

Hydraulische Rissbildung in oberflächennahen Bohrlöchern

Gefahr, Beherrschung und Nutzbarmachung eines natürlichen Phänomens

Bei HDD-Bohrungen können ungewollt Spülsausrüche auftreten. Wie kann man diese Vorgänge beherrschen und ihre Risiken abschätzen? Und wie kann man Spülsausrüche vermeiden?

**VON DIPL.-ING. (FH) MARTIN KRENTZ,
Ö.B.U.V. SACHVERSTÄNDIGER FÜR BOHR-,
INJEKTIONS- UND DÜSENSTRAHLTECHNIK
IM SPEZIALTIEFBAU**

Das Prinzip der hydraulischen Rissbildung ist derzeit unter dem Anglizismus Fracking in aller Munde. Dieser entstammt der englischen Bezeichnung "Hydraulic Fracturing" – eine Methode, mit der im umgebenden Gestein von Tiefbohrungen künstlich Risse erzeugt werden, um dessen Durchlässigkeit zu vergrößern. Seit vielen Jahrzehnten wird dieses Verfahren angewendet, um die Ergiebigkeit von Erdöl- und Erdgasvorkommen zu erhöhen.

Mit Zunahme der Erdwärmennutzung in den vergangenen Jahren findet das Verfahren auch in der sogenannten tiefen Geothermie Anwendung, um den Wärmeentzug in kristallinem Gestein zu ermöglichen. Während für die hydraulische Rissbildung in Tiefbohrungen Drücke von bis zu 1.000 bar erzeugt werden müssen, wirkt sie in flacheren Spülbohrungen, beispielsweise für den Spezialtiefbau oder für die grabenlose Rohrleitungsverlegung in manchen Fällen bereits bei Drücken von unter 1 bar. Im Spezialtiefbau macht man sich das Prinzip der hydraulischen Rissbildung in der Injektionstechnik zunutze, um setzungsgeschädigte Bauwerke anzuheben oder – z.B. bei Tunnelvortrieben – vor Setzungen zu schützen und um gering standfesten Böden zu stabilisieren.

Jedoch tritt hydraulische Rissbildung in Bohrlöchern oftmals auch ungewollt in Erscheinung. Bei oberflächennahen Bohrungen können Spülsausrüche an der Geländeoberfläche die Folge sein. Auch können unter bestimmten Umständen unkontrolliert Gelände- bzw. Bauwerkshebungen durch sie bewirkt werden.



Bild 1: An der Abbruchkante eines Vulkankegels wird sichtbar, welche Wege das zuvor flüssige Magma sich infolge hydraulischer Rissbildung durch die überlagernden Schichten gebahnt hat (Caldera de Taburiente, La Palma)

In der Horizontalbohrbranche werden Spülsausrüchre häufig als Ausbläser bezeichnet, obgleich dieser Begriff im Berg- und Tunnelbau für den unkontrollierten Ausbruch von Druckluft verwendet wird.

In diesem Beitrag wird geschildert, wie dieses Prinzip kontrollierbar zur Baugrundverbesserung und Bauwerkshebung angewendet werden kann. Ferner wird auf die ungewollte Begleiterscheinung der hydraulischen Rissbildung eingegangen und ein einfaches Berechnungsmodell für die Abschätzung des Risikos von Spülsausrüchren bei oberflächennahen Bohrungen vorgeschlagen.

Die Natur macht es vor

Hydraulische Rissbildung ist ein natürlicher Vorgang. Er kann beispielsweise im Zusammenhang mit Vulkanaktivität beobachtet werden. In großen Tiefen verflüssigt sich Gestein unter der dort vorherrschenden Hitze zu Silikatschmelzen, dem sogenannten Magma. Durch tektonische Vorgänge entsteht in dieser Flüssigkeit Druck. Sobald dieser größer wird als die Gebirgsspannungen infolge des Überlagerungsdruckes des Deckgebirges, dringt das flüssige Magma an den schwächsten Stellen in das Deckgebirge ein und erzeugt darin Risse (Bild 1). Die aus dem Flüssigkeitsdruck resultierende Kraft wirkt auf die Rissflanken und sorgt für eine Vergrößerung des Spaltes. Mit der Vergrößerung der Fläche geht die Zunahme der resultierenden Druckkraft einher, so dass der Vorgang sich selbst fortsetzt, bis der Flüssigkeitsdruck abnimmt. Dies geschieht, wenn die Flüssigkeit an der Geländeoberfläche austritt oder weil der von unten herandrängende Volumenstrom abnimmt. Die auf diese Weise erzeugten Spalten bleiben mit Magma gefüllt, welches aufgrund der in Oberflächennähe geringeren Temperatur zu Festgestein erstarrt.

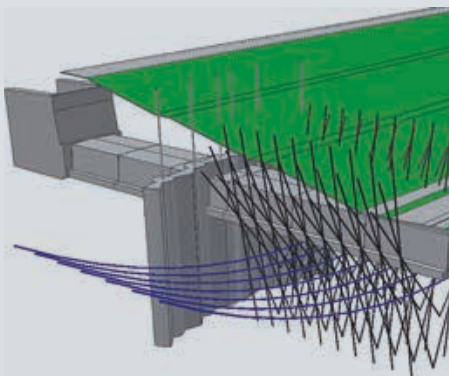


Bild 2: Anordnung von gesteuerten und ungesteuerten Injektionsbohrungen für die Hebung des Auslaufbauwerkes einer Talsperre

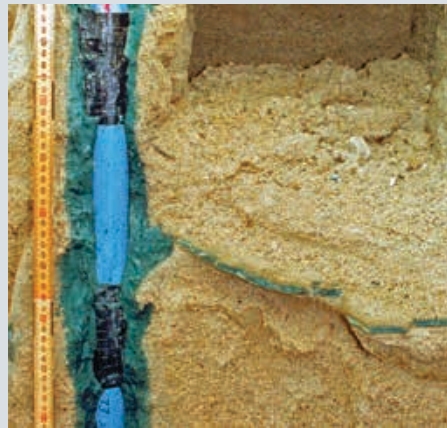


Bild 3: Freigelegtes Injektionsventilrohr, eingebettet in selbsterhärtende Spülung, sog. Sperrmittel. Rechts ein mit horizontalem Verlauf entstandener „Frac“.

Anwendung der hydraulischen Rissbildung im Spezialtiefbau

Der oben als natürlicher Vorgang beschriebene Ablauf kann künstlich erzeugt werden, indem feststoffreiche oder hochviskose, selbsterhärtende Flüssigkeiten in Bohrlöcher eingepresst werden.

Das Prinzip der hydraulischen Rissbildung wird im Spezialtiefbau angewendet, um Bauwerke nach Setzungsschäden zu heben [1.]. Auch wird der Baugrund oberhalb von geplanten Tunnelvortrieben nach diesem Prinzip vorbehandelt, um darüber befindliche Bauwerke vor durch den Vortrieb verursachte Setzungen zu schützen. Bodenstabilisierungen, z.B. an Kriechhängen, wurden ebenfalls nach diesem Prinzip ausgeführt. Es ist sowohl in Lockergestein als auch in Festgestein geringerer Festigkeit anwendbar.

Das Verfahren ist unter dem Begriff Aufreißinjektion, Aufbrechinjektion oder Soilfrac, dem Markennamen des erstanwendenden Anbieters in Deutschland, Firma Keller Grundbau, bekannt. Im Spezialtiefbau gehört dieses Verfahren gemäß DIN EN 12 715 [2.] zur Gruppe der Verdrängungsinjektionen.

Für eine kontrollierte Bauwerkshebung werden unterhalb der Gründung Bohrungen angeordnet und mit Injektionsrohren, auch als Injektionslanzen bezeichnet, ausgebaut. Im zu behandelnden Streckenabschnitt sind die Injektionsrohre in regelmäßigem Abstand mit Manschettenventilen versehen. Großflächige Hebungsinjektionen können mehrere Tausend Einzelventile in flächig bzw. räumlich rasterförmiger Anordnung erfordern. Die Injektionslanzen werden mittels verlaufsgesteuerten oder geneigten Injektionsbohrungen in den Baugrund eingebracht (Bild 2).

Daraufhin wird der Ringraum der Bohrungen mit erhärtender Spülung, dem sogenannten Sperrmittel – vornehmlich Zement-Gesteismehl-Suspensionen –, verschlossen (Bild 3). Die hydraulische Rissbildung wird bewirkt, indem nach Erhärten des Sperrmittels feststoffreiche, auf Zement basierende Bindemittelsuspension über die Manschettenventile der Injektionslanzen in den Baugrund eingepresst wird. Das Fließverhalten sowie die Feststoffbefrachtung des Einpressgutes wird dabei gezielt so eingestellt, dass ein Eindringen in den Porenraum des Bodens weitgehend vermieden wird. Um die Rissausbreitung zu begrenzen und Suspensionsausbrüche zu vermeiden, wird in mehrfach wiederholten Chargen verpresst, zwischen deren Ausführung das Bindemittel jeweils mindestens eine Anfangsfestigkeit entwickeln kann (Bild 4).

Mit jeder Rissbildung erfolgt eine Verdrängung und somit Verdichtung des umgebenden Bodens, somit eine Steigerung der Bodenspannung. Durch die mehrfache Wiederholung der Einpressvorgänge wird die Spannung über die gesamte zu behandelnde Fläche hinweg gleichmäßig erhöht. Sobald die auf diese Weise gesteigerte Bodenspannung die aus Bauwerks- und Bodenauflast resultierende Spannung übersteigt, setzt die Hebung des Bauwerkes ein. Währenddessen wird das Bauwerk durch automatische Messeinrichtungen – zumeist Schlauchwaagensysteme – beobachtet, und die weitere Verpressung wird anhand der Messdaten gesteuert.

Der aufzuwendende Einpressdruck hängt von der Auflast des überlagernden Bodens sowie von der Bauwerkslast ab. Kleinere Bauwerke können mit Einpressdrücken von deutlich weniger als 10 bar angehoben werden. Eine Feste Fahrbahn der Deutsche Bahn AG wurde beispielsweise mit Verpressdrücken von unter einem bar gehoben [3.]. Für die Hebung eines 9.000 t schweren Segments der Schleuse Uelzen I mussten ca. 30 bar, gleichmäßig über

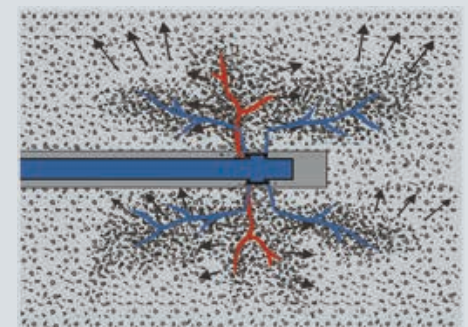


Bild 4: Schematische Darstellung einer gezielten hydraulischen Rissbildung durch Injektion über ein Ventilrohr. Rot: erster Durchgang, Blau: spätere Wiederholung (Schnitt).

etwa 900 Injektionsventile aufgebracht werden [4.]. Für das Aufbrechen des die Ventile umgebenden Sperrmittels sind kurzfristig zumeist deutlich größere Drücke aufzuwenden.

In jüngerer Zeit werden Bauwerkshebungen und Baugrundstabilisierungen zunehmend auch durch hydraulische Rissbildung unter Verwendung von Zweikomponenten-Expansionsharzen ausgeführt [5.].

Außenstehende sind zuweilen erstaunt, mit welcher geringen Verpressdrücken Bauwerke angehoben werden können. Eine grobe rechnerische Betrachtung macht die erforderlichen Drücke deutlich:

Unter der Voraussetzung, dass der Einpressdruck durch flächige, schrittweise Verteilung der Einpressungen unter der gesamten zu hebenden Bauwerksaufstandsfläche verteilt wird, kann der erforderliche Druck in einer ebenen Wirkfläche überschlägig ermittelt werden. Eventuelle Lastverteilungen, Bodenreibung und dergleichen werden dabei vernachlässigt. Der Sohlspannung aus Bauwerkslast ist dazu noch Bodenspannung aus dem die Verpresspunkte überlagernden Bodenkörper zuzurechnen.

In der folgenden Beispielrechnung wird davon ausgegangen, dass der Baugrund unterhalb eines großflächig gegründeten, massiven Bauwerkes aus Sand besteht und die Einpressung 5 m unter Fundamentunterkante erfolgt.

Sohlspannung: 500 kN/m^2

Bodenauflast:

$5,0 \text{ m} \times 20 \text{ kN/m}^3 = 100 \text{ kN/m}^2$

Erdspannung in der Verpressebene:

$600 \text{ kN/m}^2 \approx 6 \text{ bar}$

Unerwünschtes Auftreten der hydraulischen Rissbildung

Bei der Anwendung von Spülbohrverfahren besteht sowohl unter Verwendung von Flüssigkeiten als auch bei Luft als Spülmedium das Risiko der ungewollten hydraulischen bzw. pneumatischen Rissbildung. Sie tritt auf, sobald der in der Bohrung herrschende Spülungsdruck den Widerstand des umgebenden Bodens übersteigt.

Unter den oberflächennahen Bohrungen, im Sinne der in der Einleitung gegebenen Definition, treten die im Horizontalspülbohrverfahren (Horizontal Directional Drilling, HDD) ausgeführten Vorhaben hinsichtlich der Häufigkeit von Spülungsausbrüchen hervor. Das ist darauf zurückzuführen, dass diese Bohrungen zumeist mehr oder weniger parallel zur Gelän-

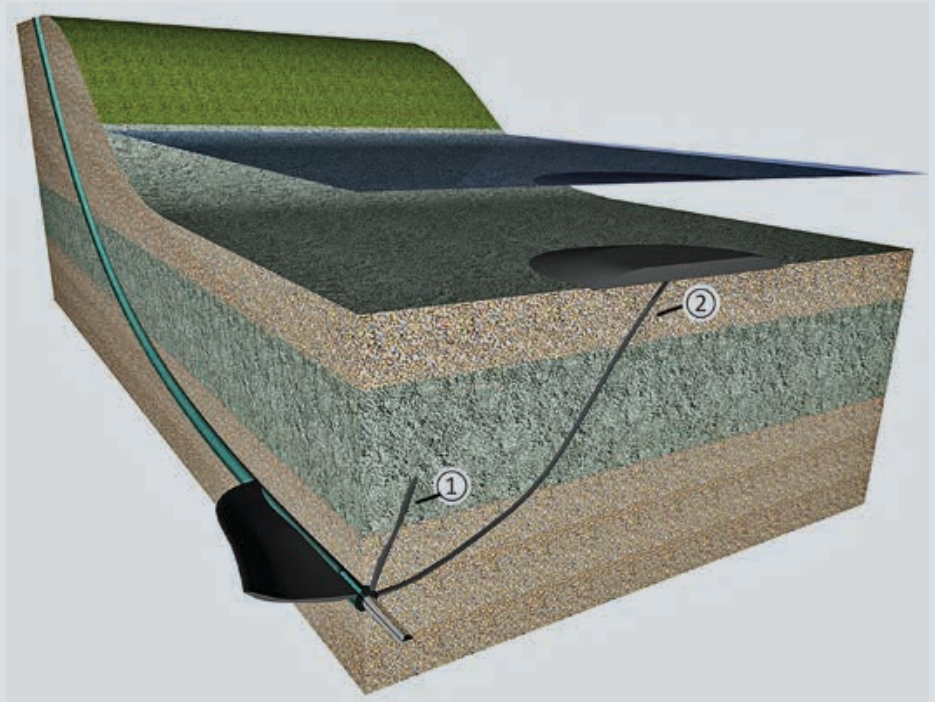


Bild 5: Schematische Darstellung einer Horizontalspülbohrung unterhalb eines Gewässers. Weil die Horizontalspannung im natürlichen Boden zumeist kleiner ist, als die Vertikalspannung, treten zunächst in etwa vertikal gerichtete Risse auf. Wird die Rissausbreitung z. B. durch überlagernde, feste Schichten behindert, so können weitere Risse entstehen, mit zunächst annähernd horizontaler Orientierung. Der in ihnen wirkende Flüssigkeitsdruck bewirkt die tendenzielle Hebung des sie überlagernden Erdkeils. Der Riss folgt daraufhin der Bruchfläche.

deoberfläche verlaufen und eine vergleichsweise geringe Überdeckung aufweisen.

Nicht selten breiten sich diese Risse bis zur Geländeoberfläche bzw. Gewässersohle hin aus, so dass Bohrspülung zutage tritt (Bild 5). Diese Spülungsausbrüche können Schäden an Gebäuden, Fahrbahnbefestigungen, Landschaftsflächen oder Gewässern zur Folge haben. In schwerwiegenden Fällen kann hydraulische Rissbildung unplanmäßige Hebungen sowohl im Gelände als auch an Bauwerken hervorrufen. Insbesondere künstliche unterirdische Hohlräume wie Erdtanks oder Schächte sind im ungefüllten Zustand dafür anfällig, weil sie anstelle des Bodens erheblich weniger sicherheitgebende Auflast mit sich bringen. Das gilt umso mehr, wenn diese Baukörper grundwasserbedingt unter Auftrieb stehen.

Die Tücke der ungewollten hydraulischen Rissbildung liegt in dem Umstand, dass die den Boden aufbrechende Kraft mit größerer Rissfläche zunimmt; sie folgt der technischen Gesetzmäßigkeit $\text{Druckkraft} = \text{Spannung} \times \text{Fläche}$. Hat sich also erst ein Riss gebildet und kann Flüssigkeit weiterhin bei gleichem Druck nachfließen, so breitet sich der Riss sinnbildlich im Reißverschlussprinzip weiter aus.

Die Größe und Ausbreitungsrichtung der Fläche, in welcher der Flüssigkeitsdruck zu Beginn einer hydraulischen Rissbildung angreifen

kann, ist von diversen Faktoren abhängig und lässt sich in den seltensten Fällen genau ermitteln. Zunächst ist die Bohrlochwandung selbst als Angriffsfläche zu betrachten. Jedoch ist zu berücksichtigen, dass die Bohrspülung sich z.B. in grobkörnigen oder organischen Böden um ein gewisses Maß in den Baugrund hinein ausbreiten kann, so dass auch hier der Flüssigkeitsdruck wirksam werden kann. Ebenfalls kann eine derartige Ausbreitung durch Baugrundstörungen, z.B. bei wiederverfüllten Baugruben, begünstigt werden.

Eine weitere große Unsicherheit liegt in der Tatsache, dass der im Bohrloch wirkende Staudruck, welcher zum Bewegen der Bohrspülung im Bohrloch erforderlich ist, sich bei kleineren Bohrdurchmessern rechnerisch nur näherungsweise prognostizieren lässt. Zudem erfolgt eine messtechnische Überwachung des Flüssigkeitsdruckes im Bohrloch nach dem heutigen Stand der Technik regelmäßig nur bei größeren HDD-Bohrgeräten. Dazu werden Messwertaufnehmer am Sondenkopf mitgeführt.

Vor allem bei kleineren HDD-Anwendungen, z.B. für die innerörtliche Verlegung von Leerrohren, steht man jedoch zumeist vor dem Problem, dass weder Vorhersage noch Überwachung des wirksamen Druckes präzise möglich ist. Jedoch erscheinen gegenwärtig erste Sy-

steme am Markt, welche auch bei kleinen HDD-Bohranlagen die Überwachung des im Bohrloch herrschenden Flüssigkeitsdruckes ermöglichen.

Diverse Schadensfälle zeigen immer wieder, dass dieses Problem zuweilen selbst bei größeren Bohraufgaben, z.B. Flussunterquerungen, besteht. Die Minimierung des Risikos von Spülungsausbrüchen ist nur durch sorgfältig vorbereitete und ausgeführte verfahrenstechnische Maßnahmen möglich.

Welche Bedeutung diese Maßnahmen haben, wird deutlich, wenn man sich die im Bohrloch sowie im Baugrund wirkenden Drücke veranschaulicht. Die einschlägige Fachliteratur bietet hierfür im deutschen Sprachraum wenige Ansätze. Von Girmscheid et al. wird in [6.] mit einem sowohl bodenmechanisch als auch verfahrenstechnisch fundierten Ansatz auf das Problem der Spülungsausbrüche bei Horizontalspülbohrungen eingegangen. Dort wird jedoch der Blick vorrangig auf Festgestein und darin auftretende Klüftungen gelenkt, während auf die unkontrollierte Flüssigkeitsausbreitung in Lockergestein nicht explizit eingegangen wird.

Auf internationaler Ebene wurde zudem bereits sehr umfangreich mit wissenschaftlichen

Ansätzen auf das Problem der hydraulischen Rissbildung in HDD-Bohrungen eingegangen. Solche Berechnungsmodelle sind also verfügbar und werden zumindest bei HDD-Großbohrungen, wie z.B. Pipelineverlegungen unter Flüssen, auch angewendet. Dennoch sind Spülungsausbrüche bis heute eine häufige, unerwünschte Begleiterscheinung des Horizontalspülbohrverfahrens.

Das mag darauf zurückzuführen sein, dass derartige Berechnungsansätze oftmals wegen ihrer Komplexität erst gar nicht angewendet werden, was hinsichtlich kleindimensionierter Bohrungen, z.B. für innerörtliche Leitungsverlegungen, bedingt nachvollziehbar erscheint. Des Weiteren können trotz Sicherheitsbetrachtung Schäden entstehen, wenn die getroffenen Annahmen zu optimistisch bzw. unzutreffend waren.

Bedenkt man die Vielfältigkeit unseres naturgegebenen „Baustoffes“ Baugrund, so wird deutlich, wie schnell falsche Annahmen getroffen sein können. Aus diesem Grund werden verbindliche Vorgaben zur Einhaltung der Sicherheit gegen Spülungsausbrüche in den technischen Regeln wohl auch auf unabsehbare Zeit noch auf sich warten lassen.

Daher wird in diesem Beitrag ein vereinfachtes

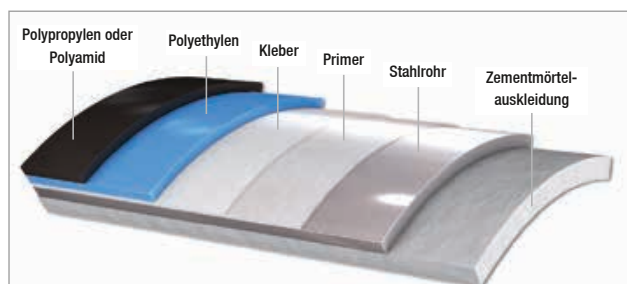
Berechnungsmodell für die Abschätzung der Sicherheit gegen hydraulische Rissbildung, im weiteren Sinne also Spülungsausbrüche, vorgeschlagen. Die darin genannten Orientierungswerte zum Sicherheitsbeiwert sind empirischer Natur und bedürfen durchaus der erweiterten fachlichen Diskussion. Wünschenswert wäre eine Präzisierung dieser Orientierungswerte durch Parametersammlung aus erfolgreichen sowie gescheiterten Bohrvorhaben, z.B. im Rahmen von Studien oder Forschungsarbeiten. Insbesondere sind hinsichtlich der im schnelllebigen und unter Kostendruck ausgeführten Leitungsverlegung mit Kleinbohrgeräten Studien auf Grundlage von gemessenen Bohrlochdrücken erforderlich, um die Grenzen des Machbaren eindeutig definieren zu können.

Keinesfalls soll mit diesem Beitrag der Eindruck erweckt werden, dass die Vermeidung von Spülungsausbrüchen allein auf rechnerischem Wege möglich wäre. Vielmehr soll insbesondere mit den vereinfachten Formeln dazu angeregt werden, auch bei HDD-Bohrungen kleinerer Dimension Überlegungen hinsichtlich der wirkenden Druckverhältnisse anzustellen und so ein praxisgerechtes Bewusstsein für das Risiko der Spülungsausbrüche und dessen

Grabenlose Rohrverlegung. Sicher und effizient.



Salzgitter Mannesmann Line Pipe ist einer der weltweit führenden Hersteller von HFI-längsnahtgeschweißten Stahlrohren für viele Anwendungsbereiche, z.B. für die Versorgungswirtschaft: Leitungsrohre für Öl und Gas (On- und Offshore), Trink- und Abwasserleitungen.



Grabenlose Bauverfahren gewinnen unter wirtschaftlichen, vor allem aber auch unter umweltrelevanten Aspekten immer mehr an Bedeutung. Für die grabenlosen Bauweisen bieten eine Vielzahl an Rohrausführungen größtmögliche Sicherheit für Verlegung und Betrieb.

- Außendurchmesser von 114,3 mm (4,5") bis 610 mm (24")
- Wanddicken bis 25,4 mm (1") und Rohrlängen bis 18 m
- Epoxy- oder Zementmörtel-Auskleidung
- MAPEC® Kunststoffumhüllung
 - Polyethylen (PE)- oder Polypropylen (PP)-Umhüllung, ggf. mit Faserzementmörtel-Ummantelung (FZM-S) oder GFK-Ummantelung
 - Weitere Kunststoffmehrschichtsysteme mit Kombinationen von Polyethylen (PE) mit Polypropylen (PP) oder Polyethylen mit Polyamid (VESTAMID®)-Decklagen

Die Systemlösung wird durch das MAPUR® Verguss-System als Nachumhüllung ergänzt. Für die verschiedenen Umhüllungsvarianten bietet diese Nachumhüllung im Verbindungsbereich zeitnah einen mechanischen Schutz.

 **SALZGITTER
MANNESMANN
LINE PIPE**

Ein Unternehmen der Salzgitter Gruppe

Salzgitter Mannesmann Line Pipe GmbH

In der Steinwiese 31 · 57074 Siegen, Germany

Phone: +49 271 691-0 · Fax: +49 271 691-299

info@smlp.eu · www.smlp.eu

Minimierung zu entwickeln. Für große Vorhaben, z.B. Pipelineverlegung unterhalb von Flüssen, können differenziertere Betrachtungen erforderlich sein, welche hier nicht weiter erörtert werden sollen. Doch kann das hier vorgeschlagene Berechnungsmodell auch bei diesen Vorhaben für grobe Abschätzungen herangezogen werden.

Vorschlag für eine vereinfachte rechnerische Abschätzung des Risikos von Spülsausrüchen bei Horizontalspülbohrungen (HDD)

Grundlegende Betrachtung

Angesichts der vielfältigen, schwer feststellbaren natürlichen und anthropogenen Einflussfaktoren, welche die Wahrscheinlichkeit der hydraulischen Rissbildung beeinflussen (Tab. 1), können rechnerische Abschätzungen praxisnah nur sehr grob vereinfacht vorgenommen werden. Babendererde und Holzhäuser zitieren in [7.] ein von Arz et al. 1991 vorgestelltes, sehr einfaches Berechnungsmodell für die Bestimmung der Sicherheit gegen Ausbläser (Unkontrollierte Druckluft-Ausbrüche) im Tunnelvortrieb. Dieses ist jedoch nicht unmittelbar auf HDD-Bohrungen übertragbar, weil davon ausgegangen wird, dass der angreifende Druck nur an der Ortsbrust des Tunnels wirkt. Hingegen wirkt Spülungsdruck in HDD-Bohrungen entlang der gesamten Bohrachse. Hinzu kommt, dass insbesondere bei HDD-Bohrungen mit geringer Überdeckung kleinräumige Baugrundstörungen das Betrachtungsmodell signifikant beeinträchtigen können.

In einem Berechnungsmodell für HDD-Bohrungen könnte zunächst hypothetisch davon ausgegangen werden, dass der Flüssigkeitsdruck der Bohrspülung nur innerhalb des Bohrloches wirkt, weil z.B. durch Filterkuchenbildung ein Eindringen der Spülung in den umgebenden Boden verhindert wird. Dem Flüssigkeitsdruck hätte in diesem Fall der über der Bohrung lagernde Erdkeil mit seiner Gewichtskraft entgegenzuwirken. Zusätzlich wirkt im Bodeninneren Reibung bzw. Kohäsion, welche dem Hochbrechen des Keils entgegenwirkt. Die Auflast aus ggf. oberhalb der Bohrung vorhandenem Wasser wäre als weitere Sicherheit gebende Einflussgröße anzusehen (Bild 6).

Tatsächlich sprechen jedoch diverse Gesichtspunkte gegen diese Annahmen. Denn es ist bekannt, dass sich die Bohrspülung z.B. in rolligen und organischen Böden um ein unbestimmbares Maß in den umgebenden Boden hinein ausbreiten kann und dort hydraulisch

	Sicherheitsmindernd	Sicherheitssteigernd
Anthropogen	<ul style="list-style-type: none"> • Ungleichmäßige oder unzureichend verdichtete Wiederverfüllung von Aufgrabungen • Trennflächen zwischen gewachsenem Boden und Wiederverfüllungen • Unzureichend verfüllte Bohr- und Sondierlöcher aus vorlaufender Baugrunduntersuchung, Kampfmittelerkundung • Schadhafte Leitungen • Unterirdische, unbefüllte Hohlräume – insbesondere bei Auftrieb durch Grundwasser 	<ul style="list-style-type: none"> • Flächig verdichtete Bodenschichten, z.B. unterhalb von Verkehrsflächen
Natürlich	<ul style="list-style-type: none"> • Locker gelagerte und/oder stark durchlässige rollige Bodenschichten • Weiche bindige und/oder organische Bodenschichten • Klüftiger oder verwitterter Fels • Schräg einfallende Bodenschichtung • Gespanntes Grundwasser 	<ul style="list-style-type: none"> • Flächig durchgehende, dicht gelagerte bzw. feste Bodenschichten • Flächig durchgehendes, kompaktes Festgestein
Rechnerisch unberücksichtigt		<ul style="list-style-type: none"> • Lastverteilung im überlagernden Bodenkörper • Reibung bzw. Kohäsion an den Seitenflächen des widerstehenden Bodenkörpers • Rissausbreitung wird in horizontaler Richtung angenommen, obwohl der Verlauf zumeist nach oben geneigt stattfindet (In dem Fall wäre nur die vertikale Komponente des Kraftvektors wirksam)

Tabelle 1: Beispiele für nicht berechenbare Einflüsse auf die Sicherheit gegen hydraulische Rissbildung/Spülsausrüche

wirksam wird. Dem möglichen Einwand, dass eine eindeutige Abgrenzung des Bohrloches durch Filterkuchenbildung und Verfüllung ggf. vorhandener Fließwege gegeben sei, wäre entgegenzuhalten, dass thixotrope Flüssigkeiten

auch nach Gelbildung, also im Ruhezustand, Druckkräfte noch isotrop weiterleiten. Dies wurde von Girmscheid et al. in [6.] mit einem eigens dafür durchgeführten Versuch nachgewiesen. Insofern stellen im Boden vorhandene

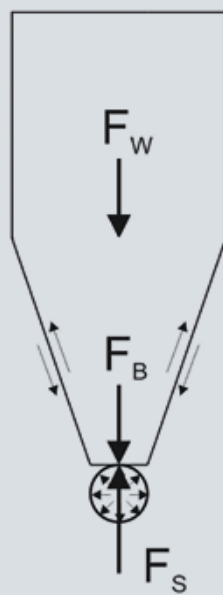


Bild 6: Hypothetisches Lastbild aus Spülungsdruck, Wasser- und Bodenauflast

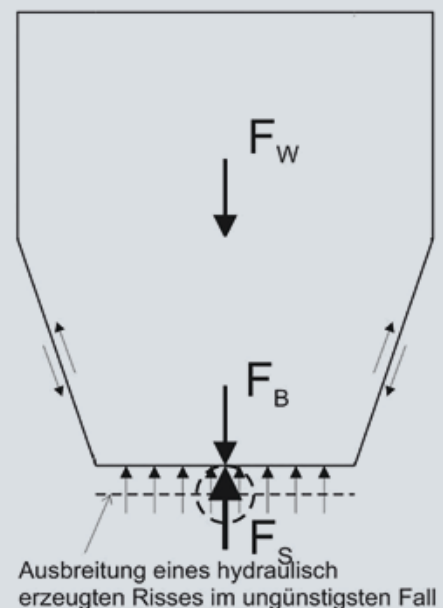


Bild 7: Hypothetisches Lastbild aus Spülungsdruck, Wasser- und Bodenauflast nach Spülsausrüch bzw. Entstehung eines hydraulisch wirksamen Risses

Fließwege noch Angriffspunkte für hydraulische Rissbildung dar, selbst wenn sie mit thixotroper Spülung und durch deren Gelbildung abgedichtet worden sind.

Eine Vielzahl von Faktoren beeinflusst also das Maß und die Richtung einer möglichen Ausbreitung der Spülung in den Baugrund hinein (Tab. 1). Hinzu kommt, dass diese Einflüsse sich nach derzeitigem Stand nicht bemessen lassen.

Aus den genannten Gründen vergrößert sich die vom Flüssigkeitsdruck in Anspruch genommene Druckfläche in vielen Fällen über den Bohrlochquerschnitt hinaus und somit vergrößert sich die daraus resultierende, angreifende Druckkraft um ein nicht bestimmbares Maß.

Mit der Ausbreitung der Spülung über den Bohrdurchmesser hinaus, wird gleichzeitig auch die Größe des entgegenwirkenden Erdkeils größer. Jedoch kann diese Größe angesichts des nicht feststellbaren Ausmaßes der Spülsaubreitung nicht berechnet werden (Bild 7).

Überdies kann die tatsächliche Lastverteilung innerhalb des überlagernden Erdkeils nicht sicher festgestellt werden, weil die Spannungsverhältnisse innerhalb der Bodenschichten naturgemäß variieren können. Hinzu kommt, dass in natürlich gewachsenem Boden die Horizontalspannung kleiner ist, als die Vertikalspannung. Sofern der Boden nicht durch Vorbelastung verdichtet ist, entstehen Risse folglich zunächst vorwiegend in vertikaler Richtung, was auch die Erfahrung bestätigt [1].

Spätestens der letztgenannte Gesichtspunkt macht die mit Bild 7 aufgezeigte, hypothetische Betrachtungsweise für die tägliche Baustellenpraxis ungeeignet.

Aus der Erfahrung hat sich die im folgenden Abschnitt beschriebene Methode zur vereinfachten Abschätzung der Sicherheit gegen hydraulische Rissbildung bewährt. Sinngemäß wird diese vereinfachte Betrachtungsweise bei Hebungsinjektionen angewendet, um den für eine Hebung erforderlichen Einpressdruck zu prognostizieren. Bei der Hebungsinjektion ist ein unmittelbarer Vergleich von Aktion (Einpressdruck) und Reaktion (Rissbildung/Hebung) möglich. Daher konnte anhand einer Vielzahl ausgeführter Vorhaben bestätigt werden, dass die getroffenen Prognosen zutreffend waren.

Der vereinfachte Rechenansatz erfolgt unter Betrachtung der Baugrundsituation als ebenes Problem (Bild 8). Die sicherheitsbegünstigenden Einflussgrößen sowie die beeinträchtigenden, wie in Tab. 1 dargestellt, werden bei dieser Betrachtung vernachlässigt. Ersatzweise wird davon ausgegangen, dass in der Projektionsebene auf Höhe der zu untersuchenden Bohr-

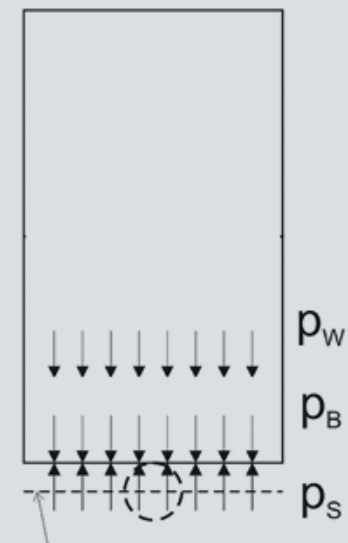
tiefe die Auflast aus Boden und ggf. Grundwasser flächig Widerstand, also Sicherheit gegen Rissbildung liefert. Ferner wird dabei angenommen, dass der Riss sich im ungünstigsten Fall horizontal ausbreitet. Daher wird der aus der Bohrspülung wirkende Flüssigkeitsdruck als über die gleiche Fläche entgegengesetzt wirkende Spannung betrachtet (Bild 8).

Angesichts der oben dargelegten, isotropen Druckübertragung in ausgegelter Spülung wird also gedanklich zugrunde gelegt, dass nicht an der theoretischen Bohrlochwandung, sondern erst an der Grenzfläche zwischen der hydraulisch wirksamen Spülung und dem Boden eine undurchlässige Membran vorhanden ist.

Weil das Vorhandensein, geschweige denn das Ausmaß eventueller Abflüsse vor Beginn der Bohrung unbekannt ist, wird in dem Berechnungsmodell hilfsweise davon ausgegangen, dass sich die Bohrspülung unendlich in horizontaler Richtung ausbreitet (Bild 8). Dabei bleibt zunächst dahingestellt, ob die Ausbreitung unter Flüssigkeitsdruck in bereits vorhandenen Fließwegen oder in einem entstehenden Riss erfolgt.

Nach diesen Vereinfachungen kann die Sicherheitsabschätzung durch Gegenüberstellung der einwirkenden und der widerstehenden Kräfte mit Bezug auf einen einheitlichen Teil der Fläche vorgenommen werden.

Zwar ist die oben beschriebene Ausbreitung der Spülung, über den Bohrdurchmesser hinaus bei festen, bindigen Böden weniger wahrscheinlich. Jedoch steigt hier das Risiko der Rissbildung aus einem anderen Grund: Das Bohrklein kann die Spülung eindicken – mit



Ausbreitung eines hydraulisch erzeugten Risses im ungünstigsten Fall

Bild 8: Vereinfachtes Lastbild aus Spüldruck, Wasser- und Bodenauflast

der Folge eines erhöhten Staudruckes. Daher sollten die für diese vereinfachte Abschätzung getroffenen Annahmen auch bei diesen Böden angewendet werden.

Der im Bohrloch wirkende Flüssigkeitsdruck setzt sich aus einer hydrostatischen und einer hydrodynamischen Komponente zusammen. Allein der hydrostatische Spüldruck dient im Ruhezustand zur Stabilisierung des Bohrloches.

Zusätzlich wird hydrodynamischer Druck wirksam, sobald Bohrspülung mit Pumpen durch den Bohrstrang in das Bohrloch eingebracht

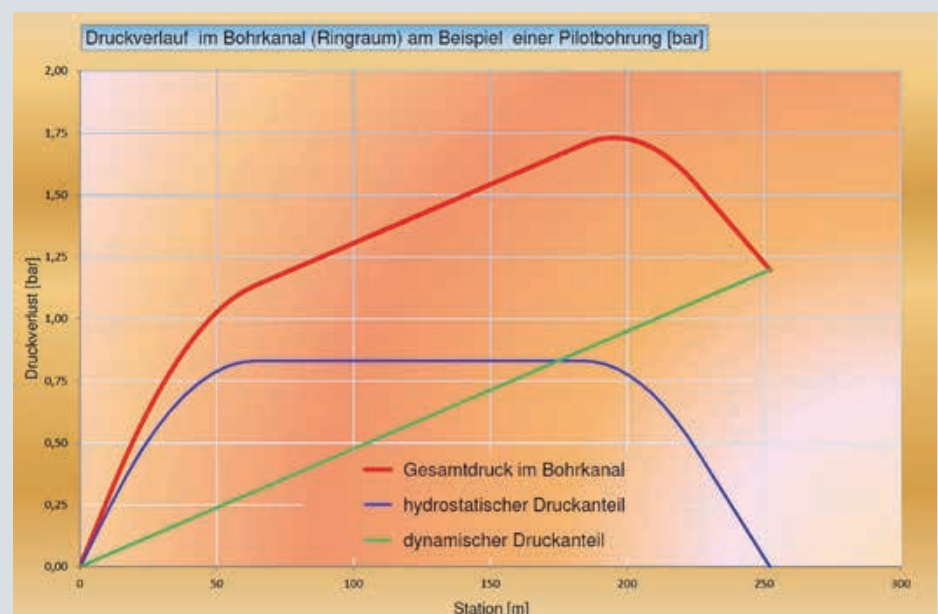


Diagramm 1: Verlauf des Flüssigkeitsdruckes im Pilot-Bohrkanal entlang der Bohrstrecke. Verfasser: Oliver Knopf, Phrikolat Drilling Specialties GmbH

wird. Der Spülungsdruck wird am Bohrwerkzeug zum größten Teil in Strahlenergie umgesetzt (bei Bohrmotoren auch in Drehkraft). Die Spülung strömt sodann, mit Bohrklein beladen, im Ringraum zwischen Bohrgestänge und Bohrlochwandung zurück zum Bohransatzpunkt und tritt dort übertägig aus. Hierfür ist je nach Querschnittsfläche des Ringraums und Förderrate sowie Fließeigenschaften der Bohrspülung eine Kraft zur Überwindung der inneren und oberflächigen Reibungsverluste erforderlich, welche als Staudruck bezeichnet wird. Der Staudruck nimmt bei idealen Verhältnissen proportional mit der Bohrlänge zu, so dass der Gesamtdruck sein Maximum bei der Pilotbohrung am Ende der horizontal verlaufenden Strecke haben wird.

Diagramm 1 zeigt als Beispiel den Druckverlauf im Bohrloch, entlang der Bohrachse, wie er im Zuge einer Bohrplanung prognostiziert wurde. Dabei wurden die Kenndaten der für die Aufgabe optimierten Spülung, gleichmäßiger Baugrund sowie eine einwandfreie Bohrausführung vorausgesetzt. Da die tatsächlichen Verhältnisse im Vorfeld der Bohrung nicht absolut feststehen, handelt es sich also um eine idealisierte Vorhersage.

Berechnungsweg

Inwieweit bei HDD-Bohrungen ein Risiko der ungewollten hydraulischen Rissbildung besteht, kann in Anlehnung an die in [6.] und [7.] vorgestellten Ansätze sowie an den Nachweis der Auftriebssicherheit von tief liegenden Dichtsohlen abgeschätzt werden.

Früher wurde für den Nachweis der Auftriebssicherheit von Dichtsohlen der globale Sicherheitsbeiwert η als Quotient aus Auflast und angreifender Kraft gebildet (siehe. z. B. [8.]). Der aktuell für geotechnische Bemessungen anzuwendende Eurocode 7 [10.] sieht eine davon abweichende Vorgehensweise vor, bei welcher sogenannte Teilsicherheitsbeiwerte an verschiedenen Stellen in die Berechnung einfließen (siehe. z. B. [9.]).

Angesichts der in Tab. 1 aufgeführten, nicht genau greifbaren Einflussgrößen kann die Methode des Eurocodes jedoch nicht zweckmäßig auf HDD-Bohrungen angewendet werden. Es wird daher vorgeschlagen, wieder auf die globale Sicherheitsbetrachtung zurückzugreifen. Um dabei für HDD-Bohrungen eine Sicherheit von $\eta > 1$ nachzuweisen, sind dann differenzierte Berechnungen auf präzisen Grundlagen erforderlich.

Die hier vorgeschlagene Betrachtungsweise hat jedoch zum Ziel, dem Praktiker eine simple

Beurteilungsmöglichkeit an die Hand zu geben. Wie weiter unten noch verdeutlicht wird, ist es aus Gründen der Vereinfachung erforderlich, einen Orientierungswert zu verwenden, welcher auch < 1 sein darf. Daher wird dieser Orientierungswert anstelle des Sicherheitsbeiwertes η im Folgenden als „Aufbruchquotient“ Q_a bezeichnet.

Im Hinblick auf die Sicherheit gegen einen Bodenaufbruch ist bei bodenmechanisch korrekter Betrachtung der äußere Wasserdruck vom Suspensionsdruck abzuziehen, also nur die Differenz als treibender Druck anzusetzen. Dem steht der Boden, gegebenenfalls unter Auftrieb, als widerstehender Druck gegenüber. Diese Herangehensweise führt zu der Gleichung (1). In den weiteren Formeln wird dieser Zusammenhang aus Gründen der Vereinfachung nicht berücksichtigt.

Angesichts der in Tab. 1 aufgeführten, nicht konkret greifbaren Einflussgrößen ist nach Ansicht des Verfassers die nochmals vereinfachte, schätzungsweise Berechnung nach Gleichung (2) im Normalfall und bei fachgerechter Bohrbarkeit ausreichend genau und praxisgerecht. Die erforderlichen Eingangsgrößen ergeben sich aus den Gleichungen (2.1) oder (2.1.1) sowie (2.2).

Im Vergleich zum hydrostatischen Druck ist die Berechnung des hydrodynamischen Druckes – auch Staudruck genannt – z.B. mit der Darcy-Weisbach-Gleichung und dem für den Bohrloch-Ringraum zu ermittelnden hydraulischen Ersatzdurchmesser sehr komplex. Sie führt bei Bohrungen kleineren Durchmessers oft zu realitätsfernen Ergebnissen, da Einflussfaktoren wie Fließeigenschaften und Feststoffanteil der Bohrspülung sowie Unebenheiten der Bohrlochwandung, z.B. Auskesselungen, nicht ausreichend realitätsgetreu berücksichtigt werden können.



Bild 9: Einordnung der für die Berechnungen verwendeten Kenngrößen, ohne offene Gewässer > Gleichung (1), (2.1)

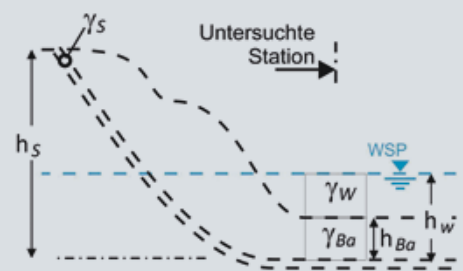


Bild 10: Einordnung der für die Berechnungen verwendeten Kenngrößen, bei der Unterquerung offener Gewässer > Gleichung (1)

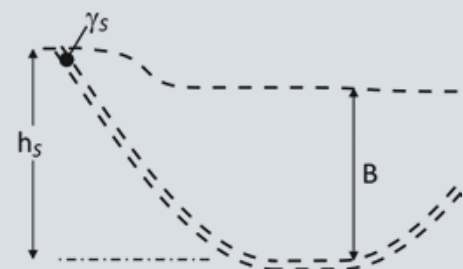


Bild 11: Einordnung der für die Berechnungen verwendeten Kenngrößen bei Anwendung der Faustformel (2.1.1)

	erdfeucht	wassergesättigt	unter Auftrieb
Normgerechtes Zeichen:	γ_k	$\gamma_{r,k}$	γ'_k
Hier verwendet:	γ_{Be}	γ_{Bw}	γ_{Ba}
Häufig in Bodengutachten:	γ		γ'
Einheit:	(kN/m ³)	(kN/m ³)	(kN/m ³)
rollig: Kies, Sand ¹⁾	16,0 - 21,0	18,5 - 23,5	8,5 - 13,5
bindig: Ton, Schluff ²⁾	16,5 - 21,0	17,5 - 21,0	7,5 - 11,0
Organische, bindige Böden ³⁾	14,0 - 17,0	14,0 - 17,0	4,0 - 7,0

¹⁾ je nach Lagerungsdichte und Korngrößenverteilung

²⁾ je nach Zustandsform und Korngrößenverteilung

³⁾ je nach Zustandsform und organischem Anteil

Tabelle 2: Bandbreiten der Wichte typischer Lockergesteinsarten nach DIN 1055-2 [11.], Indices zur vereinfachten Handhabung verändert

Im Rahmen der Spüloptimierung sind jedoch ungefähre Prognosen des zu erwartenden Staudruckes auf empirischem Wege möglich. Für Abschätzungen kann davon ausgegangen werden, dass der Staudruck bei günstigen Voraussetzungen unterhalb von 0,2 bis 0,5 bar/100m gehalten werden kann. Somit ist auch der Staudruck als Eingangsgröße für Gleichung (2) ungefähr greifbar.

Zumindest können die vereinfachten Gleichungen (2) und (3) für Bohrungen, welche keine oder nur kleine Gewässer kreuzen, als ausreichend genau angesehen werden. Damit ist eine einfache Abschätzung vor allem bei kleinkalibrigen, oberflächennahen Bohrungen möglich. Jedoch muss bei dem hier vorgeschlagenen Berechnungsmodell für Bohrungen zur Unterquerung tiefer Gewässer sowie z.B. Bohrungen im tieferen offenen Meer mindestens mit Gleichung (1) gerechnet werden, weil nur diese Gleichung den Wasserdruck korrekt berücksichtigt.

Setzt sich der Boden aus mehreren, sehr unterschiedlichen Schichten zusammen, so ist ggf. die Summe aus $\gamma_i \times h_i$ zu bilden. Bandbreiten der Bodenwichte sind in Tabelle 2 enthalten. Anhaltswerte sind in DIN 1055-1 [11.] festgelegt und können aus einschlägigen Bautabellenbüchern entnommen werden.

Eventuell vorhandene unterirdische Bauwerke, wie z.B. ungefüllte Erdtanks, dürfen nicht unberücksichtigt bleiben. Sie können bei dieser vereinfachten Betrachtung über ihre Höhe mit $\gamma = 0$ eingesetzt werden.

Die Gleichung (2.1.1) ist als Faustformel für eine erste Näherung anzusehen. Sie beinhaltet sowohl für erdfeuchten als auch für wassergesättigten Boden einheitlich eine Wichte von 20 kN/m³. Bei stark durchlässigen, organischen sowie bei lockeren bzw. weichen Böden sollte sie daher nicht angewendet werden.

Grundsätzlich gilt, dass der Staudruck durch geeignete Maßnahmen so gering wie möglich zu halten ist, wie weiter unten geschildert wird. Unter dieser Voraussetzung kann der Staudruck bei der vereinfachten Abschätzung alternativ zunächst unberücksichtigt bleiben und mit Formel (4) kann der zulässige Staudruck dann „rückwärts“, unter Verwendung eines für zulässig gehaltenen Aufbruchquotienten Q_a zul, abgeschätzt werden.

Für die Vereinfachung der Anwendbarkeit wurden weitgehend die auf HDD-Baustellen gebräuchlichen Einheiten verwendet. Umrechnungen können ggf. mit den Formeln (a) bis (c) vorgenommen werden.

Im Allgemeinen sollte Q_a bei HDD-Bohrungen möglichst > 1 sein. Nur wenn tatsächlich keine

Umrechnungen:

$$\gamma [\text{kN/m}^3] = \rho [\text{kg/l}] \times g [\text{m/s}^2] \quad (\text{a})$$

$$p [\text{kN/m}^2] = \gamma [\text{kN/m}^3] \times h [\text{m}]; \quad 1 \text{ kN/m}^2 \triangleq 10^{-2} \text{ bar} \quad (\text{b})$$

$$p [\text{bar}] = \frac{\gamma [\text{kN/m}^3] \times h [\text{m}]}{100} = \frac{\rho [\text{kg/l}] \times g [\text{m/s}^2] \times h [\text{m}]}{100} \quad (\text{c})$$

Aufbruchquotient allgemein (Bild 9 u. 10), ohne Einflüsse gem. Tab. 1:

$$Q_a [] = \frac{\gamma_{Ba} [\text{kN/m}^3] \times h_{Ba} [\text{m}] + \gamma_{Be} [\text{kN/m}^3] \times h_{Be} [\text{m}]}{\gamma_S [\text{kN/m}^3] \times h_S [\text{m}] + p_{dyn} [\text{kN/m}^2] - \gamma_W [\text{kN/m}^3] \times h_W [\text{m}]} \quad (1)$$

Überschlägiger Aufbruchquotient, ohne Einflüsse gem. Tab. 1: (anwendbar bei Bohrungen außerhalb offener Gewässer)

$$Q_a [] \cong \frac{p_B [\text{bar}]}{p_{stat} [\text{bar}] + p_{dyn} [\text{bar}]} \quad (2)$$

mit den Eingangsgrößen

- Überschlägiger Druck aus Bodenauflast (Bild 9):

$$p_B [\text{bar}] \cong \frac{\gamma_{Ba} [\text{kN/m}^3] \times h_{Ba} [\text{m}] + \gamma_{Be} [\text{kN/m}^3] \times h_{Be} [\text{m}] + \gamma_W [\text{kN/m}^3] \times h_W [\text{m}]}{100} \quad (2.1)$$

- oder Faustwert für Druck aus Bodenauflast (Bild 11):

$$p_B [\text{bar}] \approx \frac{2B [\text{m}]}{10} \quad (2.1.1)$$

(nicht für locker gelagerte, stark durchlässige sowie organische Böden, im Zweifel Gleichung (1) oder (2.1) anwenden)

- Hydrostatischer Druck aus Bohrspülung:

$$p_{stat} [\text{bar}] = \frac{\rho_S [\text{kg/l}] \times g [\text{m/s}^2] \times h_S [\text{m}]}{100} \approx \frac{\rho_S [\text{kg/l}] \times h_S [\text{m}]}{10} \quad (2.2)$$

- Hydrodynamischer Druck aus Bohrspülung:

$p_{dyn} [\text{bar}]$ aus Spülberechnung oder Erfahrungswerten

Überschlägig zulässiger Staudruck im Bohrloch:

(anwendbar bei Bohrungen außerhalb offener Gewässer)

$$p_{dyn\ zul} [\text{bar}] \approx \frac{p_B [\text{bar}]}{Q_a\ zul []} - p_{stat} [\text{bar}] \quad (3)$$

γ_W	Wichte (spezifisches Raumgewicht) Wasser 10 kN/m ³
γ_{Be}	Wichte (spezifisches Raumgewicht) Boden, erdfeucht (Tab. 2)
γ_{Ba}	Wichte (spezifisches Raumgewicht) Boden, unter Auftrieb (Tab. 2)
γ_S	Wichte (spezifisches Raumgewicht) Bohrspülung, mit Bohrklein beladen
ρ_S	Dichte Bohrspülung, mit Bohrklein beladen
h_S	Vertikale Bohrlochtiefe an der betrachteten Stelle
h_{Be}	Höhe der Bodenschicht über Grundwasserspiegel (erdfeucht)
h_{Ba}	Höhe der Bodenschicht zwischen Bohrlochscheitel und (Grund-) Wasserspiegel (wassergesättigt)
h_W	Höhe zwischen Bohrlochscheitel und (Grund-) Wasserspiegel (wassergesättigt)
$Q_a\ zul$	In Abhängigkeit von den Bodenverhältnissen zulässiger Aufbruchquotient
g	Erdbeschleunigung 9,81 m/s ²

beeinträchtigenden Einflüsse, z.B. gem. Tab. 1 vorliegen bzw. steigende Einflüsse greifbar sind und fachgerecht ausgeführt wird, kann Q_a auch deutlich kleiner 1 sein. Dies wurde mehrfach durch erfolgreich mit geringer Überdeckung ausgeführte Projekte bestätigt. In diesen Fällen wurde damit gerechnet, dass der im Bohrloch wirksame Flüssigkeitsdruck infolge Lastverteilung und Reibung etwa dem Zwei- bis Dreifachen des flächig wirkenden Überlagerungsdruckes aus Boden- und Wasserauflast entsprechen darf, was einem Q_a von 0,5 bzw. 0,33 gleichkommt. In seltenen Fällen, beispielsweise bei sehr festen überlagernden Schichten oder durchgehend kompaktem Festgestein, mögen Bohrungen mit noch geringere Aufbruchquotienten realisierbar sein. Hingegen kann häufig bereits in der Planungsphase erkennbar werden, dass Q_a ein Mehrfaches von 1 betragen muss, z.B. wenn durch Baugrunderkundung beeinträchtigende Einflüsse gem. Tab. 1 festgestellt werden.

Anwendungsbeispiel

Für eine Beispielrechnung wird die bereits in Diagramm 1 dargestellte Druckprognose aufgegriffen. Es wird angenommen, dass die dort gezeigte Bohrung unterhalb einer Flussaue auszuführen ist (Bild 12) und der Baugrund einheitlich aus mitteldicht gelagertem, weit gestuftem Sand mit $\gamma_{Ba} = 11 \text{ kN/m}^2$ bzw. $\gamma_{Be} = 19 \text{ kN/m}^2$ besteht. Die mit Bohrklein beladene Spülung soll in diesem Beispiel eine Dichte von $1,3 \text{ kg/l} = 12,75 \text{ kN/m}^3$ (Gleichung (a)) nicht übersteigen.

Zunächst sind die für Spülsauberbrüche anfälligen Bereiche zu identifizieren. Im Beispiel ist zunächst das zu unterquerende Gewässer, weil hier die geringste Überdeckung vorhanden ist. Ferner wäre bei der Pilotbohrung zu erwarten, dass der Flüssigkeitsdruck unmittelbar vor Beginn des aufsteigenden Astes am höchsten ist, weil die Spülung zu diesem Zeitpunkt über die längste Strecke, nämlich bis zum Bohrsatzpunkt zurück strömen muss und zudem an dieser Stelle noch zusätzlich der maximale hydrostatische Druck wirkt (vgl. Diagramm 1). Ab hier wird das Aufbruchrisiko bis zum Erreichen des Zielpunktes mindestens gleich hoch sein, weil die Überdeckung kontinuierlich abnimmt. Dem ist mit geeigneten Maßnahmen zu begegnen, wie im folgenden Abschnitt dargestellt. Beispielsweise wäre zum Ende der Pilotbohrung die Bohrfortschrittsrate zu reduzieren. Das Aufbruchrisiko soll also für die Stationen $\sim 100 \text{ m}$ (Gewässer) sowie $\sim 190 \text{ m}$ (Gelände Zielseite) rechnerisch abgeschätzt werden.

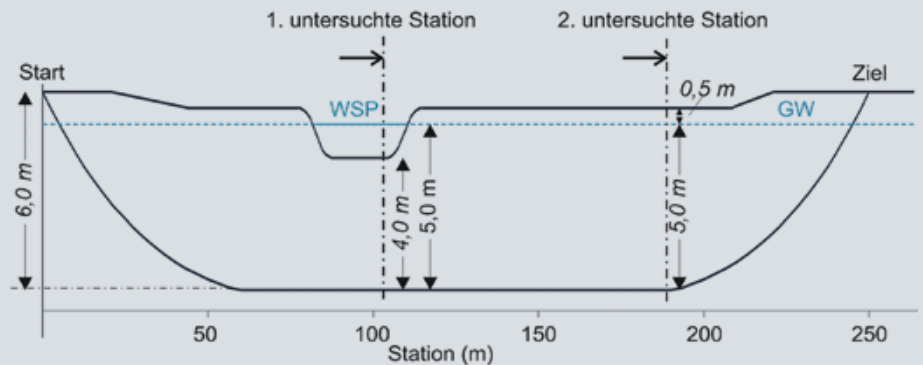


Bild 12: Längsschnitt der beispielhaften Horizontalspülbohrung, ca. 10-fach überhöht

Aus Diagramm 1 wird der zu erwartende dynamische Druckanteil bei Stat. 100 m mit ca. 0,5 bar = 50 kN/m^2 (Gleichung (b)) abgegriffen.

Der Aufbruchquotient beträgt nach Gleichung (1):

$$Q_a = \frac{11 \times 4}{12,75 \times 6 + 50 - 10 \times 5} = 0,58 \quad ()$$

Käme man nach Überprüfung der Baugrundverhältnisse zu dem Schluss, dass keine störenden Einflüsse zu erwarten sind und wollte man danach einen Aufbruchquotienten von z.B. Q_a zul = 0,5 erlauben, so wäre der zulässige Staudruck an dieser Station durch Umstellung der Gleichung (1) zu errechnen:

$$p_{dyn\,zul} = \frac{11 \times 4}{0,5} - 12,75 \times 6 + 10 \times 5 = 61,5 \text{ kN/m}^2 \approx 0,6 \text{ bar}$$

Für Stat. 190 m wird der zu erwartende dynamische Druckanteil aus Diagramm 1 mit ca. 0,9 bar = 90 kN/m^2 und zum späteren Vergleich der statische Druckanteil mit ca. 0,8 bar abgegriffen.

Der Aufbruchquotient beträgt an dieser Stelle nach Gleichung (1):

$$Q_a = \frac{11 \times 5 + 19 \times 0,5}{12,75 \times 6 + 90 - 10 \times 5} = 0,55 \quad ()$$

Für eine überschlägige Berechnung ist zunächst mit Gleichung (2.1) der widerstehende Druck aus Bodenauflast zu ermitteln:

$$p_B \approx \frac{11 \times 5 + 19 \times 0,5 + 10 \times 5}{100} = 1,15 \text{ bar}$$

oder als Faustwert nach Gleichung (2.1.1):

$$p_B \approx \frac{2 \times 5,5}{10} = 1,1 \text{ bar}$$

Der hydrostatische Druckanteil kann so wie der hydrodynamische aus Diagramm 1 entnommen werden. Ebenso ist die Berechnung mit Gleichung (2.2) möglich:

$$p_{stat} = \frac{1,3 \times 9,81 \times 6}{100} = 0,76 \text{ bar}$$

bzw.

$$p_{stat} \approx \frac{1,3 \times 6}{10} = 0,78 \approx \text{rd. } 0,8 \text{ bar}$$

Der überschlägige Aufbruchquotient wird dann mit Gleichung (2) zu

$$Q_a \approx \frac{1,15}{0,76 + 0,9} = 0,69 \quad ()$$

bzw. mit den Faust- und Diagrammwerten:

$$Q_a \approx \frac{1,1}{0,8 + 0,9} = 0,64 \quad ()$$

Der zulässige Staudruck wäre in Stat. 190 m bei einem zugelassenen Aufbruchquotienten von 0,5 nach Gleichung (3):

$$p_{dyn\,zul} \approx \frac{1,15}{0,5} - 0,76 = 1,5 \text{ bar}$$

und mit den Faustwerten:

$$p_{dyn\,zul} \approx \frac{1,1}{0,5} - 0,8 = 1,4 \text{ bar}$$

Mit den drei fett gedruckten Faustformeln kann der zulässige Staudruck auf sehr einfache Weise abgeschätzt werden. Die schrittweise Ermittlung der Einzelwerte macht es zudem möglich, bei der täglichen Arbeit im Feld das Gespür für die wirkenden und vom Boden aufnehmbaren Drücke zu verfeinern.

Bereits der Vergleich der Faustwerte mit den gemäß Diagramm 1 zu erwartenden Druckanteilen macht deutlich, dass gegenüber der Prognose in dem Beispiel nicht viele „Reserven“ zur Aufnahme evtl. zusätzlichen Staudruckes vorhanden wären.

Zuweilen wird das Risiko der hydraulischen Rissbildung von den an HDD-Bohrungen Beteiligten unterschätzt, weil man sich nicht darüber im Klaren ist, mit welcher geringen Drücken bereits Risse im Boden erzeugt werden können. Wie vergleichsweise gering der erforderliche Druck für die Hebung eines Bauwerkes ist, wurde bereits im Zusammenhang mit der Aufreißinjektion verdeutlicht.

Hinsichtlich hydraulischer Rissbildung ist der größte Risikofaktor im Strömungsverhalten der rückfließenden Bohrspülung zu sehen. Denn der zum Bewegen der rücklaufenden Spülung erforderliche Staudruck kann, wie bereits geschildert, nur bedingt vorhergesagt und überwacht werden. Daher ist das Hauptaugenmerk darauf zu richten, dass die Rücklaufspülung den Ringraum so ungehindert wie möglich passieren kann. Nur dadurch kann erreicht werden, dass sich der im Bohrstrang erzeugte Spülungsdruck möglichst weitgehend am Bohrwerkzeug in Strahlungsenergie umsetzt und nicht als unnötig hoher Staudruck im Bohrloch wirksam wird. Das erhebliche Risiko wird deutlich, wenn man sich die Druckgrößen vor Augen führt: Üblicherweise werden an der Düse des Bohrwerkzeuges Spülungsdrücke von 30 bis 100 bar erzeugt (Systemdruck). Dem gegenüber dürfte in dem oben aufgeführten Beispiel selbst bei günstigen Voraussetzungen der Staudruck im Bohrloch nicht mehr als 0,6 bzw. 1,5 bar betragen. Theoretisch könnte also im Bohrloch bei Behinderung des Rückflusses ein Staudruck erzeugt werden, der etwa 50 bzw. 20-mal höher ist, als der zulässige Druck (vergl. oben, Systemdruck). Bevor es jedoch dazu käme, wäre hydraulische Rissbildung und somit womöglich ein Spülungsausbruch, bereits eingetreten (Bild 13).

Maßnahmen zur Vermeidung von Spülungsausbrüchen bei Horizontalspülbohrungen

Laut DCA-Richtlinie [12.] sollte bei der Unterquerung von Gewässern der Abstand zwischen Gewässersohle und Bohrachse dem 10 bis 15-fachen Rohrdurchmesser entsprechen – nicht zuletzt, um Spülungsausbrüche zu vermeiden. Überdeckungen < 5 m, wie sie sich aus dieser Regel oft für kleine Rohrdurchmesser ergeben, sollten laut DCA kritisch bewertet werden. Dafür kann beispielsweise die oben aufgezeigte Abschätzungsmethode verwendet werden, wie im Berechnungsbeispiel veranschaulicht wurde. Sofern das Ergebnis auf eine geringe Sicherheit weist bzw. nicht berechenbare Risikofaktoren vorliegen, sind weitere Maßnahmen zur Vermeidung von Spülungsausbrüchen erforderlich.

Ferner enthält die DCA-Richtlinie einen gesonderten Abschnitt, in dem mögliche Maßnahmen zur Vermeidung von Spülungsausbrüchen aufgeführt werden:

Soweit es die Randbedingungen zulassen, sollte bei der Planung des Bohrverlaufes darauf geachtet werden, dass die Überdeckung der Bohrachse möglichst groß gewählt wird, wie z.B. in der DCA-Richtlinie [12.] vorgegeben. Das gilt insbesondere unterhalb von Gewässersohlen und Verkehrsflächen. Ferner sollte die Bohrlänge zwischen ungünstigstem Bohrschnitt und Bohransatzpunkt so kurz wie möglich gewählt werden.

Für die Minimierung des Staudruckes im Bohrloch ist zunächst grundlegende Voraussetzung, dass die Fließeigenschaften der verwendeten Spülungsrezeptur optimal auf die vorhandenen Bodenverhältnisse angepasst werden. Ei-

nerseits ist ausreichendes Tragverhalten erforderlich, um das Bohrklein ungehindert aus der Bohrung austragen zu können. Andererseits soll das Fließverhalten – hier die innere und äußere Reibung der Flüssigkeit – möglichst gering sein, damit der für die Bewegung der Flüssigkeit erforderliche Staudruck möglichst gering bleibt.

Im Zuge der Arbeitsvorbereitung ist die zulässige Bohrfortschrittsgeschwindigkeit rechnerisch zu ermitteln und später selbstverständlich auch einzuhalten. Je schneller der Vortrieb, umso höher der Anteil des Bohrkleins in der rücklaufenden Spülung und umso größer der für die Bewegung der Spülung erforderliche Staudruck. Die rücklaufende Spülung sollte laut Elbe [13.] nicht mit mehr als 20 bis 30 % Feststoffen aufgeladen werden. Bei Ausnutzung dieses oberen Richtwertes kann es jedoch unter Umständen bereits zur Eindickung der Rücklaufspülung und somit unnötig hohem Staudruck kommen.

Praxisnah lässt sich die zulässige Bohrfortschrittsgeschwindigkeit mit Hilfe des sogenannten Mud-Faktors berechnen, der das Verhältnis von Spülungsrate zu auszutragendem Bodenvolumen bezeichnet. Knopf zeigt den Berechnungsweg in [14.] gut nachvollziehbar auf und gibt dort grundlegende Ausführungen hinsichtlich spülungstechnischer Aspekte sowie eine entsprechende Formelsammlung. Im Normalfall, z.B. bei Sandböden, sollte der Mud-Faktor etwa 3 bis 5 betragen. Das bedeutet, dass mit 3 bis 5 Teilen Spülungsvolumen 1 Volumenteil Boden ausgetragen werden kann. In Formationen, deren Bohrklein zur Eindickung der Bohrspülung führen kann, gelten unter Umständen davon abweichende Werte.

Wie die dafür erforderlichen Angaben zum Baugrund selbst bei Vorhaben, für die nach den Regeln der Technik keine Baugrunduntersuchung vorgeschrieben ist, zeitgemäß erlangt werden können, wird unter anderem in [15.] beschrieben.

Mit Blick auf die Offenhaltung des Bohrringraums sollte der Bohrringquerschnitt im Rahmen der verfahrenstechnischen Grenzen möglichst groß gewählt werden. Welchen großen Einfluss eine Vergrößerung des Strömungsquerschnittes auf die Herabsetzung des Staudruckes hat, zeigt Diagramm 2. Wird beispielsweise bei einer Kleinbohranlage mit 2 7/8“-Gestänge der Ringraumdurchmesser z. B. von 3,5“ auf 4“ vergrößert, so reduziert sich (rein rechnerisch) der für die Erzeugung der Strömung erforderliche Druck auf das 0,43-fache des Ausgangswertes.

Da der Austrag des Bohrkleins bei Verwen-

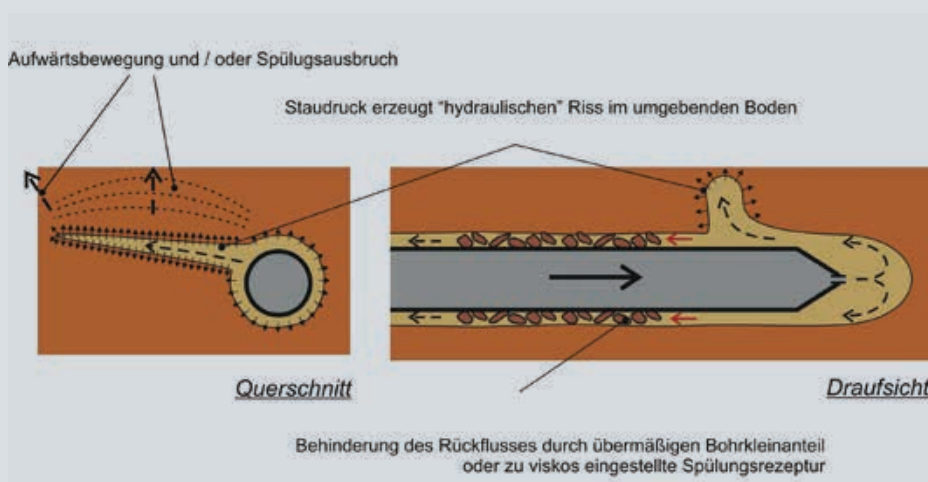


Bild 13: Schematische Darstellung einer unplanmäßigen hydraulischen Rissbildung infolge erhöhten Staudruckes durch behinderten Spülungsrückfluss

dung optimierter Spülungsrezepturen nicht über die Spülstromgeschwindigkeit (Volumenstromrate) gewährleistet wird, sondern über das optimierte Tragverhalten der Spülflüssigkeit, kann die Spülstromgeschwindigkeit dabei nachrangig betrachtet werden.

Eine weitere Formelsammlung für die Berechnung der Bohr- und Spülungstechnischen Parameter gibt Elbe in [13.]. Eine ausführlichere Beschreibung der Zusammenhänge und insbesondere der zu beachtenden Spülungsparameter sind auch für Vertikalbohrungen bei Elbe und Bayer in [16.] zu finden. Zeitgemäß können die erforderlichen Berechnungen z.B. auch mit Programmen (App's) für Smartphones oder iPhones durchgeführt werden, wie sie z.B. von Spülmittelherstellern angeboten werden [17.].

Bei der für Spülbohrungen verwendeten Bohrspülung handelt es sich in den allermeisten Fällen um Flüssigkeiten mit thixotropen Eigenschaften. Das bedeutet, dass die Flüssigkeit im Ruhezustand gelartig ansteift und nur durch erneute dynamische Einwirkung wieder verflüssigt werden kann. Nach Arbeitsunterbrechungen kann dies geschehen, indem der Bohrstrang vor Anpumpen der Spülung bewegt, z.B. rotiert wird. Erfolgt die Wiederverflüssigung der Spülung durch diese Maßnahme nicht, so kann im Bohrloch erhöhter Staudruck entstehen, bis die Geleigenschaften der ruhenden Spülung überwunden, also gebrochen sind. Zusätzlich sollte vor Unterbrechungen die mit Bohrklein beladene Spülung aus dem Bohrloch auszirkuliert werden, um die spätere Wiederverflüssigung nicht durch Feststoffbefrachtung zu erschweren.

Neben diesen Aspekten der Planung und Arbeitsvorbereitung ist das „Freiziehen“ der Bohrung als handwerkliche Maßnahme zum Offenhalten des Bohrloches anzusehen. Grundsätzlich ist während der Bohrung darauf zu achten, dass die Spülung vollständig und ungehindert aus dem Bohrloch zurückfließt. Die DVGW-Richtlinie GW 321 [18.] sieht hierfür vor, „die Geometrien von Start- und Zielgrube sowie weiterer vorhandener Zwischengruben zu erfassen und Füllstandsmessungen vorzunehmen.“

Bleibt der Rückfluss ganz oder teilweise aus, so ist der Bohrstrang ein- oder mehrmalig aus der verlegten Strecke herauszuziehen und wieder einzufahren, bis der Rückfluss wieder vollständig gegeben ist. Das Ziehen sollte dabei mit reduzierter oder abgeschalteter Spülung erfolgen. Gleichzeitig ist die Umgebung der Bohrtrasse, insbesondere Gewässer und unterirdische Bauwerke, hinsichtlich eventuell dort ausgetretener Bohrspülung zu beobachten.

Sollen Horizontalspülbohrungen trotz abseh-

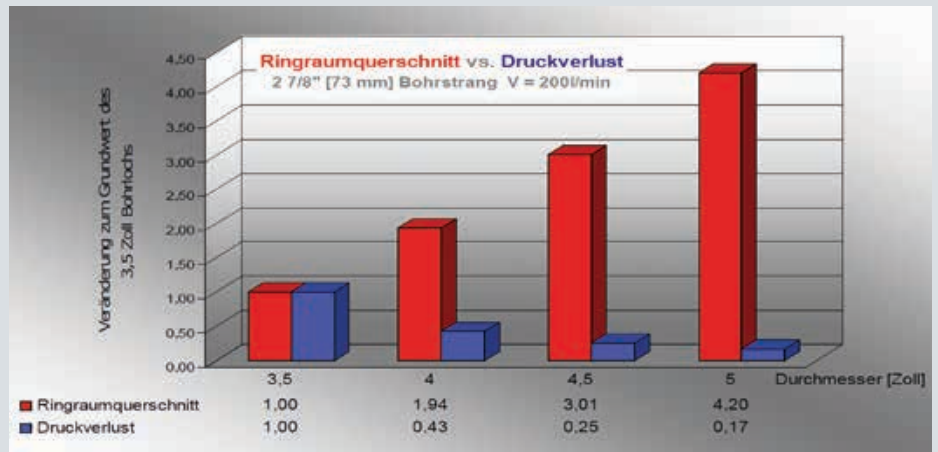


Diagramm 2: Einfluss der Vergrößerung des Ringraums auf die Herabsetzung des Druckverlustes (= zur Erzeugung der Strömung erforderlicher Staudruck). Verfasser: Oliver Knopf, Phrikolat Drilling Specialties GmbH

bar geringer Sicherheit gegen hydraulische Rissbildung durchgeführt werden, so kann die messtechnische Überwachung des Flüssigkeitsdruckes im Bohrloch hilfreich sein. Damit kann möglicherweise ansteigender Staudruck rechtzeitig erkannt und für Druckentlastung gesorgt werden.

Besondere Maßnahmen zur Vermeidung von Spülungsausbrüchen

Bei vorwiegend parallel und nah zur Oberfläche verlaufenden Horizontalspülbohrungen kann der für das Bewegen der Spülung erforderliche Staudruck gemindert werden, indem entlang der Bohrachse Zwischenbaugruben angelegt werden, durch welche die Spülung austreten und entnommen werden kann. Denn der erforderliche Staudruck nimmt mit der Länge der Bohrung zu. Ähnlich wirken können Entlastungsbohrungen an tiefer liegenden Trassenabschnitten, z.B. bei Dükerbohrungen mit signifikant höher liegenden Bohransatzpunkten. In besonderen Fällen, z.B. Gewässerquerungen mit geringer Überdeckung, können zusätzliche konstruktive Maßnahmen als Vorbeugung gegen Spülungsausbrüche erforderlich werden. So kann unter Umständen das Aufbringen zusätzlicher Auflast durch Aufschüttung in Frage kommen. Auch kann eine vorlaufende Verbesserung des Baugrunds oberhalb sowie auf Höhe der Bohrachse geeignet sein. Hierfür kommen Bodeninjektionen, das Düsenstrahlverfahren und weitere Baugrundverbesserungsverfahren in Betracht.

Sofern eine flächige Verbesserung der Baugrundeigenschaften erforderlich ist, werden diese Verfahren von der Geländeoberfläche aus mit separaten Bohrungen, zumeist rasterförmig angeordnet, ausgeführt. Zwar mit geringerer Wirksamkeit, jedoch auch geringerem

Aufwand lassen sich derartige Maßnahmen bedingt auch aus der Pilotbohrung heraus ausführen. So kann z.B. bei Dükerbohrungen in instabilen Baugrundverhältnissen die Bohrlochumgebung von der Pilotbohrung aus, vor Beginn der Aufweitungen, mit selbsterhärtender Suspension stabilisiert werden.

Nach Darlegung der technischen Gesichtspunkte soll nicht unerwähnt bleiben, dass Ausführungsqualität und damit Sicherheit – ob das nun so sein darf oder nicht – letztendlich auch vom Baupreis bestimmt wird. Kostendruck führt zu Zeitdruck, welcher auf menschlicher Ebene Auswirkungen auf die ausführenden Fachkräfte hat.

Daher werden Überlegungen hinsichtlich der Sicherheit gegen Spülungsausbrüche gerade im schnelllebigen Tagesgeschäft der innerörtlichen Leitungsverlegung häufig nicht angestellt und Maßnahmen zur Risikominimierung nicht ausreichend umgesetzt. Insofern wäre es als sicherheitssteigernde Maßnahme anzusehen, wenn sich die HDD-Branche sowie die Auftraggeberschaft dahingehend orientieren würden, nur wirklich auskömmliche Preise zu vereinbaren.

Hydraulische Rissbildung in vertikalen und für den Spezialtiefbau auszuführenden Bohrlöchern

Grundsätzlich kann hydraulische bzw. pneumatische Rissbildung auch in vertikalen bzw. geneigten Bohrlöchern ungewollt in Erscheinung treten. Anfällig sind z.B. Bohrungen mit luftgetriebenen Imlochhämmern, sobald das Bohrklein aus weichem Fels oder zwischengelagerten bindigen Schichten in Verbindung mit Wasser zum Verstopfen des Bohrlochringraums neigt. Die oben beschriebene, vereinfachte Me-

thode zur Abschätzung des Risikos kann sinnvoll angewendet werden. Wird beispielsweise der Bohrlochringraum in 20 m Tiefe signifikant verstopft und weiterhin Luftspülung unter 6 bar gefahren, so steht dem in dieser Größe wirkenden Staudruck möglicherweise eine Bodenspannung von lediglich $20 \text{ kN/m}^3 \times 20 \text{ m} / 100 = 4 \text{ bar}$ entgegen. Temporäre Geländehebungen können die Folge sein. Bei ungünstiger Bodenschichtung können ferner gering wasserdurchlässige Schichten gefrackt werden und dadurch ihre Trennwirkung zwischen Grundwasserleitern verlieren.

Bei der Anwendung des Düsenstrahlverfahrens werden am Bohrwerkzeug Schneidstrahlrdrücke von 400 bar und mehr erzeugt. Hier hat das Offenhalten des Bohrloches essentielle Bedeutung für einen ungehinderten Abbau des im Bohrloch entstehenden Staudruckes. Nicht selten wurden bei Bauwerksunterfangungen durch Nichtbeachtung dieser Regel Bauwerkshebungen verursacht.

Auch wurden schon beim Nachverpressen von Litzen- oder Stabankern sowie bei Poreninjektionen unterhalb von Gebäuden durch unsachgemäße Ausführung ungewollt Hebungen erzeugt.

Dokumentation

Wie in [19.] eingehender erläutert, kann es laut DIN 4020 [20.] zu unvorhersehbaren Wirkungen – so also auch hydraulischer Rissbildung – kommen, „obwohl derjenige, der den Baugrund zur Verfügung stellt, seiner Verpflichtung zur Untersuchung und Beschreibung der Baugrund- und Grundwasserhältnisse nach den Regeln der Technik zuvor vollständig nachgekommen ist und obwohl der Bauausführende seiner eigenen Prüfungs- und Hinweispflicht Genüge getan hat“. Nur wenn diese Voraussetzungen erfüllt sind, kann ein dem Ereignis folgender Schaden dem Baugrundrisiko zugeordnet werden. Um im Falle eines Schadens nachweisen zu können, dass die z.B. in der DCA-Richtlinie vorgegebene „kritische Betrachtung“ vorgenommen wurde und die zur Vermeidung von Spülingausbrüchen verfügbaren Maßnahmen ausreichend geplant und ausgeführt worden sind, sollten sowohl Planer als auch Ausführende ihre Leistungen nachvollziehbar dokumentieren. Nur auf diese Weise kann ausgeschlossen werden, dass im Schadensfall anstelle der Verwirklichung des Baugrundrisikos anderweitige Ursachen in Betracht kommen.

Herangezogene Quellen:

- [1.] Kutzner, C., Injektionen im Baugrund, Spektrum Akademischer Verlag (1991)
- [2.] DIN EN 12715:2000-10: Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau) - Injektionen; Deutsche Fassung EN 12715:2000
- [3.] Maiwald, B.; Krentz, M.: Sanierung eines Setzungsschadens an der ICE-Hochgeschwindigkeitsstrecke Berlin-Hannover; EI Der Eisenbahningenieur Jg.: 53, Nr.6, 2002
- [4.] Huxoll, H.; Dietel, E.; Krentz, M.: Anwendung des Soilfrac-Verfahrens in Kombination mit horizontal gesteuerten Bohrungen - Baugrundstabilisierung im Unterhauptbereich der Schleuse Uelzen; Binnenschifffahrt Jg.: 52, Nr.15/16, 1997
- [5.] Ter Huurne, A.; Soretz, M: Fundamentstabilisierung und -anhebung durch Tiefeninjektion von Expansionsharzen; Zeitschrift „Geotechnik“ 2008/3
- [6.] Girmscheid; G., Schaiter; B., Schetelig, K.: HDD – Horizontal Directional Drilling -Druckbedingte Schadensereignisse bei Pilotbohrungen; Zeitschrift „Bauingenieur“, Band 81, Dezember 2006



Die ganze Welt der Horizontalbohrtechnik



PD 30/18 RP-CU



PD 45/33 RP



PD 100/50 RP



**MADE
IN
GERMANY**

PD X-3.000 HD



PD 400/120 RP



PD 250/90 RP



Bohrgestänge



PD 150/90 RP-C MDD



PD 600/180 RP



Räumwerkzeuge



Prime Pipe Pusher



[7.] Babendererde, S.; Holzhäuser, J.: Betriebszustand Druckluftstützung beim Hydroschild; Taschenbuch für den Tunnelbau 2000; Verlag Glückauf GmbH, Essen S. 231 – 252

[8.] Empfehlungen des Arbeitskreises „Baugruben“; Deutsche Gesellschaft für Geotechnik. Arbeitskreis Baugruben. - Berlin : Ernst, 1994, 3. Aufl.

[9.] Empfehlungen des Arbeitskreises „Baugruben“; Deutsche Gesellschaft für Geotechnik. Arbeitskreis Baugruben. - Berlin : Ernst, 2012, 5., erg. und erw. Aufl.

[10.] DIN EN 1997-1:2014-03: Eurocode 7 - Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik - Teil 1: Allgemeine Regeln; Deutsche Fassung EN 1997-1:2004 + AC:2009 + A1:2013

[11.] DIN 1055-2:2010-11: Einwirkungen auf

Tragwerke - Teil 2: Bodenkenngrößen

[12.] Technische Richtlinie des DCA, 3. Auflage - Mai 2007; Informationen und Empfehlungen für Planung Bau und Dokumentation von HDD-Projekten

[13.] Elbe, L.: Bohrspülungen im HDD ; Schriftenreihe aus dem Institut für Rohrleitungsbau an der Fachhochschule Oldenburg (IRO), Band 26, 1. Aufl., Vulkan-Verlag

[14.] Knopf, O., HDD-Bohrungen ohne Spülungswiederaufbereitung - Mengenkalkulation und Spülmessung; bi-UmweltBau 1/2010

[15.] Krentz, M.: Das Internet als Hilfsmittel für die Vorbereitung von Bohrarbeiten; bi-Umwelt-Bau 4/14

[16.] Elbe, L.; Bayer, H.-J.: Bohrspülungen für HDD- und Geothermiebohrungen; Schriften-

reihe aus dem Institut für Rohrleitungsbau an der Fachhochschule Oldenburg (IRO), Band 26, 2. Aufl., Vulkan-Verlag

[17.] Phrikolat Drilling Specialties GmbH: Praxisinfos und Berechnungen für HDD-Baustellen; bbr - Fachmagazin für Leitungsbau, Brunnenbau und Geothermie, 03-2014

[18.] DVGW Arbeitsblatt GW 321, 10/2003 – Steuerbare horizontale Spülbohrverfahren

[19.] Krentz, M. - Erfahrungen aus Schadensfällen in der modernen Bohrtechnik an Beispielen des Horizontalspülbohrverfahrens, bi-Umwelt-Bau 3/2014

[20.] DIN 4020, Ausgabedatum: 2010-12 - Geotechnische Untersuchungen für bautechnische Zwecke - Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-2

Vier HDD- und eine Pressbohranlage für Leitungsverlegung in Reutlingen

In Reutlingen sind Strom- und Wasserversorgungsleitungen verlegt worden. Vier HDD- und eine Pressbohranlage halfen dabei.

Im Bereich der Konrad-Adenauer-Straße arbeitete seit Anfang Juli 2014 die HDD-Abteilung der Max Wild GmbH an zwei 110 kV Erdkabelbündel à vier DA 160 (PEHD) und einer Trinkwasserleitung DN 400 (Gussrohre) mit insgesamt vier HDD-Anlagen. Für die Trinkwasser-

leitung wurde zusätzlich eine Pressbohrung (PE-ummanteltes Stahlschutzrohr DN 800) mit einer Gesamtlänge von ca. 40 m in der Nähe des Bahnhofs Reutlingen West unter der Gleisanlage und der vierspurigen Straße vorgenommen.

Die Südtrasse der 110 kV Leitung hat eine Gesamtlänge von ca. 270 m, die Nordtrasse ist ca. 790 m lang und wurde in drei Spülbohrab-

schnitten in einer Tiefe von 4,5 bis 6 m verlegt. Um eine stabile Pilotbohrung für die Trinkwasserleitung in einer Tiefe von 8,5 m zu gewährleisten, kam die 18-ACS-Anlage für die 350 m lange Pilotbohrung zum Einsatz.

Im August ersetzte die 80-t-HDD-Anlage, die vor kurzem noch in Luxemburg auf einer Baustelle gebraucht wurde, eine 25-t-Anlage und zog die DN 400 Trinkwasserleitung ein. Zusätzlich stehen noch eine Recycling-Anlage und eine Zentrifuge für die Aufbereitung der Spülungen vor Ort. Für die Bohrung der Trinkwasserleitung musste eine separate Spülleitungsbrücke über die Schafstallstraße gesetzt werden.



Große Baustelle auf der Konrad-Adenauer-Straße beim Bahnhof Reutlingen West



Spülleitungsbrücke über die Schafstallstraße



Bohrkopf Ø 500 | Alle Fotos: Max Wild GmbH