

## Anlage A24 – Sanierung von Karsthohlräumen (Auszug aus der Ausschreibungsplanung)

Tabelle 1 zeigt Details zu den bis dato detektierten und planungsrelevanten Karsthohlräumen. Es sei darauf hingewiesen, dass sich die Anzahl an Strukturen während der Bauausführung erweitern kann (ggf. Fortschreibung 3D Untergrundmodell).

Tabelle 1: Geometrische Karsthohlraumdetails

Karthohlraum Bezeichnung	Koordinaten		Höhenlage Hohlraum	Höhenlage	Felshöhe	Fels Überlagerung	Größe Hohlraum		Hohlraum Volumen
	[#]	x	y	[m.ü.NN]	Bekensohle	[m.ü.NN]	[m]	max.Ø [m]	min.Ø [m]
KH-1	678268	5483834	539,8	560,0	548,0	8,2	6	5	100
KH-2	678271	5483791	542,2	560,2	556	13,8	5	4	50
KH-3	678209	5483765	540,1	560,8	553	12,9	4	3	30
KH-4	678300	5483702	555,5	560,1	558,0	2,5	20	4	700
KH-5	678352	5483672	555,6	559,7	559,0	3,4	18	12	1100
KH-6	678375	5483648	555,6	559,7	558,0	2,4	10	6	600
KH-7	678384	5483653	555,0	559,7	559,0	4,0	11	6	450
KH-8	678295	5483613	554,0	560,0	559,0	5,0	15	2	360
KH-9	678307	5483623	552,7	559,9	557,0	4,3	5	5	60
KH-10	678323	5483623	554,0	560,0	558,0	4,0	10	8	230
KH-11	678364	5483625	555,0	560,0	558,0	3,0	15	2	430
KH-12	678382	5483613	557,4	560,0	559,1	1,7	3	3	20
KH-13	678412	5483623	554,0	560,0	556,0	2,0	8	8	760
KH-14	678370	5483590	555,8	560,0	559,2	3,4	9	5	150
KH-15	678285	5483564	550,0	560,1	557,0	7,0	20	7	500
KH-16	678407	5483539	555,0	560,6	559,3	4,3	10	2	220
KH-17	678179	5483539	556,0	560,9	559,0	3,0	14	1	120
KH-18	678198	5483531	550,8	560,8	556,1	5,3	4	4	30
KH-19	678188	5483504	552,2	561,0	555,0	2,8	12	5	150
KH-20	678294	5483513	556,1	560,5	558,3	2,2	13	1	90
KH-21	678374	5483485	555,0	560,9	559,3	4,3	15	4	500
KH-22	678394	5483456	551,2	561,2	559	7,8	3	3	20
KH-23	678323	5483353	544,4	561,7	557	12,6	4	3	30
Übergangsbereich	zwischen Versturzone und Fels								
Außerhalb Versturzone									

Vor Ausführung der Karsthohlraumverfüllungsarbeiten muss in einem Probefeld (an repräsentativen Karsthöhlen) die Eignung der vorgesehenen Verbesserungsmaßnahmen sowie Materialien verifiziert und gegebenenfalls angepasst werden.

### 1.1.1 Karsthohlräume außerhalb der Versturzone

Planungsrelevante Karsthohlräume die im 3D Untergrundmodell ausgewiesen wurden und am Plan HAP-OB-AS-033 in lila dargestellt sind, sind ordnungsgemäß, folgenden den im Nachhinein beschriebenen Arbeitsschritten zu behandeln/verfüllen. Sollten weitere Karststrukturen während der Bauausführung angetroffen werden sind diese nach Abstimmung mit dem AG zu behandeln. Die Karsthohlräume außerhalb der Versturzone sind im Sinne der statischen Sicherheit zu verbessern, die Felsbrücke oberhalb des Hohlraums muss gegen Verbruch gesichert werden.

#### 1.1.1.1 Arbeitsschritte Karsthohlraumbehandlung

- Abteufen von mindestens 2 Bohrlöchern (Durchmesser 150 mm, mindestens ein Bohrloch für Befüllung, ein weiteres für Entlüftung/Kontrolle, Abbildung 1), welche die definierten Karsthohlräume erreichen (variable Tiefe, i.d.R. <15 m- vergleiche Tabelle 1),
  - Erstes Loch zur Erkundung
  - Weitere Bohrlöcher bei Hochpunkten der Karsthohlraumdecke soweit möglich
- Die Bohrungen werden erwartungsgemäß teilweise das Lockergestein sowie teilweise den Felsen (Kalkstein) durchörtern. Die Bohrungen sollten als

Rotation Bohrungen ohne Kerngewinn, mit Luft oder Wasser Spülung gebohrt werden. Nach Beendigung der Bohrung, sollte ein Mantelrohr platziert werden, um das Zusammenbrechen des Bohrlochs zu vermeiden.

- Durch jedes Bohrloch ist mittels Laserscanner die erbohrte Karststruktur auf ein potentiell Leervolumen (bzw. Teilverfüllung) zu untersuchen. Dieses ist bei Vorhandensein volumenmäßig nachvollziehbar abzuschätzen. Vor Betonage ist der Karsthohlraumboden zu scannen und mögliche Risse, Abläufe zu weiteren Hohlräumen, etc. zu detektieren.
- Anschließend ist eine gravitative Verfüllung mit Beton auszuführen. Es ist darauf zu achten, dass das eingefüllte Volumen jenem des abgeschätzten Hohlraumvolumens entspricht.

#### 1.1.1.1.1 Ablauf Betonverfüllung

- Betonierertest auf der Baustelle (Betonarten, Abbindeversuche, Fließfähigkeitstests, etc.)
- Permanente Kontrolle der Betoneinbringung mit Endoskopen (teleskopierbare und schwenkbare Kameras inklusive Beleuchtung) baubegleitend oder ähnlich geeignete Kontrollmethode
- Betonierbegleitung durch Betontechnologen (Experten) vor Ort
- Erste Betonschicht als Verschluss/Blocker für mögliche Risse
  - Betonsorte C12/15/GK22/F6/X0 (eventuell mit Abbindebeschleuniger vor Ort wenn erforderlich)
  - Einbringung mit DN150 (abzustimmen auf Rotationsbohrungsdurchmesser) Betonierrohr, dessen unteres Ende zu Beginn 30 cm über Karsthohlraumboden sich befindet und sukzessive gezogen wird (Einfüllen in Betonierrohr mit lokalem Turm und Betonpumpe).
  - Schichtweise Einbringung und Beobachtung mit Endoskop
  - Bei Vermutung oder Detektion dass Beton in Karstspalte entweicht oder nicht steigender Betonoberfläche bei kontinuierlicher Einbringung von Beton, Rücksprache mit AG  
mögliche Maßnahme: vor Ort Abbindebeschleuniger zusetzen, sodass Beton ähnliche Abbindeigenschaften wie Spritzbeton aufweist.
  - Nach Verfüllung Boden Umstellung des Betons
- Weiter Betonschichten als Hohlraumverfüllung
  - Betonsorte C12/15/GK32/F5/X0 (Größtkorn kann auf GK22 reduziert oder auf GK64 erhöht werden wenn wirtschaftlicher)
  - Einbringung mit DN150 (abzustimmen auf Rotationsbohrungsdurchmesser) Betonierrohr, dass sukzessive gezogen wird
  - Einbringung in größeren Massen möglich, Beobachtung mit Endoskop
  - Bei größerem Abfluss des Betons in unbekannte Risse, Betonage auf lageweise zurückstellen (zirka 30 cm Lage, ansteifen lassen, nächste Schicht).
  - Betonierstopp 50 cm unter tiefstem Punkt der Karsthohlraumdecke, Umstellung des Betons
- Oberste Betonschichten um Kontakt zu Karsthohlraumdecke herzustellen
  - Betonsorte C12/15/GK8/SVB/X0 oder Spezialgemisch
  - Bohrung bei jedem Hochpunkt der Karsthohlraumdecke notwendig für Betonage/Entlüftung
  - Beton über Betonrohr einbringen, und parallel dazu Entlüftungsrohr vorsehen.
- Injektionen, wenn notwendig in Abstimmung mit AG.

## KH-1

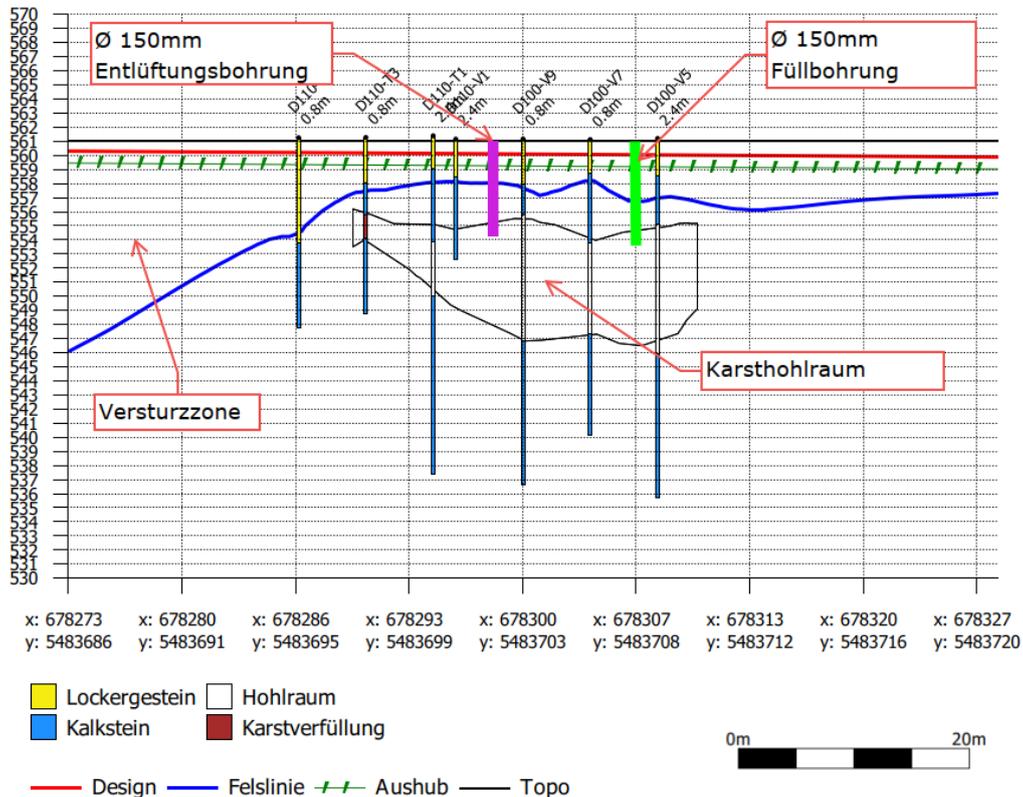


Abbildung 1: Beispielhafte Abbildung einer verfüllten/teilverfüllten Karststruktur

### 1.1.2 Karsthohlräume im Übergangsbereich Fels- Versturzzone

Alle Karsthohlräume die im 3D Untergrund Modell ausgewiesen wurden und am Plan HAP-OB-AS-033 in grün dargestellt sind, sind ordnungsgemäß, folgenden den im Nachhinein beschriebenen Arbeitsschritten zu behandeln/verfüllen. Sollten weitere Karststrukturen während der Bauausführung angetroffen werden sind diese nach Abstimmung mit dem AG zu behandeln. Jene Karsthohlräume im Übergang zwischen Felsbereich und Versturzzone sollten zusätzlich zur Verbesserung im Sinne der statischen Sicherheit auch gegen Eindringen des Versturzzone materials in die Karsthöhle sowie das Ausschwemmen des Karstverfüllungsmaterials aus der Karsthöhle gesichert werden. Dies soll mit zusätzlichen Injektionen sichergestellt werden.

#### 1.1.2.1 Arbeitsschritte Karsthohlraumbehandlung im Übergangsbereich

- Abteufen von 2 Bohrlöchern (Durchmesser 150 mm, ein Bohrloch für Befüllung, ein weiteres für Entlüftung/Kontrolle, Abbildung 1), welche die definierten Karsthohlräume erreichen (variable Tiefe, i.d.R. <15 m). Die Bohrungen sollten als Rotationbohrungen ohne Kerngewinn, mit Luft oder Wasser Spülung gebohrt werden. Nach Beendigung der Bohrung, sollte ein Mantelrohr platziert werden, um das Zusammenbrechen des Bohrlochs zu vermeiden.
  - Erstes Loch zur Erkundung
  - Weitere Bohrlöcher bei Hochpunkten der Karsthohlraumdecke soweit möglich
- Durch jedes Bohrloch ist mittels Laserscanner die erbohrte Karststruktur auf ein potentielles Leervolumen (bzw. Teilverfüllung) zu untersuchen. Dieses ist bei Vorhandensein volumenmäßig nachvollziehbar abzuschätzen.

- Wenn Karsthohlräume teilweise mit Lockermaterial verfüllt sind, so dass eine Verbesserung des Untergrundes mit Verfüllung von Beton nicht zielführend ist, sind diese mit Injektionsgut zu injizieren. Die Einschätzung erfolgt vor Ort in Abstimmung mit dem AG. Injektionsarbeiten siehe Absatz unterhalb.
- Wenn eine Verbesserung des Untergrundes mit Verfüllung von Beton zielführend ist, ist anschließend eine gravitative Verfüllung mit Beton auszuführen. Es ist darauf zu achten, dass das eingefüllte Volumen jenem des abgeschätzten Hohlräumvolumens entspricht.

#### 1.1.2.1.1 Ablauf Betonverfüllung

- Betonieretest auf der Baustelle (Betonarten, Abbinde-tests, Fließfähigkeitstests, etc.)
- Permanente Kontrolle der Betoneinbringung mit Endoskopen (teleskopierbare und schwenkbare Kameras inklusive Beleuchtung) baubegleitend oder ähnlich geeignete Kontrollmethode
- Betonierbegleitung durch Betontechnologen (Experten) vor Ort
- Erste Betonschicht als Blocker für mögliche Risse
  - Betonsorte C12/15/GK22/F6/X0 (eventuell mit Abbindebeschleuniger vor Ort wenn erforderlich)
  - Einbringung mit DN150 (abzustimmen auf Rotationsbohrungsdurchmesser) Betonierrohr, dessen unteres Ende zu Beginn 30 cm über Karsthohlräumboden sich befindet und sukzessive gezogen wird (Einfüllen in Betonierrohr mit lokalem Turm und Betonpumpe).
  - Schichtweise Einbringung und Beobachtung mit Endoskop
  - Bei Vermutung oder Detektion dass Beton in Karstspalte entweicht oder nicht steigender Betonoberfläche bei kontinuierlicher Einbringung von Beton, Rücksprache mit AG  
mögliche Maßnahme: vor Ort Abbindebeschleuniger zusetzen, sodass Beton ähnliche Abbindeigenschaften wie Spritzbeton aufweist.
  - Nach Verfüllung Boden Umstellung des Betons
- Weiter Betonschichten als Hohlraumverfüllung
  - Betonsorte C12/15/GK32/F5/X0 (Größtkorn kann auf GK22 reduziert oder auf GK64 erhöht werden wenn wirtschaftlicher)
  - Einbringung mit DN150 (abzustimmen auf Rotationsbohrungsdurchmesser) Betonierrohr, dass sukzessive gezogen wird
  - Einbringung in größeren Massen möglich, Beobachtung mit Endoskop
  - Bei größerem Abfluss des Betons in unbekannte Risse, Betonage auf lageweise zurückstellen (zirka 30cm Lage, ansteifen lassen, nächste Schicht).
  - Betonierstopp 50 cm unter tiefstem Punkt der Karsthohlräumdecke, Umstellung des Betons
- Oberste Betonschichten um Kontakt zu Karsthohlräumdecke herzustellen
  - Betonsorte C12/15/GK8/SVB/X0 oder Spezialgemisch
  - Bohrung bei jedem Hochpunkt der Karsthohlräumdecke notwendig für Betonage/Entlüftung
  - Beton über Betonrohr einbringen, und parallel dazu Entlüftungsrohr vorsehen.
- Injektionen im Anschluss, wenn notwendig in Abstimmung mit AG.

#### 1.1.2.2 Injektionen

Wenn Karsthohlräume teilweise mit Lockermaterial verfüllt sind, so dass eine Verbesserung des Untergrundes mit Verfüllung von Beton nicht zielführend ist, oder die Betonverfüllung bereits abgeschlossen, sind diese mit Injektionsgut zu injizieren. Dies wird auf Grundlage der

Erkenntnisse aus den Bohrungen in Abstimmung mit dem AG festgelegt (Bohrparameter, Laserscan etc.).

Es sind Niederdruckinjektionen durch Manschettenrohre (z.B. D = 50 mm) bzw. Injektionslanzen mit Injektionsmischungen auf Zementbasis (erosionsstabil, Druckfestigkeit > 10 N/mm<sup>2</sup> nach 28 Tagen) auszuführen. Je nach Beschaffenheit der Karstfüllung können folgende verwendet werden:

- Mix-1 Wasser/Zement: 0.7
- Mix-2 Wasser/Zement: 0.6
- Mix-3 Wasser/Zement: 0.5
- Mix-4 Wasser/Zement: 0.5 + 50% Sand
- Mix-5 Wasser/Zement: 0.5 + 100% Sand
- Optional Mix-6 Wasser/Zement: 1,0 Verwendung von Feinstzement für Karstfüllungen mit entsprechenden Anteilen von Feinsand

Das Abbruchkriterium ist im Zuge der Injektionstests in Abstimmung mit dem AG festzulegen und eventuell baubegleitend anzupassen.