

Konventionelle Vortriebe in grobkörnigen Böden

Dr.-Ing. Patricia Wittke-Gattermann, Dr.-Ing. Martin Wittke

Zusammenfassung

Grobkörnige Böden enthalten nach der DIN 18196 weniger als 5 % an Korngrößen < 0,06 mm und werden bei einem Anteil von < 40 % an Korngrößen > 2 mm als Sande eingestuft. Diese Böden haben im trockenen und wassergesättigten Zustand keine Kohäsion. Im erdfeuchten Zustand besitzen sie jedoch in Abhängigkeit vom Anteil an Korngrößen < 0,6 mm eine Kapillarkohäsion. Diese Kapillarkohäsion reicht bei einer vorausseilenden Sicherung mit Rohrschirmen und Ortsbrustankern und einer unmittelbar nach dem Ausbruch auf die freigelegten Flächen aufgetragenen Spritzbetonsicherung in der Regel dazu aus, einen konventionellen Vortrieb zu ermöglichen.

Der Vortrieb des in Aachen an der Grenze zu Belgien liegenden Buschtunnels ist ein Beispiel dafür. Der Tunnelquerschnitt liegt in tertiären Sanden. Der Grundwasserspiegel steht unmittelbar unterhalb der Tunnelsohle an.

Ein weiteres Beispiel für einen konventionellen Vortrieb in grobkörnigen Böden ist der U-Bahntunnel der Linie U2/2 in der Taborstraße in Wien. Zur Zeit im Bau befinden sich die im Neckartal liegenden Abschnitte der Eisenbahntunnel nach Ober- und Untertürkheim des Projekts Stuttgart 21, die teilweise im Neckarkies liegen. Bei beiden Projekten war eine Absenkung des Grundwasserspiegels erforderlich.

Vortriebe dieser Art erfordern eine äußerst sorgfältige Baugrunderkundung sowie erfahrene Mineure und eine aufmerksame Bauüberwachung.

1. Einleitung

WBI blickt auf eine umfangreiche Erfahrung im Zusammenhang mit konventionellen Tunnelbauten in grobkörnigen Böden zurück. Eine Auswahl der Projekte zeigt das Bild 1. Für die U2/2 in Wien hat WBI gemeinsam mit zwei österreichischen Partnern die Planung erstellt (Wittke & Scheidl 2006). Die Tunnel liegen in tertiären Sanden und Schluffen sowie örtlich in quartären Kiesen. Der Neue und der Alte Buschtunnel bei Aachen liegen in Feinsanden (Wittke 2006). Für beide Bauwerke haben wir die Ausführungsplanung für die ausführenden Firmen Hochtief (Neuer Buschtunnel) bzw. Oevermann (Sanierung Alter Buschtunnel) erstellt. Die Tunnel nach Ober- und Untertürkheim des Projekts Stuttgart 21 durchörteren auf der östlichen Seite des Neckars die Neckarkiese (Reinhardt & Wittke 2021, Osthoff & Wittke, W. & Wittke M. 2019). Für diese Tunnel waren bzw. sind wir als Gutachter sowie für die Tunnel nach Obertürkheim auch in der Ausführungsplanung tätig. Der Elite Tunnel in Ramat Gan (Wittke et al 2002) und die Red Line in Tel Aviv (Wittke, M. & Wittke-Gattermann & Wittke, W., Teil 2, 2019) liegen im sogenannten Kurkar, einem teilweise zementierten, grobkörnigen Boden. Die Red Line, deren Querschläge in Spritzbetonbauweise aufgeföhren wurden, durchörtert zudem Schluffe, Tone und Sande. Für beide Bauwerke haben wir u. a. die Ausführungsplanung erstellt.



Bild 1: Beispiele für Vortriebe in grobkörnigen Böden.

2. Grobkörnige Böden

Als Grundlage für die nachstehenden Ausführungen zeigt das Bild 2 die Definition für grobkörnige Böden nach DIN 18196. Bei Korngrößen kleiner 0,002 mm spricht man demnach von Tonen, bei Korndurchmessern zwischen 0,002 und 0,06 mm von Schluffen.

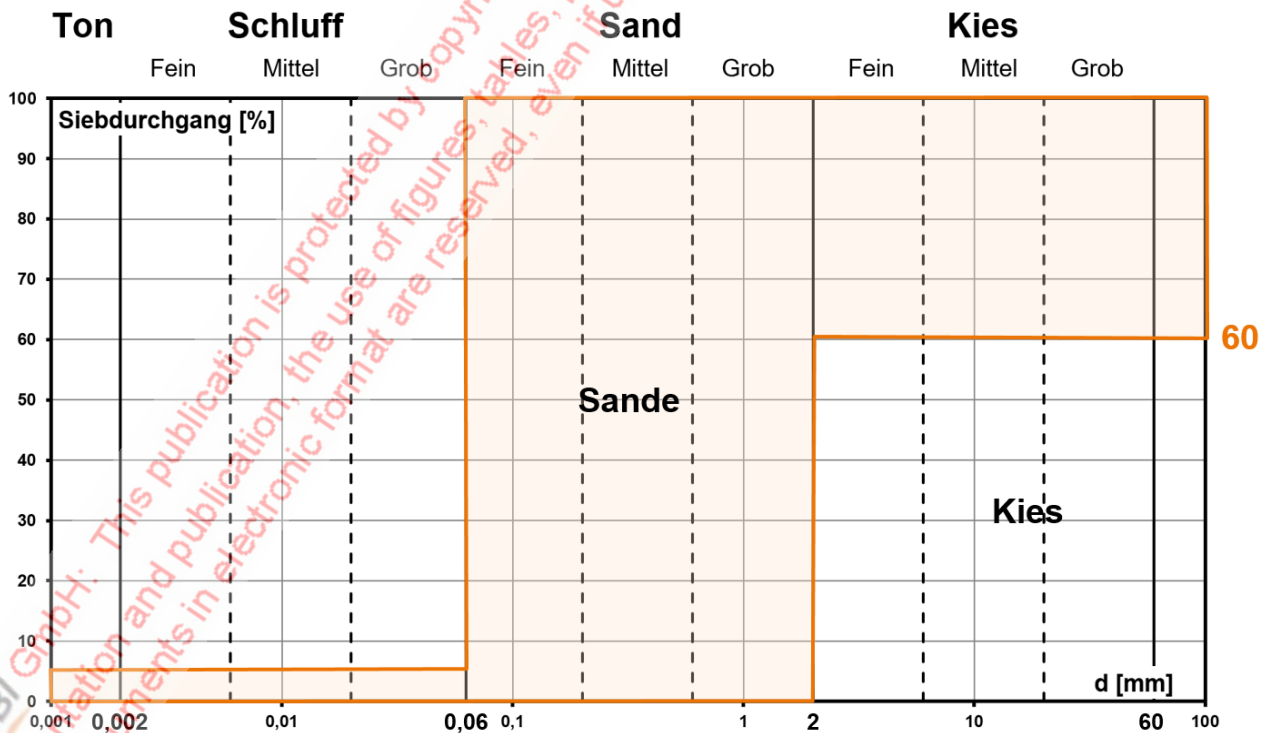


Bild 2: Definition Grobkörnige Böden nach DIN 18196

Bei Korngrößen > 0,06 mm handelt es sich um Sande und ab einer Korngröße von 2 mm (bis 63 mm) beginnen definitionsgemäß die Kiese. Nach DIN 18196 werden Böden als grobkörnig bezeichnet, wenn sie weniger als 5 % Schluffe bzw. Tone beinhalten. Sofern dann mehr als 60 % des Bodens Korngrößen < 2 mm besitzen, handelt es sich um Sande, andernfalls um Kiese.

Um die verschiedenen Bodenarten hinsichtlich ihrer Festigkeit und Durchlässigkeit einordnen zu können, zeigt das Bild 3 typische Bandbreiten für Kennwerte, die u. a. auf der EAU (Arbeitsausschuss "Ufereinfassungen" der Hafentechnischen Gesellschaft e. V. und Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e. V. 2012) beruhen. Grobkörnige Böden, d. h. Sande und Kiese besitzen in der Regel größere Reibungswinkel als Schluffe und Tone. Dagegen kann man bei den feinkörnigen Böden in der Regel eine Kohäsion ansetzen, was bei Sanden und Kiesen im Allgemeinen nicht möglich ist. Aufgrund der fehlenden Feinanteile besitzen die grobkörnigen Böden zudem eine deutlich höhere Durchlässigkeit als Schluffe und Tone.

Boden	φ [°]	c [kN/m ²]	k _f [m/s]
Kies (GE, GW, GI)	35 – 40	0	10 ⁻¹ – 10 ⁻³
Sand (SE, SW, SI)	30 – 40	0	10 ⁻³ – 10 ⁻⁵
Schluff (UL, UM)	25 – 30	0 – 15	10 ⁻⁶ – 10 ⁻⁹
Ton (TL, TM, TA)	20 – 30	0 – 25	10 ⁻⁷ – 10 ⁻¹¹

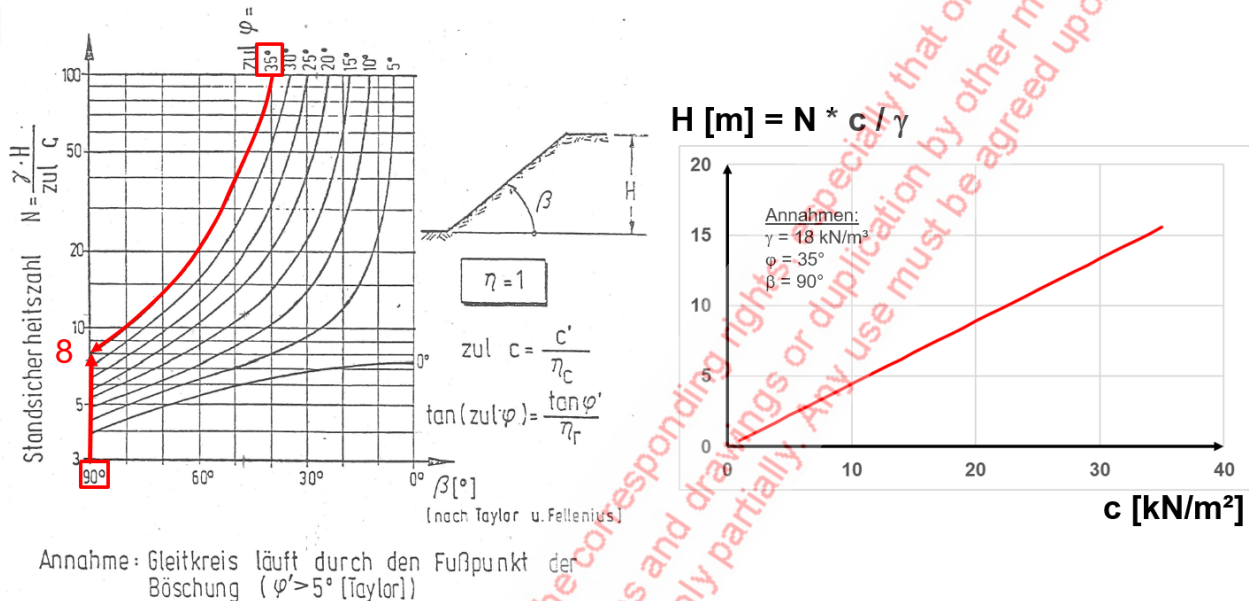
Bild 3: Typische Bandbreiten für Kennwerte für Böden

3. Einfluss der Kohäsion auf die Standsicherheit im Ortsbrustbereich

Insbesondere das Fehlen der Kohäsion macht den Tunnelbau in den grobkörnigen Böden schwierig, da die Kohäsion für die Standsicherheit der Ortsbrust und der Leibung eine entscheidende Bedeutung besitzt. Das kann anhand des in Bild 4 geführten vereinfachten Nachweises der Standsicherheit einer Böschung nach Taylor und Fellenius gezeigt werden (RWTH Aachen, Lehrstuhl für Grundbau, Bodenmechanik, Felsmechanik und Verkehrswasserbau, Wittke, W. 1998). Bei diesem Nachweis wird von einem homogenen bindigen Untergrund ausgegangen. Äußere Lasten und Grundwasser werden nicht berücksichtigt. Des Weiteren wird vorausgesetzt, dass der kritische Gleitkreis einer unter dem Winkel β geneigten Böschung durch den Fußpunkt verläuft.

Auf diesen Grundlagen kann man aus dem in Bild 4 dargestellten Nomogramm eine sogenannte Standsicherheitszahl ermitteln, die von der Böschungsneigung und dem Reibungswinkel des Bodens abhängt. Für eine vertikale Böschung und einen Reibungswinkel von

35° ergibt sich beispielsweise eine Standsicherheitszahl von 8. Mit dieser Zahl kann man die maximale Höhe einer freistehenden Böschung in Abhängigkeit von der Wichte des Bodens und der Kohäsion bestimmen (s. Bild 4, rechts). Offensichtlich kann eine Böschung bei einem kohäsionslosen Boden nicht senkrecht ausgebildet werden. Bei einer Kohäsion von 10 kN/m² ergibt sich dagegen - ohne Berücksichtigung von Sicherheiten - bereits eine freie Standhöhe von ca. 4 m. Mit steigender Kohäsion nimmt die freie Standhöhe proportional zu. Dieser einfache Nachweis zeigt somit die Wichtigkeit der Kohäsion für die Standsicherheit im Ortsbrustbereich.



aus Unterlagen zu Vorlesungen Bodenmechanik II, RWTH Aachen

Betrachtung ohne Sicherheitsbeiwerte

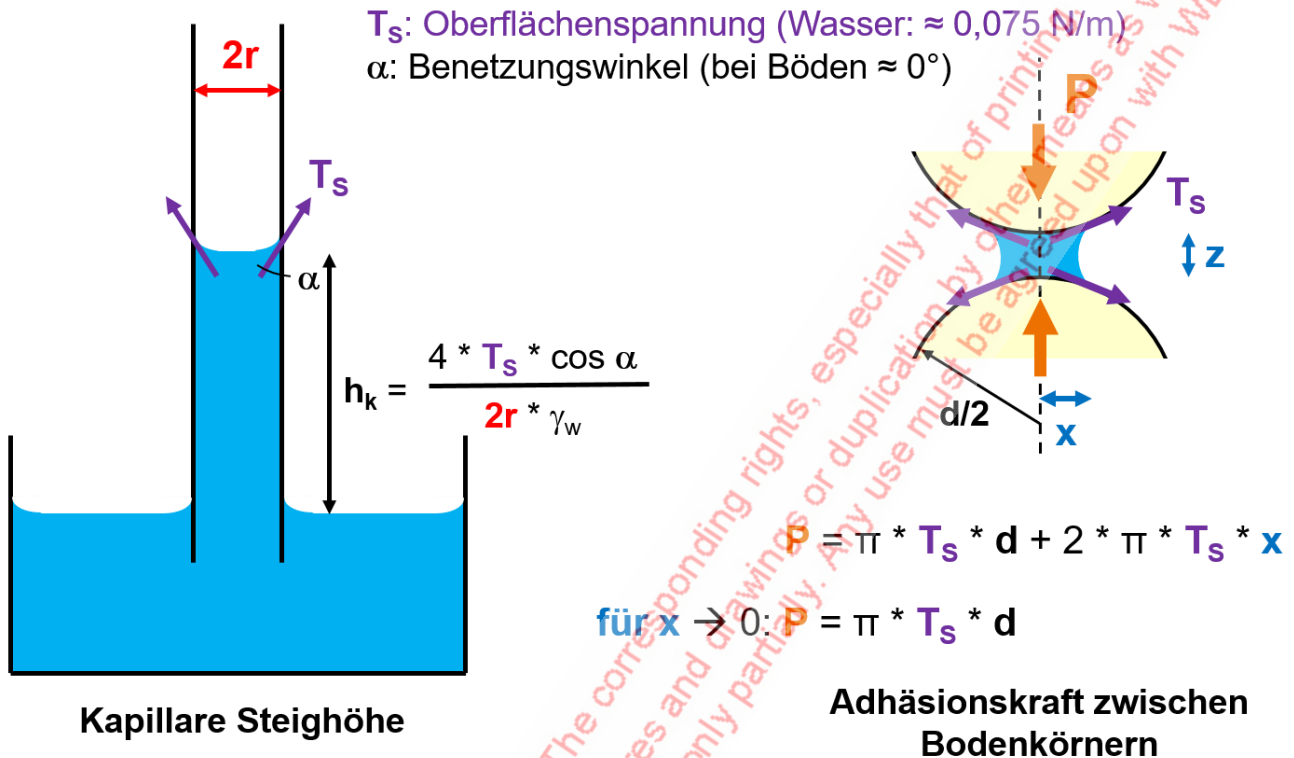
Bild 4: Vereinfachter Nachweis der Standsicherheit einer Böschung in homogenem, bindigen Boden

4. Scheinbare Kohäsion

Bei grobkörnigen Böden ist die Kohäsion für die Standsicherheit im Ortsbrustbereich bei konventionellen Vortrieben in der Regel, wie oben beschrieben, nicht vorhanden. Allerdings kann unter bestimmten Voraussetzungen auf die sogenannte scheinbare Kohäsion bzw. die Kapillarkohäsion zurückgegriffen werden. Theoretische Überlegungen hierzu wurden beispielsweise vom ungarischen Prof. Kézdi bereits in den 1960er Jahren durchgeführt (Kézdi 1968). Wie bekannt, besitzt Wasser eine Oberflächenspannung, die hier mit TS bezeichnet wird (Bild 5). Diese ist temperaturabhängig und liegt in der Größenordnung von 0,075 N/m (Kézdi 1968; von Soos & Engel 2017). Diese Oberflächenspannung führt dazu, dass Wasser in Röhrchen aufsteigt. Die Höhe, bis zu der ein Aufsteigen möglich ist, die sogenannte kapillare Steighöhe, ist dabei abhängig von der Oberflächenspannung, dem Benetzungswinkel, der bei Böden i. d. R. ungefähr 0° beträgt (Kézdi 1968; von Soos & Engel 2017), der Wichte des Wassers und vom Durchmesser des Röhrchens. Mit kleiner werdendem Durchmesser nimmt die kapillare Steighöhe zu.

Die Oberflächenspannung des Wassers führt bei teilgesättigten Böden im Bereich von Kontaktflächen zwischen Bodenkörnern zur Ausbildung einer auf die Kontaktfläche wirkenden

Kraft P [10]. Diese hängt von der Oberflächenspannung und dem Korndurchmesser ab. Einen gewissen Beitrag liefert auch die Größe der benetzten Fläche. Dieser ist aber aufgrund der geringen Abmessungen meist vernachlässigbar klein, so dass man die Adhäsionskraft aus dem im Bild 5 unten dargestellten Produkt ermitteln kann.



Grundlage: Kézdi, 1968

Bild 5: Kapillarkohäsion (scheinbare Kohäsion) in teilgesättigten Böden

Um eine Größenordnung für die so zu ermittelnde Kapillarkohäsion zu erhalten, wird in Bild 6 in einem theoretischen Beispiel ein "1-Korn-Boden" mit einem Korndurchmesser von 0,1 mm betrachtet. Dieser entspricht in etwa einem sehr eng gestuften Feinsand. Für die Ermittlung der scheinbaren Kohäsion wird weiterhin davon ausgegangen, dass die Sättigung des Bodens gerade so groß ist, dass jede Kontaktfläche durch Wasser benetzt ist. Auf einen m^2 Querschnittsfläche kommen somit 10^8 benetzte Kontaktflächen.

Mit der in Bild 5 gezeigten Gleichung ergibt sich je Kontaktfläche des betrachteten "1-Korn-Bodens" eine Adhäsionskraft von 0,000024 N. Unter Berücksichtigung der Anzahl der Kontaktflächen ergibt sich eine maximale Kapillarkohäsion von 2,4 kN/m^2 (Bild 6).

Für Böden mit größeren Korndurchmessern ergibt sich in der einzelnen Kontaktfläche eine größere Adhäsionskraft. Jedoch ist die Anzahl der Kontaktflächen bei größeren Korndurchmessern deutlich geringer, so dass die scheinbare Kohäsion mit zunehmendem Korndurchmesser abnimmt.

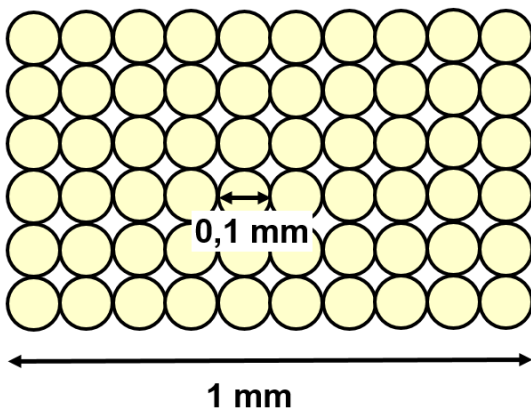
Bei der in Bild 6 durchgeführten Abschätzung wurde - wie erwähnt - davon ausgegangen, dass jede einzelne Kontaktfläche benetzt ist. Diese Annahme führt zu der größten Kapillarkohäsion. Dieser Zustand ist ungefähr dann erreicht, wenn die kritische Sättigung für die

Wasserdurchlässigkeit vorhanden ist (Bild 7, Kézdi 1968). Für größere Sättigungsgrade verbinden sich die Kapillaren schrittweise, so dass die Kapillarkohäsion in diesen Bereichen verloren geht. Die relative Wasserdurchlässigkeit des Bodens nimmt dementsprechend zu. Gleichzeitig nimmt die relative Luftdurchlässigkeit des Bodens ab. Bei dem hier aus (Kézdi 1968) entnommenen Beispiel ist der Boden ab einem Sättigungsgrad von ca. 0,8 nicht mehr luftdurchlässig und die scheinbare Kohäsion ist nicht mehr vorhanden.

Annahme:

1-Korn-Boden, $d = 0,1 \text{ mm}$ (Feinsand)

Meniskus bei jeder Kontaktfläche



je Kontaktfläche:

$$P = \pi * T_s * d$$

$$= 3,14 * 0,075 \text{ N/m} * 0,0001 \text{ m}$$

$$= 0,000024 \text{ N}$$

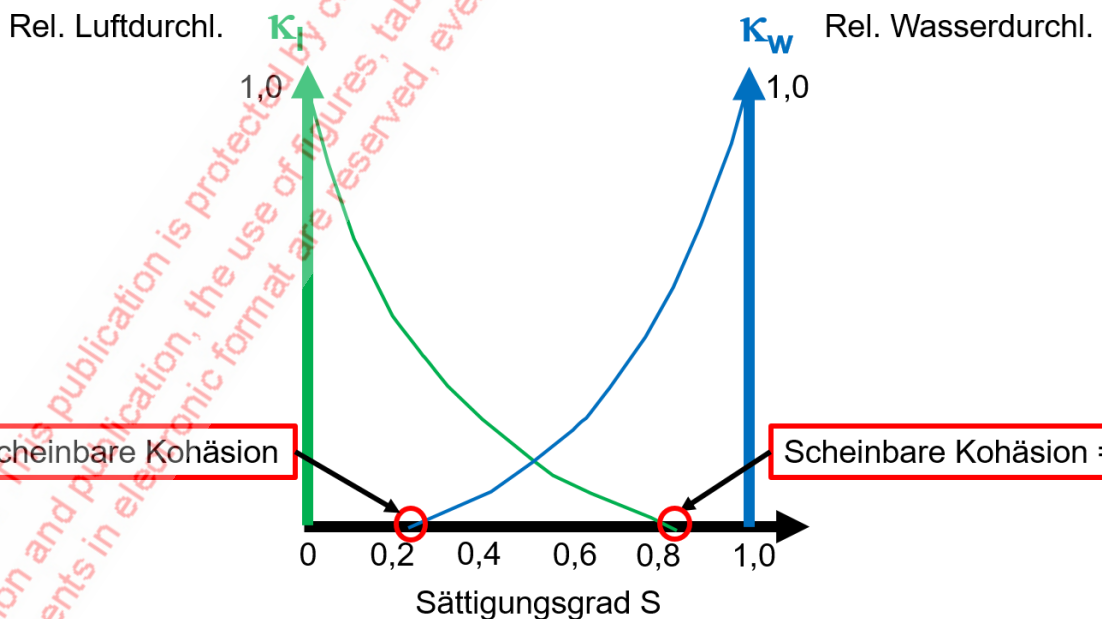
10^8 Kontaktflächen / m^2 :

$$C_{\text{kap}} = 10^8 * 0,000024 \text{ N} = 2,4 \text{ kN/m}^2$$

$10 * 10 = 100$ Kontaktflächen je mm^2
 $10.000 * 10.000 = 10^8$ Kontaktflächen je m^2

Grundlage: Kézdi, 1968

Bild 6: Abschätzung der Kapillarkohäsion für einen teilgesättigten Feinsand



Grundlage: Kézdi, 1968

Bild 7: Einfluss der Sättigung auf die scheinbare Kohäsion, Beispiel

5. Projektbeispiel, kein Grundwasser

Die theoretischen Überlegungen können anhand der Beobachtungen beim Vortrieb des Neuen Buschtunnels bei Aachen bestätigt werden. Der Neue Buschtunnel wurde neben dem bestehenden alten Buschtunnel gebaut, bevor dieser saniert wurde (Wittke 2006). Beide Tunnel besitzen eine maximale Überlagerung von ca. 45 m (Bild 8). Der Achsabstand zwischen den Tunneln liegt im Bereich der maximalen Überlagerung bei ca. 45 m. Der Grundwasserspiegel steht in Höhe der Sohle an.

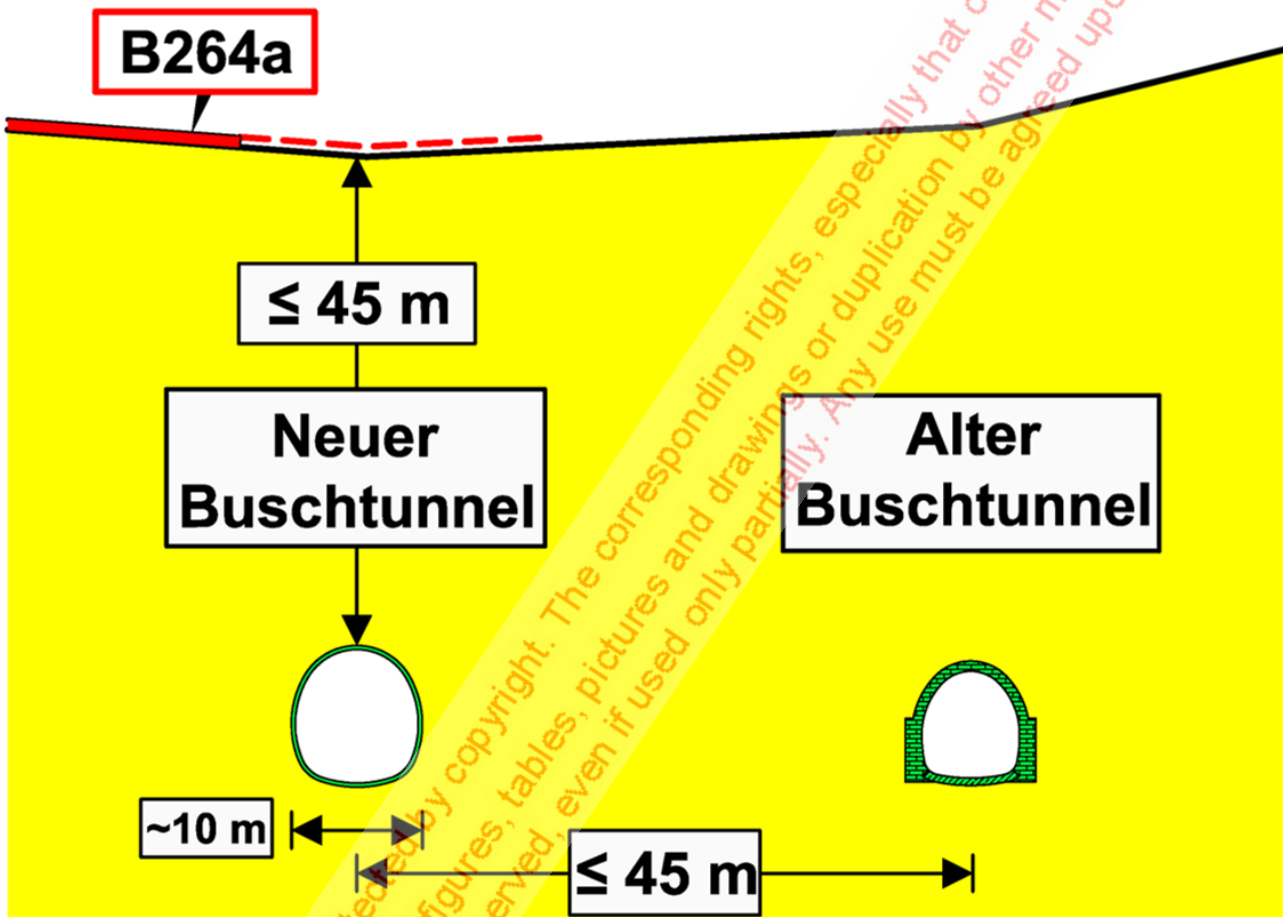


Bild 8: Neuer und Alter Buschtunnel, Querschnitt

Die Tunnel liegen überwiegend in den Sanden von Hauset. Örtlich stehen auch gemischt-körnige Böden, die hier in schwarz gekennzeichnet sind, an. Die Kornverteilungen der im Ortsbrustbereich vorherrschenden Sande von Hauset sind in Bild 9 in roter Farbe gekennzeichnet. Es handelt sich um eng gestufte Feinsande, d. h. die Sandkörner besitzen i. W. Durchmesser zwischen 0,06 und 0,2 mm. Die Korndurchmesser entsprechen dementsprechend in etwa dem weiter oben betrachteten "1-Korn-Boden".

Wie am Handstück in Bild 10 oben links zu erkennen, besitzt der Feinsand im erdfeuchten Zustand eine scheinbare Kohäsion, während sich im trockenen Zustand ein Haufwerk ausbildet. Aus der Rückrechnung der scheinbaren Kohäsion aus der Standsicherheit des Stützeils - im Bild rechts - konnte eine scheinbare Kohäsion bzw. eine Kapillarkohäsion von 2 bis 3 kN/m² abgeleitet werden. Dieser Wert entspricht praktisch dem weiter oben für den "1-

Korn-Boden" theoretisch abgeleiteten Wert. Offensichtlich war die Teilsättigung des Bodens bei diesem Tunnel im Hinblick auf die scheinbare Kohäsion nahezu optimal.

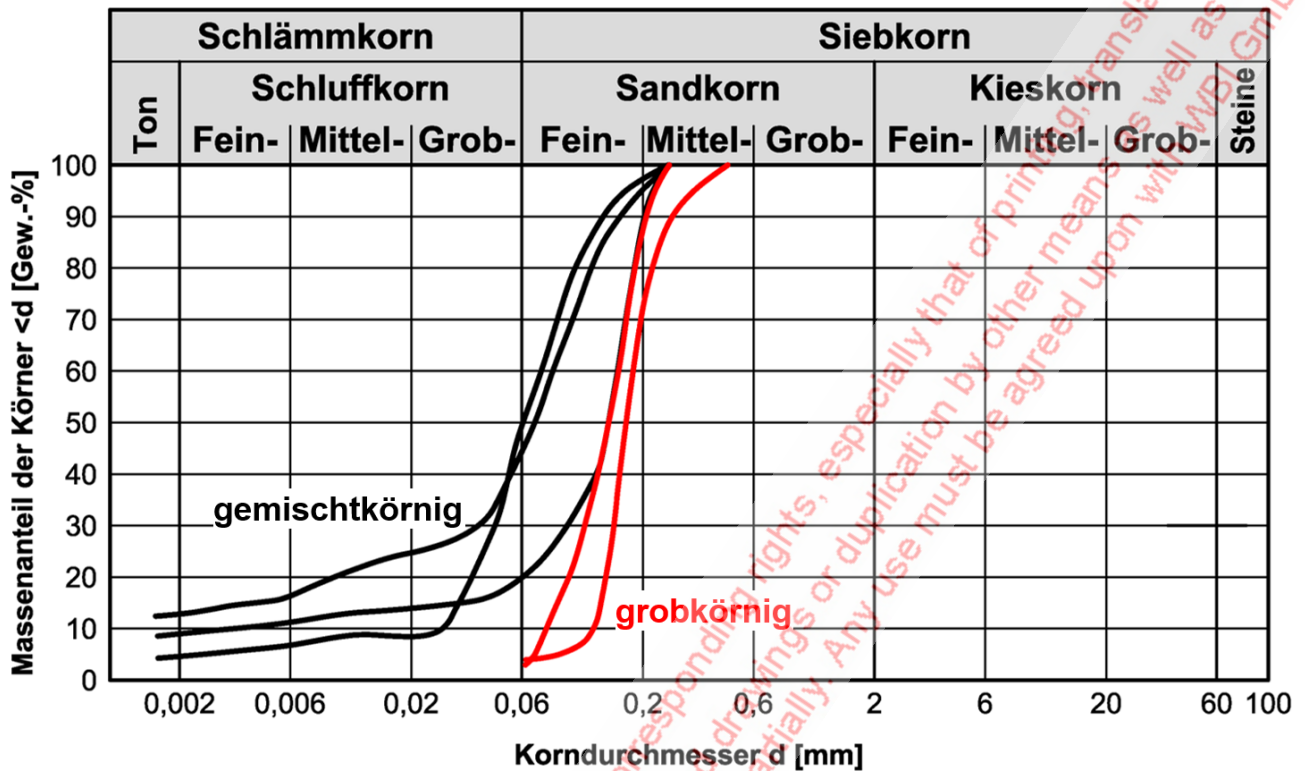
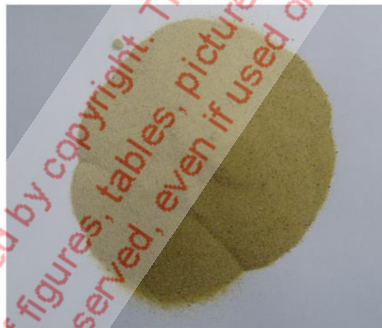


Bild 9: Sand, Kornverteilungen



feucht



trocken

aus Rückrechnung Stützkeil:

$$c_{\text{Kap}} = 2 \text{ bis } 3 \text{ kN/m}^2$$



Bild 10: Feinsand, Buschtunnel, Scheinbare Kohäsion im Bereich Ortsbrust

Unter Ansatz der scheinbaren Kohäsion konnten die Nachweise der Standsicherheit der Ortsbrust und der Leibung geführt werden (Witke 2006). Die Tunnel wurden im Schutze eines vorausseilenden Rohrschirms mit einer 30 cm dicken Spritzbetonschale im Kalottenvortrieb aufgeföhren. Die Ortsbrust wurde mit IBO-Ankern gesichert und in Teilflächen geöffnet (Bilder 11 und 12).

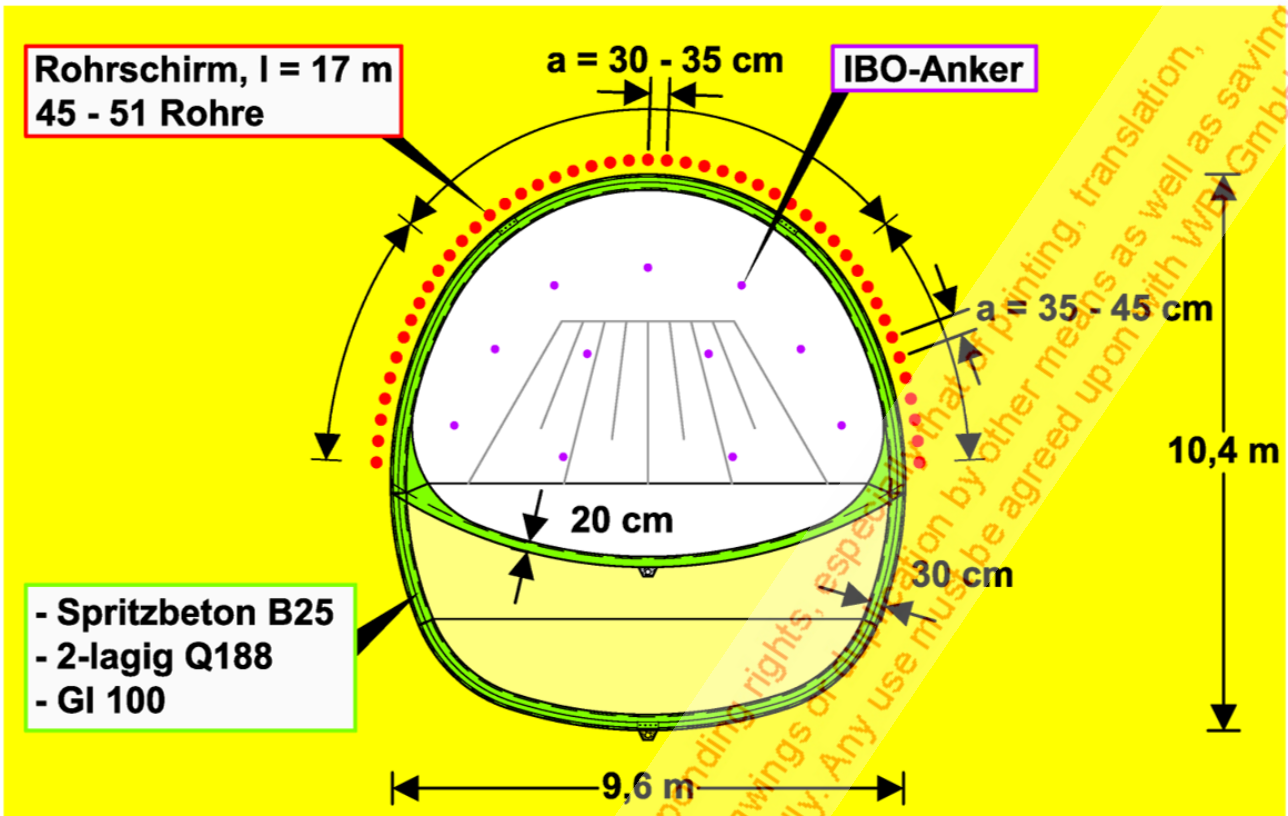


Bild 11: Neuer Buschtunnel, Vortriebsklasse



Bild 12: Neuer Buschtunnel, Ortsbrust, Teilausbruch Firste

Zwischen den einzelnen Rohren des Rohrschirms ist der Sand jeweils etwas höher aus der Leibung gebrochen, bis sich ein Gewölbe zwischen den einzelnen Rohren ausbilden konnte. Diese Gewölbebildung konnte auch rechnerisch nachvollzogen werden (Bild 13). In diesem Zusammenhang wurden umfangreiche Untersuchungen zur Optimierung des Abstands der einzelnen Rohre untereinander vorgenommen. Es konnte gezeigt werden, dass der Rohr-
abstand nicht größer sein durfte als ca. 30 bis 35 cm in der Firste und ca. 35 bis 45 cm im Bereich der Ulme.

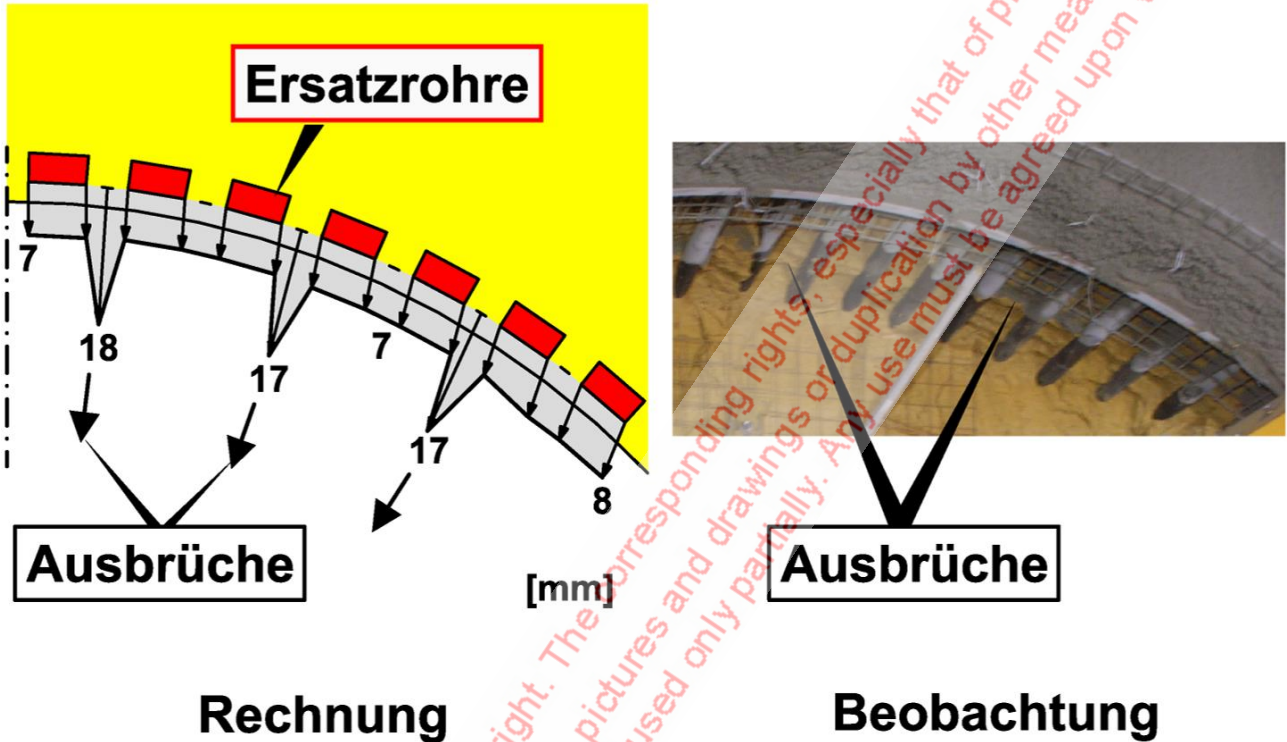


Bild 13: Standsicherheit der Ausbruchsleibung

An dieser Stelle soll auf einen weiteren Punkt hingewiesen werden. I. W. aus vertraglichen Gründen wurde ein Teil des Neuen Buschtunnels im Schutze von vorausseilenden Spießschirmen aufgeföhren. Diese wurden bis zu 6-lagig ausgeföhrt. Wie die Fotos in Bild 14 eindrucksvoll zeigen, konnte die Leibung des Tunnels bei dem hier vorhandenen Feinsand nicht durch Spieße gesichert werden.



Bild 14: Vortrieb im Schutze von Spießschirmen - nicht möglich

Das liegt daran, dass die Spieße eine deutlich geringere Steifigkeit als die Rohre besitzen und damit sowohl im Hinblick auf die Verformungen als auch im Hinblick auf Erschütterungen empfindlicher sind. Da sowohl Verformungen als auch Erschütterungen zu einem Verlust der scheinbaren Kohäsion führen können, ist die Ausbruchsleistung nicht standsicher.

6. Projektbeispiel, Unterhalb Grundwasser

Die Tunnel nach Ober- und Untertürkheim liegen wie erwähnt östlich des Neckars teilweise in grobkörnigen Neckarkiesen unterhalb des Grundwasserspiegels. Die Überdeckung beträgt hier beispielweise bei den Tunneln nach Obertürkheim nur ca. 4,5 bis 8,0 m (Reinhardt & Wittke 2021). Im Firstbereich stehen - in Bild 15 in orange gekennzeichnet - Neckarkiese an, darunter folgt der bodenähnliche, gering durchlässige ausgelaugte Gipskeuper.

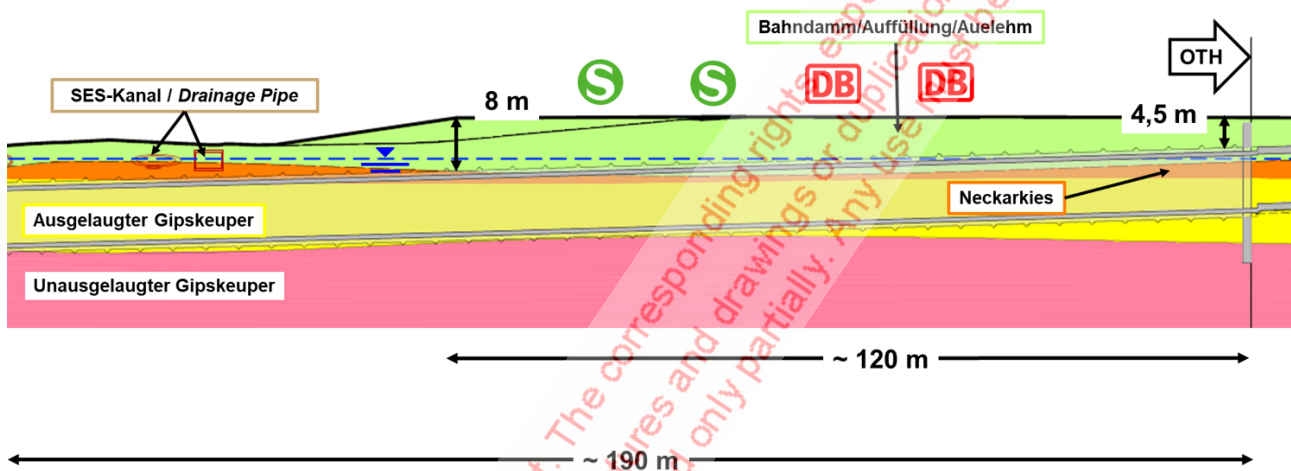


Bild 15: Tunnel Obertürkheim, Längsschnitt, Achse 61

Wie die in Bild 16 zusammengestellten Kornverteilungen zeigen, besitzen die Neckarkiese ein vergleichsweise weites Körnungsband. Der Anteil an Feinteilen variiert von 0 bis 30 %. Der Kiesanteil beträgt in der Regel mehr als 60 %. Während die Bereiche des Neckarkieses, die Feinteile besitzen, auch in gewissem Maß Kohäsion aufweisen, sind die grobkörnigen Zonen kohäsionslos. Anhand der Kornverteilung kann man bereits erkennen, dass hier auch keine scheinbare Kohäsion angesetzt werden kann.

Die Durchlässigkeit der Neckarkiese hängt natürlich ebenfalls von den Feianteilen ab. Die grobkörnigen Zonen besitzen jedoch eine hohe Durchlässigkeit. Der darunterliegende, bindige, ausgelaugte Gipskeuper besitzt dagegen eine geringe Durchlässigkeit (Bild 17). Die für den Vortrieb erforderliche Grundwasserabsenkung konnte daher - und vor dem Hintergrund der beengten Platzverhältnisse - nicht von der Geländeoberfläche aus abgesenkt werden (s. auch Stüting & Bohlmann & Wittke, M. & Wittke, W.).

Die Absenkung des Grundwassers wurde daher aus dem Tunnel heraus über vorausliegende Entwässerungsbohrungen vorgenommen. Im Übrigen erfolgte die Sicherung über vorausliegende Rohrschirme - im Bereich der Bahnunterführung 2-lagig. Die Ortsbrust wurde durch 12 m lange Ortsbrustanker gesichert und die Abschlaglängen wurden auf max. 1 m begrenzt (Bild 18).

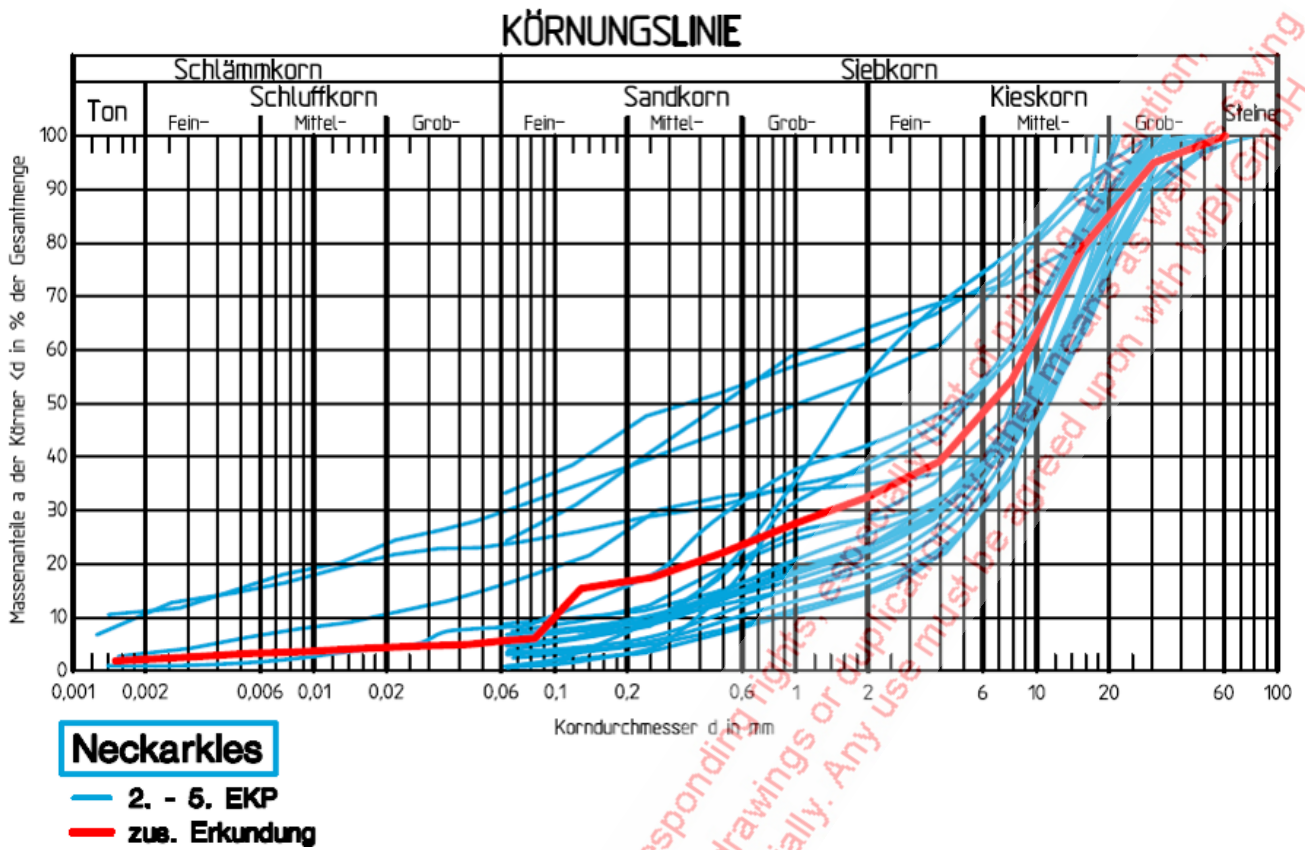


Bild 16: Neckarkies, Kornverteilungen

Neckarkies:



k_f groß
(abhängig von Feinteilen)



k_f gering

→ Vollständige Entwässerung Neckarkies über Brunnen von GOF nicht möglich

Bild 17: Neckarkies und Ausgelaugter Gipskeuper

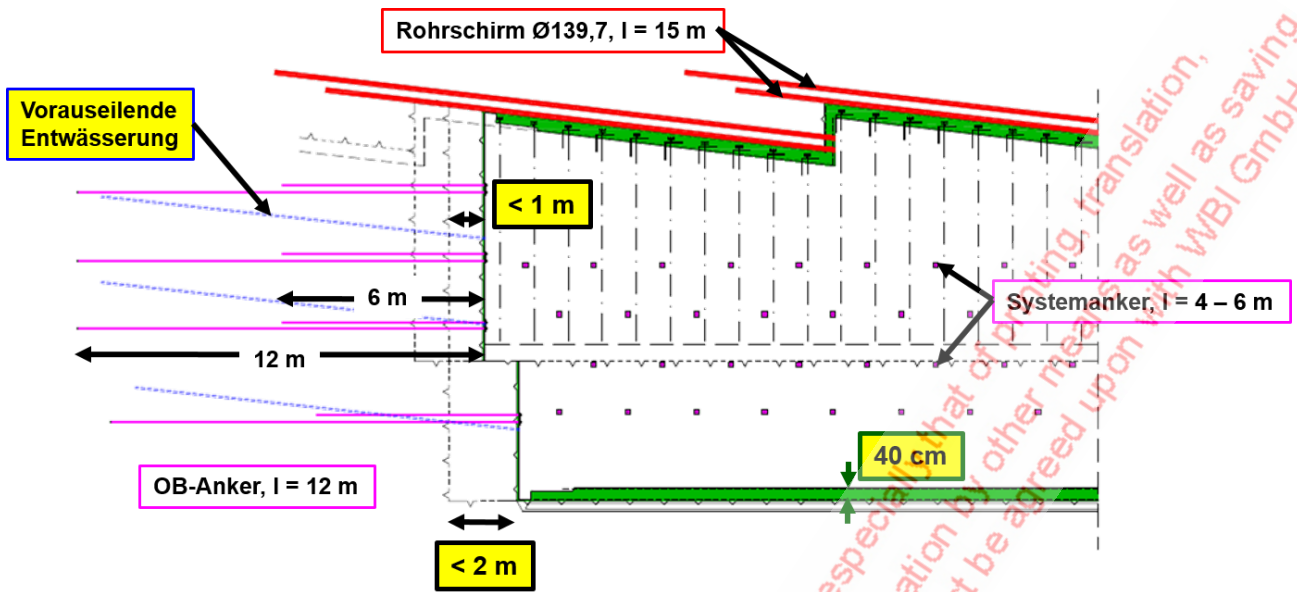


Bild 18: Vortriebsklasse mit vorausseilender Grundwasserabsenkung

Um in den grobkörnigen Bereichen des Neckarkieses eine Kohäsion bzw. Verkittung zu erzielen, wurden die Rohrschirme mit Zementsuspension mit einem w/z-Wert von 0,8 verpresst (Bild 19). Darüber hinaus wurden in der Ortsbrust Verpressanker angeordnet. Die Verpressdrücke wurden mit 1 bis 2 bar gewählt.

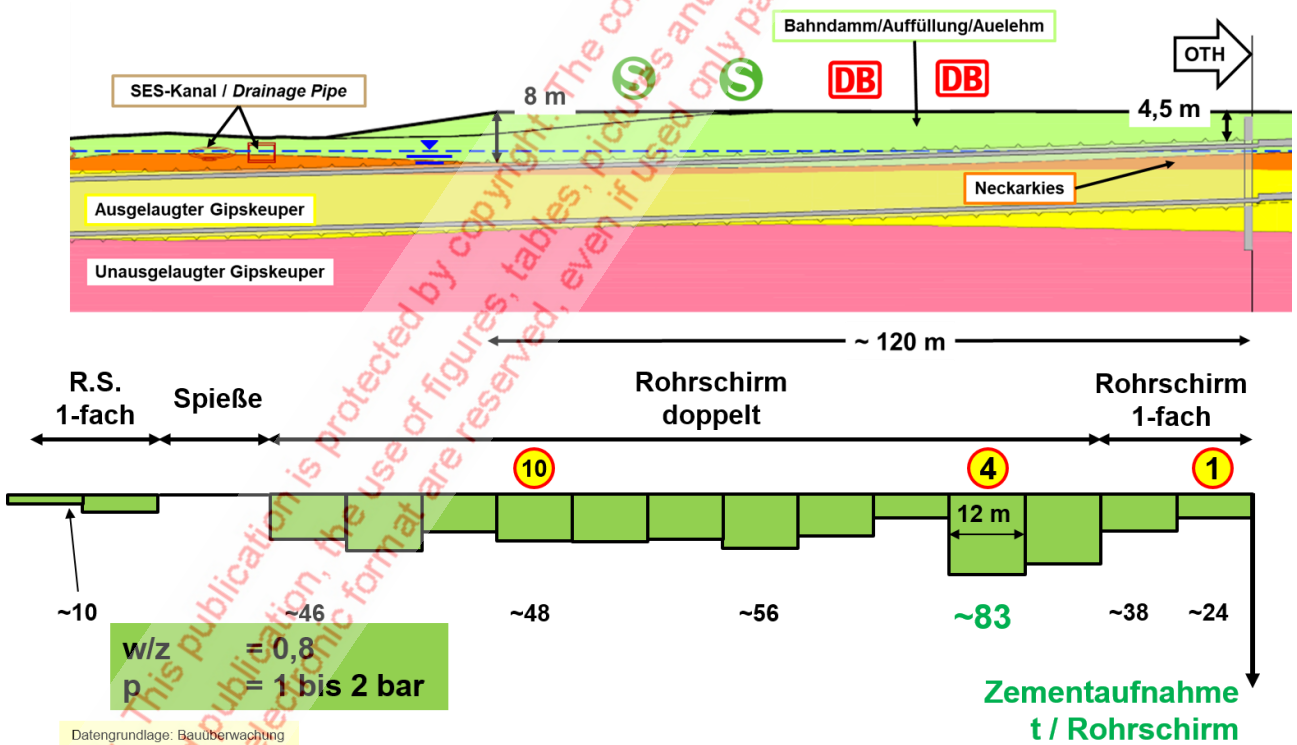


Bild 19: Gleisachse 61, Zementaufnahmen Rohrschirme in t

In dem in Bild 19 dargestellten Ausschnitt aus dem Längsschnitt sind die Zementaufnahmen, die bei der Rohrschirmherstellung zu verzeichnen gewesen sind, zusammengestellt. Man erkennt, dass die Aufnahmen in den Bereichen, in denen die Rohrschirme in den

Neckarkiesen zu liegen kommen, erwartungsgemäß am größten sind. Beim Rohrschirm Nr. 4 wurde mit 83 t Zement die größte Aufnahme gemessen. Dagegen beträgt die Aufnahme im weiteren Verlauf der Vortriebe im ausgelaugten Gipskeuper nur noch ca. 10 t je Rohrschirm.

Der Zement konnte im Bereich der Ortsbrust in rolligen Lagen teilweise wiedergefunden werden (Bild 20). Die Verkittung hat also grundsätzlich gut funktioniert. Entsprechende Vortriebe stellen jedoch sehr hohe Anforderungen an alle Beteiligten - insbesondere die Mineure und die Bauüberwachung. Etwaige Mehrausbrüche müssen zeitnah erkannt und unmittelbar vollständig - ggf. unterstützt durch Nachverpressungen - verfüllt werden.



Bild 20: Ortsbrust im Neckarkies

7. Zusammenfassung

Im vorliegenden Beitrag wurden Möglichkeiten und Grenzen von konventionellen Tunnelvortrieben in grobkörnigen Böden aufgezeigt. Wesentlich ist es bei solchen Vortrieben, die Standsicherheit im Bereich der Ortsbrust und der Leibung zu gewährleisten. Dafür kann unter bestimmten Voraussetzungen die scheinbare Kohäsion herangezogen werden. Wenn Tunnel in grobkörnigen Böden unter dem Grundwasser aufgefahren werden sollen, kann eine Grundwasserabsenkung verbunden mit Zementverpressungen über Rohrschirme und Ortsbrustanker eine Möglichkeit für einen erfolgreichen Vortrieb darstellen.

Selbstverständlich kommen jedoch auch andere Verfahren in Betracht, auf die im Rahmen der vorliegenden Veröffentlichung nicht näher eingegangen werden kann. Beispielsweise kann die Stützung durch Druckluft erfolgen. Dabei ist jedoch darauf zu achten, dass sich ein Strömungsfeld aufbauen kann. Bei gering durchlässigen Zonen im Baugrund kann es zu einem konzentrierten Abbau des Luftdrucks und damit zu einer Destabilisierung der Ortsbrust kommen. Auch bei Vereisungen sind besondere Fragestellungen zu beachten. Genannt sein sollen hier das Risiko von Eislinnenbildung und Frosthebungen bei feinkörnigen Böden sowie die kleinräumige Anisotropie des Bodens - beispielsweise im Tertiär. Auch Injektionen können - wie beispielhaft gezeigt - dazu dienen, die Standsicherheit der Ortsbrust zu gewährleisten. In diesem Zusammenhang ist jedoch die Injizierbarkeit der Böden zu beachten, und es sind geeignete Injektionsmittel und Verfahren zu wählen.

Literatur:

Arbeitsausschuss "Ufereinfassungen" der Hafentechnischen Gesellschaft e. V. und der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e. V.: Empfehlungen des Arbeitsausschusses "Ufereinfassungen", Häfen und Wasserstraßen, EAU 2012. 11. Auflage. Verlag Ernst & Sohn GmbH & Co. KG, Berlin, 2012.

Kézdi, A.: Handbuch der Bodenmechanik, Band I, Bodenphysik, 1969. Verlag für Bauwesen, Berlin, 1968.

Osthoff, G.; Wittke, W.; Wittke, M.; Großprojekt Stuttgart 21, Vortrieb im Neckartal für die Bahntunnel nach Ober- und Untertürkheim. Vortrag anlässlich der STUVA-Tagung in Frankfurt a. M. vom 26. - 28.11.2019, Köln, 2019.

Reinhardt, A.; Wittke, M.: Unterfahrung der Bruckwiesenwegbrücke und der DB-Strecke nach Ulm mit den Tunneln nach Obertürkheim. Vortrag anlässlich des 6. Felsmechanik- und Tunnelbautages im Rosengarten in Mannheim am 10.06.2021. WBI-PRINT 23, Weinheim, 2021.

RWTH Aachen, Lehrstuhl für Grundbau, Bodenmechanik, Felsmechanik und Verkehrswasserbau, Wittke, W.: Unterlagen zur Vorlesung "Bodenmechanik II". Aachen 1998.

Stüting, J.; Bohlmann, B.; Wittke, M.; Wittke, W.: Die Neubaustrecken Hanau - Fulda und Fulda - Eisenach, Herausforderungen beim Bauen im Buntsandstein. Vortrag anlässlich des 7. Felsmechanik- und Tunnelbautages im WBI-Center am 23.06.2022. WBI-PRINT 24, Weinheim, 2022.

von Soos, P.; Engel, J.: Eigenschaften von Boden und Fels - ihre Ermittlung im Labor. Grundbau-Taschenbuch, Teil 1 Geotechnische Grundlagen, 8. Auflage, Ernst & Sohn Verlag GmbH, Berlin, 2017.

Wittke, M.: Bau des Neuen Buschtunnels in Aachen. Proc. 29. Baugrundtagung, Bremen, 2006.

Wittke, M.; Wittke-Gattermann, P.; Wittke, W.; Red Line Tel Aviv: Planung und Bau der TBM-Tunnel des östlichen Streckenabschnitts (Teil 1). In: Zeitschrift Tunnel 4/2019. Bauverlag BV GmbH, Gütersloh, 2019.

Wittke, M.; Wittke-Gattermann, P.; Wittke, W.; Red Line Tel Aviv: Planung und Bau der TBM-Tunnel des östlichen Streckenabschnitts (Teil 2). In: Zeitschrift Tunnel 5/2019. Bauverlag BV GmbH, Gütersloh, 2019.

Wittke, W.; Pierau, B.; Erichsen, C.: Statik und Konstruktion der Spritzbetonbauweise. WBI-PRINT 5, Verlag Glückauf GmbH, Essen, 2002. ISBN: 3-7739-1305-2.

Wittke, W.; Scheidl, E.: U2/2 - Beherrschung unerwarteter Wasserzutritte beim Vortrieb. Proc. Betontag, Wien, 2006.