RT CONSULT GmbH
Beratung in Geo- und Umwelttechnik

Plan nur als Anlage zum Leistungsverzeichnis
"VE 05 - LV Streckenstellwerksgebäude"

Bericht

Auftrag Nr.: **477.1-02804.1-25**

Projekt: **Bahnhof Käfertal, Mannheim**
- Aktualisierung 2025 -

Auftraggeber: **Rhein-Neckar-Verkehr GmbH**
Möhlstraße 27
68165 Mannheim

Datum: **20. Januar 2026**

RT Consult GmbH

Wachenheimer Straße 14
68309 Mannheim

Telefon: 0621/328918-0
Fax: 0621/328918-29
Email: info@rtconsultgmbh.de
Internet: www.rtconsultgmbh.de

Sparkasse Heidelberg
BLZ 67250020 Konto-Nr. 9059687
IBAN: DE93672500200009059687
BIC: SOLADES1HDB

USt.-Id.Nr.: DE264669369

Geschäftsführer:
Dipl.-Ing. Frank Riester
Dipl.-Geol. Gerd Arne Theobald

Sitz der Gesellschaft: Mannheim
Amtsgericht Mannheim HRB 706694

Ein Unternehmen in der
Metropolregion Rhein-Neckar

INHALTSVERZEICHNIS

		Seite
1	Einleitung	3
2	Vorhandene Unterlagen und Beschreibung der Baumassnahme	3
3	Beschreibung der Baugrundverhältnisse	3
3.1	Geländebeschreibung und Aufschlussprogramm	3
3.2	Bodenverhältnisse	4
3.3	Homogenbereiche	5
4	Abfalltechnische Untersuchungen	6
4.1	Untersuchungsumfang	6
4.2	Analysenergebnisse und Bewertung	6
4.2.1	Schwarzdecken	6
4.2.2	Gleisschotter	6
4.2.3	Auffüllung	8
4.2.4	Fugenmassen	8
5	Kurze Beurteilung der Baugrundverhältnisse	8
6	Angaben für die Gleisanlagen	9
6.1	Gleise	9
6.1.1	Schottergleise	9
6.1.2	Abstellhalle	10
6.2	Angaben zu den Bahnsteigen	10
6.3	Gründung Abstellhalle (Schnitte 1-1 bis 3-3)	10
6.4	Gründung der Werkstatt (Schnitte 4-4 bis 6-6)	11
6.5	Sprinklerzentrale (Schnitte 7-7 und 8-8)	12
6.6	Fahrleitungsmaste	12
7	Erdbautechnische Angaben für die übrigen Verkehrswege	13
8	Geländeauftrag im bereich des Privatgebäudes	13
9	Ausführungshinweise	13
9.1	Fundament-/Baugruben	13
9.2	Hinterfüllung	14
9.3	Erdbau	15
10	Qualitätssicherung	15
11	Angaben zur Versickerung	15
12	Allgemeine Hinweis zur Entsorgung	16

ANLAGEN

0	Legende
1	Übersichtslageplan
2	Lagepläne
3	Bohrprofile
4	Chemische Analytik
5	Kampfmittelfreimessung
6	Kornverteilungskurven

VERTEILER

Rhein-Neckar-Verkehr GmbH
Möhlstraße 27
68165 Mannheim — 1 – fach + digital

1 EINLEITUNG

Die Rhein-Neckar-Verkehr GmbH plant im Bahnhof bzw. Betriebshof Käfertal eine Kapazitätserweiterung der Bahnanlagen. Hierzu sind verschiedene Umbaumaßnahmen vorgesehen.

In den Jahren 2017 und 2020 sind bereits verschiedene Untersuchungen erfolgt, die in entsprechenden Berichten dokumentiert sind. Inzwischen ist die Planung, insbesondere für den Hochbau weiter fortgeschritten. Zudem hat sich hinsichtlich dem Abfallrecht die Richtlinienlage geändert.

Die RT Consult GmbH wurde nun seitens der rnv mit der Durchführung von ergänzenden Geotechnischen Untersuchungen und der Erarbeitung eines aktualisierten Geotechnischen Berichtes beauftragt.

2 VORHANDENE UNTERLAGEN UND BESCHREIBUNG DER BAUMASSNAHME

Für die Ausarbeitung des vorliegenden Berichtes standen folgende Unterlagen zur Verfügung:

[1] Lageplan (Bestand), M 1 : 500, Emch + Berger, 12/2023
[2] Übersichtslageplan, M 1 : 1000, Emch + Berger, 10/2024
[3] Grundrisse, Schnitte (Sprinklerzentrale) aus der Entwurfsplanung, M 1 : 100, Emch + Berger, 03/2025
[4] Grundrisse, Schnitte (Abstellhalle) aus der Entwurfsplanung, M 1 : 200, Emch + Berger, 02/2023
[5] Grundrisse, Schnitte (Betriebswerkstatt) aus der Entwurfsplanung, M 1 : 100, Emch + Berger, 12/2023

Der geplante Umbau beinhaltet neben dem Neubau von Gleisen und Straba-Abstellanlagen, einen Neubau/eine Erweiterung der Bahnsteige inkl. Überdachung. Ebenso werden neue Fahrleitungsmasten gesetzt. Darüber hinaus wird auch ein Abschnitt der Birkenauer Straße ausgebaut. Im Bereich der jetzigen Abstellanlagen wird eine große Abstellhalle gebaut. Die Gleise werden dabei neu geordnet. Die Wendeschleife wird in Richtung Südosten verlegt. An der Stelle der jetzigen Wendeschleife erfolgt die Errichtung der Betriebswerkstatt.

Die Maßnahme geht auch aus dem Lageplan (Anl. 2) hervor.

3 BESCHREIBUNG DER BAUGRUNDVERHÄLTNISSE

3.1 Geländebeschreibung und Aufschlussprogramm

Das Baufeld wird durch seine jetzige Nutzung geprägt (Fahrbahn, Gleise, Bahnsteige und Brach- und Lagerflächen) und ist demzufolge teils befestigt und teils unbefestigt. Die befestigten Flächen (Bahnsteige, Zuwegungen,) sind mit Pflaster und Schwarzdecke versehen. Bei den unbefestigten Flächen handelt es sich um Schottereindeckungen und wenige Grünflächen.

Zur Erkundung der Bodenverhältnisse wurden 2017 insgesamt 26 Handschürfe und 12 Sondierbohrungen ausgeführt. In 2019 wurden 7 Handschürfe im Bereich der Birkenauer Str. ergänzt. In 2020 wurden weitere 10 Sondierbohrungen, 6 Sondierungen mit der Schweren Rammsonde sowie die Entnahme eines Schwarzdeckenkerns durchgeführt.

Die aktuelle Erkundung besteht aus **12 Gleisschotterschürfen, 12 Handschürfen, 16 Sondierbohrungen** und **5 Sondierungen mit der Schweren Rammsonde**. Daneben wurden auch noch Fugenmassen im Bereich der geplanten Abstellhalle beprobt.

Zur Klärung der Wiederverwertbarkeit wurden aus abfall-/umwelttechnischer Sicht wurden Deklarationsanalysen durchgeführt. Ergebnisse hierzu finden sich in Abs. 4.

Die Lage der Aufschlusspunkte kann dem Lageplan (Anlage 2) entnommen werden. Die Ergebnisse der Aufschlüsse sind in Form von Bohrprofilen in der Anlage 3 dargestellt. Dabei wurden der Übersichtlichkeit halber nur wenige „alt"-Aufschlüsse (vorwiegen im Hinblick auf die Hochbaumaßnahmen) mit dargestellt.

3.2 Bodenverhältnisse

Die angetroffenen Bodenverhältnisse lassen sich in folgende Schichten gliedern:

A	**Auffüllungen (Oberflächenbefestigung)**
A	**Auffüllungen (Gleisschotter)**
A	**Auffüllungen (Schotter, Tragschicht)**
A	**Auffüllungen (Feinkornreicher Sand, Schluff)**
A	**Auffüllungen (Feinkornarmer Sand)**
	Feinkornreicher Sand, Schluff
	Feinkornarmer Sand

Gleisbereich

Die Gleise sind nahezu durchgehend als Schottergleise ausgebildet. Demzufolge ist Gleisschotter vorhanden. In den Gleisen wurde maximal eine 60 cm starke Schottereindeckung (ab OK Schwelle) festgestellt. Der Gleisschotter wies dabei zur Tiefe hin einen zunehmenden Feinkornanteil auf.

Unter dem Schotter folgt meist leicht plastischer Schluff mit einer meist weich-steifen Konsistenz oder auch feinkornreiche Sande. Es liegen aber auch feinkornarme Sande vor.

Bereiche außerhalb der Gleise

Die Oberflächen außerhalb der Gleise sind unterschiedlich ausgebildet. Neben Schwarzdecken (4 – 25 cm) sind Pflastereindeckungen (Bahnsteige) sowie Schotterflächen vorhanden. In Grünflächen ist Mutterboden oder mutterbodenähnlicher Boden vorhanden.

Unter den Oberflächenbefestigungen folgen dann weitere Auffüllungen, die sich ebenfalls variantenreich darstellen. Neben weich-steifen Schluffen sind auch feinkornarme Böden (Sande und Kiese, Schotter) vorhanden. Mitunter sind in diesen Auffüllungen Fremdbestandteile wie Ziegel- und Bauschuttreste enthalten.

Der natürliche Baugrund beginnt mit leichtplastischen Schluffen oder auch Tonen. Unter den Schluffen folgen Sande mit meist dichter Lagerung.

In keinem der Aufschlüsse wurde Grundwasser angetroffen. Selbst Grundwasserhöchststände besitzen noch einen ausreichenden Abstand zur Baumaßnahme und sind somit ohne Belang.

3.3 Homogenbereiche

Der folgenden Tabelle kann eine Zuordnung in Homogenbereiche (gemäß DIN 18300 und DIN 18301) entnommen werden. Die Bodenkenngrößen der Tabelle 1 sind im Sinne der DIN 1054, die für Bemessungszwecke mit entsprechenden Teilsicherheitsbeiwerten zu beaufschlagen sind. Je nach Maßnahme ist die Geotechnische Kategorie GK 1 bis GK 3 zugrunde zu legen. Alle erforderlichen Kennwerte sind ebenso der Tabelle zu entnehmen. Der Vollständigkeit bzw. Verständlichkeit wurden aber auch noch mal die Bodenklassen nach alter DIN 18300 bzw. 18301 mit aufgeführt.

Tabelle 1: Homogenbereiche

Kenngröße/Eigenschaft	**Einheit**	**Homogenbereich**			
		1a	1b	2	3
		A | A | A	A | A		
Ortsübliche Bezeichnung	-	Auffüllungen *Schotter und Gleisschotter, feinkornarmer Sand/Kies*	Auffüllungen *Schluff, feinkornreicher Sand*	Schluff, Ton, feinkornreicher Sand	Sande/Kiese
Anteil Steine/Blöcke/ große Blöcke	%	10-20/0/0	0/0/0	0/0/0	<5/0/0
Dichte	t/m³	1,8 - 2,0	1,8 - 2,0	1,8 - 2,0	1,9 - 2,1
Wichte	KN/m³	18 - 20	18 - 20	18 - 20	19 - 21
Reibungswinkel φ‘	°	35 - 37,5	30	30	32,5 - 35
Kohäsion c‘	kN/m²	-	5 - 10	5 - 10	-
Undränierte Scherfestigkeit c_u	kN/m²	-	10 - 20	10 - 20	-
Steifemodul $E_{s,k}$	MN/m²	80	8 - 10	8 - 10	80 - 100
Wassergehalt w	%	2 - 5	15 - 35	15 - 35	2 - 5
Plastizität I_p	%	-	15 - 25	15 - 25	-
Konsistenz I_c	-	-	0,5 - 0,7	0,5 - 0,7	-
Lagerungsdichte	-	locker - dicht	-	-	mitteldicht, dicht - sehr dicht
Abrasivität	-	schwach – stark abrasiv	nicht – schwach abrasiv	nicht – schwach abrasiv	schwach – stark abrasiv
Organischer Anteil	%	< 3 %	< 3 %	< 3 %	< 1 %
Durchlässigkeitsbeiwert k_f	m/s	10^{-5}	10^{-7} – 10^{-8}	10^{-7} – 10^{-8}	10^{-4} - 10^{-5}
Bodengruppe	-	GI, GW, GU, SU	SU*, UL, TL	SU*, UL, TL	Su, SI, SE
Bodenklasse (alte DIN 18300)	-	*3 - 5*	*4*	*4*	*3*
Bodenklasse (alte DIN 18301)	-	*BN 1 - BN 2, (BS 1)*	*BB 1 - BB 2 (BS 1)*	*BB 1 - BB 2 (BS 1)*	*BN 1*

Gemäß DIN 4149 befindet sich das Untersuchungsgebiet in der Erdbebenzone 1. Die Untergrundverhältnisse sind der Geologischen Untergrundklasse S und der Baugrundklasse C zuzuordnen.

4 ABFALLTECHNISCHE UNTERSUCHUNGEN

4.1 Untersuchungsumfang

Die aus den Aufschlüssen gewonnenen Proben sind als Einzel- oder Mischproben nach organoleptischem Befund und bautechnischen Gesichtspunkten zusammengestellt und nach den Richtlinien der Ersatzbaustoffverordnung[1] sowie nach der DepV[2] analysiert worden.

Das noch im eingebauten Zustand vorliegende Schottermaterial wurde ab UK Schwelle bis zum Planum (0,5 m/0,6 m; b-Horizont nach Altschotterrichtline[3]) beprobt. Vom gewonnenen Schottermaterial wurde für die nachfolgende chemische Analytik nach der EBV noch vor Ort die Feinkornfraktion < 31,5 mm abgesiebt.

Die Ergebnisse der Deklarationsanalyse sind den Zuordnungswerten nach der EBV[1] sowie nach der DepV[2] gegenübergestellt (Anl. 4).

Zudem wurden weitere Fugenmassen beprobt und es erfolgte im Labor eine Prüfung auf Asbest. Die Schwarzdecken wurden im Hinblick auf den Rückbau hinsichtlich ihres Teergehaltes analysiert.

4.2 Analysenergebnisse und Bewertung

4.2.1 Schwarzdecken

Wie schon in den Erkundungen aus den früheren Jahren sind nun auch wieder in den analysierten Schwarzdeckenproben keine PAK-Konzentrationen (max. 9,6 mg/kg) oberhalb der Grenzkonzentration von 25 mg/kg nachgewiesen werden. Somit sind sämtliche untersuchten Schwarzdeckenmaterialien als Ausbauasphalt und nicht gefährlicher Abfall einzustufen.

4.2.2 Gleisschotter

In der folgenden Tabelle 2 sind die Ergebnisse der Analysen an der Gleisschotterfeinfraktion und die daraus resultierenden abfalltechnischen Einstufungen aufgelistet.

[1] Verordnung über Anforderungen an den Einbau von mineralischen Ersatzbaustoffen in technischen Bauwerken (Ersatzbaustoffverordnung - ErsatzbaustoffV – EBV); Gültig ab 01.08.2023

[2] Deponieverordnung in aktueller Fassung

[3] Richtlinie 880.4010 „Bautechnik; Verwertung von Altschotter“ – DB Netz AG, Deutsche Bahn AG; 2003

Tabelle 2: Analysenergebnisse und abfalltechnische Einstufung Gleisschotterfeinfraktion

Probe	Abfalltechnische Einstufung EBV	Grund der Einstufung	Abfalltechnische Einstufung DepV	Grund der Einstufung
MP GS 1 aus GIS 1 - 3	Einbauklasse GS 1	Glyphosat: 1,4 µg/l Flumioxazin: 0,69 µg/l PAK_{15}: 1,7 µg/l	Deponieklasse DK 0	keine Überschreitung
MP GS 2 aus GIS 4 – 6	Einbauklasse GS 2	Glyphosat: 9 µg/l AMPA: 16 µg/l	Deponieklasse DK 0	keine Überschreitung
MP GS 3 aus GIS 8 + 9	Einbauklasse GS 3	AMPA: 29 µg/l	Deponieklasse DK I	PAK: 46 mg/kg
MP GS 4 aus GIS 7 + 10	Einbauklasse GS 2	Glyphosat: 4,2 µg/l Flumioxazin: 4,4 µg/l	Deponieklasse DK I	PAK: 43 mg/kg
MP GS 5 aus GIS 11 + 12	Einbauklasse GS 2	Diuron: 0,4 µg/l AMPA: 13 µg/l Flumioxazin: 3,9 µg/l	Deponieklasse DK 0	keine Überschreitung

Da jedoch wahrscheinlich vorgesehen ist, den Gleisschotter als Gesamtfraktion auszuheben und zu entsorgen, können die ermittelten Konzentrationen an der Feinfraktion (Gewichtsanteil < 31,5 mm ca. 33 %[3]) auf die Gesamtfraktion umgerechnet werden. Die Berechnung der Schadstoffbelastung an der Gesamtschotterfraktion erbrachte für die Gleisschotter-Mischproben die in der Tabelle 3 aufgelisteten abfalltechnischen Einstufungen.

Tabelle 3: Abfalltechnische Einstufungen der Gleisschottergesamtfraktion

Probe	Abfalltechnische Einstufung EBV	Grund der Einstufung	Abfalltechnische Einstufung DepV	Grund der Einstufung
MP GS 1 aus GIS 1 - 3	Einbauklasse GS 1	Glyphosat: 0,47 µg/l Flumioxazin: 0,23 µg/l PAK_{15}: 0,57 µg/l	Deponieklasse DK 0	keine Überschreitung
MP GS 2 aus GIS 4 – 6	Einbauklasse GS 2	Glyphosat: 3 µg/l AMPA: 5,33 µg/l	Deponieklasse DK 0	keine Überschreitung
MP GS 3 aus GIS 8 + 9	Einbauklasse GS 2	Glyphosat: 3,67 µg/l AMPA: 9,67 µg/l	Deponieklasse DK 0	keine Überschreitung
MP GS 4 aus GIS 7 + 10	Einbauklasse GS 1	Glyphosat: 1,4 µg/l Flumioxazin: 1,47 µg/l PAK_{15}: 0,77 µg/l	Deponieklasse DK 0	keine Überschreitung
MP GS 5 aus GIS 11 + 12	Einbauklasse GS 1	Diuron: 0,13 µg/l Glyphosat: 1,4 µg/l Flumioxazin: 1,47 µg/l PAK_{15}: 0,77 µg/l	Deponieklasse DK 0	keine Überschreitung

Das untersuchte Gleisschottermaterial stellt keinen gefährlichen Abfall dar.

4.2.3 Auffüllung

In der folgenden Tabelle 4 sind die aus den Ergebnissen der chemischen Analysen resultierenden abfalltechnischen Einstufungen der Auffüllungen aufgelistet.

Tabelle 4: Abfalltechnische Einstufung Auffüllungen

Misch-probe	Abfalltechnische Einstufung EBV	Grund der Einstufung	Abfalltechnische Einstufung DepV	Grund der Einstufung
MP A1 Bereich Birkenauer Str./Bahnübergang	BM-F1	PAK: 6,1 mg/kg Blei: 45 µg/l PAK_{15}: 0,68 µg/l	Deponieklasse DK 0	keine Überschreitungen
MP A2 Bereich Abstellhalle	BM-F1	Arsen: 12,3 µg/l PAK_{15}: 0,68 µg/l	Deponieklasse DK 0	keine Überschreitungen
MP A3 Bereich Sprinklerzentrale	BM-F3	Blei: 190 mg/kg Kupfer: 88 mg/kg	Deponieklasse DK 0	keine Überschreitungen
MP A4 Bereich Werkstatt	BM-F1	PAK_{15}: 0,74 µg/l	Deponieklasse DK 0	keine Überschreitungen

4.2.4 Fugenmassen

Asbestfasern konnten nun in den Fugenmassen (Längsschienenverguss) bei HSch 8, HSch 11, BS 7 und BS 8 nachgewiesen werden. Zusammen mit den Ergebnissen der früheren Untersuchungen sind vorsorglich die Fugenmassen aus dem gesamten Bereich der künftigen Abstellhalle als asbesthaltig einzustufen.

5 KURZE BEURTEILUNG DER BAUGRUNDVERHÄLTNISSE

Der gesamte Umbauabschnitt wird im oberflächennahen Bereich durch feinkörnige und feinkornreiche Böden geprägt, die im aufgeschlossenen Zustand nur zum Teil ausreichende Tragfähigkeitseigenschaften in Höhe des Planums bzw. des Erdplanums besitzen. Eine bessere Tragfähigkeit wird auch nicht durch Nachverdichten erreicht.

In der maßgebenden Planums- bzw. Erdplanumshöhe sind meist Böden mit hoher Frostempfindlichkeit anzutreffen. Im gesamten Abschnitt wird somit witterungsempfindlicher und damit witterungsabhängig unterschiedlich befahrbarer Boden anstehen.

In Höhe der Gründungssohlen für die Hochbaumaßnahmen stehen nahezu durchgängig Ausreichend tragfähige Böden an.

Das Grundwasser spielt bei der Maßnahme keine Rolle.

6 ANGABEN FÜR DIE GLEISANLAGEN

6.1 Gleise

6.1.1 Schottergleise

Auf der Strecke ist ein offener Schottereinbau mit Betonschwellen vorgesehen.

In Anlehnung an die DB-Vorschrift Ril 836 ist eine geforderte Tragfähigkeit von $E_{v2} \geq 80$ MN/m² auf der OK Schutzschicht (ca. 30 cm unter UK Schwelle) bzw. $E_{v2} \geq 45$ MN/m² auf OK Unterbau/Untergrund (ca. 50 - 60 cm unter UK Schwelle je nach Frostempfindlichkeitsklasse) anzusetzen.

In Höhe der OK Unterbau/Untergrund sind mit einigen Ausnahmen feinkornreiche Böden vorhanden, die neben einer hohen Witterungsempfindlichkeit und Frostempfindlichkeit auch nur eine mäßige Tragfähigkeit besitzen. Um hier einen normgerechten Aufbau zu erzielen, müssen die feinkornreichen Böden teilweise ausgetauscht werden. Hier ist für einen normgerechten Aufbau eine Aushubtiefe von 1,1 m unter SO anzusetzen. Die genaue Aushubtiefe ist im Rahmen einer Baubegleitung festzulegen.

Die erforderlichen Ersatzmassen müssen den Anforderungen der Tabelle 5 entsprechen.

Tabelle 5: Anforderungen an das Austauschmaterial

Feinkornanteil ≤ 0,063 mm	≤ 15 %
Größtkorn	45 mm
Bodengruppen nach DIN 18196	GW, GI, GE, GU, SW, SI, SE, SU
Einbauwassergehalt	$w \leq w_{Pr}$
Schüttmächtigkeit	≤ 30 cm
Verdichtungsgrad	$D_{Pr} \geq 100$ %

Auf jeden Fall ist auf der feinkornreichen Sohle ein Geotextil zu verlegen, es sei denn die Schutzschicht wird nur mit Material mit einem Größtkorn von 20 mm gebaut.

Wird lediglich eine Einstufung als Verbesserung/Erneuerung in Ansatz gebracht, sind geringere Tragfähigkeiten gefordert. Auf der OK Schutzschicht genügt ein E_{v2}-Wert ≥ 40 MN/m². Die Tragfähigkeit auf OK Unterbau/Untergrund richtet sich nach der Ausbauvariante, beträgt dann meist $E_{v2} \geq 20$ MN/m², was mit einer etwas geringeren Aushubtiefe (ca. 80 - 90 cm unter SO) einherginge.

Alternativ könnte auch eine Vergütung mit Bindemittel erfolgen. Als Bindemittel eignet sich ein Kombiprodukt, bestehend aus 70 % Kalk und 30 % Zement, welches in einer Menge von etwa 2 % Bindemittel aufzustreuen ist und dann etwa 30 cm tief einzufräsen ist. Die Verdichtung erfolgt mittels Walzenzug (Schaffuß- und Glattmantelwalze).

Neben der Staubthematik ist aber auch die das Handling und die Ausführbarkeit zu berücksichtigen. Sinn mach das Ganze, wenn man große Bereiche am Stück bearbeiten kann. Das wird wahrscheinlich nicht der Fall sein. Daher sind Standzeiten oder mehrere Baustelleneinrichtungen einzurechnen. Auch ist die Frage, wie man unterschiedlich zu behandelnde Bereiche gegeneinander abgrenzt.

6.1.2 Abstellhalle

Gegenüber der freien Strecke sind hier die Verhältnisse deutlich besser. Hier kann daher auf einen Bodenaustausch verzichtet werden.

Generell empfiehlt sich für die Abgrenzung von Bereichen mit und ohne Bodenaustausch eine fachtechnische Baubegleitung

6.2 Angaben zu den Bahnsteigen

Es empfiehlt sich den Bodenaustausch auch durchgängig unter den Fundamenten der Bahnsteige fortzuführen. In den Bahnsteigen selbst wird die erforderliche Tragfähigkeit in Planumshöhe durch den dort erforderlichen Massenauftrag (geeignete Massen s. Tabelle 5) herbeigeführt.

Die Fundamente des Bahnsteigdaches kommen vermutlich in gleicher Höhe, wie die der Bahnsteige zu liegen. Es gelten somit folgende Bemessungswerte.

Tabelle 6: Gründungsparameter Flachgründung (Einzel- und Streifenfundament)

Fundamentgröße	0,5 – 1,0 m
Bemessungswert des Sohlwiderstandes	420 kN/m²
aufnehmbarer Sohldruck	*300 kN/m²*
aufnehmbare Kantenpressung	*400 kN/m²*
max. Setzungen / etzungsunterschiede[1)]	s_{max} = 1 cm, $\Delta s \leq 0{,}5$ cm
zeitlicher Setzungsverlauf	sofort mit Belasten des Baugrundes
Sohlreibungswinkel [2)]	$\delta_{S,k}$ = 32,5°

1) Die angegebenen Setzungsdifferenzen resultieren aus Baugrundinhomogenitäten bei voller Ausnutzung des aufnehmbaren Sohldrucks und sind auf eine Länge von ca. 10 m zu verstehen.
2) charakteristische Werte

6.3 Gründung Abstellhalle (Schnitte 1-1 bis 3-3)

Die Hallenfundamente (Einzelfundamente mit Zerrbalken: Gründungstiefe ca. 1,6 m unter GOK) kommen nahezu automatisch in die anstehenden Sande zu liegen. Durch nachverdichten der teils aufgelockerten Böden wird hier eine ausreichend tragfähige Ebene für die Fundamente erreicht. Mitunter können lokal auch noch feinkornreiche Böden auftreten, über deren Verbleib im Rahmen einer Baubegleitung entschieden werden sollte. I.d.R. können diese voraussichtlich verbleiben.

Bei der Festlegung des Bemessungswertes des Sohlwiderstandes nach EC 7 sind dort sowohl die Sicherheit gegen Grundbruch als auch die Setzungen zu beachten. Letztere werden im vorliegenden Fall auf 1,5 cm begrenzt.

Tabelle 7: Gründungsparameter Flachgründung (Einzelfundamente)

Gründungsart	Flachgründung (Einzelfundamente)			
Fundamentgröße a (a=b bis a=0,8b)	1 m	1,5 m	2 m	2,5 m
Einbindetiefe	≥ 0,8 m			
Bemessungswert des Sohlwiderstandes (EC 7)	750 kN/m²	800 kN/m²	600 kN/m²	500 kN/m²
max. Setzungen / Setzungsunterschiede[1)]	s_{max} = 0,8 cm, Δs < 0,4 cm	s_{max} = 1,5 cm, Δs < 0,8 cm	s_{max} = 1,5 cm, Δs < 0,8 cm	s_{max} = 1,5 cm, Δs < 0,8 cm
zeitlicher Setzungsverlauf	sofort mit Belasten des Baugrundes			
Sohlreibungswinkel [2)]	$\delta_{S,k}$ = 35°			

1) Die angegebenen Setzungsdifferenzen resultieren aus Baugrundinhomogenitäten bei voller Ausnutzung des Bemessungswertes des Sohlwiderstandes (aufnehmbaren Sohldrucks) und sind zwischen 2 Stützen innerhalb des Bauwerks zu verstehen.

2) charakteristische Werte

Sofern in einigen Bereichen Streifenfundamente zur Ausführung (z.B. Nordwestseite der Abstellhalle) kommen gelten folgende Angaben.

Tabelle 8: Gründungsparameter Flachgründung (Streifenfundamente)

Gründungsart	Flachgründung (Streifenfundamente)	
Fundamentgröße	0,5 m	1,0 m
Einbindetiefe	≥ 0,6 m	
Bemessungswert des Sohlwiderstandes (EC 7)	630 kN/m²	770 kN/m²
max. Setzungen / Setzungsunterschiede[1)]	s_{max} = 1,0 cm, Δs < 0,5 cm	s_{max} = 1,3 cm, Δs < 0,7 cm
zeitlicher Setzungsverlauf	sofort mit Belasten des Baugrundes	
Sohlreibungswinkel [2)]	$\delta_{S,k}$ = 35°	

1) Die angegebenen Setzungsdifferenzen resultieren aus Baugrundinhomogenitäten bei voller Ausnutzung des Bemessungswertes des Sohlwiderstandes (aufnehmbaren Sohldrucks) und sind auf eine Länge von ca. 10 m innerhalb des betreffenden Bereiches zu verstehen.

2) charakteristische Werte

6.4 Gründung der Werkstatt (Schnitte 4-4 bis 6-6)

Für das Werkstattgebäude können im Grunde genommen die Gründungsparameter aus der Abstellhalle übernommen werden. Dort sind allerdings auch Wartungsgruben vorhanden, die sehr wahrscheinlich als Plattengründung ausgeführt werden.

Bei der nachfolgenden Betrachtung wird davon ausgegangen, dass unter der Platte eine mittlere Spannung p ≈ 20 kN/m² wirkt. Für die Bemessung gelten die Parameter aus Tabelle 9.

Tabelle 9: Gründungsparameter Flachgründung (Bodenplatte)

Gründungshorizont	ca. 2,5 m unter Gelände
mittlere wirksame Sohlspannung	20 kN/m²
max. Setzungen / Setzungsunterschiede	s ≤ 0,5 cm / Δs < 0,3 cm
zeitlicher Setzungsverlauf	zu 100 % sofort mit Belasten des Baugrundes
Sohlreibungswinkel [1)]	$\delta_{s,k}$ = 35°
Bettungsmodul [1)]	$k_{s,k}$ = 40 MN/m³

1) charakteristische Werte

6.5 Sprinklerzentrale (Schnitte 7-7 und 8-8)

Bei der nachfolgenden Betrachtung wird davon ausgegangen, dass unter der Platte eine mittlere Spannung p ≈ 20 kN/m² wirkt. Für die Bemessung gelten die Parameter aus Tabelle 10.

Tabelle 10: Gründungsparameter Flachgründung (Bodenplatte)

Gründungshorizont	ca. 2,5 m unter Gelände
mittlere wirksame Sohlspannung	20 kN/m²
max. Setzungen / Setzungsunterschiede	s ≤ 0,5 cm / Δs < 0,3 cm
zeitlicher Setzungsverlauf	zu 100 % sofort mit Belasten des Baugrundes
Sohlreibungswinkel [1)]	$\delta_{s,k}$ = 35°
Bettungsmodul [1)]	$k_{s,k}$ = 40 MN/m³

1) charakteristische Werte

6.6 Fahrleitungsmaste

Erfahrungsgemäß kommen für die Fahrleitungsmaste Rohrgründungen (gerammt oder gebohrt) zur Ausführung. Diese besitzen eine Länge von ca. 3 - 5 m, in speziellen Fällen aber auch längere Rohre. Bei Annahme von 4 m langen Rohren binden diese somit ausschließlich in den grobkörnigen Böden ein. Im vorliegenden Fall werden die Rohre – sie werden quasi als „Pfähle“ betrachtet - weniger auf Spitzendruck, sondern mehr auf horizontale Bettung entlang des Pfahlschaftes beansprucht.

Die Ableitung der Horizontallasten erfolgt über elastische Bettung entlang des Pfahlschaftes. Für die Ermittlung des horizontalen Bettungsmoduls k_s [MN/m³] gilt folgender Ansatz:

$$\mathbf{k_s = E_s / D}$$ (E_s = Steifemodul in [MN/m²]; D = Pfahldurchmesser in [m])

Dabei ist ein linearer Anstieg des Steifemoduls von 0 bei GOK beginnend bis zum vollen Wert in der jeweiligen Tiefe anzusetzen. Durch eine Vergleichsrechnung ist nachzuweisen, dass die Bettung den mobilisierbaren Erdwiderstand nicht überschreitet.

7 ERDBAUTECHNISCHE ANGABEN FÜR DIE ÜBRIGEN VERKEHRSWEGE

Für die übrigen Verkehrsflächen, bei denen das Planum in unterschiedlichen Tiefen anzusiedeln ist, gilt generell für das Planum die gleiche Anforderung hinsichtlich der Tragfähigkeit ($E_{v2} \geq 45$ MN/m²).

Auch hier stehen oft feinkörnige Böden an, auf denen die geforderte Tragfähigkeit nur durch Zusatzmaßnahmen (⇒ Bodenaustausch) erreicht werden kann. Es gelten daher die Angaben aus Abs. 6.1 sinngemäß.

In der Birkenauer Straße ist über die gesamte Strecke ein tragfähiger Aufbau vorhanden. Hier kann voraussichtlich auf einen Bodenaustausch verzichtet werden.

8 GELÄNDEAUFTRAG IM BEREICH DES PRIVATGEBÄUDES

Der Untergrund besteht aus sandigen Böden, die nicht entfernt werden müssen.

Setzungen an der OK der Schüttung ergeben sich einerseits aus der Zusammendrückung durch das Gewicht des Auftrages und andererseits aus den Eigensetzungen der Auftragsmassen. Die Eigensetzungen lassen sich auch bei guter Verdichtung nicht völlig vermeiden. Erfahrungsgemäß können etwa 0,2 - 0,5 % (bei guter Verdichtung) der Auftragshöhe als Eigensetzung angenommen werden. Insgesamt werden die Setzungen aus der Schüttung max. 0,5 cm betragen und zum Ende der Schüttung bereits zum Ende abgeklungen sein.

Als Materialien kommen nach DIN 18196 alle grob- und gemischtkörnigen Böden in Frage, an die Anforderungen zu stellen, die in der Tabelle 11 zusammengefasst sind.

Tabelle 11: Anforderungen an das grob- und gemischtkörnige Schüttmaterial

Feinkornanteil ≤ 0,063 mm	≤ 15 %
Größtkorn	200 mm
Bodengruppen nach DIN 18196	GW, GI, GE, GU, SW, SI, SE, SU
Einbauwassergehalt	$w \leq w_{Pr}$
Schüttmächtigkeit	≤ 30 cm
Verdichtungsgrad	$D_{Pr} \geq 100$ %

Der Abtrag des Oberbodens sowie das Aufbringen der ersten Lage ist vor Kopf, ohne Befahren der Aushubsohle mit Radfahrzeugen, oder mit Raupenfahrzeugen auszuführen. An der bestehenden Böschung zur Straße hin ist zur besseren Verzahnung eine Abtreppung herzustellen. In jeder Phase der Arbeiten ist für ein sofortiges Ableiten von Tagwasser zu sorgen (Quer- und Längsneigungen).

9 AUSFÜHRUNGSHINWEISE

9.1 Fundament-/Baugruben

Die Fundamentgruben bis 1,5 m Tiefe sind im Grunde genommen nahezu senkrecht ausgehoben kurzfristig standsicher. Allerdings wird es bei den Verdichtungsarbeiten wahrscheinlich zu Nachbrüchen kommen. Gruben mit > 1,5 m Tiefe sind auf 45° abzuflachen.

Im Bereich der Sprinklerzentrale entsteht eine etwa 4 – 4,5 m Tiefe Baugrube unmittelbar neben der bestehenden Abstellhalle, deren Gründungsniveau deutlich höher liegt. Zwar ist zur Halle noch ein Abstand von knapp über 2 m vorhanden, dennoch wir dort ein verformungsarmer Verbau erforderlich sein. Ein solcher kann im vorliegenden Fall nur mittels einer Bohrpfahlwand, die tangierend auszuführen ist.

Die Ermittlung der Traglast von Pfählen ist zwar weniger maßgebend, dennoch gelten für den **Pfahlspitzendruck $q_{b,k}$** und die **Mantelreibung $q_{s,k}$** nachfolgende **Charakteristische Werte (Bruchwerte)**, die eigentlich nur unterhalb der Aushubsohle in Ansatz gebracht werden können.

Tabelle 12: Charakteristische Werte für die Pfahlwand ($q_{b,k}$ bei s/D_s = 0,02/0,03/0,1)

Höhenkote [m unter GOK]	**Mantelreibung $q_{s,k}$ [MN/m²]**	**Pfahlspitzendruck $q_{b,k}$ [MN/m²]**
unterhalb 4,5 m	0,15	1,9/2,5/4,5

Die Ableitung der Horizontallasten erfolgt über elastische Bettung entlang des Pfahlschaftes. Für die Ermittlung des horizontalen Bettungsmoduls gilt folgender Ansatz:

$k_s = E_s / D$ mit k_s = Bettungsmodul in [MN/m³]
E_s = Steifemodul in [MN/m²]
D = Pfahldurchmesser in [m]; ab D > 1 gilt rechnerisch D = 1

Die Werte für den Steifemodul E_s sind der Tabelle 1 zu entnehmen.

Für die Ermittlung exakter Größen der Verschiebungen sind die o.g. Angaben nicht geeignet. Definitive Verschiebungsgrößen sind nur anhand von horizontalen Probebelastungen möglich.

Bei der Pfahlherstellung muss die zwingend erforderliche Verrohrung im Lockerboden dem Aushub stetig in ausreichendem Maße vorauseilen. Die Pfahlsohle ist von aufgelockerten Massen zu befreien.

Die Angaben der DIN EN 1536 sind zu beachten. Für jeden Pfahl ist gemäß dieser Richtlinie ein Herstellungsprotokoll zu erstellen. Zumindest der erste Pfahl ist von einem Sachverständigen für Geotechnik abzunehmen zu lassen. Die Überprüfung der tatsächlich ausgeführten Pfahllängen bzw. auf eventuelle Fehlstellen ist anhand von Pfahlintegritätsprüfungen (qualitative Prüfung) möglich.

9.2 Hinterfüllung

Für die erforderliche Hinterfüllung der UG-Wände bzw. der Arbeitsräume sind verdichtungsfähige Massen (s. Tab. 5) zu verwenden und zu verdichten (lagenweiser Einbau). Geeignet sind auf jeden Fall die feinkornamen Sande, entsprechende Zwischenlagerung vorausgesetzt. Die feinkornreichen Sande und die Schluffe sind aufgrund ihrer Witterungsanfälligkeit nur bedingt geeignet.

Bei der Bemessung auf Erddruck kann eine Wichte von γ = 20 kN/m³ und ein Reibungswinkel φ' = 35° angesetzt werden.

Die erdberührten Wände sind gegen Wasser abzudichten (Wassereinwirkungsklasse W1.1-E).

9.3 Erdbau

Aufgrund der festgestellten Eigenschaften der freizulegenden Böden sind bei der Herstellung des Erdplanums die Vorgaben im Merkblatt „Verdichtung des Untergrundes und Unterbaues im Straßenbau“ zum Schutz der Aushubsohle einzuhalten.

U.a. ist folgendes zu beachten:

- Der Aushub ist mit einem Baggerlöffel ohne Zähne vorzunehmen (⇒ glatte Aushubsohle)
- Die Aushubsohle darf nicht mit Radfahrzeugen befahren werden (⇒ Walkeffekt)
- Das Freilegen der Aushubsohle darf nicht bei Niederschlägen erfolgen und ist auf eine Tagesleistung zu begrenzen (⇒ der Einbau des Bodenaustausches erfolgt sofort nach dem Freilegen oder es verbleibt eine Schutzschicht)
- Das Verdichten hat statisch bzw. mit Geräten mit geringer Tiefeneinwirkung (hohe Frequenz, geringe Amplitude) zu erfolgen.
- Zum Entwässern des Erdplanums/Planums ist eine ausreichende Neigung in Verbindung mit einer Dränage herzustellen

Im Bereich freigelegter bindiger Böden ist zur filterstabilen Trennung auf der Aushubsohle ein Vlies (GRK 3) zu verlegen oder das Größtkorn auf 20 mm zu beschränken.

10 QUALITÄTSSICHERUNG

Es wird empfohlen zu Beginn und während der Arbeiten einen Sachverständigen für Geotechnik zur fachtechnischen Beratung hinzuzuziehen.

Der Nachweis der geforderten Verdichtung und Tragfähigkeit auf dem Erdplanum und dem Planum ist durch Eigenüberwachung seitens der Baufirma zu führen (⇒ Nebenleistung, die nicht gesondert ausgeschrieben werden muss). Im vorliegenden Fall ist der Umfang gemäß den Vorgaben der ZTVE anzusetzen. Zur optimalen Qualitätssicherung sind stichpunktartige Kontrollprüfungen mittels eigenen Prüfers (⇒ externe Leistung, die nicht im LV aufgenommen werden muss).

Für alle einzubauenden Materialien sind seitens der ausführenden Firma vor Beginn des Einbaus aktuelle Eignungsprüfungen vorzulegen. Die ersten Chargen auf der Baustelle sind zu kontrollieren (Kontrollprüfungen).

11 ANGABEN ZUR VERSICKERUNG

Es ist vorgesehen anfallendes Oberflächenwasser gezielt zu versickern.

Gemäß dem Arbeitsblatt DWA-A 138-1 kommen für Versickerungsanlagen Lockerböden mit einem Durchlässigkeitsbeiwert $k_f \geq 1 \cdot 10^{-6}$ m/s in Frage. Für die Bemessung von Versickerungsanlagen ist allerdings die Angabe der bemessungsrelevanten Infiltrationsrate k_i erforderlich, die sich aus dem k_f-Wert mit entsprechenden Korrekturfaktoren, insbesondere bei der Bestimmungsmethode, ableiten lässt.

Eine Bemessung einer Versickerungsanlage rein auf Basis einer Bestimmung des k_f-Wertes aus der Bodenansprache ist nicht mehr zulässig. Allenfalls ist damit eine qualitative Einstufung möglich.

Im vorliegenden Fall ergibt sich anhand der Kornverteilungen für die feinkornarmen Sande ab etwa 2,0 m Tiefe (bei BS 15 ab 1,0 m Tiefe) ein mittlerer k_f-Wert von $2,7 \cdot 10^{-4}$ m/s. Von der Durchlässigkeit her sind die Sande somit geeignet.

Aufgrund dieser Bestimmungsmethode gilt somit für:

$$f_k = f_{Ort} \cdot f_{Methode} \qquad \text{mit} \qquad f_{Methode} = 0,1 \quad f_{Ort} = 1$$

Daraus folgt ein resultierender Korrekturfaktor von $f_k = 0,1$, so dass sich der k_i-Wert zu **$k_i = 2,7 \cdot 10^{-5}$ m/s** errechnet. Höhere Werte wären mit anderen Bestimmungsmethoden (bis max. $f_{Methode} = 1$) möglich.

12 ALLGEMEINE HINWEIS ZUR ENTSORGUNG

Die Entsorgung von Boden- und Bauschuttmaterial wird durch unterschiedliche bundesland- und deponiespezifische Vorschriften geregelt. Im Rahmen einer geotechnischen Erkundungsmaßnahme, wie sie auch hier durchgeführt wurde, ist jedoch ausschließlich eine umwelt-/abfalltechnischen in-situ-Untersuchung möglich, die diese unterschiedlichen Vorschriften in manchen Fällen nicht vollständig abdecken kann.

Mit den Ergebnissen der hier durchgeführten abfalltechnischen Untersuchungen ist aber in jedem Fall eine abfalltechnische Voreinstufung der voraussichtlich anfallenden Bodenmaterialien möglich, welche als Basis für die Ausschreibung der Entsorgung dienen kann. Derzeitig wird generell von Deponien pro 250 m³ Erdaushub eine Deklarationsanalyse gefordert. Baden-württembergische Deponien verlangen für die erste bis zu 500 m³ große Charge 2 Analysen und in der Folge alle 300 m³. Hinsichtlich in-situ Untersuchungen werden deponieseits unterschiedliche Anforderungen gestellt.

Bei eher geringen Bodenbelastungen ist allerdings eine Verwertung des anfallenden Bodenaushubs in dieser oder anderen Baumaßnahmen wahrscheinlich. Für diesen Fall ist i.d.R. eine Analyse pro angefangene 500 m³ voraussichtlich ausreichend. Generell werden für die Annahme von Bodenmaterial ausschließlich Analysen akzeptiert, die nicht älter als 1/2 bis 1 Jahr sind.

Sollte daher eine deponietechnische Entsorgung stattfinden, sind für die Entsorgung der anfallenden Aushubmassen noch zusätzliche abfalltechnische Untersuchungen erforderlich. Dabei stellen baubegleitende Untersuchungen mittels Haufwerksbeprobungen (à 250 m³) und nachfolgender Deklarationsanalytik (kombinierter Umfang EBV und DepV) die beste Verfahrensweise dar, da dadurch keine Akzeptanzlücken bzgl. bundesland- und deponiespezifischer Vorgaben entstehen.

20. Januar 2026
rie/th

Dipl.-Ing. Frank Riester