

# SPEZIALTIEFBAU UND ROHRVORTRIEB IM NÜRNBERGER KEUPERGEBIRGE

## Teil 1: Spezialtiefbauarbeiten beim Bau des Südostsammlers

Dipl.-Ing. (FH) Harald Drexel, Nürnberg

Im Jahr 2010 soll der Südostsammler in Nürnberg in Betrieb gehen. Der Stauraumkanal mit einer Nennweite DN 2500 verbindet über den Pegnitztalsammler die Stadtteile Fischbach und Altenfurt mit der 20 km entfernt liegenden Kläranlage. Mit einer Länge von 3.250 m besitzt der Kanal ein Rückhaltevolumen von rund 16.000 m<sup>3</sup>. 3 von 6 Bauabschnitten sind weitgehend fertig gestellt. Bis zum Jahr 2010 sind noch 1.830 m Stauraumkanal DN 2500 sowie 18 Baugruben und Schachtbauwerke herzustellen. Der Bau findet in sehr wechselhaften Untergrundverhältnissen und im Grundwasserbereich statt, was neben den beengten Platzverhältnissen im Stadtgebiet zur Schwierigkeit der Baumaßnahme beiträgt. Am Beispiel dieses Projekts werden die typischen Aufgabenstellungen für den Spezialtiefbau und den Rohrvortrieb vorgestellt. Sie resultieren aus der Bauaufgabe, den geotechnischen Randbedingungen und dem Umfeld der Baumaßnahme.

Der erste Teil des Artikels befasst sich mit den Spezialtiefbauarbeiten zur Herstellung der Baugruben und der Ein- und Ausfahrkonstruktionen. Die gewonnenen Erfahrungen aus der Bauausführung und ihre kontinuierliche Umsetzung für die jeweils folgenden Bauabschnitte werden vor Allem im Hinblick auf die eingesetzten Bauverfahren, die erforderlichen Qualitätssicherungsmaßnahmen und das verbleibende Risikopotenzial betrachtet. Die Rohrvortriebsarbeiten sind Gegenstand eines zweiten Artikels, der im August 2005 erscheinen wird.

## Projekt

Die Herstellung der Rohrleitungen erfolgt vollständig in geschlossener Bauweise im Rohrvortriebsverfahren. Als Bauabschnitte BA 1 bis BA 3 wurden bisher 1.420 m Stauraumkanal mit einer Nennweite DN 2500 sowie 370 m Zulaufkanäle im Querschnitt DN 1200 in geschlossener Bauweise hergestellt. Die bisher ausgeführten 21 Baugruben dienten als Start- und Zielgruben sowie zur Erstellung der Schachtbauwerke. Die Kanäle DN 1200 liegen rund 8 m unter Gelände, die Sohl-tiefen der Großrohrvortriebe DN 2500 variieren in Abhängigkeit von der Topografie und betragen zwischen 7 m und 18 m. Die Baugruben für die Schachtbauwerke reichen nochmals ca. 1 m tiefer. Sie werden in Abständen von maxi-

mal ca. 100 m angeordnet. Die Baumaßnahme liegt im innerstädtischen Bereich und dadurch weitestgehend im Einflussbereich bestehender Bauwerke, wie Straßen, Kanäle, Brücken und verschiedener Gebäude. Die Trassierung orientiert sich am vorhandenen Straßennetz. Neben den Gleisanlagen der Straßenbahn sind auch Hauptstrecken der Deutschen Bahn zu unterqueren. Bei den angrenzenden Gebäuden handelt es sich überwiegend um 4- bis 6-geschossige Wohnbebauung, außerdem sind Gewerbeobjekte mit erschütterungsempfindlichen EDV-Anlagen zu berücksichtigen.

## Baugrund und Grundwasser

Die Baugrundsituation wird durch das ausgeprägte wellenartige Relief des Keupergebirges bestimmt. Tief reichende, mit Sanden gefüllte quartäre Rinnen durchziehen das Keupergebirge und überlagern das Festgestein mit Mächtigkeiten bis zu 20 m. Das gesamte Bauvorhaben wird durch Grundwasser beeinflusst, das mit einem Flurabstand von 3 m bis 7 m unter Gelände ansteht.

Daraus ergeben sich für die Baumaßnahme sehr stark wechselnde und schwierige Baugrundverhältnisse. Insbesondere am Rande der Talaue stehen streckenweise mehrere Meter mächtige Auffüllungen an. Darunter folgen gleichkörnige quartäre Sande. Durch die teilweise nur lockere und mitteldichte Lagerung neigen diese Schichten zu Sackungen, d.h. zu Setzungen bei Erschütterungseinwirkung auf den Untergrund.

Aushubarbeiten unterhalb des Grundwasserspiegels führen bei ungenügender Wasserhaltung unmittelbar zu einem Ausfließen der eng gestuften Sande. An der Basis dieser Quartärzone treten gelegentlich steinige bis blockige Einlagerungen (Sandsteingerölle) auf.

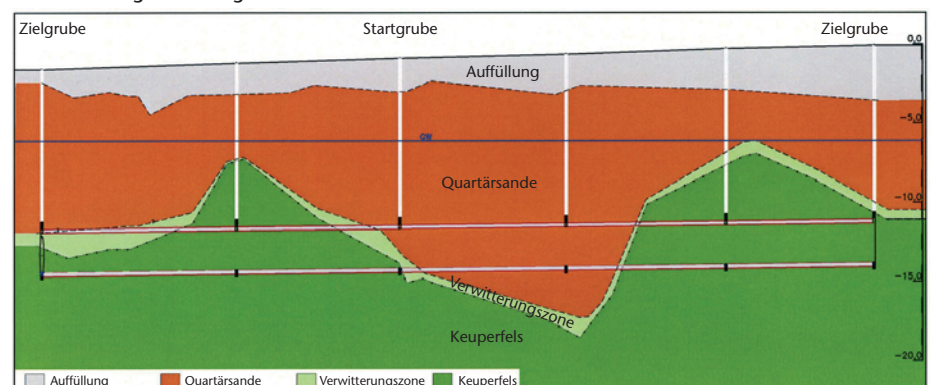
Die Verwitterungszone im Übergang zum Keuperfels zeigt unterschiedliche Mächtigkeit und Zusammensetzung. Diese oberste Zone des Keupergebirges ist meist vollständig entfestigt und bodenmechanisch als schluffiger Sand oder aufgeweichter sandiger Schluff anzusprechen. Lagenweise können Sandsteinbänke und steinige Einlagerungen mit höheren Festigkeiten eingeschlossen sein. Der Übergang zum eigentlichen Keuperfels (Sandsteine und Tonsteine) ist fließend. Nach den Festigkeitseigenschaften und den Trennflächenabständen sind diese Gesteine meist der Klasse FD 1 ( $\sigma_u < 5$  MPa) zuzuordnen, zuweilen erreichen sie aber auch höhere Festigkeiten bis ca. 25 MPa. Noch höhere Gesteinsfestigkeiten sind die Ausnahme.

Das Keupergebirge wirkt gegenüber den quartären Sanden als Wasserstauer. Der Unterschied in den Durchlässigkeiten beträgt mehrere Zehnerpotenzen.

## Aufgabenstellung

Die Herstellung der Kanäle ist unter den gegebenen innerstädtischen Randbedingungen nur in geschlossener Bauweise möglich. Zur Durchführung der Rohrvortriebe und zur nachfolgenden Herstellung der Schachtbauwerke sind standsichere Start- und Zielgruben zu konzipieren. Für

Abb. 1: Geologischer Längsschnitt – Bauabschnitt BA 3



die dazwischen angeordneten Schächte ist es ausreichend, die Baugruben nach Abschluss des Vortriebs zu erstellen, falls die Untergrund- und Grundwasserhältnisse dies mit vertretbarem Aufwand zulassen. Ist dies nicht möglich, müssen dem Rohrvortrieb vorlaufend so genannte „Durchfahrgruben“ ausgebildet werden.

Bei allen Baugrubenkonstruktionen ist der Einfluss des Grundwassers zu berücksichtigen. Eine Besonderheit gegenüber herkömmlichen Baugruben ergibt sich durch die erforderlichen Durchdringungen in den Baugrubenwänden für die Ausführung der Rohrvortriebe. Sie müssen die Standsicherheit des Gebirges gewährleisten und zusätzlich den Anforderungen an die Wasser absperrende Wirkung der Konstruktion genügen. Dies gilt für alle Bauzustände, außer es ist eine temporäre Absenkung des Grundwassers möglich.

## Baugruben und Wasserhaltung – Verbaukonzepte

Ein wesentliches Kriterium für die Konzeption des Verbaus ist die Tatsache, ob das Grundwasser in den stark Wasser durchlässigen quartären Sanden (Porengrundwasserleiter) oder im erosionsstabilen Keupergebirge in Schicht- und Trennflächen (Kluftgrundwasserleiter) ansteht. Ein weiterer entscheidender Faktor für die Auswahl eines geeigneten Bauverfahrens zur Herstellung der Baugrube ist die Tiefenlage des Wasserstauers zur geplanten Baugrube und zur Tiefenlage des jeweiligen Rohrvortriebs.

Auf Grundlage dieser Randbedingungen und der Lage der Baugrube zu angrenzenden Bauwerken sind Überlegungen anzustellen und ein geeignetes Verbaukonzept zu erarbeiten. Im Wesentlichen wurden bisher 4 verschiedene Baugrubensysteme ausgeführt.

### Typ 1: Trägerbohlwandverbau oder Spundwandverbau bei tief liegendem Felshorizont ohne Wasser absperrende Funktion

Bei tief liegendem Felshorizont und unter der Voraussetzung, dass eine vollständige Absenkung des Grundwassers möglich ist, können Trägerbohlwände oder Spundwände zur Baugrubensicherung ohne Wasser absperrende Funktion eingesetzt werden. Für Leitungsquerungen können Öffnungen in den Baugrubenwänden verbleiben, aufwändige Leitungsumlegungen können so oftmals vermieden werden. Die Absenkung des Grundwassers ist nur bei tief liegendem StauhORIZONT und einer daraus resultierenden ausreichenden Filtereintrittsstrecke in der Quartärzone möglich. Das Ein- und Ausfahren der Rohrvortriebe gestaltet sich vergleichsweise einfach, da die Öffnung der Verbauwände ohne Einfluss des Grundwassers erfolgt. Nachbrüche des Bodens sind auszuschließen. Dazu können in Abhängigkeit vom eingesetzten Vortriebsverfahren Bodenstabilisierungsmaßnahmen erforderlich werden.

### Typ 2: Spundwandverbau als Wasser absperrende Baugrubensicherung

Kann eine vollständige Grundwasserabsenkung nicht ausgeführt werden, weil der StauhORIZONT nicht ausreichend tief unter Baugrubensohle oder sogar darüber liegt, kann ein Wasser absperrender Spundwandverbau mit Einbindung in den Keuperfels, gegebenenfalls mit zusätzlichen Felssicherungsmaßnahmen (bewehrter Spritzbeton, Anker), hergestellt werden. Die Absenkung des Grundwassers beschränkt sich auf das vorlaufende Leerpumpen der Baugrube und die Absenkung des Restwassers, das über die Baugrubensohlfläche zuströmt. Bei größerer Baugrubengrundfläche und hohem hydraulischem Gefälle wird in der Baugrube



Abb. 2: Spundwandeinbringung

ein Bohrbrunnen betrieben, der eine vorlaufende Absenkung bewirkt und den Wasserdruck auf die Baugrubensohle reduziert. Zur Entwässerung vertikaler Felloberflächen werden gegebenenfalls Abschlauungen und vertikale Dränelemente zwischen Gebirge und Spritzbetonschale eingebaut. Für das Ein- und Ausfahren der Rohrvortriebe sind Konstruktionen vorzusehen, die den Einfluss des Grundwassers berücksichtigen.

### Typ 3: Spundwandverbau bei hoch liegendem Felshorizont ohne Wasser absperrende Funktion

Bei hoch liegendem Felshorizont mit ausreichender Überdeckung zum Vortrieb und

Abb. 4: Eckige Spundwandbaugrube – Aussteifungsrahmen



Abb. 3: Erschütterungsmessungen – Messaufnehmer



Anzeige  
Hunklinger

Messe demopark in Eisenach, 12.–14. Juni, Stand: E/554



Abb. 6:  
Spundwand-  
verbau und  
Felssicherung –  
Typ 3

Abb. 5:  
Kreisförmige  
Spundwand-  
baugrube –  
Aussteifungsringe



ohne Grundwasser in den darüber anstehenden Lockergesteinsschichten erfolgt oberflächennah die Sicherung der Baugrube mit Spundwänden. Leitungsquerschnitte können wie bei Typ 1 behandelt werden. Im Keupergebirge wird eine Felssicherung ausgeführt. Die Entwässerung der Felsflächen erfolgt wie vorab beschrieben. Die Absenkung des Grundwassers beschränkt sich hier auf eine offene Wasserhaltung, die im Zuge des Aushubs mitzuführen ist. Das Ein- und Ausfahren der Rohrvortriebe gestaltet sich in der Regel einfach, da sie im Bereich des erosionsstabilen und über längere Zeit standfesten Keupergebirges stattfindet.

#### Typ 4: Überschnittene Bohrpfehlwände

Alternativ zu den beschriebenen Verbautypen 1 bis 3 wurden überschnittene Bohrpfehlwände ausgeführt. Die erforderlichen Maßnahmen zur Wasserhaltung sowie die Anforderung an die Ein- und Ausfahrkonstruktionen waren vergleichbar.

Grund für die Ausführung der Bohrpfehlwände waren entweder die Erfordernisse eines verformungsarmen Verbaus bei geringem Abstand zu Gebäuden oder einer erschütterungsarmen Herstellung der Bohrpfähle im Gegensatz zur Einbringung von Spundwänden mittels Vibrationsrammung

sowie die Wasser absperrende Wirkung der überschnittenen Bohrpfehlwände.

Die verwendeten Bauverfahren für die bisher ausgeführten 21 Baugruben sind in Tabelle 1 übersichtlich dargestellt.

#### Ein- und Ausfahrkonstruktionen

Bei den bisher ausgeführten Baugruben waren insgesamt 42 Ein- und Ausfahrkonstruktionen mit den Rohrvortrieben zu bewältigen

Abb. 7: Überschnitte Bohrpfehlwand als Startgrube



Abb. 8: Überschnitte Bohrpfehlwand als Durchfahrgrube



Tabelle 1: Bauverfahren zur Baugrubenherstellung

Verbau	Bauverfahren	Grundwasserabsenkung	Anzahl
Typ 1	Trägerbohlwand bzw. Spundwand	außen, Bohrbrunnen, vollständige Absenkung	2 bzw. 4
Typ 2	Spundwand, Wasser absperrend	innen, Bohrbrunnen + offene Wasserhaltung	2
Typ 3	Spundwand + Felssicherung	innen, offene Wasserhaltung	6
Typ 4	Bohrpfehlwand (überschnitten)	innen, (Bohrbrunnen) + offene Wasserhaltung	7

Tabelle 2: Bauverfahren für Ein- und Ausfahrkonstruktionen

Verbau	Bauverfahren	Ein-/Ausfahrkonstruktionen	Anzahl
Typ 1	Trägerbohlwand bzw. Spundwand	ohne	11
Typ 2	Spundwand	Spundwandvorschacht/ DSI-Körper	1/1
Typ 3	Spundwand + Felssicherung	ohne/DSI-Körper	11/4
Typ 4	Bohrpfehlwand (überschnitten)	ohne/DSI-Körper	8/6

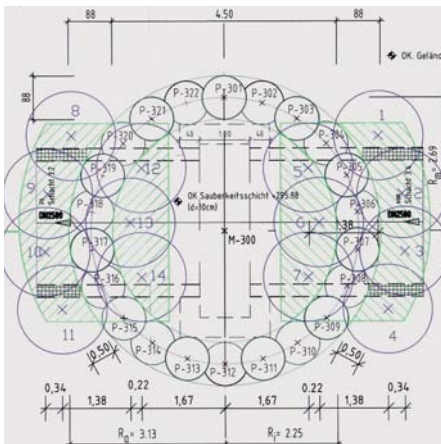


Abb. 9: Planung – Baugrube und DSI-Körper



Abb. 10: Bohrpfahlherstellung und Messung der Vertikalität

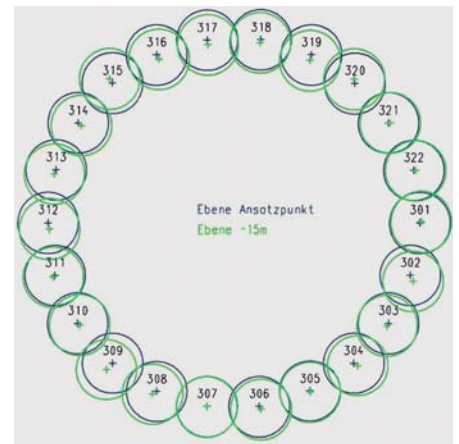


Abb. 11: Dokumentation der Bohrpfahl-Abweichungen

gen. Für diese Bauzustände sind generell die Standsicherheit des Gebirges zu gewährleisten und der Einfluss des Grundwassers zu berücksichtigen. Es darf weder Bodenzug durch nachbrechendes Gebirge stattfinden, noch darf es zu Grundwasserzutritten kommen, die eine rückschreitende Erosion bewirken könnten. Dies gilt sowohl für Start- und Zielgruben als auch für Durchfahrgruben, bei denen der Aushub nach Abschluss des Vortriebs erfolgt.

Wie bereits vorher beschrieben, sind die Anforderungen an diese Konstruktionen in Abhängigkeit vom anstehenden Gebirge und vom Grundwasserstand sehr unterschiedlich. Bei vollständiger Absenkung des Grundwassers (Typ 1) oder anstehendem erosionsstabilem Keupergebirge im Rohrquerschnitt (Typ 3) mit ausreichender Überdeckung werden für das Ein- und Ausfahren des Vortriebs keine besonderen Maßnahmen oder lediglich Maßnahmen zur Bodenstabilisierung erforderlich.

Deutlich schwieriger stellt sich die Situation für das Ein- und Ausfahren bei Baugruben des Typs 2 dar, bei denen es gilt, den Ein-

fluss des Grundwassers in den anstehenden Quartärsanden zu beherrschen. Hier muss von der gewählten Konstruktion neben dem Erddruck zeitweise auch dem Wasserdruck entgegen gewirkt werden. Bisher wurden hier überwiegend Düsenstrahlinjektionskörper (übliche Benennung: z.B. HDI oder Soilcrete) oder in einem Fall eine Vorschachtbaugrube ausgeführt, um diesen Anforderungen an die Standsicherheit und die Dichtigkeit gerecht zu werden.

## Planung und Qualitätssicherung

Die Planung, Ausführung und Überwachung der Spezialtiefbauarbeiten erfolgt nach den jeweils gültigen Richtlinien und Normen. Besonderer Aufmerksamkeit bedarf es dabei an den Schnittstellen zwischen Baugrubenumschließungen und Ein- und Ausfahrkonstruktionen, da hier oftmals nicht nur verschiedene Verfahren eingesetzt werden, sondern diese auch von unterschiedlichen Firmen ausgeführt werden.

Neben den geforderten Dokumentationen und Kontrollmessungen für die verschiedenen Bauverfahren im Rahmen der Eigenüberwachung werden ergänzende Messungen, Dokumentationen und Prüfungen gefordert, die als Besondere Leistungen nach VOB vom Auftraggeber vergütet werden.

Diese zusätzlichen Prüfungen sind z.T. eine Grundvoraussetzung für die Beurteilung der Ausführbarkeit (DSI-Arbeiten), dienen zur Überprüfung der erzielten Herstellungsgenauigkeit oder Materialgüte (DSI-Arbeiten, Bohrpfahlherstellung, Felsicherung) sowie zur Feststellung der Einwirkung in Folge von Erschütterungen auf angrenzende Gebäude oder Anlagen (Spundwandarbeiten).

Abb. 12: DSI-Probekörperherstellung mit Reichweitenmessung



Abb. 13: Messsignal der Reichweitenbestimmung (Hydrophonmessung)

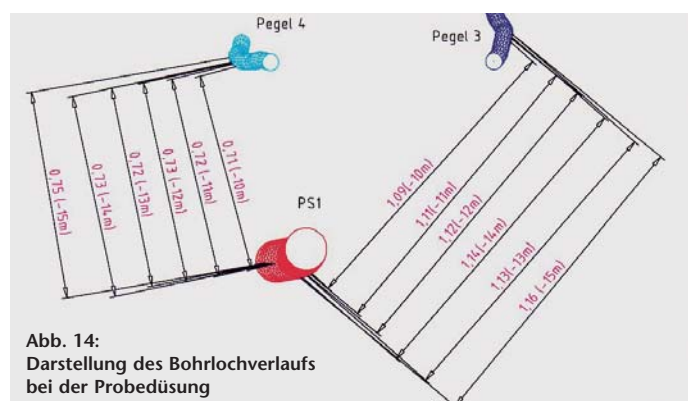


Abb. 14: Darstellung des Bohrlochverlaufs bei der Probeförderung

Bauverfahren	Nebenleistungen	Besondere Leistungen
Trägerbohlwand	Bohrprotokolle	
Spundwand	Rammprotokolle, automatische Aufzeichnungen über Leistungsaufnahme und Frequenz	Proberammungen, Erschütterungsmessungen, Anfertigung des Rammplans (Soll-/Ist-Vergleich)
Felssicherung	Nachweis der Spritzbetongüte	
Bohrpfahlwand	Aufzeichnung der Herstellungsparameter, Bohrprotokolle	Messung der Vertikalität an jedem Bohrpfahl, Automatische Dokumentation und Auswertung, Geometrischer Soll-/Ist-Vergleich über die gesamte Bohrpfahltiefe, Überprüfung der statisch maximal zulässigen Abweichung
Düsenstrahlinjektion	Eignungsnachweis für die Ausgangsstoffe und die Suspension, Standardprüfungen (Dichte, Festigkeitsentwicklung), Dokumentation der Geometrie und des Düsvorgangs bei jeder Säule	Herstellung von Probekörpern, Reichweitenmessungen, Messung der Vertikalität, Kontrollbohrungen, Probenahmen aus dem DSI-Körper, Druckfestigkeitsuntersuchungen an Bohrkernen

Tabelle 3: Qualitätssicherungsmaßnahmen

## Erfahrungen

Für die beschriebenen Baugrund- und Grundwasserverhältnisse und die bisher ausgeführten Verbautypen mit Ein- und Ausfahrkonstruktionen konnten inzwischen umfangreiche Erfahrungen gewonnen werden:

### Typ 1: Trägerbohlwandverbau oder Spundwandverbau bei tief liegendem Felshorizont ohne Wasser absperrende Funktion

Diese Verbausysteme sind vergleichsweise unkritisch unter der Voraussetzung, dass mit

den gewählten Wasserhaltungsmaßnahmen eine ausreichende Absenkung erzielt werden kann.

Bindige Trennlagen in den Quartärsanden können beim Trägerbohlwandverbau zu Schichtwasserzutritten führen und den Aushub sowie den Einbau der Ausfachung erschweren. Manchmal wird der Einsatz dadurch sogar unmöglich gemacht. Hier sind Spundwände den Trägerbohlwänden vorzuziehen.

Eine Berechnung der Wasserhaltung und die Ausarbeitung eines vollständigen Wasserhaltungskonzeptes sind bei dieser Ausführung Voraussetzung.

### Typ 2: Spundwandverbau als Wasser absperrende Baugrubensicherung

Bei der Ausführung der Spundwandbaugruben im Grundwasserbereich besteht die Gefahr von Schlossundichtigkeiten, was im Zuge des Aushubs im Grundwasserbereich zu Behinderungen, Bauzeitverzögerungen und aufwändigen Abdichtungsmaßnahmen führen kann.

Die Ursachen für die festgestellten Undichtigkeiten waren Ausführungsfehler, wie eine nicht lotrechte Einbringung einzelner Dielen oder fehlerhafte Eckausbildungen. Bisher nicht aufgetreten, jedoch nicht auszuschließen sind Erschwernisse bei der Einbringung in Folge Rammhindernissen, wie z.B. blockige Einlagerungen (Sandsteingerölle) an der Basis der Quartärsande, die erfahrungsgemäß ebenfalls zu Schlosssprengungen führen können. Die Auswirkungen undichter Stellen nehmen mit der Tiefe der Einbindung der Spundwände in den Porengrundwasserleiter zu.

Als ausführungstechnisch schwieriges System hat sich dieser Verbautyp bei einem Felshorizont oberhalb der Baugrubensohle und hohem hydraulischem Gefälle erwiesen. Hier stellt die Gewährleistung einer ausreichenden Einbindung der Spundwände in den erosionsstabilen Keuperfels ein erhöhtes Gefährdungspotenzial dar. Bei stark wechselnder Baugrundschichtung und insbesondere bei stark wechselnden Gebirgsfestigkeiten kann es zu einer zu geringen Einbindung der Dielen und dadurch zu schlagartigem Versagen (hydraulischem Grundbruch) im Zuge des Aushubs kommen.

### Typ 3: Spundwandverbau bei hoch liegendem Felshorizont ohne Wasser absperrende Funktion

Bei hoch liegendem Felshorizont, geringem Grundwasserandrang in quartären Sanden und ausreichender Felsüberdeckung über dem Rohrvortrieb haben sich diese Baugru-

Anzeige  
STDS

ben als ein vergleichsweise unkritisches Verbausystem erwiesen.

Das Ein- und Ausfahren der Rohrvortriebe gestaltet sich in der Regel ebenfalls einfach, da sie im Bereich des erosionsstabilen und über längere Zeit standfesten Keupergebirges stattfindet. Die Sicherung der Keuperfelschichten erfolgte bisher problemlos mittels bewehrter Spritzbetonschalen und dem Einbau von Felsankern. Wasserzutritte im Keuperfels werden über Abschlauchungen und Filtermatten gefasst, vertikal zwischen Schale und Gebirge abgeleitet und der Wasserhaltung zugeführt.

#### Typ 4: Überschnittene Bohrfahlwände

Mit diesem Bauverfahren wurden bisher durchwegs gute Erfahrungen gemacht. Wesentliche Vorteile der Bohrfahlerstellung gegenüber der Spundwandeinbringung sind neben der weitgehend erschütterungsfreien Herstellung die definierte Ausführung der statisch und hydraulisch erforderlichen Bohrfahllängen sowie die hohe geometrische Anpassungsfähigkeit. Hindernisse wie blockige Einlagerungen können problemlos durchbohrt werden. Die Dichtigkeit der Bohrfahlwände kann durch die hohe erzielbare Vertikalität und entsprechende Überschneidung der Pfähle gewährleistet werden. Die Vorgabe einer Bohrtoleranz von maximal  $\pm 0,5\%$  Lotabweichung wurde nur sehr selten überschritten. Bei ausreichenden Platzverhältnissen kann eine statisch günstige Grundrissgeometrie als Kreisring oder Ellipse gewählt werden und die Lastabtragung weitgehend über Druckkräfte erfolgen. Dadurch entsteht ein kostengünstiges Verbausystem, bei dem fast vollständig auf eine Bewehrung der Pfähle verzichtet werden kann und das keine Aussteifungen benötigt.

#### Ein- und Ausfahrkonstruktionen

Ist eine Grundwasserabsenkung möglich, sind die Ein- und Ausfahrbereiche normalerweise gut beherrschbar. Beim Trägerbohlwandverbau können im Durchdringungsbereich z.B. unbewehrte Bohrpfähle für das Ausfahren angeordnet werden, um Bodenentzug und Nachbrüche auszuschließen. Bei der Durchdringung der Bohrpfähle mit Teilschnittmaschinen ist auf Grund der eingetragenen Erschütterungen durch das Abfräsen des Betons eine Stabilisierung des Bodens erforderlich. Bei Einsatz von Vollschnittmaschinen kann darauf verzichtet werden. Bei Spundwandbaugruben in Kombination mit Vollschnittmaschinen werden ebenfalls Bodenstabilisierungsmaßnahmen außerhalb der Baugruben erforderlich, damit es bei der Herstellung der Öffnung in der Verbauwand nicht zu Nachbrüchen kommen kann.

Findet das Ein- und Ausfahren unter Einfluss des Grundwassers statt, so haben sich diese Konstruktionen bisher als der anfälligste Teil der Bauaufgabe herausgestellt. Bei der ausgeführten Vorschachtbaugrube, die in Kombination mit einer Wasserhaltung das Ausfahren aus dem Startschacht ermöglichte, war der Rückbau der Ausfahrkonstruktion in der Startgrube nachträglich nicht mehr möglich, da nach Fertigstellung des Vortriebs der Vorschacht kein geschlossenes Wasser absperrendes Verbausystem mehr bildete. Es konnte keine ausreichende Absenkung erzielt werden, so dass auf den Rückbau der Ausfahrkonstruktion wegen zutretenden Wassers und Bodens in die Startbaugrube verzichtet werden musste.

Alle übrigen Ein- und Ausfahrkonstruktionen wurden bisher als DSI-Körper hergestellt. Dabei wurden sehr unterschiedliche Erfahrungen gemacht. DSI-Körper, die lediglich der Bodenstabilisierung dienen, haben bei

der Bauausführung zu keinerlei Behinderungen geführt. Anders stellte sich die Situation bei DSI-Körpern dar, die zusätzlich eine Dichtfunktion erfüllen und dem Wasserdruck standhalten mussten. Hier haben sich bei Kontrollprüfungen bzw. bei der Baudurchführung Fehlstellen in DSI-Körpern gezeigt bzw. zu Wasser- und Bodenaustritten geführt, so dass z.T. Bauzeitverzögerungen die Folge waren und zusätzliche Maßnahmen ergriffen werden mussten.

In Abhängigkeit vom eingesetzten Verfahren (1-Phasen-, 2-Phasen- oder 3-Phasen-Verfahren) und den Ergebnissen der Probedüsungen wurde die Planung der DSI-Körper mit den entsprechenden Säulendurchmessern durchgeführt ( $d = 1,00\text{ m}$ ,  $d = 1,80\text{ m}$  bzw.  $d = 1,30\text{ m}$ ). Die maximalen Bohrabweichungen von  $< 1\%$  wurden bei stichprobenhaften Kontrollen mittels Inklinometermessungen nachgewiesen. Bei der Planung ist zu beachten, dass eine fachgerechte Herstellung sich überschneidender Körper nur möglich ist, wenn bei entsprechender Tiefenlage der Säulen auch ein ausreichender Durchmesser der Einzelsäule gewährleistet ist. Bei zu geringem Durchmesser der Einzelsäulen in Kombination mit den verfahrensbedingten Abweichungen in Folge der Bohrunauigkeiten besteht die Gefahr, dass einzelne Säulen in bereits hergestellten und erhärteten Säulen abgebohrt werden. Daraus resultiert eine Behinderung des Düsvorgangs und die geplante Reichweite des Düsstrahls kann nicht erzielt werden.

Bei der Durchfahrung der DSI-Körper mit dem Rohrvortrieb wurden mehrere Fehlstellen festgestellt, die mit großer Wahrscheinlichkeit geometrisch bedingt waren. Als herstellungstechnisch ungünstig sind geneigte Säulen zu bewerten. Sie bedeuten nicht nur eine fehleranfällige Bauausführung mit erhöhtem Messaufwand, sondern bedingen gleichzeitig einen erhöhten Planungsaufwand in Form von 3-dimensionalen Darstellungen, um die erforderlichen Überschneidungen aller Einzelsäulen zu überprüfen.

Die beste Anpassungsfähigkeit an die unterschiedlichen Bodenverhältnisse (mürber Fels, Verwitterungszone, quartäre Sande) zeigte das eingesetzte 2-Phasen-Verfahren, mit dem außerdem die größte Reichweite ( $d > 1,80\text{ m}$ ) erzielt wurde.

#### Systemrisiken

Das Systemrisiko ist das Ergebnis aus anstehendem Baugrund, Grundwasser und eingesetztem Bauverfahren:

Baugrund + Grundwasser + Bauverfahren = Systemrisiko

Die bisherigen Erfahrungen zeigen, dass das Risiko durch die Tatsache, ob Grundwasser vorhanden ist oder nicht, entscheidend be-



Abb. 15:  
Bohrfahlbaugrube  
als Druckring

einflusst wird. Hier ist bei den anstehenden Untergrundverhältnissen zu differenzieren zwischen dem Grundwasserandrang in den quartären Sanden und den Kluftwasserzutritten im erosionsstabilen Keuperfels.

Steht das Grundwasser lediglich im Keuperfels an, so kann für die auszuführenden Baugruben sowie die Ein- und Ausfahrkonstruktionen das Systemrisiko als gering eingestuft werden. Ein deutlich höheres Gefährdungspotenzial ist bei den Konstruktionen gegeben, die als Wasser absperrende Verbaue in den quartären Sanden auszuführen sind und im Bereich der Ein- und Ausfahröffnungen ebenfalls den Anforderungen eines Wasser absperrenden Verbaus genügen müssen. Hier ist generell ein erhöhtes Systemrisiko gegeben.

Die relevanten Bauverfahren, die in diesen Situationen eingesetzt wurden, sind Spundwände und überschnittene Bohrpfehlwände zur Baugrubensicherung sowie Spundwände und DSI-Körper für das Ein- und Ausfahren.

Bewertet man die eingesetzten Verfahren, so zeigt sich, dass beim Einsatz von Spundwänden und dem Düsenstrahlinjektionsverfahren in den Grundwasser führenden und zum Ausfließen neigenden Sanden ein erhöhtes Systemrisiko vorliegt.

## Zusammenfassung

Als Baugrubensicherungen haben sich die beschriebenen Verbaustypen 1, 3 und 4 bewährt. Der Spundwandverbau als Wasser absperrende Baugrubensicherung (Typ 2) hat sich unter den gegebenen Randbedingungen (enge und unregelmäßige Grundrissgeometrie, stark wechselnde Baugrundverhältnisse) als Bauverfahren mit erhöhtem Systemrisiko dargestellt.

Düsenstrahlinjektionskörper können problemlos zur Bodenstabilisierung herangezogen werden und dienen außerdem als Hilfskörper zur späteren Ringraumabdichtung im Bereich der Baugruben nach Abschluss des Rohrvortriebs. Beim Einsatz als Dichtkörper mit statischer Funktion (Erddruck und Wasserdruck) in großen Tiefen, insbesondere in den Wasser führenden Quartärsanden, zeigen sich Anwendungsgrenzen. Grund dafür ist die Tatsache, dass zu viele Parameter die Herstellung des Körpers beeinflussen (Düsparameter, geometrische Abweichungen, wechselnde Bodenschichtung, Steinlagen). Trotz aufwändiger Qualitätssicherung kann die Integrität des Körpers vor dem Gebrauch nicht vollständig nachgewiesen werden. Es verbleibt immer ein Restrisiko, dass zu schlagartigem Versagen und damit zu Wasser- und Bodenaustritten führen kann.

Die Schnittstelle Baugrube/Ein- und Ausfahrkonstruktion muss demzufolge mit Grundwasserabsenkungen und bei Bedarf

Baugrubenverbau	Ein- und Ausfahrkonstruktion	Anzahl	Fehlstellen
Spundwand		2	3
Bohrpfehlwand (überschnitten)		4	(1)
	Spundwand	1	1
	DSI-Körper	9	4

Tabelle 4: Fehlstellen bei Wasser absperrenden Konstruktionen

zusätzlich mit Vorsatzbaugruben, alternativ mit Bodenstabilisierungsmaßnahmen und ergänzenden Maßnahmen, die im Zuge des Rohrvortriebs zu ergreifen sind, bewältigt werden. Für die Ausschreibung dieser Schnittstelle ist eine detaillierte Beschreibung der vorgesehenen Spezialtiefbauarbeiten sowie der vorgesehenen Konstruktionen erforderlich. Eine ausführbare Lösung muss immer in der Ausschreibung vorgegeben sein. Eine „teilkonstruktive Ausschreibung“ der Ein- und Ausfahrkonstruktionen, die lediglich die Anforderungen beschreibt, hat sich nicht bewährt und letztlich nur zu intensiven Diskussionen geführt.

Nebenangebote, die Spezialtiefbauarbeiten betreffen, sind nicht nur dahingehend zu prüfen, ob sie grundsätzlich gleichwertiger Art sind, sondern müssen auch gewährleisten, dass in allen Bauphasen das Systemrisiko mindestens ein vergleichbares Niveau wie die Ausschreibungslösung aufweist.

Die beschriebenen Qualitätssicherungsmaßnahmen haben sich als unerlässliches Mittel zur Reduzierung der Ausführungsrisiken erwiesen.

Autor:  
LGA Bautechnik GmbH – Grundbauinstitut

**Anzeige  
LGA**