



Projektbüro Heidelberg
Güteramtstraße 2

69115 Heidelberg

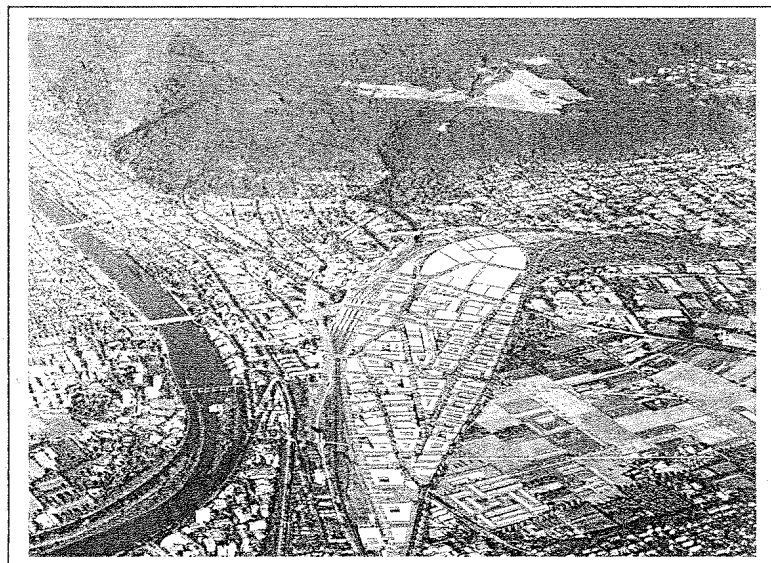
27.02.2004
H031033-0

Bericht und Gutachten

zu den umwelt- und geotechnischen Erkundungen

für das Projekt "Heidelberg Bahnstadt"

Teilgebiet „Wohnterrassen-Ost / Zollhof“



WOLF-D. HAGELAUER
Dipl.-Geologe
info@hagelauer-consult.de
www.hagelauer-consult.de

Bankverbindung
Volksbank Wiesloch
BLZ 672 922 00
Konto 180 188 02

Heinrich-Hertz-Straße 11
69190 Walldorf
Tel 06227-62016
Fax 06227-62010

Untersuchung - Beratung - Gutachten

Umweltgeologie
Geotechnik, Hydrogeologie
Bodenschutz, Altlasten
Sekundär-Rohstoffe

Anlagen

- 1.1 Übersichtslageplan, M 1 : 25.000
- 1.2 Lageplan des Untersuchungsgebietes, M 1 : 15.000
- 1.3 Luftbild (Übersicht)
- 1.4 Übersichtskarte mit Aufschlusspunkten
- 2.1 Karte "Mächtigkeit der Auffüllungen (inkl. Bahnschotter)", M 1:3.000
- 2.2 Karte "Oberkante der Auenlehme (müNN)", M 1:3.000
- 2.3 Karte "Oberkante der Flussablagerungen (müNN)", M 1:3.000
- 2.4 Karte "Homogenbereiche innerhalb der Auffüllungen", M 1:3.000
- 2.5 Karte "Schadstoffgehalte der Auffüllungen (Feststoff), Schutzgut Mensch, M 1:3.000
- 2.6 Karte "Schadstoffe der Auffüllungen (Eluat), Schutzgut Grundwasser", M 1:3.000
- 2.7 Karte "Abfallrechtliche Einstufung der Auffüllungen nach LAGA (Bauschutt)"
- 2.8 Karte "Schadstoffgehalte aus früheren Erkundungen", M 1:3.000
- 3.1 - 3.5 Geologische Geländeprofile 1-4, M 1 : 500/100
- 3.6 - 3.29 Fotodokumentation Kernbohrungen (Lehmann & Wendt)
- 3.30 - 3.36 Sondierprofile der Schürfgruben
- 3.37 - 3.38 Sondierprofile der Rammkernsondierungen
- 3.39 - 3.40 Rammogramme der schweren Rammsondierungen
- 4.1 – 4.3 Zusammenstellung der bodenmechanischen Laborergebnisse
- 5.1 - 5.32 Korngrößenanalysen (Körnungslinien)
- 6.1 – 6.3 Konsistenzgrenzen
- 7.1 – 7.4 Proctorversuche
- 8 Probenahmeprotokolle Grundwasser
- 9 Zusammenstellung der chemischen Laborergebnisse
- 10.1 Prüfberichte Labor UmLab: Bodenanalysen (Feststoff und Eluat)
- 10.2 Prüfberichte Labor UmLab: LAGA-Analysen
- 10.3 Prüfberichte Labor UmLab: Grundwasseranalysen
- 11.1 – 11.7 Analysenergebnisse (LAGA Bauschutt) mit abfallrechtlicher Einstufung (Auffüllungen).
- 12 Analysenergebnisse bahntypische Herbizide mit abfallrechtlicher Einstufung
- 13 LAGA-Analyse: Einzelproben der Probenfelder für Probenkollektive.

Verwendete Unterlagen:

- [1] DB AG, ZBS 21 SÜDWEST
(Dezember 1997): Auszug aus Historische Erkundung, Standort 7050 Heidelberg, Teilstandort 7050-04 „Güterbahnhof“, Flächen 7050-04-001 bis 7050-04-011 [SPIEKERMANN GmbH & Co Beratende Ingenieure].
- [2] DB Netz AG, Abt. NPZ 24
(Januar 2000): Auszug aus Orientierende Untersuchung, Standort 7050 Heidelberg, Teilstandort 7050-04, Flächen 7050-04-001 bis 7050-04-011. [SPIEKERMANN GmbH & Co Beratende Ingenieure].
- [3] DB AG, ZBS 21 SÜDWEST
(Dezember 1997): Auszug aus Historische Erkundung, Standort 7050 Heidelberg, Teilstandort 03 „Rangierbahnhof“, Flächen 7050-03-001, 7050-03-002, 7050-03-003. SPIEKERMANN GmbH & Co Beratende Ingenieure].
- [4] DB Netz AG, Abt. NPZ 24
(Mai 2001): Projekt „Heidelberg 2000“ (Abfalltechnische Bewertung) Standort 7050 Heidelberg, Teilstandort 02, Fläche 02/001, 02/002, 02/003, Teilstandort 03, Fläche 03/002 „Rangierbahnhof“, Teilstandort 04, Fläche 04/002 „Schrottplatz Hetzel“, Fläche 04/003 „Seelinger“, Fläche 04/005 „Mack“, Fläche 04/007 „Dehner“, Fläche 04/008 „Oberfeld“. [TGU, Koblenz].
- [5] DB Netz AG, Abt. NPZ 24
(Juni 2001): Auszüge aus Orientierende Untersuchungen im Auftrag der, Standort 7050 Heidelberg, Teilstandort 7050-03, Flächen 03/001, 03/002, 03/003. [TUG, Koblenz.]
- [6] „Hydrogeologischen Kartierung und Grundwasserbewirtschaftung Rhein-Neckar-Raum“
- [7] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (1999): Bundesbodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV).
- [8] Ministerium für Arbeit, Gesundheit und Sozialordnung Baden-Württemberg & Umweltministerium Baden-Württemberg (01.03.1998): Orientierungswerte für die Bearbeitung von Altlasten und Schadensfällen Hinweise zur VwV: Beurteilung von Bodenluftwerten (Schutzgut Grundwasser, Schutzgut Mensch).
- [9] Länderarbeitsgemeinschaft Abfall, (LAGA). Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Reststoffen/Abfällen, Technische Regeln, 06.11.1997.
- [10] ATV-DVWG: Arbeitsblatt AVT-A 138 "Bau und Bemessung von Anlagen zur dezentralen Versickerung von nicht schädlich verunreinigtem Niederschlagswasser, 1990
- [11] DVWG Regelwerk W 101: "Richtlinien für Trinkwasserschutzgebiete. 1.Teil: Schutzgebiete für Grundwasser", 1995

Inhalt

	Seite
1	Veranlassung und Auftrag.....1
2	Ziel der Erkundungsmaßnahmen1
3	Lage und Nutzung des Geländes2
4	Geologischer und hydrogeologischer Überblick3
5	Untersuchungsprogramm.....4
5.1	Geländeuntersuchungen4
5.1.1	Vorbereitende Maßnahmen.....4
5.1.2	Geo- und umwelttechnische Aufschlüsse.....5
5.1.3	Grundwasser-Messstellen.....6
5.1.4	Felduntersuchungen und Feldversuche6
5.2	Boden- und Grundwasserproben.....7
5.3	Chemische Laboranalysen8
5.3.1	Bodenanalysen (Feststoff, Eluat)8
5.3.2	Grundwasseranalysen (Schadstoffe)9
5.4	Bodenmechanische Laboruntersuchungen.....9
6	Untersuchungsergebnisse.....10
6.1	Geologischer Schichtaufbau, Schichtenbeschreibung10
6.2	Grundwasserverhältnisse13
6.3	Umwelt- und abfalltechnische Laborergebnisse.....14
6.3.1	Schadstoffgehalte in den Auffüllungen (Feststoff).....14
6.3.2	Schadstoffgehalte in den Auffüllungen (Eluat)16
6.3.3	Schadstoffgehalte im Grundwasser17
6.4	Benennung und Klassifizierung der Böden19
6.5	Versickerungsfähigkeit des Untergrunds22
7	Umwelt- und abfalltechnische Bewertung mit Empfehlungen.....24
7.1	Bisherige umwelttechnische Untersuchungen24
7.2	Bewertungsgrundlagen.....24
7.3	Wirkungspfad Boden - Mensch.....25
7.4	Wirkungspfad Boden - Grundwasser.....26
7.5	Abfallrechtliche Einstufung27
8	Geotechnische Bewertung mit Empfehlungen.....29
8.1	Baugrundbeurteilung29
8.2	Empfehlungen und Hinweise zu Bauwerksgründungen30
8.3	Empfehlungen und Hinweise zu den Erschließungsmaßnahmen32
8.4	Wiederverwertbarkeit der Aushubböden in verschiedenen Einbaubereichen.....33

9	Versickerung von Niederschlagswasser.....	34
9.1	Bewertung der geologischen und umwelttechnischen Einflussfaktoren	34
9.2	Empfehlungen und Hinweise zu Versickerungseinrichtungen.....	36
10	Hinweise zum Bodenmanagement.....	37
11	Zusammenfassung.....	38

Tabellen

Tab. 1	Standort "7050 Heidelberg" mit Teilstandorten
Tab. 2	Durchgeführte Bohrlochversuche (SPT und Open-End-Tests)
Tab. 3	Boden- und Bodenmischproben für geo- und umwelttechnische Analysen
Tab. 4	Mächtigkeit der Auenlehme in den Kernbohrungen
Tab. 5	Grundwasserstände im November/Dezember 2003
Tab. 6	MKW-Gehalte in den Auffüllungen mit Werten > 100 mg/kg (Feststoff)
Tab. 7	PAK-Gehalte in den Auffüllungen (gruppiert nach Konzentrationsbereichen)
Tab. 8	PAK-Gehalte in den Auffüllungen mit Überschreitung des Prüfwerts
Tab. 9	Ergebnisse der Eluatuntersuchungen (Auffüllungen)
Tab 10	Physikochemische Vor-Ort-Parameter vor GW-Beprobung
Tab. 11	Benennung und Klassifizierung der aufgefüllten und anstehenden Böden
Tab. 12	Frostempfindlichkeit und Verdichtbarkeit der Aushubböden
Tab. 13	Bodenmechanische Kennwerte der aufgefüllten und anstehenden Böden
Tab. 14	k _r -Wert der Auenlehme und Flussablagerungen
Tab. 15	Abfallrechtliche Einstufung nach LAGA (Bauschutt) für die Mischproben-Felder
Tab. 16	Eignung von Aushubböden zum Einbau in verschiedene Wiedereinbaubereiche

1 Veranlassung und Auftrag

Im Rahmen der weiteren Vorbereitung für das städtebauliche Großprojekt "Heidelberg-Bahnstadt" wurden im Auftrag der aurelis Real Estate GmbH & Co. KG, Projektbüro Heidelberg, für das ca. 20 ha große Teilgebiet "Wohnterrassen-Ost/Zollhof" umwelt- und geotechnische Untersuchungen zur flächendeckenden Erkundung der konkreten örtlichen Verhältnisse durchgeführt.

Das entsprechende Untersuchungsprogramm wurde von der IBL Umwelt- und Biotechnik GmbH, Heidelberg, die als Projektsteuerer fungiert, aufgestellt und fachtechnisch begleitet.

Am 11.10.2003 wurde die Hagelauer Umwelt-Geotechnik Consult, Walldorf, von der aurelis GmbH beauftragt, das von der IBL vorgegebene Untersuchungsprogramm durchzuführen und die Ergebnisse in einem Untersuchungsbericht und umwelt-geotechnischen Gutachten zusammenzufassen.

2 Ziel der Erkundungsmaßnahmen

Ziel dieser Untersuchungen ist die flächendeckende nähere Erkundung der umwelt- und geotechnischen Verhältnisse auf der Grundlage bereits vorhandener Untersuchungsergebnisse. Die Ergebnisbewertung soll sich zum einen an den Erfordernissen der geplanten städtebaulichen Nutzung mit den damit verbundenen baurechtlichen Anforderungen orientieren. Gleichzeitig sollen auch die öffentlich-rechtlichen Interessen hinsichtlich potenzieller Kontaminationen in Bezug auf die einzelnen Schutzgüter berücksichtigt werden. Wert gelegt wird hierbei besonders auf eine gesamtheitliche und integrierende Betrachtung und Bewertung der umwelt- und geotechnischen Aspekte unter Berücksichtigung der damit verknüpften Wechselbeziehung.

Im Einzelnen ergeben sich für die Bearbeitung folgende Aussageschwerpunkte:

Umwelttechnik,	Boden- und Grundwasserverunreinigungen unter wasser- und bodenschutz- sowie bau- und abfallrechtlichen Aspekten.
Abfalltechnik	

Geotechnik	Baugrundsituation und Folgerungen für die Bauwerksgründung und Erschließungsmaßnahme.
-------------------	---

Variantenuntersuchung für Flächengründung von Bürogebäuden (technisch/wirtschaftlich).

Möglichkeit zur Versickerung von Oberflächenwasser auf der Projektfläche unter technischen, ökologischen, genehmigungsrechtlichen und wirtschaftlichen Aspekten. Berücksichtigung der geologischen/hydrogeologischen sowie kontaminationsbedingten Faktoren.

3 Lage und Nutzung des Geländes

Die Projektfläche "Heidelberg-Bahnstadt" liegt im westlichen Stadtgebiet von Heidelberg. Das Untersuchungsgelände für das ca. 20 ha große Teilgebiet "Wohnterrassen-Ost/Zollhof" erstreckt sich im Süden entlang einer ausgedehnten Grünfläche (Feldflur Pfaffengrund). Die östliche Begrenzung bilden die Güteramtstraße und die Rudolf-Diesel-Straße, im Norden grenzt die Fläche an bestehende Lagerhallen (vgl. Anl. 1.1). Das Teilgebiet hat in Nordwest-Südost-Richtung eine größte Länge von ca. 900 m und besitzt in Nordost-Südwest-Richtung eine maximale Breite von rund 370 m.

Geomorphologisch befindet sich das Untersuchungsgelände am Ostrand der Oberrheinebene im zentralen Bereich des Neckarschwemmfächers. Der Neckar liegt nördlich in einer Entfernung von etwa 1 km.

Das heute vorliegende, vergleichsweise ebene Gelände wurde im Zuge der Erstellung der Bahnhofsanlage durch ausgedehnte und bis zu 4 m mächtige Auffüllungen hergestellt. Nennenswerte Höhenunterschiede bestehen lediglich an den westlichen und südlichen Flächenrändern, wo der Höhenunterschied zum angrenzenden, tieferliegenden Urgelände bzw. zu den begleitenden Straßenzügen bis etwa 4 m betragen kann. Um 2 – 3 m gegenüber dem Bahngelände erhöht liegt im Westen auch der dammartige Ablaufberg, der zu Rangierzwecken hergestellt wurde (vgl. Anl. 1.4). Die topographischen Geländehöhen betragen in weiten Bereichen der Kernfläche im Mittel um 112 m_{NN}. An den von uns eingemessenen Aufschlusspunkten wurden hier Höhen zwischen rund 111,3 und 112,9 m_{+NN} festgestellt.

Das Untersuchungsgelände befindet sich vollständig in der Zone III B des Wasserschutzgebietes 30 (WVV Neckargruppe-Edingen-Neckarhausen, Stadtwerke Heidelberg-Rauschen, vgl. Anl. 1.2).

Historisch betrachtet, handelt es sich bei der Projektfläche im wesentlichen um das Gelände des ehemaligen Güterbahnhofs und um Teilflächen des ehemaligen Rangierbahnhofs. Der Güterbahnhof wurde Anfang 1914 in Betrieb genommen. Ansonsten liegen uns zur Chronologie der baulichen Entwicklung des Bahngeländes keine näheren Informationen vor.

Die Gleisflächen des Güter- sowie des Rangierbahnhofs lagen zum Untersuchungszeitpunkt zu einem großen Teil brach und wurden nicht mehr genutzt. Die Gleisanlagen selbst wurden vor und während unserer Geländearbeiten in bestimmten Bereichen bereits rückgebaut. Umweltrelevante Nutzungen finden heute auf dem Untersuchungsgelände nicht mehr statt.

Die bahninterne Bezeichnung des Untersuchungsgeländes sowie des gesamten umliegenden Bahnareals lautet "Standort 7050 Heidelberg". Umwelttechnische Erkundungen wurden bisher an 3 Teilstandorten durchgeführt, die bereichsweise innerhalb des Untersuchungsgeländes liegen. (Tab. 1 und [1], [2], [3], [4], [5]).

Tab. 1 Standort "7050 Heidelberg" mit Teilstandorten

Teilstandort	Teilfläche	Nähere Beschreibung	Größe
7050/02	001	Ehemaliges Betriebswerk und Abstellgleise	192.500 m ²
	002	westl. Bereich ehem. Betriebswerk	
	003	östl. Bereich ehem. Betriebswerk	
	004	Zufahrts- und Abstellgleise der Abstellgruppe West nördl. Eppelheimer Str. bis ehem. Abstellgruppe West	
7050/03	001	Rangierbahnhof und freie Strecken I und II	390.000 m ²
	002	„Freie Strecke I“	
	003	Rangierbahnhof „Freie Strecke II“	
7050/04		Güterbahnhof	192.000 m ²
	001	„Bahngelände West“	
	002	Schrottplatz Hetzel	
	003	Fa. Seeliger	
	004	„Bahngelände Ost“	
	005	Fa. Mack	
	006	Fa. Dürkes & Obermayer	
	007	Fa. Dehner	
	008	Fa. Oberfeld	
	009	Fa. Haussmann	
	010	„Sportplatz“	
	011	„Seichter“	

fettgedruckte, unterstrichene Flächen liegen innerhalb des Untersuchungsgeländes „Wohnterrassen-Ost/Zollhof“.

4 Geologischer und hydrogeologischer Überblick

Das Untersuchungsgelände liegt etwa 1 km südlich des Neckars im Bereich des Neckarschwemmfächers. Unter den großflächigen künstlichen Auffüllungen setzen holozäne Auenlehme (Hochflutablagerungen) des Neckars in Form von feinsandigen Schluffen und Tonen ein. Darunter folgen pleistozäne Flussablagerungen des Neckars (Neckarschwemmfächer), die eine Wechselfolge von tlw. geröllhaltigen Sanden und Kiesen darstellen. Die Lockergesteine weisen einen unterschiedlichen Feinteilgehalt (Ton, Schluff) auf; bereichsweise können auch bindige Zwischenlagen eingeschaltet sein.

Im tieferen Untergrund folgen Flussablagerungen des Rheins, die in großer Tiefe (ab ca. 140 m) von den Schichten des Tertiärs unterlagert werden

Hydrogeologisch ist im Bereich des Untersuchungsgeländes der sogenannte "Obere Grundwasserleiter (OGWL)" von Bedeutung. Er besteht überwiegend aus sandigen Kiesen und kiesigen Sanden in einer Mächtigkeit von ca. 50 m. Die Durchlässigkeit dieser Sedimente ist i.A. gut, die kf-Werte liegen im Bereich $0,5-3,5 \cdot 10^{-3}$ m/s.

Der Flurabstand auf der Projektfläche beträgt ca. 15 m. Die regionale Grundwasserfließrichtung ist in Richtung Rhein gerichtet (vgl. Anl. 1.2 [6]).

Die langjährige Grundwasserneubildungsrate aus Niederschlägen liegt im Rhein-Neckar-Raum bei $3,7 \text{ l/s} \cdot \text{km}^2$ [6].

5 Untersuchungsprogramm

5.1 Geländeuntersuchungen

5.1.1 Vorbereitende Maßnahmen

Einmessung der Aufschlusspunkte

Die vom AG vorgegebenen Aufschlusspunkte wurden im Gelände gemäß Vorlageplan vermessen. Die Einmessungen nach Lage (Gauss-Krüger) und Höhe (m+NN) wurden vom Ingenieurbüro Heine und Schoch (h & s Ingenieure), Schwetzingen, übernommen. Für jeden Untersuchungspunkt wurde dazu vorab die Lage von unterirdischen Kabel- und Leitungstrassen überprüft. Geringfügige Verlegungen der Aufschlusspunkte mussten dort vorgenommen werden, wo entweder die Kampfmittelfreimessung (s.u.) nicht eindeutig möglich war, die Leitungsführung dies nicht zuließ oder die örtlichen Verhältnisse keinen Zugang ermöglichten. Die tatsächlich ausgeführten Aufschlusspunkte sind im Lageplan (Anl. 1.4) dokumentiert.

Kampfmittelüberprüfungen

Der Kampfmittelverdacht bestand auf weiten Teilen der Projektfläche, insbesondere nahezu flächendeckend in den westlichen Gleisbereichen. Gemäß den vorliegenden Karten des Kampfmittelbeseitigungsdienstes Baden-Württemberg existieren Areale mit erkennbarer Bombardierung und solche Areale, die mutmaßlich kampfmittelfrei sind. Aus Sicherheitsgründen wurden deshalb alle 94 Aufschlusspunkte (Bohrungen, Baggerschürfe, Rammkernsondierungen, Rammsondierungen) vor deren Durchführung durch eine für die Kampfmittelortung zugelassenen Firma (Fa. Ortungstechnik Gottwald, Groß-Umstadt) freigemessen. Die Ortung bzw. Sicherung erfolgte durch Oberflächendetektion, Bohrlochdetektion und durch eine munitionsfachtechnische Begleitung.

Wegen im Messbereich vorhandener magnetischer Anomalien konnte eine Freimessung nach dem Standardmessverfahren (Oberflächendetektion) jedoch nur an den Stellen außerhalb der Gleisanlage ausgeführt werden. Im Bereich der Kernbohrungen im Gleisbereich wurden zuvor erschütterungsarme Schneckenbohrungen bis 4 m unter GOK ausgeführt, die zur Bohrlochdetektion temporär mit einem PVC-Rohr ausgebaut wurden.

Lediglich bei einer Schneckenbohrung (bei KB 11) lag im Tiefenbereich 1,5 m unter GOK eine magnetische Störung vor, die zunächst einen Kampfmittelverdacht hervorrief, weshalb im Abstand von 2 m eine zusätzliche Schneckenbohrung bis 4 m Tiefe hergestellt wurde. Da die Bohrlochdetektion den selben Befund ergab, war anhand des gesamten Störbildes ursächlich nicht von einem Sprengmittelkörper auszugehen, sondern es wurde vielmehr ein harmloses Metallteil vermutet. Die Bohrung konnte deshalb freigegeben werden.

Grundsätzlich wurden alle Aufschlussarbeiten erst nach Freigabe durch den Feuerwerker ausgeführt. Die meisten Bodenaufschlüsse wurden hierbei als Baggerschürfe (Sch) im Gleisbereich ausgeführt. Da wegen der Störeinflüsse der Gleisanlagen keine Kampfmittelfreimessungen erfolgen konnten, wurden die Schürfarbeiten permanent von der Fachfirma begleitet.

5.1.2 Geo- und umwelttechnische Aufschlüsse

Gemäß behördlicher Vorgaben waren zur weiteren Eingrenzung der Kontaminationsproblematik 5 Aufschlüsse pro ha herzustellen. Das vom Auftraggeber festgelegte Aufschlussraster umfasste insgesamt 94 Aufschlusspunkte, die je nach Fragestellung und örtlichen Verhältnissen als

- Kernbohrungen (KB)
- Bagger-Schürfgruben (Sch)
- Rammkernsondierungen (RKS)

ausgeführt wurden.

Die primär zur geotechnischen Erkundung vorgesehenen 12 Kernbohrungen wurden hierbei ebenso zur umwelttechnischen Erkundung herangezogen.

Kernbohrungen

Vom 18.11. bis 10.12.2003 wurden von der Firma Lehmann & Wendt, Ulmen, insgesamt 12 Kernbohrungen (KB 1-KB 12) im Rammkernbohrverfahren ohne Spülhilfe durchgeführt. Die Lage der Bohrpunkte geht aus Anl. 1.4 hervor. Die in Kernkisten ausgelegte Bohrstrecke wurde durch unser Büro geologisch und bodenmechanisch angesprochen und die Schichtenfolge aufgenommen. Aus dem Bohrgut wurden für weitere geo- und umwelttechnische Untersuchungen repräsentative, gestörte Proben entnommen. Von jeder Bohrung wurde von der Bohrfirma eine Fotodokumentation erstellt (Anl. 3.6 – 3.29).

Baggerschürfe

Im Zeitraum 17.11-24.11.2003 wurden von der Firma Orth, Eppelheim, insgesamt 68 Baggerschürfe (Sch 1 – Sch 68) angelegt. Die Aufschlüsse (Lage siehe Anl. 1.4) durchteuften die künstlichen Auffüllungen und wurden grundsätzlich bis 1 m in den gewachsenen Boden niedergebracht. Das Schürfgut wurde von unserem Büro vor Ort angesprochen, der Schichtaufbau aufgenommen und repräsentative Mischproben für geo- und umwelttechnische Laboruntersuchungen gewonnen (vgl. Kap. 5.2). Die Schürfe wurden von uns fotografisch dokumentiert. Die in den Schürfen angetroffene Schichtenfolge ist in den Anl. 3.30 – 3.36 gemäß DIN 4023 dargestellt

Rammkernsondierungen

Am 01. und 02.12.2003 wurden von der Firma WST, Heidelberg, insgesamt 14 Rammkernsondierungen (RKS 1 – RKS 14) durchgeführt. Die Lage der RKS geht aus Anl. 1.4 hervor. Als Aufschlussziel waren, wie bei den Schürfgruben, die Auffüllungen, sowie 1 m des anstehenden Bodens zu erschließen. Aus dem Bohrgut wurden Proben für umwelttechnische Analysen entnommen (s. Kap. 5.2). Die Bohrprofile gemäß DIN 4023 sind als Anl. 3.37 und 3.38 beigelegt.

5.1.3 Grundwasser-Messstellen

Die Kernbohrungen KB 1 und KB 10 wurden zu 3"-Grundwassermessstellen mit der internen Bezeichnung GWM 1 (KB 1) und GWM 2 (KB 10) ausgebaut. Die Kopfausbildung erfolgte bei GWM 1 Unterflur (Hydrantenkappe), bei GWM 2 Oberflur (Stahlstandrohr mit SEBA-Kappe und mit Schutzrohr). Die Messstellen wurden ordnungsgemäß klargepumpt und entwickelt und zu einem späteren Zeitpunkt beprobt (s. Kap. 5.2).

5.1.4 Felduntersuchungen und Feldversuche

Rammsondierungen (Schwere Rammsonde DPH)

Am 09.12. und 10.12.2003 wurden von der Firma WST insgesamt 12 Rammsondierungen mit der Schweren Rammsonde (DPH) gemäß DIN 4094-3 durchgeführt; die Lage der Felduntersuchungen geht aus Anl. 1.4 hervor. Ziel war die Abschätzung des Tragfähigkeit- und Verformungsverhaltens der Auffüllungen und bindigen Deckschichten (Auenlehme) sowie die Ermittlung der Lagerungsdichte der Flussablagerungen. Die Rammsondierungen wurden abgebrochen, wenn aufgrund einer dichten Lagerung oder durch Rammhindernisse (Steinlagen, Blöcke etc.) Schlagzahlen von $n_{10} > 100$ erreicht wurden.

Standard-Penetration-Tests (SPT)

Zur Prüfung der Lagerungsdichte der Böden wurden insgesamt 12 Standard-Penetrations-Tests (Bohrlochrammsondierungen) an der Bohrlochsohle bei definierten Tiefen durchgeführt (s. Tab. 2). Aufgrund der dichten Lagerung der Flussablagerungen bzw. durch Steine und Blöcke konnten die SPT-Versuche wegen der Beschädigungsgefahr für die Versuchseinrichtung infolge extrem hoher Schlagzahlen (> 50 pro 15 cm Eindringung) nicht bis zum Versuchsende durchgeführt werden; die Versuche wurden deshalb jeweils vorzeitig abgebrochen.

Open-End-Tests

Zur Untersuchung der Versickerungsmöglichkeit von Niederschlagswasser auf dem Projektareal wurden bei 5 ausgewählten Bohrungen in unterschiedlichen Tiefen Open-End-Tests durchgeführt (s. Tab. 2). Vier Versuche wurden in den kiesig-sandigen Flussablagerungen, ein Versuch innerhalb des Auenlehms durchgeführt.

Eine Übersicht der durchgeführten Bohrlochversuche gibt Tab. 2.

Tab. 2 Durchgeführte Bohrlochversuche (SPT und Open-End-Test)

Kernbohrung	Lage der Bohrung	SPT bei Tiefen [m]	Open-End-Test Bohrlochtiefe und Schichtkomplex
KB 1 (GWM1)	befestigte Fläche	6 m und 8 m	6 m / Flussablagerungen
KB 2	Gleisbereich	10 m	3,5 m / Auenlehm
KB 3	Gleisbereich	8 m	-
KB 4	befestigte Fläche	7 m	-
KB 5	Gleisbereich	6 m und 8 m	-
KB 6	befestigte Fläche	7 m	5 m / Flussablagerungen
KB 7	befestigte Fläche	8 m	6 m / Flussablagerungen
KB 8	befestigte Fläche	10 m	-
KB 9	Gleisbereich	7 m und 9 m	6 m / Flussablagerungen

5.2 Boden- und Grundwasserproben

Bodenproben für umwelt- und geotechnische Laboruntersuchungen

Aus allen Aufschlüssen wurden Bodenmischproben für *umwelttechnische* Untersuchungen nach folgendem Beprobungsschema entnommen:

- Mischprobe aus den Auffüllung bis 1 m unterhalb des Gleisschotterbett
- Mischprobe aus dem Rest der Auffüllung bis zum anstehenden Boden
- Mischprobe dem ersten Meter des anstehenden Bodens

Für *geotechnische* (bodenmechanische) Untersuchungen standen repräsentative Bohrproben (Einzelproben aus definierten Tiefen) aus den Kernbohrungen und Baggerschürfen zu Verfügung. Insgesamt wurden 503 Bodenproben entnommen (vgl. Tab. 3). Mit Ausnahme einer reinen Schlackeprobe waren die gewonnenen Bodenproben organoleptisch (geruchlich, visuell) unauffällig.

Tab. 3 Boden- und Bodenmischproben für geo- und umwelttechnische Analysen

Aufschluss	Entnommene Bodenproben				
	Anzahl	Tiefe	Mischprobe Obersten Meter der Auffüllung	Mischprobe Rest der Auf- füllung	Mischprobe/Einzelproben aus anstehendem Boden
Baggerschurf	68	bis ca. 4 m	68 + 1*	67	68
Kernbohrung	12	20 m	12	17	226
Rammkern- sondierung	14	bis 4 m	14	13	14
Summe	106	-	95	100	308

* Sonderprobe „Schlacke“

Grundwasserproben

Am 08.12.2003 wurden aus den Grundwassermessstellen GWM1 und GWM2 Pumpproben entnommen. Zuvor wurde der Messstelleninhalt mehrfach abgepumpt. Die Probenahme erfolgte erst nach Konstanz der physikochemischen Feldparameter (pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit, Temperatur, Sauerstoffgehalt). Details zur Probenahme mit Ergebnissen der Feldmessungen sind den Probenahmeprotokollen (Anl. 8) zu entnehmen.

5.3 Chemische Laboranalysen

Sämtliche chemischen Analysen wurden im Labor der UmLab GmbH, Ettlingen, durchgeführt.

5.3.1 Bodenanalysen (Feststoff, Eluat)

Feststoff-Analysen

Gemäß dem Untersuchungsprogramm waren in einem ersten Untersuchungsschritt die Mischproben aus dem obersten Meter der **Auffüllung** unterhalb des Gleisschotterbetts sowie die Mischproben über den Rest der Auffüllung auf nachfolgend aufgeführte Schadstoffe zunächst im Feststoff zu untersuchen. Insgesamt wurden an den hergestellten Bodenproben 187 Analysen auf folgende Schadstoffparameter vorgenommen:

- Schwermetalle (Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel, Quecksilber, Zink)
- Arsen,
- Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) nach EPA,
- Mineralölkohlenwasserstoffe (H 53),

Eluat-Analysen

Eluatuntersuchungen waren nur dann vorgesehen, wenn im Feststoff auffällige Schadstoffgehalte festgestellt wurden. Dies war bei insgesamt 11 Proben der Fall, bei denen nach Abstimmung mit dem Auftraggeber und der Projektsteuerung 4 Eluatanalysen auf MKW, 6 Analysen auf PAK und 1 Analyse auf Arsen veranlasst wurden.

Bodenanalysen nach LAGA (Feststoff und Eluat)

Für die abfalltechnische Betrachtung wurde das Untersuchungsgelände in Absprache mit dem Auftraggeber/Projektsteuerer rasterförmig in 9 Mischprobenfelder unterteilt (vgl. Anl. 2.7). Aus allen Aufschlüssen innerhalb eines Probenfeldes wurden die Mischproben aus dem obersten Meter (MP-1...-9-o) sowie aus dem Rest der Auffüllung (MP-1...-9-u) zu einem Probenkollektiv zusammengefasst und nach LAGA-Bauschutt (Feststoff und Eluat) untersucht. Die Einzelproben eines jeden Probenkollektivs pro Mischprobenfeld sind in Anl. 13 aufgeführt.

Bodenanalysen auf bahntypische Herbizide (Eluat)

Auf die bahntypischen Herbizide Atrazin, Bromacil, Diuron, Simazin wurde nur das Probenkollektiv aus dem ersten Meter der Auffüllungen (MP-1...-9-o) im Eluat untersucht.

5.3.2 Grundwasseranalysen (Schadstoffe)

Die aus GWM 1 und GWM 2 gepumpten Grundwasserproben wurden im Labor auf folgende Schadstoffe untersucht:

- Leichtflüchtige aromatische Kohlenwasserstoffe (BTEX),
- Leichtflüchtige chlorierte Kohlenwasserstoffe (LHKW),
- Schwermetalle (Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel, Quecksilber, Zink),
- Arsen,
- Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) nach EPA,
- Mineralölkohlenwasserstoffe (H 53),
- Organochlorpestizide nach DIN 38407 F12.

5.4 Bodenmechanische Laboruntersuchungen

Die bodenmechanischen Laboruntersuchungen wurden von der Beton- und Bodenprüfstelle Knecht, Kirrlach, vorgenommen. Es wurden nur Bodenproben aus den anstehenden Schichten (Auenlehme, Flussablagerungen) untersucht, da die bodenmechanische Untersuchung der heterogenen Auffüllschichten keine repräsentativen Ergebnisse erbracht hätten. Folgende Kennwerte wurden ermittelt:

- Natürlicher Wassergehalt (DIN 18 125),
- Korngrößenverteilung (DIN 18 123),
- Fließ- und Ausrollgrenze (DIN 18 122),
- Proctordichte, optimaler Wassergehalt (DIN 18 127).

Die Laborergebnisse sind in den Anl. 4.1 – 4.3 zusammengestellt. Die ermittelten Körnungslinien (Korngrößenverteilung) sind als Anl. 5.1 – 5.32 beigefügt. Die Protokolle zur Bestimmung der Fließ- und Ausrollgrenzen liegen als Anl. 6.1 – 6.3, diejenigen der Proctorversuche als Anl. 7.1 – 7.4 bei.

6 Untersuchungsergebnisse

6.1 Geologischer Schichtaufbau, Schichtenbeschreibung

Der erkundete geologische Aufbau ist in 5 geologischen Geländeprofilen (Anl. 3.1-3.5) dargestellt und beschrieben. Die Schnittlinien der Geländeprofile gehen aus Anl. 1.4 hervor. Aus Gründen der besseren Darstellbarkeit wurde das Profil 1 mit der größten Längserstreckung (ca. 900 m) in die Teilprofile 1a und 1b unterteilt. Der geologische Schichtaufbau bis 20 m unter Gelände wurde anhand der Ergebnisse der Kernbohrungen ermittelt. Die auf den Schnittlinien bzw. nahe daran gelegenen Schürfgruben bzw. Rammkernsondierungen dienten als weitere Stützstellen zur Konstruktion der Auffüllmächtigkeiten sowie der Oberkante der anstehenden Auenlehme.

Im Einzelnen wurden von oben nach unten folgende Schichtkomplexe angetroffen:

Künstliche Auffüllungen

Das gesamte Untersuchungsgelände ist flächenhaft aufgefüllt. Der in den Gleisbereichen ange-troffene Gleisschotter erreicht eine Mächtigkeit bis ca. 0,5 m und weist kaum Feinanteile, jedoch oftmals Schlackereste auf. Insbesondere im Gleisbereich wurden die Auffüllungen unterhalb der Gleisschotterlage durch das Verlegen von Kabeln und Leitungen z.T. mehrmals umgelagert bzw. durch Grabenverfüllungen in Form von Kiessanden aber auch Schlacken überprägt. In einigen Schürfgruben waren diese Umlagerungen deutlich zu erkennen, da innerhalb der Gruben in gleicher Tiefe eng benachbart unterschiedliches Bodenmaterial auftrat.

Die gesamten Auffüllungen waren, mit Ausnahme der in typischer Weise geruchlich auffälligen Schlackenreste, organoleptisch unauffällig.

Die aus den Aufschlussbefunden ermittelte mittlere Auffüllmächtigkeit beträgt 2,6 m. Die maximale Mächtigkeit lag bei 3,7 m, das Minimum bei 0,8 m. In Anl. 2.1 ist die Dicke der Auffüllungen - inkl. des Bahnschotters – als Mächtigkeitsverteilungskarte mit Linien gleicher Auffüllmächtigkeit dargestellt. Als Grundlage dienten die Befunde aus sämtlichen Aufschlüssen (Kernbohrungen, Schürfgruben, Rammkernsondierungen).

Die Auffüllungen sind insgesamt uneinheitlich zusammengesetzt. Es treten sowohl bindige Bodenarten (Tone, Schluffe) wie auch gemischt- und grobkörnige Böden auf. Nicht selten finden sich grobe Gesteinskomponenten in Stein- und Blockgröße. In den Schürfgruben traten bei Blöcken Kantenlängen bis zu 1 m auf. Gelegentlich wurde eingelagerter Bauschutt in Form von Beton, Ziegel und Asphalt festgestellt. Ausgedehnte zusammenhängende Bauschuttkörper ("Deponien") konnten anhand der Geländebefunde nicht festgestellt werden.

Aus den Untersuchungsbefunden lassen sich im Auffüllungsbereich keine durchhaltenden Horizonte bestimmter Böden (Schichtungen) erkennen, die auf bestimmte vertikale Schüttabfolge (Schüttphasen) hätten schließen lassen. Allerdings lassen sich anhand der stofflichen Zusammensetzung der Auffüllungen in den einzelnen Aufschlüssen bestimmte Areale mit einer Vor-

macht an Hauptbodenarten abgrenzen. Auf diese Weise erhält man Flächen, in denen die jeweilige Hauptbodenart mit einem signifikant hohen Anteil vertreten ist (sogenannte "Homogenbereiche").

Zur Abgrenzung der Homogenbereiche wurde eine Einteilung der Hauptbodenarten in drei Kategorien mit folgenden Kriterien vorgenommen:

- überwiegend feinkörnige Böden, wenn die Auffüllungen zu mehr als 75% aus Schluffen/Tonen bestehen,
- überwiegend grob- und gemischtkörnige Böden, wenn die Auffüllungen zu mehr als 75% aus Sanden, Kiesen und Lehmen bestehen,
- Mischböden, wenn die Auffüllungen zu etwa gleichen Teilen schluffig/tonig und sandig/kiesig ausgebildet sind.

Die Zuordnung zu den einzelnen Kategorien wurde für jeden Aufschluss anhand der einzelnen Schichtenprofile vorgenommen. In Anl. 2.4 sind die so ermittelten Homogenbereiche dargestellt.

Zusätzlich sind in dieser Karte mit entsprechenden Signaturen markante Nebenanteile in den Auffüllungen, wie z.B. Schlacken- und Bauschuttbestandteile oder Gesteins-Blöcke, ausgewiesen.

Hinsichtlich enthaltener Bauschutt- und Schlackenbestandteile ergab sich folgendes Bild:

- 39% der Aufschlüsse enthielten Bauschuttbestandteile zusammen mit Schlacken,
- in 14% der Aufschlüsse wurden nur Schlacken angetroffen,
- beim Rest der Aufschlüsse (47%) wurden keine Hinweise auf diese Bestandteile festgestellt.

Bei 62% der Aufschlüsse traten in den Auffüllungen große Steine und Blöcke auf.

Auenlehme

Der natürlich gewachsene Untergrund wird in allen Aufschlüssen zuoberst von holozänen Auenlehm gebildet. Diese Ablagerungen stellen Hochflutsedimente des Neckars dar und bestehen bodenmechanisch aus feinsandigen, tlw. schwach kiesigen Schluffen und Tonen von steifer und weicher Konsistenz. Die oberste, meist ca. 20 – 30 cm dicke und dunkel gefärbte Schicht am Top der Auenlehme ist organisch ausgebildet und stellt vermutlich die ehemalige Mutterbodenschicht des früheren Urgeländes dar.

Die Auenlehme besitzen in den Kernbohrungen eine Mächtigkeit von 1,1 m bis 2,1 m (Tab. 4).

Tab. 4 Mächtigkeit der Auenlehme in den Kernbohrungen

Aufschluss	Höhe müNN	Auenlehm-Schichtkomplex				
		von muG	bis muG	Mächtigkeit m	von müNN	bis müNN
KB 1	112,306	2,40	4,50	2,1 (max.)	109,906	107,806
KB 2	112,614	3,50	5,20	1,7	109,114	107,414
KB 3	112,579	2,70	4,80	2,1 (max.)	109,879	107,779
KB 4	112,454	3,00	4,40	1,4	109,454	108,054
KB 5	112,628	3,30	5,00	1,7	109,328	107,628
KB 6	112,232	2,20	3,70	1,5	110,032	108,532
KB 7	112,527	2,35	4,00	1,65	110,177	108,527
KB 8	112,329	2,50	4,40	1,9	109,829	107,929
KB 9	112,570	3,15	4,80	1,65	109,420	107,770
KB 10	112,552	2,50	4,40	1,9	110,052	108,152
KB 11	112,850	2,80	4,00	1,2	110,050	108,850
KB 12	112,495	3,30	4,40	1,1 (min.)	109,195	108,095
Mittelwert Mächtigkeit				1,7		

Die Oberkante der Auenlehme (müNN) ist als Schichtlagerungskarte mit Höhengleichen (Isolinien) in Anl. 2.2 dargestellt.

Flussablagerungen

Unter den Auelehmen folgen die Sedimente des Neckarschwemmfächers in Form von Sanden und Kiessanden mit unterschiedlichen Feinteilgehalten (Schluff, Ton). In der Schichtenfolge treten abschnittsweise eingelagerte Steine und Blöcke aus Buntsandstein- und Muschelgesteinen auf (vgl. Fotodokumentation, Anl. 3.6-29). Ausgeprägte schluffig-tonige Zwischenhorizonte wurden in den Bohrungen nicht festgestellt. Die detaillierte Schichtenbeschreibung kann den geologischen Geländeprofilen (Anl. 3.1 – 3.5) entnommen werden.

Die Lockergesteinsfolge ist nach den Ergebnissen der Rammsondierungen und SPT-Versuche mitteldicht sowie über weite Bereiche auch dicht gelagert.

In Anl. 2.3 ist die Oberkante der Flussablagerungen (müNN) als Schichtlagerungskarte mit Höhengleichen dargestellt. Grundlage bildeten die Befunde aus den Kernbohrungen.

6.2 Grundwasserverhältnisse

Das Grundwasser wurde im Dezember 2003 in den Kernbohrungen in Tiefen zwischen 14,80 m und 15,42 m unter Bohransatzpunkt angetroffen. Dies entspricht einer mittleren Teufe von ca. 15,2 m unter GOK bzw. ca. 97,3 müNN (vgl. Tab. 5).

Tab. 5 Grundwasserstände im November/Dezember 2003

Bohrung	Ansatz GOK müNN	GWM	Datum	GW-Stand in m	
				Unter GOK	Über NN
KB 1	112,31	GWM 1	08.12.2003	15,06	97,25
KB 2	112,61		05.12.2003	15,24	97,37
KB 3	112,58		04.12.2003	15,18	97,40
KB 4	112,45		09.12.2003	15,36	97,09
KB 5	112,63		03.12.2003	15,20	97,43
KB 6	112,23		09.12.2003	15,25	96,98
KB 7	112,53		04.12.2003	15,23	97,30
KB 8	112,33		10.12.2003	14,80	97,53
KB 9	112,57		01.12.2003	15,12	97,45
KB 10	112,55	GWM 2	25.11.2003	15,26	97,29
KB 11	112,85		21.11.2003	15,42	97,43
KB 12	112,50		19.11.2003	15,18	97,32
Mittelwert	112,5			15,2	97,3

Der regionale Grundwasserabstrom ist gemäß der HGK [6] nach Westen bis Nordwesten zum Rhein bzw. zum Unterlauf des Neckars gerichtet (vgl. Anl. 1.2). Die lokale GW-Fließrichtung im Untersuchungs Gelände wurde aus vorliegenden und auf müNN bezogenen Abstichmessungen an GWM1 und GWM2 sowie KB7 ermittelt (hydrologisches Dreieck). Im Bereich der Untersuchungsfläche ergibt sich eine GW-Fließrichtung nach Westnordwest (270°), die damit gut mit der allgemeinen regionalen GW-Fließrichtung korreliert. In Anl. 1.2 ist die GW-Fließrichtung angegeben. Das GW-Gefälle errechnet sich aus dem Höhenunterschied und dem Abstand der GW-Höhenlinien und beträgt im Untersuchungs Gelände ca. 2,5‰.

6.3 Umwelt- und abfalltechnische Laborergebnisse

Die Prüfberichte des Labors mit Angaben zu den Nachweisgrenzen der jeweiligen Analysenparameter liegen als Anl. 10 bei.

Eine tabellarische Zusammenstellung der chemischen Laborergebnisse mit Angabe relevanter Prüfwerte und Kennzeichnungen der Prüfwertüberschreitungen liegt als Anl. 9 bei.

6.3.1 Schadstoffgehalte in den Auffüllungen (Feststoff)

Zur Bestimmung des Gehaltes an anorganischen Schadstoffen erfolgte gemäß BBodSchV im Labor zunächst eine Auftrennung in die Fraktionen Feinanteil (< 2 mm) und Grobanteil (> 2 mm). Analysiert wurde gemäß BBodSchV zunächst nur der Feinanteil nach Homogenisierung der Probe.

Die Ergebnisse von Schadstoffanalysen, bei denen Prüfwerte überschritten werden, sind im Lageplan den jeweiligen Aufschlusspunkten zugeordnet (Anl. 2.5). Lediglich bei 8 von 94 Aufschlussstellen bzw. von 187 untersuchten Bodenproben wurden Überschreitungen der Prüfwerte festgestellt.

Schwermetalle und Arsen

Gemäß Vorgabe des AG wurden die analysierten Schadstoffgehalte im Feststoff zur Beurteilung hinsichtlich des Wirkungspfad es Boden→Mensch mit den Prüfwerten nach Anhang 2 Nummer 1 Nutzungskategorie Wohngebiete verglichen.

Die Untersuchungen ergaben, dass alle 187 untersuchten Feststoffproben aus den Auffüllungen die **Schwermetallgehalte** unterhalb der Prüfwerte für Wohngebiete liegen. Auch die Sonderprobe „Schlacke“ aus Sch1 weist keine prüfwertüberschreitenden Schwermetallgehalte auf.

Für die Bewertung der Analysenergebnisse von Bodenproben aus dem Bereich der geplanten Kindertagesstätte (Sch17 - Sch20) wurden die Prüfwerte für Kinderspielflächen herangezogen. Im Bereich der Kindertagesstätte werden keine Prüfwerte überschritten.

Nur in der Probe aus Schurf 9 (0,45-1,45 m) wurden ein **Arsen**-Gehalt analysiert, der mit 52,5 mg/kg den Prüfwert für Wohngebiete (50 mg/kg) geringfügig überschreitet. Im Rest der Auffüllung liegt der Arsengehalt von 10,2 mg/kg deutlich unter dem Prüfwert.

Mineralölkohlenwasserstoffe (MKW)

Von 187 untersuchten Proben aus den Auffüllungen wiesen lediglich 6 Proben MKW-Gehalte geringfügig über der Nachweisgrenze (50 mg/kg) auf. Nur in 4 Proben wurden MKW-Gehalte über dem Hintergrundwert von 100 mg/kg ermittelt (vgl. Tab. 6). Die Entnahmestellen dieser Proben gehen aus Anl. 2.5. hervor.

Tab. 6 MKW-Gehalte in den Auffüllungen mit Werten >100 mg/kg (Feststoff)

Probe mit Nr.	Tiefenbereich von ... bis [m]	MKW [mg/kg]
RKS 5 (0,2-1,2 m) Proben-Nr. E031213226	0-2-1,2	238
RKS 6 (0,5-1,5 m) Probe-Nr. E031213228	0,5-1,5	321
RKS 8 (1,3-2,4 m) Proben-Nr. E031213233	1,3-2,4	204
KB 6 (0,5-1,5 m) Proben-Nr. E031213676	0,5-1,5	187

PAK nach EPA

Die in den Auffüllungen ermittelten PAK-Gehalte (16 Einzelsubstanzen nach EPA) sind in Tab. 7 nach Konzentrationsbereichen gruppiert aufgeführt.

Tab. 7 PAK-Gehalte in den Auffüllungen (gruppiert nach Konzentrationsbereichen)

PAK Gesamtgehalt [mg/kg]	Anzahl	%	PAK Gesamtgehalt [mg/kg]	Anzahl	%
=1	136	74,3	10-11	1	0,5
1-2	16	8,7	11-12	2	1,1
2-3	6	3,3	12-13	0	0
3-4	3	1,6	13-14	0	0
4-5	1	0,5	14-15	0	0
5-6	1	0,5	15-20	1	0,5
6-7	2	1,1	20-25	1	0,5
7-8	2	1,1	25-30	0	0
8-9	0	0	30-40	2	1,1
9-10	0	0			

Über 74% aller untersuchten Proben weisen sehr geringe PAK-Gehalte =1 mg/kg auf (Hintergrundwert der VwV).

Nur in 2 Proben wurden PAK-Gehalte nachgewiesen, die den Prüfwert für Wohngebiete (25 mg/kg) überschreiten. Eine weitere auffällige Probe stammt aus dem Bereich der geplanten Kindertagesstätte: diese weist einen PAK-Gesamtgehalt von 11,93 mg/kg auf und überschreitet den Prüfwert für Kinderspielflächen (5 mg/kg).

Die Analysenergebnisse der 3 Proben mit prüfwertüberschreitenden PAK-Gehalten sind in Tab. 8 zusammengestellt und in Anl. 2.5 mit Lage der Probenahmestellen dokumentiert.

Tab. 8 PAK-Gehalte in den Auffüllungen mit Überschreitung des Prüfwerts

Probe mit Nr.	Lage	Tiefenbereich von ... bis [m]	Σ PAK o. Naphth. [mg/kg]	BaP [mg/kg]
RKS 11 (0,2-1,2 m) Proben-Nr. E031213238	Baufenster Büro-/Wohnbebauung	0,2-1,2	30,36	2,43
Sch 8 (0,1-1,1 m) Proben-Nr. E031112722		0,1-1,1	32,67	2,09
Prüfwert für Wohngebiete			25 (VwV)	4 (BBodSchV)
Sch 20 (0,35-1,35) Proben-Nr. E031112745	Bereich geplante Kindertagesstätte	0,35-1,35	11,93	0,789
Prüfwert für Kinderspielflächen			5 (VwV)	2 (BBodSchV)

Im Tiefenbereich ab 1,35 m wurden keine Prüfwerte überschritten.

6.3.2 Schadstoffgehalte in den Auffüllungen (Eluat)

Für Bodenproben mit über den Prüfwert erhöhten MKW-, PAK- und Arsen-Gehalten im Feststoff wurden in Abstimmung mit dem Auftraggeber/Projektsteuerer Eluatanalysen veranlasst. Die Analyse von PAK und MKW erfolgte im Säuleneluat, Arsen wurde im S4-Eluat untersucht.

Die Analysenergebnisse mit Angabe der jeweiligen Prüfwerte sind in Tab. 9 zusammengestellt:

Es zeigt sich, dass lediglich bei der Probe mit dem erhöhten Arsengehalt im Feststoff ein Eluat-Gehalt über dem Prüfwert für den Wirkungspfad Boden? Grundwasser festzustellen war. MKW und PAK hingegen waren nicht mobilisierbar.

In Anl. 2.6 sind die Ergebnisse der Eluatanalysen im räumlichen Kontext zusammen mit den jeweiligen Probenahmestellen dargestellt.

Tab. 9 Ergebnisse der Eluatuntersuchungen (Auffüllungen)

Probe mit Nr.	Parameter	Analysenwert [µg/l]	Prüfwert BBodSchV [µg/l]
RKS 5 (0,2-1,2 m) Proben-Nr. E031213226	MKW (im Säuleneluat)	<100	200
RKS 6 (0,5-1,5 m) Probe-Nr. E031213228	MKW (im Säuleneluat)	<100	200
RKS 8 (1,3-2,4 m) Proben-Nr. E031213233	MKW (im Säuleneluat)	<100	200
KB 6 (0,5-1,5 m) Proben-Nr. E031213676	MKW (im Säuleneluat)	<100	200
	PAK (im Säuleneluat)	0,06	0,2
RKS 11 (0,2-1,2 m) Proben-Nr. E031213238	PAK (im Säuleneluat)	0,12	0,2
RKS 12 (0,4-1,4 m) Proben-Nr. E031213240	PAK (im Säuleneluat)	0,04	0,2
Sch 8 (0,1-1,1 m) Proben-Nr. E031112722	PAK (im Säuleneluat)	0,01	0,2
Sch 21 (0,4-1,4 m) Proben-Nr. E031112747	PAK (im Säuleneluat)	0,01	0,2
Sch 32 (0,3-1,3 m) Proben-Nr. E031112769	PAK (im Säuleneluat)	0,03	0,2
Sch 9 (0,45-1,45 m) Proben-Nr. E031112724	Arsen (im S4-Eluat)	<u>22,3</u>	10

Durch **Fettdruck** und Unterstreichung hervorgehobene Werte überschreiten den Prüfwert.

6.3.3 Schadstoffgehalte im Grundwasser

Physikochemische Vor-Ort Parameter

Nach dem Abpumpen der Messstellen (vgl. Probenahmeprotokoll, Anl. 8) wurden vor der Probenahme für die physikochemischen Vor-Ort-Parameter folgende Werte ermittelt:

Tab. 10 Physikochemische Vor-Ort-Parametern vor GW-Beprobung

Vor-Ort-Parameter	Einheit	GWM1	GWM2
Temperatur	°C	13,1	12,7
Gelöster Sauerstoff	mg/l	4,02	4,3
pH-Wert	-	7,3	7,2
Elektrische Leitfähigkeit	µS/cm	955	975

Arsen und Schwermetalle

In den GW-Pumpproben aus GWM1 und GWM2 waren keine Schwermetalle oder Arsen über der analytischen Bestimmungsgrenze nachweisbar.

Mineralölkohlenwasserstoff (MKW)

In keiner der beiden GW-Pumpproben waren Mineralölkohlenwasserstoffe über der analytischen Bestimmungsgrenze feststellbar.

Leichtflüchtige aromatische Kohlenwasserstoffe (AKW)

Aus dieser Schadstoffgruppe war nur in der Probe aus GWM1 **Benzol** mit 0,6 µg/l nachweisbar (Prüfwert für Benzol: 1 µg/l). Weitere AKW-Spezies wurden in den GW-Proben nicht nachgewiesen.

Leichtflüchtige chlorierte Kohlenwasserstoffe (LHKW)

Der Prüfwert für diese Schadstoffgruppe beträgt 10 µg/l.

In der GW-Probe aus GWM 1 wurde eine LHKW-Gesamtkonzentration von 7 µg/l analysiert. Hauptparameter ist mit 6,2 µg/l **Tetrachlorethen** (Per). In der Probe aus GWM 2 wurde eine LHKW-Summenkonzentration von 81,7 µg/l festgestellt; auch hier wurde fast ausschließlich Tetrachlorethen nachgewiesen (81 µg/l).

In Anl. 2.6 ist der LHKW-Befund bei GWM 2 mit räumlichem Bezug und der lokalen GW-Fließrichtung dargestellt.

Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)

In keiner der beiden GW-Proben waren PAK über der analytischen Bestimmungsgrenze nachweisbar.

Organochlorpestizide nach DIN 38407 Teil 12

Bei der Grundwasseruntersuchung auf Organochlorpestizide wurden ausschließlich die Spezies Desethylatrazin, Hexazinon und Desethylterbuthylazin nachgewiesen. Der Prüfwert für diese Schadstoffgruppe beträgt 0,1 µg/l.

Die Summenkonzentration beträgt in GWM1 0,54 µg/l und in GWM2 0,25 µg/l.

6.4 Benennung und Klassifizierung der Böden

Anhand der durchgeführten bodenmechanischen Laboruntersuchungen (s. Kap. 5.4) können die in den einzelnen Schichtkomplexen angetroffenen Lockergesteine (Böden) geo- und bautechnisch gemäß DIN 4022 benannt und nach DIN 18 300 und DIN 18196 klassifiziert werden (Tab. 11). Aus Tab. 11 ist die Frostepfindlichkeit (Frostepfindlichkeitsklassen nach ZTVE-StB 94) sowie die Verdichtbarkeit (Verdichtbarkeitsklasse gemäß ZTV A-StB 89) der anstehenden Bodenarten zu entnehmen.

Tab. 11 Benennung und Klassifizierung der aufgefüllten und anstehenden Böden

Schichtkomplex	auftretende Bodenarten (Benennung DIN 4020)	Bodengruppe DIN 18 196	Bodenklasse DIN 18 300
Auffüllungen	- Schluff, schwach tonig-tonig, sandig, tlw. kiesig - Sand, schwach-stark schluffig, tlw. kiesig - Kies, schwach-stark sandig, tlw. schwach schluffig alle Böden tlw. mit Bauschutt, Steinen, Blöcken, Schlacken, z.T. reine Stein- und Blocklagen	-	4, tlw. 5*, 6**, 7***
Auenlehm	- Schluff, schwach tonig-tonig, sandig - stark sandig, weich, steif, halbfest.	TL	4
	- Ton, stark schluffig, sandig – stark sandig, weich, steif, halbfest.	TM	4
Flussablagerungen	- Sand, schwach schluffig, schwach-stark kiesig	SU	4
	- Sand, schluffig, schwach-stark kiesig	SU*	4
	- Sand	SE	3
	- Kies und Sand, schwach schluffig, tlw. geröllhaltig	GI, GU	3, 4, tlw. 5*, 6**, 7***
	- Kies, sandig - stark sandig, schwach schluffig tlw. geröllhaltig	GU	3, 4, tlw. 5*, 6**, 7***
* enthalten die künstlichen Auffüllungen und Kiessande mehr als 30 Gew.-% Steine von über 63 mm Korngröße bis zu 0,01 m ³ Rauminhalt (~ Kugel mit Ø 0,3 m), fallen sie in die Klasse 5			
** enthalten die Auffüllungen und Kiessande mehr als 30 Gew.-% Steine (Gerölle) von über 0,01 m ³ bis 0,1 m ³ Rauminhalt (~ Kugel mit Ø 0,6 m), fallen sie in die Klasse 6			
*** enthalten die Auffüllungen und Kiessande mehr als 30 Gew.-% Steine (Gerölle) von über 0,1 m ³ Rauminhalt (~ Kugel mit Ø 0,6 m), fallen sie in die Klasse 7			

Die anstehenden Böden können hinsichtlich ihrer Frostepfindlichkeit und Verdichtbarkeit gemäß ZTVE-StB 94 bzw. ZTV A-StB 89 wie Tab. 12 aufgeführt eingeteilt werden.

Für die Auffüllungen ist eine entsprechende Klassifizierung nicht sinnvoll, da diese Schichten wegen ihrer Heterogenität nicht eindeutig genug einer definierten Bodengruppe zugeordnet werden können.

Tab. 12 Frostepfindlichkeit und Verdichtbarkeit der Aushubböden

Schichtkomplex	Bodengruppe (DIN 18 196)	Frostepfindlichkeitsklasse ZTVE-StB 94 *	Verdichtbarkeitsklasse ZTV A-StB 89 **
Decklehm:			
- Schluff, schwach tonig-tonig, sandig – stark sandig, weich, steif, halbfest.	TL	F 3	V 3
- Ton, stark schluffig, sandig – stark sandig, weich, steif, halbfest.	TM	F 2	V 3
Flussablagerungen:			
- Sand, schwach schluffig, schwach-stark kiesig	SU	F 2	V 1
- Sand, schluffig, schwach-stark kiesig	SU *	F 3	V 2
- Sand	SE	F 1	V 1
- Kies und Sand, schwach schluffig, tlw. geröllhaltig	GI, GU	F 1, F 2	V 1
- Kies, sandig - stark sandig, schwach schluffig tlw. geröllhaltig	GU	F 2	V 1
* F 1 = nicht frostepfindlich F 2 = gering bis mittel frostepfindlich F 3 = sehr frostepfindlich ** V 1 = leicht verdichtbar (gering wasser- und witterungsempfindlich) V 2, V 3 = schwerer verdichtbar (stärker wasser- und witterungsempfindlich)			

In Tab. 13 sind für spätere baugrund- und gründungstechnische Fragestellungen für die einzelnen Böden orientierende bodenmechanische Kennwerte und Kennwertbereiche angegeben.

Für die Auffüllungen stellen die Angaben nur grobe Richtwerte dar.

Tab. 13 : *Bodenmechanische Kennwerte der aufgefüllten und anstehenden Böden*

Bodenart	Wichte		Reibungswinkel φ' [°]	Kohäsion c' [kN/m ²]	Steifemodul E_s [MN/m ²]
	γ [kN/m ³]	γ'			
Auffüllungen:					
- Kies, sandig, schluffig - stark schluffig und Schotter, sandig, schwach schluffig	20-21	-	~35	-	~80
- Schluff, tlw. schwach tonig - tonig, sandig, tlw. schwach kiesig - kiesig, steif	20	-	~27,5	~5	~5-10
- Sand, kiesig, tlw. schwach schluffig, mitteldicht (SE, SU)	19-20	-	~35	-	~40
Auenlehm:					
- Schluff, schwach tonig - tonig, sandig, steif-halbfest und	20-21	-	~27,5	~5-10	~5-10
- Ton, stark schluffig, sandig, steif-halbfest (TL)					
Sand und Kiessand, tlw. Schlufflagen:					
- Sand, tlw. schwach schluffig, tlw. schwach kiesig - kiesig, mitteldicht (SE, SU)	19-20	10-11	32,5-35	-	~40-60
- Sand, schluffig - stark schluffig, tlw. schwach tonig (SU, SU*)	20	10	~30	-	~20
- Kies, schwach sandig - stark sandig, tlw. schwach schluffig, tlw. geröllführend, mitteldicht und dicht (GI, GU, GU*)	20-21	11-12	35-37,5	-	~100

6.5 Versickerungsfähigkeit des Untergrunds

Die Ermittlung der Versickerungsfähigkeit (Wasserdurchlässigkeit) der Böden ist eine wichtige Voraussetzung für eine fachgerechte Planung von Versickerungsanlagen. Das Maß für die Wasserdurchlässigkeit von Böden wird durch den Durchlässigkeitsbeiwert k_f charakterisiert.

Die feldmäßige Ermittlung der k_f -Werte erfolgte für die gewachsenen Auenlehme und Flussablagerungen durch **Open-End-Tests** in den offenen Bohrlöchern.

In den Auffüllungen wurde auf entsprechende Versuche zunächst verzichtet, da diese aufgrund ihrer Heterogenität bei Bohrlochtests zu nicht ausreichend repräsentativen Ergebnissen für die Gesamtfläche geführt hätten. Die Versickerungsfähigkeit der Auffüllung kann durch weitere, großkalibrige Feldversuche (z.B. Versickerungsversuche in Schürfgruben) im Zuge der weiteren Planungsschritte bei Bedarf noch ermittelt werden.

Bei Open-End-Tests wird das Bohrloch bis zu einer vorgegebenen Tiefe, in der die Bodenschicht überprüft werden soll, hergestellt und bis nahe der Rohroberkante mit Wasser aufgefüllt. Die versickernde Wassermenge wird durch Messung derjenigen Wasserspende ermittelt, die zur Einhaltung eines konstanten Wasserspiegels im Bohrloch erforderlich ist. Der Versuch ist zur Bestimmung des k_f -Wertes in hinreichend durchlässigen Böden (Kiese, Sande) geeignet. Die Versuchsauswertung erfolgt nach der Formel des U.S. Bureau of Reclamation, 1963.

Die Durchführung und Auswertung des Open-End-tests in den gering wasserdurchlässigen Auenlehmern erfolgte nach KOLLBRUNNER-MAAG (1941, 1946) durch Messung der Wasserspiegelabsenkung des aufgefüllten Bohrlochs nach einer bestimmten Zeitspanne (beim Versuch nach 36 min).

Neben der Ermittlung des k_f -Werts durch Feldversuche kann die hydraulische Leitfähigkeit auch rechnerisch aus der **Korngrößenanalyse** bestimmt werden. Hier wird gängigerweise die Formel nach HAZEN bzw. in abgewandelter diejenige nach BEYER verwendet, die mit einem variierten C-Wert je nach Ungleichförmigkeitsgrad U rechnet.

Die feldmäßig und rechnerisch ermittelten k_f -Werte sind in Tab. 14 zusammengestellt.

Tab. 14 k_f -Wert der Auenlehme und Flussablagerungen

Bohrung	Tiefe (m)	Bodenart	Feinteile Gew.-%	Boden gruppe	d ₁₀	U	k_f (m/s) n. HAZEN	k_f (m/s) n. BEYER	K_f (m/s) gemittelt
Auenlehme									
<i>k_f-Wert aus Open-End-Test</i>									
KB 2	3,5	Schluff, tonig, stark feinsandig		TL					$5,8 \times 10^{-7}$
Flussablagerungen									
<i>k_f-Wert aus Korngrößenverteilung</i>									
KB 2	8,4	Sand	2,6	SE	0,24	1,8	$6,68 \times 10^{-4}$	$6,34 \times 10^{-4}$	$6,5 \times 10^{-4}$
KB 3	5,4	Kies, stark sandig, schwach schluffig	7,9	GU	0,13	76,9	$1,96 \times 10^{-4}$	$1,01 \times 10^{-4}$	$1,5 \times 10^{-4}$
KB 8	7,5	Kies und Sand, schwach schluffig	5,0	GI	0,25	13,2	$7,25 \times 10^{-4}$	$4,38 \times 10^{-4}$	$5,8 \times 10^{-4}$
KB 9	5,5	Kies, stark sandig, schwach schluffig	6,9	GU	0,20	36,5	$4,64 \times 10^{-4}$	$2,40 \times 10^{-4}$	$3,5 \times 10^{-4}$
KB 10	5,5	Kies, sandig, schwach schluffig	5,3	GU	0,20	65,0	$4,64 \times 10^{-4}$	$2,40 \times 10^{-4}$	$3,5 \times 10^{-4}$
KB 11	4,5	Kies und Sand, schwach schluffig	8,2	GU	0,12	25,8	$1,67 \times 10^{-4}$	$8,64 \times 10^{-5}$	$1,3 \times 10^{-4}$
KB 12	5,5	Kies, stark sandig, schwach schluffig	5,7	GU	0,22	42,3	$5,61 \times 10^{-4}$	$2,90 \times 10^{-4}$	$4,3 \times 10^{-4}$
KB 12	7,5	Kies, stark sandig	2,2	GI	0,43	19,1	$2,14 \times 10^{-3}$	$1,29 \times 10^{-3}$	$1,7 \times 10^{-3}$
<i>Mittlerer k_f-Wert aus Korngrößenverteilung</i>									$5,4 \times 10^{-4}$
<i>k_f-Werte aus Open-End-Tests</i>									
KB 1	6,0	Sand, kiesig, schwach schluffig							$2,8 \times 10^{-4}$
KB 6	6,0	Sand, stark kiesig, schluffig	19,0	SU*					$3,1 \times 10^{-4}$
KB 7	6,0	Sand, stark kiesig, schwach schluffig	10,8	SU					$4,3 \times 10^{-4}$
KB 9	6,0	Kies, stark sandig, schwach schluffig	6,9	GU					$1,0 \times 10^{-4}$
<i>Mittlerer k_f-Wert aus Open-End-Tests</i>									$2,8 \times 10^{-4}$
<i>Mittlerer k_f-Wert für Flussablagerungen (feldmäßig und rechnerisch)</i>									$4,1 \times 10^{-4}$

Gemäß ATV-DVWG Merkblatt [10] soll für eine Ersteinschätzung der Versickerungseignung von Böden der k_f -Wert im Bereich $1 \times 10^{-6} < k_f < 1 \times 10^{-3}$ m/s liegen. Diese Forderung ist zwar für die Flussablagerungen, nicht jedoch für die Auenlehme erfüllt, da diese homogenen, bindigen Böden zu gering durchlässig sind.

Für die Auffüllungen, die als oberste Schicht für die Versickerung hauptmaßgeblich sind, liegen (noch) keine Kenndaten zur Versickerungsfähigkeit vor. Es besteht jedoch durchaus die Möglichkeit, dass zumindest bei einem beträchtlichen Teil des Auffüllkörpers der k_f -Wert im empfohlenen Wertebereich liegt.

Weitere Bewertung und Empfehlungen zur Versickerung finden sich in Kap. 9.

7 Umwelt- und abfalltechnische Bewertung mit Empfehlungen

7.1 Bisherige umwelttechnische Untersuchungen

Die bereits vorhandenen umwelt- und geotechnischen Erkenntnisse, die durch die Historischen und Orientierenden Erkundungen, durch bereichsweise durchgeführte Detailuntersuchungen sowie durch abfalltechnische Untersuchungen resultierten, wurden bereits vorab im Hinblick auf das durchzuführende Untersuchungsprogramm gesichtet und ausgewertet. Von den zahlreichen früheren Untersuchungspunkten liegen 27 Punkte innerhalb der jetzigen Untersuchungsfläche (vgl. Anl. 1.4). Von diesen wurden an 11 Stellen Schadstoffgehalte nachgewiesen, die Hintergrund- bzw. Prüfwerte überschreiten. Die für das Untersuchungsgelände relevanten Ergebnisse der früheren Untersuchungen sind in der Karte Anl. 2.8 mit der jeweiligen Probenahmestelle und Angabe zum Tiefenbereich der Probenahme zusammengefasst. Es zeigt sich, dass im wesentlichen 2 Bereiche lokal erhöhte Schadstoffkonzentrationen (MKW und PAK) aufweisen.

Aus den vorausgegangenen Erkundungen ist zu entnehmen, dass nur punktuell erhöhte MKW- und PAK-Gehalte im Boden vorliegen und nur sehr lokal abfalltechnisch relevantes Bodenmaterial mit Überschreitung des Z2-Wertes vorliegt.

7.2 Bewertungsgrundlagen

Zur **bodenschutzrechtlichen** Bewertung der Laboranalysenergebnisse hinsichtlich des Wirkungspfades Boden-Grundwasser und Boden-Mensch ist Anhang 2 der „Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV)“ [7] maßgeblich. Da eine Nutzung als Wohnfläche vorgesehen ist, werden hier die (Boden-) Prüfwerte für Wohngebiete herangezogen.

Für den Bereich der geplanten Kindertagesstätte werden die sensiblen Prüfwerte für Kinderspielflächen herangezogen.

Soweit in [7] keine Prüf- bzw. Maßnahmenwerte festgelegt sind, wird auf die „Gemeinsame Verwaltungsvorschrift des Ministeriums für Umwelt und Verkehr und des Sozialministeriums über Orientierungswerte für die Bearbeitung von Altlasten und Schadensfällen“ vom 16. September 1993 in der Fassung vom 1.3.1998 (Az.: UM:52-8984.00/(San.-Ziel)-SM.: 57-8490.1.40) und die "Hinweise zur Verwaltungsvorschrift (VwV)" zurückgegriffen [8].

Zur Bewertung der MKW-Gehalte im Boden (Feststoff) steht weder in der BBodSchV [7] noch in der VwV [8] ein Prüfwert zur Verfügung. Deshalb wird festgelegt, dass bei Unterschreitung eines nach der Methode H53 analysierten MKW-Gehalts von 100 mg/kg (= Hintergrundwert nach [8]) kein Altlastenverdacht besteht. Der Hintergrundwert wird daher als Schwellenwert für die Notwendigkeit weiterer Untersuchungen angesehen.

Die Beurteilung der MKW-Konzentrationen im Eluat erfolgt anhand des Prüfwertes für den Wirkungspfad Boden? Grundwasser der BBodSchV [7]. Bei Unterschreitung des Prüfwertes soll der Altlastenverdacht ebenfalls ausgeräumt sein.

Zur **abfallrechtlichen Einstufung** ggf. auszuhebender Auffüllböden werden die Zuordnungswerte des LAGA-Merkblattes (Stand: 6. November 1997) "Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Reststoffen/Abfällen" herangezogen [9]. Es werden die Zuordnungswerte für "nicht aufbereiteten Bauschutt" gemäß den Tabellen II.1.4-5 (Eluat) und II.1.4-6 (Feststoff) angesetzt, da in den Auffüllböden im Mittel von mehr als 10 Vol.-% mineralischen Fremdbestandteilen (z.B. Bauschutt, Schlacke, Ziegelbruch) auszugehen ist (vgl. [9], Kap. 6.1).

7.3 Wirkungspfad Boden - Mensch

Die in den Auffüllungen festgestellten Schadstoffgehalte sind hinsichtlich dieses Wirkungspfades als insgesamt gering zu bewerten. Unterhalb der Gleisschotter, deren Schadstoffinventar hier ausdrücklich nicht zu untersuchen war da dieser beräumt wird, werden auf der gesamten Fläche nur an 6 Stellen von 94 Aufschlusspunkten erhöhte PAK- und MKW-Gehalte und nur an einer Stelle ein erhöhter Arsengehalt über dem entsprechenden Prüfwert für die Nutzungskategorie "Wohngebiete" festgestellt (vgl. Anl. 2.5). Eine Gefährdung über den Wirkungspfad Boden? Mensch ist für den derzeitigen Zustand und bei der derzeitigen Nutzung nicht erkennbar.

Im Bereich der geplanten Kindertagesstätte (s. Anl. 2.5) wurde der Untergrund durch 4 Baggerschürfe erkundet (Sch17-Sch20, vgl. Anl. 1.4). Die Bewertung der Analysenergebnisse erfolgte für diesen Bereich nach der Nutzungskategorie "Kinderspielflächen". Bei einem Punkt (Sch 20) ergab sich in einem Tiefenbereich von 0,35-1,35 m ein PAK-Gehalt von 11,93 mg/kg, der den Prüfwert für Kinderspielflächen (P-M1: 5 mg/kg) [9] überschreitet. Die Probe unterhalb 1,35 m wies mit 0,39 mg/kg einen unbedeutend geringen Wert auf. Die restlichen Proben aus diesem Bereich waren unauffällig.

Beim Bau der Kindertagesstätte empfehlen wir, auf nicht versiegelte Oberflächen durch das Auftragen einer ausreichend mächtigen, unbelasteten Mutter-Bodenschicht einen Hand-zu-Mund-Kontakt mit dem anstehenden Auffüllmaterial auszuschließen.

Im Zuge der Entwicklung der Projektfläche finden in großem Umfang Bodenumlagerung und Bodenaushub statt. In der Folge ist zu erwarten, dass sich beim Anlegen der Freiflächen durch Aufbringen von kulturfähigem unbelasteten Bodenmaterial die Situation für das Schutzgut "Mensch" verbessert.

Aus den vorliegenden Schadstoffanalysen ist für den derzeitigen Zustand keine Gefährdung über den Wirkungspfad Boden? Mensch erkennbar. Weiterer Handlungsbedarf besteht deshalb u.E. nicht.

7.4 Wirkungspfad Boden - Grundwasser

In der Auffüllung wurden an 7 von insgesamt 94 Aufschlusspunkten prüfwertüberschreitende Feststoffgehalte für **Arsen, PAK und MKW** nachgewiesen. Das Grundwassergefährdungspotenzial wurde an diesen Probenahmepunkten durch entsprechende Eluatuntersuchungen überprüft. Dabei stellte sich heraus, dass die genannten Schadstoffe - mit Ausnahme von Arsen - nicht eluierbar sind (vgl. Kap. 6.3.2). Aufgrund dieser Ergebnisse besteht u.E. keine Besorgnis einer schädlichen Grundwasserbeeinträchtigung. Begünstigend wirkt hierbei, dass aufgrund des großen Grundwasserflurabstandes dauerhaft von einer bis zu 15 m mächtigen Sickerstrecke ausgegangen werden kann.

Zudem stehen unterhalb der Auffüllungen, die mutmaßlich die Schadstoffträger darstellen, vergleichsweise wasserundurchlässige Böden (Schluffe, Tone) mit einem hohen Schadstoffrückhaltevermögen an.

Es kann deshalb mit hinreichender Sicherheit davon ausgegangen werden, dass im Bereich der Grundwasseroberfläche keine Prüfwerte überschritten werden. Diese Einschätzung wird durch die Ergebnisse der Grundwasseranalysen gestützt, da die im Boden in relevanten Gehalten vorkommenden Schadstoffe (MKW, PAK, Arsen) im Grundwasser nicht nachgewiesen werden.

Im Grundwasser wurden **LHKW** nachgewiesen. Bei der abstromig gelegenen GWM 1 beträgt der LHKW-Summengehalt bei der untersuchten Grundwasserprobe 7 µg/l; dieser Wert liegt unterhalb des Prüfwertes von 10 µg/l. Bei der im Zustrom liegenden GWM 2 wird ein LHKW-Summenwert von 81,7 µg/l festgestellt, der den Prüfwert um das rund 8-fache überschreitet. Aufgrund der Lage dieser Messstelle im Oberstrom des Untersuchungsgeländes ist anzunehmen, dass die LHKW von einer Schädensquelle aus dem Zustrombereich „importiert“ werden, so dass hier bereits eine Vorbelastung vorliegt. Dieser Befund muss der Stadt Heidelberg zur Klärung vorgelegt werden. Möglicherweise sind dort bereits entsprechende Schadensherde oder LHKW-Schadstofffahnen aus dem Zustrom bekannt.

In beiden Grundwasserproben wurden zudem **Pestizide** nachgewiesen. Der Summenwert beträgt in GWM 1 0,54 µg/l und in GWM 2 0,25 µg/l. Da in der BBodSchV [7] für diese Schadstoffgruppe kein Prüfwert festgelegt ist, wird zur Bewertung der "Prüfwert Wasser (P-W)" der VwV [8] herangezogen. Dieser liegt bei 0,1 µg/l.

Damit liegt in beiden Grundwasserproben eine bis zu 5fache Prüfwertüberschreitung vor. Die Befunde zeigen, dass der Prüfwert in der abstromig gelegenen Messstelle GWM 1 2fach höher überschritten wird als in der oberstromigen GWM 2. Dies kann bedeuten, dass der Einsatz von Pestiziden auf dem Bahngelände zu einer nachweisbaren Grundwasserbelastung geführt hat. Die Eluatuntersuchungen an den Bodenproben der 9 Mischprobenfelder ergaben jedoch keine auffälligen Herbizid-Konzentrationen (vgl. Anl. 12).

Beim derzeitigen Kenntnisstand ist die festgestellte Pestizid-Belastung im Grundwasser mit den vergleichsweise geringen Eluat-Gehalten in den Auffüllungen sowie der großen Sickerstrecke und mächtigen Dichtungsschicht nicht erklärbar. Zur Klärung des Grundwasserbefundes sind u.E. deshalb weitere tiefenorientierende Bodenuntersuchungen erforderlich, um den Wirkungspfad Boden-Grundwasser schlüssig beurteilen zu können. Abzuklären sind in diesem Zusammenhang auch mögliche entsprechende Schadstoffeinträge aus dem Zustrom.

Ungeachtet dieses Handlungsbedarfs gilt allgemein, dass mit der vorgesehenen Revitalisierung des Bahngeländes durch die Erschließung und Neubebauung der Ist-Zustand in jedem Fall verbessert wird. Durch die Entfernung möglicher Schadstoffquellen in den oberflächennahen Auffüllungen und den Gleisschottern wird eine Verbesserung der Schadstoffsituation in Bezug auf eine mögliche Grundwassergefährdungen erzielt.

7.5 Abfallrechtliche Einstufung

Für die einzelnen 9 Mischprobenfelder wurde anhand der Analysenergebnisse eine abfallrechtliche Einstufung gemäß LAGA (Bauschutt) getrennt nach Feststoff und Eluat vorgenommen. Das Ergebnis ist in Tab. 15 zusammengestellt. Die Kategorie „oben“ umfasst den ersten Meter der Auffüllungen unterhalb der Gleisschotter, die Kategorie „unten“ bezieht sich auf den Rest der Auffüllungen bis zum gewachsenen Boden. Einzelergebnisse mit den jeweiligen Zuordnungswerten nach LAGA sind der Anl. 10.2 zu entnehmen, ebenso die Ergebnisse der Untersuchung auf bahntypische Herbizide (Anl. 12).

Tab. 15 Abfallrechtliche Einstufung nach LAGA (Bauschutt) für die Mischproben-Felder

Mischproben-Feld	Feststoff "oben"	Eluat "oben"	Einstufung nach LAGA-Bauschutt	Feststoff "unten"	Eluat "unten"	Einstufung nach LAGA-Bauschutt
1	Z 0	Z 0	Z 0	Z 0	Z 0	Z 0
2	Z 1.1 (Hg, As)	Z 0	Z 1.1	Z 0	Z 0	Z 0
3	Z 1.2 (Hg, PAK)	Z 0	Z 1.2	Z 1.1 (Hg, PAK)	Z 0	Z 1.1
4	Z 0	Z 0	Z 0	Z 0	Z 0	Z 0
5	Z 1.1 (Hg)	Z 0	Z 1.1	Z 0	Z 0	Z 0
6	Z 1.1 (PAK)	Z 0	Z 1.1	Z 0	Z 0	Z 0
7	Z 1.1 (PAK)	Z 0	Z 1.1	Z 0	Z 0	Z 0
8	Z 1.1 (Hg, PAK)	Z 0	Z 1.1	Z 1.1 (Hg)	Z 0	Z 1.1
9	Z 1.1 (PAK)	Z 0	Z 1.1	Z 0	Z 0	Z 0

in Klammer: einstufigsrelevante Parameter

Für alle 9 Mischproben-Felder wurde das Probenkollektiv "oben" (ersten Meter der Auffüllungen unterhalb der Gleisschotter) zusätzlich auf die bahntypischen Herbizide Atrazin, Bromacil, Diuron, Simazin im Eluat untersucht.

Bei diesen Untersuchungen lag für keine der Proben ein Herbizid-Befund vor. Die Einzelergebnisse sind in Anl. 12 zusammengestellt.

Legt man die Ergebnisse der vorgenommenen Rasteruntersuchung zu Grunde, ist bei Bodenbewegungen (Aushub, Umlagerung) aus abfallrechtlicher Sicht mit leicht belastetem Bodenmaterial bis zum LAGA-Zuordnungswert Z 1.2 zu rechnen. Dies betrifft nicht die Felder 1 und 4, bei denen in den Mischproben keine Belastungen vorlagen (Z 0), vgl. Anl. 2.7.

Bei der Bewertung der Ergebnisse muss darauf hingewiesen werden, dass den Analysen ein vergleichsweise grobes Untersuchungsrastrer zu Grunde lag, und kleinräumige Bodenverunreinigungen unerkannt geblieben sein können. Gleichwohl kann aus derzeitiger Sicht aus den Befunden großflächig auf ein sehr niedriges Belastungsniveau der Auffüllschichten geschlossen werden.

8 Geotechnische Bewertung mit Empfehlungen

Allgemeines

Die geotechnischen Erkundungen des Baugrundes sollen Aussagen zu Gründungsmöglichkeiten im Bereich der geplanten Baufenster sowie zu den infrastrukturellen Erschließungsmaßnahmen liefern. Hierzu sind neben den Erkenntnissen aus den 68 Baggerschürfen insbesondere die Befunde aus den 12 Kernbohrungen heranzuziehen. Diese wurden jeweils etwa im Schwerpunkt der geplanten Baufenster platziert und bis in eine Tiefe von 20 m abgeteuft. Zur Ermittlung der Lagerungsdichte der Flussablagerungen dienten 10 Rammsondierungen (DPH), vornehmlich im Bereich der Erschließungsstraßen. Durch bodenmechanische Laboruntersuchungen wurden wichtige bodenmechanische Kennwerte ermittelt.

Auf dieser Grundlage sind die Baugrundverhältnisse zu beurteilen und technische sowie wirtschaftliche Aussagen zu Bauwerksgründungen (Varianten) in Bezug auf die geplante städtebauliche Nutzung zu treffen.

8.1 Baugrundbeurteilung

Aufgrund der Ergebnisse der Gelände- und Laboruntersuchungen können für die Gründung künftiger Gebäude orientierende Aussagen zur angetroffenen Baugrundqualität gemacht werden. Es ist hervorzuheben, dass es sich bei dem Untersuchungsraaster um punktförmige Aufschlüsse handelt und lokale Abweichungen der Baugrundverhältnisse zwischen den Aufschlüssen bei der Größe der Untersuchungsfläche nicht ausgeschlossen werden können.

Künstliche Auffüllungen

Der uneinheitliche Aufbau sowie die Unterschiedlichkeit der angetroffenen Böden lässt keine allgemein gültige Aussage zur Baugrundqualität zu. Mit den Ergebnissen kann jedoch eine allgemeine Ersteinschätzung vorgenommen werden.

Wichtig bei der allgemeinen Beurteilung ist zunächst die Tatsache, dass in allen Aufschlüssen ausschließlich mineralische Materialien (Lehm, Kies, Sand, Bauschutt etc.) angetroffen wurden und nur ganz vereinzelt organische Fremdbestandteile, die verrotten können (wie z.B. Holz oder Pflanzenreste), beobachtet wurden. Ebenso traten in den Aufschlüssen kein zersetzbarer Müll oder anderweitige organische Abfälle auf. Weiter wurden bei den Aufschlusspunkten auch keine größeren Hohlräume oder sonstige ausgedehnte Störstellen im Baugrund festgestellt. Dies bedeutet, dass der aufgefüllte Untergrund zunächst als kompakter Gründungshorizont zu betrachten ist und aufgrund seines Alters, seines Eigengewichtes sowie der Belastung durch die Züge in konsolidierter Form vorliegt. Eine gewisse Einschränkung muss für grobblockige Felsschüttungen

(Material aus Schlossbergtunnel) im südöstlichen Teil gemacht werden. Hier könnten bei sehr großer Belastung der Auffüllungen durch gewisse Hohlräume etwaige Setzungs- und im Extremfall Sackungsvorgänge eintreten.

Auenlehm

Die Auenlehme (Schluffe, Tone) stellen nach den Befunden einen vergleichsweise tragfähigen, jedoch noch verformbaren Baugrund dar, der unter der Last der Auffüllungen eine weitgehende Konsolidierung erfahren hat. Werden die Böden jedoch einer zusätzlichen Belastung durch Gebäude ausgesetzt, können entsprechende Setzungen und Verformungen auftreten.

Flussablagerungen

Die tlw. geröllhaltigen Sand- und Kiessandschichten können nach den Untersuchungsbefunden als insgesamt gut bis sehr gut tragfähiger und nur noch gering kompressibler Untergrund eingestuft werden. Die günstige Einschätzung stützt sich auch auf die festgestellt mindestens mitteldichte bis dichte und tlw. sogar sehr dichte Lagerung der Sedimente.

Eine tendenziell etwas höhere Zusammendrück- und Verformbarkeit weisen die schwach schluffigen und schluffigen kiesarmen Sandschichten auf.

Die vereinzelt eingeschalteten dünnen Schlufflagen bewirken keine nennenswerte Verschlechterung der Baugrundqualität.

8.2 Empfehlungen und Hinweise zu Bauwerksgründungen

Gründung unterkellelter Gebäude

Laut Vorgabe des Auftraggebers soll für die Beurteilung der Gründungsmöglichkeit künftiger Gebäude exemplarisch eine 3 bis 5-geschossige Bauweise mit Unterkellerung und/oder Tiefgarage betrachtet werden. Höhere, bzw. tiefer in den Untergrund reichende Gebäude sollen im Rahmen dieser Betrachtung nicht berücksichtigt werden.

Geht man von dem vorgenannten "Gebäude-Standardtyp" aus, so kommen die Gründungssohlen bei den derzeitigen topographischen Geländeverhältnissen und einer Gebäudeeinbindung von rund 3,5 m ins Gelände bereits im Auenlehmkomplex zu liegen. Eine Gründung in den Auffüllungen käme nur bei einer extremen Auffüllmächtigkeit zum Tragen.

Für eine Gründung im Auenlehm kommen **Flächengründungen** in Form von Streifen- und Einzelfundamenten sowie mittels einer Stahlbeton-Gründungsplatte in Frage. Die Gründung mittels einer Gründungsplatte, die an exponierten Lastpunkten rippen- oder voutenartig verstärkt sein kann, hat sich nach unserer Erfahrung bei vielen Gewerbe- und Wohngebäuden – auch bei tiefen GW-Ständen – im Vergleich als bautechnisch sinnvolle und wirtschaftliche Variante herausgestellt, da die Herstellung von Einzelfundamenten oftmals zeit- und kostenaufwändig ist. Für nähere Kostenbetrachtungen (vgl. Anhang) wird deshalb von einer Plattengründung ausgegangen, wobei Streifen- und Einzelfundamente selbstverständlich nicht auszuschließen sind. Bei Gründung in den Auenlehmen ist zu beachten, dass diese Böden witterungs- und frostempfindlich sind und durch Niederschläge aufweichen können. Zur Plattenauflagerung hat sich baubetrieblich die Anordnung einer Schottertragschicht in Verbindung mit einem zuvor verlegten Geotextil (Vlies) bestens bewährt.

Eine zusätzliche Gründungsvariante stellt unter bestimmten Voraussetzungen eine **Tiefgründung mittels Flächengründung** dar. Hierbei werden die Gebäudelasten nicht in den Auenlehmen, sondern mittels Pfeilerartiger Gründungskörper auf den Flussablagerungen abgesetzt. Am Pfeiler- und Brunnenkopf werden die Gründungskörper durch Stahlbetonbalken rostartig miteinander verbunden. Diese Gründungsart bietet sich z.B. für besonders schwere und/oder setzungsempfindliche Gebäude an.

Die Herstellung der unbewehrten Pfeiler kann in den voraussichtlich standsicheren Auenlehmen unverrohrt erfolgen, wobei der Beton unmittelbar nach Herstellen der Grube einzubringen ist.

Die Notwendigkeit einer **Pfahlgründung** für den vorgenannten Gebäudetyp ist bei den angetroffenen Baugrundverhältnissen nicht erkennbar. Eine solche Gründungsart kann lediglich für sehr hohe und schwere, turmartige und setzungsempfindliche Gebäude in Frage kommen.

Gründung nicht unterkellelter Gebäude

Für diesen Gebäudetyp steht exemplarisch die Kindertagesstätte, die nicht unterkellert und 1geschossig geplant ist. Hierbei kommt die Gründungsohle in den Auffüllungen zu liegen. Aufgrund der Heterogenität der Auffüllschicht und der Gefahr von Setzungen raten wir generell, die Gebäude mittels einer Gründungsplatte in Verbindung mit einem ca. 0,3 – 0,5 m dicken Bodenaustausch zu gründen. Durch diesen Bodenersatz wird die Wirkung möglicher Schwachstellen im Untergrund abgemindert und ein Gründungs-Restrisiko minimiert. Vor Einbau des Austauschmaterials (z.B. Schottermaterial 0/56) ist das Planum großflächig nachzuverdichten und bei Bedarf ein Geotextil zu verlegen.

8.3 Empfehlungen und Hinweise zu den Erschließungsmaßnahmen

Kanal- und Leitungsgräben

Die Herstellung der Kanalgräben zur Verlegung der Ver- und Entsorgungsleitungen muss im Schutz eines entsprechenden **Grabenverbau**s erfolgen. In Betracht kommen gängige Verbauarten, wie z.B. Trägerbohlwände oder Fertig-Verbaulemente (Kammerplatten). Bei einem Spundwandverbau können innerhalb der Auffüllungen Schwierigkeiten beim Rammen der Spundwände durch enthaltene Blöcke oder Betonreste auftreten.

In den Aufschlüssen wurden aus den Auffüllungen keine nennenswerten Wasserzutritte beobachtet. Auftretende Sicker- oder Schichtwässer können deshalb nach derzeitigem Kenntnisstand mit einer offenen Restwasserhaltung (Sickergräben, Pumpensümpfe) gefasst und abgeführt werden.

Für die **Verfüllung der Kanal- und Leitungsgräben** muss verdichtungsfähiges und stofflich geeignetes Material verwendet werden.

Die bindigen Auffüllböden sind witterungsempfindlich und können bei Durchfeuchtung ihre Wiedereinbaufähigkeit verlieren. Eine evtl. dann erforderliche Kalkstabilisierung ist mit Mehraufwand und Zusatzkosten verbunden. Besser geeignet sind die grob- und gemischtkörnigen Auffüllböden, die vor Wiedereinbau aber ggf. mit einer Recyclinganlage durch Absieben und Brechen aufbereitet werden müssen.

Bei den anstehenden Böden aus Baugrubenaushub sind die Auenlehme als Verfüllmaterial wegen ihrer Witterungsempfindlichkeit als ungeeignet einzustufen. Gut geeignet wären hingegen die Flussablagerungen, sofern diese überhaupt bei Aushubmaßnahmen anfallen.

Beim lagenweisen Einbau der Verfüllböden (Schütthöhe 30 cm) ist in den Kanal- und Leitungsgräben gemäß ZTVE-StB 94 in der Leitungszone (bis 0,3 m über OK Rohr) ein Verdichtungsgrad von $D_{Pr} = 97 \%$ zu erreichen. Dieser Verdichtungsgrad gilt auch für die darüberliegende Verfüllzone bis 0,5 m unter OK Planum. Zwischen 0,5 m unter OK Planum und OK Planum muss der Verdichtungsgrad $D_{Pr} = 100 \%$ betragen.

Bereich Straßen und Plätze

Im Bereich der durch Fahrzeuge (PKW, LKW) befahrenen Straßen und Plätze ist ein tragfähiger, setzungsarmer Aufbau zu wählen. Die Herstellung des Unterbaus sollte deshalb nur mit verformungsarmem und verdichtungswilligen Material erfolgen. Von den auf der Projektfläche vorkommenden Böden sind hierfür nur feinteilarme und korngestuft aufbereitete Auffüllmaterialien sowie die anstehenden Flussablagerungen geeignet. Bindige Ton- und Schluffböden kommen als Schüttmaterial nicht in Betracht.

Der Einbau muss verdichtet in Lagen von 30 - 40 cm erfolgen, wobei im *unteren Abschnitt* der Schüttung bis 0,5 m unter OK Planum ein Verdichtungsgrad von $D_{Pr} = 97 \%$ zu erzielen ist.

Im *oberen Abschnitt* (0,5 m unter OK Planum bis OK Planum) muss die Schüttung einen Verdich-

9 Versickerung von Niederschlagswasser

Der Auftraggeber plant, die auf dem Untersuchungsgelände anfallenden Niederschläge auf der Fläche im Untergrund zu versickern. Die Versickerung von Niederschlagswasser hat wasserwirtschaftlich, ökologische und ökonomisch folgende Vorteile:

- Mit der Versickerung wird eine GW-Anreicherung erzielt.
- Auf der Sickerstrecke im Untergrund wird das Niederschlagswasser weitgehend gereinigt, sofern die durchsickernden Böden nicht mit Schadstoffen belastet sind.
- Oberirdische Gewässer werden weder mengen- noch gütemäßig stärker belastet.
- Vorhandene Kanalnetze und Kläranlagen werden nicht zusätzlich belastet.
- Eingriffe in natürliche oder naturnahe Gewässerbereiche werden vermieden.

Im Rahmen dieser umwelt- und geotechnischen Untersuchungen war deshalb zu prüfen, inwieweit eine natürliche Versickerung aufgrund der Bodenverhältnisse und der Schadstoffsituation überhaupt möglich ist. Das Untersuchungsgelände liegt im WSG Zone IIIB. Deshalb gelten für das Versickern von gesammeltem Niederschlagswasser ggf. Sonderregelungen für die Stadt Heidelberg unter besonderer Berücksichtigung der Anforderungen der Schutzgebietsverordnung.

Die Bewertung der Versickerungsfähigkeit erfolgt anhand der Untersuchungsergebnisse unter Berücksichtigung der geologischen und hydrogeologischen Einflussgrößen sowie unter Beachtung ggf. vorhandener Bodenbelastungen.

9.1 Bewertung der geologischen und umwelttechnischen Einflussfaktoren

Grundwasser-Flurabstand

Im Bereich des Untersuchungsgeländes beträgt derzeit der GW-Flurabstand 15 m (vgl. Tab. 6). Die im ATV-Arbeitsblatt A 138 geforderte Bedingung hinsichtlich einer Mindestsickermächtigkeit von 1 m als Abstand zwischen der Sohle einer Versickerungsanlage und dem maximalen GW-Stand wird hier sicher dauerhaft erfüllt.

Versickerungsfähigkeit, Standortbewertung

Die für die Böden ermittelten k_f -Werte sind in Tab. 14 zusammengestellt. Wie bereits in Kap. 6.5 ausgeführt liegt der für eine Versickerung in Frage kommende Gültigkeitsbereich gemäß [19] bei $1 \times 10^{-6} < k_f < 1 \times 10^{-3}$ m/s.

Diese Forderung wird von den anstehenden *Flussablagerungen* (gemäß DIN 18130, Teil 1: "durchlässig" bis "stark durchlässig"), nicht jedoch von den überlagernden tonig-schluffigen *Au-enlehmen* eingehalten (gemäß DIN 18130, Teil 1: "schwach durchlässig").

Nach den großflächigen Geländebefunden kann die obige Forderung in den *Auffüllungen*, wel-

che die oberste Versickerungsschicht darstellen, über weite Bereiche eingehalten sein. Es ist zu vermuten, dass der erforderliche kf-Wert in den Auffüllbereichen mit überwiegend grob- und gemischtkörnigen Bodenarten eingehalten wird. Diese Areale, die grob die Hälfte der Projektfläche ausmachen, entsprechen den in Anl. 2.4 mit rot gekennzeichneten Flächen ("überwiegend grob- und gemischtkörnige Böden; Anteil > 67 %"). In den übrigen Flächen mit überwiegend bindigen Bodenanteilen sowie beim Mischtyp (ca. 50 % feinkörnig und 50 % grob- und gemischtkörnig) kann die Wasserdurchlässigkeit für eine ordnungsgemäße Versickerung etwas zu gering sein.

Die getroffene Ersteinschätzung zur Versickerungsfähigkeit der Auffüllungen muss jedoch noch, wie bereits in Kap. 6.5 erwähnt, durch weitere Feldversuche verifiziert werden.

Schadstoffgehalt der Böden

Allgemein werden Versickerungsanlagen gemäß [10] als "Abwasseranlagen mit direktem Abfluss der gereinigten Abflüsse ins Grundwasser" angesehen. Da der Boden innerhalb der Sickerstrecke ein wesentlicher Bestandteil dieser Anlage ist, müssen an ihn besondere Anforderungen hinsichtlich eines Abtransports lösbarer wassergefährdender Stoffe zum Grundwasser gestellt werden. So ist sicherzustellen "dass keine anthropogenen oder geogenen Stoffanreicherungen mit hohem Freisetzungspotenzial in die geplante Maßnahme einbezogen werden".

Da sich die Projektfläche im Wasserschutzgebiet III B befindet gelten darüber hinaus erhöhte Anforderungen: So ist gemäß [11] zur Versickerung nur "nicht schädlich verunreinigtes Niederschlagswasser" zulässig und "bei den Niederschlagsabflüssen von Verkehrsflächen ist ausschließlich die breitflächige Versickerung über die belebte Bodenzone erlaubt".

Da die künstlichen Auffüllungen Bestandteil der Sickerstrecke sind, müssen die darin durch die Untersuchungen nachgewiesenen Schadstoffe hinsichtlich ihres Freisetzungspotenzials, sprich: ihrer Wasserlöslichkeit, bewertet werden. Hier belegen die durchgeführten Eluatanalysen (vgl. Anl. 2.6), dass – bis auf eine Ausnahme – in den Auffüllungen an den Untersuchungsstellen keine wasserlöslichen Schadstoffanreicherungen über dem Prüfwert der BBodSchV vorliegen.

Auch die an großflächigen Mischproben durchgeführten LAGA-Analysen zeigen keinerlei Auffälligkeiten in der Eluat-Analyse (siehe Anl. 2.7).

Es kann somit nach derzeitigem Kenntnisstand davon ausgegangen werden, dass bei der Passage von Niederschlagswasser durch den Auffüllkörper keine der in den Bodenproben untersuchten Schadstoffe gelöst und in Richtung Grundwasser verfrachtet werden.

Die in der weiteren Sickerstrecke durchströmten anstehenden Böden (Auenlehme und Flussablagerungen) wurden bisher zwar noch nicht näher chemisch untersucht, es besteht hier jedoch kein konkreter Verunreinigungsverdacht.

9.2 Empfehlungen und Hinweise zu Versickerungseinrichtungen

Auswahl der möglichen Versickerungseinrichtungen

Im vorliegenden Fall kommen als bauliche Ausführungen vorrangig Flächenversickerungen, Muldenversickerungen sowie- und Mulden-Rigolen-Systeme in Frage.

Schachtversickerungen direkt in die sandig-kiesigen Flussablagerungen oder Versickerungsbekken scheiden aus Kosten- bzw. Machbarkeitsgründen und wegen möglicher wasserwirtschaftliche Bedenken aus derzeitiger Sicht aus.

Flächenversickerungen können durch den bewachsenen Boden auf Rasenflächen oder unbefestigten Randstreifen von undurchlässigen oder teildurchlässigen Terrassen-, Hof- und Verkehrsflächen erfolgen. Da auf den Versickerungsflächen eine ausreichende Wasserdurchlässigkeit der Auffüllungen notwendig ist ($k_f > 1 \times 10^{-4}$ m/s), kommen hierfür potenziell nur die in Anl. 2.4 rot markierten Flächen in Betracht (mit den Einschränkungen gemäß Kap. 9.1)

Muldenversickerungen kommen im Allgemeinen dann zur Anwendung, wenn die verfügbare Versickerungsfläche oder Durchlässigkeit des Untergrunds für eine Flächenversickerung nicht ausreicht. Die Anlagen sind hierbei so zu bemessen, dass sie nur kurzzeitig unter Einstau stehen. Muldenversickerungen zeichnen sich durch eine hohe Betriebssicherheit aus, da ihre ordnungsgemäße Funktion jederzeit beobachtet werden kann. Auf der Projektfläche können diese Versickerungsanlagen bei einer vorhandenen Durchlässigkeit der Auffüllungen von $k_f > 5 \times 10^{-6}$ m/s eingerichtet werden. Dies dürfte mit einiger Wahrscheinlichkeit bei den in Anl. 2.4 mit rot markierten Flächen der Fall sein.

Mulden-Rigolen-Systeme kommen zum Einsatz, wenn die Durchlässigkeit des Untergrunds unter $k_f > 5 \times 10^{-6}$ m/s liegt und die mangelnde Versickerungsfähigkeit durch ein vergrößertes Speichervolumen ausgeglichen wird. Der Einsatzbereich solcher Anlagen endet jedoch in der Regel bei Durchlässigkeiten von $k_f > 1 \times 10^{-6}$ m/s. Diese Versickerungsanlagen werden innerhalb der Projektfläche vermutlich in den mit rot gekennzeichneten Flächen, möglicherweise auch noch darüber hinaus in den mit orange und grün markierten Flächen einsetzbar sein. Auch hier muss eine Realisierung noch durch zusätzliche Feldversuche überprüft werden.

Weitere Planungsvorgaben und Kostenschätzung für die genannten Anlagevarianten können sinnvollerweise erst nach Vorliegen weiterer Geländedaten erarbeitet bzw. vorgenommen werden.

10 Hinweise zum Bodenmanagement

Im Zuge der Erschließung und Bebauung kommt es auf der Fläche zu umfangreichen Massenerbewegungen und -umlagerungen. Aus ökologischen und wirtschaftlichen Gründen ist deshalb auf der Fläche ein weitgehender Massenausgleich anzustreben, wobei die planerischen, baubetrieblichen und geotechnischen Randbedingungen und Voraussetzungen entsprechend zu berücksichtigen sind.

Für ein optimales Bodenmanagement sollten bei der weiteren Planung deshalb erfahrungsgemäß frühzeitig folgende Abschätzungen vorgenommen und Planungsaspekte berücksichtigt werden:

- Überschlägliche Ermittlung von anfallenden Aushubmengen (Gebäude, Erschließung), soweit wie möglich getrennt nach einzelnen Bodenarten.
- Abschätzen von Wiedereinbaumengen auf der Fläche unter Berücksichtigung planerischer und gestalterischer Mittel.
- Optimierung des Massenausgleichs zwischen Aushub- und Einbaumengen (Varianten).
- Berücksichtigung von Bodenverunreinigungen unter rechtlichen und finanziellen Aspekten.
- Einplanen von Zwischenlager- und Bereitstellungsflächen zur Stoffstrom-Optimierung, incl. Flächen für die Bodenaufbereitung.

11 Zusammenfassung

Mit den jetzt durchgeführten geo- und umwelttechnischen Erkundungen und Untersuchungen konnten weitere, für die folgenden Planungsschritte wichtige Erkenntnisse zum Teilgebiet "Wohnterrassen-Ost/Zollhof" gewonnen werden.

Der geologische Schichtaufbau stellt sich wie folgt dar: Zuoberst befindet sich eine im Mittel 2,6 m mächtigen Auffüllschicht aus heterogenem, mineralischen Bodenmaterial. Im Auffüllkörper können Homogenbereiche mit überwiegend bindigen Böden (Ton, Schluff) und Areale mit vorwiegend grob- und gemischtkörnigen Schüttmaterial (Kies, Sand, Lehm) unterschieden werden. Typisch in den Auffüllungen sind vereinzelte Bauschuttreste und häufig Gesteinsblöcke. Bauabfälle und sonstige schadstoffverdächtige Bestandteile wurden nicht festgestellt. Unter den Auffüllungen setzen tonige und schluffige Auenlehme mit einer mittleren Mächtigkeit von 1,7 m ein, die von mehreren Dekameter mächtigen Flussablagerungen des Neckars und Rheins unterlagert werden. Der Flurabstand des Grundwassers beträgt rund 15 m.

Die umwelttechnischen Bodenuntersuchungen bezogen sich auf die Auffüllungen. Bei 187 im Feststoff untersuchten Bodenproben ergaben sich bei den anorganischen Schadstoffen keine Schwermetall-Gehalte über dem Prüfwert für Wohnflächen; lediglich bei einer Probe lag der Arsen-Gehalt geringfügig über dem Prüfwert. Bei den organischen Schadstoffen wurden MKW und PAK mit Gehalten nachgewiesen, die in wenigen Fällen die Hintergrund- bzw. Prüfwerte überschritten. Die an diesen Proben durchgeführten Eluat-Untersuchungen erbrachten jedoch keine auffälligen Befunde. Die abfallrechtliche Bewertung nach LAGA, die mit Hilfe von großflächigen Mischprobenuntersuchungen vorgenommen wurde, erbrachte im Feststoff Zuordnungswerte von maximal Z 1.2. Auffällige Parameter waren hier PAK und Quecksilber. Die Eluate waren durchweg unauffällig (Z 0). Gemessen an der Größe des Geländes sowie der Art und Zeitdauer der Vornutzung liegen die festgestellten Schadstoffbelastungen im Boden auf einem ausgesprochen niedrigen Niveau.

In Grundwasserproben aus den zwei neu eingerichteten Grundwasser-Messstellen wurden LHKW und Pestizide mit Konzentrationen über dem Prüfwert nachgewiesen. Die Herkunft dieser Schadstoffe ist derzeit noch nicht geklärt, da die entsprechenden Eluatuntersuchungen des Bodens keine Auffälligkeiten zeigten. Es sollen hierzu noch weitere Erkundungen durchgeführt werden.

Mit Hilfe der geotechnischen Untersuchungen konnten die aufgefüllten und anstehenden Böden bodenmechanisch und bautechnisch beschrieben, benannt und klassifiziert werden. Mit den Ergebnissen können die einzelnen Schichten und Böden näher als Baugrund und Baustoff beurteilt werden. Die Untersuchung der Gründungsmöglichkeiten für künftige Gebäude zeigte anhand eines exemplarisch gewählten Gebäudetyps im Form eines 5-geschossigen, unterkellerten Bürogebäudes, dass diese wirtschaftlich entweder mit einer Gründungsplatte in den Auenlehmen oder mittels Pfeilergründung in den Flussablagerungen gegründet werden können. Pfahlgründungen sind für durchschnittliche Gebäude nicht erforderlich.

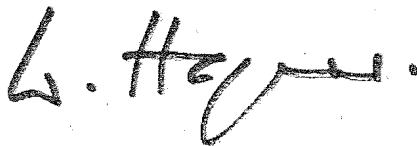
Gebäude ohne Unterkellerung können in den Auffüllungen auf einer Bodenaustausch-Schicht mittels einer Gründungsplatte fundiert werden. Für die Erschließungsarbeiten sind derzeit keine besonderen, baugrundbedingten Behinderungen und/oder Erschwernisse erkennbar. Sicker- und Schichtwasser kann vermutlich über eine offene Restwasserhaltung entfernt werden. Für den Verbau kommen die gängigen Verbauarten in Frage. Das Aushubmaterial (Auffüllungen) kann nur bedingt, ggf. nach Aufbereitung wieder eingebaut werden. Eine erforderliche Aufbereitung bezieht sich jedoch nur auf die geotechnische und nicht auf schadstoffbedingte Eigenschaften.

Bei der Beurteilung der Fläche hinsichtlich der geplanten Versickerung von Niederschlagswässern ergaben die Versuche zur Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit, dass die anstehenden Auenlehme für eine direkte Versickerung zu gering durchlässig sind, wogegen die unterlagernden Flussablagerungen die erforderliche Durchlässigkeit besitzen. Die Durchlässigkeit der Auffüllung, welche die oberste Versickerungsschicht darstellen, kann derzeit nur anhand der festgestellten Bodenarten grob abgeschätzt werden. Danach besteht bei gut der Hälfte der Fläche eine gute Prognose hinsichtlich einer ausreichenden Durchlässigkeit, in den restlichen Flächen stehen eher gering durchlässige Auffüllungen an. Als Versickerungseinrichtungen kommen aus derzeitiger Sicht unter Vorbehalt Flächenversickerung ansonsten Muldenversickerungen und Mulden-Rigolen-Systeme in Betracht. Unterirdische Versickerungsanlagen in Form von Rohr-Rigolenversickerungen oder Schachtversickerungen sind aus ökologischer, technischer und besonders wirtschaftlicher Sicht als nicht sinnvolle Varianten zu betrachten.

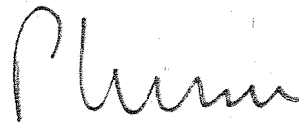
Für die weitere Planung sollten in den Auffüllungen noch zusätzliche Durchlässigkeitsbestimmungen erfolgen.

HAGELAUER

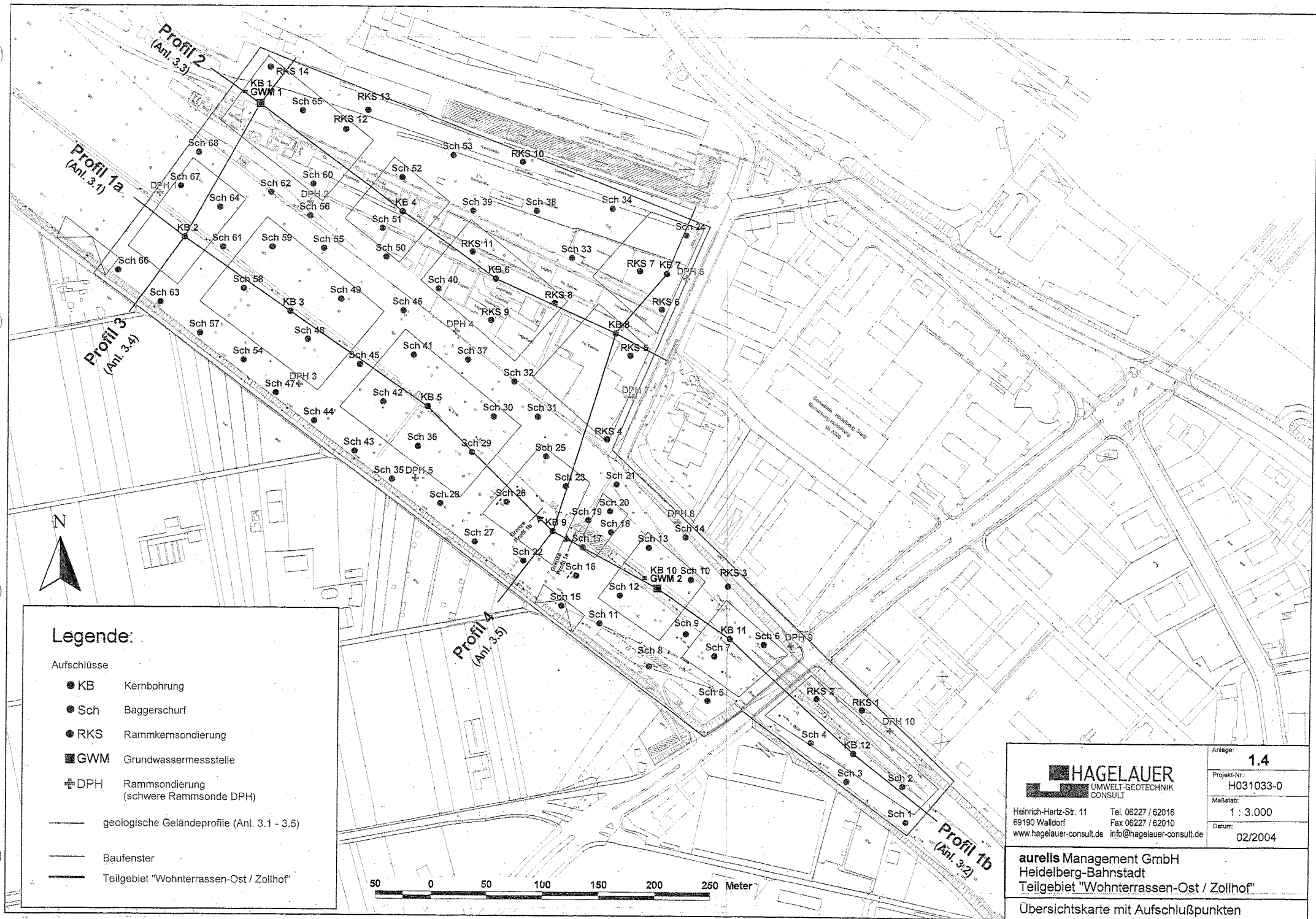
Umwelt-Geotechnik Consult



Dipl.-Geol. Wolf.-D. Hagelauer



Dipl.-Geol. Udo Pfleger



Legende:

Aufschlüsse

- KB Kernbohrung
- Sch Baggerschurf
- RKS Rammkernsondierung
- GWM Grundwassermessstelle
- ⊕ DPH Rammsondierung (schwere Rammsonde DPH)

— geologische Geländeprofile (Anl. 3.1 - 3.5)

— Baufenster

— Teilgebiet "Wohnterrassen-Ost / Zollhof"

50 0 50 100 150 200 250 Meter

HAGELAUER
UMWELT-GEOTECHNIK
CONSULT

Heinrich-Hertz-Str. 11
69190 Walldorf
www.hagelauer-consult.de

Tel. 06227 / 62016
Fax 06227 / 62010
info@hagelauer-consult.de

Anlage: **1.4**
Projekt-Nr.: **H031033-0**
Maßstab: **1 : 3.000**
Datum: **02/2004**

aurelis Management GmbH
Heidelberg-Bahnstadt
Teilgebiet "Wohnterrassen-Ost / Zollhof"

Übersichtskarte mit Aufschlußpunkten