

Gliederung

- 1 Randbedingungen bei der Herstellung von Baugruben
- 2 Überblick Baugrubensysteme
- 3 Konventionelle Baugrubensysteme
- 4 Neuentwicklungen bei Baugrubensystemen
- 5 Wahl von Baugrubensystemen
- 6 Projektbeispiele

1 Randbedingungen bei der Herstellung von Baugruben

Ausbildung und räumliche Ausdehnung einer Baugrube ist abhängig von:

- Abmessung, Tiefenlage des Bauwerks / der Gründungskörper
- vorgesehene Gründungsart
- erforderlicher Arbeitsraum
- Sicherung angrenzender Bauwerke:
Gründungstiefe, Fundamentausbildung,
Abstand und Nutzung, Erschütterungsempfindlichkeit
- Belastungen des Verbaus aus Gebäuden und Verkehr
- Art und Beschaffenheit des Baugrundes
- Grundwasserverhältnisse
- vorhandene Leitungen, Kanäle
(Umlegung / Leitungsbrücken)

=> **Wahl eines technisch durchführbaren und wirtschaftlichen Baugrubensystems**
=> **komplexe Ingenieuraufgabe**

(LGA)

Geotechnische / Bauverfahrenstechnische Randbedingungen

Baugrund

<ul style="list-style-type: none"> ▪ Rammpbarkeit ▪ Bohrbarkeit ▪ temporäre Standsicherheit ▪ Durchlässigkeit ▪ Hindernisse (Findlinge, Fundamentreste) ▪ Setzungsgefährdung (Zusammendrückbarkeit) ▪ mischbar ▪ kontaminiert 	<p>Lagerungsdichte, Kornverteilung, Kornform, Konsistenz, Druckfestigkeit (Festgestein), etc.</p>
---	---

Grundwasser

<ul style="list-style-type: none"> ▪ Grundwasserspiegel ▪ mögliche Absenkung ▪ gespanntes Grundwasser ▪ kontaminiert 	
--	--

Nachbarbebauung

<ul style="list-style-type: none"> ▪ im Einflussbereich 	<p>setzungsempfindlich, erschütterungsempfindliche, direkt angrenzend, Unterfangung bestehender Fundamente erforderlich</p>
<ul style="list-style-type: none"> ▪ außerhalb Einflussbereich 	

Leitungen / Kanäle

▪ im Einflussbereich	setzungsempfindlich, erschütterungsempfindliche, direkt angrenzend, Unterfangung bestehender Fundamente erforderlich
▪ außerhalb Einflussbereich	

Spätere Verwendung

▪ temporär	wiedergewinnbar / „verloren“ nur für die Zeit der Baumaßnahme
▪ permanent	nicht wiedergewinnbar, statische Berücksichtigung, wasseraberrrende Funktion, Negativschalung

5

Abmessungen

▪ Tiefe	verfahrendtechnische Grenzen, Platzverlust durch Verbauwand, Arbeitsraum
▪ flexibler Grundriss	
▪ Abmessung späteres Bauwerk	

Baustellensituation

▪ Verkehrswege / Logistik	Anlieferung Baumaterialien, kontinuierliche Betonlieferung Entsorgung kontaminierter Materialien
▪ Platzverhältnisse	verfügbare Höhen / Arbeitsraum Platz für Baustelleneinrichtung Lagerkapazitäten
▪ Emissionen	Lärm, Erschütterungen, Staub / Schmutz

6

Wirtschaftliche Randbedingungen

Wirtschaftlichkeit

▪ Verfahrensablauf	Personalbedarf, Maschineneinsatz, Materialbedarf, Baustelleneinrichtung, Bauzeit
▪ Gesamtvolumen	Baustelleneinrichtung, Verfahrensabläufe
▪ Logistik	Geräte- / Ausrüstungstransport, Materialtransport, Entsorgung
▪ Spätere Verwendung	Statisch tragende Eingliederung, wasserabsperrend, Negativschalung, wiedergewinnbar, „verloren“

7

2 Überblick Baugrubensysteme



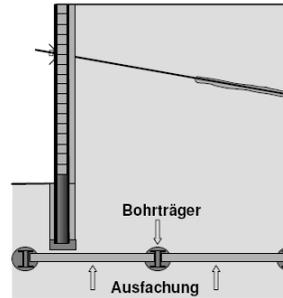
8

3 Konventionelle Baugrubensysteme

3.1 Trägerbohlwand

Herstellung

- Einbringen der senkrechten Stahlträger (Rammen, Rütteln, Einstellen in vorgebohrte Löcher und Verfüllen).
- Einbau der Ausfächung (Holzbohlen, Rundhölzer, Kanaldielen, Spritzbeton) fortschreitend mit dem Aushub, i.d.R. max. 0,5 m nachlaufend.
- Herstellung der erforderlichen Steifen oder Anker fortschreitend mit dem Aushub bei den Zwischenaushubebenen.



9

Vorteile

- kostengünstig, wirtschaftlich
- flexibel in Grundriss und Art der Ausfächung
- Anpassungsfähigkeit, wenn Leitungen, Schächte oder Fundamente vorhanden sind
- in nahezu allen Bodenarten anwendbar
- erschütterungsarm (Einstellen der Träger)
- i.d.R. können die Bauteile wiedergewonnen werden (Rückbaubarkeit)

Nachteile

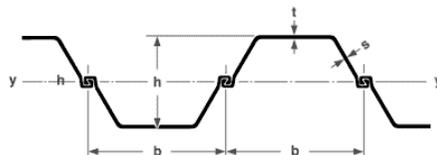
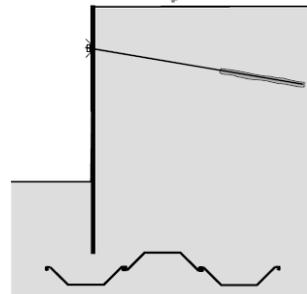
- problematisch bei Grund- und Schichtwasser, nicht wasserabsperrend
- nachgiebig, daher Setzungen bei vorhandener Bebauung zu erwarten
- erdseitige Auflockerung nahezu unvermeidbar

10

3.2 Spundwand

Herstellung

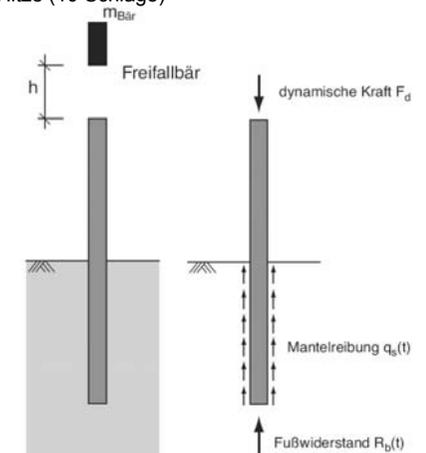
- Einbringen der Einzelbohlen bzw. Doppelbohlen (Rammen, Rütteln, Pressen)
- Wahl des Profils abhängig von statischer Ausnutzung und Rammbbarkeit
- Es können Einbringhilfen erforderlich sein (Auflockerungen, Spülen, Vorbohren, Sprengen)
- Einbau von Steifen oder Ankern mit fortschreitendem Aushub bei Zwischenaushubebenen



11

Rammen

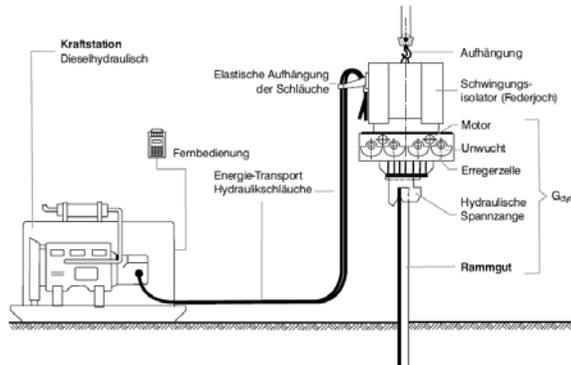
- z.B. Dieselsbär, Hydrauliksäbär, Schnellschlaghammer
- Verhältnis Bärgewicht (Schlaggewicht) zum Gewicht Rammelement + Rammhaube ca. 1:1 bis 2:1
- Rammhaube erforderlich
- Prellschläge durch zu große Hubhöhen sind zu vermeiden
- in bindigen Böden => langsam schlagender schwerer Bär (statt leichter Bär mit großer Hubhöhe)
- Schnellschlaghammer mit geringer Einzelschlagenergie z.B. geeignet in nichtbindigen Böden
- Einstellen der Rammung bei Eindringung < 30 mm je Hitz (10 Schläge)



12

Einrütteln - Vibrationsrammung

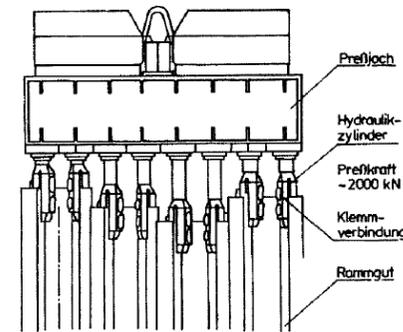
- Leistung => statische Moment, Drehzahl, Fliehkraft (Erregerkraft)
- bei neueren Geräten kann statisches Moment, Frequenz geändert werden
- Rammleistung abhängig von den Baugrundverhältnissen (sehr gut rammbar: locker bis mitteldichte, nichtbindige Böden)
- hohe Produktivität bei geeigneten Baugrundverhältnissen
- => wird bei der Herstellung von Baugruben oft angewendet



13

Einpressen

- Reduzierung von Lärm und Erschütterungen (erschütterungsarm)
- geeignet für bindigen Boden
- nicht geeignet bei dichter gelagerten nichtbindigen und festeren bindigen Boden
- größter Teil der Reaktionskraft aus Reibung der zuvor eingebrachten Bohle
- vergleichsweise großer Zeitaufwand (geringe Produktivität)
- => nur sehr selten anwendbar (Baugrundwiderstand / Wirtschaftlichkeit)



14

Einbringhilfen:

- Spülhilfen, Vorbohren (Lockerungsbohrungen), Lockerungssprengungen => Zusatzaufwand
- z.B. Spülhilfen
Spülen mit Nieder- oder Hochdruck:
Wasserstrahl über Spülrohre zum Fuß
=> Eingeprägtes Wasser lockert den Boden auf und transportiert gelöstes Material ab (Verminderung Mantelreibung durch Wasserfilm)
- => Beispiel Hochdruck-Spülhilfe

15

Vorteile

- im freien Wasser dicht ausführbar, wasserabsperrend
- i.d.R. Bauteile wiedergewinnbar, mehrfach verwendbar
- auch in nicht standfesten Böden einsetzbar
- Aushub großräumig sofort nach Einbringen der Bohlen möglich / schneller Baufortschritt

Nachteile

- je nach Einbauart (rammen, rütteln, drücken) Erschütterungen und Lärm, Erschütterungseinfluss auf angrenzende Bebauung
- problematisch bei kreuzenden Sparten, wenig anpassungsfähig
- Zusatzaufwand bei Einbringhindernissen (Auflockern, Vorbohren, Sprengen)
- begrenzte Einbringtiefe bei rammfesten Baugrundsichten (Vorbohren erf.)
- beschränkte Länge / Transportlänge (i.d.R. bis ca. 15 m)
- bedingt verformungsarm herstellbar, je nach Steifigkeit des Profils

(LGA)

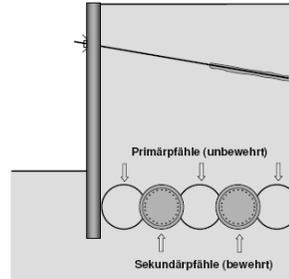
16

3.3 Bohrpfahlwand

Herstellung

Überschnittene Bohrpfahlwand:

- Herstellen Bohrschablone
- 1. Arbeitsgang: Herstellen jedes zweiten Pfahls, unbewehrt.
- 2. Arbeitsgang: Herstellen der zwischenliegenden Pfähle, bewehrt
- Einbau von Steifen oder Ankern mit fortschreitendem Aushub bei Zwischenaushubebenen



Pfahldurchmesser 30 bis 150 cm



(LGA)

Vorteile

- hohe Flexibilität im Grundriss / beliebige geometrische Form, anpassungsfähig (Aussparungen für Leitungen / Kanäle)
- Bohrdurchmesser gering gegenüber Mindestbreite Schlitzwandlamelle, daher höhere Standsicherheit während Herstellung bei hohen Gebäudelasten => geringe Setzungen
- steife Konstruktion möglich, i.d.R. verformungsarm (bei Rückverankerung bis ca. 2 ‰ der Wandhöhe)
- integrierbar in Bauwerk (dann i.d.R. wirtschaftlich)
- hohe vertikale Tragfähigkeit
- erschütterungsarm herstellbar
- i.d.R. wasserabsperrend herstellbar (überschnitten, viele Fugen)
- auch geneigt herstellbar (bis ca. 1:10)
- größere Tiefen möglich
- Ausführung auch in nicht oder schwer rambaren Böden möglich

Nachteile

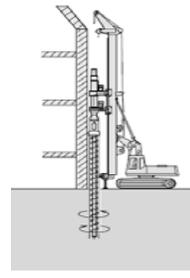
- Kosten, u.a. abhängig vom erf. Bewehrungsgrad (z.B. Kreisschacht unbewehrte Pfähle)
- nicht wiedergewinnbar
- Ausführungstiefe im Vergleich zur Schlitzwand begrenzt durch Wirtschaftlichkeit und Genauigkeit der Vertikalität (i.d.R. bis ca. 25 m)

(LGA)

▪ VDW-Pfähle

Vor-Der-Wand Pfähle (Schlanke Pfahlwand)

- Spezialfall der Bohrpfahlwand
- Herstellung von Baugrubenwänden unmittelbar vor bestehenden Gebäuden (Abstand bis min. 5 cm), kann Unterfangungen ersetzen
- geringer Platzbedarf
- Abtragung der Horizontallasten infolge Gebäude (Aussteifung, Rückankerung)



(Bauer)

Herstellung

- entspricht Bohrpfahlerstellung (Pfahldurchmesser i.d.R. 30 / 40 cm)
- SOB-Pfahl, mit Verrohrung (Schnecken-Ortbeton-Pfahl)

Eigenschaften

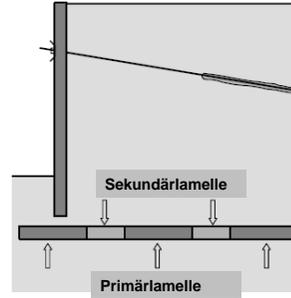
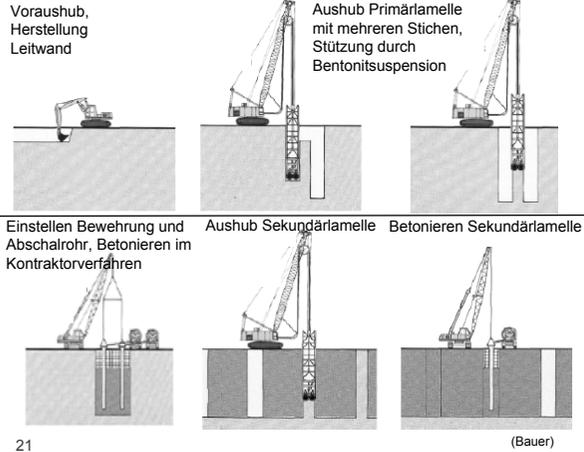
- bei engen Platzverhältnissen möglich, optimale Ausnutzung des Grundstücks
- erschütterungsarm herstellbar
- aufgrund des kleinen Durchmessers geringere Biegesteifigkeit als Bohrpfahlwand
- verformungsarm mit Rückankerung, Aussteifung
- geneigt herstellbar
- i.d.R. nur bedingt wasserabsperrend herstellbar
- in vielen Böden herstellbar (Verrohrung), außer Fels
- Pfahldurchmesser ca. 30 / 40 cm max. Tiefen ca. 9 bis 17 m
- integrierbar in Bauwerk



(Bauer)

3.4 Schlitzwand

Herstellung



- Aushub mit Greifer oder Fräse
- Herstellung Primär- und Sekundärlamelle im Pilgerschritt

Vorteile

- erschütterungsarm
- wasserabsperrend herstellbar (geringe Fugenzahl, Abschaltrohr)
- hohe Steifigkeit, verformungsarm (bis 2 ‰ der Wandhöhe)
- integrierbar in Bauwerk (Wirtschaftlichkeit)
- hohe vertikale Tragfähigkeit
- technologisch in nahezu allen Böden möglich
- große Tiefen möglich (in Ausnahmefällen bis 100 m)
- große Leistung (m²) im Vergleich z.B. zur Bohrpfehlwand

Nachteile

- Kosten, hoher Aufwand an Baustelleneinrichtung und Materialverbrauch
- gesonderte Entsorgung der gebrauchten Stützflüssigkeit und des mit Suspension verunreinigten Aushubmaterials
- nicht wiedergewinnbar
- häufig problematisch bei Aussparungen für Leitungen, Kanäle
- i. d. R. nicht wirtschaftlich bei kleinen Wandflächen, geringen Tiefen, beengten Platzverhältnissen

22

4 Neuentwicklungen bei Baugrubensystemen

=> Systeme mit Bodenverfestigung

4.1 Düsenstrahlwand

Düsenstrahlverfahren: (DSV)

DIN EN 12716 Bodenvermörtelung
=> Boden wird aufgeschnitten bzw. erodiert mit einem energiereichen Schneidstrahl mit Austrittsgeschwindigkeiten > 100 m/s
Suspensionsdruck ca. 400 bis 600 bar
=> Wasser oder Zementsuspension, auch mit Luft ummantelt

=> erodierte Boden wird umgelagert und mit Zementsuspension vermischt
=> Erosionsweite je nach Boden, Verfahrensart und Flüssigkeit bis zu 2,5 m

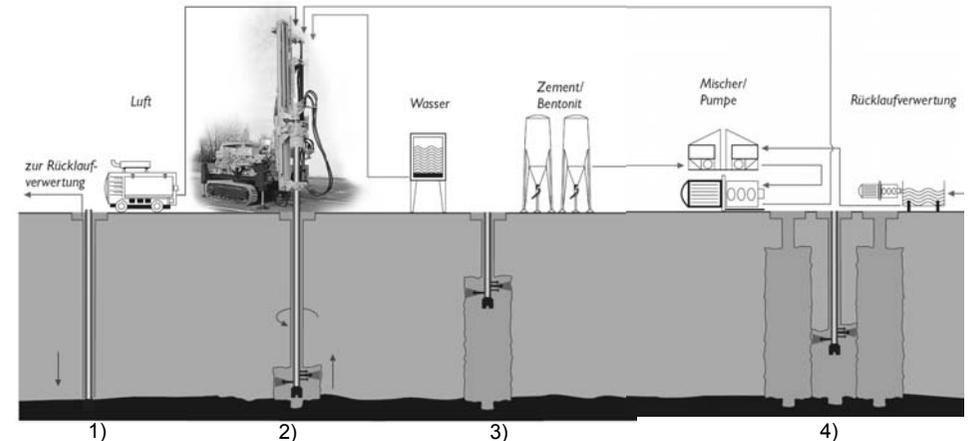
=> nach Erhärten des Mörtel => statisch nutzbare Eigenschaften der Säulen
=> Festigkeit von ca. 2 - 25 N/mm²

=> Anwendung zur Verfestigung und Abdichtung in allen Lockergesteinen



23

Herstellungsablauf

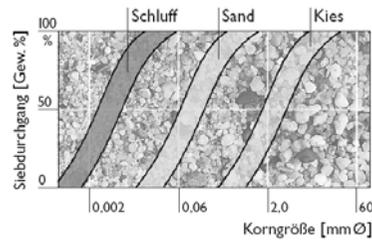


- 1) Bohren: Abteufen von Bohrgestänge mit Düsenhalter und Bohrkronen
- 2) Schneiden: Auflösen des Korngefüges mit einem hochenergiereichen Flüssigkeitsstrahl
- 3) Säulenherstellung: Einmischen von Zementsuspension unter Druck
- 4) Erweitern: Herstellung der angrenzenden Säulen => "frisch in frisch" oder "frisch gegen fest"

24

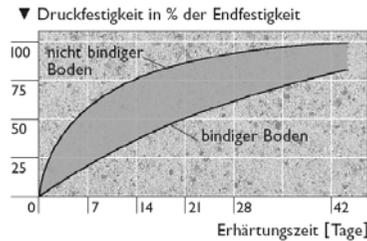
Erzielbare Druckfestigkeit

Soilcrete-Druckfestigkeit

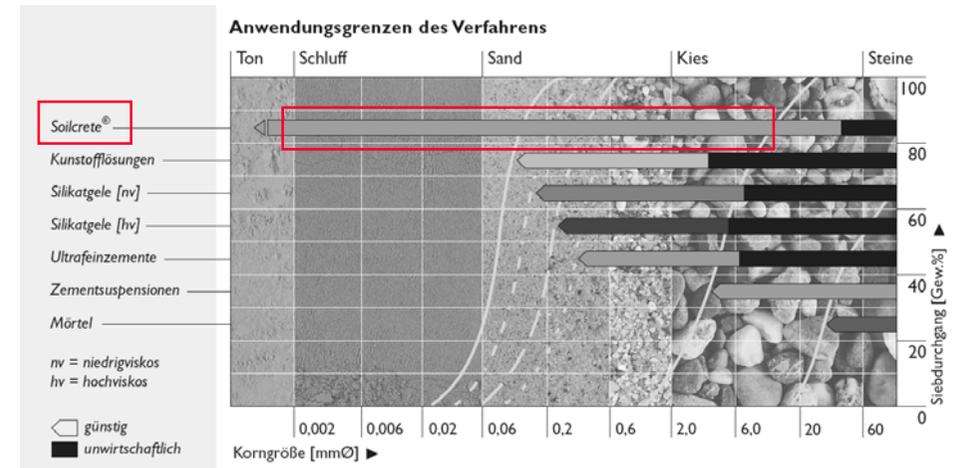


Bodenart	Schluff	Sand	Kies
Druckfestigkeit [N/mm ²]	≤ 5	≤ 10	< 25

Entwicklung der Festigkeit von Soilcrete [qualitativ]



Anwendungsgrenzen



Vorteile

- bei engen Platzverhältnissen / angrenzender Bebauung möglich
- als Unterfangung herstellbar (kraftschlüssiger Verbund mit Fundament möglich)
- hohe Flexibilität in Grund- und Aufriss
- erschütterungsarm
- i.d.R. bedingt wasserabsperrend herstellbar
- In vielen Bodenarten anwendbar
- hohe Produktivität

Nachteile

- hoher Aufwand an Baustelleneinrichtung
- Wirtschaftlichkeit und Festigkeit bodenabhängig (Probekörper erforderlich)
- Herstellungsprobleme bei stark unterschiedlichen Bodenarten und größeren Tiefen (Bohrabweichung)

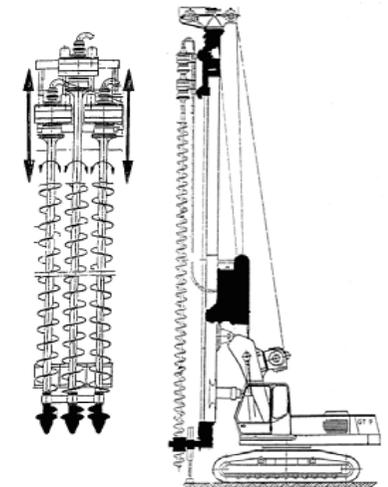
4.2 MIP-Wand

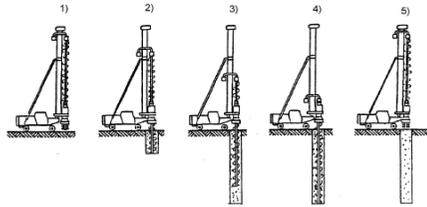
Mixed-in-Place

- Vermischung und Vermörtelung des anstehenden Bodens durch Nassmischungen mit Zement oder Bentonit-Zement-Suspension (DIN EN 14679:2005-07)
- gegenläufig drehende Dreifach-Bohrschnecke



(Bauer)





Herstellung

- Einbringung der Schnecke bis zur Endtiefe
- Kontinuierliche Zugabe der Zement-Suspension durch die Seelenrohr der mittleren Schnecke
- Homogenisierung und intensive Vermischung des anstehenden Bodens mit dem Bindemittel, Variieren der Schneckendrehrichtung
- Ziehen der Schnecke mit Vermischung
- im Boden stehendes Scheibenelement ca. 1,2/1,7 m Länge, ca. 0,37/0,5 m Breite
- z.B. Einstellen Trägerprofil solange Boden-Bindemittel-Gemisch nicht erhärtet
- Pilgerschrittverfahren, Überschritt ca. 0,1 m
- Rückankerung der Stahlprofile bei Baugrubenaushub
- **durchgehende Wand mit Ausfachung aus vermörteltem Boden**

(Bauer)

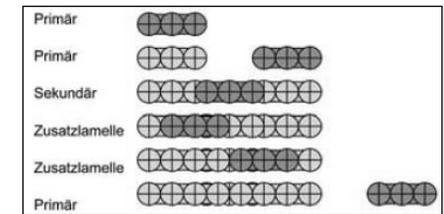
29

Pilgerschrittverfahren

- „Doppelter Pilgerschritt“ zur optimalen Homogenisierung

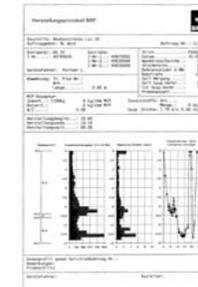
Materialeigenschaften

- Druckfestigkeit, Durchlässigkeit abhängig von Suspensionsrezeptur und anstehenden Boden
- Druckfestigkeiten i.d.R. bis maximal 5 bis 8 MN/m² erreichbar
- Eignungsprüfungen zu Beginn der Herstellung zur Bestimmung der optimalen Rezeptur



Qualitätssicherung

- Eignungsprüfung Suspension
- Rückstellproben Suspension laufende Kontrolle der Dichte
- Aufzeichnung der Herstelldaten Tiefe, Suspensionsmenge, Zeit



(Bauer)

30

Vorteile

- wirtschaftlich im Vergleich zur Ortbetonwand
- verformungsärmer als Trägerbohlwand und Spundwand
- erschütterungsarm
- geringer Anfall von Bohrgut
- schneller Baufortschritt bei geringer Materialzugabe
- keine Bohrschablone / Leitwand
- mögliche verlorene Schalung (Abfräsen Oberfläche)
- bedingt wasserabsperrend (i.d.R. dicht bei „frisch in frisch“ Schneckenherstellung, nach Wochenendpausen Sondermaßnahmen erforderlich / z.B. Überschritt)

Nachteile

- nicht in allen Böden anwendbar, nicht geeignet bei Fels, Steinen und Blöcken
- Probleme bei Hindernissen im Boden
- begrenzte Tiefen, erreichbare Wandtiefen i.d.R. ca. 10 bis max. 25 m, baugrundabhängig

31

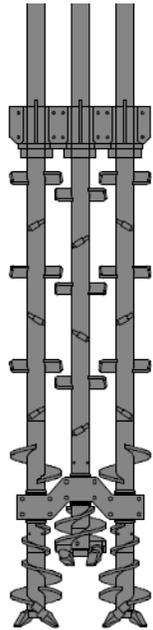
4.3 Soil-Mixing-Wall (SMW)

SMW-Verfahren

- Herstellung von verfestigten Bodenelementen durch Einmischung von hydraulischen Bindemittel wie beim MIP-Verfahren
- Form und Aufbau des Mischwerkzeuges unterscheiden sich von den Endlosschnecken beim MIP-Verfahren
- Verfahren ist in Deutschland noch nicht sehr verbreitet, es liegen bisher nur wenig Erfahrungswerte vor



32



Mischwerkzeug

- Gestänge besteht aus mehreren Sektoren mit unterschiedlichen Werkzeugen
- Lösen des Bodens mit Schneidzähnen am unteren Ende
- Kontinuierliche Bindemittelsuspensionzugabe über Düsen in den Einzelschnecken beim Schneidprozess
=> Boden verflüssigen, stabilisieren, später binden
- kurze Schnecken oberhalb des Schneidwerkzeugs fördern das Bodengemisch von den Schneiden weg
=> um Lösprozess nicht zu behindern
- Oberhalb der Schnecken ist der Mischbereich mit Mischpaddeln
- Überschneidung der drei Einzelgestänge
- Äußere Schneckengestänge drehen gegenläufig zur besseren Homogenisierung

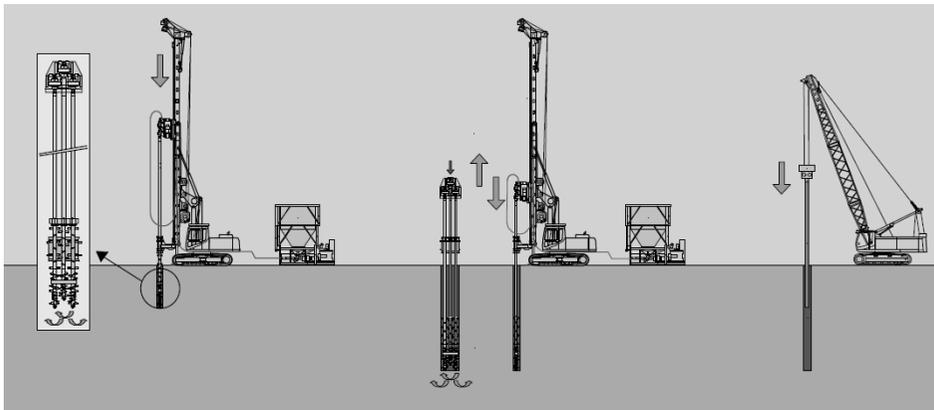
33

Herstellung

- Herstellung eines Vorlaufgrabens entlang Wandverlauf (Tiefe ca. 50 cm) zur Aufnahme der Überschusssuspension
- Einbringung des Mischwerkzeugs (Lösen und Mischen) bis zur Endtiefe
- Kontinuierliche Zugabe der Bindemittelsuspension
- Homogenisierung und intensive Vermischung des anstehenden Bodens mit dem Bindemittel
- Ziehen des Mischwerkzeugs
- im Boden stehendes Scheibenelement ca. 1,0/1,4 m Länge, ca. 0,37/0,55 m Breite
- z.B. Einstellen Trägerprofil solange Boden-Bindemittel-Gemisch nicht erhärtet
- einfaches Pilgerschrittverfahren
- Rückankerung der Stahlprofile bei Baugrubenaushub
- **durchgehende Wand mit Ausfachung aus vermörteltem Boden**

34

Herstellungsablauf



35

Vorteile

- wirtschaftlich vergleichbar MIP
- erschütterungsarm
- geringer Anfall von Bohrgut
- schneller Baufortschritt bei geringer Materialzugabe
- mögliche verlorene Schalung (Abfräsen Oberfläche)
- bedingt wasserabsperrend (i.d.R. dicht bei „frisch in frisch“ Schneckenherstellung, nach Wochenendpausen Sondermaßnahmen erforderlich / z.B. Überschneitt)

Nachteile

- nicht in allen Böden anwendbar, nicht geeignet bei Fels, Steinen und Blöcken
- Probleme bei Hindernissen im Boden
- begrenzte Tiefen, ca. 6 bis max. 15 m, baugrundabhängig
- keine vollständige Homogenisierung des Boden-Suspensionsgemisch wie bei MIP
- bisher wenig Erfahrungswerte

36

4.4 Wet-Speed-Mixing (WSM) / Deep-Soil-Mixing (DSM) - Wand

WSM / DSM -Verfahren

- WSM / DSM sind ähnliche Technologien
- Herstellung von verfestigten Bodenelementen durch Einmischung von hydraulischen Bindemittel wie beim MIP-Verfahren, jedoch nicht immer Lamellen => sondern auch Säulen in Abhängigkeit des Mischwerkzeugs
- Form und Aufbau des Mischwerkzeuges unterscheiden sich von MIP-Verfahren und SMW-Verfahren
- Verfahren werden hauptsächlich zur Herstellung von Dichtwänden oder zur Baugrundverbesserung für Gründungselemente
=> Herstellung von Verbauwänden auch möglich (bisher selten)
=> z.B. überschnittene Einzelsäulen



37

Mischwerkzeuge

- es kommen sehr unterschiedliche Werkzeuge zum Lösen und Durchmischen des Bodens mit Bindemittelsuspension zum Einsatz
- ein oder mehrere Gestänge
- Boden wird nicht über die gesamt Wandhöhe gelöst und vermischt, sondern nur in dem Bereich des Gestänges, wo das Mischwerkzeug angebracht ist

- Einsatz der Mischköpfe ist genau auf den anstehenden Boden abzustimmen

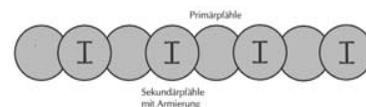
=> verschiedene Paddel- oder Mischkopfsysteme



38

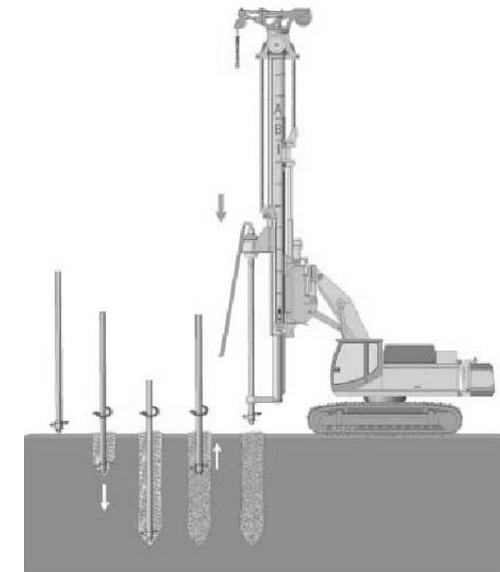
Herstellung

- Herstellung eines Grabens entlang Wandachse für einen genauen Ansatzpunkt ggf. Bohrschablone erforderlich
- Einbringung des Mischkopfs (Lösen und Mischen) bis zur Endtiefe
- Kontinuierliche Zugabe der Bindemittelsuspension über Düsen am Mischkopf
- Homogenisierung und intensive Vermischung des anstehenden Bodens mit dem Bindemittel
- Ziehen des Mischwerkzeugs
- im Boden stehende Säule (oder Scheibenelement)
- z.B. Einstellen Trägerprofil solange Boden-Bindemittel-Gemisch nicht erhärtet
- einfaches Pilgerschrittverfahren mit Überschnitt (min. 10 cm)
- **durchgehende Wand mit Ausfuchung aus vermörteltem Boden**



39

Herstellungsablauf



40

Vorteile

- wirtschaftlich vergleichbar MIP
- erschütterungsarm
- geringer Anfall von Bohrgut
- schneller Baufortschritt bei geringer Materialzugabe
- mögliche verlorene Schalung (Abfräsen Oberfläche)
- bedingt wasserabsperrend (i.d.R. dicht bei „frisch in frisch“ Schneckenherstellung, nach Wochenendpausen Sondermaßnahmen erforderlich / z.B. Überschneid)

Nachteile

- nicht in allen Böden anwendbar, nicht geeignet bei Fels, Steinen und Blöcken
- Probleme bei Hindernissen im Boden
- begrenzte Tiefen, baugrundabhängig
- geringere Festigkeit als MIP
- keine vollständige Homogenisierung des Boden-Suspensionsgemisch
- bisher wenig Erfahrungswerte

41

4.5 CSM-Wand

Cutter-Soil-Mixing

- Herstellung von verfestigten Bodenelementen durch Einmischung von hydraulischen Bindemittel
- Bodenmischverfahren nicht abgeleitet von Drehbohrtechnik (Rotation um vertikale Achse) sondern Schlitzwandfrästechnik
- Fräsräder rotieren um horizontale Achse
- Fräskopf an biege- und torsionssteifer Kellystange (vertikale Vorschubkraft, große Schnittkräfte, exakte Führung, hohe Vertikalität)



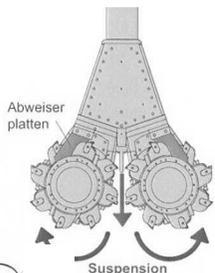
42

Herstellung Zweiphasensystem

- Aushub Vorgraben entlang Wandachse
- Fräszähne lösen Boden beim Einfahren
- Umwandlung gelösten Bodens in Bentonit-Bodenmischung durch Aufmischung mit Bentonitsuspensionszugabe (Öffnung zwischen Fräsrädern)
- Vorgraben nimmt Rückfluss auf



(Bauer)



43

Herstellung Zweiphasensystem

- Beim Ziehvorgang ab Endtiefe Zugabe von Zement-Suspension mit intensiver Vermischung durch gegensinnige Drehbewegung der Fräsräder
- Einstellen von Trägerprofilen
- **durchgehende Wand mit Ausfachung aus vermörteltem Boden**

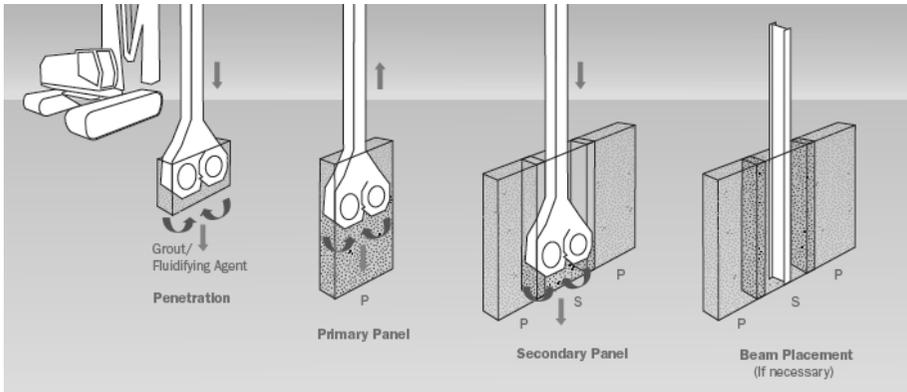


(Bauer)



44

Herstellungsablauf



Herstellung im Pilgerschrittverfahren

45

Vorteile

- wirtschaftlich im Vergleich zur Ortbetonwand
- erschütterungsarm
- geringer Anfall von Bohrgut, anstehender Boden als Baustoff
- verformungsärmer als Trägerbohlwand und Spundwand
- hohe Vertikalität der Elemente, wenig Fugen, problemlose Fugenausbildung mit Fräse auch nach Wochenendpause, gute Dichtigkeit
- wassersperrrender Verbau
- hohe Tagesleistung bei optimalen Bedingungen
- Wandtiefen von ca. 30 m mit Kellystange
- in vielen Bodenarten anwendbar (unterschiedliche Festigkeit), Durchörterung härterer Schichten (mürber Fels) möglich (Fräsräder als Löse- und Mischwerkzeug)
- Hauptanwendungsgebiet, lockere bis mitteldichte rollige Böden

46

Nachteile

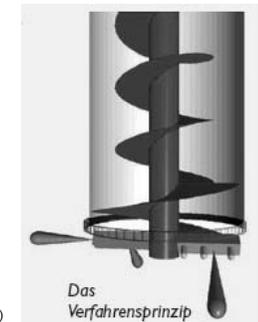
- aufwendige Baustelleneinrichtung / Gerätetechnik
- schwieriges Einstellen des Mischungsverhältnis Boden – Suspension
=> Schlitz im stabilen Zustand
=> keine Bildung von Erdklumpen
=> stark abhängig von anstehenden Boden
- bei Schwierigkeiten
=> Gefahr von Geräteverlusten (sehr hohe Kosten)
- bisher wenig Erfahrungswerte

47

4.6 Pfahlwand aus TSM-Pfählen

Tubular-Soil-Mix-Piles

- Kombination des Deep-Soil-Mixing (DSM) = Schnecke + Mörtel des Düsenstrahlverfahrens = Düsen und der Bohrpfahlherstellung = Verrohrung
- Deep-Soil-Mixing (tiefe Bodenvermörtelung): mechanisches Mischen des Bodens
- Düsenstrahlverfahren: lösen des Bodens mit hydraulischer Energie und Vermischung mit Bindemittel
- Mischschnecke befindet sich in einer Verrohrung
- Bohrkopf mit auswechselbaren Zähnen (Durchbohren von Beton, Mauerwerk, Fels)
- Mischwerkzeug mit Düsen:
 - eine Düsenreihe nach unten ausgerichtet zum Schneiden des Bodens
 - eine Düsenreihe nach oben ausgerichtet zur besseren vertikalen Durchmischung



(Keller)

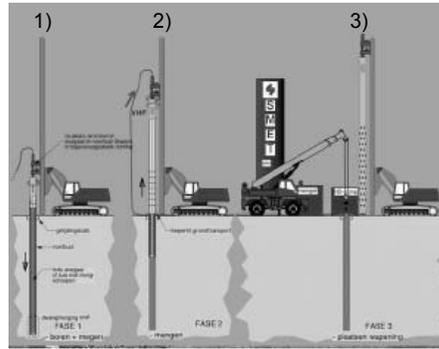


Das Bohrwerkzeug

48

Herstellungsprozess

- 1) Herstellung Bohrschablone
- 2) Abteufen der Bohrung mit Verrohrung:
Lösen + Durchmischen des Bodens
(Zusammenwirkung Schnecke +
Düsenstrahlen)
- 3) Ziehen des Werkzeugs:
Durchmischen des Bodens
- 4) Einstellen der Bewehrung (optional):
z.B. Träger (Rückankerung möglich)



(Keller)



- Anstehender Boden als Zuschlagstoff
- Einbringung Bindemittelsuspension (Zement) über Hochdruckpumpen mit Düsen
- Eignungsprüfung zu Beginn der Baumaßnahme, Festigkeit ca. 10 – 20 MN/m²
- Baustelleneinrichtung: übliche Misch- und Pumpenanlage bei Düsenstrahlarbeiten
- Pfahldurchmesser ca. 40 – 80 cm
max. Tiefe derzeit ca. 14 bis 16 m

Vorteile

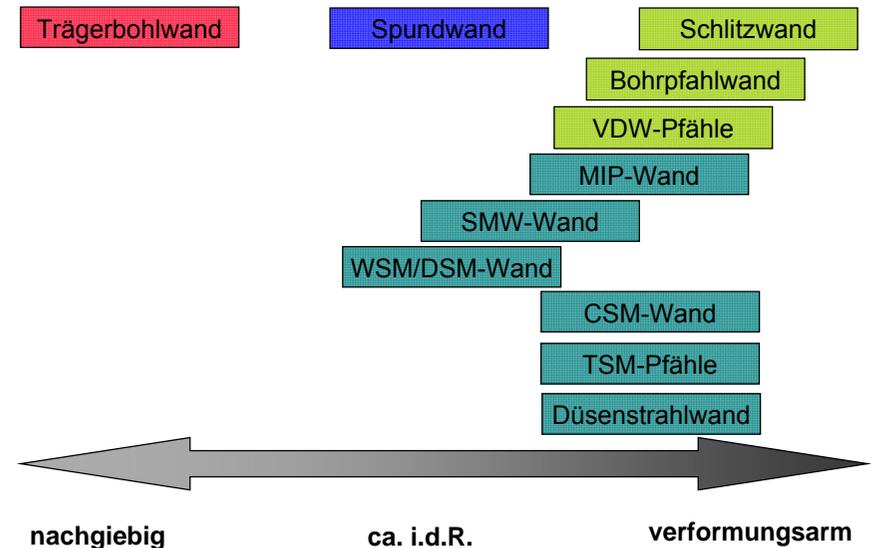
- bei engen Platzverhältnissen möglich
- erschütterungsarm herstellbar
- verformungsarm (zusätzlich Rückankerung, Aussteifung möglich)
- gleichmäßige Festigkeit durch sehr homogene Durchmischung der anstehenden Böden bei Kombination aus Verrohrung, Mischschnecke und Düsenstrahltechnik
- höhere Festigkeit erzielbar als bei MIP
- durch Verrohrung gleichmäßiger Durchmesser, glatte Oberfläche, hohe Richtungsgenauigkeit und Vertikalität
- i.d.R. wasserabsperrend herstellbar (Überschnitt bei hoher Vertikalität)
- hohe Produktivität
- sehr schnell bei optimalen Baugrundverhältnissen

Nachteile

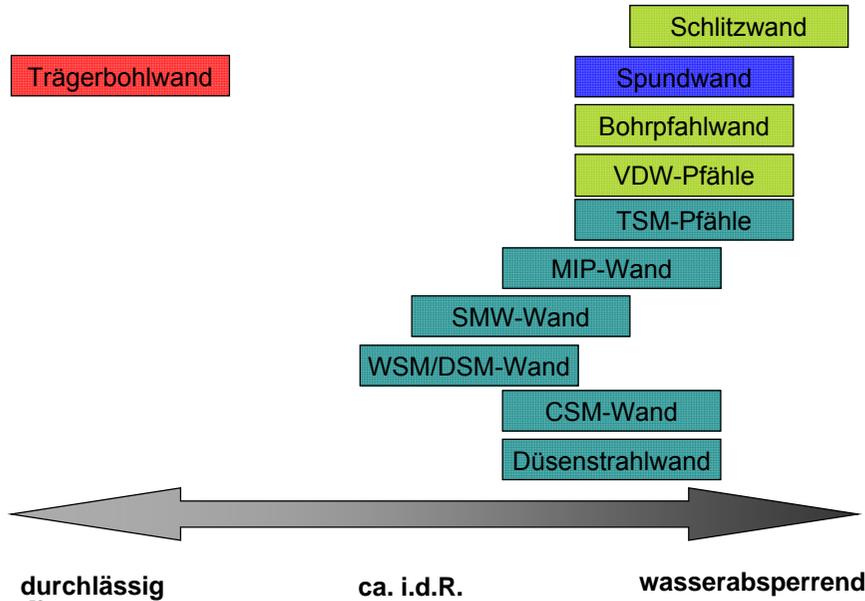
- aufwendige Baustelleneinrichtung vergleichbar DSV
=> wirtschaftlich, wenn horizontale Abdichtung als DSV-Dichtsohle
- bisher wenig Erfahrungswerte

5 Wahl von Baugrubensystemen

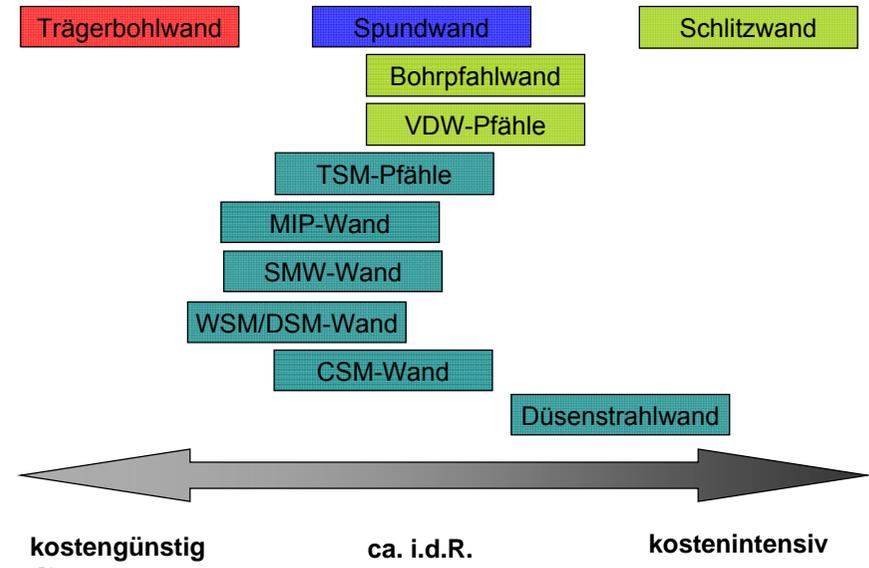
▪ Verformung



▪ **Grundwasser**



▪ **Kosten**



technische Randbedingungen	Trägerbohlwand	Spundwand	Bohrpfahlwand	VDW-Pfähle	Schlitzwand	Düsenstrahlwand	MIP Wand	CSM Wand	TSM-Pfähle
GW vorhanden, großräum. Absenkung möglich	+	+	+	+	+	+	+	+	+
GW vorhanden, keine Absenkung möglich	-	++	++	+	++	+	+	+	+
nicht standfester Baugrund	-	+	+	+	+	+	+	+	+
Felseinbindung, Hindernisse	+	-	+	-	+	○	-	+	○
dicht angrenzende Bebauung (setzungsempfindlich, erschütterungsempfindlich)	-	-	+	+	+	+	+	+	+
unmittelbar angrenzende Bebauung	-	-	-	+	-	+	-	-	○
kreuzende Leitungen	+	-	+	+	-	+	-	-	+
sehr große Baugrubentiefen	○	-	+	-	++	○	-	+	-

=> zusätzliche (z.B. wirtschaftliche) Randbedingungen

6 Projektbeispiele

6.1 Baugrube Erlangen Arcaden: Trägerbohlwand

6.1.1 Projektbeschreibung

- Baugrube für den Neubau eines Shopping Center in Erlangen
- Fläche ca. 14.600 m²
- Gründungssohle ca. 6 m u. GOK
- innerstädtische Brachfläche mit Vornutzung und angrenzender Bebauung

6.1.2 Maßgebende Randbedingungen

- Baugrund: abfallender Felshorizont

	Beschreibung	Tiefe unter GOK [m]	Bodengruppe nach DIN 18196	Lagerungsdichte/Konsistenz/Beschaffenheit	Wichte		Reibungswinkel ϕ' [°]	effektive Kohäsion c' [kN/m ²]	Steife-modul E_s [MN/m ²]
					γ [kN/m ³]	γ' [kN/m ³]			
1	Sand, schwach kiesig	1-5,4 (teilw. bis 9)	SE	dicht, teilw. locker	18	8	32,5	0	35-40
	Schluff, sandig, tonig		TM	halbfest	19	9	25	10	5-15
2	Sandstein		-	mürbe	20,5	10,5	35	25	80-100

- Grundwasser: ca. 0,1 – 0,75 unter Baugrubensohle

- Angrenzende Bebauung:

	Beschreibung	Lage	Abstand zur Baugrube [m]
1	altes Palais	Nord-Osten	0-1,5
2	Geschäftshaus	Nord-Osten	0-1,5
3	Geschäftshaus	Nord-Osten	0
4	Geschäftshaus	Nord-Osten	0
5	Geschäftshaus	Osten	7-10
6	Geschäftshaus	Süden	10
7	Geschäftshaus	Süd-Westen	15

=> nur in Teilbereichen dicht angrenzende Bebauung

- Für die Verbauwandwahl entscheidende Punkte

1. wasserabsperrende Funktion nicht notwendig
2. ausreichende Einbindung in den Burgsandstein (größere Trägerlängen bei fallendem Felshorizont)
3. im Bereich Gebäude 1 - 4 besondere Maßnahmen erforderlich (dicht angrenzend)

6.1.3 Bewertung möglicher Verbausysteme

Verbausystem	anwendbar	nicht anwendbar	Bemerkung
Trägerbohlwand	x		Tragglieder mit ausreichender Einbindung in das Festgestein, im Bereich direkt anstehender Bebauung nicht ausführbar
Spundwand		x	Festigkeiten des anstehenden Bodens sehr hoch, Zusatzmaßnahmen beim Einbringen erforderlich, deshalb unwirtschaftlich/ kein wasserabsperrender Verbau notwendig
Bohrpfahlwand (Kelly Verfahren)	(x)		unwirtschaftlich für gesamte Baugrube, da kein wasserabsperrender/ biegesteifer Verbau notwendig, im Bereich angrenzender Bebauung möglich
Bohrpfahlwand (VDW Verfahren)		x	Boden nicht bohrbar mit Schnecke (zu hohe Festigkeiten)
Schlitzwand	(x)		unwirtschaftlich, hohe Wasserabspernung/ Steifigkeit der Verbauwand nicht notwendig

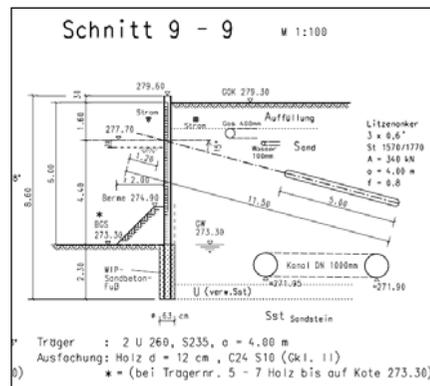
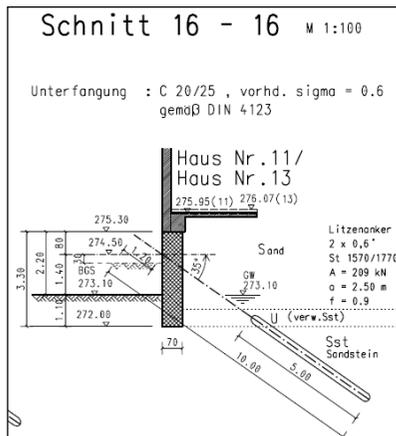
Verbausystem	anwendbar	nicht anwendbar	Bemerkung
Düsenstrahlwand	x		im Bereich direkt anstehender Gebäude möglich, unwirtschaftlich für die gesamte Baugrubensicherung
MIP-Wand		x	Boden nicht bohrbar mit Schnecke (zu hohe Festigkeiten)
SMW-Wand		x	Boden nicht bohrbar mit Schnecke/ Mischwerkzeug (zu hohe Festigkeiten)
WSM-/DSM-Wand		x	Boden nicht bohrbar mit Schnecke/ Mischwerkzeug (zu hohe Festigkeiten)
TSM-Wand	(x)		unwirtschaftlich
CSM-Wand	(x)		unwirtschaftlich

6.1.4 Ausführung

- überwiegend einfach rückverankerte Trägerbohlwand:
=> Einstellen der Träger in vorgebohrte Löcher (erschütterungsarm)
- Gebäude 1, 2 mit Abstand ca. 1,5 m
=> einfach rückverankerte tangierende Bohrpfehlwand (D = 40,6 cm)
- Gebäude 3, 4 direkt angrenzend => rückverankerte DSV Unterfangung



- einfach rückverankerte Trägerbohlwand
=> Rückankerung zur Eingrenzung der Kopfverformungen erforderlich



- einfach rückverankerte DSV Unterfangung
=> Unterfangung bis unter GW erf.
+ Minimierung der Setzungen
=> händische Mauerwerksunterfangung nicht möglich

6.1.5 Zusammenfassung Verbauwandwahl

Gründe für die Wahl der Trägerbohlwand	
geotechnisch/ bauverfahrenstechnisch	hohe Anpassungsfähigkeit bei flexiblem Grundriss und kreuzenden Sparten
	Einbindung der Träger in das Festgestein durch Einstellen in vorgebohrte, später ausbetonierte Löcher
	keine Wasserabspernung erforderlich
wirtschaftlich	geringe Materialkosten im Vergleich zu anderen Verbauarten
	Bauteile wiedergewinnbar

Gründe für die Wahl der tangierenden Bohrpfahlwand	
geotechnisch/ bauverfahrenstechnisch	höhere Steifigkeit als Trägerbohlwand
	Einbinden in Festgestein problemlos (Bohrwerkzeug)
	geringer Raumverlust durch schmale Pfahldurchmesser
wirtschaftlich	gleiches Bohrgerät wie zum Vorbohren der Löcher für Tragglieder der Trägerbohlwand (Transportkosten)
	geringere Herstellkosten als z.B. Schlitzwand

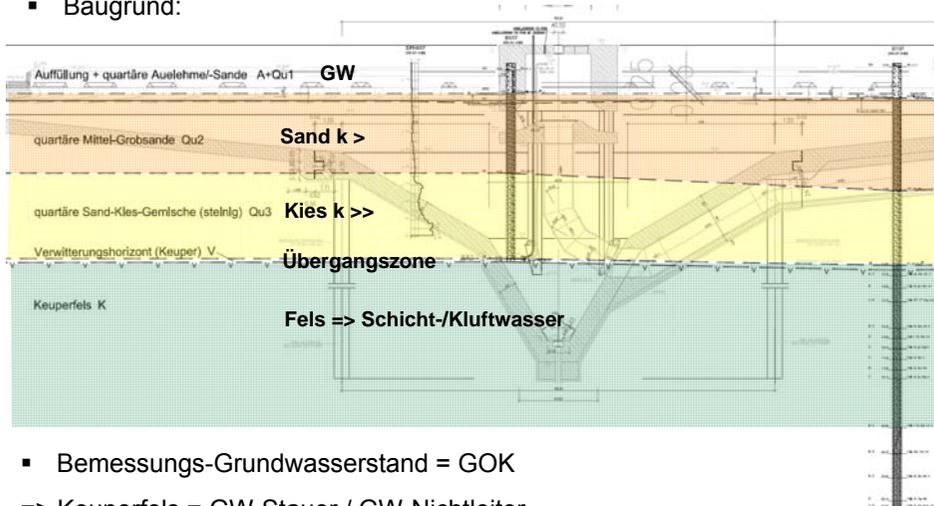
Gründe für die Wahl der Düsenstrahlunterfangung	
geotechnisch/ bauverfahrenstechnisch	Statisch erforderlicher Unterfangungskörper lag unterhalb des Grundwasserspiegels
	kraftschlüssiger Verbund mit Fundamenten des Bestandsgebäudes
	Setzungen minimal
	kein Raumverlust in der Baugrube
wirtschaftlich	wirtschaftlicher (Zeit, Kosten) als z.B. Unterfangung mittels Injektion

6.2.2 Maßgebende Randbedingungen

▪ Baugrund:

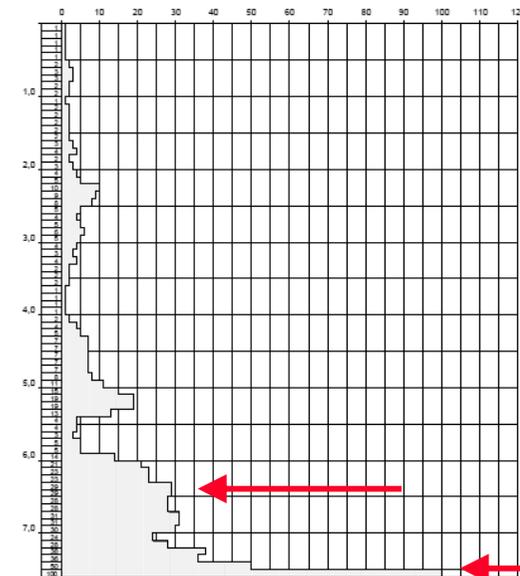
	Beschreibung	Tiefe unter GOK [m]	Bodengruppe nach DIN 18196	Lagerungsdichte/ Konsistenz/ Beschaffenheit	Wichte		Reibungswinkel ϕ' [°]	effektive Kohäsion c' [kN/m ²]	Steife-modul E_s [MN/m ²]
					γ [kN/m ³]	γ' [kN/m ³]			
1	Auffüllung/ Auelehm, Feinsand [Quartär]	1,3 - 2,4	A, [OH, SU, SE, SW]	locker, weich-stEIF, teilw. breiig	18	10	30	0	5-20
2	Sande, schwach kiesig [Quartär]	4,3 - 7,7	UM,UA, OT, SU, SE	mitteldicht-dicht	18	11	35	0	30-60
3	Kiessande, z.T. steinig [Quartär]	8,2 - 12,2	SE	dicht-sehr dicht	19	12	40	0	60-120
4	Verwitterungszone, Sandstein	9,3 - 13,3	GI, GW	sehr mürbe, mürbe	21	12	32,5	20-50	40-100
5	Keuperfels, Sandstein/ Tonstein	ab 11,5	SU, TL, TM	mürbe-sehr hart	22	13	37,5	50-500	80-160

▪ Baugrund:



- Bemessungs-Grundwasserstand = GOK
- => Keuperfels = GW-Stauer / GW-Nichtleiter

▪ Baugrund: schwere Rammsondierungen DPH



Kies-Sand
=> teilweise hohe Schlagzahlen
(sehr dichte Lagerung)

OK Fels

- Angrenzende Bebauung:
 - Belebungsbecken (ca. 5 m), unempfindlich
 - Straße (ca. 25 m)
 - weitere Gebäude Klärwerk (> Abstand)
 - => nicht maßgebend für Verbauwandwahl
- Für die Verbauwandwahl entscheidende Punkte
 1. rückbaubarer Verbau (ständige Umbau-/Erweiterungsmaßnahmen)
 2. Revisionslastfall (leeres Becken) => Auftrieb
=> Auftriebsicherung für das Becken erforderlich
 3. hoher Grundwasserstand
 - a) Wasserhaltung => sehr große Wassermengen, da sehr große Durchlässigkeit => unwirtschaftlich
 - b) wasserabsperrender Verbau => hydraulischer Anschluss des Verbaus an den Keuperfels (GW-Stauer)
 4. verformungsarmer Verbau nicht erforderlich

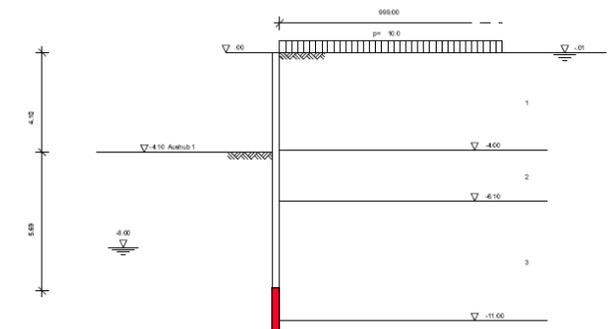
6.2.3 Bewertung möglicher Verbausysteme

Verbausystem	anwendbar	nicht anwendbar	Bemerkung
Trägerbohlwand		x	kein wasserabsperrender Verbau
Spundwand	x		Anpassung der Spundwandprofile hinsichtlich der Rammbarkeit auch in dicht gelagerten, festen Böden, Spundbohlen rückbaubar
Bohrpfahlwand (Kelly Verfahren)	x		Verbau nicht rückbaubar (im Flachbereich nicht anwendbar), im Trichterbereich ausführbar
Bohrpfahlwand (VDW Verfahren)		x	Boden aufgrund der Lagerungsdichten/ Festigkeiten mit Schnecke nicht bohrbar, Verbau nicht rückbaubar
Schlitzwand	(x)		unwirtschaftlich, Verbau nicht rückbaubar

Verbausystem	anwendbar	nicht anwendbar	Bemerkung
Düsenstrahlwand	(x)		unwirtschaftlich, Verbau nicht rückbaubar
MIP-Wand		x	Boden aufgrund der Lagerungsdichten/ Festigkeiten mit Schnecke nicht bohrbar, Verbau nicht rückbaubar
SMW-Wand		x	Boden aufgrund der Lagerungsdichten/ Festigkeiten mit Bohr-/ Mischwerkzeug nicht bohrbar, Verbau nicht rückbaubar
WSM-/DSM-Wand		x	Boden aufgrund der Lagerungsdichten/ Festigkeiten mit Bohr-/ Mischwerkzeug nicht bohrbar, Verbau nicht rückbaubar
TSM-Wand	(x)		unwirtschaftlich, Verbau nicht rückbaubar, aufgrund Verrohrung auch in dicht gelagerten Böden ausführbar
CSM-Wand	(x)		unwirtschaftlich, Verbau nicht rückbaubar

6.2.4 Ausführung

- Baugrube für den Flachbereich des Nachklärbeckens (äußerer Umfang) mit einer Spundwand
- hydraulischer Anschluss / geringe Einbindung in den Fels erforderlich (Einbringtiefen ca. 11 – 13 m u. GOK)
- Einvibrieren der Spundbohlen mit Spülhilfen um dichten Kiessand zu durchdringen
- im Bereich der Einbindetiefe in den Fels => Schlagrammung
- Entscheidend für die Wahl des Spundwandprofils waren neben den statischen die rammtechnischen Anforderungen



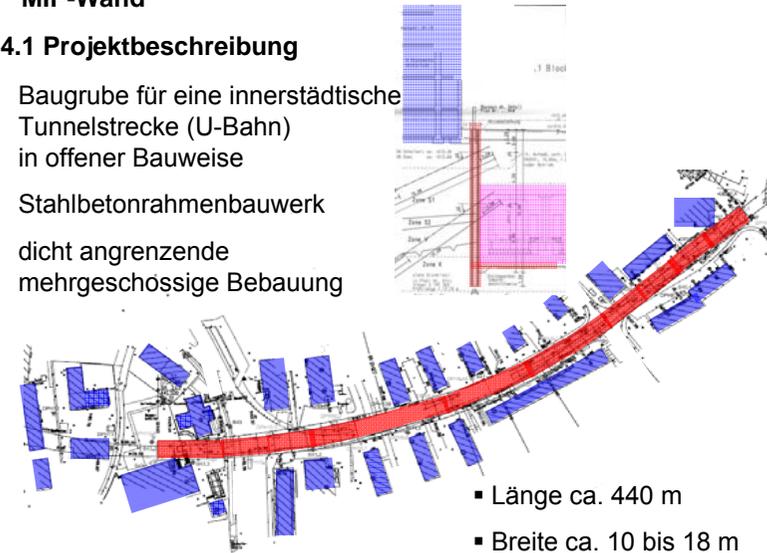
6.2.5 Zusammenfassung Verbauwandwahl

Gründe für die Wahl der Spundwand	
geotechnisch/ bauverfahrenstechnisch	Verbau rückbaubar
	wasserabsperrender Verbau
	durch Anpassung der Einbringtechnik eine Einbindung der Spundbohlen in wasserundurchlässigen Fels möglich
wirtschaftlich	Spundbohlen wiedergewinnbar/ -verwendbar
	schneller Baufortschritt durch Einvibrieren/ Einrammen, kein Vorbohren erforderlich
	kein Zeitverlust aufgrund etwaiger Abbinde-/ Erhärtezeiten der Baustoffe

6.4 Tunnel in offener Bauweise, U-Bahn Nbg.-Fürth: MIP-Wand

6.4.1 Projektbeschreibung

- Baugrube für eine innerstädtische Tunnelstrecke (U-Bahn) in offener Bauweise
- Stahlbetonrahmenbauwerk
- dicht angrenzende mehrgeschössige Bebauung



- Länge ca. 440 m
- Breite ca. 10 bis 18 m
- Gründungsebene 9 bis 13 m u. GOK

6.4.2 Maßgebende Randbedingungen

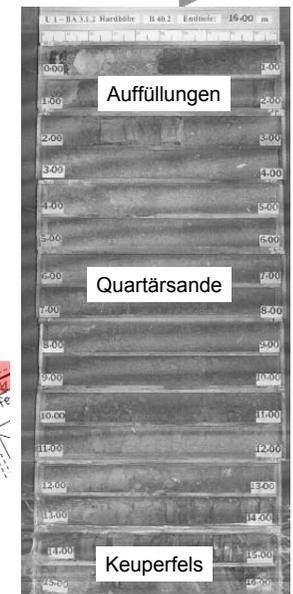
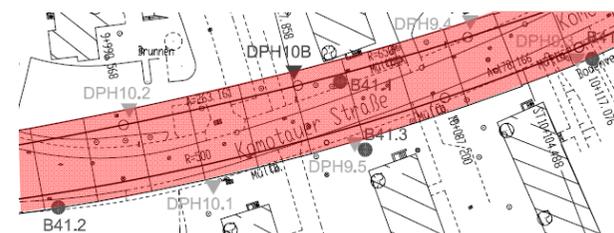
- Baugrund:

	Beschreibung	Tiefe unter GOK [m]	Bodengruppe nach DIN 18196	Lagerungsdichte/ Konsistenz/ Beschaffenheit	Wichte		Reibungswinkel ϕ' [°]	effektive Kohäsion c' [kN/m ²]	Steifemodul E_s [MN/m ²]
					γ [kN/m ³]	γ' [kN/m ³]			
1	Auffüllungen	0 - 3	A, [OH, SU, SE, SI, UL]	locker	18	10	30	0	5-20
2	Sande [Quartär]	3 - 15	SE, SU, ST, TL, TM, UL	überwiegend mitteldicht	19	11	32,5	0	20-50
				überwiegend mitteldicht	20	12	35	0	40-80
3	Verwitterungszone	ab 7-15	SE, SU, ST, TL, TM, UL	dicht, steif-halbfest	21	12	32,5	20-50	40
4	Keuperfels, Sandstein/ Tonstein		-	mürbe-mittelhart	22	13	35	10-50	40-120

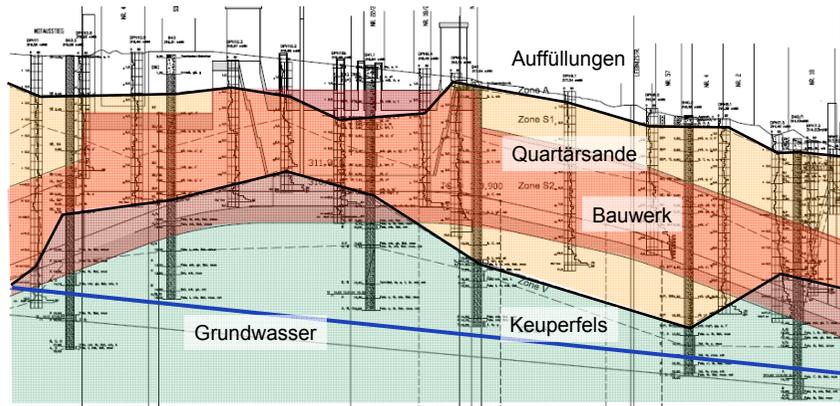
- Grundwasser: ca. 1,5 – 7 m unter BGS

- Baugrunderkundung:

- Durchführung geotechnischer Untersuchungen zur Erkundung der anstehenden Baugrundverhältnisse
- Felduntersuchungen: Aufschlussbohrungen, Rammsondierungen, Grundwassermessstellen,
- Laboruntersuchungen: Boden- und Felsmechanische Versuche



▪ Baugrund:



▪ Angrenzende Bebauung:

	Beschreibung	Lage	Abstand zur Baugrube [m]
1	Geschäftsgebäude	Norden	1
2	Bankgebäude	Norden	13
3	mehrgeschossiges Geschäftsgebäude	Norden	10
4	mehrgeschossiges Wohngebäude	Norden	0
5	mehrgeschossiges Wohngebäude	Norden	2
6	mehrgeschossiges Wohngebäude	Norden	5
7	mehrgeschossiges Wohngebäude	Norden	8
8	mehrgeschossiges Wohngebäude	Norden	13
9	mehrgeschossiges Geschäftsgebäude	Norden	3
10	mehrgeschossiges Wohngebäude	Norden	4
11	mehrgeschossiges Wohngebäude	Norden	0
12	mehrgeschossiges Wohngebäude	Süden	8
13	mehrgeschossiges Wohngebäude	Süden	7
14	mehrgeschossiges Wohngebäude	Süden	3
15	mehrgeschossiges Wohngebäude	Süden	4
16	mehrgeschossiges Wohngebäude	Süden	5
17	mehrgeschossiges Wohngebäude	Süden	7
18	mehrgeschossiges Geschäftsgebäude	Süden	5
19	mehrgeschossiges Geschäftsgebäude	Süden	9
20	mehrgeschossiges Schulgebäude	Süden	0

▪ Für die Verbauwandwahl entscheidende Punkte

- angrenzende Bebauung:
Unterscheidung von Bereichen mit
a) direkt angrenzender Bebauung
b) dicht angrenzende Bebauung
c) Bebauung außerhalb Einflussbereich
=> unterschiedliche Anforderungen wie verformungsarm der Verbau sein muss in den Teilbereichen
- überwiegend anstehende Sande, nur lokal geringe Einbindung des Bauwerks in den Keuperfels
- Grundwasser unterhalb BGS
=> kein wasserabsperrender Verbau erforderlich
- Kreuzende Sparten
=> flexibler Verbau erforderlich in Teilbereichen

6.4.3 Bewertung möglicher Verbausysteme

Verbausystem	anwendbar	nicht anwendbar	Bemerkung
Trägerbohlwand	x		nicht in den Einflussbereichen der Nachbarbebauung/ stellenweise Boden nicht vorübergehend standsicher
Spundwand		x	erschütterungsempfindliche Nachbarbebauung/ Geräuschbelästigung Anwohner
Bohrpfahlwand (Kelly Verfahren)	x		unwirtschaftlich (in Bereichen außerhalb Einflussbereich der Nachbarbebauung kein biegesteifer Verbau notwendig)
Bohrpfahlwand (VDW Verfahren)	x		an Stellen mit direkt anstehender Bebauung möglich
Schlitzwand	(x)		unwirtschaftlich/ keine hohe Wasserabspernung, erforderlich/ begrenzte Platzverhältnisse für Baustelleneinrichtung

Verbausystem	anwendbar	nicht anwendbar	Bemerkung
Düsenstrahlwand	x		sinnvoll in Bereichen mit direkt anstehender Bebauung (kein Raumverlust), ansonsten unwirtschaftlich auch weil keine horizontale Baugrubenabdichtung notwendig ist
MIP-Wand	x		nicht in Bereichen mit direkt anstehender Bebauung (Festigkeit der Wand nicht ausreichend)
SMW-Wand	x		ggf. nur in Bereichen außerhalb Einflussbereich Nachbarbebauung (geringere Festigkeiten der Verbauwand)
WSM-/DSM-Wand	x		vgl. MIP/SMW
TSM-Wand	(x)		unwirtschaftlich, da keine horizontale Abdichtung mit Düsenstrahlsohle (aufwendige Baustelleneinrichtung)
CSM-Wand	(x)		unwirtschaftlich (geringe Tiefe, Abmessungen der Baugrube, aufwendige Baustelleneinrichtung)

6.4.4 Empfehlung und Ausschreibung

- Trägerbohlwand außerhalb Einflussbereich Bebauung und bei Sparten (Regelfall)
- Bohrpfehlwand bei angrenzender Bebauung
- bei direkt angrenzender Bebauung Düsenstrahlwand (beengte Platzverhältnisse)

6.4.5 Ausführung

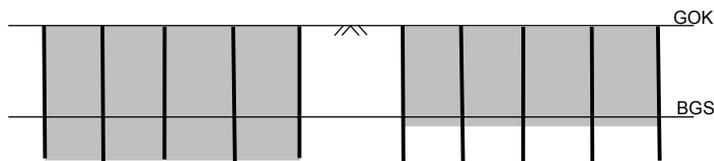
- MIP-Wand außerhalb und innerhalb Einflussbereich Bebauung (Regelfall)
- bei direkt angrenzender Bebauung VDW-Pfähle
- nur lokal Trägerbohlwand bei Sparten

MIP-Wand

▪ Ausbildung der Wand

Ausbildung abhängig von Baugrundverhältnissen im Einbindebereich:

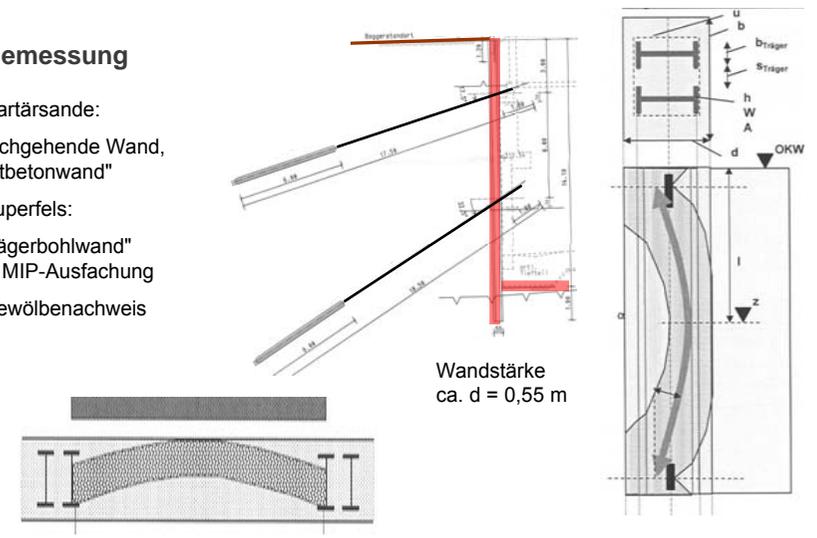
- Quartärsande:
Regelfall, Herstellung mit Bohrschnecke bis Endtiefe, Einstellen der Träger, durchgehende Wand
- Keuperfels:
Sonderfall, Endtiefe mit Bohrschnecke im Fels nicht möglich
Herstellung der Felseinbindung für Träger mit Bohrpfehlgerät, Aufbau vergleichbar mit Trägerbohlwand (Träger mit Einbindetiefe, MIP-Ausfachung)



MIP-Wand

▪ Bemessung

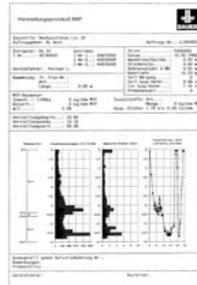
- Quartärsande:
durchgehende Wand, "Ortbetonwand"
- Keuperfels:
"Trägerbohlwand" mit MIP-Ausfachung
=> Gewölbenachweis



MIP-Wand

▪ Qualitätssicherung

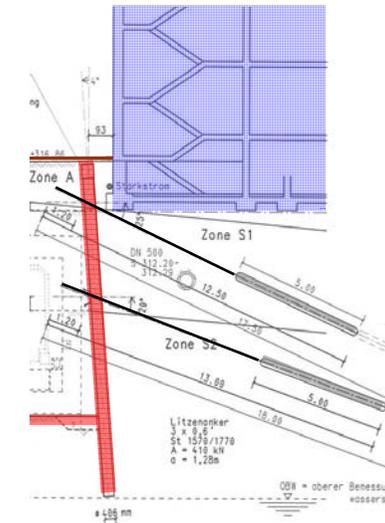
- Eignungsprüfungen zu Beginn der Herstellung zur Bestimmung der optimalen Rezeptur
- Rückstellproben Suspension: laufende Kontrolle der Dichte
- Überprüfung der Druckfestigkeit an Bohrkernen aus der MIP-Wand
- Aufzeichnung der Herstelldaten Tiefe, Suspensionsmenge, Zeit



VDW-Pfähle

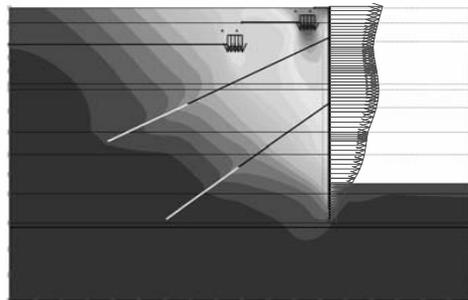
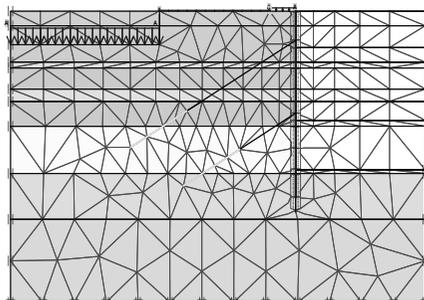
▪ Bemessung

- Bohrpfehlwand (Durchmesser ca. 0,4 m)
- 2 Ankerlagen
- geneigte Pfahlachse



Verformungsprognose mit FEM Berechnungen

- Verformungsprognose für Bereiche mit angrenzender Bebauung: berechnete Verformungen 5 bis 10 mm, Setzungen < 5 mm
- Nachweis der Gebrauchstauglichkeit / Verträglichkeit der Verformungen, (GZ 2, DIN 1054)
- Backanalysis im Rahmen der „Beobachtungsmethode“ (Kalibrierung des Berechnungsmodells anhand der Messungen)



Verformungsüberwachung

▪ Setzungsmessungen

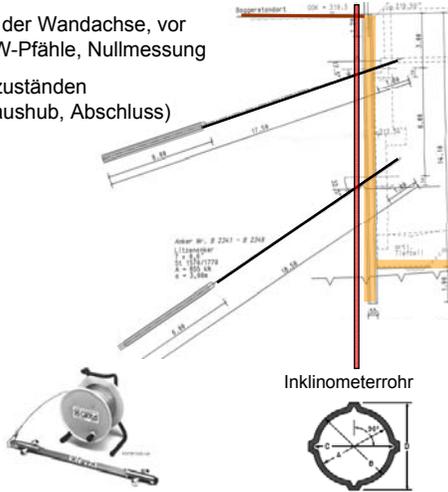
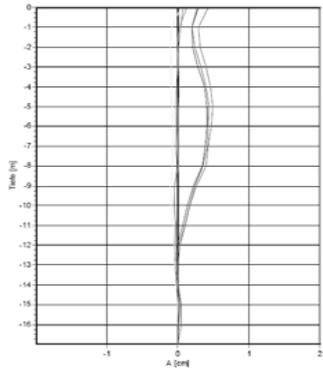
- laufende Überwachung der Gebäudesetzungen mit installierten Messpunkten
- gemessene vertikale Setzungen an Gebäudemesspunkten nach Endaushub: < 5 mm (überwiegend 3 bis 4 mm)



Verformungsüberwachung

▪ Inklinometermessungen

- Installation der Inklinometerrohre neben der Wandachse, vor Beginn Herstellung der MIP-Wand / VDW-Pfähle, Nullmessung
- Wiederholungsmessungen bei den Bauzuständen (Aushubzustände, Rückankerung, Endaushub, Abschluss)
- gemessene Verformungen: ca. ≤ 5 mm



6.4.5 Zusammenfassung Verbauwandwahl

Gründe für die Wahl des MIP-Verfahrens	
geotechnisch/ bauverfahrenstechnisch	erschütterungsfreie Herstellung
	gute Mischbarkeit/ Lösbarkeit des anstehenden Bodens
	relativ hohe Wandsteifigkeit mit eingestellten Traggliedern (Ersatz für Bohrpfahlwand)
	kein Bodenzug während der Herstellung im Bereich der anstehenden rolligen Lockergesteine
	Anpassungsfähigkeit bei flexiblem Grundriss (kreuzende Sparten)
	mit Hindernissen im Baugrund war nicht zu rechnen
	sehr geringer Anfall von Bohrgut
	keine zu erwartenden Setzungen beim Ausbau durch bleibenden Verbau (Setzungsgefahr beim Ausbau der Trägerbohlwand)
	Herstellung als Trägerverbau mit MIP Ausfachung möglich (bei notwendiger Einbindung in Keuperfels)
	geräuscharme Herstellung
wirtschaftlich	relativ geringer logistischer Aufwand (kein Transportbeton notwendig)
	Bodenaushub kontinuierlich möglich (nicht in 0,5 m Abschnitten wie bei der Trägerbohlwand)
	kurze Bauzeit
	hohe Leistung bei geringer Materialzugabe
	Baustoffkosten geringer als bei der Bohrpfahlwand

Gründe für die Wahl des VDW-Verfahrens	
geotechnisch/ bauverfahrenstechnisch	erschütterungsfreie Herstellung
	durch verrohrte Schneckenbohrung, geringe Setzungsgefahr des anstehenden Bodens während der Herstellung
	Bohrgerätenutzung auch beim Vorbohren der Löcher in den Keuperfels für Träger mit MIP Ausfachung
	durch geneigte Herstellung kein Platzverlust für späteres Tunnelbauwerk
	Abfräsen des Überstandes der Düsenstrahlkörper nicht notwendig
wirtschaftlich	Sicherung gegen Gebäudesetzungen durch entsprechende Rückverankerung zuverlässig möglich
	keine aufwändige Baustelleneinrichtung wie beim Düsenstrahlverfahren
	Bohrgerätenutzung auch beim Vorbohren der Löcher in den Keuperfels für Träger mit MIP Ausfachung (Gerätenutzung, gleiches Personal)
	Abfräsen des Überstandes der Düsenstrahlkörper nicht notwendig (Zeit, Geräte, Personal)

6.5 Baugrube Fernsehwerft, Berlin: TSM-Wand

6.5.1 Projektbeschreibung

- Baugrube für die Fernsehwerft am Osthafen Berlin
- Erweiterung der bestehenden TV-Studios
- unterkellerte Grundfläche ca. 26 x 22 m
- Gründungssohle 3,5 – 4,4 m u. GOK

6.5.2 Maßgebende Randbedingungen

- Baugrund:

	Beschreibung	Tiefe unter GOK [m]	Bodengruppe nach DIN 18196	Lagerungsdichte/Konsistenz/Beschaffenheit	Wichte		Reibungswinkel ϕ' [°]	effektive Kohäsion c' [kN/m ²]	Steifemodul E_s [MN/m ²]
					γ [kN/m ³]	γ' [kN/m ³]			
1	sandige Auffüllungen	0-1,1	A, [SE, SU]	locker-mitteldicht	17	9	32,5	0	25-40
2	Talsande	ab 1,1	SE, SU	mitteldicht	18	10	35	0	50-60
				dicht	19	11	37,5	0	80-100

Berliner Urstromtal => tiefreichende Berliner Sande

- Grundwasser: ca. 1,2 m u GOK

- Angrenzende Bebauung:

Bebauung liegt außerhalb des Einflussbereichs
=> nicht maßgebend für die Verbauwandwahl

- Für die Verbauwandwahl entscheidende Punkte

1. hoher Grundwasserstand
=> keine Grundwasserabsenkung möglich
=> wasserabsperrender Verbau erforderlich
=> zusätzlich ist eine Dichtsohle erforderlich
2. keine dicht angrenzende Bebauung
=> kein verformungsarmer Verbau erforderlich

6.5.3 Bewertung möglicher Verbausysteme

Verbausystem	anwendbar	nicht anwendbar	Bemerkung
Trägerbohlwand		x	nicht wasserabsperrend
Spundwand	x		
Bohrpfahlwand (Kelly Verfahren)	(x)		unwirtschaftlich (geringe Tiefe, Abmessungen der Baugrube)
Bohrpfahlwand (VDW Verfahren)	(x)		keine beengten Platzverhältnisse zur Nachbarbebauung/ unwirtschaftlich
Schlitzwand	(x)		unwirtschaftlich (geringe Tiefe, Abmessungen der Baugrube)

Verbausystem	anwendbar	nicht anwendbar	Bemerkung
Düsenstrahlwand	(x)		unwirtschaftlich/ keine Gebäudeunterfangung notwendig
MIP-Wand	x		
SMW-Wand	x		
WSM-/DSM-Wand	x		
TSM-Wand	x		wirtschaftlich interessant, da horizontale Abdichtung mit Düsenstrahlsohle (gleiche Baustelleneinrichtung)
CSM-Wand	(x)		unwirtschaftlich (geringe Tiefe, Abmessungen der Baugrube)

6.5.4 Empfehlung und Ausschreibung

- wasserabsperrende einfach rückverankerte Spundwand bis 9 m u. GOK
- tiefliegende DSV-Dichtsohle (Dicke 1 m), auftriebsicher (mit Deckschicht)

6.5.5 Ausführung

- TSM-Pfahlwand (Säulendurchmesser D = 63 cm, Achsabstand ca. 50 cm) bis 9,5 m u. GOK
- in jeder 4. Säule (Abstand 2 m) Einstellen eines IPE-400 Stahlprofil
- Rückankerung der bewehrten Säulen (10 m Ankerlänge)
- tiefliegende DSV-Dichtsohle (Baustelleneinrichtung für TSM vor Ort)

6.5.5 Zusammenfassung Verbauwandwahl

Gründe für die Wahl des TSM-Verfahrens	
geotechnisch/ bauverfahrenstechnisch	erschütterungsfreie Herstellung
	gute Mischbarkeit/ Lösbarkeit des anstehenden Bodens
	hohe Anpassungsfähigkeit bei flexiblem Grundriss
	sehr geringer Anfall von Bohrgut
	hohe Wasserabspernung des fertigen Verbaus
	„glatte“ Oberfläche der TSM-Pfahlwand (vergleichbar mit überschnittener Bohrpfahlwand)
wirtschaftlich	geringer logistischer Aufwand (kein Transportbeton notwendig)
	kurze Bauzeit
	hohe Leistung bei geringer Materialzugabe
	geringerer Stahleinsatz im Vergleich zur bleibenden („verlorenen“) Spundwand (Stahlpreis zur Zeit der Baumaßnahme sehr hoch)
	kürzere Lieferfristen für Stahlträger als für Spundwandprofile
Kombination mit dem Düsenstrahlverfahren zur Sohlabdichtung (gleiche Baustelleneinrichtung)	