines Gefälles und der Ableitung auftretenden Niederschlagswassers vermieden werden.

Verdichtungsanforderungen an Bodenaustausch und Frostschutzschicht

Sofern ein Bodenaustauschmaterial erfolgt, ist dieser mit einem Verdichtungsgrad von $D_{pr} \geq 100$ % einzubauen. Auf Höhe Planum (= UK Straßenoberbau) ist ein E_{v2} -Wert ≥ 45 MN/m² nachzuweisen.

Die Einhaltung des geforderten E_{v2} -Wertes auf Höhe des Planums ist vor Ort durch Lastplattendruckversuche zu überprüfen. Diese Überprüfungen sollten bei Bodenaustauschmaßnahmen zu Beginn der Arbeiten in Testfeldern erfolgen, um jeweils festzulegen, inwiefern die empfohlene Bodenaustauschstärke als ausreichend einzustufen ist bzw. welche Austauschstärken erforderlich sind.

Nach Einbau und Verdichtung des Straßenoberbaus muss auf der Oberkante der Frostschutzschicht bei Asphaltbauweisen ein Verformungsmodul von $E_{v2} \geq 120$ MN/m² sowie ein Verhältnis von $E_{v2}/E_{v1} \leq 2,2$ nachgewiesen werden. Erreicht der E_{v1} -Wert bereits 60 % des E_{v2} -Wertes sind auch höhere Verhältniswerte von E_{v2}/E_{v1} zulässig. Die weiteren Maßgaben der ZTV SoB-StB 04 und der RStO 12 sind zu beachten.

6.5 Bewertung der Versickerungsfähigkeit

Im derzeitigen Bestand erfolgt die Entwässerung der Feldwege sowie der Ortsverbindungsstraße im Bereich des Bahnübergangs Enkingen I geländegleich über die seitlichen Fahrbahnränder in die

angrenzenden Flächen, wo anfallendes Niederschlagswasser verdunstet und zum Teil über die belebte Bodenzone versickert (vgl. Abbildung 2).

Anhand der Bodenansprache der oberen Bodenschichten von Ton /Schluff sowie der ermittelten Kornverteilungen der oberflächennah anstehenden Böden in Schicht 2, Lösslehm, wird ein Durchlässigkeitsbeiwert im Bereich von $k_f = 1 \cdot 10^{-7}$ m/s bis $1 \cdot 10^{-9}$ m/s abgeschätzt. Die anstehenden Böden sind daher gemäß DIN 18130-1 als schwach bis sehr schwach durchlässig zu beurteilen. Von der Durchführung von Feldversuchen (z.B. Versickerungs-Versuch, Open-End-Test) wurde aufgrund der bei der Baugrunderkundung angetroffenen, durchgängig stark bindigen Böden im Untersuchungsbereich abgesehen.

Gemäß des zum Zeitpunkt der Berichterstellung bekannten Planungsstand [1] und [2] ist für die Fahrbahnen im Bereich des Bahnübergangs Enkingen I eine kontrollierte Ableitung von Niederschlagswasser über Sammel- und Verdunstungsmulden seitlich der Fahrbahn vorgesehen, wo das anfallende Wasser verdunstet und nach Möglichkeit zu einem Teil versickern kann. Aufgrund der geringen Durchlässigkeit wird der Verdunstungsanteil in den Sammelmulden voraussichtlich überwiegen. Die Ersatzwege werden, wie bisher, seitlich über den Fahrbahnrand entwässert.

6.6 Geotechnische Eignung der Aushubböden für den Wiedereinbau

Im Folgenden werden die relevanten Aushubböden gemäß ihren geotechnischen Eigenschaften beschrieben und für Ihre Eignung zur Wiederverwendung bewertet.

Der angetroffene Mutterboden (HOM-O) ist getrennt auszubauen und wieder zu verwerten. Mutterboden stellt ein schützenswertes Gut dar (§202 BauG). Entsprechend müssen für den Ausbau, die Lagerung und den Wiedereinbau die gesetzlichen Vorgaben eingehalten werden.

Die Straßentragschichten im Bereich des BÜ Enkingen I, die mit nur begrenztem Feinkornanteil (< 15 %) und ohne Fremdbestandteile vorliegen (HOM-A1), könnten aus rein geotechnischer Sicht für eine Wiederverfüllung herangezogen werden. Auf die chemische Belastung wird hingewiesen. Eine finale Einstufung der Eignung bedarf einer Analyse der ausgehoben und entsprechend aufbereiteten Aushubböden (Haufwerksdeklaration).

Für die Auffüllungen (HOM-A2), die als Aushubmasse im Bereich des Ersatzwege und der Straßenerneuerung der Ortsverbindungsstraße im Bereich des BÜ Enkingen I anfallen, ist von einer stark heterogenen Zusammensetzung auszugehen. Die bindigen Auffüllungen können bautechnisch kaum von den Schottertragschichten insbesondere der bestehenden Verkehrswege unterschieden werden, da der verwendete Kalkschotter bereits in die unterliegenden Bodenschichten eingedrückt wurde und größtenteils eine Vermengung der Bodenschichten stattgefunden hat. Von einem Wiedereinbau dieser Böden ohne vorherige Aufbereitung (aufwendige Aussortierung von Fremdbestandteilen) und Homogenisierung wird abgeraten. Auf die chemische Belastung wird hingewiesen.

Die Lösslehme (HOM-B1), die maßgeblich beim Aushub für die Erstellung der Gründungen des Schalthauses und der Signal- und Schrankenanlagen anfallen, sind aufgrund ihrer hohen bindigen Anteile und hohen Wassergehalte nicht verdichtbar und können somit ohne Aufbereitung nicht für die Wiederverwendung aus geotechnischer Sicht empfohlen werden, sofern Ansprüche an die Tragfähigkeit gestellt werden. Sollten diese dennoch für den Wiedereinbau in Betracht gezogen werden, so sind zunächst aufwändige Zusatzmaßnahmen (Abtrocknung, Bodenverbesserung) notwendig. Für Lagerung und Wiedereinbau der Böden sind die bodenkundlichen Anforderungen zu berücksichtigen.

Die Flussablagerungen (HOM-B2) weisen geotechnische Eigenschaften auf, die für eine Wiederverwendung sprechen würden. Allerdings treten diese Böden im Untersuchungsgebiet nur lokal und in Tiefen auf, die voraussichtlich nicht oder nur in geringem Umfang von Bodenaushub betroffen sein werden.

Die Feinsedimente der Ries-See-Füllung (HOM-B3) sind aufgrund ihrer hohen bindigen Anteile und hohen Wassergehalte ohne weitere Maßnahmen nicht verdichtbar und können somit ohne Aufbereitung nicht für die Wiederverwendung aus geotechnischer Sicht empfohlen werden, sofern Ansprüche an die Tragfähigkeit gestellt werden. Nach jetzigem Planungsstand sind jedoch keine Eingriffe in der Tiefe der Bodenschichten des HOM-B3 vorgesehen.

7 Hydrogeologische und wasserwirtschaftliche Beurteilung

Das Projektgebiet liegt nach [9] außerhalb von ausgewiesenen Trinkwasserschutzgebieten.

Im Untersuchungsabschnitt ist davon auszugehen, dass ein oberstes zusammenhängendes Grundwasserstockwerk innerhalb der Feinsedimente des Ries-Sees (miR,F) ausgebildet ist.

Bei den ausgeführten Erkundungsarbeiten wurde Grundwasser unter leicht gespannten Verhältnissen in den beschriebenen Schichten in Tiefen zwischen ca. 1,2 m u. GOK und 5,6 m u. GOK angetroffen. Darüber hinaus kann eine temporäre Schichtwasserführung, insbesondere nach stärkeren Regenereignissen, nicht ausgeschlossen werden.

Ggf. wird im Zuge der Bauausführung eine begrenzte Wasserförderung von Oberflächen-, Sicker- bzw. Schicht- sowie Grundwasser mittels einer offenen Wasserhaltung erforderlich. Eingriffe ins Grundwasser werden nach jetzigem Stand ab Eingriffstiefen von > 1,0 m erwartet.

Es wird darauf hingewiesen, dass Eingriffe in das Grundwasser einer wasserrechtlichen Genehmigung bedürfen, die bei den zuständigen Fach- und Genehmigungsbehörden zu beantragen ist. Dabei ist zu beachten, dass es sich schon beim Freilegen der Grundwasseroberfläche im Zuge des Baugrubenaushubes um einen wasserrechtlichen Tatbestand handelt. Gleiches gilt für die Wiederversickerung und die Einleitung in Oberflächengewässer von in Pumpensämpfen gefördertem Wasser.

Die weiteren einschlägigen Vorschriften zum Gewässer- und Bodenschutz sind zu beachten.

8 Zusammenfassung und Schlussbemerkungen

Im Rahmen des vorliegenden Berichts wurden die Ergebnisse der durchgeführten Feld- und Laborarbeiten hinsichtlich der geplanten Baumaßnahmen an den Bahnübergängen Enkingen I und Enkingen II an der Bahnstrecke 5300 sowie der geplanten Ersatzwege zusammengestellt und erläutert.

Vorrangiges Ziel des Berichts ist es, die vor Ort relevanten Untergrunddaten durch Beschreibung der Bodenschichten, Einteilung in Homogenbereiche, informativer Zuordnung von Bodenklassen und physikalischen Bodenparametern für den Planer aufzubereiten.

Insgesamt sind für die geplanten Baumaßnahmen günstige geotechnische und hydrogeologische Verhältnisse zu erwarten.

Bei den Arbeiten sind die Angaben zur Baugrubensicherung, Gründung und Wiederverfüllung bei der Planung und Bauausführung zu beachten.

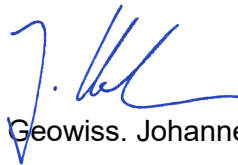
Die Angaben in unserem Baugrundgutachten beruhen auf punktuellen Baugrundaufschlüssen; Abweichungen der Untergrund- und Grundwasserverhältnisse außerhalb der Aufschlüsse sind möglich. Bei allen Aushub- und Gründungsarbeiten sind deshalb die aktuellen Bodenschichten mit den Ergebnissen der vorliegenden Baugrunderkundung zu vergleichen. Bei möglichen Abweichungen des Untergrundes außerhalb der Aufschlusspunkte bzw. in allen Zweifelsfällen bezüglich des Baugrunds bzw. der Gründung ist ein Baugrundsachverständiger einzuschalten.

Zum Zeitpunkt der Ausarbeitung des vorliegenden Berichtes lagen uns die in Kapitel 1.3 genannten Arbeitsunterlagen vor. Da dem Baugrundgutachter derzeit nicht alle relevanten Gesichtspunkte der Planung und Bauausführung bekannt sein können, erhebt dieser Bericht keinen Anspruch auf Vollständigkeit hinsichtlich aller bodenmechanischen Detailpunkte. Zusätzliche Untersuchungen und Beurteilungen können im Zuge der weiteren Planung und der Bauausführung erforderlich werden.

Westheim, den 24.06.2025



Dr. Theo Westhoff



i.A. Dipl.-Ing. Geowiss. Johannes Helm

Anlage 1 Lagepläne

Anlage 1.1 Lageplan mit Darstellung der Aufschluss- punkte, M 1:5.000

Anlage 1.2 Detaillageplan BÜ Enkingen I, M 1:500

Anlage 2 Aufschlussprofile, Schichtenverzeichnisse und Rammdiagramme

Anlage 2.1 Aufschlussprofile

Anlage 2.2 Schichtenverzeichnisse

Anlage 2.3 Rammsondier-Protokolle

Anlage 3 Ingenieurgeologische Längsschnitte

Anlage 4 Bodenmechanische Laborversuche

Anlage 5 Umweltanalytische Laborversuche

Anlage 5.1 Auswertung nach Ersatzbaustoffverordnung (Bodenmaterial / Baggergut)

Anlage 5.2 Umweltanalytische Laborbefunde

Anlage 6 Dynamischer Plattendruckversuch

Anlage 7 Einteilung der erkundeten Bodenschichten in Homogenbereiche entsprechend den DIN 18300:2019-09 und 18304:2019-09

Anlage 7.1 Einteilung der erkundeten Bodenschichten entsprechend DIN 18300:2019-09

Anlage 7.2 Einteilung der erkundeten Bodenschichten entsprechend DIN 18304:2019-09