

IKG KOMPASS81

**Bodenmechanische und umweltgeologische
Anforderungen an die geplanten Bodenauffüllungen im
2. Bauabschnitt des interkommunalen Gewerbegebiets
KOMPASS81 in Empfingen**

– Entwurf –

Stand: 08.11.2021, aktualisiert 21.03.2023

Hydrogeologisches Büro Thomas Reichel

HTR	KOMPASS81	Anforderungen Bodenauffüllungen
-----	-----------	---------------------------------

1. Einleitung und Grundlagen | Dammschüttungen und Geländeauffüllungen

Für die geplante Verfüllung des Westbereichs von zwei Geländemulden im Norden des IKG KOMPASS81 (2. BA) in Empfingen werden große Bodenmassen benötigt. Die Verfüllungen umfassen zwei mächtige Straßendammschüttungen für die geplante Innere Erschließungsstraße und die östliche Randumgehungsstraße. Die Baufelder zwischen den zwei Straßendämmen werden ebenfalls im Zuge der großvolumigen Geländeverfüllungen bis ca. -2,0 m u. Fertig-GOK aufgefüllt. Die Geländeverfüllungen sollen mit Bodenaushub von größeren Baumaßnahmen o.ä. durchgeführt werden.

2. Anforderungen an das Schütt- und Auffüllmaterial

2.1 Bodenmechanische Anforderungen / Bodenverbesserung

Es ist geplant, die Dammschüttungen und Geländeauffüllungen mit kostengünstigem Bodenaushub aus großen, möglichst nahe gelegenen Baumaßnahmen durchzuführen. Geeigneter Bodenaushub, der bei den Erschließungsarbeiten selbst anfällt¹, wird ebenfalls in den Dammschüttungen mit eingebaut.

Auf den Auffüllungen werden später qualifizierte Gewerbe- und Industriebauten gegründet. Des Weiteren verlaufen die beiden Erschließungsstraßen sowie Kanäle und Leitungen teilweise in den Auffüllungszonen. Es wird daher empfohlen, die angelieferten Böden fachgerecht mit leistungsfähigen Bodenfräsen zu homogenisieren und mit einem hydraulischen Mischbindemittel fachgerecht zu verbessern (siehe unten), um Sackungen und Langzeitsetzungen in den Auffüllungen auf ein Minimum zu begrenzen.

Es wird empfohlen, auch das gesamte Erd-/Rohplanum nach dem Abschieben des Mutterbodens und dem Ausräumen von nicht tragfähigen Böden mindestens 40-50 cm stark, wie unten beschrieben, mit einem hydraulischen Spezial-Mischbindemittel zu verbessern. Diese Maßnahme kann entfallen, wenn auf dem Erdplanum bereits halbfels- oder felsartige Böden angetroffen werden (z.B. im Norden und Nordosten der Erschließungsmaßnahme).

Durch die Bodenverbesserungsmaßnahmen ergeben sich, insbesondere auch bei der Verarbeitung von bindigen Feinsand-, Schluff-, Lehm- und Tonmergelböden, die folgenden bodenmechanischen und bautechnischen Vorteile:

1. Homogenisierung und Verbesserung der Verdichtbarkeit der angelieferten Böden
2. Starke Zunahme der Festigkeit und Tragfähigkeit der Böden (z.B. E_{v2} -Modul)
3. Verringerung der Wasser-, Witterungs- und Frostempfindlichkeit der Böden
4. Minimierung von Setzungen und Langzeitsetzungen
5. Es kann auch bei relativ nasser Witterung weiter gebaut werden
6. Einsparpotentiale bei den Schottermassen für Tragschichten und mineralische Unterbauten

¹ Einschnittsbereiche im Süden, Kanal- und Leitungsgrabenaushub etc.

HTR	KOMPASS81	Anforderungen Bodenauffüllungen
-----	-----------	---------------------------------

Empfohlene Bodenverbesserung für die Bodenauffüllungen im Bereich der beiden Geländemulden im 2. Bauabschnitt des IKG KOMPASS81:

- Hydraulisches Spezialbindemittel: DOROSOL (Pro) C30-C50 o. glw. Der Zementgehalt des Bindemittels ist abhängig vom Ton- und Wassergehalt der angelieferten Böden (siehe hierzu auch unser Papier „Empfehlungen zu Bodenverbesserungsmaßnahmen im IKG KOMPASS81“)
- Maximale Stärke der einzelnen Einbaulagen: ca. 40-50 cm
- Zuschlagsmenge: ca. 40-50 kg/m³; bei starker Vernässung der Böden ca. 60-70 kg/m³
- Bei bauzeitlicher Trockenwetterlage oder zu „trocken“ angelieferter Böden, müssen die Einbaulagen ausreichend bewässert werden. Die Kosten für die Bewässerung sind von den Bietern in die Preise der entsprechenden LV-Positionen mit einzukalkulieren.

Nicht geeignet für die Straßendammschüttungen und Geländevertüfflungen sind:

1. Organogene und stärker humose Böden, wie Mutterböden, Rohhumus, anmoorige oder torfige Böden, Mudden etc. (Bodengruppen nach DIN 18196: OT, OU, OH, HN/HZ u.ä.)
2. Breiige oder fließende Böden der Bodenklasse Bkl. 2 nach DIN 18300.
3. Blockführende oder sehr grobsteinige Böden, wenn sie nicht zuvor fachgerecht gebrochen oder aufbereitet worden sind.
4. **Sulfat- oder sulfidhaltige Böden bzw. Böden mit Gips-, Anhydrit- oder Sulfidführung** (siehe Bemerkungen unten). Der Sulfatgehalt muss <3,0 g/kg in der Boden-Trockensubstanz betragen, was durch chemische Analysen nachgewiesen werden muss.
5. Belastete Böden mit Materialgrenzwerten >BM-0*/BG-0* nach der neuen Mantel- bzw. Ersatzbaustoffverordnung (gültig ab 01.08.2023) und/oder Zuordnungswerten ≥Z2 nach der aktuellen VwW-Boden (Tab. 6.1). Siehe hierzu auch Kapitel 2.2.
6. Ansonsten sind viele Böden für Bodenverbesserungsmaßnahmen brauchbar. Entscheidend ist die Einhaltung der in Kapitel 2.1 und Tabelle 1 angegebenen Qualitätsanforderungen.

Bemerkungen zu Quellhebungen in sulfathaltigen Böden durch Ettringitbildung:

Nach neueren Erkenntnissen kommt es beim Einsatz von Bodenverbesserungsmitteln, wie z.B. hydraulischen Spezial- und Mischbindemitteln (z.B. DOROSOL o.ä.), in sulfathaltigen Böden (Sulfate aus Gips und Anhydrit) und sulfidhaltigen Böden (Sulfid bzw. zu Sulfat oxidiertes Sulfid, z.B. aus Pyrit in Schwarzschiefern) zu erheblichen Quellerscheinungen² durch Mineralneubildungen (Quellhebung durch *Ettringit*-Neubildung).

Die Neubildung des Minerals *Ettringit* findet durch eine Reaktion von Sulfaten (z.B. im Baugrund geogen vorhanden → Gips, seltener Anhydrit oder Sulfid/Pyrit) mit freien Kalziumionen Ca²⁺ statt. Freie Kalziumionen sind sowohl in Zementen als auch in Weißfeinkalk vorhanden, so dass weder Zemente, hydraulische Mischbindemittel (z.B. Dorosol) noch Weißfeinkalk in stärker sulfat- oder gipshaltigen Böden zur Bodenverbesserung eingesetzt werden dürfen.

Als Grenzwerte für eine Ettringit-Gefährdung (Bodenverbesserung) und für Edelstahlkorrosion gelten Sulfatgehalte von 3,0 g/kg in der Boden-Trockensubstanz sowie elektrische Leitfähigkeiten (Lf) des Bodensättigungsextraktes von 200 µS/cm.

² z.B. bekannte Schadensfälle aus dem Raum Stuttgart bei Straßenbauarbeiten im Gipskeuper (km1)

HTR	KOMPASS81	Anforderungen Bodenauffüllungen
-----	-----------	---------------------------------

An die Geländeauffüllungen und die Straßendammschüttungen werden die folgenden bodenmechanischen Qualitätsanforderungen gestellt:

Einbauposition	Verformungsmodul E_{v2}	E_{v2}/E_{v1} -Verhältniswert (Verdichtungsgrad)	Proctordichte D_{Pr}
0,5 m bis 1,5 m über Sohle Geländemulde	$\geq 80 \text{ MN/m}^2$	$\leq 2,3$	$\geq 98\%$
$\geq 1,5 \text{ m}$ über Sohle Geländemulde	$\geq 100 \text{ MN/m}^2$	$\leq 2,2$	$\geq 100\%$
Bei $\geq 5,0 \text{ m}$ Auffüllhöhe → Anforderung an die oberste Lage	$\geq 120 \text{ MN/m}^2$	$< 2,2$	$\geq 103\%$

Tabelle 1: Qualitätsanforderungen an die Dammschüttungen und Geländeauffüllungen nach Durchführung der empfohlenen Bodenverbesserungsmaßnahmen

Bemerkungen und Hinweise zu der Tabelle 1:

1. Im Lastabtragungsbereich von Bauwerken oder in Schwerlastverkehrsbereichen sind die in der Tabelle 1 genannten Mindestanforderungen zwingend einzuhalten. In weniger qualifizierten Bereichen, z.B. begrünte Außenanlagen, können die Werte nach Zustimmung der Bauleitung um 20% unterschritten werden.
2. Die in der Tabelle 1 angegebenen E_{v2} -Moduli gelten unter der Voraussetzung, dass in Verkehrsbereichen eine nach der aktuellen ZTVE / RStO dimensionierte Schottertrag- und Frostschuttschicht (KFT) eingebaut wird.
3. Für die geplanten Gewerbe- und Industriebauten müssen an jedem Standort Baugrunduntersuchungen durchgeführt und bauwerksspezifische Boden- und Gründungsgutachten erstellt werden.

Entscheidend für die qualitative Bewertung der Geländeauffüllungen ist der Verformungsmodul E_{v2} und der Verdichtungsgrad (E_{v2}/E_{v1} -Verhältniswert), welcher mit statischen Plattendruckversuchen nach DIN 18134-300 nachgewiesen werden muss (Fremdkontrolle, ggf. auch Eigenkontrolle).

Die Tragfähigkeit der einzelnen Einbaulagen muss durch die bauausführende Firma stichprobenartig mit dem Leichten Fallgewichtsgesetz (dynamischer Plattendruckversuch), dem statischen Plattendruckgerät nach DIN 18134-300 und/oder mittels automatischer Verdichtungs- und Kontrollsysteme mit kontinuierlicher Aufzeichnung der Verdichtungs- bzw. Verformungswerte (z.B. Walzenzug, Polygonwalze) nachgewiesen und dokumentiert werden (Eigenkontrolle). Die Prüfprotokolle sind der Bauleitung in schriftlicher und digitaler Form zur Verfügung zu stellen.

Die Lagerungsdichte und die Tragfähigkeit mächtigerer Geländeauffüllungen mit $\geq 4,0 \text{ m}$ Stärke muss zusätzlich (stichprobenartig) mit Rammsondierungen nach DIN 4094 (MRS / SRS) über die gesamte Einbauhöhe geprüft und nachgewiesen werden.

HTR	KOMPASS81	Anforderungen Bodenauffüllungen
-----	-----------	---------------------------------

2.2 Abfallrechtliche und umweltgeologische Anforderungen

Die neue Mantelverordnung³ tritt am 01.08.2023 in Kraft. In der Verordnung werden erstmalig bundeseinheitliche, rechtsverbindliche Regelungen für die Herstellung und den Einbau mineralischer Ersatzbaustoffe und für die Verwertung von Materialien in Verfüllungen, Abgrabungen und Tagebauen sowie von Schadstoffgrenzwerten festgelegt. Die neue Mantelverordnung wird somit für die bauliche Erschließung des IKG KOMPASS81 rechtsverbindlich sein (Baubeginn ca. 2024/2025). Dies gilt insbesondere auch für die geplanten mächtigen Dammschüttungen für die Innere und Äußere Erschließungsstraße im Norden des IKG und die Geländeauffüllungen zwischen den beiden Straßendämmen. Die abfallrechtlichen und umweltgeologischen Anforderungen an das Verfüllmaterial werden daher hauptsächlich nach der neuen Mantelverordnung definiert⁴ und ggf. um projektspezifische Anforderungen ergänzt.

Für Geländeverfüllungen im Zuge von Baulanderschließungen wurden bisher überwiegend Böden der Materialqualitäten Z 0 und Z 0* nach VwV-Boden bzw. Böden mit den ungefähr vergleichbaren Materialgrenzwerten BM-0/BG-0 nach der aktuellen Mantel- bzw. Ersatzbaustoffverordnung bevorzugt. Aufgrund des immer knapper werdenden Deponieraums für Z1/Z2- bzw. \geq BM-0*/BG-0* Bodenmaterialien, ist es nach unserer Einschätzung jedoch sinnvoll und vertretbar, für die geplanten Verfüllungen auch Böden mit höheren Materialgrenzwerten zuzulassen.

Im Folgenden hierzu unsere vorläufigen Empfehlungen für die zulässigen Material- bzw. Bodenqualitäten aus abfallrechtlicher und umweltgeologischer Sicht:

1. Belastete Böden mit Materialgrenzwerten $>$ BM-0*/BG-0* nach der neuen Mantel- bzw. Ersatzbaustoffverordnung und/oder Zuordnungswerten \geq Z2 nach der aktuellen VwV-Boden dürfen nicht eingebaut werden. Dies sind vorläufige Vorschläge für Materialgrenzwerte, die eng mit den Genehmigungsbehörden abgestimmt werden müssen.
2. Sulfatgehalte (SO₄) von 3,0 g/kg in der Boden-Trockensubstanz (TS) dürfen nicht überschritten werden.
3. Eine elektrische Leitfähigkeit (Lf) des Bodensättigungsextraktes⁵ von 200 μ S/cm darf nicht überschritten werden, außer der Sulfatgehalt (SO₄) im Feststoff liegt unter 3,0 g/kg (TS), dann gilt $Lf \leq 350$ oder ≤ 500 μ S/cm als Grenzwert.
4. Für die Geländeauffüllungen sollten bevorzugt Böden aus natürlicher Lagerung („gewachsene Böden“) verwendet werden, welche vor dem Einbau zeitnah angeliefert/gelöst oder fachgerecht auf der Baustelle gelagert wurden. Die Herkunft der Böden muss in jedem Falle bekannt sein und dokumentiert werden.
5. Sensorisch oder visuell auffällige Böden (auffälliger Geruch, unnatürliche Verfärbungen u.a.) oder Bodenmaterial mit nicht mineralischen Fremdbestandteilen ≥ 3 Vol.%, wie Folien, Styropor, Kunststoff(rest)en, Metallen, Blech o.ä. dürfen nicht eingebaut werden.
6. Bauschutt, insbesondere Gips-Putzreste sind ebenfalls nur in geringem Umfang zulässig (s.o). Ausnahme: kleinstückiger Betonbruch.

³ Siehe Bundesgesetzblatt Jahrgang 2021 Teil I Nr. 43 vom 16. Juli 2021: „Verordnung zur Einführung einer Ersatzbaustoffverordnung, zur Neufassung der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung und zur Änderung der Deponieverordnung und der Gewerbeabfallverordnung“ vom 09. Juli 2021

⁴ Untersuchungspakete, Schadstoffgrenzwerte bzw. Materialwerte

⁵ Bodensättigungsextrakt bestimmt im S4-Eluat nach DEV S4 –Schüttelverfahren (DIN 38414, Teil 4), Schüttelverfahren WF 10:1 (S4) nach BBodSchV 1999

HTR	KOMPASS81	Anforderungen Bodenauffüllungen
-----	-----------	---------------------------------

7. Es wird empfohlen, die Bodenauffüllungen aus möglichst wenigen Quelle zu beziehen (Großbaustellen), um einen möglichst gleichförmigen Schüttkörper mit ähnlichen bodenmechanischen und bodenchemischen Eigenschaften zu erhalten.

Empfehlungen zu Probenahme und chemischen Untersuchungsprogrammen:

1. Die zum Wiedereinbau in dem Gewerbegebiet KOMPASS81 vorgesehenen Böden müssen an der Quelle ihrer Entstehung (z.B. Bodenaushub einer Großbaustelle), d.h. vor der Anlieferung in Empfangen, fachgerecht beprobt werden (siehe Pkt. 2).
2. Die Probenahme muss nach der neuen Mantel- und Ersatzbaustoffverordnung (MantelV / ErsatzbaustoffV) sowie der aktuellen Bundesbodenschutzverordnung (BBodschV) durchgeführt werden. In Ausnahmefällen ist, in Absprache mit dem Auftraggeber, auch eine Beprobung nach der aktuellen LAGA PN 98 / M 20 zulässig.
3. Probenanzahl und Untersuchungsumfang erfolgt gemäß BBodschV oder LAGA PN 98 / M 20 in Abhängigkeit vom angelieferten Volumen bzw. vom Haufwerksvolumen auf der Lieferbaustelle. Es ist insbesondere auf die ausreichende Anzahl von Einzel-, Misch- und Laborproben gemäß der o.g. Vorschriften und Richtlinien zu achten.
4. Vorgeschlagenes Untersuchungspaket: Untersuchungsprogramm für mineralische Ersatzbaustoffe (MEB) BM-0*/BG-0* nach ErsatzbaustoffV Anlage 1, Tabelle 3: Materialwerte für Bodenmaterial und Baggergut. Ggf. zusätzliche Stichprobenuntersuchungen nach VwV Boden, Tab. 6.1.
5. Die chemischen Analysen und die Probenahmen müssen gemäß der aktuellen ErsatzbaustoffV und BBodschV von zertifizierten Probenehmern und Laboren durchgeführt werden.
6. Die Ergebnisse der Bodenuntersuchungen müssen dem AG in einem Bericht, einschließlich Probenahmeprotokoll (PNP), Probenaufbereitungsprotokoll und Bewertung der Untersuchungsergebnisse (Gesamteinstufungen) vor der Anlieferung in Empfangen zur Verfügung gestellt werden.

Abkürzungen:

BBodschV:	Bundesbodenschutzverordnung
DepV:	Deponieverordnung
ErsatzbaustoffV:	Neue Ersatzbaustoffverordnung (rechtsgültig ab 01.08.2023)
LAGA:	Länderarbeitsgemeinschaft Abfall
MantelV:	Neue Mantelverordnung (rechtsgültig ab 01.08.2023)
VwV:	Verwaltungsvorschrift von Baden-Württemberg

HTR	KOMPASS81	Anforderungen Bodenauffüllungen
-----	-----------	---------------------------------

Aufgestellt: Rottenburg, 08.11.2021, aktualisiert 21.03.2023 TR/HTR

Hydrogeologisches Büro Thomas Reichel (HTR)

Herrengarten 13

72108 Rottenburg

Tel: 07472-9623-498

Fax: 07472-9623-500

Mobil: 0172-8849040

Email: HTR.Reichel@t-online.de

Hydrogeologisches Büro

Dipl.-Geologe Thomas Reichel
Herrengarten 13

72108 Rottenburg-Kiebingen

Tel.: 07472-9623-498, Fax -500

HTR.Reichel@t-online.de



.....
(Dipl.-Geol. Thomas Reichel