

# Verklebungspotenzial des Baugrunds bei der Bohrpfahlherstellung - unbekannt oder unerkannt?

Dr.-Ing. Karsten Beckhaus, BAUER Spezialtiefbau GmbH, Schrobenuhausen  
Akad. Dir. Dipl.-Ing. Martin Feinendegen, RWTH Aachen University  
Dr. Ralf J. Plinninger, Dr. Plinninger Geotechnik, Bernried

*Das Verklebungspotenzial von Boden oder Fels ist -ebenso wie das Verschleißpotenzial- eine baugrundabhängige Eigenschaft, welche sich bei der Bohrpfahlherstellung erheblich auf die Leistung und ggf. auch den Werkzeugverschleiß auswirken kann.*

*Aktuell bearbeitet der Arbeitskreis 1.11 der DGGT eine Empfehlung, die wesentliche Zusammenhänge darstellen und Regelungen u.a. für eine detaillierte Bewertung des Verklebungspotenzials vorschlagen soll. Diese Empfehlung soll den Bogen von der Baugrunderkundung bis zur Ausprägung auftretender Verklebungen in der Bauausführung spannen. Der aktuelle Status der Empfehlung wird im Kontext des Vortrags erläutert.*

*Für einen typischen Fall aus der Praxis wird die Bedeutung eindeutiger Vorgehensweisen in der Beschreibung des Verklebungspotenzials des Baugrunds hervorgehoben und die Verantwortung der Beteiligten im VOB-Vertrag herausgearbeitet. Auch bei Problemen mit Verklebungen gilt, dass die umfängliche Baugrundbeschreibung Aufgabe des Bauherrn ist und die Auswirkungen eines unbekannten oder unerkannten Verklebungspotenzials auf die angebotene Leistung vom Bieter nicht eingeschätzt und einkalkuliert werden können.*

## 1 Einleitung

Eine möglichst wirtschaftliche und nachhaltige Ausführung geotechnischer Bauleistungen setzt eine ausreichende Kenntnis des Baugrunds voraus. Entsprechend der Bauaufgabe und der geotechnischen Beschreibung wählt in aller Regel der Unternehmer ein geeignetes Bauverfahren aus. In einem später noch näher beschriebenen Fallbeispiel war das beispielsweise das Bohrverfahren zur Ausführung von Schneckenortbetonpfählen (SOB).

Grundlage der Kalkulation ist die Beschreibung der relevanten Baugrundeigenschaften. Die Kennwerte der Homogenbereiche stellen hierfür die Mindestanforderungen in den jeweiligen ATVen der VOB/C, hier der DIN 18301, dar. Anders als bei der Bemessung des geotechnischen Bauwerks (gemäß EC7) sind derartige, für die Abschätzung der technischen Herstellleistung und des zugehörigen Verschleißes erforderliche Bodenkennwerte allerdings nicht als „charakteristische Werte“ mit einem Sicherheitsfaktor anzugeben, sondern im besten Fall als tatsächlich (versuchstechnisch) ermittelte Kennwerte, möglichst mit Angabe der ermittelten Bandbreite bzw. der Häufigkeitsverteilung (Beckhaus et al, 2017).

Die Forderung der Angabe realer Kennwerte wurde auch von der Arbeitsgruppe CEN/TC 288/WG 25 aufgenommen, welche derzeit an der Überarbeitung der „Bohrpfahlnorm“ (EN 1536) arbeitet. Hier heißt es im Abschnitt über die für die Ausführung der Arbeiten

erforderlichen Informationen: „Different from the reason for design of geotechnical structures, for execution the average ground properties and their distribution are relevant to choose suitable work methods.“

Und weiter im Abschnitt zur geotechnischen Erkundung: „The geotechnical investigation report shall include specific information regarding the following aspects, where relevant: [...]“

- ground properties necessary to determine work method, equipment and tools, and to estimate performance as well as wear and tear, e.g. strength, density, abrasivity“.

Auch die realistische Einschätzung möglicher Verklebungen gehört in diese Liste, da sie eine vom Baugrund verursachte Erschwernis darstellt, welche die Bauzeit ggf. signifikant verlängern und die Baukosten erheblich erhöhen kann. Im besten Fall wurde das Risiko auftretender Verklebungen einkalkuliert und mit geeigneten Maßnahmen „kontrolliert“. Für eine im Wettbewerb neutrale Kalkulationsgrundlage sind also objektive und relevante Angaben für die in situ, d.h. real (!) zu erwartenden Baugrundverhältnisse erforderlich.

## 2 Verklebungen

Verklebungen an Bohr- oder Abbauwerkzeugen stellen eine häufige Ursache für Behinderungen bei der Ausführung von Spezialtief- und Tunnelbauarbeiten dar. In deutschen und internationalen Regelwerken

wird zwar, wie oben erwähnt, grundsätzlich gefordert, dass sie zu beschreiben sind, wie dies faktisch zu erfolgen hat, bleibt allerdings unklar. Eine Zusammenfassung des auch 2025 im Wesentlichen noch gültigen Regelungsstands findet sich z.B. in Feinendegen & Ziegler (2016).

Die Abschätzung bzw. Bewertung eines „Verklebungspotenzials“ findet aktuell daher i.d.R. auf Basis der Erkenntnisse mehr oder weniger verbreiteter Forschungsarbeiten statt:

- Schlick (1989) hat sich erstmals intensiv mit der Adhäsion im Boden-Werkzeug-System beschäftigt und ein entsprechendes Bewertungsdiagramm, basierend auf der Plastizität und Konsistenz des anstehenden Bodens, entworfen.
- Thewes (1999) hat ein ähnliches Diagramm für maschinelle Tunnelvortriebe mit flüssigkeitsgestützter Ortsbrust entwickelt, das als „Thewes-

Diagramm“ in der Praxis weite Verbreitung gefunden hat.

- Hollmann (2015) hat dieses Diagramm nach einer Erweiterung für Vortriebe im offenen Modus (Hollmann & Thewes, 2011) zu einem „Allgemeinen Bewertungsdiagramm“ weiterentwickelt.
- Budach et al. (2019) nehmen eine „Quantitative Bestimmung des Verklebungspotenzials feinkörniger Böden auf Basis von Adhäsionsspannung“ mit einem Stempelabzugversuch vor.
- de Oliveira (2018) bewertet das Verklebungspotenzial mit dem so genannten ATUR Test, der aktuell weiterentwickelt wird (Burgtorf et al., 2025).
- An der RWTH Aachen University werden seit fast 15 Jahren Konuszugversuche zur Bestimmung der Anhaftungsneigung von bindigen Böden und veränderlich festen Gesteinen durchgeführt (Feinendegen & Ziegler, 2016 bzw. Feinendegen & Spagnoli, 2021).

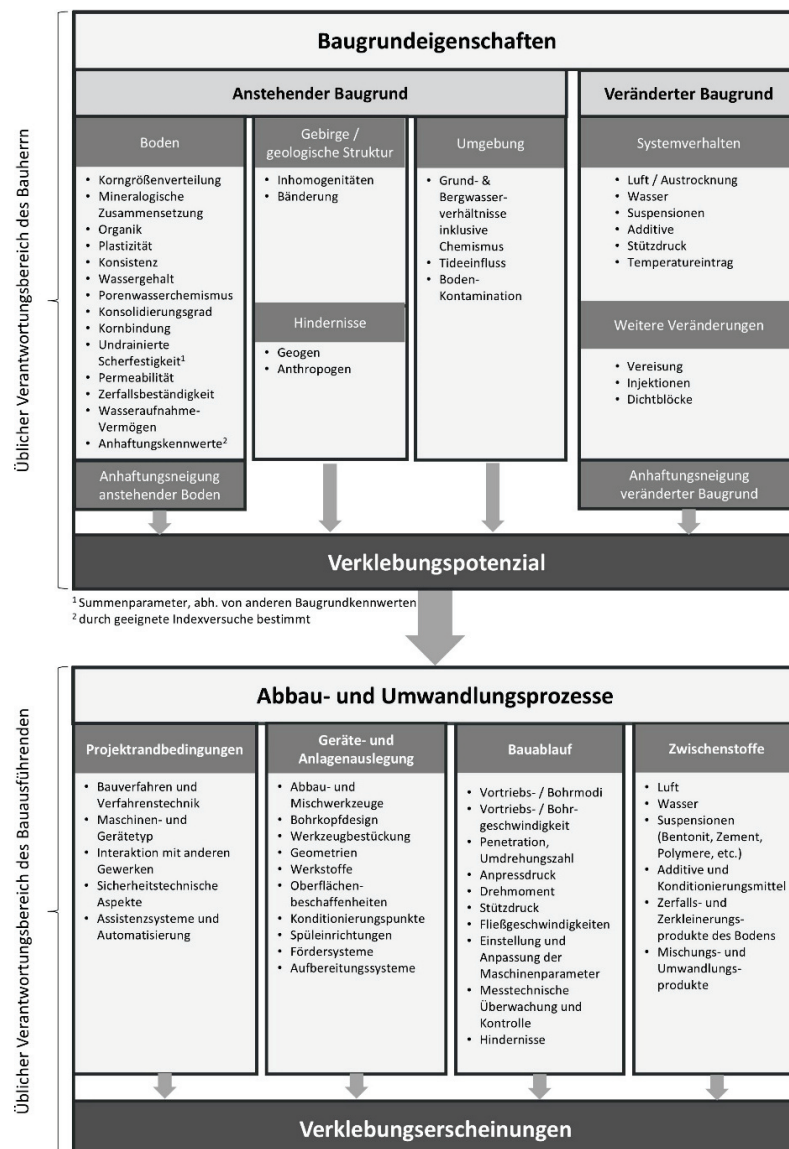


Abbildung 2-1: Einflussgrößen auf Verklebungen bei Arbeiten im Lockergestein (Spezialtiefbau und Tunnelbau)

Aufgrund der Vielzahl von Einflüssen sowohl aus dem anstehenden Baugrund als auch aus den mehr oder weniger unvermeidbaren projekt- und verfahrensspezifischen Abbau- und Umwandlungsprozessen gestaltet sich eine allgemein gültige Prognose von zu erwartenden Verklebungserscheinungen somit ausgesprochen schwierig. Verlässliche Methoden zur Abschätzung eines Verklebungspotenzials bei Spezialtiefbauarbeiten fehlen weiterhin (Prediger, 2023).

Um hier zukünftig eine sowohl technisch als auch vertraglich referenzierbare Grundlage zu haben, arbeitet der Arbeitskreis 1.11 „Verschleiß und Verklebung“ der DGGT seit 2019 an einer Empfehlung, in der die bisherigen Erkenntnisse zusammengefasst und bewertet werden sollen (Feinendegen et al., 2023). Das Einflussgrößendiagramm in Abbildung 2-1 bietet in diesem Zusammenhang eine erste Orientierung, auch hinsichtlich der Verantwortungsbe-  
reiche von Bauherren und -ausführenden.

### 3 Fallbeispiel SOB-Pfahlherstellung in Molassegesteinen

Das folgende Fallbeispiel stellt die Auswirkung unerwarteter Verklebungserscheinungen bei der Ausführung von Bohrpfahlarbeiten in veränderlich festen Molassegesteinen im süddeutschen Raum vor und diskutiert Rückschlüsse auf ein unerkanntes Verklebungspotenzial.

#### 3.1 Projekttrandbedingungen

Beim gegenständlichen Projekt handelt es sich um den Neubau eines Technologie- und Logistikgebäudes in Bayern. Hierfür wurden insgesamt 495 Bohrpfähle  $\varnothing$  1180 mm mit 20 - 22 m Bohrteufe erstellt. Die Bohrarbeiten wurden mit zwei Bohrgeräten, einer Bauer BG 39 für die Schneckenortbetonpfähle (SOB-Pfähle) und einer Bauer BG 30 für die Kelly-Pfähle ausgeführt.

Abbildung 3-1 zeigt die BG 39 mit einer durchgehenden Bohrschnecke zur Ausführung des SOB-Verfahrens. Anders als beim Kelly-Verfahren mit diskontinuierlichem Bohrvorgang und einem zwischenzeitlich offenen Bohrloch kann beim SOB-Verfahren das Werkzeug nicht zwischendurch „geborgen“ werden. Das Bohrloch wird durch die gefüllte Bohrschnecke gestützt und muss beim Ziehen der Schnecke kontinuierlich mit Beton gefüllt werden, der durch die Seele der Bohrschnecke nach unten gepumpt wird und dann die Stützfunktion übernimmt. Diese Besonderheit im Herstellprozess spielt im Weiteren eine entscheidende Rolle. Vergleichend sei an dieser Stelle auch angemerkt, dass -geeignete Bodenver-

hältnisse vorausgesetzt- mit dem SOB-Verfahren erfahrungsgemäß eine mehrfach höhere Herstellleistung erreicht werden kann.

Die Baugrundverhältnisse im Projektareal werden durch Gesteine des süddeutschen Molassebeckens geprägt, die in einer Tiefe von ca. 8 m bis 9 m unter jüngsten (holozänen) anthropogenen Auffüllungen, quartären Deckschichten (Schwemmsande, Auelehne) und quartären Donaukiesen anstehen.



Abbildung 3-1: Ausführung von Bohrpfählen mit dem SOB-Verfahren

Unter den quartären Ablagerungen liegen zunächst tertiäre Sedimente der Oberen Brackwassermolasse (OBM) bzw. „Kirchberg-Formation“ aus dem Miozän (Alter ca. 17 Mio. Jahre). Diese liegen als Wechselfolge von meist schlammkornreichen Feinsanden im Wechsel mit ausgeprägt bindigen Schluff- und Mergellagen vor und enthalten auch dünne Braunkohlelagen. Im Liegenden der OBM stehen Sedimente der Oberen Meeresmolasse (OMM) bzw. „Grimmelfinger Schichten“ aus einem älteren Abschnitt des Miozän (Alter ca. 17,5 Mio. Jahre) an. Diese werden durch vergleichsweise mächtige Schichtpakete von Fein- bis Mittelsanden geprägt, die durch unterschiedlich mächtige Schluff- und Tonlagen meist ohne horizontale Beständigkeit unterbrochen werden.

#### 3.2 Probleme und Ursachenanalyse

Unmittelbar nach dem Beginn der Bohrpfahlarbeiten wurde bei über einem Viertel der SOB-Pfähle in den Tertiärschichten (OBM/OMM) ein ungewöhnlich niedriger Bohrfortschritt beobachtet (Abbildung 3-2). Gleichzeitig verliefen die Bohrarbeiten mit dem Kelly-Verfahren in den denselben Bodenschichten weitgehend planmäßig.

Die aufgetretenen Probleme wurden zunächst als Folge von in den Tertiärablagerungen auftretenden „Härtlingslagen“ gedeutet. Derartige Lagen waren in der Vorerkundung erkannt und das Durchörtern im



Leistungsverzeichnis mit einer Zulageposition verankert worden. Die daraufhin durchgeführten Anpassungen des Werkzeugbesatzes an der Schneide und am Piloten der Endlosschnecke verfolgten das Ziel, die Durchörterung dieser felsartigen Lagen zu verbessern. Die Maßnahmen zeigten jedoch keinerlei positive Veränderungen und die Hypothese der Härtingslagen musste daher als Ursache für die aufgetretenen Probleme verworfen werden.

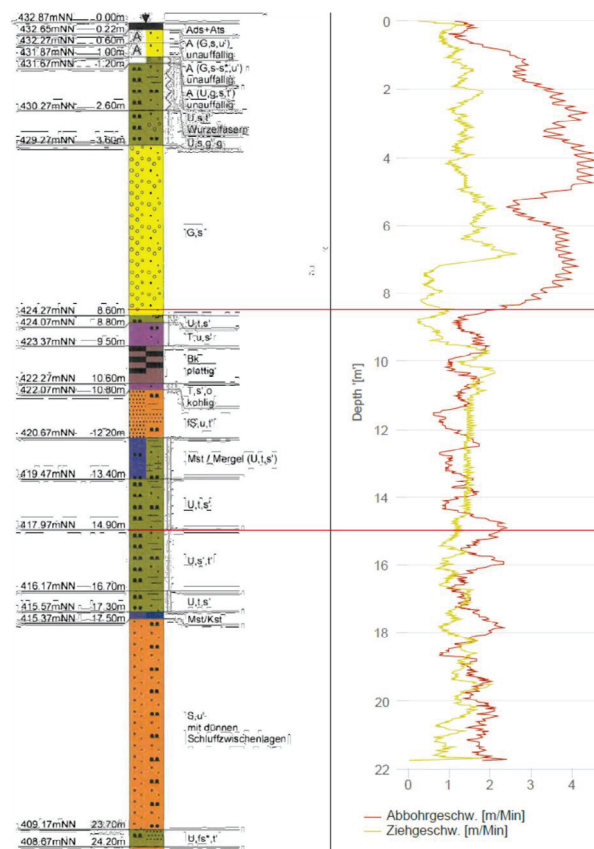


Abbildung 3-2: Beispiel für das plötzliche Absinken der Abbohrgeschwindigkeit (rote Linie) bei Erreichen der tertiären Molasseablagerungen.

Nach dem Scheitern dieser ersten Maßnahmen wurden Adhäsions-, d.h. Anhaftungsphänomene zwischen Boden und Endlosschnecke in Erwägung gezogen, im allgemeingültigen Kontext der o.g. Empfehlung des DGGT-AK 1.11 also „Verklebungsercheinungen“. Der Bohrfortschritt beim SOB-Verfahren hängt nicht nur von der Überwindung des Bohrwiderstands an der Schneide ab, sondern auch davon, dass der gesamte gelöste Boden auf der Wendel der Endlosschnecke nach oben gefördert wird. Ein zu hoher Widerstand zwischen Bohrgut und Wendel kann dazu führen, dass der Boden in der Wendel verklebt und trotz Rotation und Andruck kein weiteres Bohrgut mehr in die Schnecke aufgenommen wird. Diese dreht dann „auf der Stelle“, d.h. ohne Teufengewinn.

In einem ersten Testlauf wurde daher versucht, über die hohle Seele der Endlosschnecke Wasser als „Schmierung“ am Bohrkopf einzubringen. Es zeigte sich rasch, dass die Materialförderung durch die Wasserzugabe positiv beeinflusst wurde. Die weiteren Bohrarbeiten konnten mit dieser Maßnahme dann hinsichtlich der Bohrleistung weitgehend problemlos und innerhalb des vorgegeben Zeitrahmens abgewickelt werden.

### 3.3 Geotechnische Erklärungsansätze

Eine Übertragung der im Baugrundgutachten enthaltenen Laborergebnisse von Konsistenz und Plastizität in das Bewertungsdiagramm von Schlick (1989) sowie Hollmann & Thewes (2011) ergibt die in nachstehender Abbildung 3-3 dargestellte Zuordnung.

Es ist festzustellen, dass die vorliegenden Laborergebnisse für alle drei Proben aus dem Tertiär (OBM und OMM) auf Basis der Bewertungsdiagramme eine niedrige Anhaftungsneigung im ungestörten Zustand nahelegen. Die aufgetretenen Probleme sind auf Basis der Eigenschaften des ungestörten Bodens also nicht auf Anrieb zu erklären.

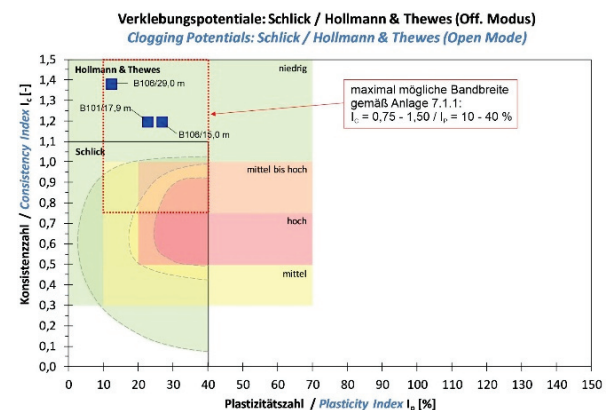


Abbildung 3-3: Darstellung der für die bindigen Tertiärablagerungen vorliegenden Versuchsergebnisse der Ausschreibung.

Eine Bewertung der Laborkennwerte im Allgemeinen Bewertungsdiagramm von Hollmann & Thewes (2011) bzw. Hollmann (2015) zeigt, dass bei den vorliegenden Böden bereits eine relativ geringe Erhöhung des Wassergehalts in einer Größenordnung von etwa 5 - 15 % eine signifikante Erhöhung des Verklebungspotenzials in einen Bereich mittlerer oder starker Verklebungen verursachen kann (Abbildung 3-4). Eine derartige Erhöhung des Wassergehalts ist beim SOB-Verfahren infolge potentieller Grundwasserzutritte und Wassermülfähigkeiten entlang der Wendel bei gleichzeitiger mechanischer Durchmischung des Bodens ein sehr wahrscheinliches Szenario.

Hierbei ist zudem zu berücksichtigen, dass es für das Auftreten entsprechender Adhäsionsphänomene nicht zwingend erforderlich ist, den Wassergehalt des gesamten Bodens zu erhöhen. Ausreichend ist vielmehr bereits ein entsprechendes Aufweichen der mit dem Werkzeug in Kontakt stehenden Randbereiche, während im Kernbereich nach wie vor ein nahezu unveränderter Wassergehalt bzw. ein unverändert niedriges Verklebungspotenzial vorliegen kann.

Mit dem Allgemeinen Bewertungsdiagramm kann auch plausibel erklärt werden, warum sich unter den vorliegenden Verhältnissen bereits eine geringe weitere Wasserzugabe im Bereich des Bohrkopfs positiv auf das Verklebungspotenzial des Bohrguts und die aufgetretenen Bohrerschwernisse auswirken kann.

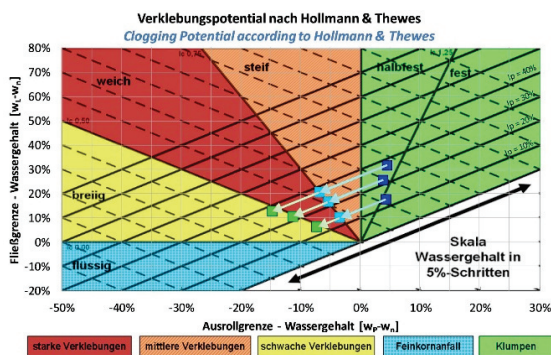


Abbildung 3-4: Verklebungspotenzial der drei untersuchten Tertiärproben im ungestörten (dunkelblaue) und aufgebohrten Zustand (hellblaue) sowie nach künstlicher Wasserzugabe (grüne Punkte) im Allgemeinen Bewertungsdiagramm nach Hollmann & Thewes (2011) bzw. Hollmann (2015), farblich hinterlegt.

Mit der durch die Seele der SOB-Wendel zugegebenen Wassermenge konnte eine Erhöhung des Wassergehalts von rechnerisch (auf das Nennvolumen des Bodens bezogen) bis zu 10 % erreicht werden. Hierdurch wurde die Konsistenz des Bohrguts (zumindest in den maßgebenden Randbereichen) entsprechend Bodenschollen) soweit verändert, dass nurmehr nur noch eine schwache Anhaftungsneigung vorhanden war und das Bohrgut wieder problemlos in der Wendel der Endlosschnecke aufgenommen werden konnte.

### 3.4 Schlüsse aus dem Fallbeispiel

Das Fallbeispiel zeigt, dass die aufgetretenen Verklebungserscheinungen im vorliegenden Fall nicht auf abweichende geologische Verhältnisse im eigentlichen Sinne zurückzuführen sind. Vielmehr handelt es sich um ein unvorhergesehen ungünstiges Zusammenwirken der sich verändernden Adhäsioneigenschaften des Bodens bei Wasserzutritt mit dem gewählten Bohrverfahren.

Die Autoren vertreten die Auffassung, dass Art und Umfang der beim Bohren mit dem SOB-Verfahren tatsächlich auftretenden Adhäsionsphänomene zum Zeitpunkt von Angebotsbearbeitung und Vertragsabschluss weder vom Auftraggeber bzw. Bauherrn noch von Auftragnehmer erkannt werden konnten. Eine realistische Prognose der Bohrleistung und insbesondere der spezifischen ausführungstechnischen Probleme infolge Verklebungserscheinungen ist auf Basis der aktuellen Regelwerke keinesfalls und selbst auf Basis des aktuellen Stands von Wissenschaft und Technik (noch) nicht zweifelsfrei möglich.

Das Fallbeispiel macht aber deutlich, dass ein mögliches Verklebungspotenzial im Vorfeld nicht nur für den ungestörten Boden, sondern auch für den durch den Bohrvorgang „veränderten Boden“ untersucht werden sollte. Im Idealfall wäre für das grundsätzlich leistungsstärkere SOB-Verfahren eine unter den örtlichen Verhältnissen erhöhte Empfindlichkeit für wirksame Verklebungen als für das konventionelle und grundsätzlich langsamere Kellybohrverfahren erkannt worden. Für die Veränderung des Bodens und im Fallbeispiel offenbar damit erst mitverantwortlich für das Auftreten der Probleme sind nämlich offenbar die in Abbildung 2-1 genannten spezifischen „Abbau- und Umwandlungsprozesse“ des gewählten Bohrverfahrens mit zugehöriger Verfahrenstechnik. Mit der Wahl eines (Löse- bzw. hier:) Bohrverfahrens kann demnach nicht nur die Wirtschaftlichkeit, sondern auch die Veränderung des Bodens im Hinblick auf dessen Anhaftungsneigung beeinflusst werden.

Vor dem Hintergrund der üblichen Risikosphären-Zuordnung im Bauvertrag gemäß VOB sind derartige, letztlich vom Baugrund verursachten Probleme dennoch nicht in der Sphäre des Auftragnehmers anzusiedeln. Sie sind nach Überzeugung der Autoren als unvorhergesehen ungünstige Interaktion des vom Auftraggeber bereitgestellten Baugrunds und des gemeinsam von Auftraggeber und Auftragnehmer gewählten Bauverfahrens im Sinne eines „Baugrundrisikos“ auch der Risikosphäre des Auftraggebers zuzuordnen.

Diese Einschätzung wird auch von Feinendegen & Ziegler (2016) vertreten: „Die Verklebungsproblematik verbleibt also dem Grunde nach im Bereich des Baugrund- bzw. Gebirgsrisikos, womit sich aus Abschnitt 3.3.7 von DIN 18312, VOB/C: ATV - Untertagebauarbeiten ableiten lässt, dass die dadurch entstehenden Aufwendungen „Besondere Leistungen“ sind, die auch vergütet werden müssen“, wird dort nämlich gleichzeitig auch gefordert, dass eine „wesentliche Änderung der Eigenschaften und Zustände von Boden und Fels bei und nach dem Lösen, insbe-

sondere in Verbindung mit Luft, Wasser, Stützflüssigkeit oder sonstigen Konditionierungsmitteln“ in der Baugrundbeschreibung anzugeben sind.

Die entsprechende Empfehlung, das Systemverhalten im Rahmen der Baugrunduntersuchung zu bewerten bzw. abzu prüfen, findet sich in Abbildung 2-1 im Block „Veränderter Baugrund“ wieder.

## 4 Schlussfolgerungen

Anhaftungen von Boden an Werkzeug oder an sonstigen Peripheriegeräten oder allgemein „Verklebungen“ können im Spezialtiefbau und Tunnelbau zu erheblichen technischen und wirtschaftlichen Problemen führen. Wenngleich für entstehende Probleme in der Regel bautechnische Lösungen gefunden werden, können die Auswirkungen auf Bauzeit und -kosten erheblich sein. Eine vorlaufende und praxisrelevante Beurteilung des Verklebungspotenzials des Baugrunds ist daher Grundvoraussetzung für die Wahl des geeigneten Bauverfahrens und eine seriöse Kalkulation der Bauausführung.

Das gezeigte Fallbeispiel macht die Komplexität des Sachverhalts deutlich. Nicht nur kann eine erkannte Anhaftungsneigung des Bodens die Auswahl eines Bohrverfahrens bedingen, umgekehrt kann auch die Verfahrenstechnik den Boden verändern und damit eine -im Vergleich zum ungestörten Boden- geänderte Anhaftungsneigung zur Folge haben. Ein solches Systemverhalten ist in der Baugrundbeschreibung zu beachten und bleibt im üblichen Verantwortungsbereich des Bauherrn. Die im Beispiel aufgetretenen Probleme konnten durch eine gezielt herbeigeführte -nochmalige- Veränderung des Baugrunds überwunden werden. Infolge Wasserzugabe wurde die Anhaftungsneigung des Bodens offenbar in den unkritischen Zustand verschoben.

Der Arbeitskreis 1.11 der DGGT arbeitet an einer Empfehlung zu „Verschleiß und Verklebung im Lockergestein“. Diese soll allen an Arbeiten im Tunnel- und Spezialtiefbau beteiligten Parteien eine objektive Grundlage insbesondere dafür bieten, wie der zu lösende (und ggf. zu fördernde) Baugrund zu beschreiben ist, damit das richtige Bauverfahren ausgewählt und die Bauleistung seriös kalkuliert werden kann. Eine Kommunikation zwischen planenden und ausführenden Parteien ist insbesondere erforderlich, wenn das Systemverhalten des Bodens durch Abbau- und Umwandlungsprozesse aus dem (möglichen) Bauverfahren wesentliche Änderungen des Anhaftungsneigung zur Folge haben kann, welches letztlich eine Baugrundeigenschaft ist und damit in der Risikosphäre des Bauherrn bleibt.

## Literaturverzeichnis

- Beckhaus, K.; Haugwitz, H.-G.; Paysen-Petersen, L.: *Beschreibung von Boden und Fels und deren Einfluss auf Bohrleistung und Verschleiß*. In: DGGT Fachsektionstage 2017, Würzburg
- Budach, C.; Placzek, D.; Kleen, E. (2019): *Quantitative Bestimmung des Verklebungspotenzials feinkörniger Böden auf Basis von Adhäsionsspannung: Aktuelle Untersuchungen und neue Erkenntnisse*. geotechnik (42), S. 2-10.
- Burgtorf, S.; Kitscha, C.; Babendererde, T.; Schoesser, B.; Thewes, M. (2025): *Comparative investigations for the determination of clogging potential in EPB-Tunneling adapting the improved testing device ATUR 2.0*. In: ITA-AITES World Tunnel Congress 2025, Stockholm, S. 2595-2602.
- Feinendegen, M.; Ziegler, M. (2016): *Verklebungen beim maschinellen Tunnelvortrieb: Normative Regelungen, Klassifikation und Prognose*. Bauingenieur (91), S. 350-359.
- Feinendegen, M.; Spagnoli, G. (2021): *Erkenntnisse aus zehn Jahren Verklebungsbewertung mit dem Kornsugversuch: Versuchsdurchführung, Aufbereitung der Proben, maßgebende Bewertungsfaktoren*. In: STUVA-Tagung 2021, Karlsruhe, S. 194-202.
- Feinendegen, M.; Babendererde, T.; Drucker, P.; Holzhäuser, J.; Langmaack, L.; Richter, A. (2023): *Empfehlung(en) „Verschleiß und Verklebung im Lockergestein“ - ein erster Ausblick*. In: DGGT Fachsektionstage 2023, Würzburg, S. 268-273.
- Hollmann, F.; Thewes, M. (2011): *Bewertung der Neigung zur Ausbildung von Verklebungen und zum Anfall von gelöstem Feinkorn bei Schildvortrieben im Lockergestein*. In: 18. Tagung für Ingenieurgeologie und Forum für junge Ingenieurgeologen 2011, Berlin, S. 237-244.
- Hollmann, F. (2015): *Bewertung von Boden und Fels auf Verklebungen und Feinkornfreisetzung beim maschinellen Tunnelvortrieb*. Dissertation, Ruhr-Universität Bochum, Shaker Verlag.
- de Oliveira, D. (2018): *EPB Excavation and conditioning of cohesive mixed soils: clogging and flow evaluation*. Dissertation, Queens's University.
- Prediger, L. (2023): *Verklebungen im Spezialtiefbau - Erfahrungen und Einschätzungen*. In: DGGT Fachsektionstage 2023, Würzburg, S. 78-82.
- Schlick, G. (1989): *Adhäsion im Boden-Werkzeug-System*. Dissertation Universität Karlsruhe, Institut für Maschinenwesen im Baubetrieb, Heft F39.
- Thewes, M. (1999): *Adhäsion von Tonböden beim Tunnelvortrieb mit Flüssigkeitsschilden*. Dissertation, Bergische Universität Wuppertal, Shaker Verlag.