

Projektnr. 22004

Erweiterung des Gewerbegebietes von Großhöhenrain

Geotechnischer Bericht

03.03.2022

Ort Gewerbegebiet, 83620 Großhöhenrain;
Flurnrn. 229/ 230 T/ 231 T, Gmk. Höhenrain,
Gde. Feldkirchen-Westerham, Lkr. Rosenheim

Auftraggeber Stefan Schmid Bauunternehmen GmbH & Co. KG
Hafnerweg 3
83620 Feldkirchen-Westerham

Verteiler Auftraggeber

Inhalt

1.	Einführung	3
1.1	Projekt	3
1.2	Aufgabenstellung	3
1.3	Literatur	4
2.	Untersuchungen	5
3.	Baugrundbeschreibung	7
3.1	Lage, Morphologie und Nutzung	7
3.2	Naturgefahren	7
3.3	Schichtenprofil	8
3.4	Wasser	9
3.5	Kennwerte und Eigenschaften der Schichten	10
3.6	Kennwerte und Eigenschaften der Homogenbereiche	11
4.	Baugrundbewertung	12
4.1	Gründung von tragenden Bauteilen	12
4.1.1	Sicherheit gegen Grundbruch	12
4.1.2	Sicherheit gegen Geländebruch	14
4.1.3	Sicherheit gegen Wasser	15
4.2	Gründung der Erschließungsstraße	16
4.3	Ausführung von Baugruben	17
4.3.1	Sicherheit gegen Böschungsbruch	18
4.3.2	Sicherheit gegen Wasser	19
4.3.3	Verwertung und Entsorgung von Aushub	19
4.4	Ausführung von Erdarbeiten	20
4.5	Versickerung von Oberflächen- und Dränwasser	21
5.	Schlussbemerkung	21

Anlagen

[Anlage 1] GEOLOGE R. FÜCHSL (MSc) (03.03.2022): Aufschlussdokumentation. Gangkofen.

[Anlage 2] AGROLAB LABOR GMBH (03.03.2022): Prüfberichte zur Analytik. Bruckberg.

1. Einführung

1.1 Projekt

Die Gemeinde Feldkirchen-Westerham erweitert das bestehende Gewerbegebiet am westlichen Ortsrand von Großhöhenrain (Ort vollständig auf Titelblatt) [1]. Das die drei Flurstücke 229, 230 T und 231 T umfassende Grundstück hat die Fläche von 3,00 ha (s. [Anlage 1], Lageplan). Das in Nord-Süd-Richtung gestreckte Grundstück erhält nahe der westlichen und unmittelbar entlang der südlichen Grundstücksgrenze eine Erschließungsstraße mit insgesamt rund 460 m Länge. Aufgrund der in der gegebenen Projektphase nicht vorhandenen Detailplanung wird für die Verkehrsfläche die Entwurfssituation klein- bis nähräumige Erschließungsstraße der Kategorie ES V bis ES IV und der Belastungsklasse Bk10 angenommen [8].

Die Stefan Schmid Bauunternehmen GmbH & Co. KG und zwei weitere Firmen errichten auf dem Grundstück zwischen der östlichen Grundstücksgrenze und der Erschließungsstraße im Westen jeweils ein Betriebsgelände. Aufgrund der in der gegebenen Projektphase nicht vorhandenen Detailplanung wird die Herstellung nicht-unterkellelter und unterkellelter Betriebsgebäude gemäß der Tab. 1 angenommen. Gemäß [DIN EN 1997] ist das Projekt in die Geotechnische Kategorie GK 2 einzuordnen.

Projektteil	Fläche [m ²]	Gründung		
		Höhe Sohle (m u. GOK)	Fundamentart	Anforderung Gebrauchstauglichkeit
Nicht-unterkellertes Betriebsgebäude	60 x 30	1,0	Einzel/ Streifen	Installation von empfindlichen Maschinen
		0,5	Platte	
Unterkellertes Betriebsgebäude	60 x 30	3,5	Einzel/ Streifen	
		3,0	Platte	

Tab. 1 Projektübersicht zu den angenommenen Betriebsgebäuden.

1.2 Aufgabenstellung

Geologe R. Füchsl (MSc) wurde zu einer projektbezogenen Baugrundbeschreibung und -bewertung mit einem Geotechnischen Bericht beauftragt.

1.3 Literatur

Die folgende, projektspezifische Literatur wurde zur Bearbeitung verwendet.

- [1] PLANUNGSGRUPPE STRASSER GMBH (Juni 2021): 4. Änderung Flächennutzungsplan. Begründung und Umweltbericht. Rosenheim.

Des Weiteren wurde die folgende Literatur zitiert.

- [2] BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT: Gewässerkundlicher Dienst Bayern. <<https://www.gkd.bayern.de/>>
- [3] BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT: UmweltAtlas Bayern. <<https://www.umweltatlas.bayern.de/>>
- [4] BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT, GESUNDHEIT UND VERBRAUCHERSCHUTZ & BAYERISCHER INDUSTRIEVERBAND STEINE UND ERDEN E. V. (Hrsg.) (15.06.2005): Anforderungen an die Verwertung von Bauschutt in technischen Bauwerken. Leitfaden. München.
- [5] BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ (Hrsg.) (23.12.2019): Anforderungen an die Verfüllung von Gruben und Brüchen sowie Tagebauen. Verfüll-Leitfaden. München.
- [6] DEUTSCHES INSTITUT FÜR BAUTECHNIK (Hrsg.) (20.07.2018): Zuordnung der Erdbebenzonen und Untergrundklassen. Excel-Tabelle. Berlin.
- [7] FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRAßEN- UND VERKEHRSWESEN (2009): ZTV E-StB 09. Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau. Köln: FGSV Verlag.
- [8] FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRAßEN- UND VERKEHRSWESEN (2012): RStO 12. Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen. Köln: FGSV Verlag.
- [9] HELMHOLTZ-ZENTRUM POTSDAM – DEUTSCHES GEOFORSCHUNGSZENTRUM GFZ: Abfrage zur Zuordnung von Orten zu Erdbebenzonen der DIN 4149 (Fassung 2005). <https://www.gfz-potsdam.de/din4149_erdbebenzonenabfrage/>
- [10] PRINZ, H. & R. STRAUß (2006): Abriss der Ingenieurgeologie. München: Elsevier GmbH.

2. Untersuchungen

Zur Baugrundbeschreibung wurden neben einer Literaturrecherche Felduntersuchungen am 24.02.2022 durchgeführt (Tab. 2). Aufgrund der in der gegebenen Projektphase nicht vorhandenen Detailplanung v. a. der zu errichtenden Betriebsgebäude wurden Felduntersuchungen zur Erlangung einer Übersicht zum Baugrund durchgeführt.

Daher sind die auf diesen grobmaschigen, punktuellen Untersuchungen fußende Baugrundbeschreibung und -bewertung zumindest für die gesamte Fläche der Aushubsohlen v. a. der Betriebsgebäude oder optimalerweise durch eine weiter reichende, auf das konkrete Projekt abgestimmte Baugrunderkundung durch einen Baugrundsachverständigen zu verifizieren.

Methode	Ergebnis	Anzahl
Einmessen des Aufschlussansatzpunktes	Relative Lage zum Grundstück Absolute Höhe, Höhenreferenz Karte Topographie in [1]	9
Kleinbohrung (BS) [DIN EN ISO 22475-1]	Benennung und Beschreibung der Schichten [DIN EN ISO 14688] Grundwasserstand	6
Rammsondierung (DPH) [DIN EN ISO 22476-2]	bezogene Lagerungsdichte I_D [DIN EN ISO 14688] Steifemodul E_s [DIN 4094]	3

Tab. 2 Übersicht zu den Felduntersuchungen.

In [Anlage 1] befindet sich die Aufschlussdokumentation zu den Felduntersuchungen, in der Tab. 3 sind die Höhenangaben zu den Aufschlüssen zusammengestellt.

Aufschluss	Ansatzhöhe (m üNN)	Endtiefe ⁽¹⁾	
		(m u. GOK)	(m üNN)
BS-01	617,0	4,4	612,6
BS-02	615,8	4,4	611,4
BS-03	618,5	4,7	613,8
BS-04	618,5	4,5	614,0
BS-05	615,6	4,8	610,8
BS-06	612,0	5,0	607,0
DPH-01	617,0	3,3	613,7
DPH-02	618,5	2,9	615,6
DPH-03	615,6	4,0	611,6

Tab. 3 Höhenangaben zu den Aufschlüssen.

⁽¹⁾ Ausgenommen BS-06 Untersuchungsabbruch vor angestrebter Endtiefe aufgrund von Bohr- und Rammhindernissen durch starke Konsistenzen und hohe Lagerungsdichten der anstehenden Schichten.

Zur Definition von Stoffgehalten wurden Proben entnommen und untersucht (Tab. 4). Die Prüfberichte zur Analytik befinden sich in [Anlage 2].

Kennwert/ Eigenschaft						
Aufschluss	BS-01	BS-02	BS-03	BS-04	BS-05	BS-06
Schicht	Decklehm Till	Decklehm Till	Decklehm Till	Decklehm Till	Decklehm Till	Decklehm Till
Entnahmetiefe (m u. GOK)	0,2 – 4,4	0,2 – 4,4	0,2 – 4,7	0,2 – 4,5	0,2 – 4,8	0,2 – 5,0
Probe	P-01-2	P-02-2	P-03-2	P-04-2	P-05-2	P-06-2
Güteklasse	4	4	4	4	4	4
Analytik Eckpunkte [5], Anlage 2, 3	x	x	x	x	x	x

Tab. 4 Übersicht zu den Proben und den daran untersuchten Kennwerten und Eigenschaften.

3. Baugrundbeschreibung

3.1 Lage, Morphologie und Nutzung

Das drei Flurstücke umfassende Grundstück liegt am westlichen Ortsrand von Großhöhenrain unmittelbar westlich des bestehenden Gewerbegebietes. Großhöhenrain in der Gemarkung Höhenrain ist ein Ortsteil von Feldkirchen-Westerham im nordöstlichen Gemeindebereich. Der Ort befindet sich in der quartären Moränenlandschaft plateauartig zwischen den markanten Tälern des Kupferbaches im Westen und der Glonn im Nordosten. Die Moränenlandschaft ist von einem lebhaften Relief geprägt. Das Grundstück liegt im Bereich eines Hügels, dessen Hochpunkt mit rund 620 m üNN sich etwa in der Mitte des Nord-Süd gestreckten Grundstückes befindet (s. [Anlage 1], Lageplan). So fällt das Gelände der nördlichen Hälfte bei Höhen von rund 609 bis 620 m üNN mit etwa 5% Richtung Nordosten und das der südlichen Hälfte bei Höhen von rund 615 bis 620 m üNN mit einem ähnlichen Gefälle Richtung Südwesten bis Westen. Nach [8] liegt der Baugrund in der Frosteinwirkungszone III mit möglichen Frosteindringtiefen bis 1,5 m u. GOK.

Über das Grundstück ist bis auf eine landwirtschaftliche Nutzung keine Weitere bekannt, parallel zur südlichen Grenze ist auf dem Grundstück ein Wirtschaftsweg vorhanden [1]. Der dem Grundstück nächstgelegene Gebäudebestand mit unbekannter Gründungstiefe ist entlang der östlichen Grundstücksgrenze angeordnet. Der Abstand dieses Bestandes zur Grundstücksgrenze beträgt mindestens rund 14 m. Im Norden grenzt die Kreisstraße RO 3 unmittelbar an das Grundstück, im Nordosten schließen sich die Verkehrsflächen der Höhenrainer Delikatessen GmbH bei Lauser Str. 1 im Abstand von etwa 3 m an.

3.2 Naturgefahren

Auf dem Grundstück sind keine erfolgten oder potentiellen Massenbewegungen (Rutschungen, Erdfall) ausgewiesen ([3], Zugriff: 02.02.2022). Dagegen sind die Hänge im Bereich des nordöstlich liegenden Glonn Tales und des südlich liegenden Tiefenbachtals von erfolgten und potentiellen, flachen bis tiefen Rutschungen gesäumt. Die dem Grundstück nächstgelegene Rutschung (Abrissbereich) befindet sich rund 390 m nordöstlich im Bereich eines Richtung Nordosten fallenden Hanges etwa parallel zur östlichen Ortsgrenze von Großhöhenrain.

Die Gemarkungen Höhenrain (Gemarkung des Grundstückes) und Feldkirchen der Gemeinde Feldkirchen-Westerham sind keiner Erdbebenzone zugeordnet, dagegen liegt die südliche Gemarkung Vagen in der Erdbebenzone 0 (Erschütterungsintensität 6,0 bis < 6,5 nach EMS-98) ([6]/ [9], Zugriff: 03.02.2022).

Nach ([3], Zugriff: 03.02.2022) sind für das Grundstück in dessen plateauartiger Lage oberhalb der umliegenden Täler keine amtlich festgesetzten Hochwassergefahrenflächen ausgewiesen.

3.3 Schichtenprofil

Der Baugrund des Grundstückes und dessen Umgebung ist von einem würmzeitlichen Till (altquartäres Moränenmaterial) geprägt. Nach einem rund 1,2 km westlich des Grundstückes liegenden Aufschluss (Obj.-ID 8037BG015160, Ansatzhöhe: 619 m üNN; in [3], Zugriff: 03.02.2022) ist der Till bis 609 m üNN aus einem schwach kiesigen, feinsandigen Schluff und bis 586 m üNN aus einem schluffigen, sandigen Kies aufgebaut. Dabei ist die kiesige Schicht ab 604 m üNN teilweise felsartig zu einem Konglomerat verfestigt.

Eine Übersicht zum erkundeten Schichtenprofil im Bereich des Grundstückes findet sich in der Tab. 5.

Höhe Grenze	Schicht	Beschreibung
Alle Schichtgrenzen folgen annähernd dem Geländere relief im Grundstücksbereich.		
bis 0,2 m u. GOK	Mutterboden	Schluff, stark sandig, humos; braun; mittel plastisch, weich.
bis 1,7 m u. GOK	Decklehm	Schluff-Ton-Gemisch, sandig, kiesig; rotbraun; mittel plastisch, weich, Bodenmaterial der Klasse Z-0.
bis 4 m u. GOK	Till	Wechselfolge von Schluff-Ton-Gemisch, sandig bis stark sandig, kiesig; gelbbraun; leicht bis mittel plastisch, weich und Sand, schluffig, kiesig; gelbbraun; leicht plastisch, locker bis mitteldicht gelagert, Bodenmaterial der Klasse Z-0. An der Untergrenze dieser Schicht befindet sich im südlichen Grundstücksbereich ein bis zu 0,8 m mächtiges, schwach schluffiges Sand-Kies-Gemisch.
im Norden: ab 3 bis 4 m u. GOK, im Süden: ab 4 m u. GOK	Till	Schluff, feinsandig, tlw. schwach kiesig; gelbbraun; leicht plastisch, steif bis halbfest, Bodenmaterial der Klasse Z-0. Nach den Felduntersuchungen reicht diese Schicht im Grundstücksbereich bis in eine Tiefe auf mindestens 5 m u. GOK. Danach reicht dieser Till im tieferen Grundstücksbereich im Norden bis in eine Tiefe auf mindestens 607 m üNN und im Süden bis in eine Tiefe auf mindestens 611 m üNN.

Tab. 5 Übersicht zu dem erkundeten Schichtenprofil im Bereich des Grundstückes.

Gemäß dem organoleptischen Befund sind die erkundeten Schichten nach [DIN 4030-1] nicht betonangreifend.

3.4 Wasser

Die dem Grundstück nächstgelegenen Oberflächengewässer sind mindestens 160 m nordöstlich an den Hängen des Glonntales und etwa 230 m südlich an den Hängen des Tiefenbachtals entspringende Bäche. Dabei entspringen die Fließgewässer im Bereich der Schichtuntergrenze der quartären Schichten zu den wasserstauenden, tertiären Schichten auf rund 600 bis 615 m üNN ([3], Zugriff: 03.02.2022). Zudem existieren an dieser Schichtgrenze im Verschnittbereich mit den Hängen mehrere Quellen.

Der Baugrund des Grundstückes und dessen Umgebung ist theoretisch von einem oberen Hauptgrundwasserstockwerk in der anstehenden, altquartären Moräne geprägt ([3], Zugriff: 03.02.2022). Im Bereich des Grundstückes und dessen Umgebung sind keine Grundwassergleichen ausgewiesen ([3], Zugriff: 03.02.2022) und existieren keine geeigneten Grundwassermessstellen des Gewässerkundlichen Dienstes Bayern ([2], Zugriff: 03.02.2022) zur Beschreibung des oberen Hauptgrundwasserstockwerkes. Nach einem rund 1,2 km westlich (Obj.-ID 8037BG015160, Ansatzhöhe: 619 m üNN; in [3], Zugriff: 03.02.2022) und einem rund 1,4 km südwestlich (Obj.-ID 8037BG015023, Ansatzhöhe: 623 m üNN; in [3], Zugriff: 03.02.2022) des Grundstückes gelegenen Aufschluss liegt Grundwasser in der altquartären Moräne mit dem Spiegel auf 591 m üNN vor.

Nach den Felduntersuchungen wurde im südlichen Grundstücksbereich südlich des morphologischen Hochpunktes ein Grundwasserstockwerk rund 2 m u. GOK aufgeschlossen (Tab. 6). Dabei liegt der Grundwasserspiegel im Bereich der östlichen Grundstücksgrenze auf 616,0 m üNN und fällt konstruktiv mit rund 2% Richtung Westen. Den Träger des bis zu rund 3 m mächtigen Stockwerkes bildet der tlw. mittel durchlässige Till bis etwa 4 m u. GOK. Im nördlichen Grundstücksbereich ist der Till bis etwa 4 m u. GOK von lediglich sehr schwach bis schwach durchlässigen Schichten geprägt, sodass dort kein Grundwasser erkundet wurde. Aufgrund der tlw. nur sehr schwach durchlässigen Schichtglieder ist das Grundwasser v. a. im südwestlichen Grundstücksbereich gespannt (BS-02: 2,5 m gespannt).

Aufschluss	Wasserstand		
	(m u. GOK)	(m üNN)	Schicht
BS-01	1,80	615,2	Till, UK Grundwasserträger auf 613,3 m üNN
BS-02	1,45	614,4	Till, UK Grundwasserträger auf 611,5 m üNN
BS-03	2,50	616,0	Till, UK Grundwasserträger auf 614,8 m üNN
BS-04	kein Wasserstand bis 614,0 m üNN erkundet		-
BS-05	kein Wasserstand bis 610,8 m üNN erkundet		-
BS-06	kein Wasserstand bis 607,0 m üNN erkundet		-

Tab. 6 Übersicht zu den erkundeten Wasserständen.

Aufgrund der Gegebenheiten aus umliegenden Quellen bis auf etwa 615 m üNN und aus den erkundeten Grundwasserständen bis auf 616,0 m üNN wird der Bemessungswasserstand für drückendes Grundwasser während der Dauernutzung und der Bauzeit auf 616,0 m üNN/ bei der GOK in tieferen Bereichen auf dem Grundstück des zu erweiternden Gewerbegebietes empfohlen. Im Baugrund oberhalb dieses Bemessungswasserstandes ist mit nicht stauendem Sickerwasser zu rechnen.

Nach ([3], Zugriff: 03.02.2022) liegt das Grundstück außerhalb von Trinkwasser- und Heilquellenschutzgebieten sowie außerhalb von Einzugsgebieten der Wasserversorgung. Das dem Grundstück nächstgelegene Trinkwasserschutzgebiet ist das etwa 950 m westlich befindliche Gebiet Feldkirchen-Westerham (Gebietskennzahl: 2210803700093).

3.5 Kennwerte und Eigenschaften der Schichten

Den Schichten lassen sich die Kennwerte und Eigenschaften gemäß der Tab. 7 zuordnen.

Kennwert/ Eigenschaft		Schicht			
		Mutterboden	Decklehm	Till	
				bis 4 m u. GOK	ab 3 bis 4 m u. GOK
Beschreibung	-	Schluff, stark sandig, humos	Schluff/ Ton, sandig, kiesig	Schluff/ Ton, sandig bis stark sandig, kiesig Sand, schluffig, kiesig	Schluff, feinsandig, tlw. schwach kiesig
Bodengruppe [DIN 18196]	-	OU	UM/ TM	UL/ TL/ UM/ TM	UL
Frostklasse [7]	-	F3	F3	F3	F3
Lagerungsdichte	-	-	-	-	-
Konsistenz	-	weich	weich	weich	steif – halbfest
Wichte erdfeucht γ_k [DIN 1055-2]	[kN/m ³]	14,0	19,0	20,0	20,5
Wichte wassergesättigt $\gamma_{r,k}$ [DIN 1055-2]	[kN/m ³]	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.
Wichte unter Auftrieb γ'_k [DIN 1055-2]	[kN/m ³]	4,0	9,0	10,0	10,5
Reibungswinkel ϕ_k [DIN 1055-2]	[°]	15,0	22,5	27,5	27,5
Kohäsion drainiert c'_k [DIN 1055-2]	[kN/m ²]	0	0	0	2
Kohäsion undrainiert $c_{u,k}$ [DIN 1055-2]	[kN/m ²]	5	5	0	15
Steifemodul $E_{s,k}$ [10]	[MN/m ²]	< 1	3	6	12
Wasserdurchlässigkeitsbeiwert k_f [DIN 18196]	[m/s]	$10^{-6} - 10^{-4}$	$\leq 10^{-8}$	$\leq 10^{-6} - 10^{-4}$	$\leq 10^{-6}$
Homogenbereich	-	O	B1	B2	B3

Tab. 7 Kennwerte und Eigenschaften der Schichten.

3.6 Kennwerte und Eigenschaften der Homogenbereiche

Den Homogenbereichen lassen sich die Kennwerte und Eigenschaften gemäß der Tab. 8 zuordnen.

Kennwert/ Eigenschaft		Homogenbereich			
[DIN 18300]		O	B1	B2	B3
ortsübliche Bezeichnung	-	Mutterboden	Decklehm	Till	Till
Bodengruppe	-	OU	UM/ TM	UL/ TL/ UM/ TM	UL
ehemalige Bodenklasse	-	1	4	4	4
Anteil Steine	(%)	0	≤ 30 ⁽¹⁾	≤ 30 ⁽¹⁾	≤ 30 ⁽¹⁾
Anteil Blöcke	(%)	0	≤ 30 ⁽¹⁾	≤ 30 ⁽¹⁾	≤ 30 ⁽¹⁾
Anteil große Blöcke	(%)	0	≤ 15 ⁽¹⁾	≤ 15 ⁽¹⁾	≤ 15 ⁽¹⁾
bezogene Lagerungsdichte I _D	(%)	-	-	-	-
Wassergehalt w [10]	(%)	rund 30	rund 30	rund 30	rund 25
Plastizitätszahl I _P [10]	(%)	12	15	12	7
Konsistenzzahl I _C [10]	-	0,60 – 0,70	0,60 – 0,70	0,60 – 0,70	0,90 – 1,00
undrainierte Scherfestigkeit c _u	[kN/m ²]	5	5	0	15
Dichte feucht ρ	[g/cm ³]	1,4	1,9	2,0	2,1
organische Anteile V _{gl}	(%)	5 – 8	< 3	< 3	< 3
chemische Deklaration	-	-	Z-0	Z-0	Z-0

Tab. 8 Kennwerte und Eigenschaften der Homogenbereiche.

⁽¹⁾ Potentieller, nicht erkundeter Anteil.

4. Baugrundbewertung

4.1 Gründung von tragenden Bauteilen

4.1.1 Sicherheit gegen Grundbruch

Es wird die Gründungstiefe von mindestens 1,5 m u. GOK empfohlen, um die Zone der jahreszeitlichen Volumenänderungen durch Auffrieren und Austrocknung zu durchgründen [10]. Für die Sicherheit der tragenden Bauteile gegen Grundbruch werden die Maßnahmen in der Tab. 9 empfohlen.

Projektteil	Gründung			Maßnahme
	Höhe Sohle (m u. GOK)	Fundamentart	Schicht	
Nicht-unterkellertes Betriebsgebäude	1,0	Einzel/ Streifen	Decklehm der Bodengruppen UM/ TM, weich	Vertiefung Gründungssohle bis Till rund 1,5 m u. GOK Abnahme der Aushubsohlen
Nicht-unterkellertes Betriebsgebäude	0,5	Platte	Decklehm der Bodengruppen UM/ TM, weich	Bodenaustausch ab UK Platte bis Till mit Frostsicherung (etwa 1,0 m Bodenaustausch) Abnahme der Aushubsohlen Verdichtungskontrolle des Bodenaustausches
Unterkellertes Betriebsgebäude	3,0	Platte statt Einzel/ Streifen	Till der Bodengruppe UL, steif – halbfest	50 cm Bodenaustausch ab UK Platte Abnahme der Aushubsohlen Verdichtungskontrolle des Bodenaustausches

Tab. 9 Maßnahmen für die Sicherheit der tragenden Bauteile gegen Grundbruch.

Die Gründungssohlen von Fundamenten nicht-unterkellerten Betriebsgebäude liegen im Decklehm mit mittlerer Plastizität und weicher Konsistenz. Ab rund 1,5 m u. GOK steht ein etwa 2 m mächtiger, überwiegend bindiger Till (Moränenmaterial) mit leichter bis mittlerer Plastizität und weicher Konsistenz an. Der Till liefert gegenüber dem Decklehm eine deutlich erhöhte Tragfähigkeit, weshalb die Gründungssohlen von Fundamenten bis zum Till zu vertiefen sind. Bei tragenden Platten ist der

Ersatz des Decklehmes bis zum Till durch einen etwa 1,0 m mächtigen Bodenaustausch sicherzustellen. Die Platten von nicht-unterkellerten Betriebsgebäuden sind zudem gegen Frost zu sichern (z. B. durch Frostschrüben). Die Gründung von unterkellerten Betriebsgebäuden sollte ausschließlich mit tragenden Platten erfolgen, um eine druckwasserhaltende Abdichtung („weiße Wanne“) ab der GOK realisieren zu können, da im Grundstücksbereich mit oberflächennahem, drückendem Grundwasser zu rechnen ist. Die Gründungssohlen von tragenden Platten unterkellerten Betriebsgebäude liegen in einem bindigen Till mit leichter Plastizität und steifer bis halbfester Konsistenz. Zur Setzungsvergleichmäßigung bei der Gründung auf dieser mäßig bis gut tragfähigen Schicht sind 50 cm Bodenaustausch ab der UK Platte erforderlich.

Bei den in der Tab. 10 gegebenen Sohlwiderständen ist der ausreichenden Gebrauchstauglichkeit der Betriebsgebäude aufgrund von einer zulässigen Gesamtsetzung von bis zu $s = 3,0$ cm Rechnung getragen. Diese Setzung entspricht einer relativen Winkelverdrehung von höchstens 1:1.000 bezogen auf die Gebäudebreite von 30 m, ein Verhältnis von $\leq 1:750$ erlaubt theoretisch eine Installation von empfindlichen Maschinen [10]. Aufgrund von zu erwartenden, unterschiedlichen Setzungen sind zwischen unmittelbar angrenzenden Betriebsgebäuden mit stark unterschiedlichen Lasten bauwerkstrennende Fugen vorzusehen.

Der Bodenaustausch ist im Druckausbreitungsbereich von 45° ab den unteren Plattenaußenkanten einzubauen. Wenn die OK Bodenaustausch oberhalb der GOK liegt, ist der Bodenaustausch mit Überstand über die Plattenaußenkanten herzustellen. Bei der OK Bodenaustausch empfiehlt sich eine Verdichtungskontrolle mit mindestens 6 statischen oder alternativ 12 dynamischen Plattendruckversuchen bei dem angenommenen Grundriss $60 \times 30 \text{ m}^2$. Diese Verdichtungskontrolle sollte je 50 cm hergestelltem Bodenaustausch durchgeführt werden.

Die auf den grobmaschigen, punktuellen Untersuchungen fußende Baugrundbeschreibung und -bewertung sind zumindest für die gesamte Fläche der Aushubsohlen oder optimalerweise durch eine weiter reichende, auf das konkrete Projekt abgestimmte Baugrunderkundung durch einen Baugrundsachverständigen zu verifizieren.

Bei der empfohlenen Gründung kann mit den Werten in der Tab. 10 gerechnet werden.

Projektteil	Fundament				$\sigma_{R,d}^{(1)}$	k_s	$s^{(2)}$
	Art	Breite [m]	Länge [m]	Einbindetiefe [m]	[kN/m ²]	[MN/m ³]	[cm]
Nicht-unter- kellertes Betriebs- gebäude	Einzel	1,8	2,7	1,0	240	-	3,0
		2,0	3,0		220		3,0
		2,2	3,3		200		3,0
		2,4	3,6		180		3,0
	Streifen	0,4	> 10,0	1,0	205	-	1,0
		0,6			215		1,6
		0,8			225		2,2
		1,0			235		2,9
	Platte	0,8 ⁽³⁾	> 14,0	0,5	130	9	0,7
		1,0 ⁽³⁾			140	6	1,1
		1,2 ⁽³⁾			150		1,5
		1,4 ⁽³⁾			160		2,0
Unter- kellertes Betriebs- gebäude	Platte	0,8 ⁽³⁾	> 14,0	0,5	160	18	0,4 ⁽⁴⁾
		1,0 ⁽³⁾			170	12	0,6 ⁽⁴⁾
		1,2 ⁽³⁾			180		0,8 ⁽⁴⁾
		1,4 ⁽³⁾			190		1,0 ⁽⁴⁾

Tab. 10 Übersicht zu den Bemessungswerten des Sohlwiderstandes $\sigma_{R,d}$, zu den Bettungsmoduln k_s und zu den Setzungen s bei der empfohlenen Gründung für die Situation BS-P ([DIN 1054], [DIN 4017], [DIN 4019], [10]).

- (1) Die Sohlwiderstände gelten für lotrecht mittig belastete Einzel- und Streifenfundamente ohne Beeinflussung durch benachbarte Fundamente.
(2) Grenztiefe $z = 2$ -fache Fundamentbreite b ab UK Fundament für Setzungsberechnung.
(3) Angenommene Breite der Lastspitze durch den plattenartigen Gründungskörper.
(4) Vorbelastung von 35 kN/m² aus durchzuführendem Kelleraushub eingerechnet (aus rund 60% der Bodenlast bis UK Platte).

4.1.2 Sicherheit gegen Geländebruch

Aufgrund der Baugrundbeschreibung ergeben sich keine Hinweise auf einen potentiellen Geländebruch im Grundstücksbereich. Daher sind keine Maßnahmen für die Sicherheit des Projektes gegen Geländebruch erforderlich.

4.1.3 Sicherheit gegen Wasser

Für die Sicherheit der Betriebsgebäude gegen Wasser werden die Maßnahmen in der Tab. 11 empfohlen.

Projektteil	Gründungssohle (m u. GOK)	Bemessungswasserstand	Maßnahme
Nicht-unterkellertes Betriebsgebäude	0,5 – 1,5	ab 616,0 m üNN: drückendes Grundwasser oberhalb 616,0 m üNN: nicht stauendes Sickerwasser	Abdichtung gegen Bodenfeuchte und nicht stauendes Sickerwasser bei Platte: Dränung bei Einzel-/ Streifenfundamenten: Versiegelung bei OK Hinterfüllung
Unterkellertes Betriebsgebäude	3,0		Sicherheit gegen Auftrieb (inkl. Sicherheit gegen Hydraulischen Grundbruch) Druckwasserhaltende Abdichtung ab GOK

Tab. 11 Maßnahmen für die Sicherheit der Betriebsgebäude gegen Wasser.

Im Grundstücksbereich ist mit oberflächennahem, drückendem Grundwasser zu rechnen, sodass für unterkellerte Betriebsgebäude eine druckwasserhaltende Abdichtung ab der GOK erforderlich ist. Während der Dauernutzung und der Bauzeit ist für eine ausreichende Sicherheit der unterkellerten Betriebsgebäude gegen Auftrieb zu sorgen (Widerstehen durch Gebäudelast oder Nachgeben durch planmäßige Flutung). Zudem ist während der Bauzeit für eine ausreichende Sicherheit gegen Hydraulischen Grundbruch zu sorgen (s. Kap. 4.3.2).

Für nicht-unterkellerte Betriebsgebäude ist eine Abdichtung gegen Bodenfeuchte und nicht stauendes Sickerwasser erforderlich. Zur Verhinderung von im Bodenaustausch von Platten eingestautem Oberflächen- und Sickerwasser in der überwiegend sehr schwach durchlässigen Bodenumgebung empfiehlt sich eine Dränung. Dabei ist die Dränung bei der UK Bodenaustausch und außerhalb der Lastspitzen durch die plattenartigen Gründungskörper anzuordnen. Zur Verhinderung von in der Hinterfüllung von Einzel- und Streifenfundamenten eingestautem Oberflächenwasser empfiehlt sich eine wasserundurchlässige Versiegelung bei der OK Hinterfüllung.

4.2 Gründung der Erschließungsstraße

Das Planum des Oberbaus der Erschließungsstraße liegt im sehr forstempfindlichen Decklehm der Bodengruppen UM/ TM (Frostklasse F3). Gemäß der angenommenen Belastungsklasse Bk10, der Projektlage in der Frosteinwirkungszone III und des potentiellen Grundwassers im Bereich des Planums bei einer Entwässerung über Abläufe ist ein mindestens 80 cm mächtiger, frostsicherer Verkehrsflächenoberbau zu errichten [8].

Bei der OK Frostschutzschicht sind der Verformungsmodul $E_{v2} \geq 120 \text{ MN/m}^2$ und die Verdichtungswirkung $E_{v2}/E_{v1} \leq 2,3$ gefordert. Für die Gründung des Verkehrsflächenoberbaus werden die Maßnahmen in der Tab. 12 empfohlen.

Erschließungsstraße	Gründung			Maßnahme
	Höhe Sohle (m u. GOK)	Anforderung ([7], [8])	Schicht	
Oberbau	0,8	$E_{v2} \geq 45 \text{ MN/m}^2$ $E_{v2}/E_{v1} \leq 2,5$	Decklehm der Bodengruppen UM/ TM, weich	30 cm Bodenverfestigung ab UK Oberbau Dränung Abnahme der Aushubsohlen Verdichtungskontrolle des Planums und der Frostschutzschicht

Tab. 12 Maßnahmen für die Gründung des Verkehrsflächenoberbaus.

Das Planum der Erschließungsstraße liegt im Decklehm mit mittlerer Plastizität und weicher Konsistenz. Zur Erfüllung der Gründungsanforderungen ist eine mindestens 30 cm mächtige, flächenartige Bodenverfestigung ab der UK Oberbau erforderlich. Zur Minimierung der Massen von Aushub und Bodenaustausch empfiehlt sich die Verfestigung des feinkörnigen Decklehmes mit einem Bindemittel aus Feinkalk oder Kalkhydrat [10]. Zur Reduktion des geschätzt 2 bis 3% zu hohen Wassergehaltes des Decklehmes empfiehlt sich eine Bindemittelzugabe von etwa 3 bis 5 kg/m² bezogen auf eine 20 cm mächtige Verfestigung. Die Bodenverfestigung ist im Druckausbreitungsbereich von 45° ab den unteren Außenkanten des Oberbaus (also mit mind. 30 cm Überstand) herzustellen. Zur Verhinderung von im Oberbau eingestautem Oberflächen- und Sickerwasser in der überwiegend sehr schwach durchlässigen Bodenumgebung empfiehlt sich eine Dränung.

Bei der OK Bodenverfestigung und bei der OK Frostschutzschicht empfiehlt sich eine Verdichtungskontrolle mit Eignungsprüfungen (vor der flächenhaften Ausführung), Eigenüberwachungsprüfungen (während der Ausführung durch den Auftragnehmer) und Kontrollprüfungen (während der Ausführung durch den Auftraggeber) [7]. Das jeweilige Verfahren und die jeweilige Methode zur Prüfung sollten in einer für den Projektablauf günstigen Art erfolgen.

4.3 Ausführung von Baugruben

Die Baugrubensohle der Erschließungsstraße liegt auf 0,8 m u. GOK. Dabei grenzt die Baugrube unmittelbar an die nördliche und südliche Grundstücksgrenze, von der westlichen Grundstücksgrenze ist die Grube rund 10 m entfernt. Die Baugrubensohlen von nicht-unterkellerten Betriebsgebäuden liegen auf etwa 1,5 m u. GOK, die Sohlen von unterkellerten Gebäuden auf etwa 3,5 m u. GOK. Aufgrund der nicht vorhandenen Detailplanung der Betriebsgebäude kann die Lage deren Baugruben im Grundstücksbereich nicht näher beschrieben werden.

Die herzustellenden, 0,8 bis 3,5 m hohen Böschungen liegen ab der UK Mutterboden bis etwa 1,5 m u. GOK in einem weichen Decklehm (Bodengruppen UM/ TM) und bis 3,5 m u. GOK in einem weichen Till (Bodengruppen UL/ TL/ UM/ TM). Im Grundstücksbereich ist mit oberflächennahem, drückendem Grundwasser zu rechnen, sodass v. a. die Baugrubensohlen von unterkellerten Betriebsgebäuden unterhalb des Grundwasserspiegels liegen. Dabei ist aufgrund der tlw. nur sehr schwach durchlässigen Schichten mit gespanntem Grundwasser unterhalb der Baugrubensohlen zu rechnen.

4.3.1 Sicherheit gegen Böschungsbruch

Für die Sicherheit der Baugruben gegen Böschungsbruch werden die Maßnahmen in der Tab. 13 empfohlen.

Projektteil	Aushubsohle (m u. GOK)	Böschungshöhe [m]	Maßnahme
Erschließungsstraße	0,8	0,8	Senkrechte Böschung ohne Verbau mit Mindestabstand 2,00 m von Böschungskante zu Außenkante Verkehr nach [DIN 4124]
Nicht-unterkellertes Betriebsgebäude	1,5	1,5	45°-Böschung ohne Verbau mit Mindestabstand 2,00 m von Böschungskante zu Außenkante Verkehr nach [DIN 4124]
Unterkellertes Betriebsgebäude	3,5	3,5	45°-Böschung ohne Verbau mit Mindestabstand 2,00 m von Böschungskante zu Außenkante Verkehr nach [DIN 4124] mit Nachweis Sicherheit gegen Böschungsbruch

Tab. 13 Maßnahmen für die Sicherheit der Baugruben gegen Böschungsbruch.

Die 0,8 m tiefe Baugrube der Erschließungsstraße ermöglicht aufgrund des anstehenden Schichtenprofils senkrechte Böschungen ohne einen Verbau. Dabei ist auf den Mindestabstand von 2,00 m der Böschungskanten zu den Außenkanten der umliegenden Verkehrsaufstandsflächen zu achten (v. a. im Anbindungsbereich der Kreisstraßen, ggf. durch Teilspernung der betroffenen Verkehrsflächen). Die etwa 1,5 m tiefen Baugruben von nicht-unterkellerten Betriebsgebäuden erfordern aufgrund des anstehenden Schichtenprofils 45°-Böschungen ohne einen Verbau.

Auch die etwa 3,5 m tiefen Baugruben von unterkellerten Betriebsgebäuden können aufgrund des anstehenden Schichtenprofils mit 45°-Böschungen ohne einen Verbau gestaltet werden. Weil die Böschungen unter der Einwirkung von Grundwasser stehen, sollte für die Baugrubenböschungen von unterkellerten Gebäuden ein rechnerischer Nachweis deren Sicherheit gegen Böschungsbruch geführt werden.

Allfällig in der Baugrubenbeschreibung in Kap. 4.3 nicht berücksichtigten Rahmenbedingungen (z. B. Böschungshöhen > 3,5 m, nahegelegener Gebäudebestand) ist bei der Böschungsgestaltung nach ([DIN 4123], [DIN 4124] Rechnung zu tragen.

4.3.2 Sicherheit gegen Wasser

Für die Sicherheit der Baugruben gegen Wasser werden die Maßnahmen in der Tab. 14 empfohlen.

Projektteil	Aushubsohle (m u. GOK)	Bemessungswasserstand	Maßnahme
Erschließungsstraße	0,8		Abdeckung der Aushubsohlen gegen Aufweichen
Nicht-unterkellertes Betriebsgebäude	1,5		Wärmedämmende Abdeckung der Aushubsohlen gegen Frost
Unterkellertes Betriebsgebäude	3,5	ab 616,0 m üNN: drückendes Grundwasser oberhalb 616,0 m üNN: nicht stauendes Sickerwasser	Geschlossene Wasserhaltung zur Grundwasserentspannung gegen Hydraulischen Grundbruch Abdeckung der Aushubsohlen gegen Aufweichen Wärmedämmende Abdeckung der Aushubsohlen gegen Frost

Tab. 14 Maßnahmen für die Sicherheit der Baugruben gegen Wasser.

Vor allem die Baugrubensohlen von unterkellerten Betriebsgebäuden liegen tlw. unterhalb des Grundwasserspiegels, zudem ist dabei mit gespanntem Grundwasser zu rechnen. Dadurch besteht das Risiko eines Hydraulischen Grundbruches, weshalb neben der ohnehin erforderlichen Grundwasserspiegelabsenkung Maßnahmen zur Grundwasserentspannung parallel zum Aushubbeginn notwendig sind. Hierzu eignet sich die vorzeitige Errichtung von Vertikaldränungen oder Entspannungsbrunnen. Das den Dränungen oder Brunnen zufließende Grundwasser kann dann ähnlich einer Geschlossenen Wasserhaltung bis zum erforderlichen Niveau durch Abpumpen abgesenkt werden. Aufgrund der Grundwasserspiegelabsenkung sind Setzungsschäden am umliegenden Gebäudebestand möglich (Beweissicherung am Bestand empfohlen).

4.3.3 Verwertung und Entsorgung von Aushub

Aufgrund der durchgeführten Analytik sind der Decklehm bis 1,7 m u. GOK und der unterhalb anstehende Till (überwiegend bindiges Moränenmaterial) ein Bodenmaterial der Klasse Z-0. Es empfiehlt sich, den Bodenaushub aus diesen Schichten als Z-0-Verfüllmaterial ohne weiter führende Haufwerks-Deklarationen zu verwerten. Hierzu ist die Erfüllung der Z-0-Materialanforderungen für die gesamte Aushubmenge durch eine verantwortliche Person zu bestätigen (mit Verantwortliche Erklärung/ Annahmeerklärung) [5]. Bei Hinweisen auf Belastungen (z. B. mineralische/ nicht-mineralische Fremdbestandteile) ist der betroffene Aushub zwischenzulagern und einer Haufwerks-Deklaration zu unterziehen.

4.4 Ausführung von Erdarbeiten

Für die Ausführung von Erdarbeiten werden die Maßnahmen in der Tab. 15 empfohlen.

Projektteil	Aushubsohle (m u. GOK)	Schicht	Maßnahme
Erschließungsstraße	0,8	Decklehm der Bodengruppen UM/ TM, weich	Schonender Aushub und minimales Befahren der Aushubsohlen
Nicht-unterkellertes Betriebsgebäude	1,5	Till der Bodengruppen UL/ TL/ UM/ TM, weich	Schonender Aushub und minimales Befahren der Aushubsohlen Nachverdichtung der Aushubsohlen bei Platte: Einbau einer filterstabilen Schicht/ eines Baustellenvlieses
Unterkellertes Betriebsgebäude	3,5	Till der Bodengruppe UL, steif – halbfest	bei Platte: Einbau des Bodenaustausches in max. 30 cm mächtigen Schüttlagen, verdichtet auf $E_{v2} \geq 100 \text{ MN/m}^2$ $E_{v2}/ E_{v1} \leq 2,3$

Tab. 15 Maßnahmen für die Ausführung von Erdarbeiten.

Zur Verhinderung einer Einwanderung des anstehenden, überwiegend feinkörnigen Bodens in den Bodenaustausch von Platten ist an deren Kontakt zum anstehenden Boden eine filterstabile Schicht oder ein Baustellenvlies einzubauen. Als Bodenaustausch werden Baustoffe der Bodengruppen GW und GU mit einem Schlammkornanteil von < 8% Massenanteil aufgrund deren guten Verdichtbarkeit empfohlen. Für den Bodenaustausch von unterkellerten Betriebsgebäuden sollten ausschließlich natürliche Mineralstoffe aufgrund deren Einbindung in das Grundwasser verwendet werden [4]. Für den Bodenaustausch von nicht-unterkellerten Gebäuden eignen sich auch Recycling-Baustoffe der Kategorie RW1 bis 10.000 m³ (zulässiges Volumen für das gesamte Grundstück) aufgrund der Lage des Grundstückes außerhalb von Trinkwasser- und Heilquellenschutzgebieten und der Aushubsohlen oberhalb des Wasserstandes MHGW. Für die Recycling-Baustoffe sind die bautechnische und wasserwirtschaftliche Eignung nachzuweisen (u. a. Beständigkeit der hergestellten Körnungen).

Die Aushubsohlen und die untersten Schüttlagen sind zur Schonung der Aushubsohlen ausschließlich statisch zu verdichten, die oberhalb folgenden Lagen können statisch und dynamisch verdichtet werden. Bei einer dynamischen Verdichtung sollten die Amplitude und Frequenz so eingestellt werden, dass keine schädlichen Erschütterungsimmissionen auf den umliegenden Bestand resultieren [10].

4.5 Versickerung von Oberflächen- und Dränwasser

Die Möglichkeit der Versickerung von Oberflächen- und Dränwasser im Schichtenprofil ist in der Tab. 16 zusammengestellt.

Höhe Grenze	Schicht	Wasserdurchlässigkeitsbeiwert k_f	Versickerung	Maßnahme
(m u. GOK)		[m/s]		
bis 1,7	Decklehm der Bodengruppen UM/ TM	$\leq 10^{-8}$	nicht möglich	-
bis 4	Till der Bodengruppen UL/ TL/ UM/ TM	$\leq 10^{-6} - 10^{-4}$	nicht möglich	-
ab 3 bis 4	Till der Bodengruppe UL	$\leq 10^{-6}$	nicht möglich	-

Tab. 16 Versickerungsmöglichkeit im Schichtenprofil.

Die bis 5,0 m u. GOK/ bis 607,0 m üNN erkundeten Schichten sind bei geschätzt $k_f \leq 10^{-6}$ m/s überwiegend sehr schwach bis schwach durchlässig. Somit ist im Schichtenprofil bis zu der untersuchten Tiefe keine Versickerungsmöglichkeit gegeben.

5. Schlussbemerkung

Die auf den punktuellen Untersuchungen fußende Baugrundbeschreibung und -bewertung lassen für die nicht untersuchte Projektfläche nur Wahrscheinlichkeitsaussagen zu. Daher sind die Baugrundbeschreibung und -bewertung zumindest für die gesamte Fläche der Aushubsohlen v. a. der Betriebsgebäude oder optimalerweise durch eine weiter reichende, auf das konkrete Projekt abgestimmte Baugrunderkundung durch einen Baugrundsachverständigen zu verifizieren. Der Autor haftet nicht für die Folgen aus nicht mitgeteilten Abweichungen von der Baugrundbeschreibung und -bewertung im vorliegenden Bericht.

Dieser Bericht darf ohne die Zustimmung des Autors weder ganz noch auszugsweise vervielfältigt und veröffentlicht werden. Die Baugrundbeschreibung und -bewertung beziehen sich ausschließlich auf das im vorliegenden Bericht spezifizierte Projekt. Der Autor haftet nicht für die Folgen aus einer ungenehmigten Vervielfältigung und Veröffentlichung sowie aus nicht mitgeteilten Abweichungen von der Projektbeschreibung im vorliegenden Bericht.

Gangkofen, den 03.03.2022

Geologe R. Füchsl (MSc)

[Anlage 1] GEOLOGE R. FÜCHSL (MSc) (03.03.2022): Aufschlussdokumentation.
Gangkofen.

[Anlage 2] AGROLAB LABOR GMBH (03.03.2022): Prüfberichte zur Analytik. Bruckberg.