

Dr.-Ing. Martin Pohl

Der Einfluss von Herstellprozessen auf die Standicherheit und dauerhafte Tragfähigkeit von Bauelementen

BAWKolloquium

Hamburg, 13. September 2018



Inhalt

1. Einleitung
2. Einflussfaktoren auf dauerhafte Tragfähigkeit
3. Entwicklung Gerätetechnik
4. Bewertungsverfahren
5. Bauverfahren: Schlitzwand
 Düsenstrahlverfahren

Einleitung: Bauelemente / -werke der WSV



Baugrube Schleuse Zerben

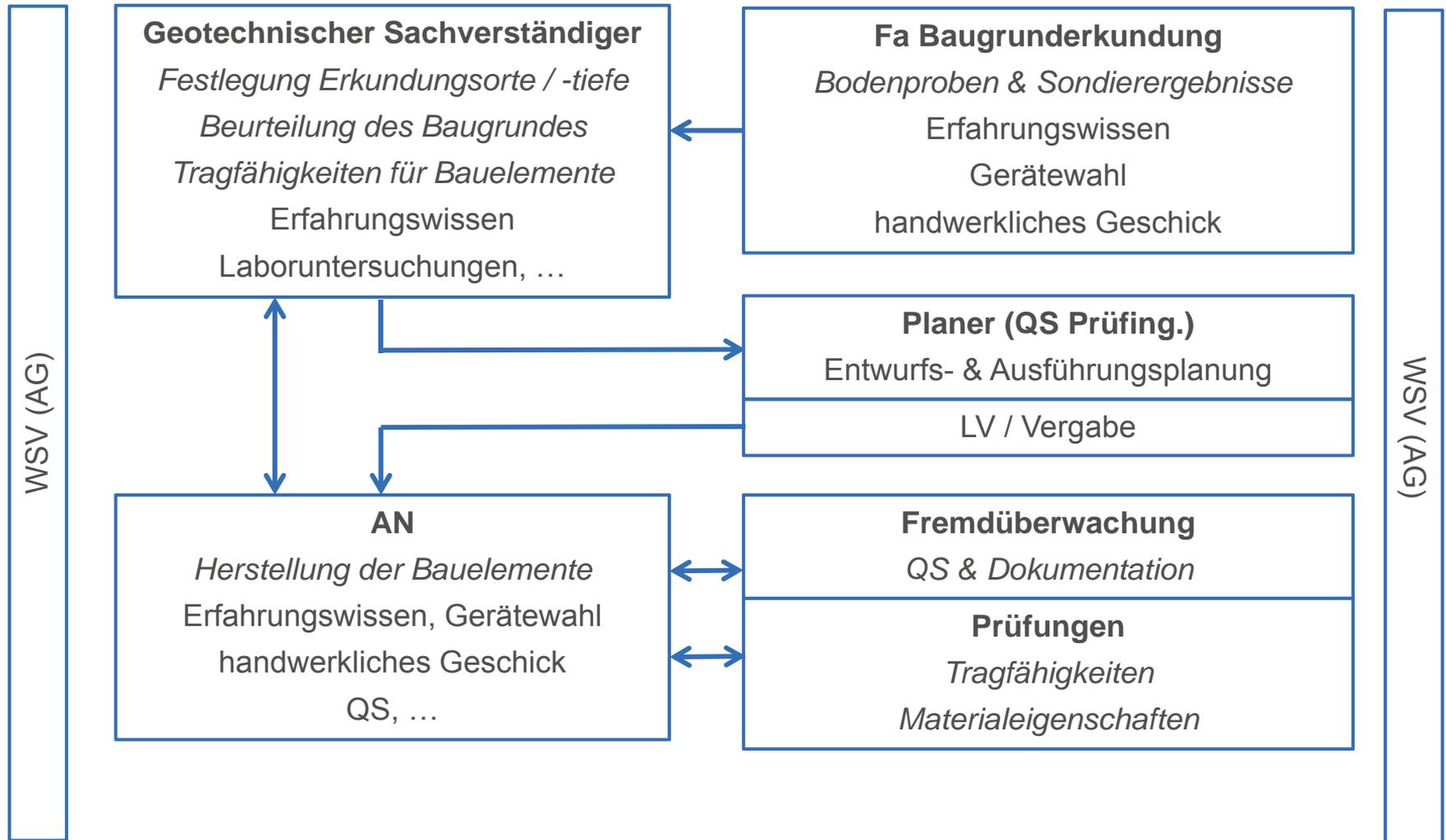
Sohlverankerung



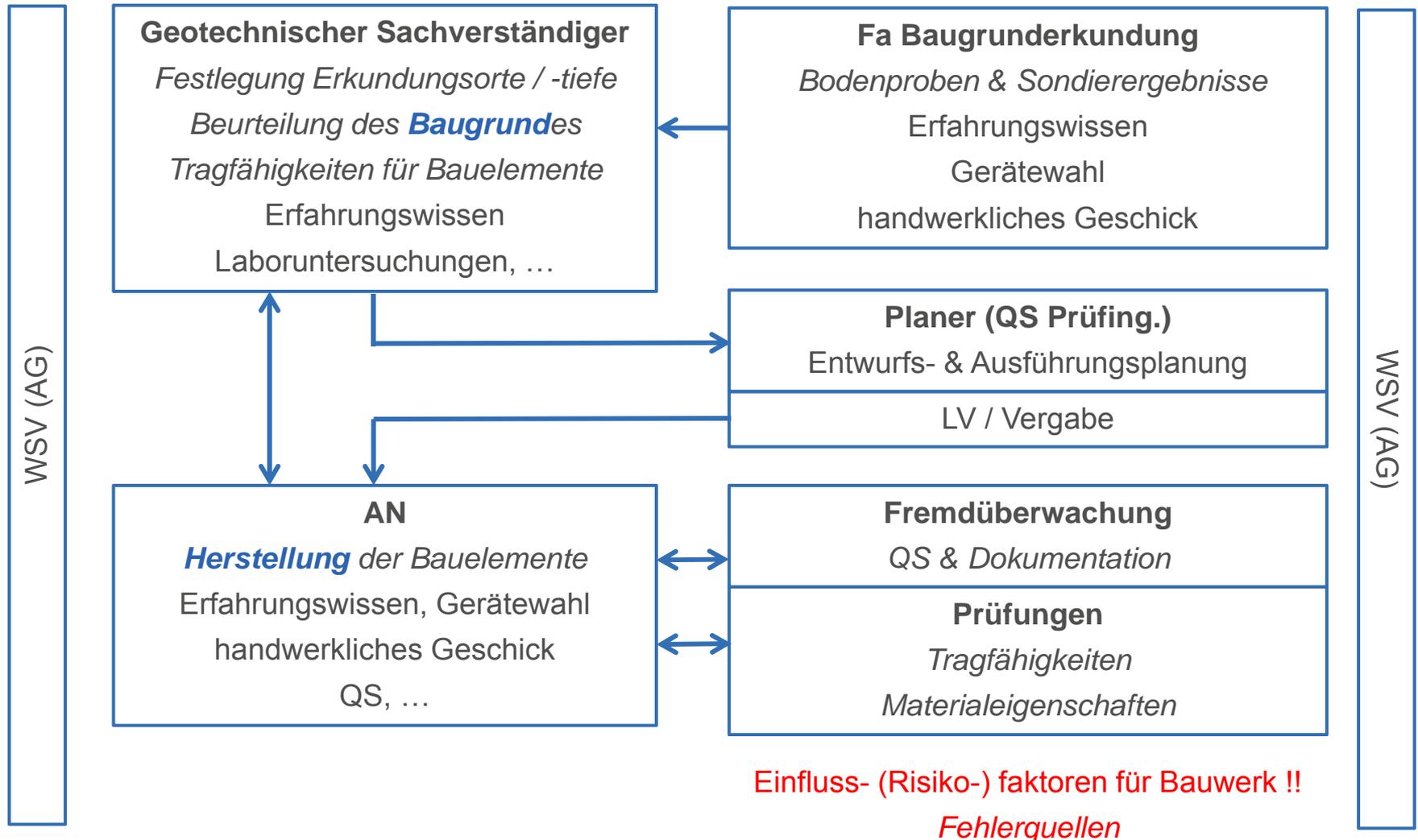
Vorhafen Schleuse Herbrum

Spundwand → Strabag | Verankerungen → Neidhardt | Tiefgründungen → isg (Franki)

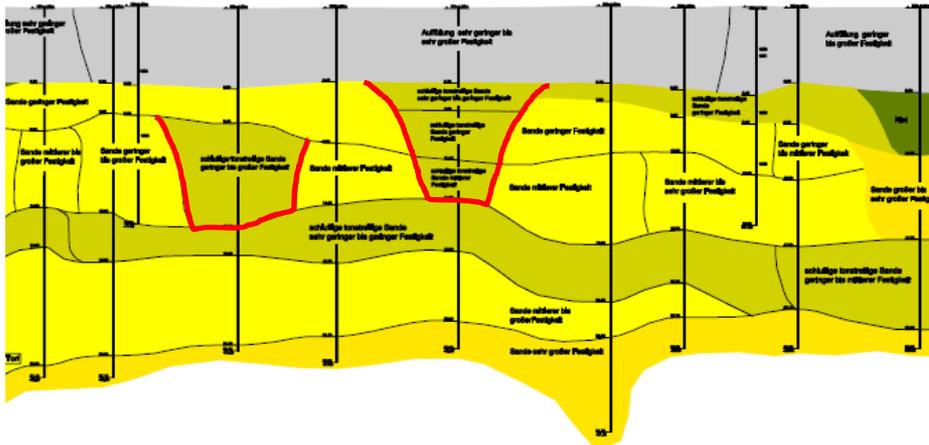
Einleitung: Beteiligte (Aspekt Geotechnik Herstellereinflüsse)



Einflussfaktoren auf dauerhafte Tragfähigkeit



Einflussfaktoren auf dauerhafte Tragfähigkeit



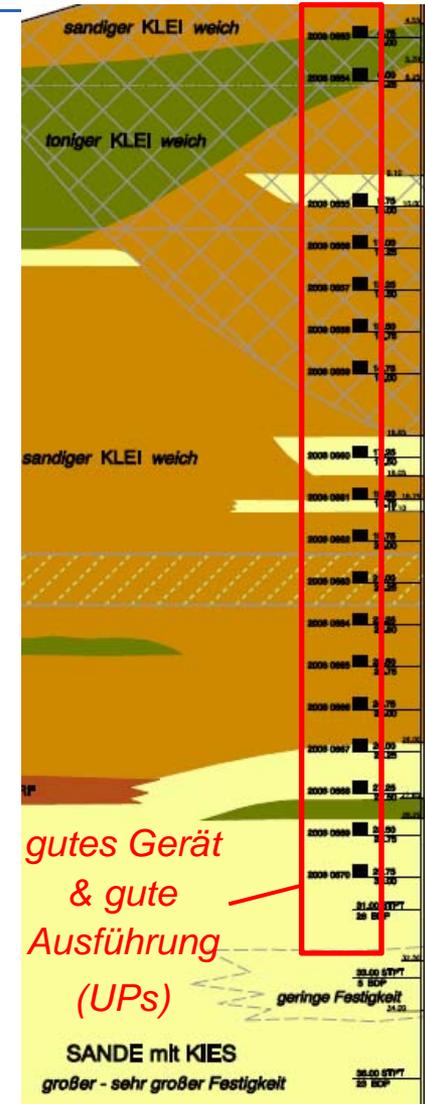
z.B. Rinnenstrukturen: Bodenart / Festigkeiten

- Bohr- / Rammpaarkeit
- Verflüssigung / Verdichtung
- Tragfähigkeit Bauteile (Verpressanker, ...)
- GW-Beschaffenheit
- ...



mögliche Fehlinterpretation

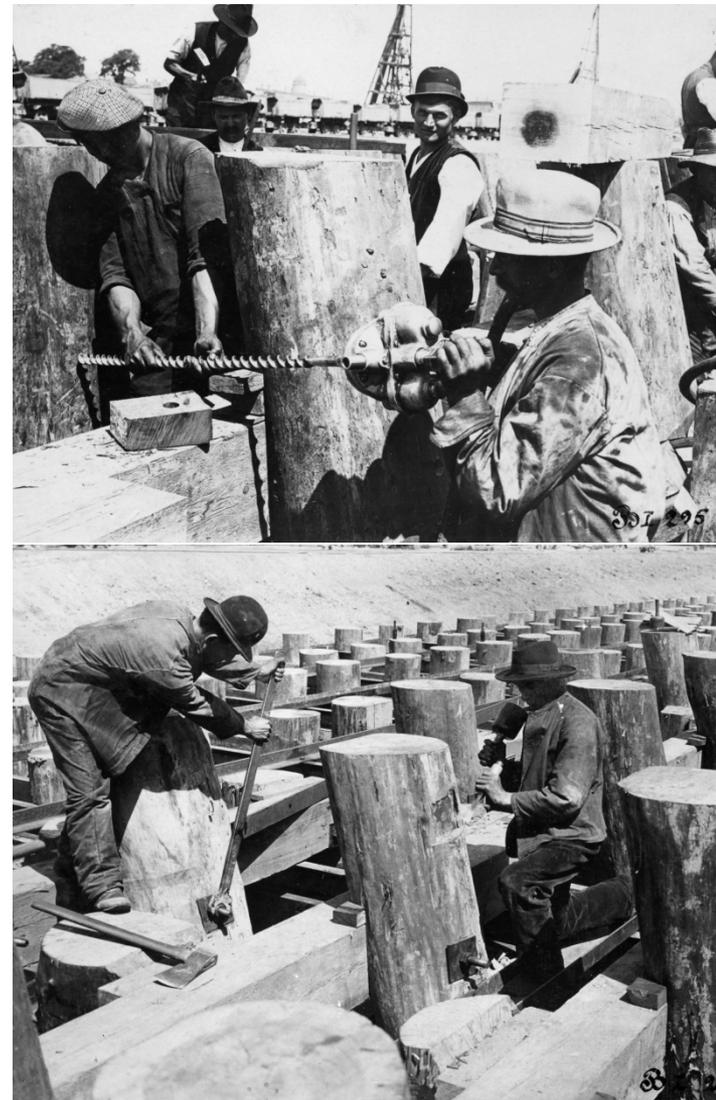
- Tragfähigkeit
- Bauverfahren
- ...



Entwicklung „Gerätetechnik“



[WSA Brunsbüttel]



Entwicklung Gerätetechnik & Bauverfahren

Erstmaliger Einsatz bei Baumaßnahmen:

um 4000 v. Chr. Holzpfahlgründungen

1900 Stahlspundwände (zuvor Holzspundwände) [Larssen]

1905 Stahlbeton (im Deutschen Kaiserreich) [Freytag & Wayss], [Monier 1867]

1950 Schlitzwand [Veder]

1954 Hydraulikbagger [Liebherr]

1958 Verpressanker [Bauer]

um 1910

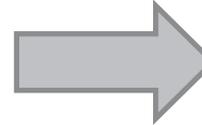


um 2015



Bewertungsverfahren: Erfahrungswissen

DK 624.154.2/7	DEUTSCHE NORMEN	August 1975
Rammpfähle Herstellung, Bemessung und zulässige Belastung		DIN 4026



Empfehlungen des Arbeitskreises „Pfähle“
EA-Pfähle
2. Auflage (2012)
Herausgegeben von der
Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e.V.

Tabelle 4. Zulässige Druckbelastung von Rammpfählen aus Stahl
(Zwischenwerte sind geradlinig einzuschalten)

Einbindetiefe in den tragfähigen Boden m	Zulässige Belastung in kN ¹⁾				
	Stahlträgerpfähle ¹⁾		Stahlrohrpfähle ²⁾ Stahlkastenpfähle ³⁾		
	Breite oder Höhe in cm		d bzw. a in cm ⁴⁾		
	30	35	35 bzw. 30	40 bzw. 35	45 bzw. 40
3	–	–	350	450	550
4	–	–	450	600	700
5	450	550	550	700	850
6	550	650	650	800	1000
7	600	750	700	900	1100
8	700	850	800	1000	1200

- ¹⁾ 1 kN ≈ 0,1 Mp
- ²⁾ Breite I-Träger mit Höhe : Breite ≈ 1 : 1 z. B. IPB- oder PSp-Profile (vgl. „Stahl im Hochbau“, Verlag Stahlisen mbH Düsseldorf; „Betonkalender“, Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin–München; Grundbau-Taschenbuch, Band I, 2. Auflage, Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin–München 1966, Abschnitt 2.6; „Peiner Kastenspundwand, Peiner Stahlpfähle“, Handbuch für Entwurf und Ausführung, 3. Auflage 1960).
- ³⁾ Die Tabellenwerte gelten für Pfähle mit geschlossener Spitze. Bei unten offenen Pfählen dürfen 90% der Tabellenwerte angesetzt werden, wenn sich mit Sicherheit innerhalb des Pfahles ein fester Bodenpropfen bildet.
- ⁴⁾ d = äußerer Durchmesser eines Stahlrohrpfahles bzw. mittlerer Durchmesser eines zusammengesetzten, radial-symmetrischen Pfahles.
a = mittlere Seitenlänge von annähernd quadratischen oder flächeninhaltsgleichen rechteckigen Kastenpfählen.

Tabelle 5.1 Spannen der Erfahrungswerte für den charakteristischen Pfahlspitzenendruck $q_{b,x}$ für Fertigrammpfähle aus Stahlbeton und Spannbeton in nichtbindigen Böden

Bezogene Pfahl- kopfssetzung s/D_{eq}	Pfahlspitzenendruck $q_{b,x}$ [kN/m ²]		
	bei einem mittleren Spitzenwiderstand q_c der Drucksonde [MN/m ²]		
	7,5	15	25
0,035	2.200–5.000	4.000–6.500	4.500–7.500
0,100	4.200–6.000	7.600–10.200	8.750–11.500

Zwischenwerte dürfen geradlinig interpoliert werden.

Tabelle 5.5 Modellfaktoren für Pfahlspitzenendruck und Pfahlmantelreibung η_b bzw. η_s von Fertigrammpfählen bei Ansatz der Werte nach Tabelle 5.1 bis 5.4

Pfahltyp	η_b	η_s
Stahlbeton und Spannbeton	1,00	1,00
Stahlträgerprofil ¹⁾ ($h \leq 0,50$ m und $h/b_f \leq 1,5$)	$s = 0,035 \cdot D_{eq}$	$0,61 - 0,30 \cdot h / b_f$
	$s = 0,10 \cdot D_{eq}$	$0,78 - 0,30 \cdot h / b_f$
doppeltes Stahlträgerprofil	0,25	0,60
offenes Stahlrohr und Hohlkasten ($0,3$ m $\leq D_b \leq 1,60$ m)	$0,95 \cdot e^{-1,2 D_b}$	$1,1 \cdot e^{-0,63 D_b}$
geschlossenes Stahlrohr ($D_b \leq 0,80$ m)	0,80	0,60

¹⁾ h = Höhe des Stahlträgerprofils, b_f = Flanschbreite des Stahlträgerprofils

Bewertungsverfahren: Herstellverfahren & Tragfähigkeit

AN

- Eigenüberwachung
- Protokolle (digital → BIM)

Fremdüberwachung

- Dokumentation

Prüfungen

- Material (Dauerhaftigkeit)
- Tragfähigkeit

Unterhaltung (Bauwerk)

- Monitoring
- Inspektionen

Prozessverständnis

- Numerische Simulationen
- Modellversuche

Großer Rammbericht Nr.: 5 nach DIN 4028

Baustelle: _____

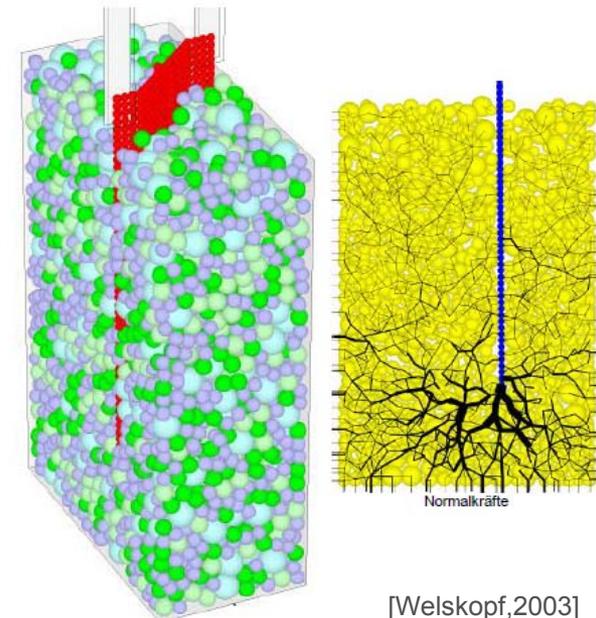
Abteilung/ Niederlassung: Wasserbau

Standort	Rammgutdaten	Rammgerät
	Art: HP 320x88,5	Ramme, Typ: Hydrohammer IHC S70
Reihe:	Querschnitt ¹⁾ : 112,7 cm ²	Bßr. Typ:
Achse:cm x cm	Fallgewicht R: 24,5 kNm (35%) kN ²⁾
Nr.: Probepfahl Nr.5	Eigenlast: 20,40 kN ³⁾	Gewicht der Rammhaube:

Bodenprofil	Stellung des Rammgutes im Boden	Anzahl der Hitzefallen ⁴⁾ (Minuten)	Kinetische Rammenergie		Eindringung ⁵⁾ Ablesung je Hitzefalle (je Minute)	Ramm-tiefe des Rammgutes	Bemerkung ⁶⁾
			Bär-fall-höhe h	je Hitzefalle je 10 R h (je Minute) ⁷⁾			
		cm	kNm ³⁾	kNm ³⁾	cm	cm/Hitze (cm/min)	m
		02:30					8,6 PTC 30
		2,3	56,35	56,35	40	17	9
		2,5	61,25	117,6	100	40	10
		2,2	53,9	171,5	100	45	11
		2,2	60,15	237,65	100	37	12
		7,6	186,2	423,85	100	13	13
		7,2	176,4	600,25	100	14	14
		6,9	169,05	769,3	100	14	15
		7,3	178,85	948,15	100	14	16
		5,1	124,95	1073,1	100	20	17
		3,2	78,4	1151,5	100	31	18
		5,5	134,75	1286,3	101	18	19
		5,2	127,4	1413,7	102	20	20
		4,9	120,05	1533,7	103	21	21
Abgebrannt auf 3,90 m N-NH (60 cm)							

Für die Richtigkeit: _____

1) Bei Hotzpfählen: mittlerer Durchmesser und Fülldurchmesser
 2) 1 Hitze entspricht 10 Schlägen; bei Schnellschlaghämmern: Rammenergie je Minute einsetzen
 3) Bei Schnellschlaghämmern: Minuten einsetzen
 4) Ableitung bei Rammung von Land bzw. festen Gerüsten am Mätker, bei schwimmender Rammung von Behelfsgerüsten oder mittels Nivellierinstrument von Land aus.
 5) u.a. Angaben über Abweichungen vom Rammplan in Abstand und Neigung, sowie über Tiefe, bis zu der mit Spülhilfe gearbeitet wurde, über etwaige Rammepausen, Beschädigungen der Pfähle beim Rammen, bei Hotzpfählen Absinken des Kernes gegen Bodenoberfläche, usw.
 6) 1 kN = 0,1 Mp



[Welskopf,2003]

Bauverfahren – Bohren (Baugrundaufschluss)



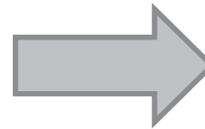
Bohrtechartage 2017 68. Deutsche Brunnenbauertage BAW-Baugrundkolloquium HDD-Tage

Tagungsband

Bohrungen und Baugrund
Herausforderungen bei der Ausführung
in der horizontalen und vertikalen Bohrtechnik
26. bis 28. April 2017 in Bad Zwischenahn



www.bohrtechartage.de



Bauverfahren - Schlitzwand



Bauverfahren - Schlitzwand



(Ortbeton-) Schlitzwand: Planer

Nachweise:

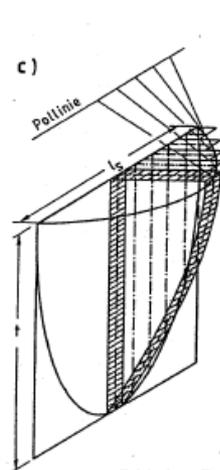
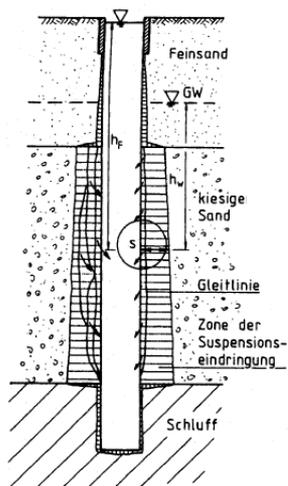
innere & äußere Standsicherheit
Abstände zu Gebäuden

...

LV / Vergabe:

Greifer / Fräse
Hindernisbeseitigung
Schlitzdicke, Bewehrungsgrad

...



[Walz, Pulsfort,2000]



(Ortbeton-) Schlitzwand: AN

Gerätewahl & Personaleinsatz:

Schlitzwandgreifertyp, Hobel, Meißel,
Fugensystem, Logistik (Silos, Pumpen, ...)

...

Maschine & Personal

Herstellreihenfolge / -art, Materialwahl:

Pilgerschritt, Ziehgeschwindigkeit, ...

Bentonitsuspension: Einstellen,
Homogenisieren, Regenerieren, ...

Beton, ...

Prüfung:

Probeschlitz

Stabilität, Fließgrenze, Wichte, Viskosität, ...

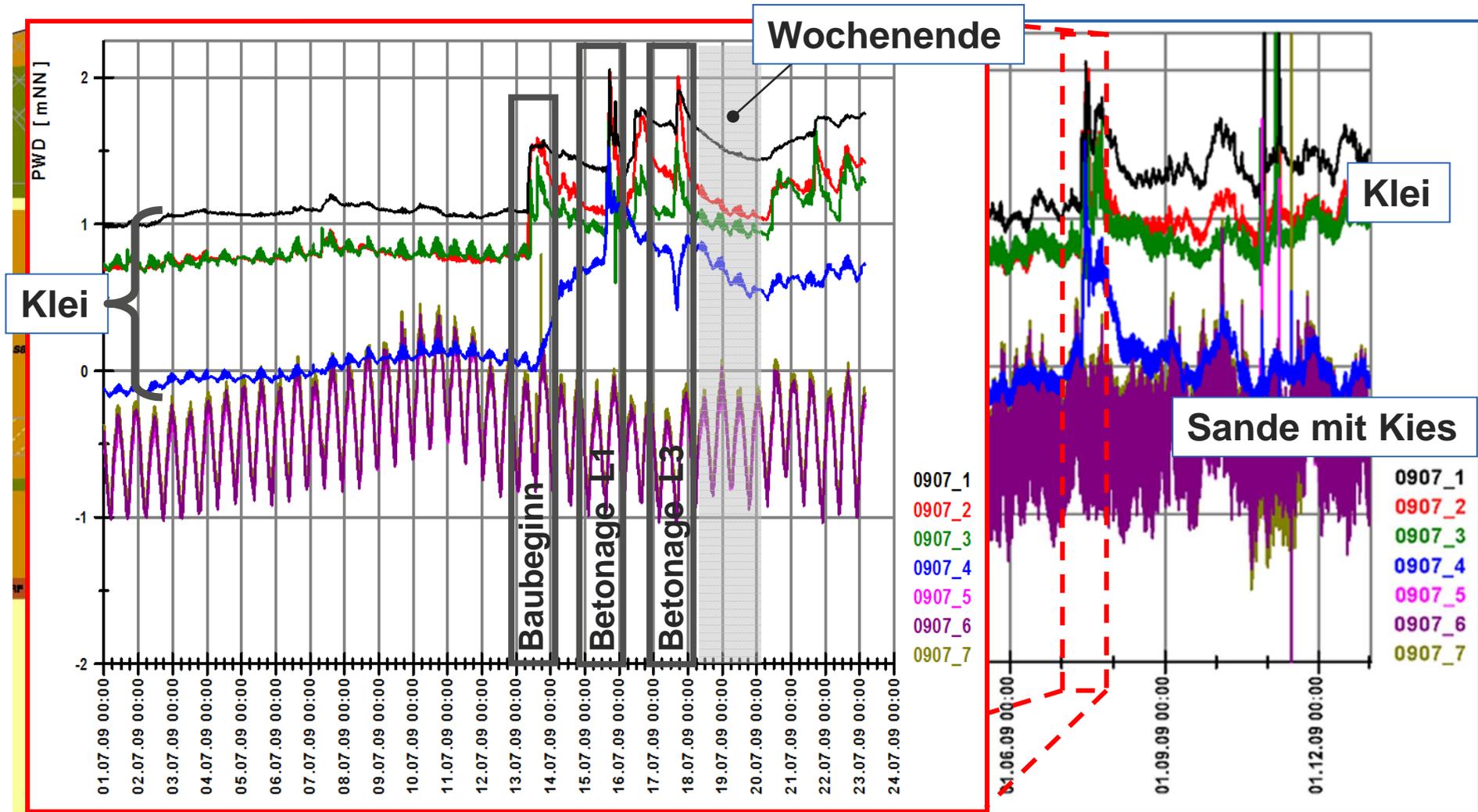
Ausbreitmaß, Lieferscheine

Vermessung / Inklinometer, Jean Lutz

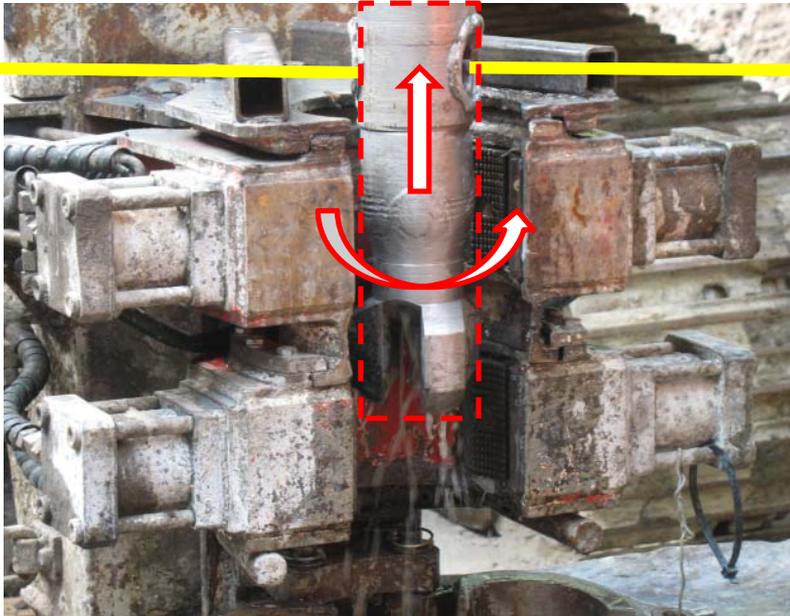
Herstellprotokolle, ...



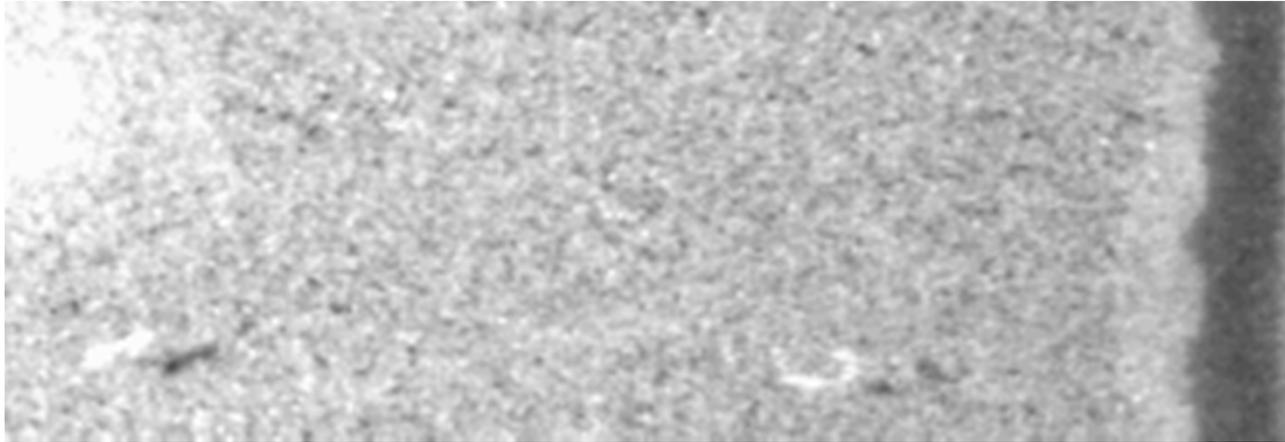
(Ortbeton-) Schlitzwand - Herstellereinfluss auf Porenwasserdrücke



Bauverfahren - Düsenstrahlverfahren

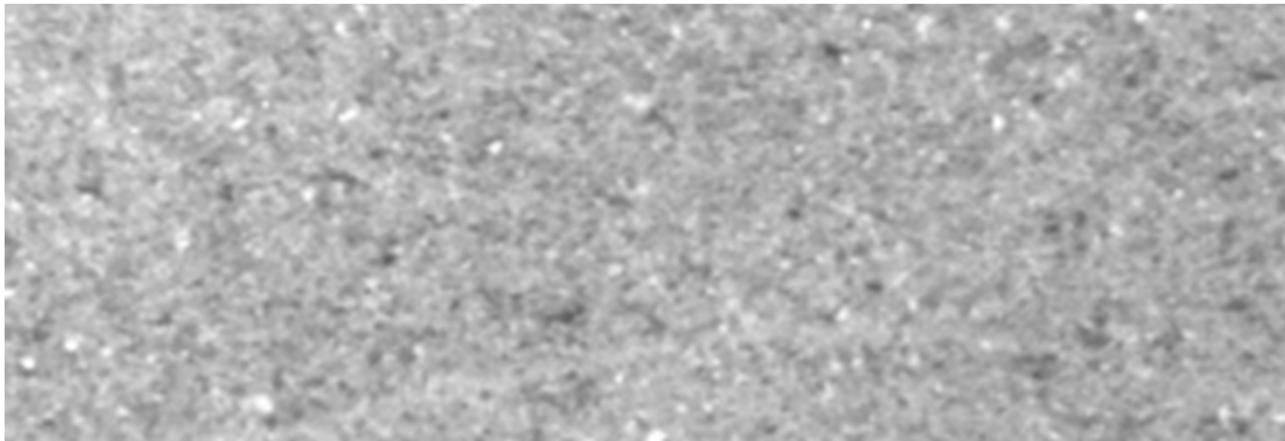


Bauverfahren - Düsenstrahlverfahren



← Bentonit

[Bergschneider 2002]



← Wasser



Bauverfahren – Düsenstrahlverfahren: AN

Gerätewahl & Personaleinsatz:

Düsstock: Düsöffnungen (Verschleiß)
 Logistik (Silos, Pumpen, Schlauchlängen, ...)

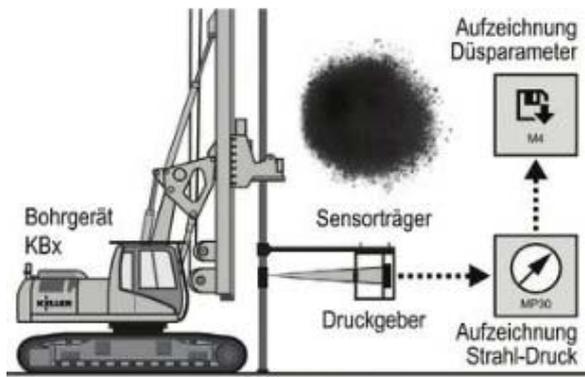
...

Maschine & Personal

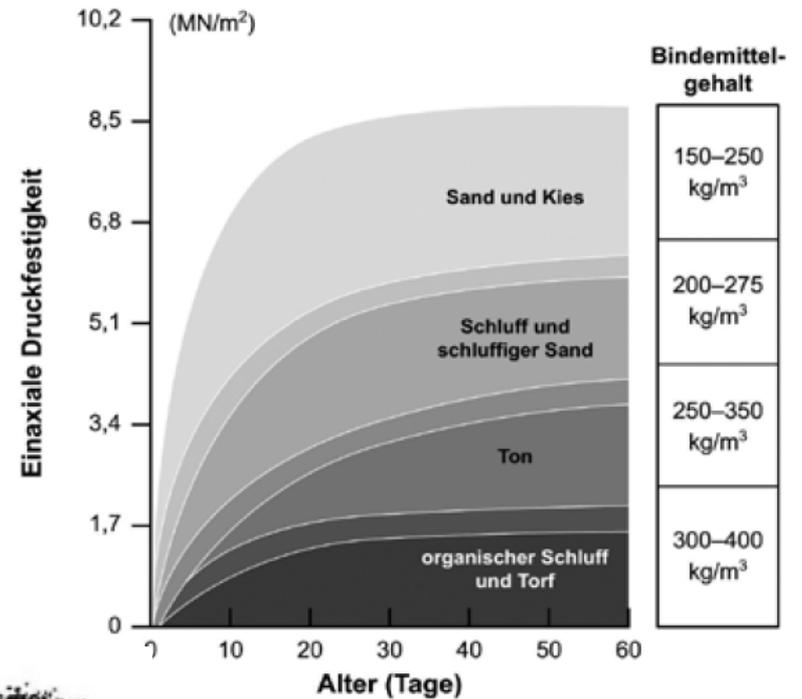
Herstellreihenfolge / -art, Materialwahl:

w/z-Wert, Druck,
 Rotations- & Ziehgeschwindigkeit,

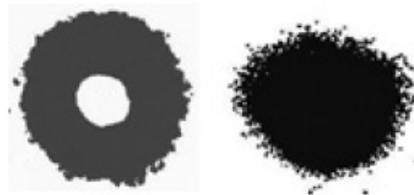
...



[Kummerer 2016]



[Sondermann 2012]



Fokussierter Strahl und gestreuter Strahl

[Sondermann 2012]

Düsenstrahlverfahren für Rückverankerung 5. SK Brunsbüttel (ZiE)

Nachweise:

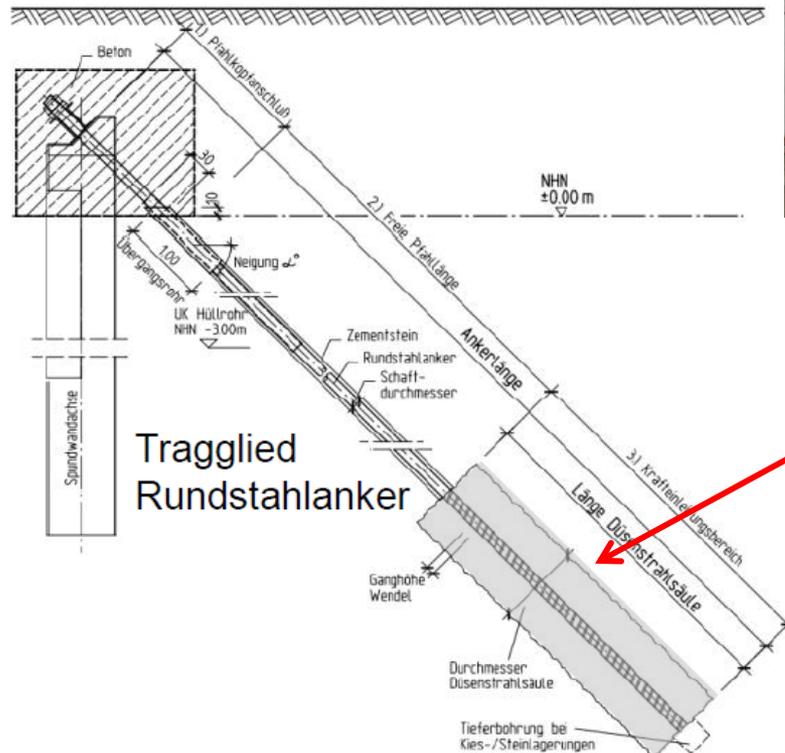
innere & äußere Tragfähigkeit

LV / Vergabe:

Eigenschaften (Durchmesser, Betonfestigkeit)
mit / ohne Luftummantelung, ...



Einbindung in
Kopfbalken



Anforderungen:

Durchmesser 1,0 m
C25/30 (C30/37)
w/z-Wert $\leq 0,6$ (0,5)
dichtes Gefüge

Lastabtrag über
Düsenstrahlsäule

[Puscher 2015]

Düsenstrahlverfahren Rückverankerung: AN

Gerätewahl & Personaleinsatz:

Düsstock: **Düsöffnungen** (Verschleiß)
Logistik (Silos, Pumpen, Schlauchlängen, ...)

...

Maschine & Personal

Herstellreihenfolge / -art, Materialwahl:

w/z-Wert, Druck,
Rotations- & Ziehgeschwindigkeit,

...



Düsenstrahlverfahren für Rückverankerung 5. SK Brunsbüttel (ZiE)

Prüfung:

Probesäulen: Kernbohrungen, Materialprüfungen
(Druckfestigkeit, dichtes Gefüge)

Rückfluss: Dichte, Druckfestigkeit

Lieferscheine, Herstellprotokolle

Probebelastungen

korrekter Messaufbau & Messwertaufzeichnung



Säule 21, Mitte

0,5 m

Anlage 4.8



— Nicht erodierter, verfestigter Bereich

— Kernbereich

— Kernverlust

— nicht getroffen

✱ Getroffen

TBS5 ✱

TBS3

TBS4

TBS2

TBS1

~ Durchmesser 1 m

Die abgebildeten Längen der Bohrsäulen ergeben sich aus der Projektion auf die Querschnittsebene der Säule. Die Bohrsäulen sind in den Ansatzpunkten der Höhe zur Veranschaulichung an die gegebene Durchmesserlage angepasst.





Ingenieur (lat. ingenium) \approx schöpferischer Geist
Ein konstruktives Miteinander macht viel möglich!

Bundesanstalt für Wasserbau
22559 Hamburg

www.baw.de

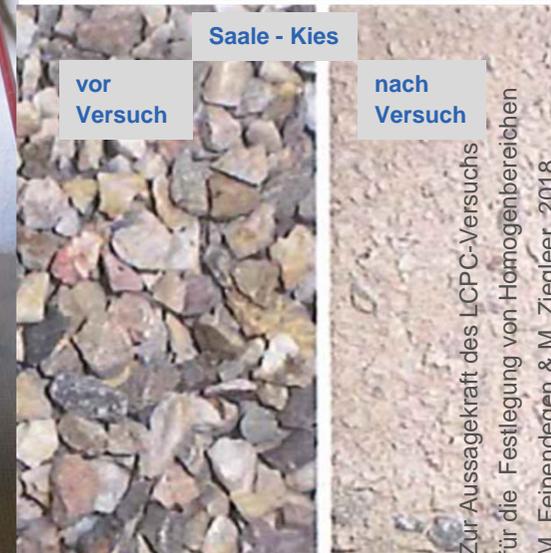
Annette Richter

Der LCPC–Versuch zur Bestimmung der Abrasivität von Böden

Stand der Wissenschaft vs. VOB - Forderung

BAWKolloquium

Hamburg, 13.September 2018



Zur Aussagekraft des LCPC-Versuchs
für die Festlegung von Homogenbereichen
M. Feinendegen & M. Ziegler, 2018

Homogenbereiche nach VOB/C: Zuordnung der Versuche zu den Bauverfahren für Boden

norme française		NF P 18-579 9 Février 2013 Indice de classement : P 18-579 ICS : 91.100.15		Landschaftsbauarb. DIN 18320	Erdarbeiten DIN 18300	Bohrarbeiten DIN 18301	Ramm-, Rüttel-, Pressarb. DIN 18304	Nassbaggararbeiten DIN 18311	Schlitzwandarbeiten DIN 18313	Rohrvortriebsarb. DIN 18319	Düsenstrahlarbeiten DIN 18321	Horizontalspülbohra. DIN 18324	Landschaftsbauarb. DIN 18320
ortsüblich													
Korngrößenverteilung nach DIN 18122-1					2)								
Masse nach DIN 18122-1													
mineralischer Anteil nach DIN 18122-1													
Bodenart nach DIN 18122-1													
Bodenartgruppe nach DIN 18915													
Dichte nach DIN EN ISO 17892-2 oder DIN 18125-2													
Kohäsion nach DIN 18137-1 bis -3													
undrionierte Scherfestigkeit nach DIN 4094-4, 18136 oder 18137-2													
Sensitivität nach DIN 4094-4													
Wassergehalt nach DIN EN ISO 17892-2													
Plastizitätszahl nach DIN 18122-1					2)								
Abrasivität nach NF P18-579													
Konsistenzzahl nach DIN 18122-1													
Konsistenz nach DIN EN ISO 14688-1													
Durchlässigkeit nach der Normenreihe DIN 18130													
Lagerungsdichte D Def. n. DIN EN ISO 17892-2					2)								
Sondierwiderstand mit Angabe des Sondiermoduls													
Kalkgehalt nach DIN 18129													
Organischer Anteil nach DIN 18128													
Benennung und Bestimmung organischer Böden nach DIN EN ISO 17892-2													
Abrasivität nach NF P18-579													
Schalenanteil													

¹⁾ Für mobile Böden ausreichende Angabe

²⁾ für Erdarbeiten der Geotechnischen Kategorie 1 nach DIN 4020 ausreichende Angaben

Nach VOB/C Kap 2.3 erforderliche Angabe



zusätzliche Angabe



Leitparameter

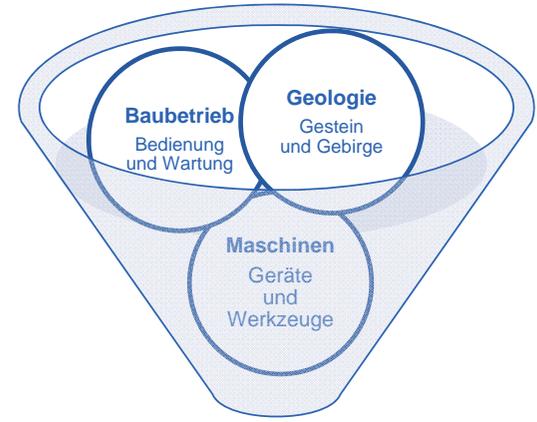


„Begriffsdefinition“ der Abrasivität

„den Werkzeugverschleiß bestimmende Gesteinseigenschaft“
 „den Werkzeugverschleiß bestimmende Bodeneigenschaft“

Abrasivitäts- klassifikation	Verschleiß- bezeichnung
nicht abrasiv	kein Verschleiß
kaum abrasiv	geringer Verschleiß
schwach abrasiv	normaler Verschleiß
abrasiv	hoher Verschleiß
stark abrasiv	sehr hoher Verschleiß
extrem abrasiv	extrem hoher Verschleiß

Verschleißpotential

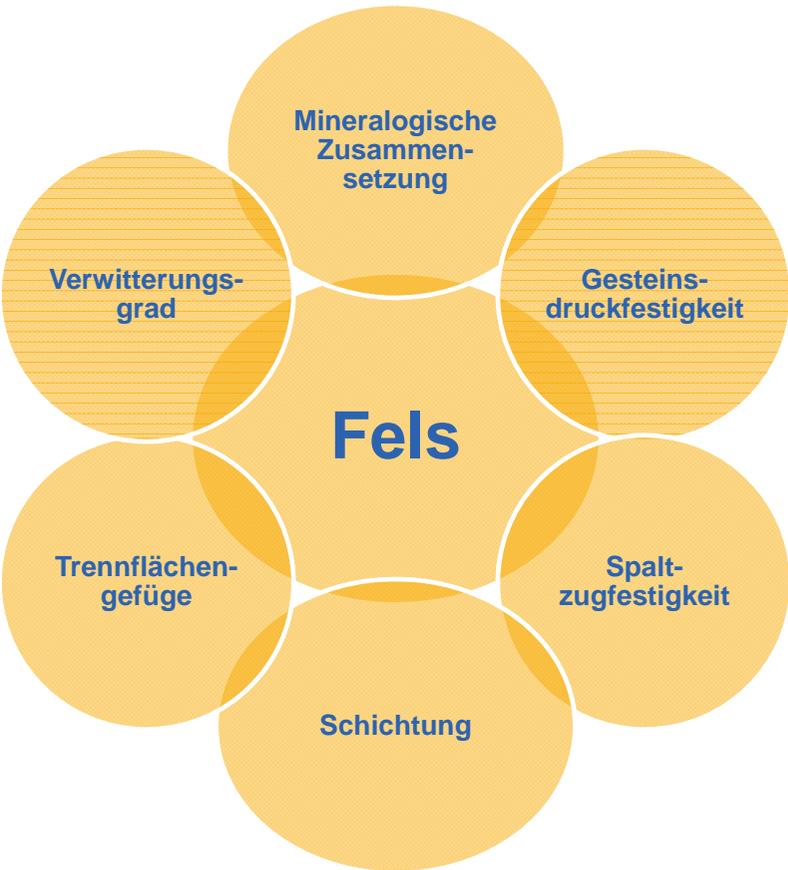


**Geräte- und
Werkzeugverschleiß**

Verschleißpotential

„...bei vorwiegend abrasiver Einwirkung, Oberflächenveränderungen und/oder Masseverlust an metallischen Gegenständen hervorzurufen“

Abrasive-Verschleiß: Maßgebende **Fels**- und Bodeneigenschaften



Einfluss der Bodeneigenschaften auf den Abrasiv-Verschleiß

▪ Mineralogische Zusammensetzung – äquivalenter Quarzgehalt (äQu)

- je höher die Mineralhärte (äQu) desto größer die abrasive Wirkung

▪ Korngröße und Kornverteilung

- je größer das Einzelkorn desto größer seine abrasive Wirkung

▪ Kornform und Kornrundung

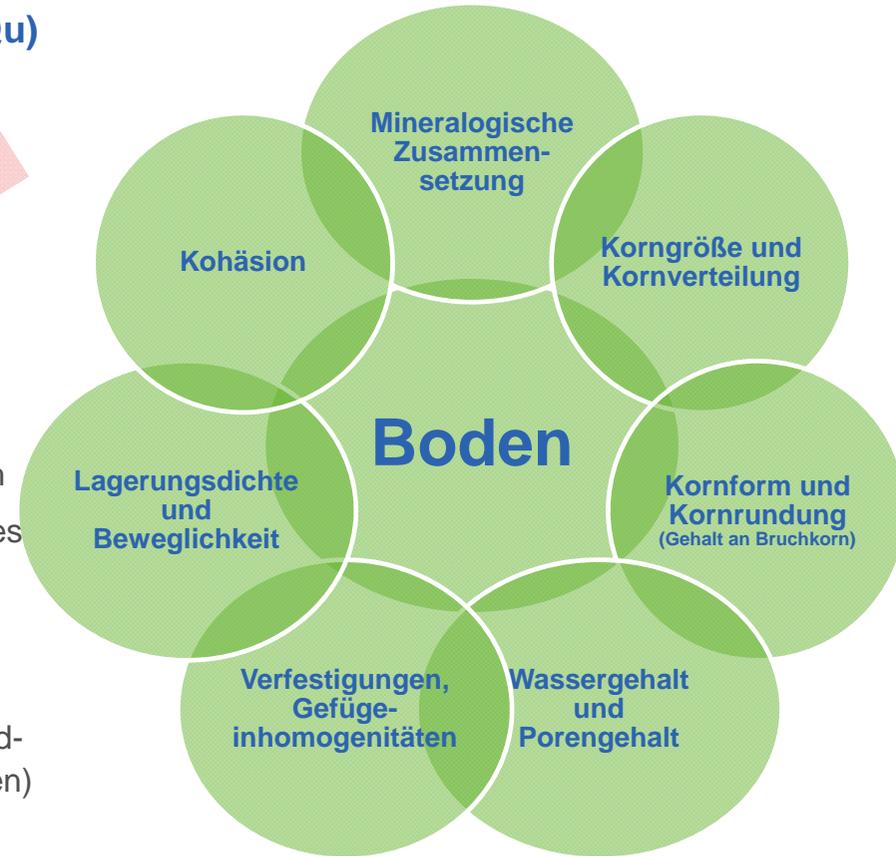
- je scharfkantiger das Einzelkorn desto größer seine abrasive Wirkung
- Einfluss auf Lagerungsdichte, Verzahnung, Verformen, Neigung zum Kornbruch
- Kornfraktionen im Zuge eines Durchgangswegs werden sich immer von jenen des natürlichen Bodens unterscheiden

▪ Wassergehalt

- bei Sand als Werkstoff, steigt der Verschleiß bei einem Wasser/Sand-Mischungsverhältnis von 0 bis 0,10 an (Ansteigen der Bindungskräfte im Boden)

▪ Verfestigungen, Lagerungsdichte und Kohäsion

- je größer desto größer die abrasive Wirkung



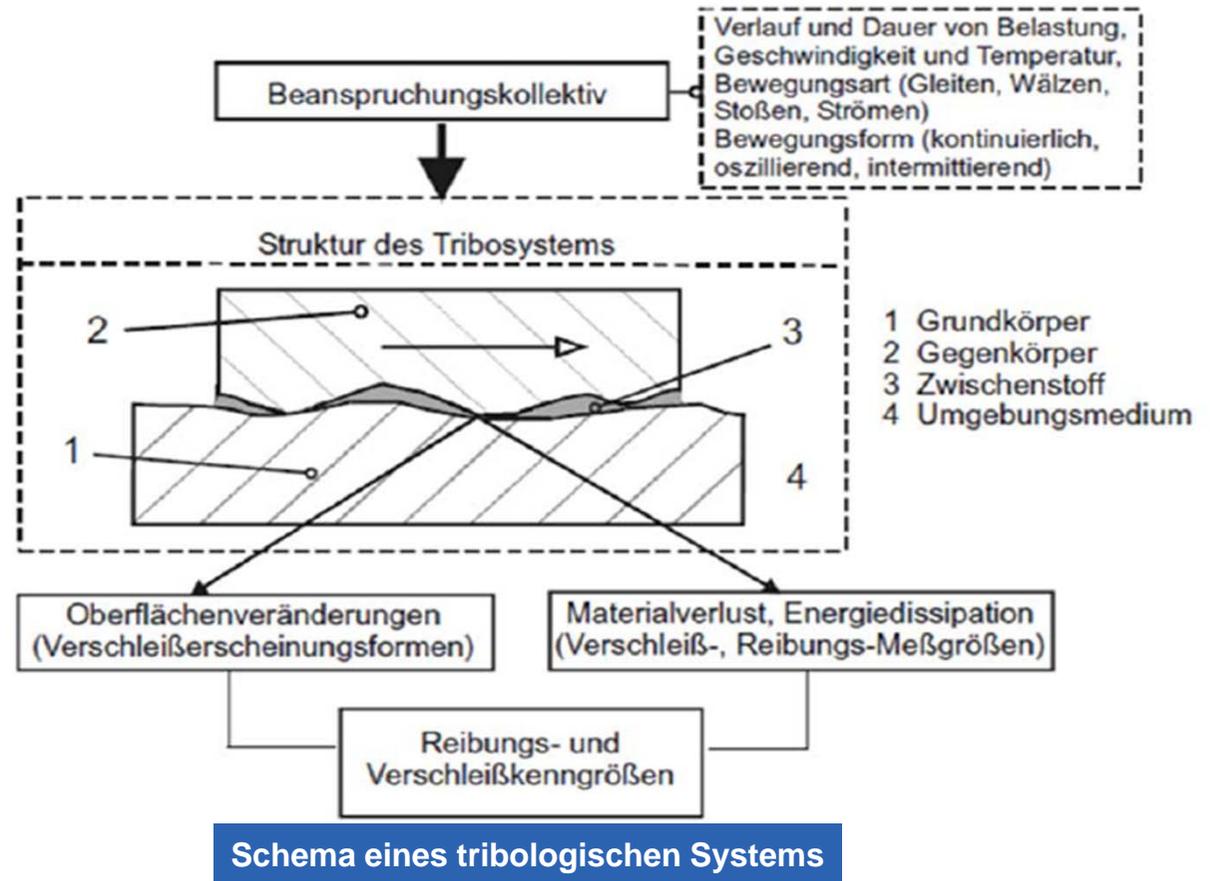
Bodeneigenschaften sind nur in ihrer Summe aussagekräftig!

Tribologische Grundlagen (Reibung und Verschleiß)

Zusammenwirken aller am Verschleißvorgang beteiligter Teile einer technischen Konstruktion

▪ Verschleiß bestimmt durch:

- Reibungsarten:
Haft-, Gleit-, Roll-, Wälz- und , Bohrreibung sowie innere Reibung
- Reibungszustände:
Festkörperreibung, Flüssigkeitsreibung, Mischreibung
- Verschleißarten:
Gleit-, Roll-, Prall-, Furchungs-, Korngleit- und Mahlverschleiß,...
- Verschleißmechanismen:
Adhäsion, Abrasion, Oberflächenermüdung und tribochemische Reaktionen



Verschleißformen

➤ **Mikropflügen:**

Plastische Verformung der Werkstoffoberfläche infolge Eindringens des Abrasivstoffs, **ohne Werkstoffabtrag**

➤ **Mikrospanen:**

Materialabtrag in Form von sog. Mikrochips

➤ **Mikroermüdung:**

Materialabtrag infolge lokaler Werkstoffermüdung bei wiederholter mikropflügender Beanspruchung

➤ **Mikrobrechen:**

Größere Materialausbrüche infolge von Rissbildung und Rissausbreitung längs einer Verschleißfurche bei Überschreiten einer kritischen Belastung

Verschleißtopf-Verfahren: definiertes Beanspruchungskollektiv auf eine definierte Tribostruktur

▪ Versuchsaufbau

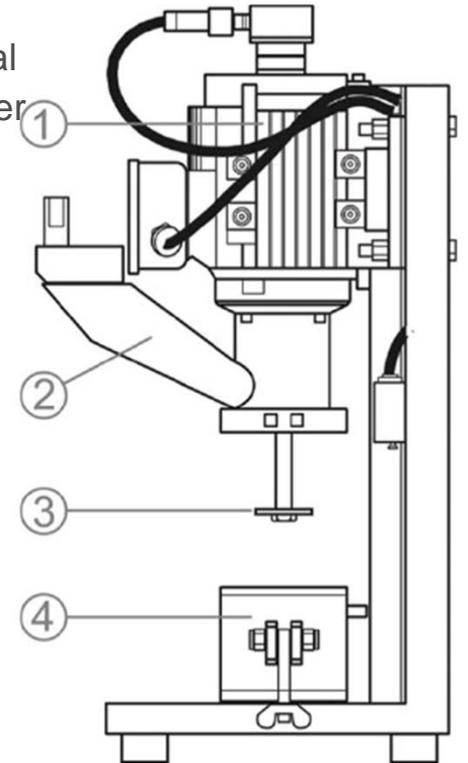
Der Probekörper (3) wird an einer Welle befestigt und läuft in einem mit körnigem Material gefüllten Behälter (4) um. Das Material wird hier über den Einfülltrichter (2) in den Behälter gefüllt.

▪ Zahlreiche Abwandlungen

LCPC-Verschleißtopf, Verschleißversuchsstand speziell für feinkörnige Böden, TU-Wien LCPC-Verschleißtopf u.w.

▪ Versuchscharakteristik

- Abrasivgut im Versuchstopf beweglich
- Beanspruchungen sind dem mechanischen Bearbeitungs- bzw. Abbauprozess ähnlich
- Regellose Abfolge von Gleit-, Roll- und Schlagkontakten, bei ständiger Überwindung der Scherfestigkeit des Bodens
- „Falls überwiegend Rollbewegung stattfindet → Mikropflügen“



Verschleißtopf

▪ **Französische Norm: NF P 18-579**

▪ **Prüfkörper:**

- quaderförmiger Drehflügel aus einem **C15 Stahl (Einsatzstahl)** und einer Rockwellhärte von **60-75 HRB**
- Abmessungen 50 x 25mm ($\pm 0,5\text{mm}$) x 5mm ($\pm 0,2\text{mm}$)
- Stahloberfläche ist „sorgfältig sandzustrahlen“ (bzw. von der Zunderschicht zu reinigen)
- Ausbildung und Verformbarkeit der Kanten haben Einfluss auf das Versuchsergebnis

▪ **Zylinderförmiger Versuchsbehälter:**

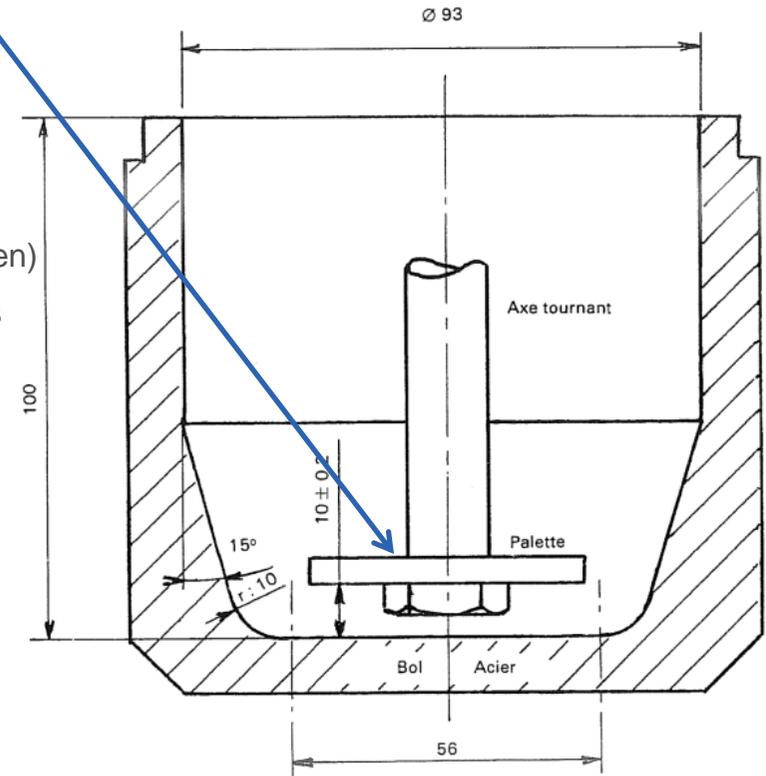
- Innendurchmesser 93mm mit genau festgelegten Ausrundungen und Abständen

▪ **Probenmaterial:**

- **Korndurchmesser von 4,0 bis 6,3mm (Feinkies)**
- 500g \pm 2g **ofengetrocknete Probe**

▪ **Versuchsdurchführung**

- 5 Minuten mit 4500 Umdrehungen pro Minute
- Drehflügel vor und nach dem Prüfvorgang exakt zu wiegen



LCPC-Verschleißtopf

LCPC-Abrasivitätsversuch: Auswertung

LCPC-Abrasivitätskoeffizient A_{BR} (LAK-Wert):

$$A_{BR} = \frac{w_m}{M} \text{ [g/t]}$$

w_m [g]: Verschleißmasse des Drehflügels $\rightarrow w_m = m_0 - m_5$,

m_0 : Ausgangsmasse

m_5 : Masse nach 5 Minuten Versuchsdurchführung

M [t]: Ausgangsmasse der Bodenprobe

- Ungenauigkeiten bei Bestimmung der Verschleißmasse von 0,1g bei einer Ausgangsmasse von 500g ergeben einen Fehler des Abrasivitätskoeffizienten von $\pm 200\text{g/t}$
- Verformungen des Prüfkörpers (Flügel), resultierend aus dem Mikropflügen, werden bei der Bewertung der Abrasivität in der Norm nicht berücksichtigt

Klassifikation nach Thuro, Käsling, Bauer Abrasiveitsuntersuchungen an Lockergesteinen im Hinblick auf die Gebirgslösung, Tagungsbericht, Bremen 2006		Klassifikation nach Büchi, Mathier, Wyss Gesteinsabrasivität – ein bedeutender Kostenfaktor beim mechanischen Abbau von Fest- und Lockergestein, Tunnel 5/1995, pp. 38-44	
A_{BR} [g/t]	Abrasivität	A_{BR} [g/t]	Abrasivität
0-50	nicht abrasiv	0-500	sehr schwach abrasiv
50-100	kaum abrasiv		
100-250	schwach abrasiv		
250-500	mittel abrasiv		
500-1250	stark abrasiv	500-1000	schwach abrasiv
1250-2000	extrem abrasiv	1000-1500	mittel abrasiv
-	-	1500-2000	stark abrasiv
-	-	>2000	sehr stark abrasiv

in Überarbeitung

LCPC-Versuch: berücksichtigte Bodeneigenschaften

- **Mineralogische Zusammensetzung – äquivalenter Quarzgehalt (äQu)**

berücksichtigt

- **Reibungsparameter (Kohäsion, Reibungswinkel)**

berücksichtigt, ggf. durch Probenahme und Probenvorbereitung verändert

- **Korngröße und Kornverteilung**

nicht bzw. nur sehr bedingt berücksichtigt

- **Kornform und Kornrundung**

nicht bzw. nur sehr bedingt berücksichtigt

- **Verfestigungen**

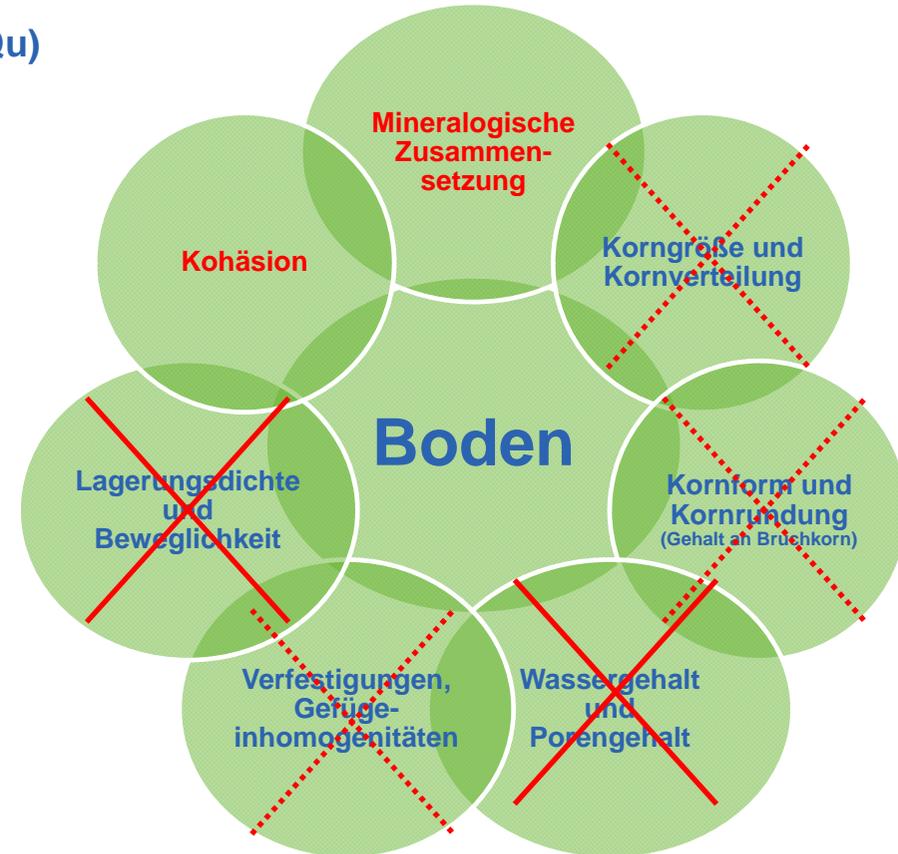
nicht bzw. nur sehr bedingt berücksichtigt

- **Wassergehalt**

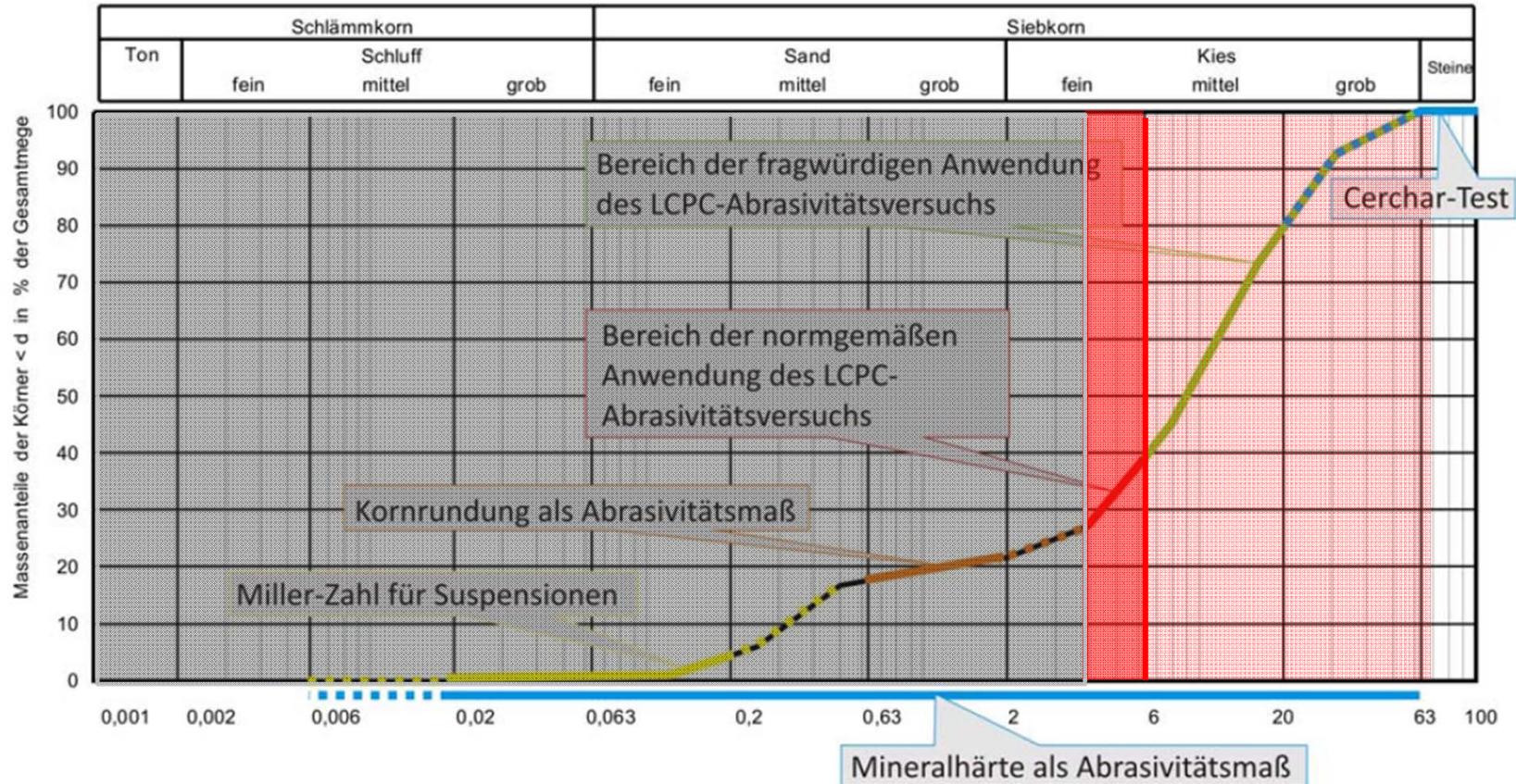
- nicht berücksichtigt

- **Lagerungsdichte**

- nicht berücksichtigt



Bandbreiten verschiedener Prüfmethode anhand einer Kornverteilung

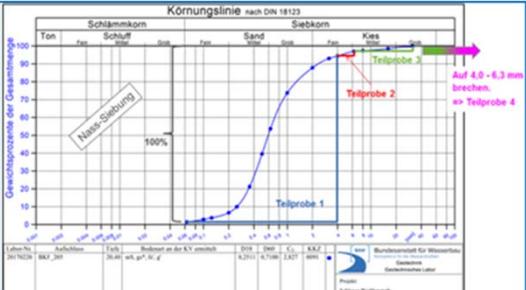


Sieblinie eines sandigen Kiesel (Donauschotter) und Stand der Technik für Aussagen über die Abrasivität des Korngemischs



Inhaltsverzeichnis		Seite
1	Vorbemerkung	1
2	Grundlagen der Einteilung des Baugrunds in Homogenbereiche	2
2.1	Definition der Homogenbereiche	2
2.2	Ablauf zur Festlegung der Homogenbereiche	2
2.3	Datenbasis zur Festlegung der Homogenbereiche	4
2.4	Homogenbereiche aus Schichten mit nicht vergleichbaren Eigenschaften	4
2.5	Berücksichtigung umweltrelevanter Inhaltsstoffe	4
2.6	Hinweise zu einzelnen Parametern	5
2.6.1	Lagerungsdichte, bezogene Lagerungsdichte	5
2.6.2	Massenanteil Steine und Blöcke	6
2.6.3	Kornverteilung, Körnungsband	7
2.6.4	Abrasivität von Boden	7
2.6.5	Konsistenz, Konsistenzzahl	8
2.6.6	Sulfatgehalt	8

Umsetzung der VOB/C im MEH

Variante A	Variante B	Variante C
Sandige Kiese oder gröbere Böden	Kiesige Sande	Sande
		KV <4mm
Vorgehensweise im MEH „normkonform“	<p>Vorgehensweise im MEH nicht normkonform „Übergangslösung bis zur Klärung und Berichtigung in der VOB/C“ „...Bis zur normativen Klärung der Versuchsrandbedingungen sollte..“ ...Diese Vorgehensweise ist jedoch nicht normkonform und führt auch zu anderen Ergebnissen...“</p>	
<u>3 Teilproben</u>		
TP1: <4mm TP2: 4mm bis 6,3mm TP3: >6,3mm		
<p>TP3 brechen und die Fraktion 4mm bis 6,3mm zur TP2 mischen (im Verhältnis TP2 zu TP3)</p>	<p>TP3 brechen und die Fraktion 4mm bis 6,3mm zur TP1 + TP2 mischen (im Verhältnis der KV)</p>	Probe entspricht der Ausgangsprobe

Nicht normkonforme Versuchsdurchführung: ein Beispiel

Beispiel: Rhein-Herne-Kanal, 2 Sandproben

Material	Zusammensetzung	A_{BR} [g/t]	Klassifikation Abrasivität nach Thuro, Käsling u. Bauer	äQu [%]
mS, gs´	4<d<6,3mm: 14,9g	188,8	schwach abrasiv	86,7
	d<4mm: 485,1g			
mS, fs	4<d<6,3mm: 6,9g	102,8	schwach abrasiv	88,5
	d<4mm: 493,1g			

↓
~ stark abrasiv

Fazit

- **Verschleiß kann nicht alleine durch die Abrasivität bewertet werden**
- **Aufgrund der Forderung der VOB /C (Abrasivität nach NF P18-579) zwingend zu klärende Fragen:**
 - **Wie ist mit dem Kornanteil >6,3mm zu verfahren?**

Falls dieser Kornanteil zugelassen werden soll → **einheitliche Probenzerkleinerung** (Backenbrecher, Hammer...) und Aufnahme in die Normung notwendig
 - **Wie ist mit dem Kornanteil <4mm zu verfahren?**

Für den LCPC-Versuch aus versuchstechnischen Gründen (Geologie) **nicht unbedingt geeignet**
 - **Wie setzt sich die „500g – Probenmasse“ z. Bsp. bei einem Homogenbereich kiesiger Sand zusammen?**
 - Wie viele Bohrmeter müssen erbohrt werden, um 500g Boden mit Kornanteil 4mm - 6,3mm erreicht sind?
 - Oder muss sich die Probe im gleichen Verhältnis wie die Kornverteilung zusammensetzen und ist damit weder normkonform noch versuchstechnisch korrekt?
- **Vergleichbarkeit und Bewertung von A_{BR} , nicht nur laborintern sondern auch laborübergreifend, herstellen**
 - Definiertes und einheitliches Versuchsgerät nach der bestehenden franz. Norm (Prüfkörper: Form & Material)
 - Einheitliche Versuchsbewertung / Klassifizierung

Klärungs- und Handlungsbedarf



Determining abrasivity of rock and soil in the laboratory, Käsling & Thuro, 2010



Abrasiivität in der Großbohrtechnik, Bauer Spezialtiefbau & Thuro,

BAWKolloquium Hamburg September 2018

Bundesanstalt für Wasserbau
76187 Karlsruhe

www.baw.de

Zur Einbringung von Profilen

Jürgen Grabe

Technische Universität Hamburg

Gliederung

1. Motivation
2. Grundlagen
3. Vollprofil
4. Schraubpfahl
5. Rohrpfahl
6. Spundwand
7. Zusammenfassung

Motivation

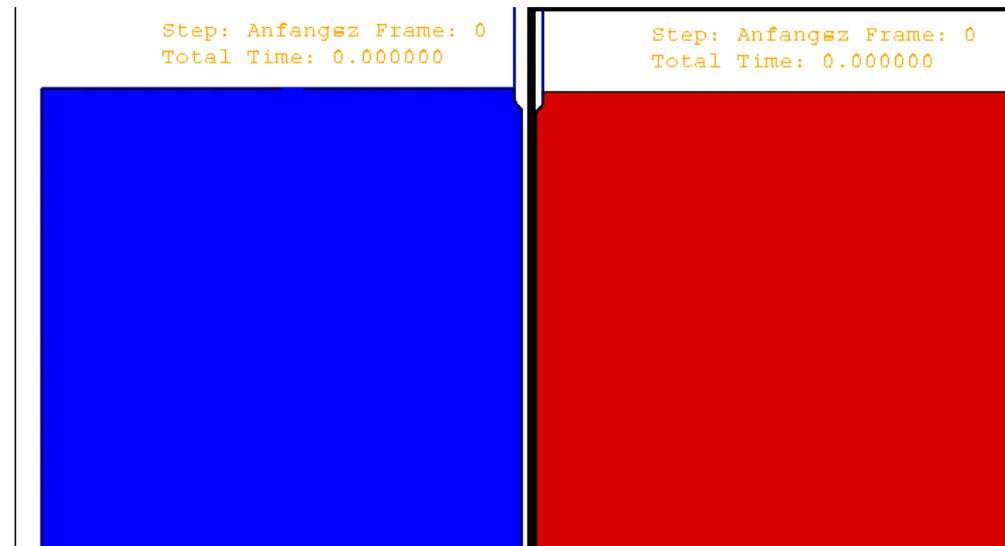
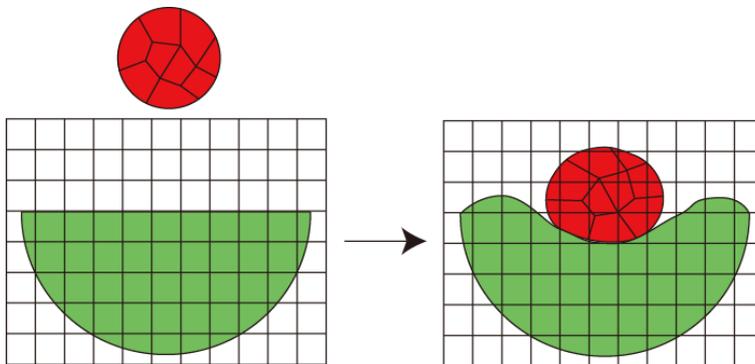
Motivation

- Es ist allgemein bekannt, dass mit der Einbringung von Profilen sich die Bodenzustandsgrößen ändern und damit Einfluss auf die Tragfähigkeit haben.
- Numerische Methoden bieten enorme Möglichkeiten Einblick in die dynamischen Prozesse im Boden zu bekommen und führen dadurch vielfach zu einem verbesserten Prozessverständnis
- Mithilfe validierter numerischer Berechnungen lässt sich die Herstellung im Hinblick auf eine höhere Tragfähigkeit optimieren

Grundlagen

Numerische Methoden (FEM)

- Dynamische Analysen mit direkter expliziter Zeitintegration für gesättigte Böden basierend auf einer \mathbf{u} -p Formulierung
- Statische, quasi-statische and dynamische Analysen für teilgesättigte Böden basierend auf einer \mathbf{u} -p-p Formulierung
- Coupled Eulerian Lagrangian Ansatz für finite Verformungsprobleme



Vollprofil

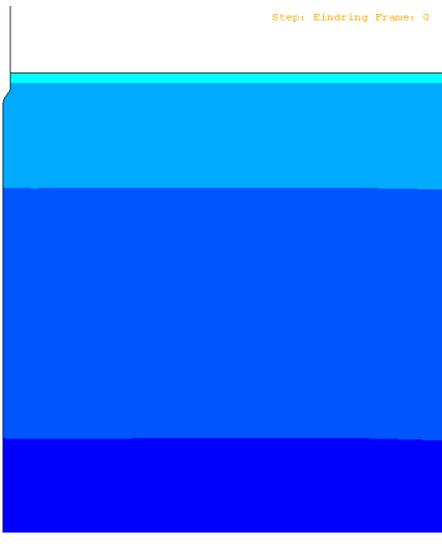
Pfahleinbringung – drainierte Bedingungen

Profil starr, Standard FEM

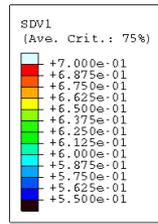
Änderung der Bodenzustandsgrößen infolge Einbringung

Porenzahl (mitteldichte Lagerung)

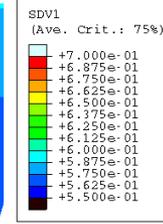
Einpressen



Schlagrammung

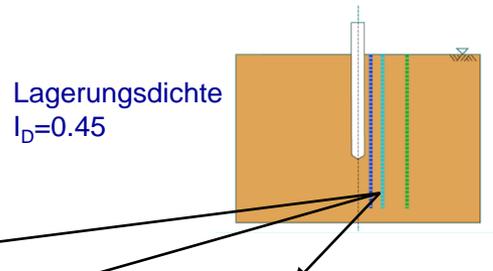


Vibrationsrammung

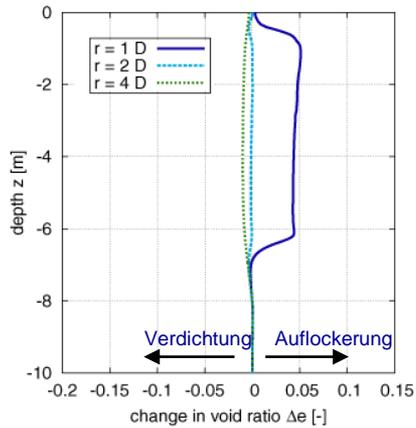


Veränderung der Porenzahl

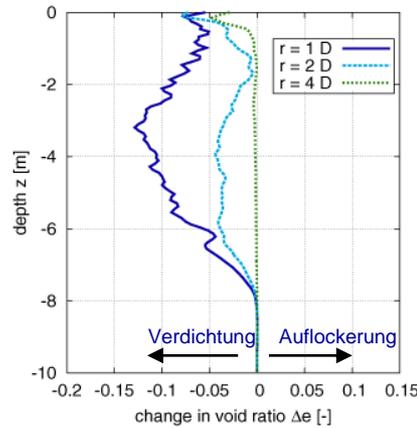
Änderung der Bodenzustandsgrößen infolge Einbringung



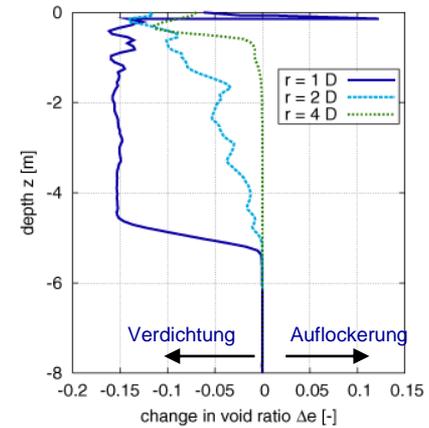
Einpressen



Schlagrammung



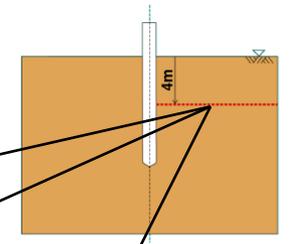
Vibrationsrammung



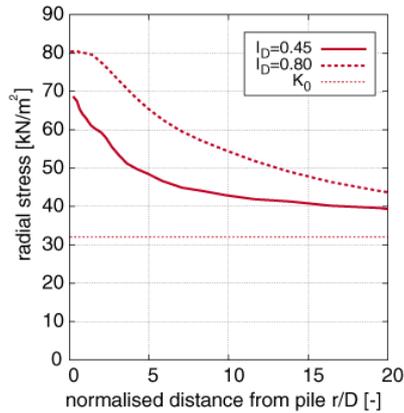
Veränderung des Spannungszustandes

Änderung der Bodenzustandsgrößen infolge Einbringung

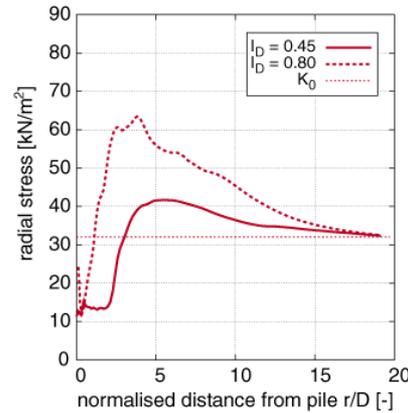
Lagerungsdichten
 $I_D = 0.45 / 0.80$



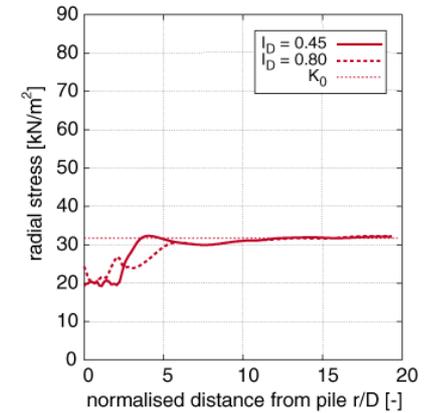
Einpressen



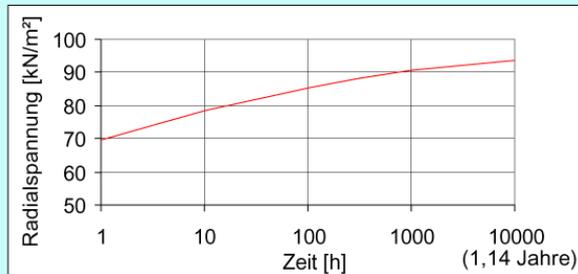
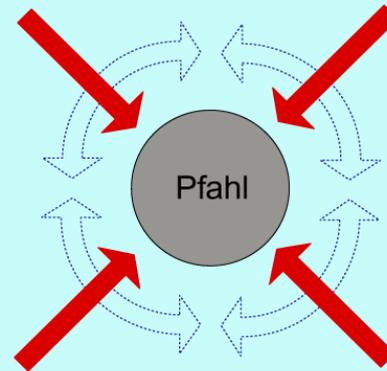
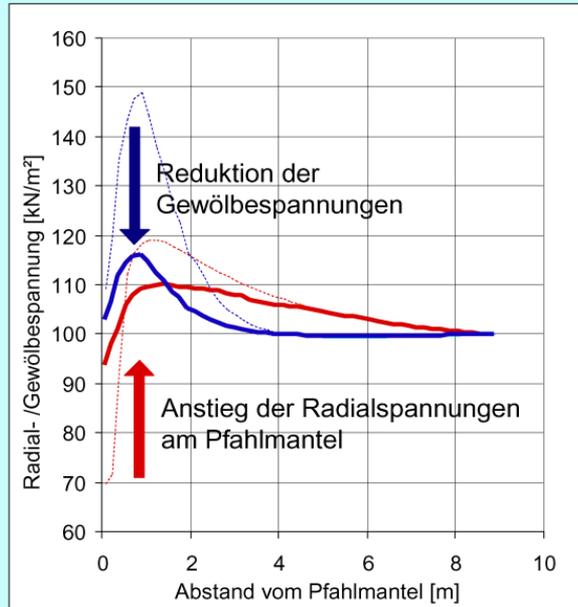
Schlagammung



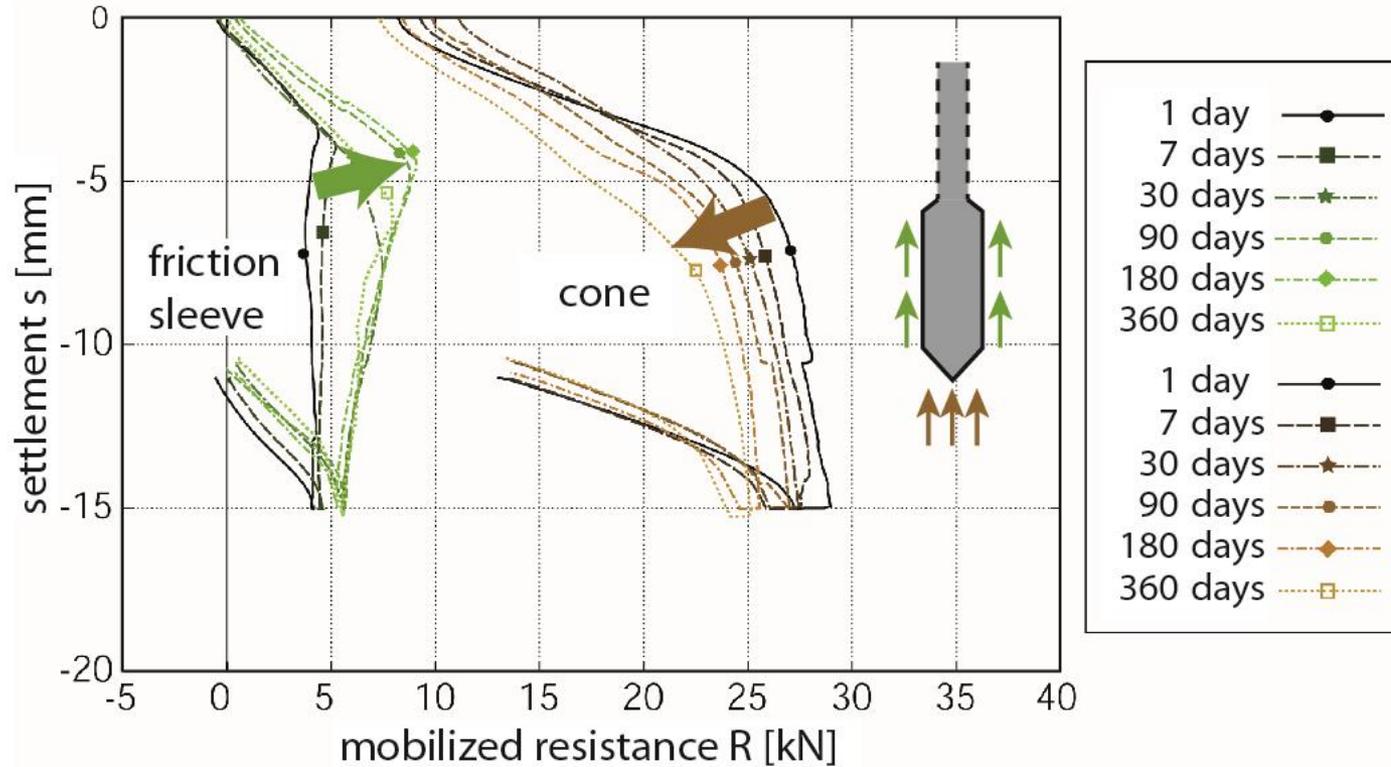
Vibrationsrammung



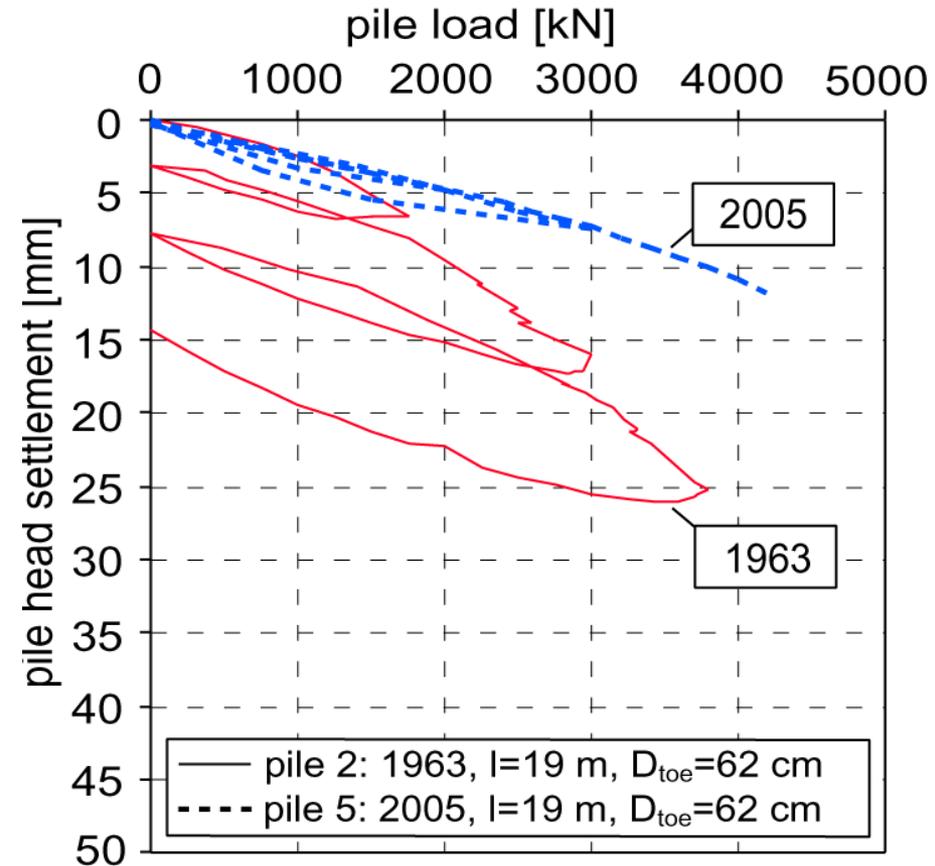
Relaxation der Gewölbespannungen zugunsten der Radialspannungen



Langzeit CPT

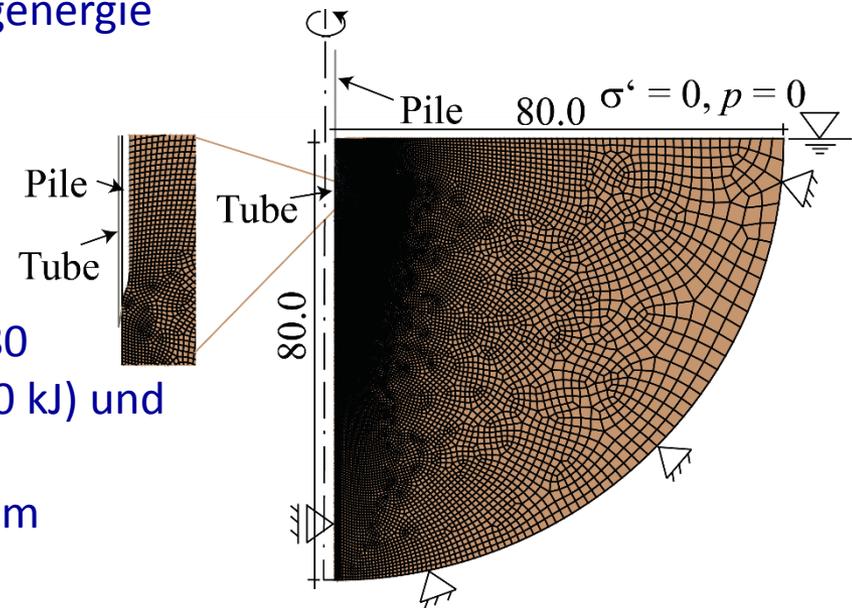


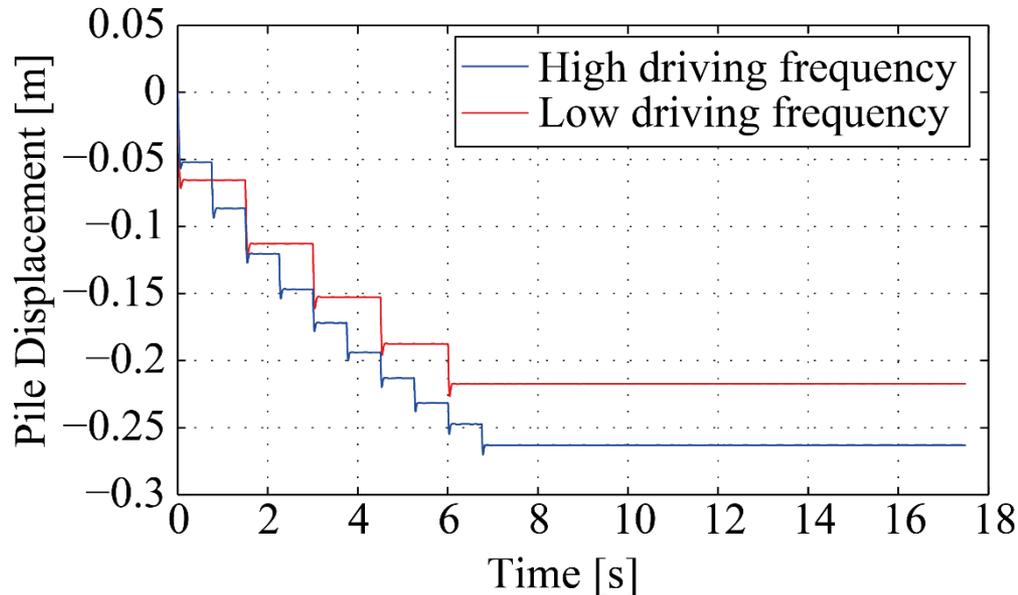
Tragfähigkeitsänderung mit der Zeit



Studie zur Schlagammung im HiLo Verfahren

- Schlagfrequenz und Schlagenergie sind wesentliche Einbringparameter
- Höhere Schlagfrequenz mit geringerer Schlagenergie verspricht eine Reduktion
 - der Lärmemissionen,
 - der Rammzeit und
 - der Ermüdung des Profilmaterials
- Vergleich von hochfrequenter Einbringung (80 Schläge/min) mit geringer Schlagenergie (160 kJ) und Rammung mit 40 Schläge/min und höherer Schlagenergie (250 kJ) für einen Pfahl in einem gesättigten, dicht gelagerten Sand unter teildänierten Verhältnissen





Ergebnis:

- Schnellere Pfahleinbringung im HiLo-Verfahren aufgrund der kürzeren Drainagezeit zwischen den Rammschlägen
- Ergebnisse werden durch Messungen von IHC bestätigt

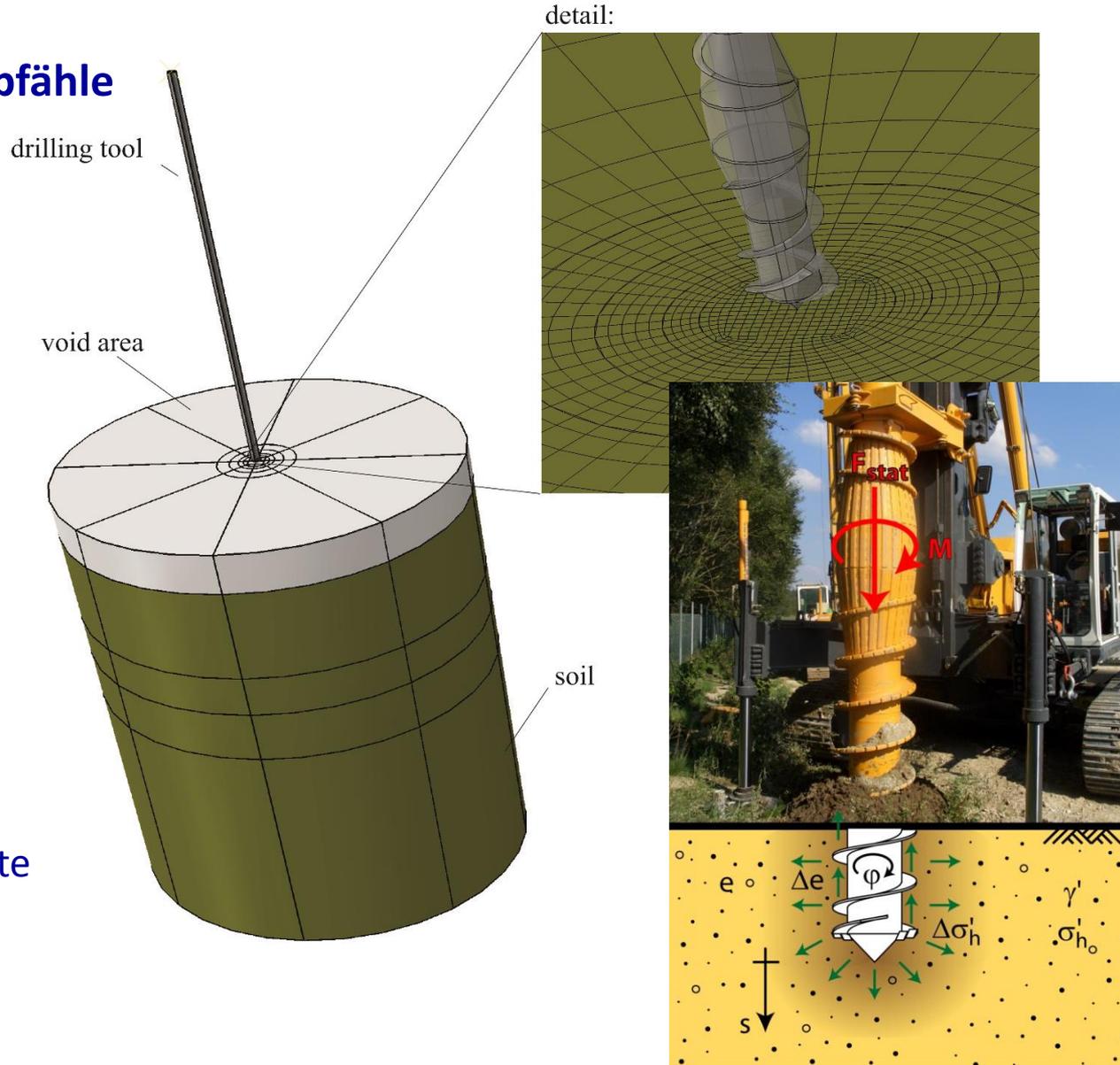
Schraubpfahl

Gebohrte Vollverdrängerpfähle

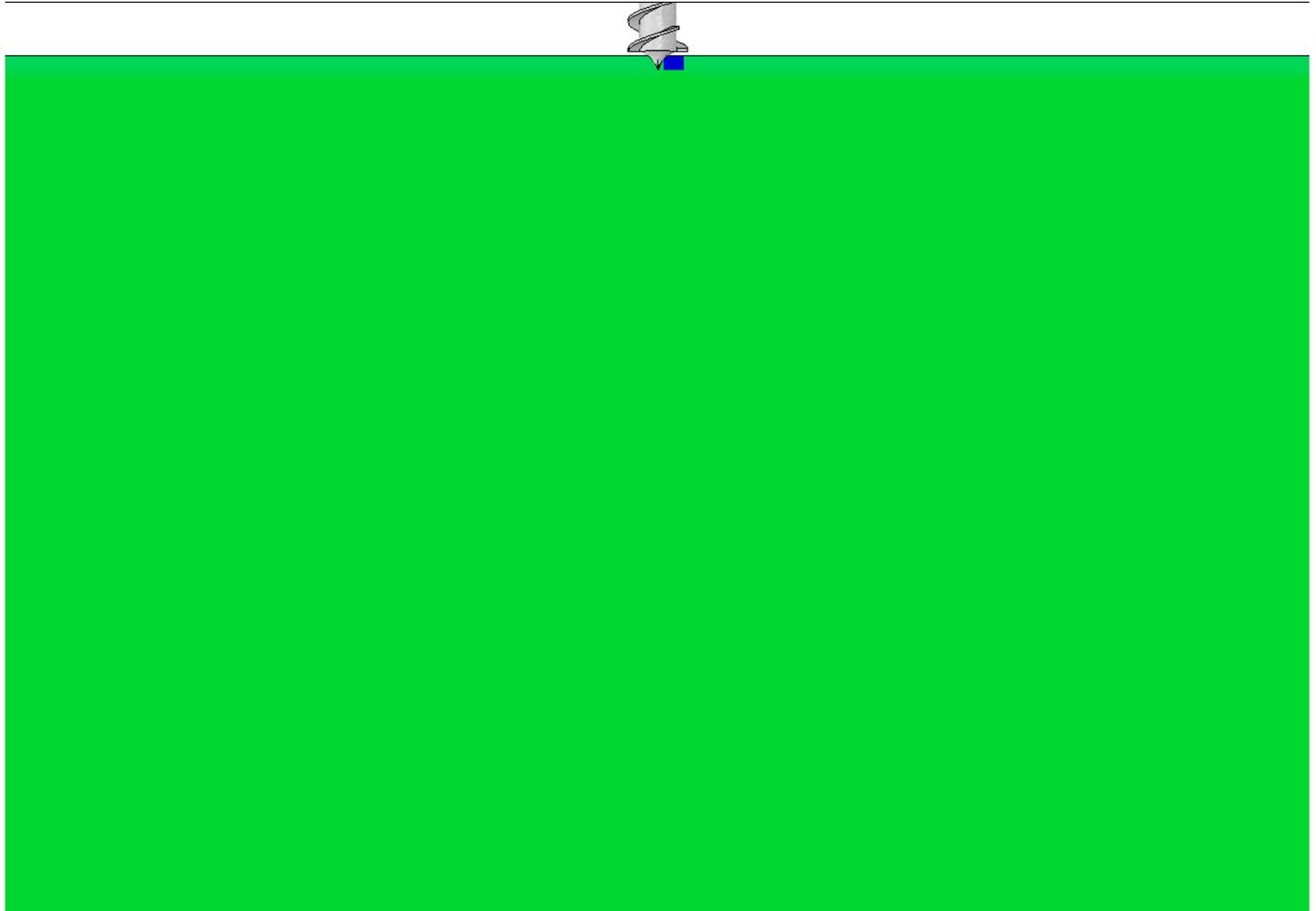
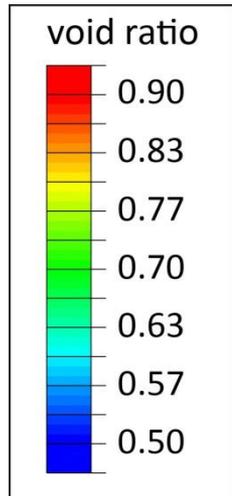
- 3D-FE-Model
- Diameter: 16 m
- Height: 20 m
- Installationstiefe: 6 m
- 163,000 Elemente
- Karlsruher Sand

Numerische Studie

- Variation der Rotations- zu Axialgeschwindigkeit
- Variation of Lagerungsdichte

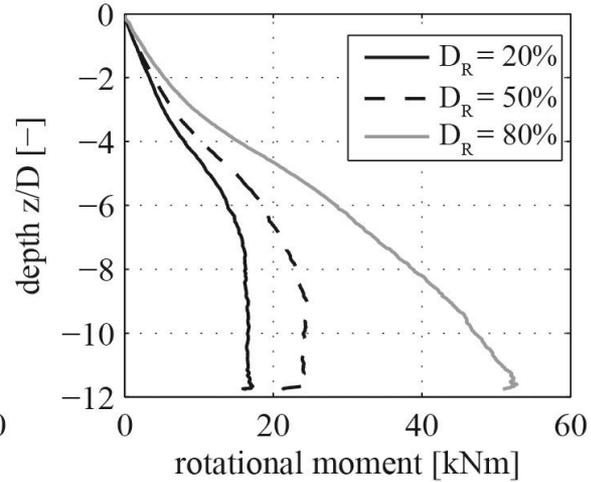
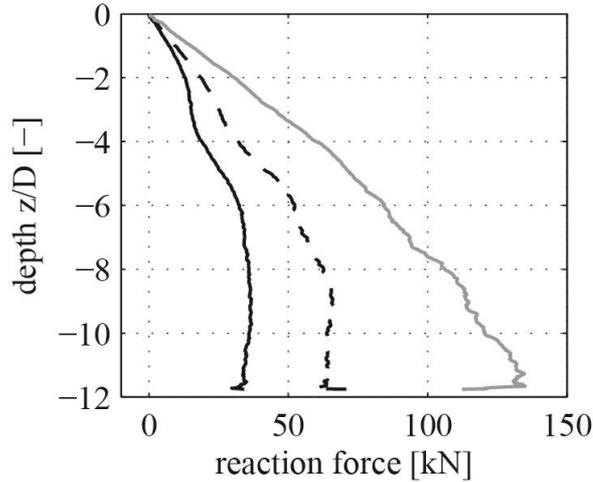


Herstellbedingte Veränderung der Porenzahl

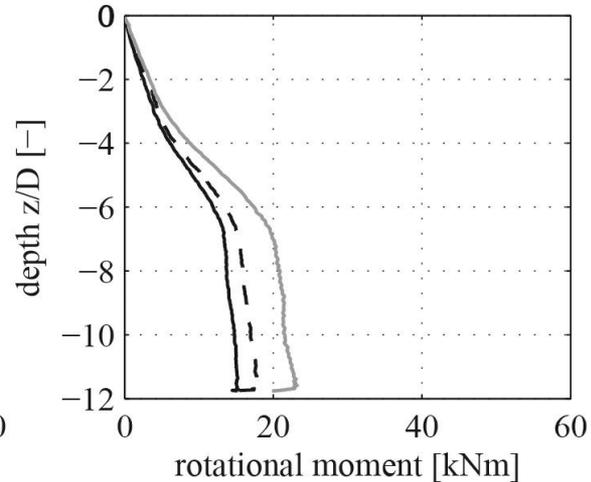
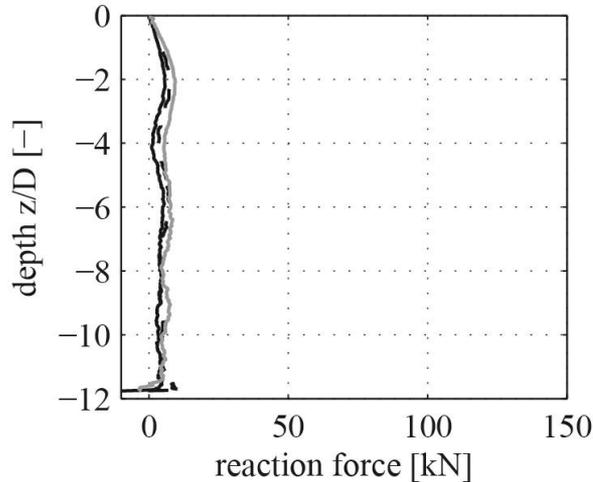


Reaktionskräfte und Drehmoment

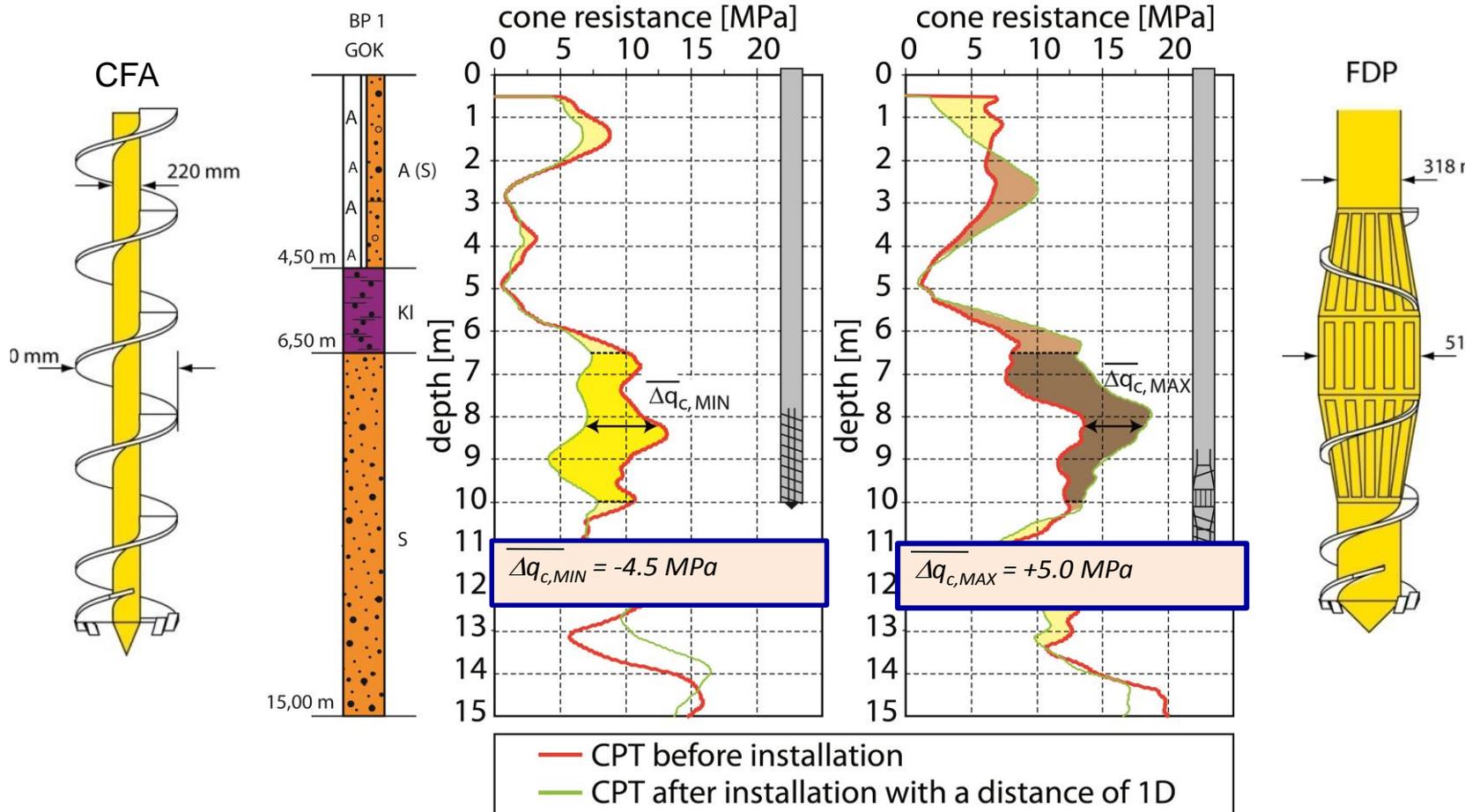
Velocity ratio $\omega/v = 5$:



Velocity ratio $\omega/v = 10$:



Drucksondierergebnisse vor und nach Herstellung

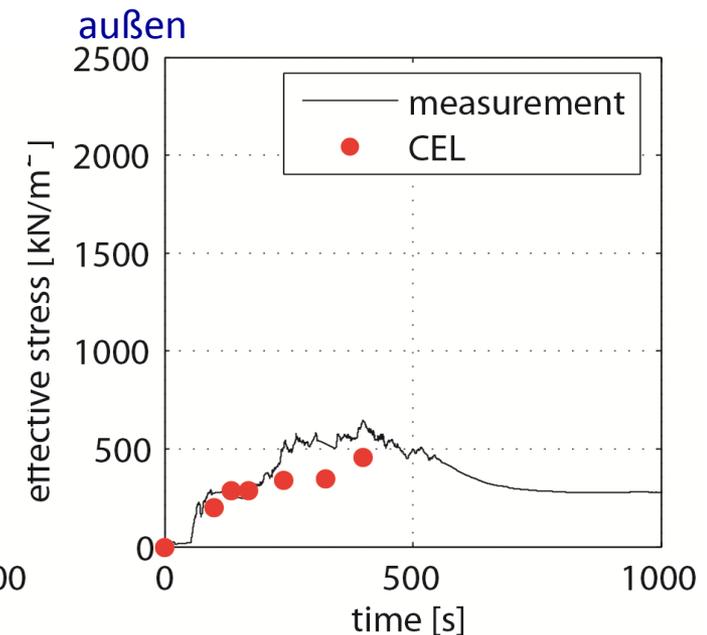
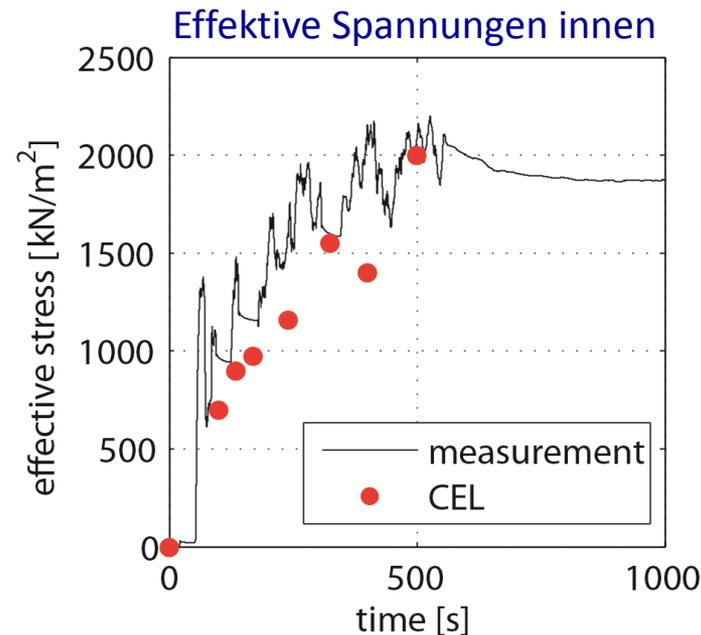
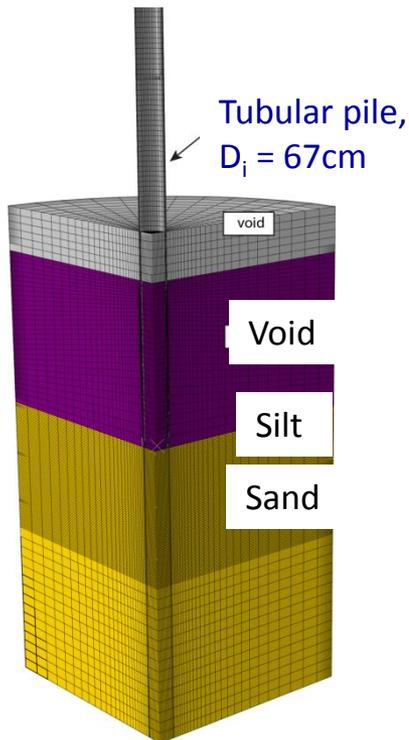


BAUER Maschinenbau, Hohe Schaar, Hamburg

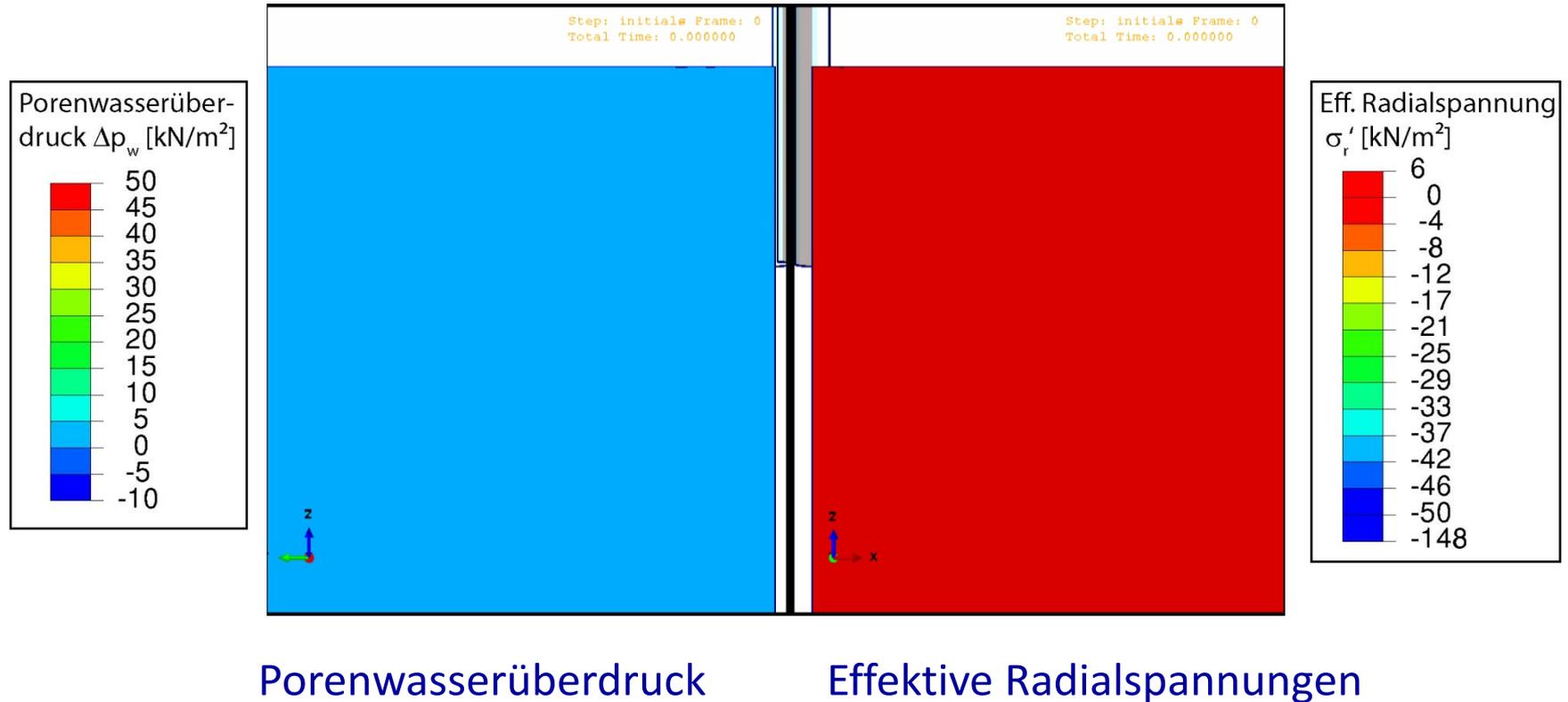
Rohrpfahl

Rohrpfahl in Sand

- Pfropfenbildung bei eingedrückten und geschlagenen Rohren
- Kein Pfropfen bei vibrierten Rohren
- Validierung der Simulationen mittels Messdaten

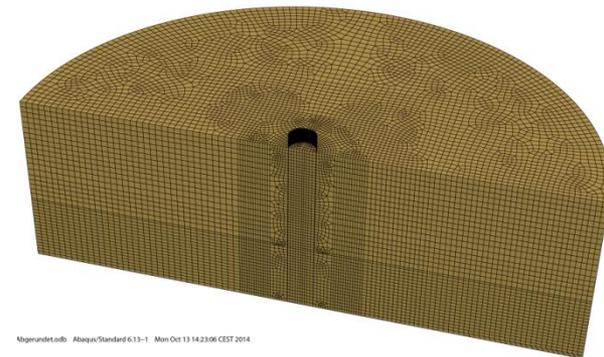
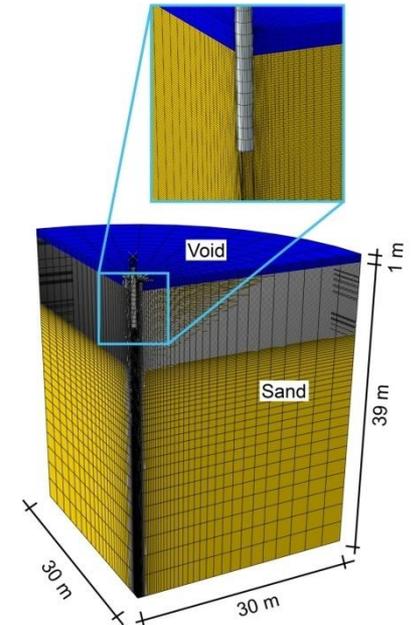


Schlagrammung in Sand unter teildrÄnirten Bedingungen



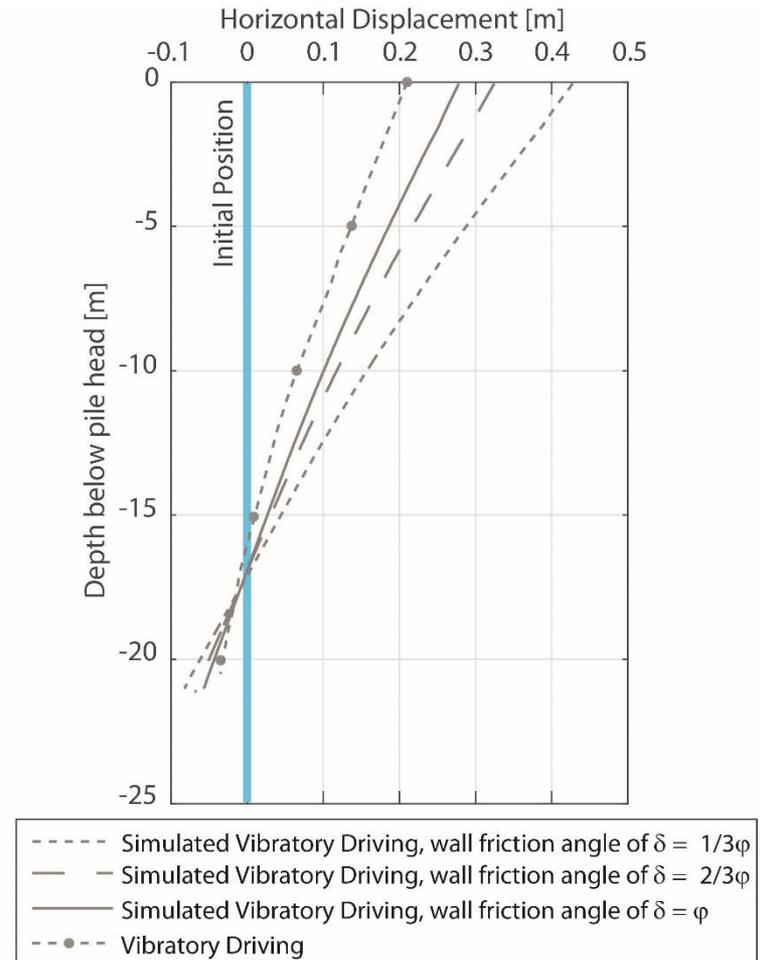
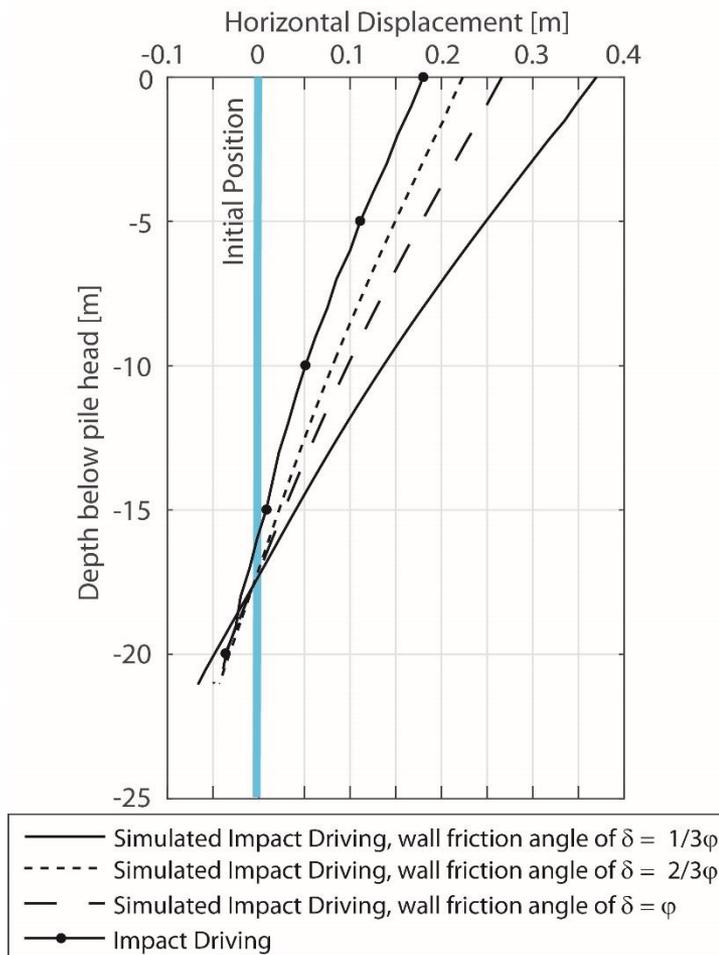
Einfluss der Einbringung auf das laterale Tragverhalten (Versuch in Cuxhaven)

- Numerische Simulation der Pfahleinbringung mittels Coupled Eulerian Lagrangian Methode/Abaqus Explizit
 - Berechnung der Bodenzustandsgrößen während und nach der Einbringung für “vibriert” und “gerammt”
- Übertragung der Zustandsgrößen mittels Matlab
 - Spannungen, Porenzahlen ...
- Numerische Simulation der lateralen, statischen Probelastung mittels Finite Element Method Abaqus/Implizit
 - Simulation der horizontalen Verformung

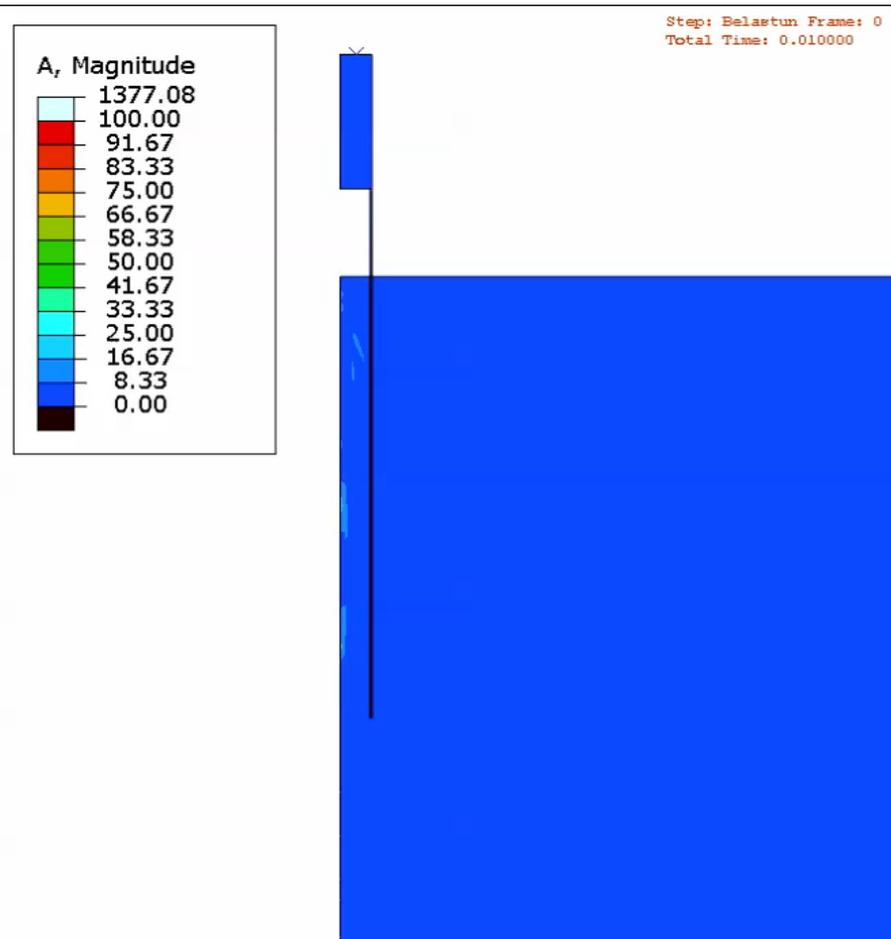


Abgerufen von: Abaqus/Standard 6.13-1 Mon Oct 13 14:23:06 CEST 2014

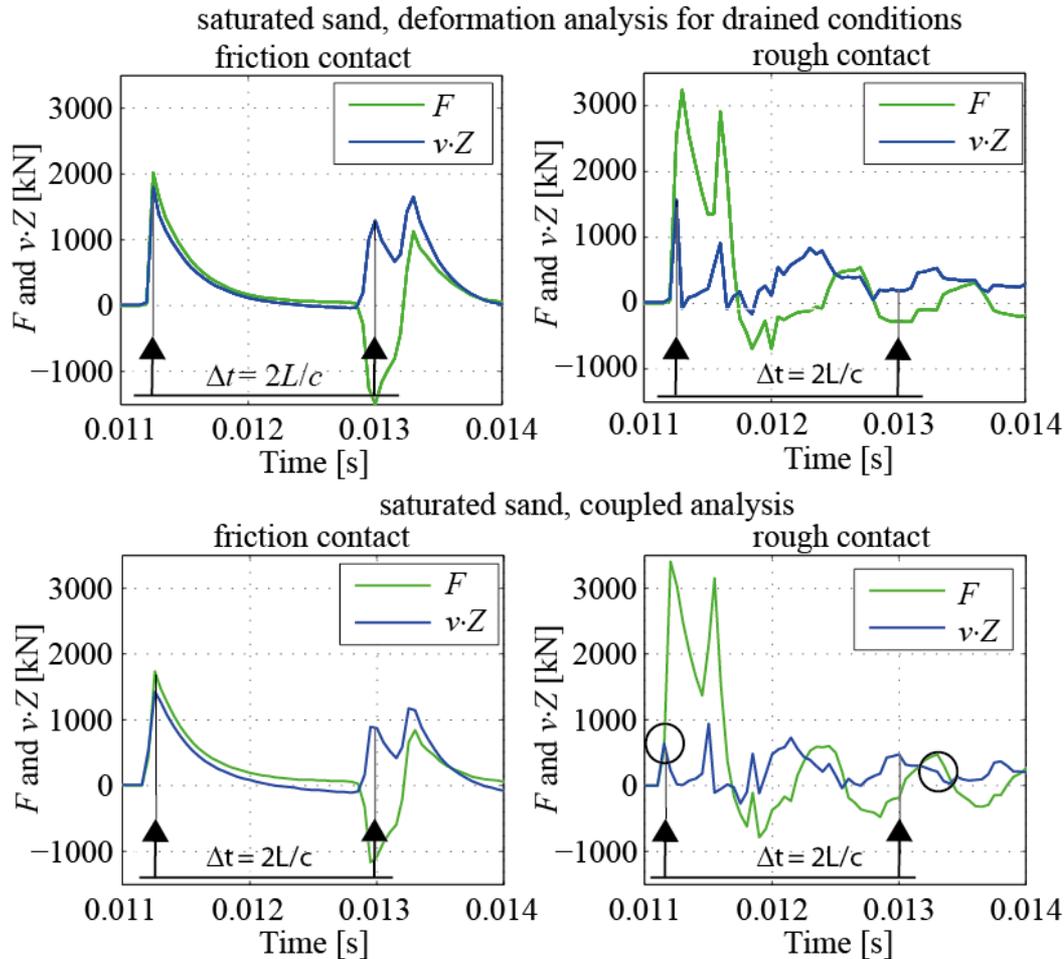
Einfluss der Einbringung auf das laterale Tragverhalten (Versuch in Cuxhaven)



Simulation dynamischer Pfahltest an einem Rohrpfahl in Sand



Simulierte Pfahlkopfsignale



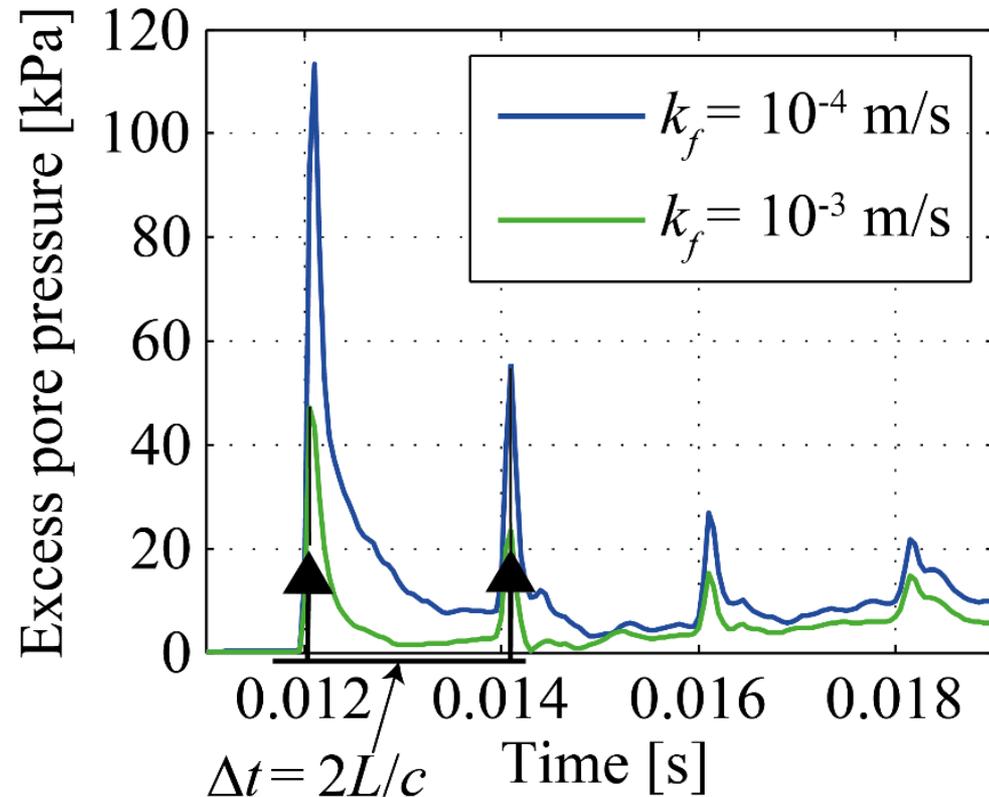
Rauer Kontakt/Reibungskontakt

- Pfropfenbildung hat Einfluß auf die Pfahlkopfsignale
- Unterschied zwischen statischer und dynamischer Pfahlprobelastung

Dränagebedingung

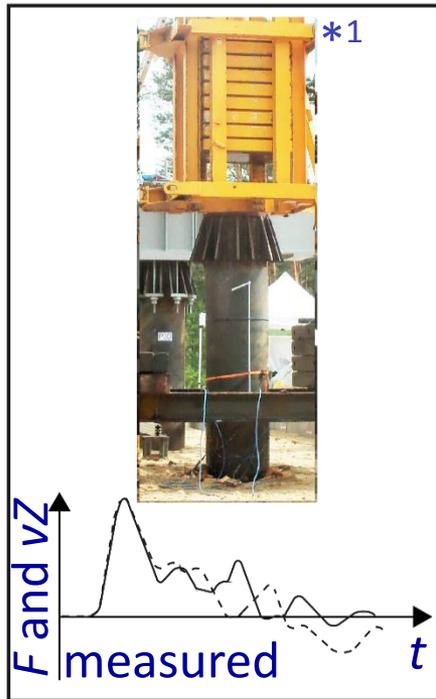
- Sättigungsgrad und Dränagebedingungen haben Einfluß

Simulierter Porenwasserüberdruck am Pfahlfuss



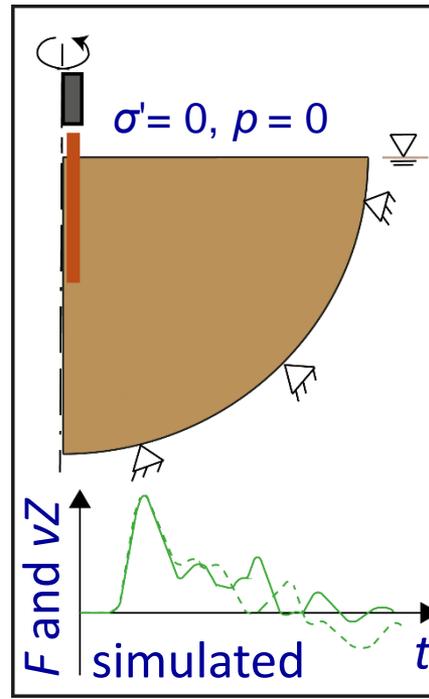
- Je nach Durchlässigkeit des Bodens wird die Kompressionswelle im Profil unterschiedlich reflektiert!

Finite Element basierte Methode zur Auswertung von DPT



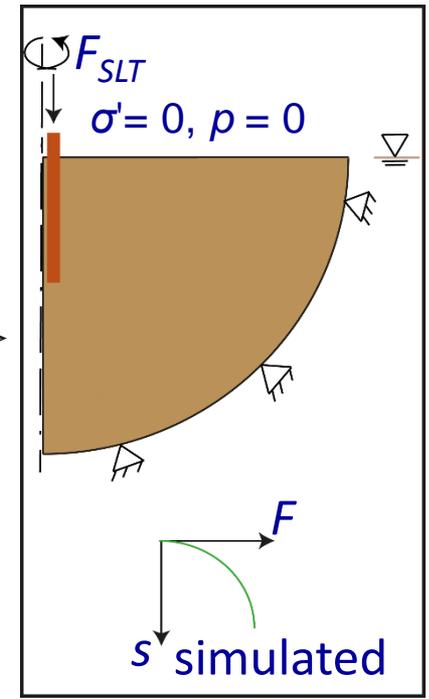
real system

un-
known
para-
meters



numerical model
DLT

Identified
FE-
model

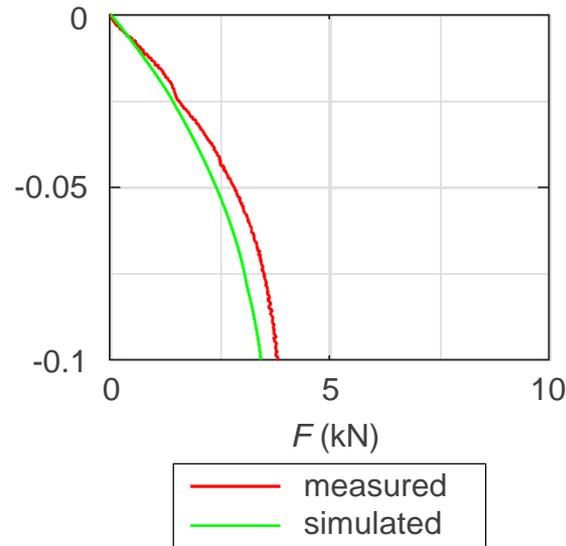


numerical model
SLT

*1 Dynamic load test on the test field Horstwalde of the BAM

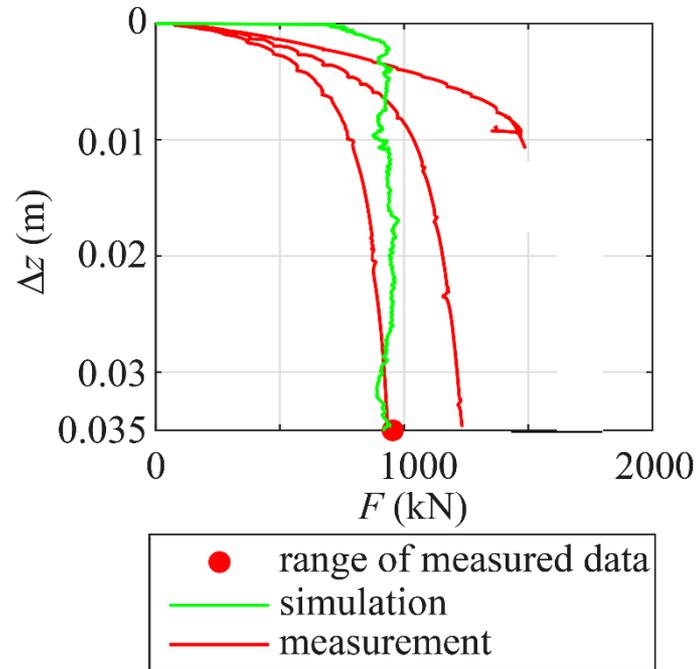
Pfahltests in der Zentrifuge

- Eingedrückter Rohrpfahl in gesättigten, locker gelagerten Sand
- Prototyp: Stahl Monopile, $D_a = 5$ m, Einbindelänge $2D_a$
- Statische Probelastung:

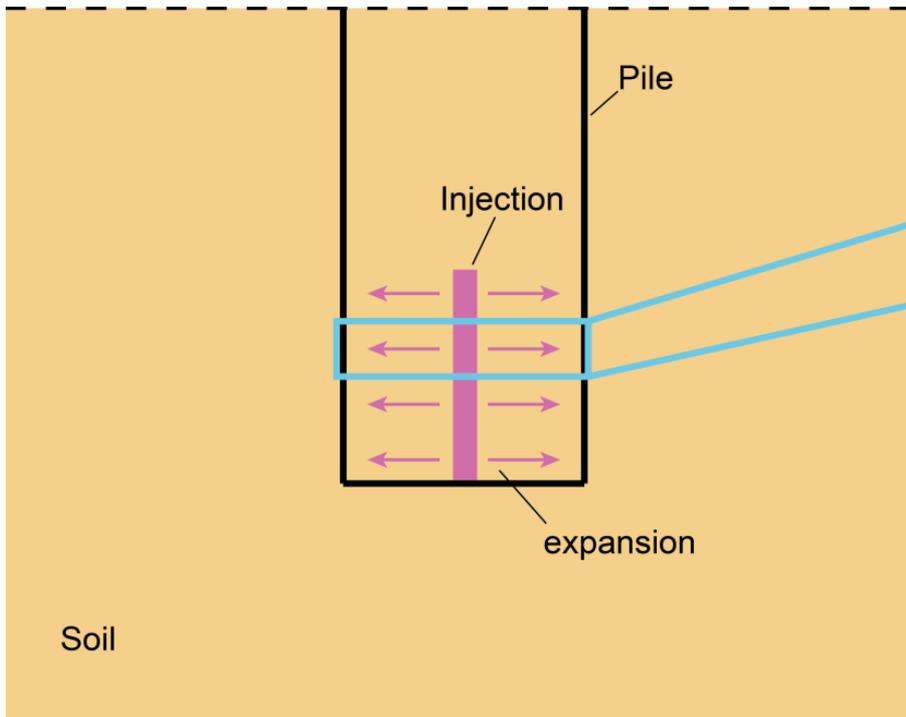


- ✓ Simulierte und gemessene statische Tragfähigkeit stimmt gut überein

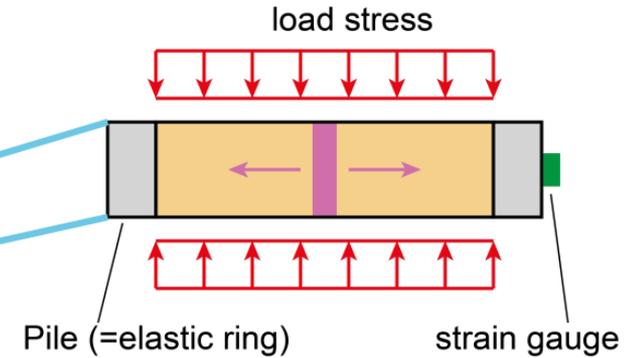
Pfahltests in Horstwalde (BAM)



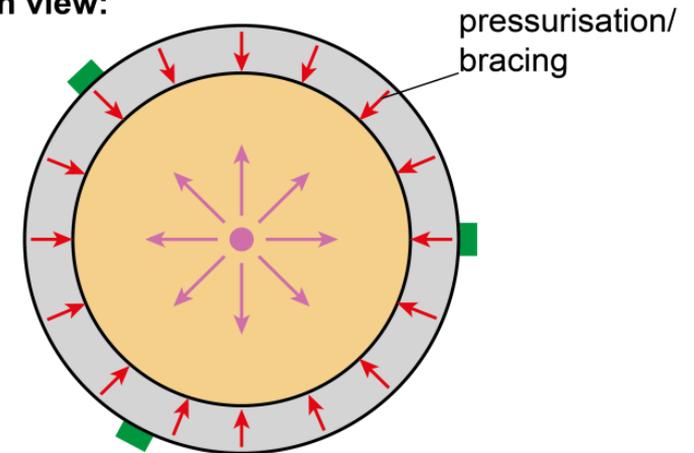
Verpfropfen von einvibrierten Rohren



Detail:



Plan view:

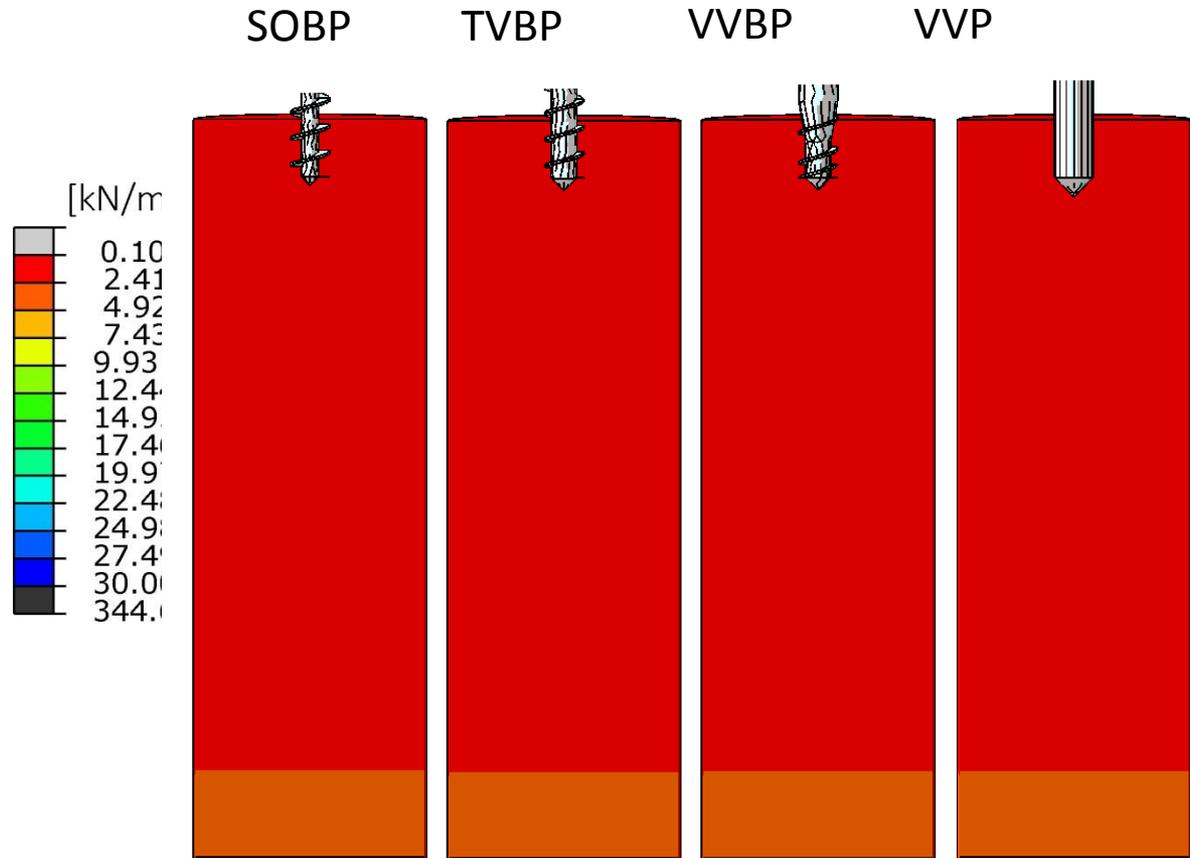


1. EP13182032.6-1604/2706148

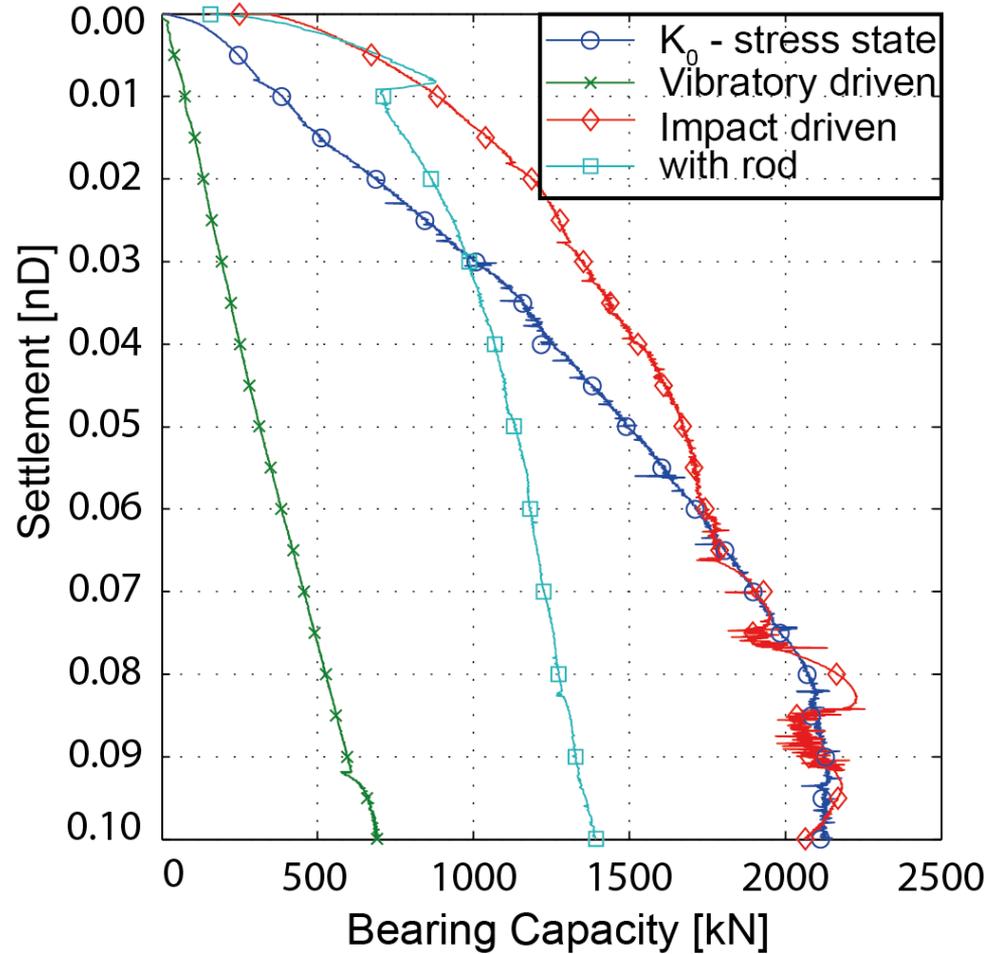
2. EP1485746.6

Verpfropfen von vibrierten Röhren

Radialspannungen für verschiedene Bohrwerkzeuge

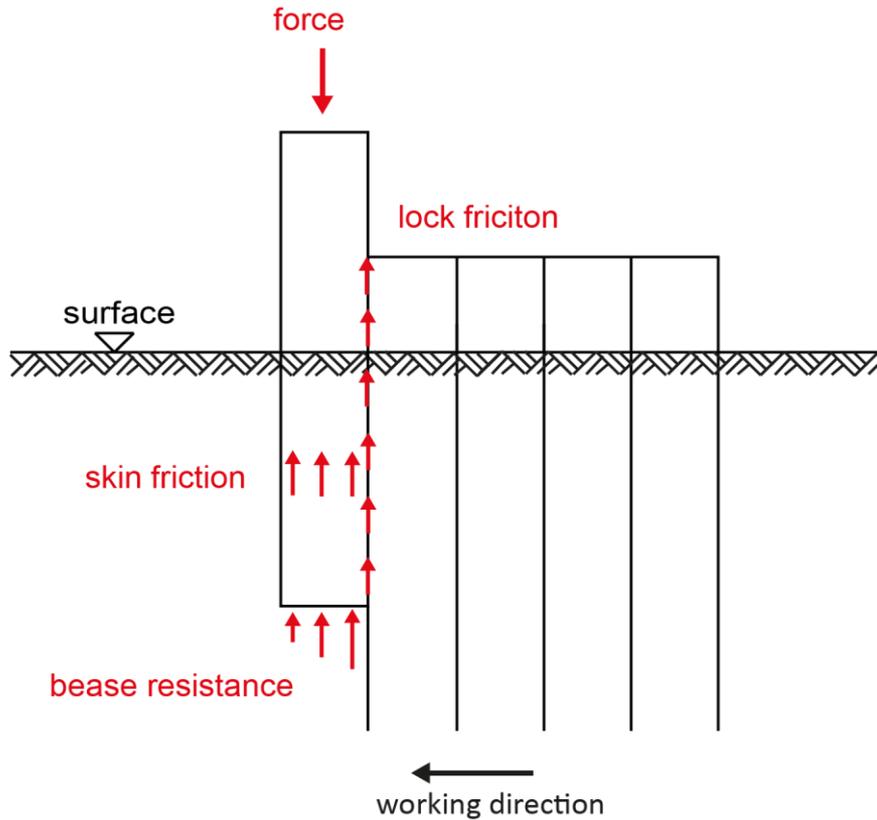


Verpfropfen von vibrierten Röhren

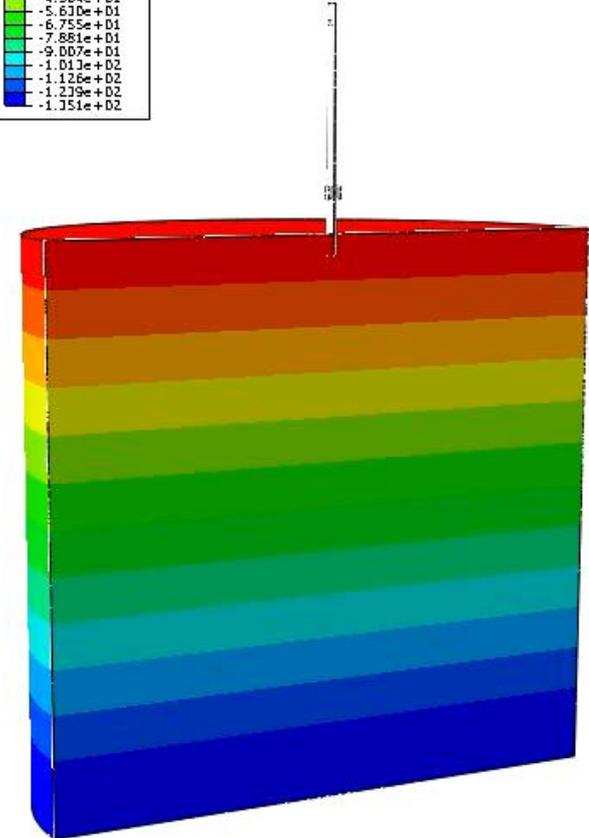
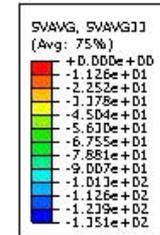
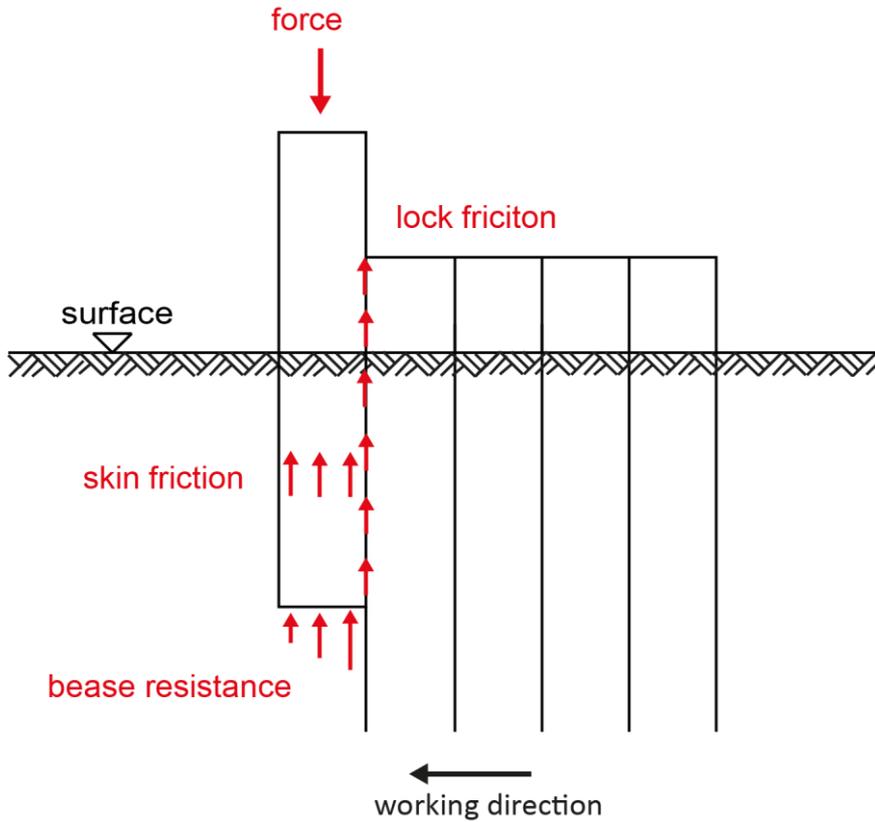


Spundwand

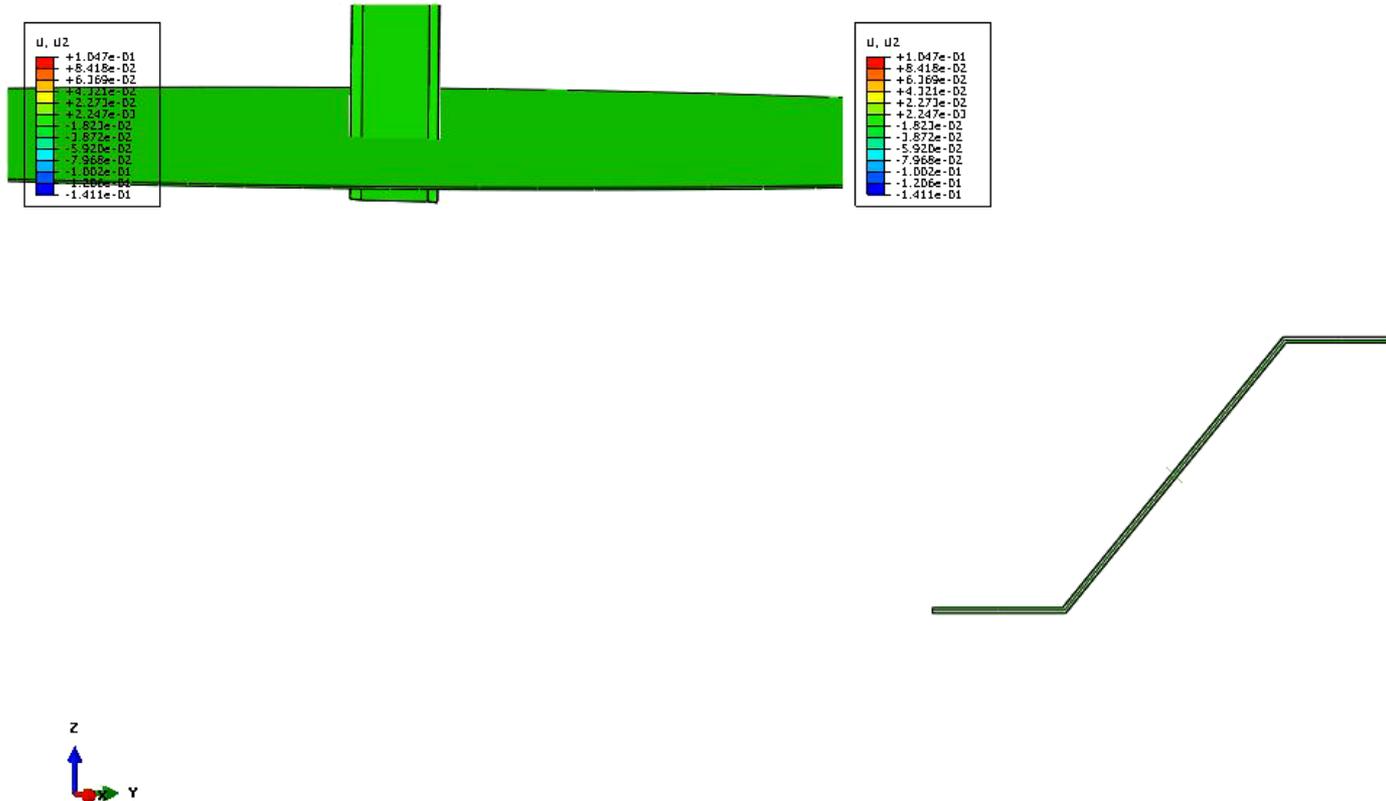
Einpressen von Spundwänden



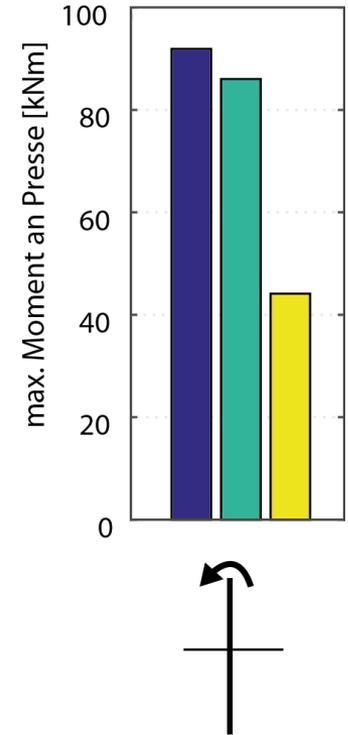
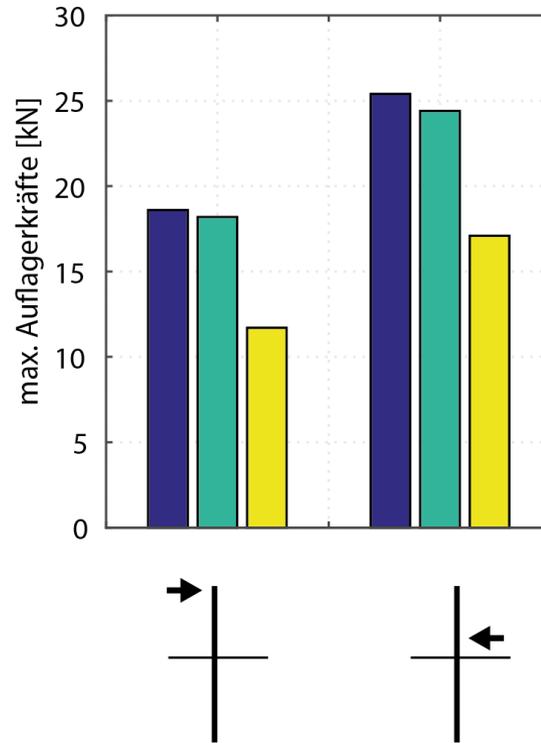
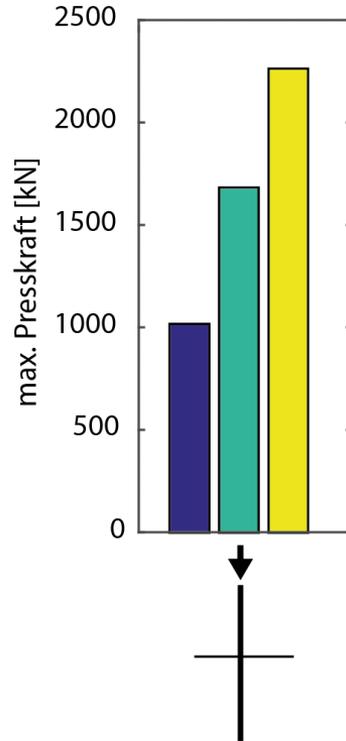
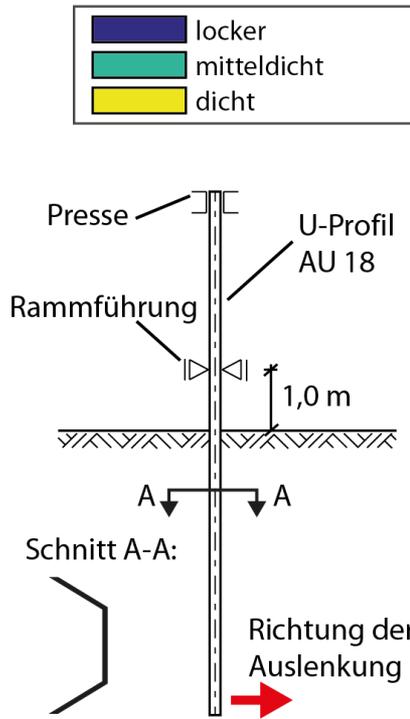
Verspannung der Bohle gegenüber dem Boden



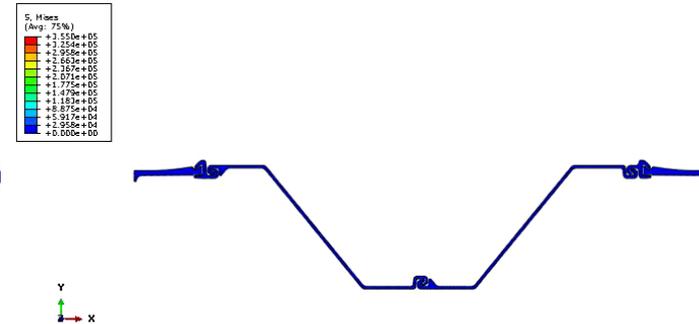
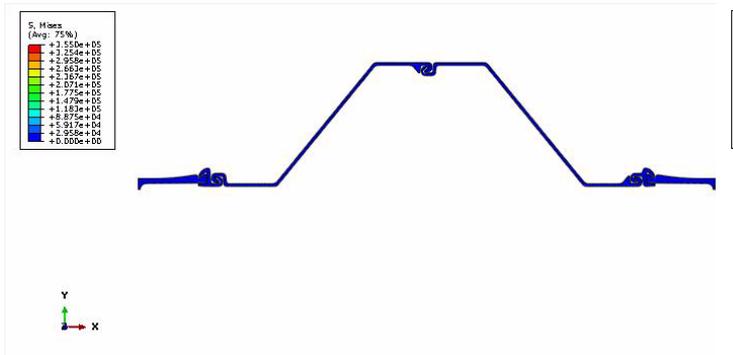
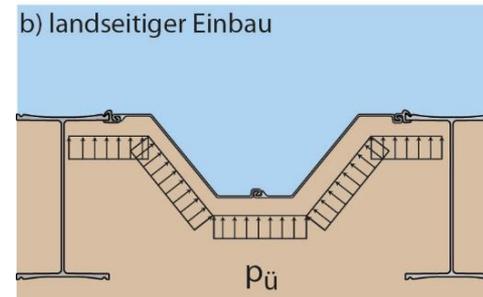
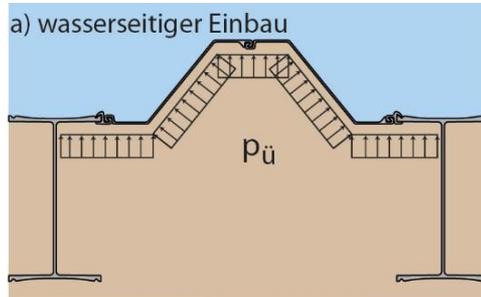
Verdrillen der Bohle beim Eindringen



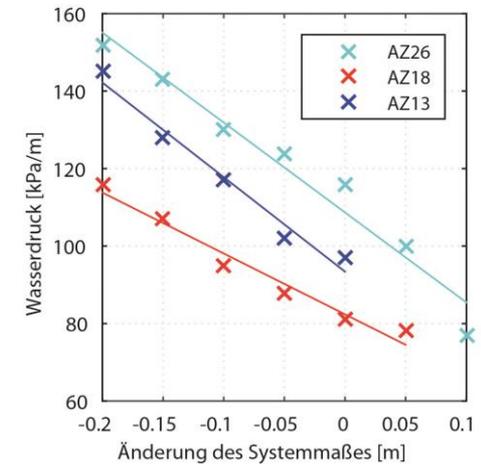
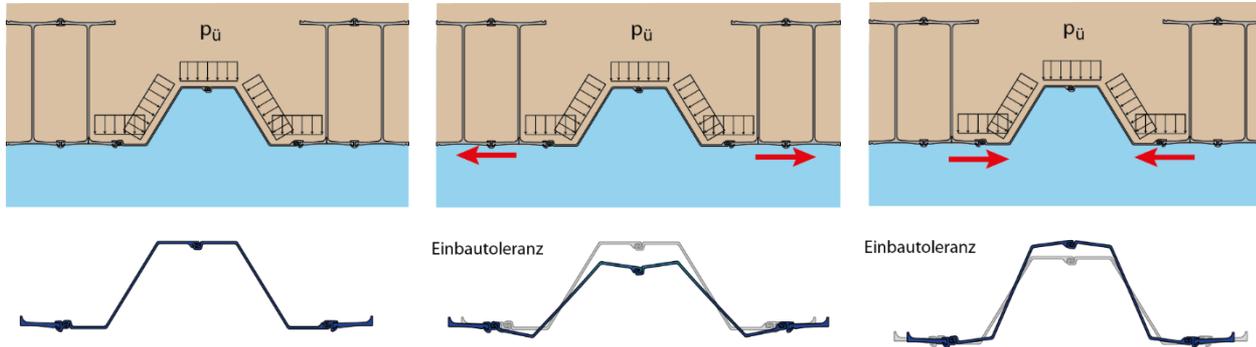
Führungskräfte beim Einpressen von Bohlen in homogenen Sand



Wasserdruck auf Zwischenbohlen



Aufnehmbarer Wasserdruck bei Lageabweichungen



Zusammenfassung

Zusammenfassung

- Die Einbringung von Profilen verändert die Bodenzustandsgrößen und hat damit Einfluss auf die Tragverhalten des Profils
- Numerische Methoden bieten enorme Möglichkeiten Einblick in die dynamischen Prozesse im Boden zu bekommen und führen dadurch vielfach zu einem verbesserten Prozessverständnis
- Damit wird es möglich geotechnische Herstellungsverfahren und -maschinen zielgerichtet zu optimieren

Ausgewählte Referenzen

- Heins E., Grabe J., Bienen B. and M.F. Randolph (2018): Dynamic load tests on large diameter open-ended piles in sand performed in the centrifuge. In: Proceedings of 9th International Conference on Physical Modelling in Geotechnics (ICPMG) in London/UK, A. McNamara et al. (eds.), CRC Press, pp. 749.
- 2018-13 Heins E. and J. Grabe (2018): Numerical simulation of stress waves in tubular piles. In: Proceedings of 10th International Conference on Stress Wave Theory and Testing Methods for Deep Foundations in San Diego/USA
- Osthoff D. (2018): Zur Ursache von Schlosssprengungen und zu einbringbedingten Lageabweichungen von Spundwänden. Dissertation, Veröffentlichungen des Instituts für Geotechnik und Baubetrieb der TU Hamburg, Heft 43
- Osthoff D. und J. Grabe (2018): Deformational behaviour of steel sheet piles during jacking. In: Computers and Geotechnics 101:1-10, DOI: 10.1016/j.compgeo.2018.04.014
- Grabe J., Zobel D., Nagula S. und A. Chmelnitzkij (2017): Zur numerischen Modellierung von dynamischen Randwertproblemen. In: BAWMitteilungen Nr. 101 "Natürliche, künstliche und virtuelle Stoffe in der Geotechnik", S. 59-72, Bundesanstalt für Wasserbau.
- Heins E. und J. Grabe (2017): Class-A prediction of lateral pile deformation with respect to vibratory and impact driving. In: Computers and Geotechnics 86:108-119, DOI: 10.1016/j.compgeo.2017.01.007.
- Heins E., Hamann T., Grabe J. und Hannot S. (2016): Numerical investigation of the influence of the driving frequency during pile installation of tubular piles. In: Geotechnik 39(2):98-109, DOI: 10.1002/gete.20160
- Hamann T. (2015): Zur Modellierung wassergesättigter Böden unter dynamischer Belastung bei großen Bodenverformungen am Beispiel der Pfahleinbringung. Dissertation. Veröffentlichungen des Instituts für Geotechnik und Baubetrieb der TU Hamburg-Harburg, Heft 34.
- Grabe J., Pucker T. (2015): Improvement of bearing capacity of vibratory driven open-ended tubular piles. Proc. of 3rd International Symposium on Frontiers in Offshore Geotechnics 2015 in Oslo (Norway), V. Meyer (ed.), Taylor & Francis Group, London. Vol 1, pp. 551-556.
- Hamann T., Qiu G. und Grabe J. (2014): Application of a Coupled Eulerian-Lagrangian approach on pile installation problems under partially drained conditions. Computers and Geotechnics, 63:279-290.
- Grabe J., Pucker T., Hamann T. und Heins E. (2014): Zur axialen Tragfähigkeit von offenen Profilen in Sand. Tagungsband zur 33. Baugrundtagung 2014 in Berlin, S. 211-218.
- Grabe J., Busch P. und Hamann T. (2014): On the set-up of piles. Proceedings of the ASME 2014 33rd International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering (OMAE) in San Francisco/USA, electronically published under OMAE2014-24433.
- Henke S. and Grabe J. (2013): Field measurements regarding the influence of the installation method on soil plugging in tubular piles. Acta Geotechnica, 8:335-352

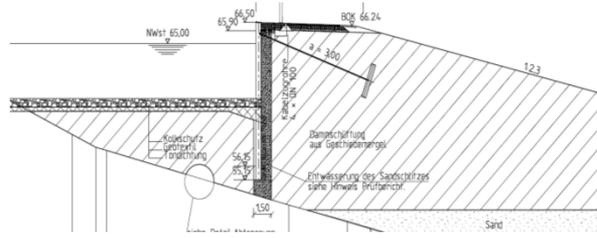


EINBRINGVERFAHREN FÜR SPUNDWÄNDE UND DEREN AUSWIRKUNG AUF DIE TRAGFÄHIGKEIT



DIPL.-ING. KRISTIAN FRÖHLICH – BAW KOLLOQUIUM SEPTEMBER 2018

ZÜBLIN
TEAMS WORK.



1 EINLEITUNG

2 SPUNDWAND IN DESIGNTEM BAUGRUND

3 DIREKTES EINBRINGEN VON SPUNDWÄNDEN IN DEN BAUGRUND



4 EINBRINGEN VON SPUNDWÄNDEN MIT ZUSATZMAßNAHMEN

5 EINSTELLEN VON SPUNDBOHLEN



1

EINLEITUNG

SCHLEUSE UELZEN II



WEHRANLAGE LEWITZ



SPERRWERK GREIFSWALD



MARINEHAFEN WILHELMSHAVEN



TECHNISCHE KRITERIEN FÜR DAS EINBRINGEN VON SPUNDBOHLN

BAUGRUNDAUFSCHLUSS

- Schichtung des Baugrunds
- Korngröße, -form, -verteilung
- Hindernisse Findlinge
- Grundwasser / Wasserspiegel

RAMMGUT

- Spundbohle
- Rohr

EINBRINGVERFAHREN

- Rammen
- Rütteln
- Pressen
- Einstellen / Schlitzen

ÜBERSICHT EINBRINGHILFEN

- Lockerungsbohrungen
- Bodenaustauschbohrungen
- Lockerungssprengungen
- Spülhilfen

UMWELTBELASTUNG

- Lärmimmission
- Vibrationen
- Erschütterungen

WIRTSCHAFTLICHE KRITERIEN FÜR DAS EINBRINGEN VON SPUNDBOHLN

BAUGRUNDAUFSCHLUSS

- Schichtung des Baugrunds
- Korngröße, -form, -verteilung
- Hindernisse Findlinge
- Grundwasser / Wasserspiegel

EINBRINGVERFAHREN

- Rammen
- Rütteln
- Pressen
- Einstellen/Schlitzen

RAMMGUT

- Spundbohle
- Rohr

ÜBERSICHT EINBRINGHILFEN

- Lockerungsbohrungen
- Bodenaustauschbohrungen
- Lockerungssprengungen
- Spülhilfen

UMWELTBELASTUNG

- Lärmimmission
- Vibrationen
- Erschütterungen

TRÄGERGERÄTE / ARBEITSRAUM

- an Land
- über dem Wasser



2

SPUNDWAND IN DESIGNTEM BAUGRUND

SPUNDWAND IN UNGESTÖRTEM BAUGRUND



ANWENDUNG

- -Ggf. höherer Aufwand in Erdbau
- +Rammgerät kann optimal auf den Boden eingestellt werden
- +Hohe Leistung beim Rammfortschritt
- +Keine Hindernisse

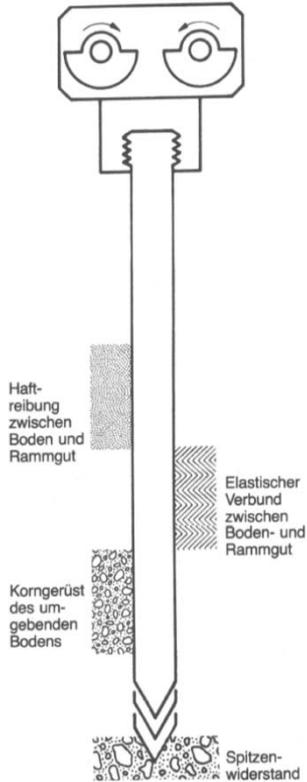


An aerial photograph of a large-scale construction project in a harbor. The image shows a large, rectangular area of land being reclaimed or reinforced, surrounded by deep blue water. In the foreground, several large construction barges and cranes are visible, along with long, narrow structures extending into the water. The background shows a city skyline with various buildings and infrastructure. A semi-transparent grey box is overlaid on the center of the image, containing the main title and a red circle with the number 3.

3

DIREKTES EINBRINGEN VON SPUNDWÄNDEN IN DEN BAUGRUND

VIBRATIONSVERFAHREN



WIRKUNG DES VIBRATIONSVERFAHRENS

- Versetzung des Bodens in einen pseudoflüssigen Zustand

EINFLUSS AUF DEN BAUGRUND

- Übertragung der Beschleunigung des Rammgutes auf den umgebenden Boden bewirkt die Umlagerung des Korngerüsts und setzt die Korn zu Kornreibung und reduziert damit die Bodenwiderstände.
- bei verdichtungsfähigem Boden sehr starke Verfestigung möglich

VIBRATIONSVERFAHREN



BODENBESCHAFFENHEIT FÜR DAS VIBRATIONSVERFAHREN

geeignet	bedingt geeignet	nicht geeignet
Schlick (breiig bis weich)	Löß (seif)	Ton (steif bis fest)
Lehm (breiig bis weich)	Lehm (steif)	Mergel (steif)
Sand (rund)	Sand (eckig)	Sand (eckig, trocken)
Kies (rund bis ca. 50mm)	Kies (eckig bis 100mm)	Kies (größer 100mm / Bindigen Bestandteilen)

ZIEHEN MIT VIBRATOREN



WIRKUNG DES VIBRATORS

- Lösen des Rammguts vom Baugrund
- Versetzung des Bodens in einen pseudoflüssigen Zustand
- Überbeanspruchung des Rammguts durch Vibrationsenergie oder Eigengewicht

Schleuse Uelzen II

EINPRESSVERFAHREN



WIRKUNG DES EINPRESSVERFAHRENS

- Hydraulische Pressenkraft und Reaktionskraft

EINFLUSS AUF DEN BAUGRUND

- Verfestigung nur im unmittelbaren Nahbereich der Bohle

BODENBESCHAFFENHEIT FÜR EINPRESSVERFAHREN

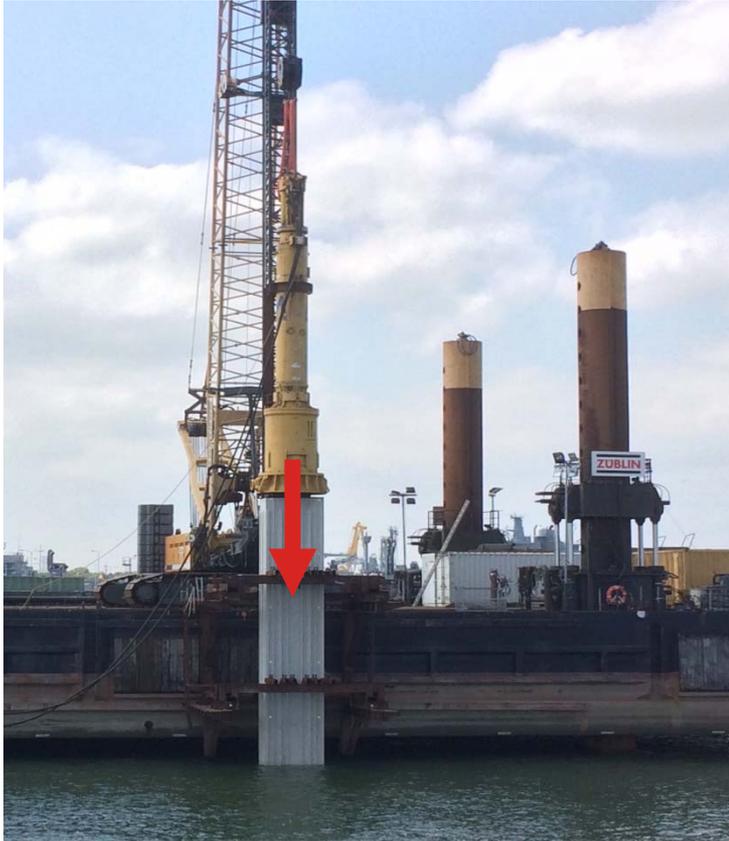


Wehranlage Lewitz

BODENBESCHAFFENHEIT FÜR DAS EINPRESSVERFAHREN

geeignet	bedingt geeignet	nicht geeignet
Schluff (weich bis halbfest)	Schluff (fest)	dicht gelagerte Böden mit Steineinlagerung
Ton (weich bis halbfest)	Ton (fest)	
Sand (locker bis mitteldicht)	Sand (mitteldicht bis dicht)	Sand (sehr dicht)
Kies (locker bis mitteldicht)	Kies (mitteldicht bis dicht)	Kies (sehr dicht)

RAMMVERFAHREN



WIRKUNG DES RAMMVERFAHRENS

- Vertikale Kraftkomponente aus
 - Rammenergie $W = G \times h$
 - Kinetische Energie $W = \frac{1}{2} \times m \times v^2$

EINFLUSS AUF DEN BAUGRUND

- Verfestigung nur im unmittelbaren Nahbereich des Rammgutes
bis
- Starke Ausbildung des Spitzendrucks und Verdichtung des Bodens

RAMMVERFAHREN

FREIFALL- ODER HYDRAULIKBÄREN / DIESELBÄREN

- bis zu 60 Schläge pro Minute
- besonders geeignet bei bindigen Böden, können aber auch bei fast allen anderen Böden eingesetzt werden.
- Mittelschwere und schwere Rammung

HYDRAULIK- ODER DRUCKLUFTHÄMMER

- 100 bis 400 Schläge pro Minute
- werden bei rolligen oder leicht bindigen Bodenarten eingesetzt.
- Leichte Rammung

RAMMVERFAHREN



Wehranlage Lewitz

BODENBESCHAFFENHEIT FÜR DIE UNTERSCHIEDLICHEN RAMMVERFAHREN

leichte Rammung	mittelschwere Rammung	schwere Rammung
Moor, Torf Schlick, Klei	Mittel-, Grobsand Feinkies	Fein-, Mittel-, Grobkies Feinsand (dicht gelagert)
Mittel-, Grobsand Kies (locker gelagert)	Ton, Lehm (steif)	Schluff, Lehm, Ton (halbfest bis fest) Geschiebemergel

RAMMEN IN BÖDEN MIT GERINGER FESTIGKEIT



DURCHFALLENDE RAMME

- Gefahr für die Rammmannschaft
- Materialüberbeanspruchung der Geräte
- Maßgenauigkeit beim Rammvorgang kann nicht mehr kontrolliert werden.

- Lösung ist die Kombination aus vibrieren und rammen



4

EINBRINGEN VON SPUND- WÄNDEN MIT ZUSATZMAßNAHMEN

ÜBERSICHT EINBRINGHILFEN

- **Auflockerungsbohrungen**
- **Bodenaustauschbohrungen**
- **Spülhilfen - Nieder- und Hochdruckspülen**
- **Lockerungssprengungen**
- **Einstellen von MIP-Wänden (Mixed in Place)**
- **Einstellen in DSV-Wände (HDI)**

AUFLOCKERUNGSBOHRUNGEN



UVH Schleuse Uelzen



GERÄT

- Bohrschnecke an Baggervorbaugerät oder auch mäklergeführt am Rammgerät

EINSATZ

- Bohrungen erfolgen in der Regel aufgelöst im Spundwandraster
- einsetzbar in allen rolligen und bindigen Böden ohne Hindernisse
- Bohrungen können auch zur Sondierung von Hindernissen genutzt werden
- Einsatz bei gespanntem Grundwasser sollte vermieden werden



AUFLOCKERUNGSBOHRUNGEN



Wehranlage Lewitz



WIRKUNG DES AUFLOCKERNS

- Lokale Entnahme von Material und damit Entspannung des Bodens

EINFLUSS AUF DEN BAUGRUND

- Verfestigung des Bodens erfolgt in der Regel wieder mit dem Einbringen des Rammguts.

RÄUMUNGSBOHRUNG



Wehranlage Lewitz

WIRKUNG DER RÄUMUNGSBOHRUNG

- Vollständige Entnahme des Bodens und Wiederverfüllung

VERFÜLLMATERIAL

- Nutzung des anstehenden Bodens
- Bodeneigenschaften im Bauprozess und Endzustand prüfen
- Wechselwirkung zwischen verfülltem Material und anstehendem Boden untersuchen
- Verfüllung der Räumungsbohrung für besondere Eigenschaften möglich

EINFLUSS AUF DEN BAUGRUND

- Neue Eigenschaft des verfüllten Bodenmaterials

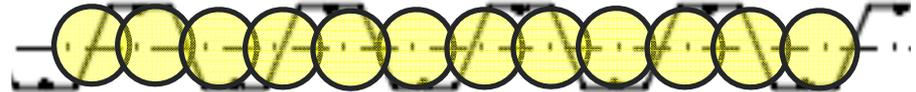
AUSTAUSCHBOHRUNGEN DN 400 – SPERRWERK GREIFSWALD



Sperrwerk Greifswald

ANFORDERUNG

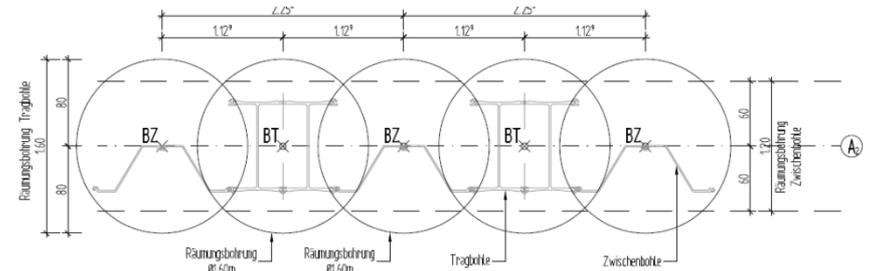
- Einspannung der Spundbohle im Boden
- Räumungsbohrung DN 400 zur Beseitigung von Hindernissen im Mergelboden
- Rammung der Spundbohlen in der Räumungsbohrung



AUSTAUSCHBOHRUNGEN DN 1800/1600 – MARINEHAFEN WHV



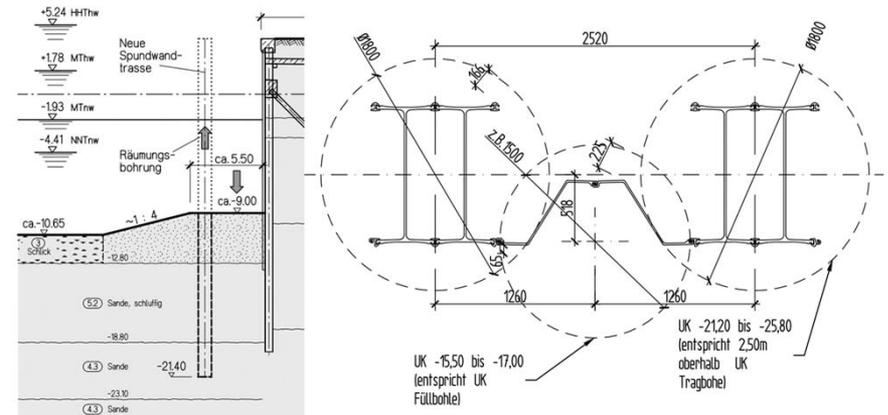
Marinehafen Wilhelmshaven



AUSTAUSCHBOHRUNGEN DN 1800/1600 – MARINEHAFEN WHV



Marinehafen Wilhelmshaven



AUSTAUSCHBOHRUNGEN DN 1800/1600 – MARINEHAFEN WHV

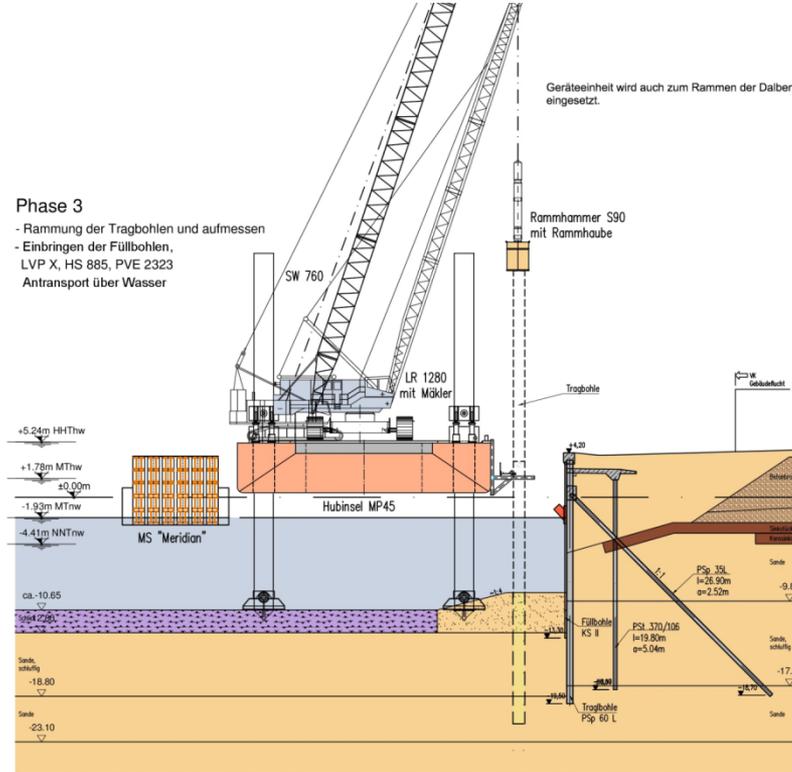


Marinehafen Wilhelmshaven

RAMMARBEITEN – MARINEHAFEN WHV

Phase 3

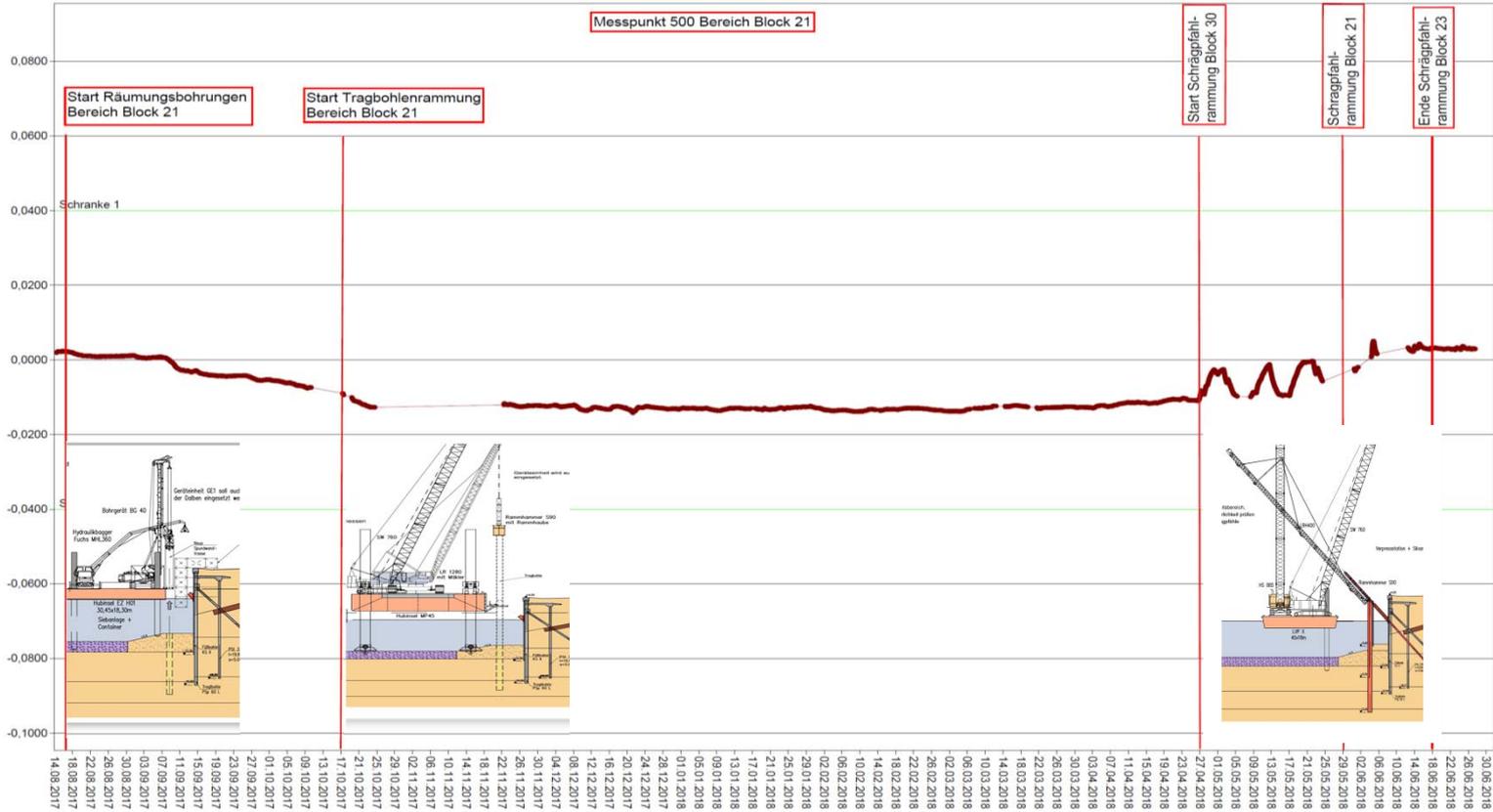
- Rammung der Tragbohlen und aufmessen
- Einbringen der Füllbohlen, LVP X, HS 885, PVE 2323
- Antransport über Wasser



RAMMUNG NACH EINER RÄUMUNGSBOHRUNG

- Stellen der Spund- oder Tragbohlen mit Vibrator in eine Rammführung
- Einbringen der Spund- oder Tragbohlen erst mit Vibrator
- Nachrammen mit auf Endtiefe

SETZUNGEN DER BESTANDSKAJE- MARINEHAFFEN WHV

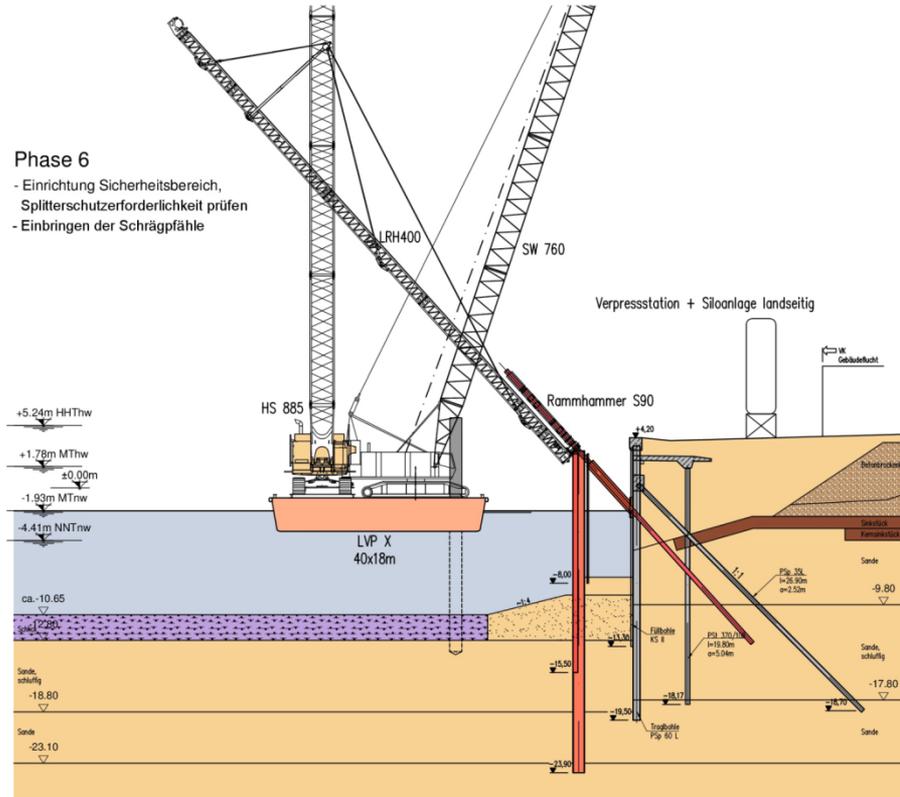


Marinehafen Wilhelmshaven

SCHRÄGPFÄHLRAMMARBEITEN– MARINEHAFEN WHV

Phase 6

- Einrichtung Sicherheitsbereich, Splitterschutzerfordlichkeit prüfen
- Einbringen der Schrägpfähle



VOLLVERDRÄNGER PFÄHLE ALS ZUGPFAHL

- vollständige Verdrängung des Bodens
- Mörtelverpressung



Marinehafen Wilhelmshaven

SCHRÄGPFÄHLRAMMARBEITEN– MARINEHAFFEN WHV



Marinehafen Wilhelmshaven



GERÄTETECHNIK

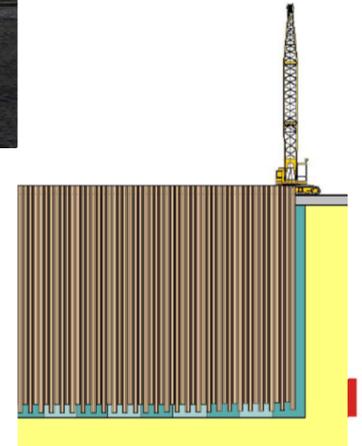
- Hängemäkler / Schwingmäkler
- Trägergerät Baggerfahrgestell / Selbstfahrer

5

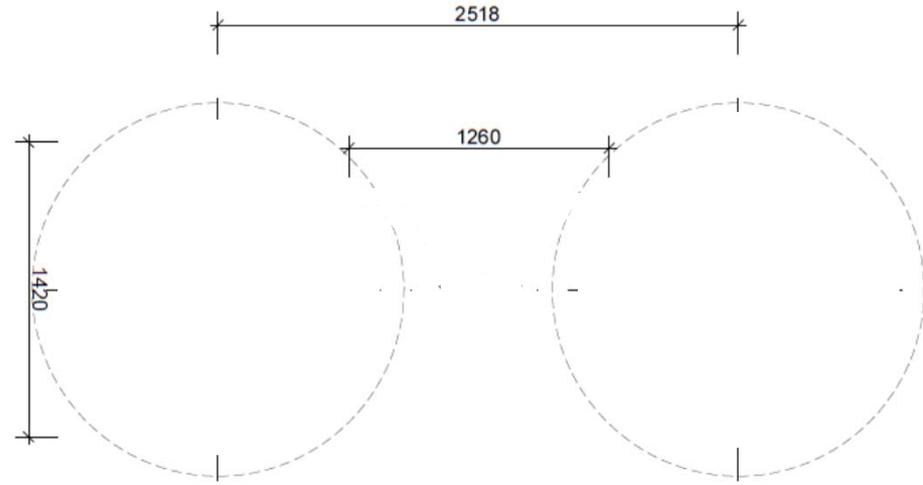
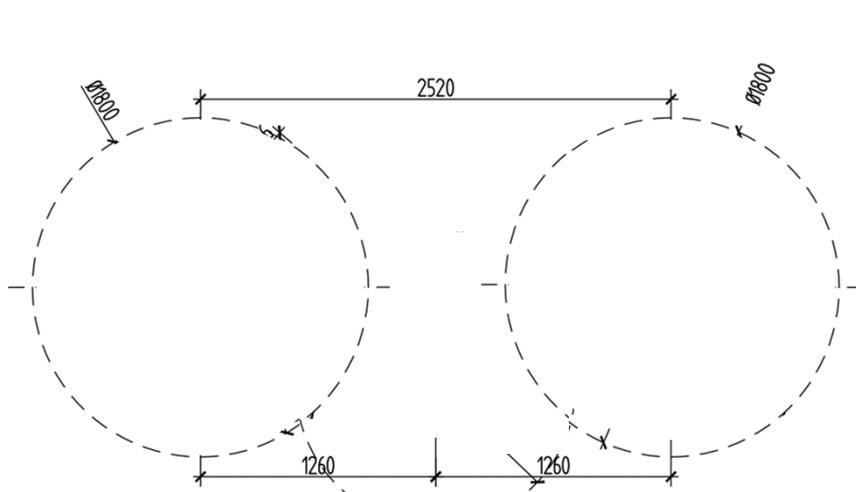
EINSTELLEN VON SPUNDBOEHLEN



EINSTELLEN VON SPUNDBOEHLEN



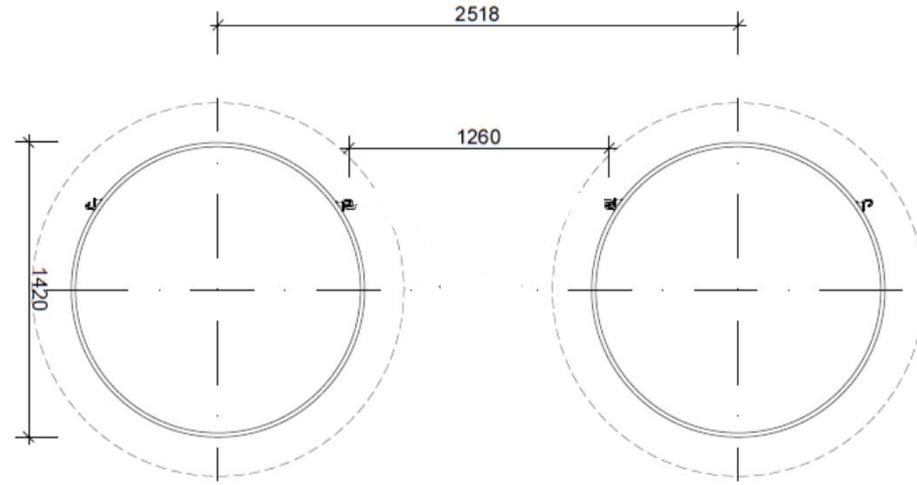
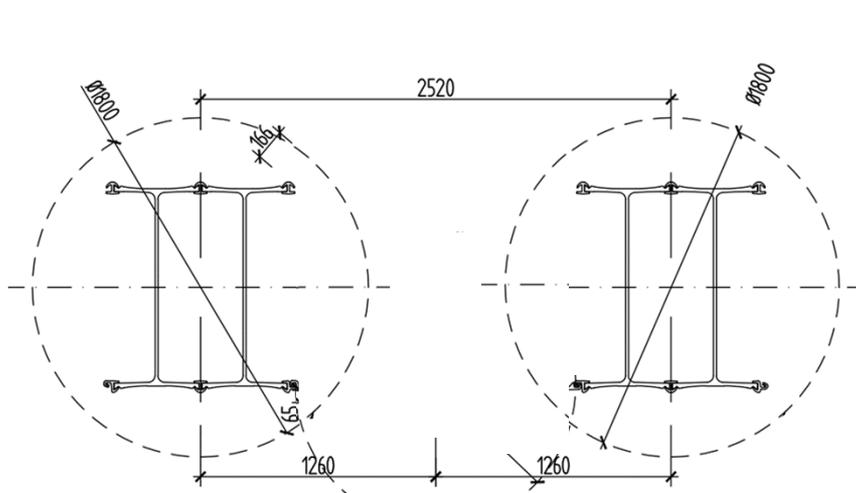
EINSTELLEN VON SPUNDBOHLEN / TRAGROHREN



ABLAUF

- Herstellung der Räumungsbohrung

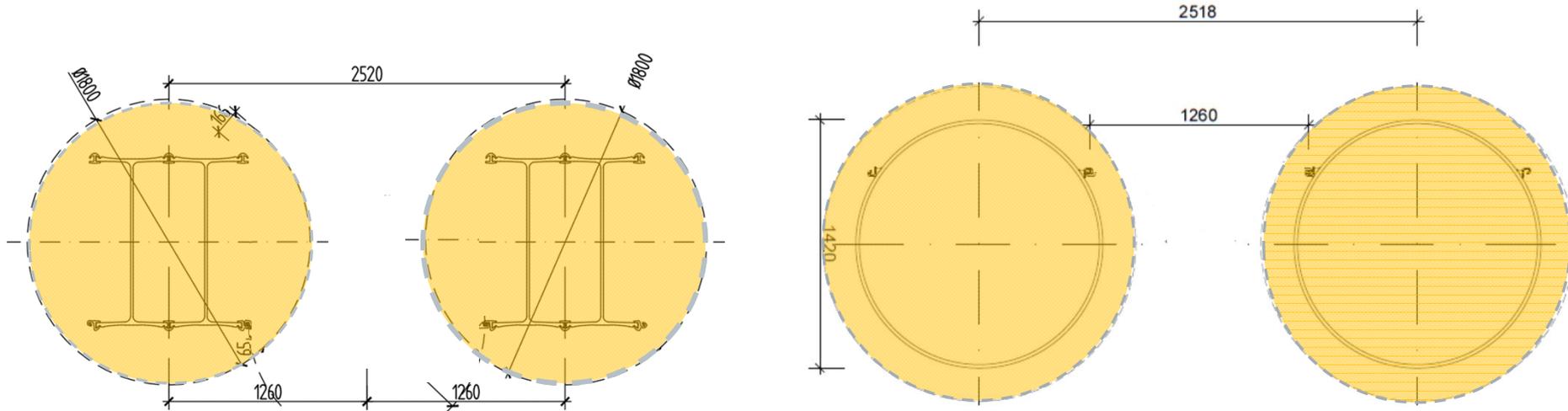
EINSTELLEN VON SPUNDBOHLEN / TRAGROHREN



ABLAUF

- Herstellung der Räumungsbohrung
- Einstellen einer Tragbohle oder eines Tragrohrs

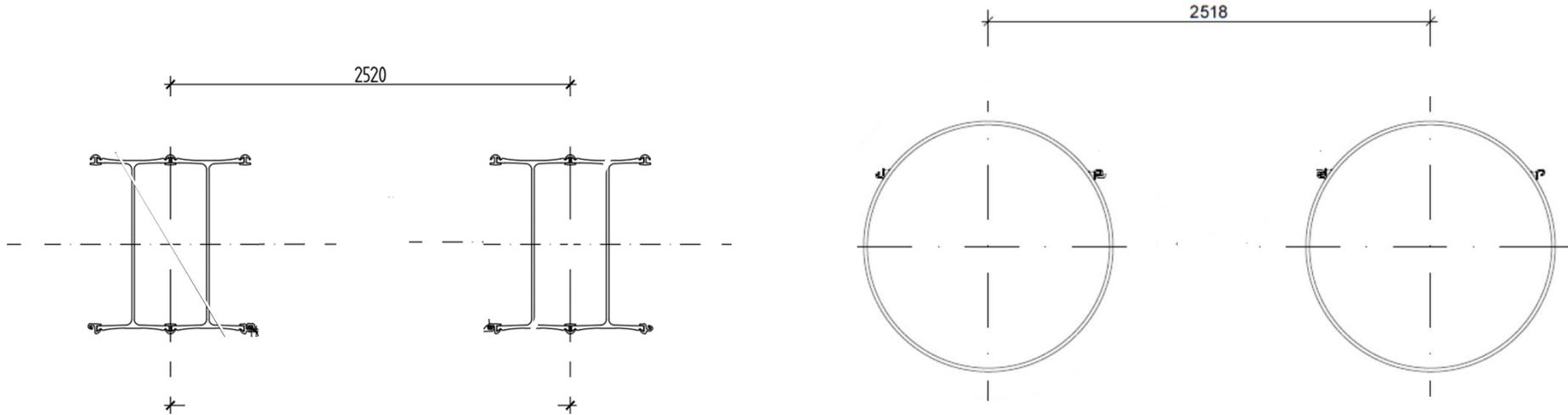
EINSTELLEN VON SPUNDBOHLEN / TRAGROHREN



ABLAUF

- Herstellung der Räumungsbohrung
- Einstellen einer Tragbohle oder eines Tragrohrs
- Verfüllen der Räumungsbohrung mit Sand o.ä.

EINSTELLEN VON SPUNDBOHLEN / TRAGROHREN



ABLAUF

- Herstellung der Räumungsbohrung
- Einstellen einer Tragbohle oder eines Tragrohrs
- Verfüllen der Räumungsbohrung mit Sand o.ä.
- Ziehen der Verrohrung und Einbau der Zwischenbohle



DANKE FÜR DIE AUFMERKSAMKEIT



ZÜBLIN
TEAMS WORK.

Veranstaltung:

BAWKolloquium

Baumaschinen – Baugrund – Wechselwirkung

Der Einfluss von Herstellprozessen auf die Standsicherheit und Tragfähigkeit

Thema:

Beeinflussung der Tragfähigkeit von Verpressankern/Mikropfählen
durch den Herstellungsprozess

Vortragender:

Dipl.-Ing. Herbert Neidhardt

(Inhaber und Geschäftsführer der Neidhardt Grundbau GmbH)



Vorstellung des Unternehmens



Firma:
Neidhardt Grundbau GmbH

Rubberstraße 27 · 21109 Hamburg

mit high-tech grundsicher®

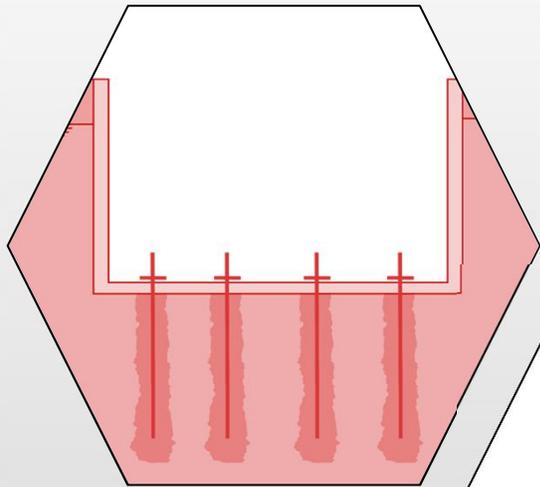


Leistungsübersicht

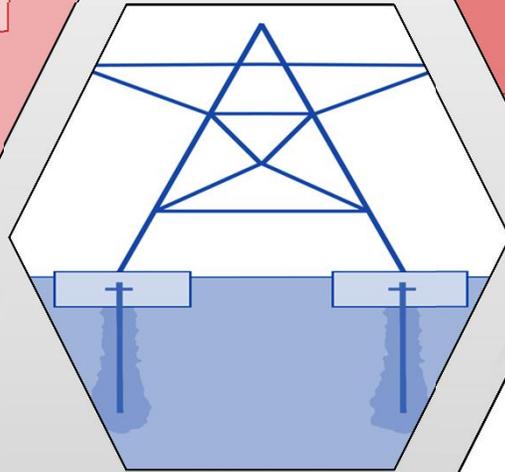




Einsatzbereiche

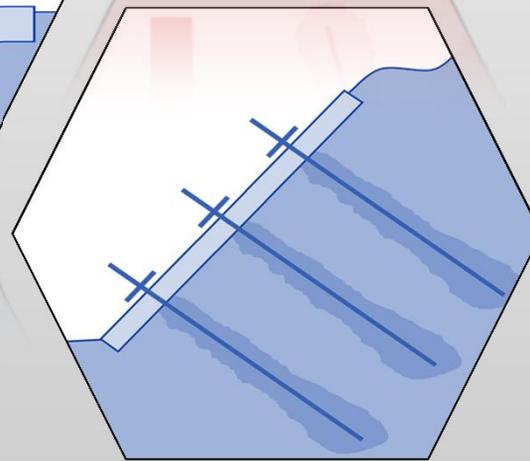
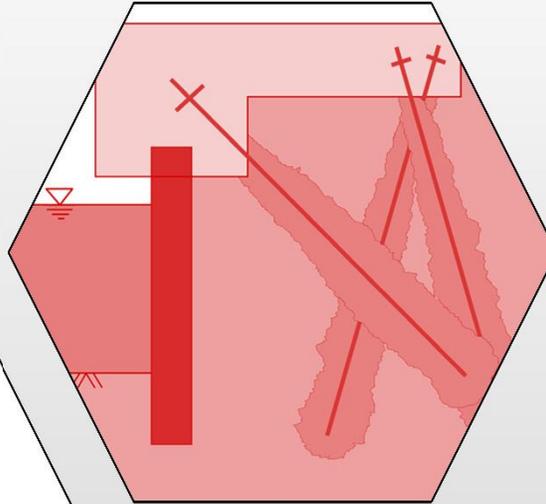


Auftriebssicherung



Mastgründung

Sicherung einer Kaimauer

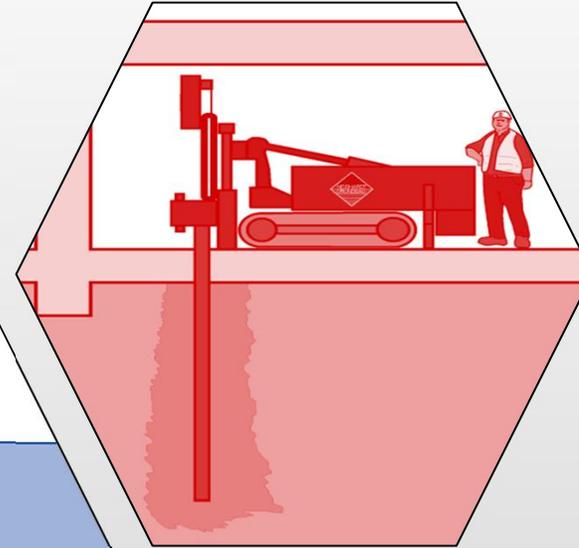
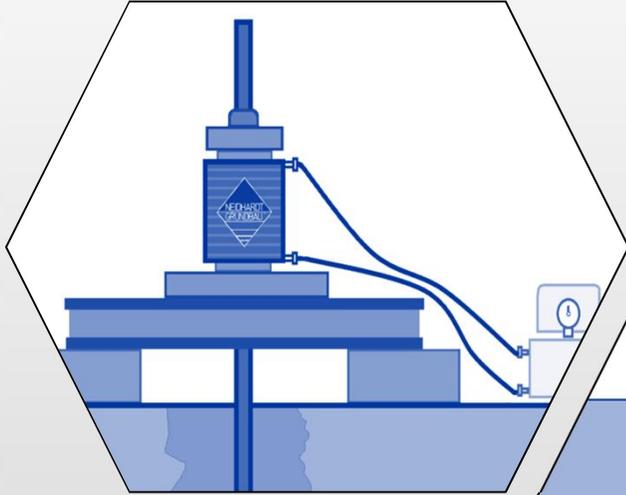


Böschungssicherung

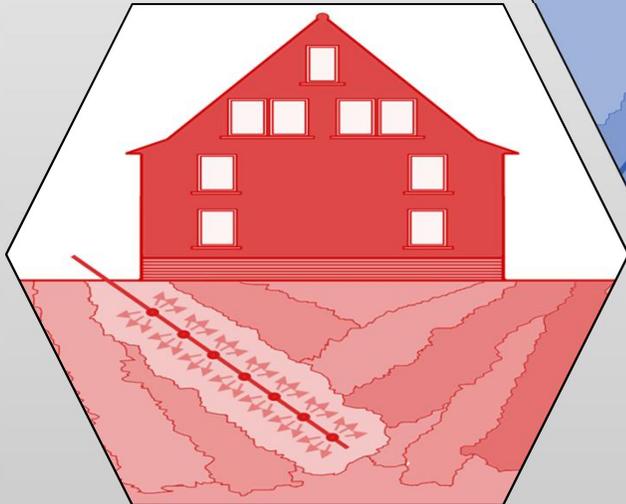


Einsatzbereiche

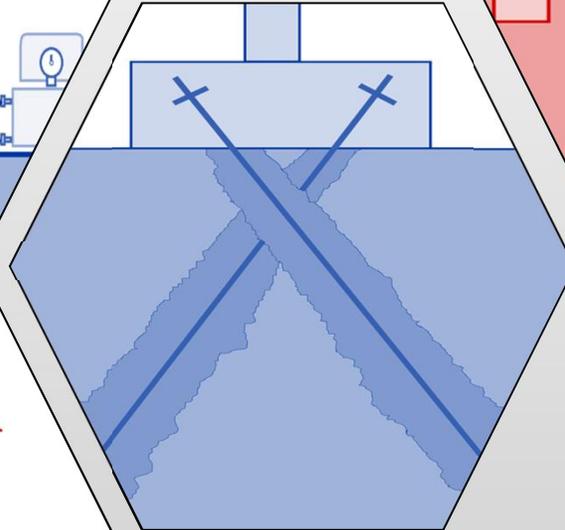
Probebelastung am Mikropfahl



Nachgründung unter
beengten Verhältnissen



Niedrigdruckinjektion

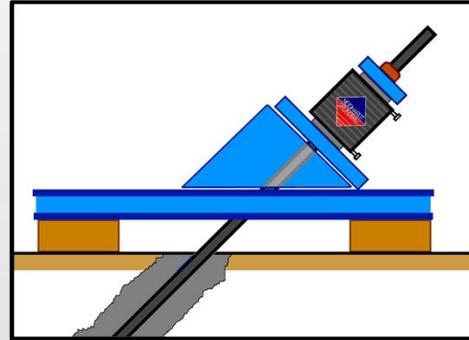


Nachträgliche
Gründungsertüchtigung

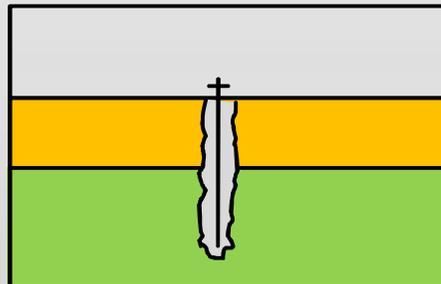


Tragfähigkeit von Verpressankern und Mikropfählen Einfluss des Baugrundes und Herstellverfahrens

Tragfähigkeit



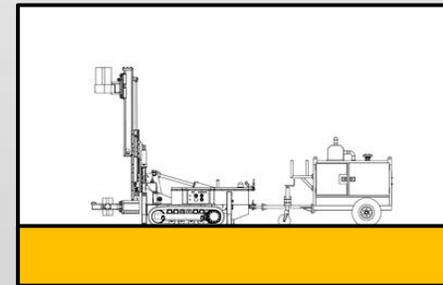
Baugrund-
verhältnisse



Boden

Fels

Herstell-
verfahren



Bohrverfahren

Verfüll-,
Verpressverfahren



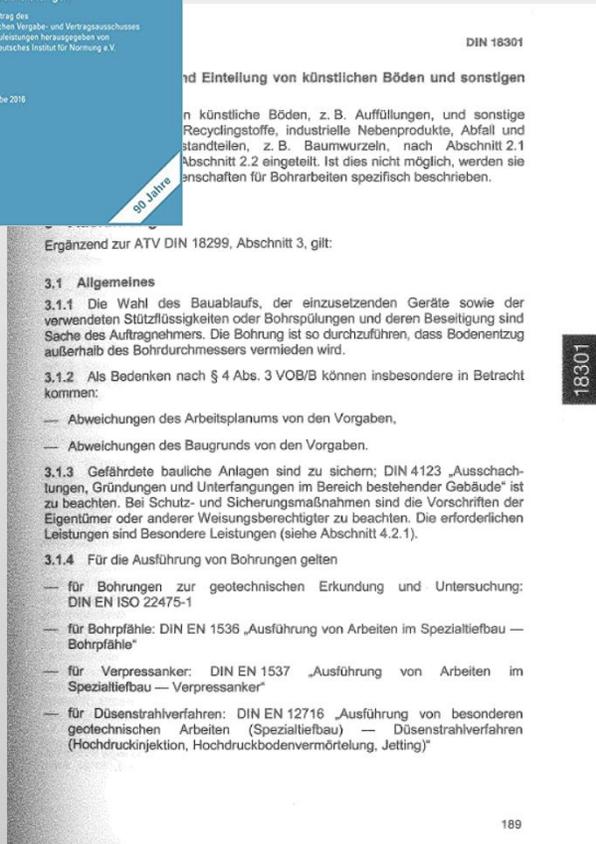
Auswahl des Bohrverfahrens Regelungen der VOB



VOB Teil C: DIN 18301

3.1 Allgemeines

3.1.1 Die Wahl des Bauablaufes, der einzusetzenden Geräte sowie der verwendeten Stützflüssigkeiten oder Bohrspülungen und deren Beseitigung sind Sache des Auftragnehmers. Die Bohrung ist so durchzuführen, dass Bodenentzug außerhalb des Bohrdurchmessers vermieden wird.



Auswahl des Bohrverfahrens Regelungen der DIN EN 1997-1



7.4.1 Gesichtspunkte bei der Bemessung

Bei der Wahl des Pfahltyps, einschließlich der Qualität des Pfahlbaustoffs und des Herstellungsverfahrens, müssen berücksichtigt werden:

- die Baugrund- und Grundwasserverhältnisse, einschließlich vorhandener und möglicher Hindernisse
- die Auswirkungen des Verfahrens und der Reihenfolge der Herstellung auf bereits fertige Pfähle oder angrenzende Bauten oder Leitungen
- die Toleranzen, mit denen die Pfähle zuverlässig eingebracht werden können
- die schädliche Auswirkung von Chemikalien im Untergrund
- die Möglichkeit eines Kurzschlusses zwischen verschiedenen Aquiferen
- die Handhabung und der Transport der Pfähle
- die Auswirkungen der Pfahlherstellung auf benachbarte Gebäude

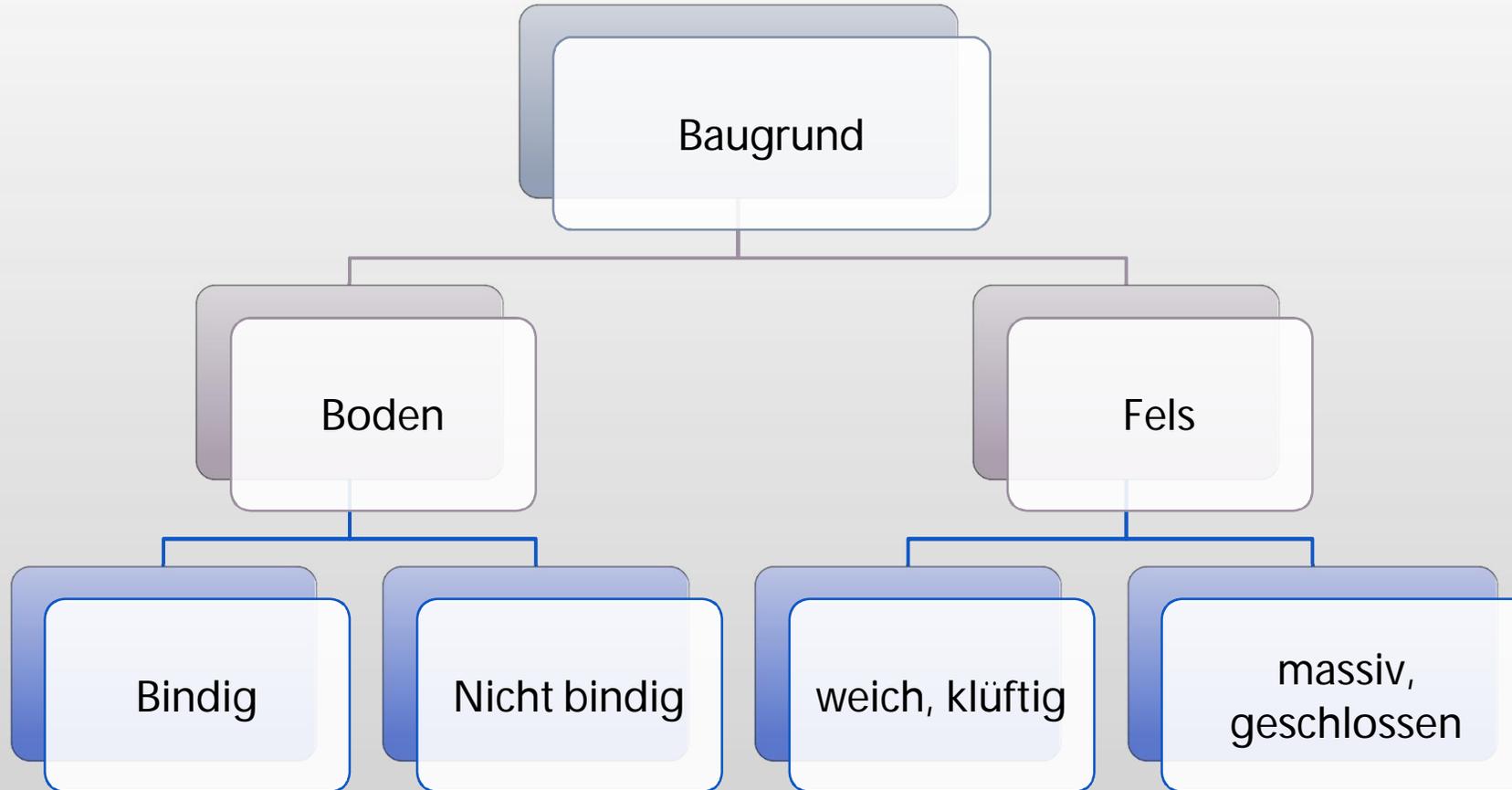
Bei der Behandlung der vorgenannten Gesichtspunkte sollten folgende Punkte beachtet werden:

- Pfahlabstände innerhalb der Gruppe
- Reinigung der Bohrlochsohle und manchmal der Bohrlochwand, speziell bei Anwendung von Bentonit, um gestörtes Material zu entfernen
- Eindringen von Boden oder Wasser in den Querschnitt von Ortbetonpfählen und die mögliche Störung des Frischbetons durch hindurchfließendes Wasser
- die Wirkung ungesättigter Sandlagen um den Pfahl, durch die Betonwasser abgezogen wird
- der Verzögerungseinfluss von Chemikalien im Baugrund
- Störung des Bodens beim Bohren der Löcher



1. Baugrundverhältnisse

1.1 Grundsätzliche Einteilung hinsichtlich der Wahl des Bohrverfahrens



Beispiele:

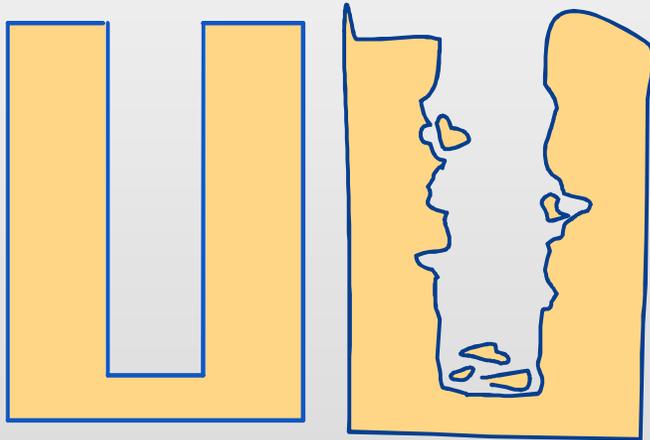
Keupterton,
Beckenschluff

Terrassensand,
Terrassenkies

1. Baugrundverhältnisse

1.2.1 Faktoren mit Einfluss auf die Auswahl des Herstellverfahrens

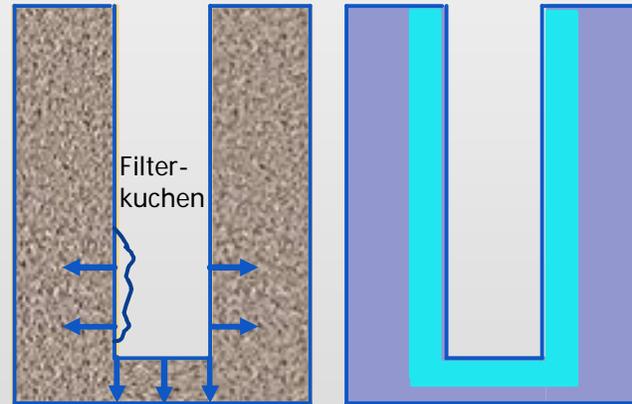
Standfestigkeit



standfest

nicht standfest
(Bohrlocheinfall)

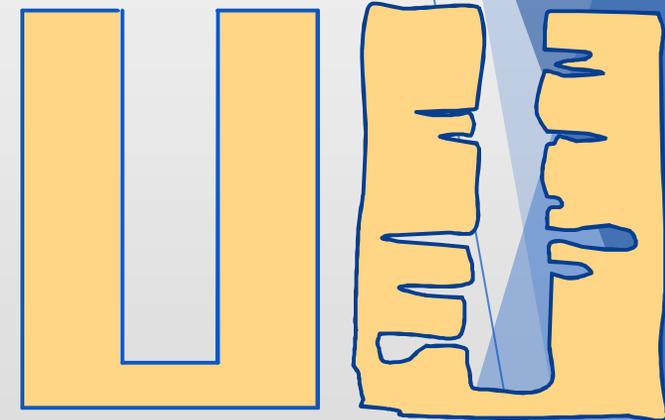
Wasserbindigkeit



Nichtbindig
(Entfiltern)

bindig
(Auffweichen
oder Quellen)

Klüftigkeit



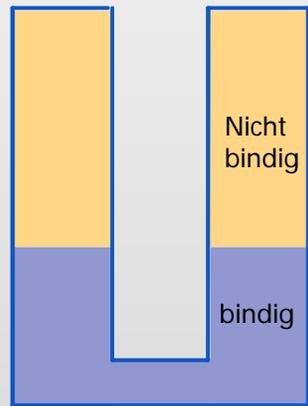
geschlossen

klüftig
(Entweichen der
Suspension)

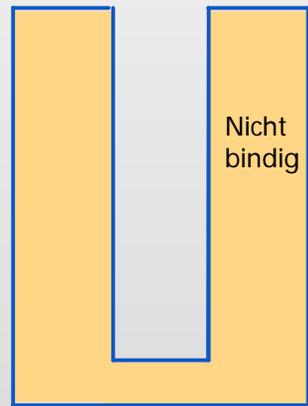
1. Baugrundverhältnisse

1.2.2 Faktoren mit Einfluss auf die Auswahl des Herstellverfahrens

Baugrundsichtung

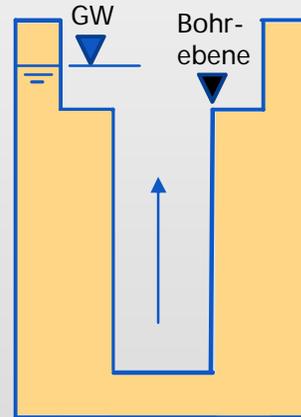


Mehrschichtig
(Unterschiedliche
Steifigkeit/Verformung)

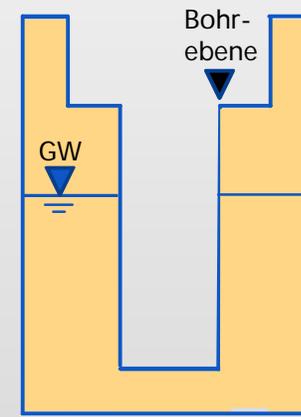


Einschichtig

Grundwasserüberdruck



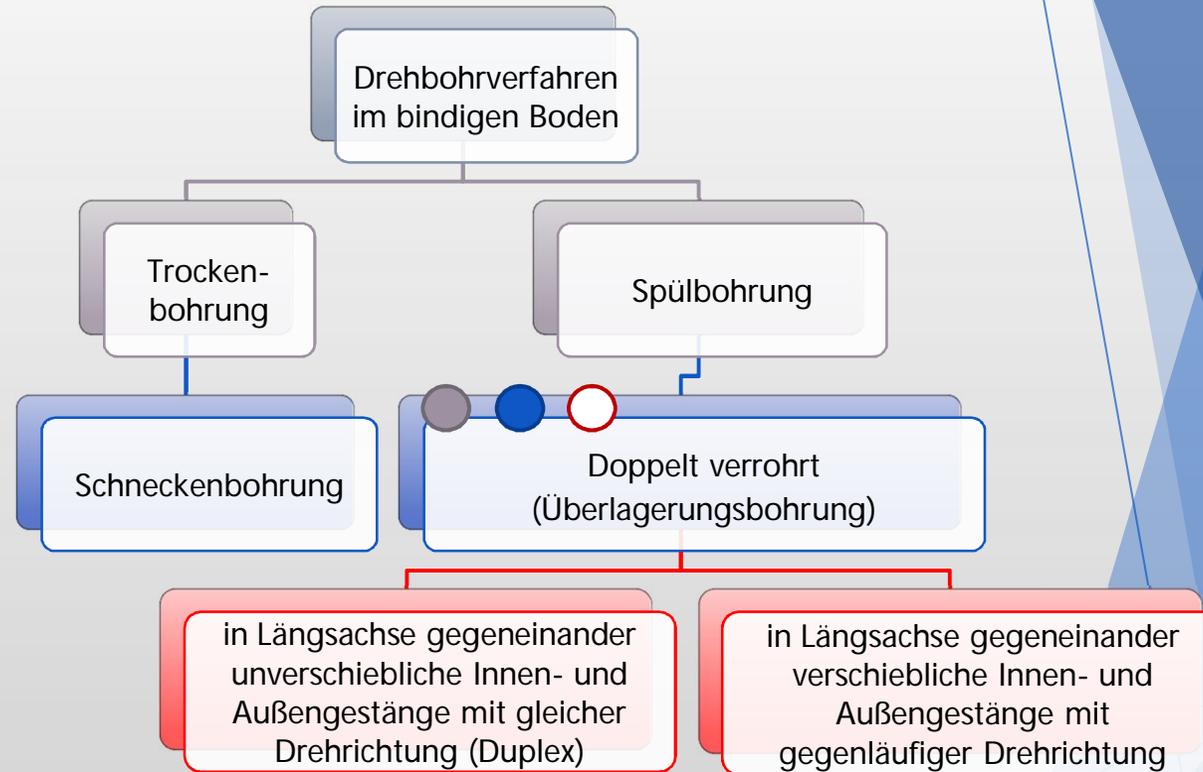
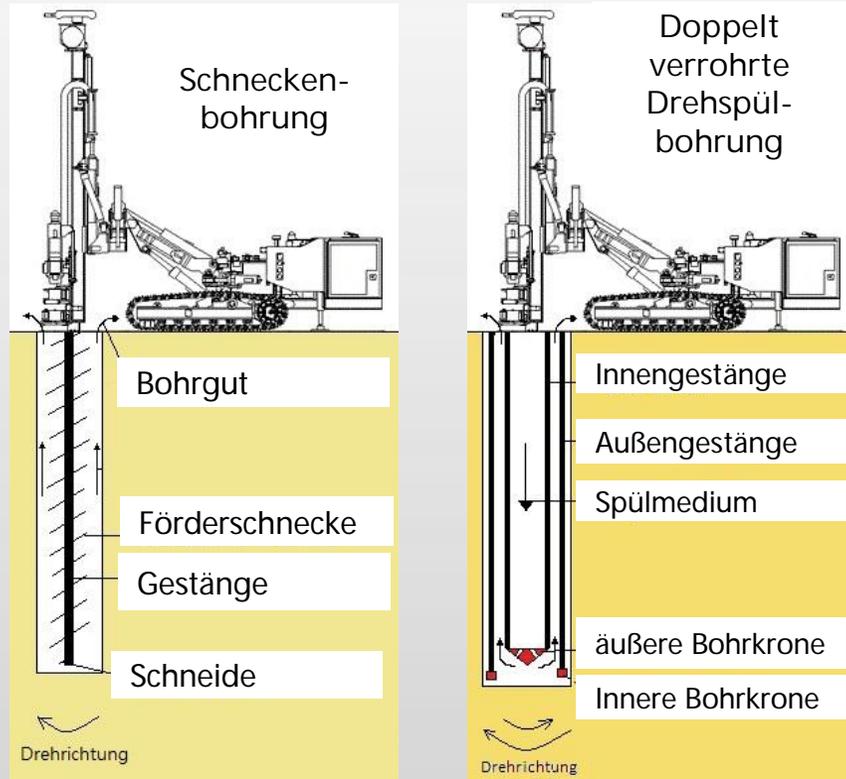
Druckwasser
(luftseitiger
gerichteter
Wasserstrom)



Kein Druckwasser

2. Drehbohrverfahren

2.1 Auswahl im bindigen Boden

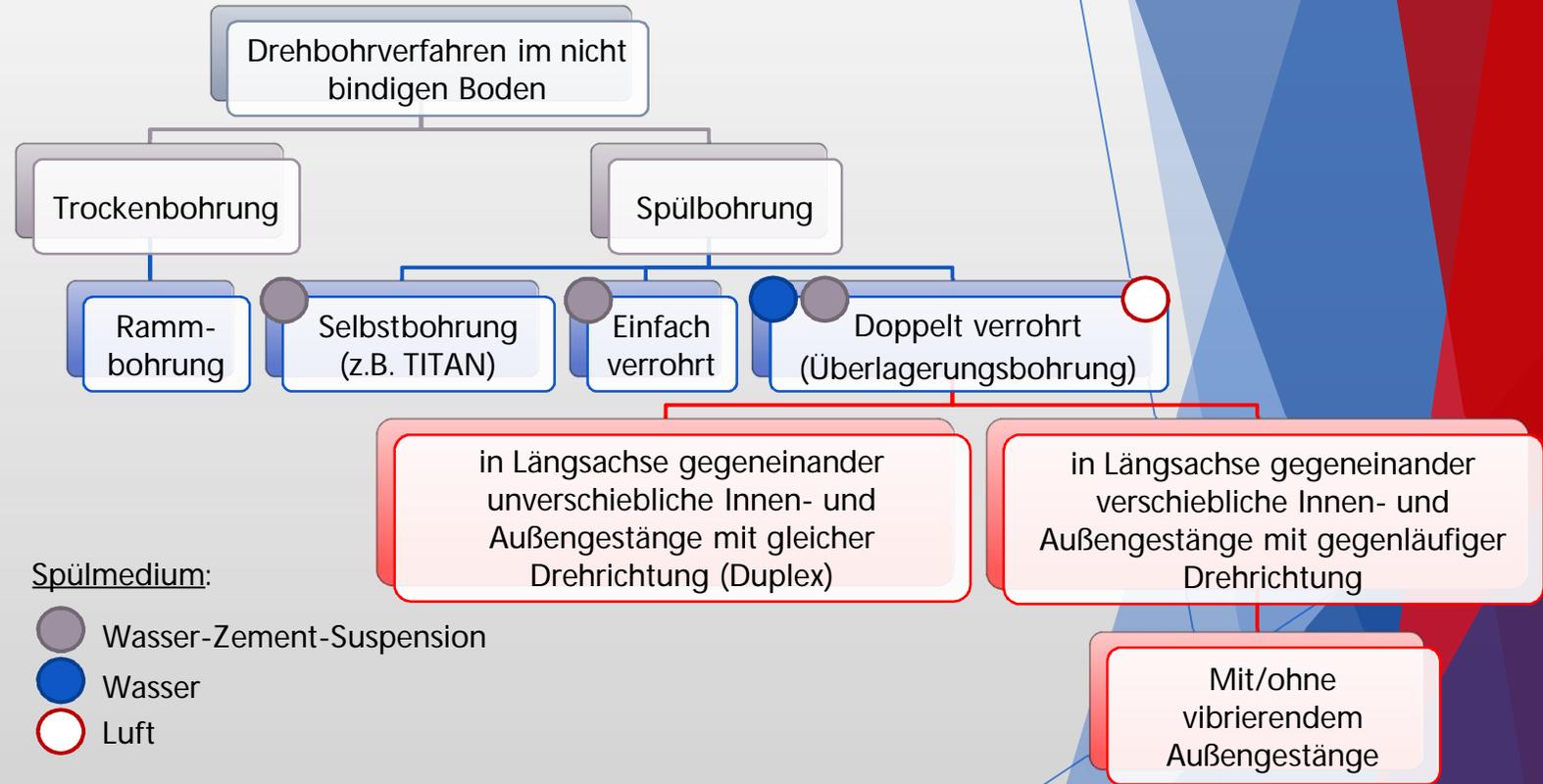
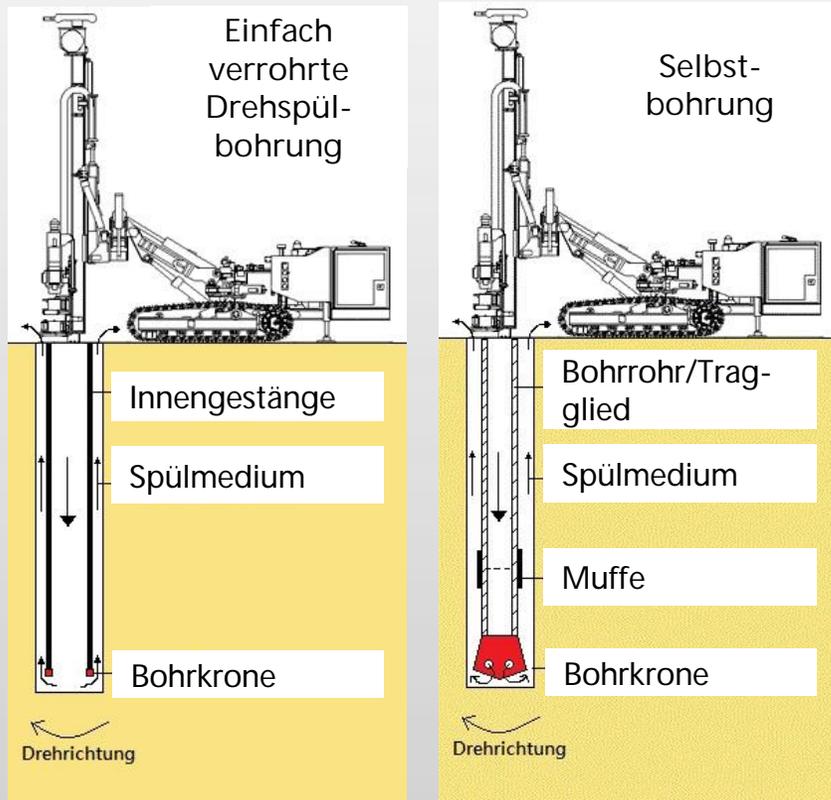


Spülmedium:

-  Wasser-Zement-Suspension
-  Wasser
-  Luft

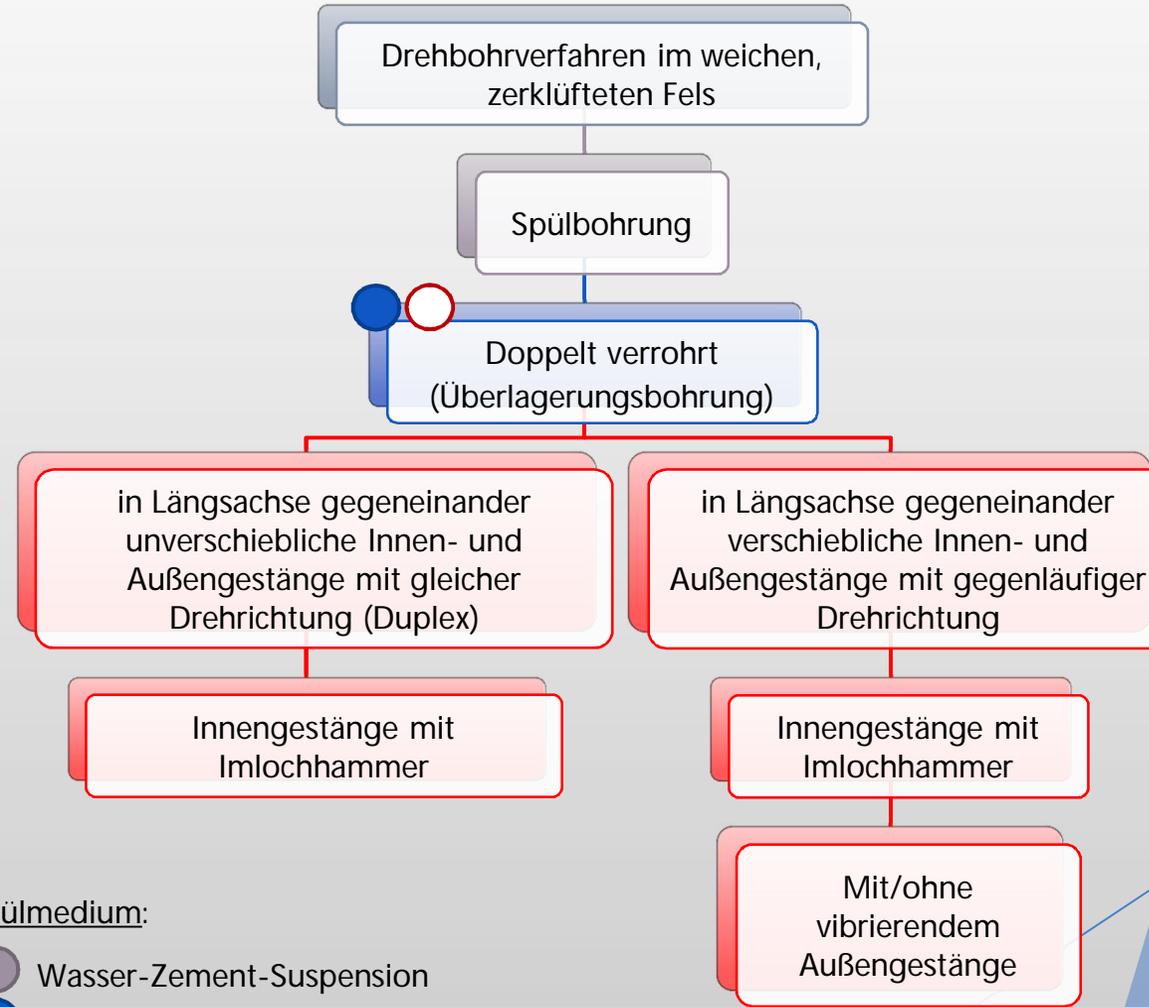
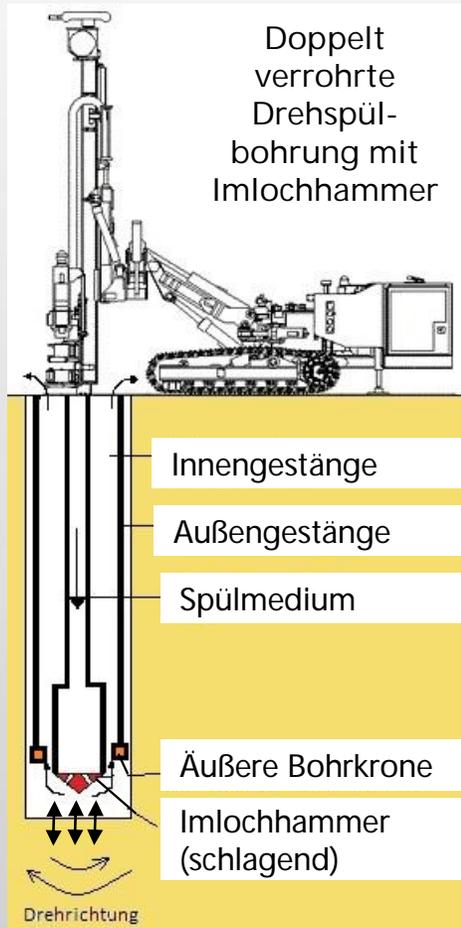
2. Drehbohrverfahren

2.2 Auswahl im nicht bindigen Boden



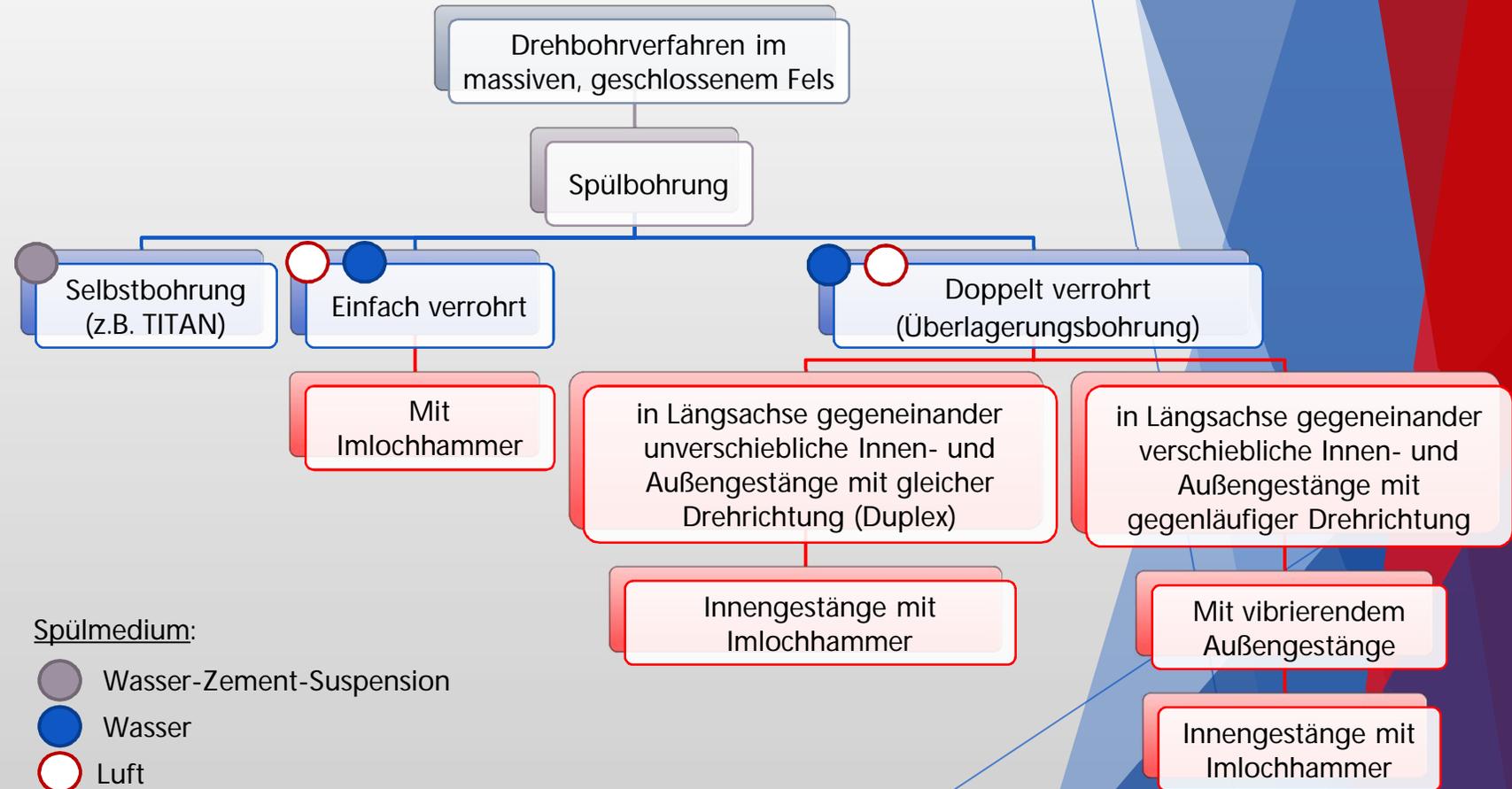
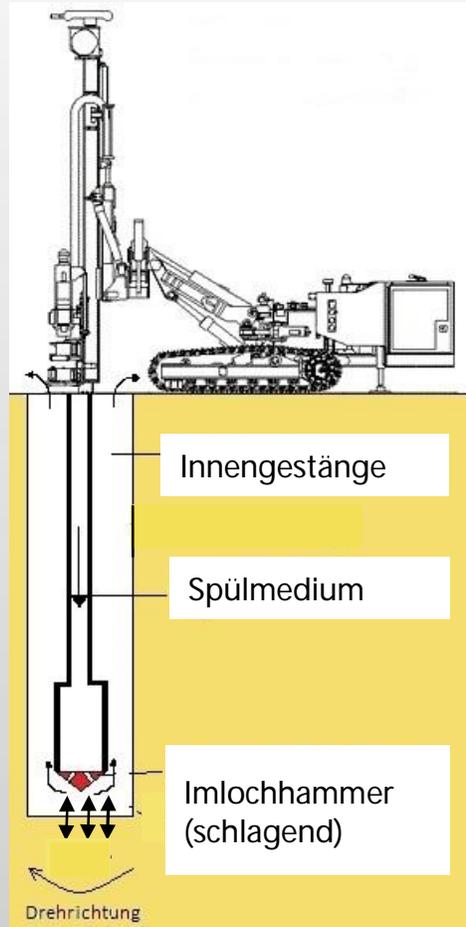
2. Drehbohrverfahren

2.3 Auswahl im weichen, klüftigen Fels



2. Bohrverfahren

2.4 Auswahl im massiven, geschlossenem Fels





2. Bohrverfahren 2.5 Illustrationen

Selbstbohrung



Schneckenbohrung



Doppelt verrohrte Drehspülbohrung



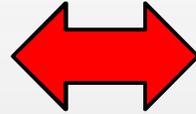
Einfach verrohrte Drehspülbohrung



2. Bohrverfahren

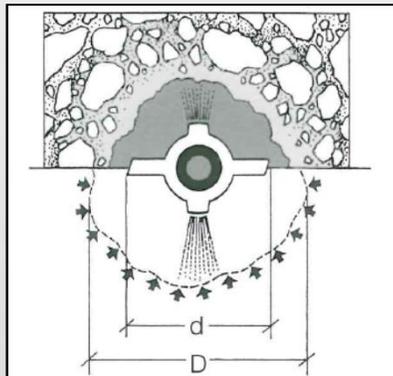
2.6 Möglichkeiten mit Drehspülbohrverfahren

Einfach verrohrtes
Drehspülbohrverfahren



Doppelt verrohrtes
Drehspülbohrverfahren

+
Selbstbohrung



$$D = d + a$$

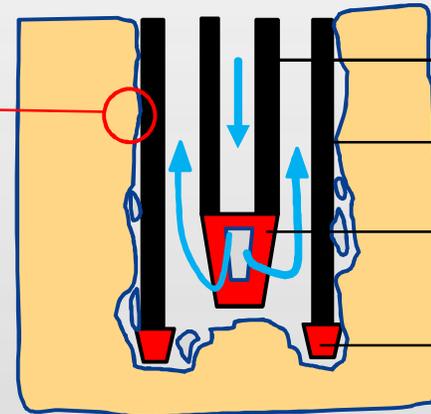
Aufweitung $a \geq 20$ mm

Erfahrungswerte der Fa. Ischebeck
(gemessen an ausgegrabenen
Verpresskörpern)

$a = 75$ mm (Mittel- und Grobkies)

$a = 50$ mm (Sand und Kiessand)

Bsp.: Ischebeck TITAN



Innengestänge

Außengestänge

Innere Bohrkron

Äußere Bohrkron

Reibung

geringstmögliche Verschlechterung der
Baugrundeigenschaften durch
vorausgehendes Außengestänge
(Abhängig vom Boden geht das durch
Mantelreibung am Außenrohr zu Lasten des
Bohrfortschrittes)

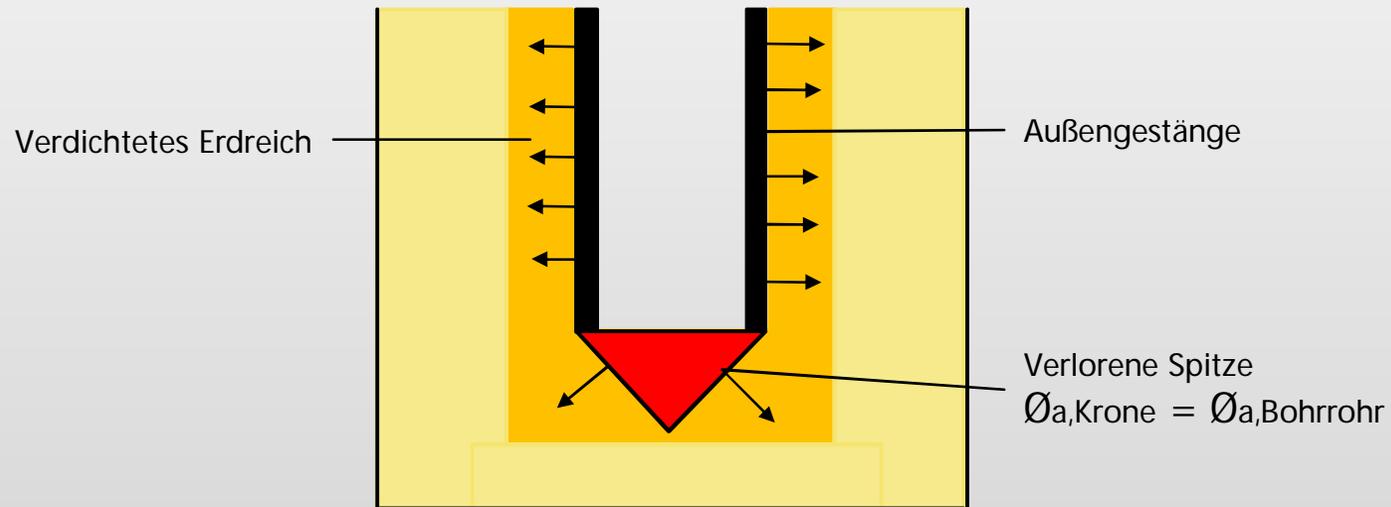
Spülgut ermöglicht eine gute
Ansprache des erbohrten Baugrundes

Möglichkeit der Gestaltung des Bohrlochs
über die Vorgaben der Norm hinaus

2. Bohrverfahren

2.7 Möglichkeiten mit dem Rammbohrverfahren

Rammbohrverfahren



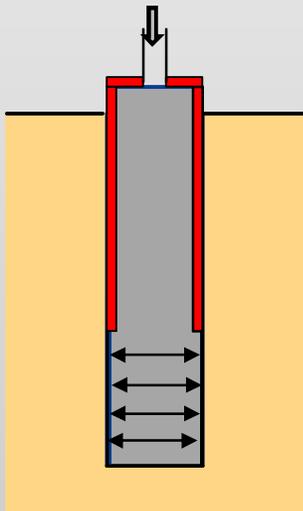
Steigerung der Mantelreibung und
Tragfähigkeit durch Verdrängung und
Verdichtung des umliegenden Erdreichs

3. Verpress-/ Verfüllverfahren

3.1 Auswahl im bindigen Boden oder zerklüfteten, verwitterten Fels

Primärverpressung im bindigen Boden

durch eine temporäre Verrohrung

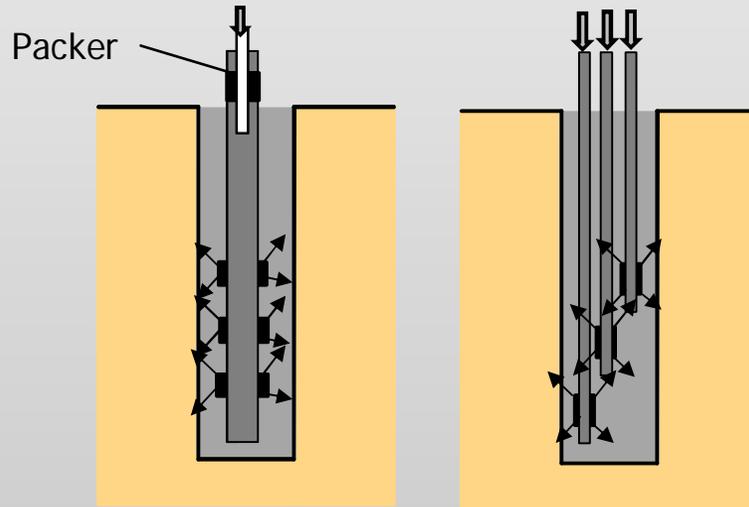


□ Zementsuspension

Nachverpressung im bindigen Boden

durch Manschettenröhrchen

Durch gestaffelt angeordnete Verpressröhrchen

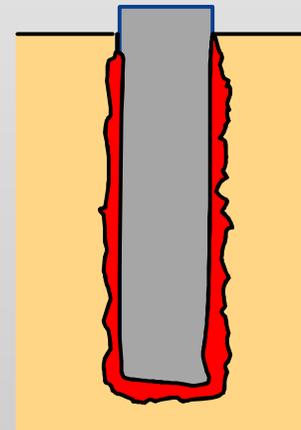


■ verdünnte Zementsuspension

Alternative zur Nachverpressung im bindigen Boden

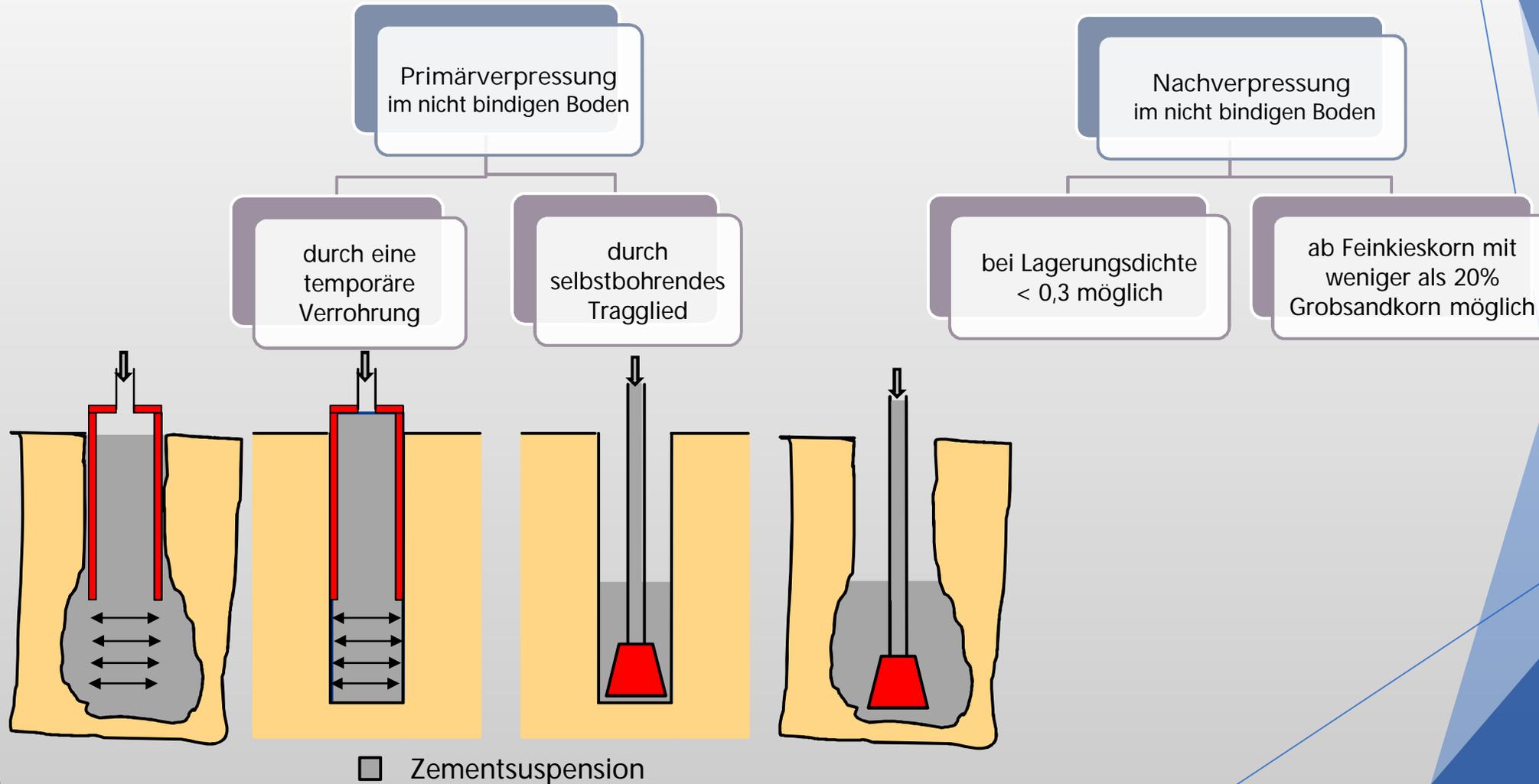
Quellfähiger Zement
z.B. CEM I 42,5 R-HO

Bei $w/z = 0,4$: Quellmaß von 4 %



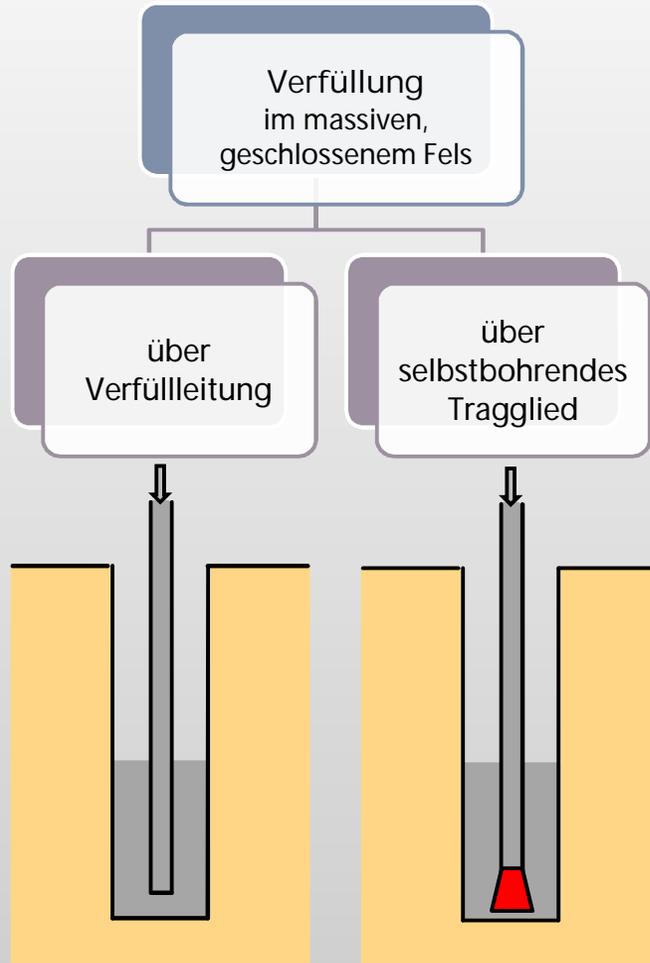
3. Verpress-/ Verfüllverfahren

3.2 Auswahl im nicht bindigen Boden

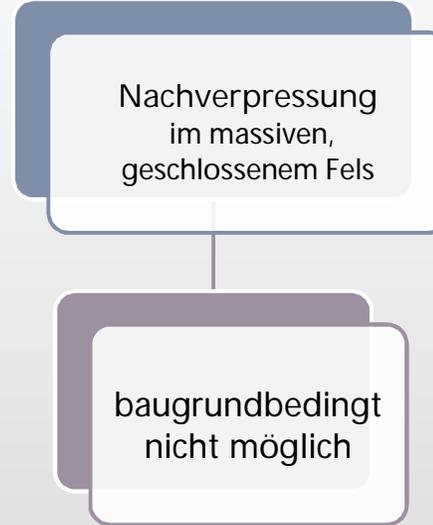


3. Verpress-/ Verfüllverfahren

3.3 Auswahl im massiven, geschlossenen Fels



□ Zementsuspension





4. Fazit

- eine erschöpfende Ausschreibung und eine angemessene Baugrunderkundung ist die Grundlage für die Wahl eines wirtschaftlichen Herstellverfahrens
- das Überlagerungsbohrverfahren samt möglicher Modifikationen erlaubt eine Herstellung von Mikropfählen/Verpressankern in allen üblichen Boden- und Felsarten
- Selbst im Überlagerungsbohrverfahren sind Baugrundverschlechterungen herstellungsbedingt nicht in jedem Boden oder Fels vollumfänglich ausgeschlossen

Bohrpfähle und Teilverdrängungsbohrpfähle nach DIN EN 1536

Einflüsse der Herstellung auf die Tragfähigkeit

Dipl.-Ing. Thomas Garbers

1. Einleitung
2. Pfahlsysteme der DIN EN 1536
3. Herstellungseinflüsse auf die Tragfähigkeit
4. Gegenüberstellung von Belastungsergebnissen
5. Fazit

- **Stand der Bemessungsnormen**
 - DIN EN 1997-1:2009, Eurocode 7
 - Allgemeine Regeln
 - DIN EN 1997-1/NA:2010, Nationaler Anhang
 - DIN 1054:2010, ergänzende Regelungen
 - EA-Pfähle, Empfehlungen, rechnerische Widerstandsermittlung

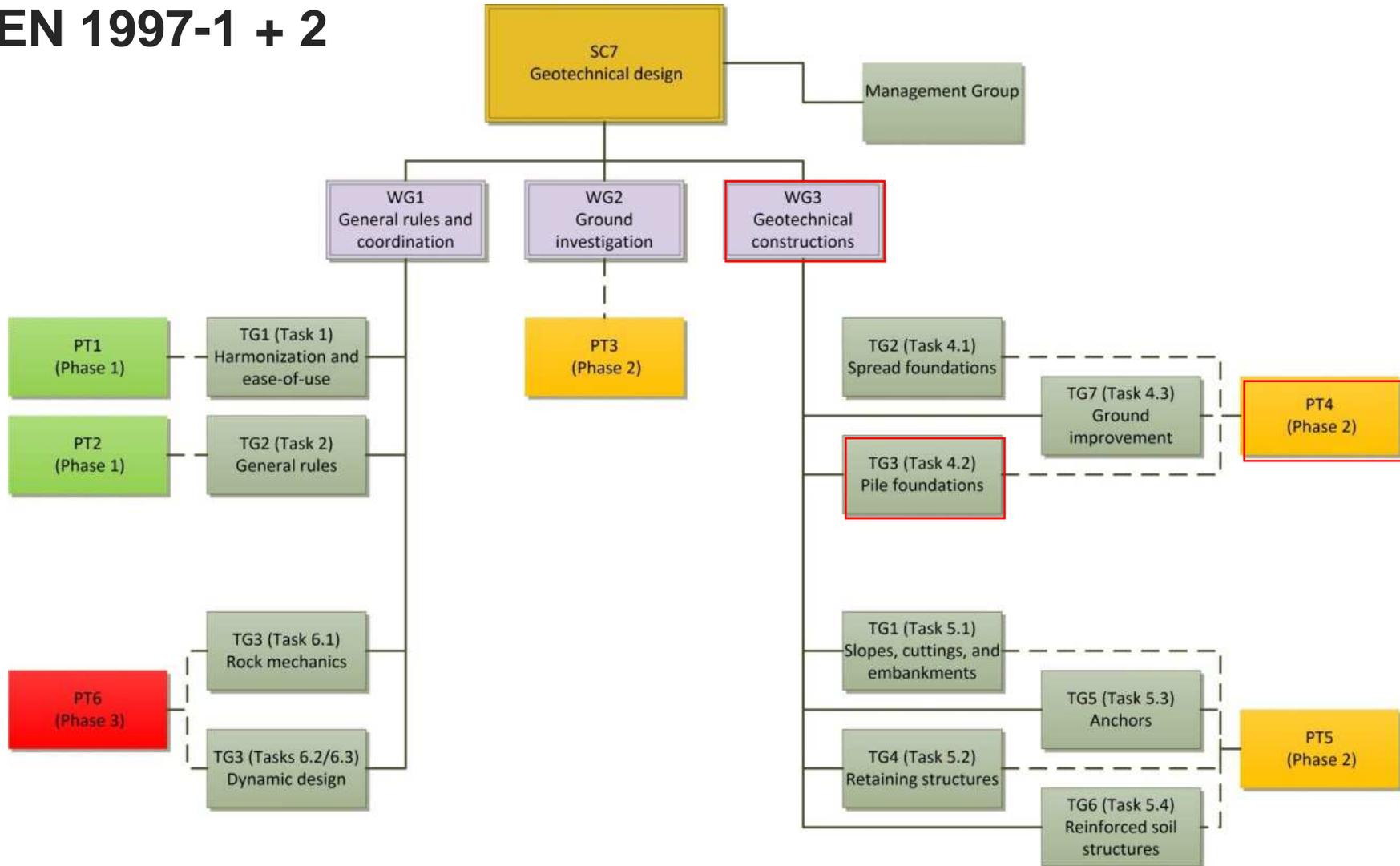
- **EN 1997-1 + 2**
 - Überarbeitung bis 2020
 - dann drei Teile
 - **Allgemeine Festlegungen**, finaler Entwurf liegt vor
 - **Baugrunduntersuchungen**, finaler Entwurf liegt vor
 - **Geotechnische Konstruktionen**, wird zurzeit erstellt
 - **Änderungen**
 - leider keine Straffung des Textes, weiterhin Lehrbuch
 - Einführung Consequence Classes

- EN 1997-1 + 2
 - Consequence Classes

Table 4.3 (NDP) Relationship between Geotechnical Categories, Consequences Classes, and Geotechnical Complexity Classes

Consequence Class (CC)	Geotechnical Complexity Class (GCC)		
	Lower (GCC1)	Normal (GCC2)	Higher (GCC3)
Higher (CC3)	GC2	GC3	GC3
Normal (CC2)	GC2	GC2	GC3
Lower (CC1)	GC1	GC2	GC2

■ EN 1997-1 + 2



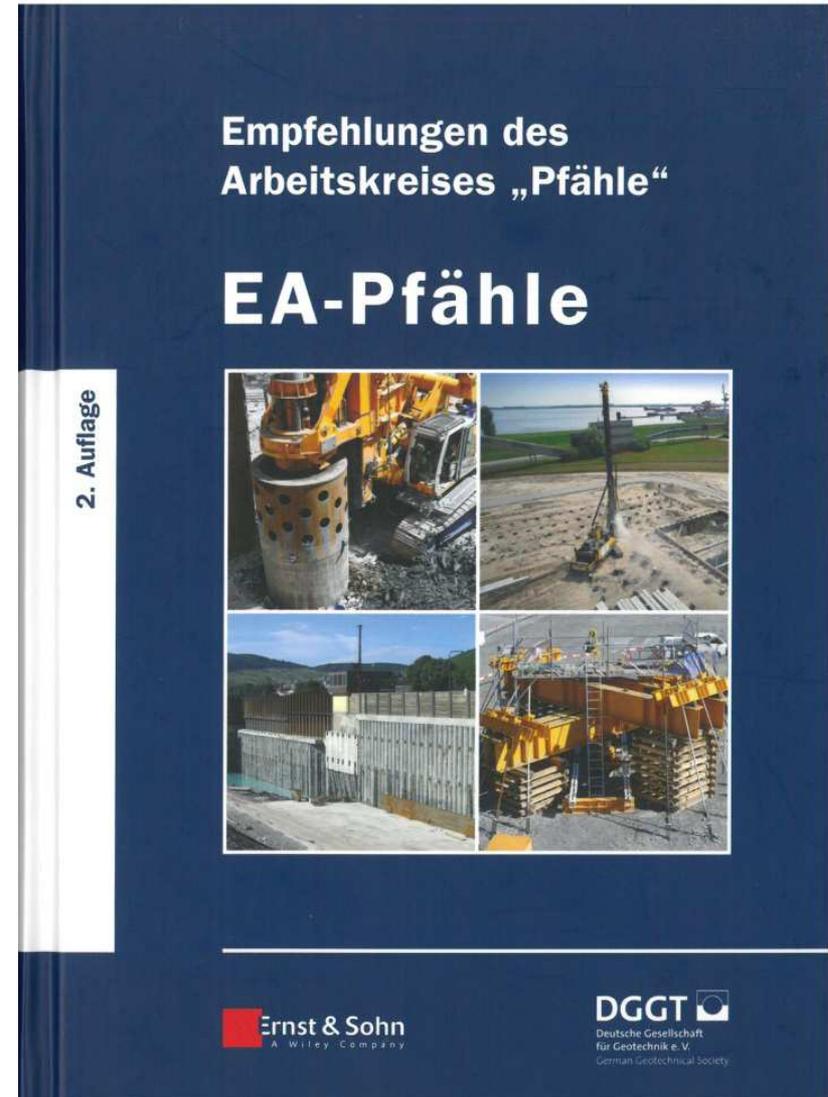
- **Projektteam 4**
 - Obmann: Prof. Christian Moormann
- **Taskgroup 3**
 - Dr.-Ing. Stefan Weihrauch
 - Dr.-Ing. Sascha Henke
 - Dipl.-Ing. Thomas Garbers

■ Stand der Ausführungsnormen

Übersicht der aktuellen Normungsprojekte des NA 005-05-07 AA (aktiv/geplant) (Stand: 2018-03-13)

Norm-Nummer	Titel	Status	Letztes Dokument	Europäisches bzw. internationales Gremium	Verantwortlich / deutsche Experten
DIN SPEC 18140	Ergänzende Festlegungen zu DIN EN 1536:2010-12, Ausführung von Arbeiten im Spezialtiefbau - Bohrpfähle	Überarbeitung geplant Warten auf DIN 1045-2	N 841	--	Herr Dr. Beckhaus, Herr Dr. Linder
DIN SPEC 18538	Ergänzende Festlegungen zu DIN EN 12699:2001-05, Ausführung spezieller geotechnischer Arbeiten (Spezialtiefbau) - Verdrängungspfähle	Überarbeitung geplant Warten auf DIN 1045-2	--	--	Herr Dausch
DIN SPEC 18539	Ergänzende Festlegungen zu DIN EN 14199:2012-01, Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau) - Pfähle mit kleinen Durchmesser (Mikropfähle)	Überarbeitung geplant Warten auf DIN 1045-2	--	--	Herr Jörger
DIN EN ISO 22477-1	Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Prüfung von geotechnischen Bauwerken und Bauwerksteilen - Teil 1: Pfahlprobenbelastungen durch statische axiale Belastungen	Nächster Schritt: Parallel CEN-/ISO-Formal Vote	N 1210	CEN/TC 341/WG 4	Frau Domecker, Herr Garbers
DIN EN ISO 22477-4	Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Prüfung von geotechnischen Bauwerken und Bauwerksteilen - Teil 4: Pfahlprüfungen: Dynamische Pfahlprobebelastung	Nächster Schritt: Veröffentlichung	N 1205	CEN/TC 341/WG 7	Herr Dr. Klingmüller

- **Abschnitt 2.2.1**
 - Pfahlherstellung
- **Abschnitt 5.4.6 + 5.4.7**
 - Erfahrungswerte
- **Abschnitt 11.2**
 - Qualitätssicherung



Bohrpfähle

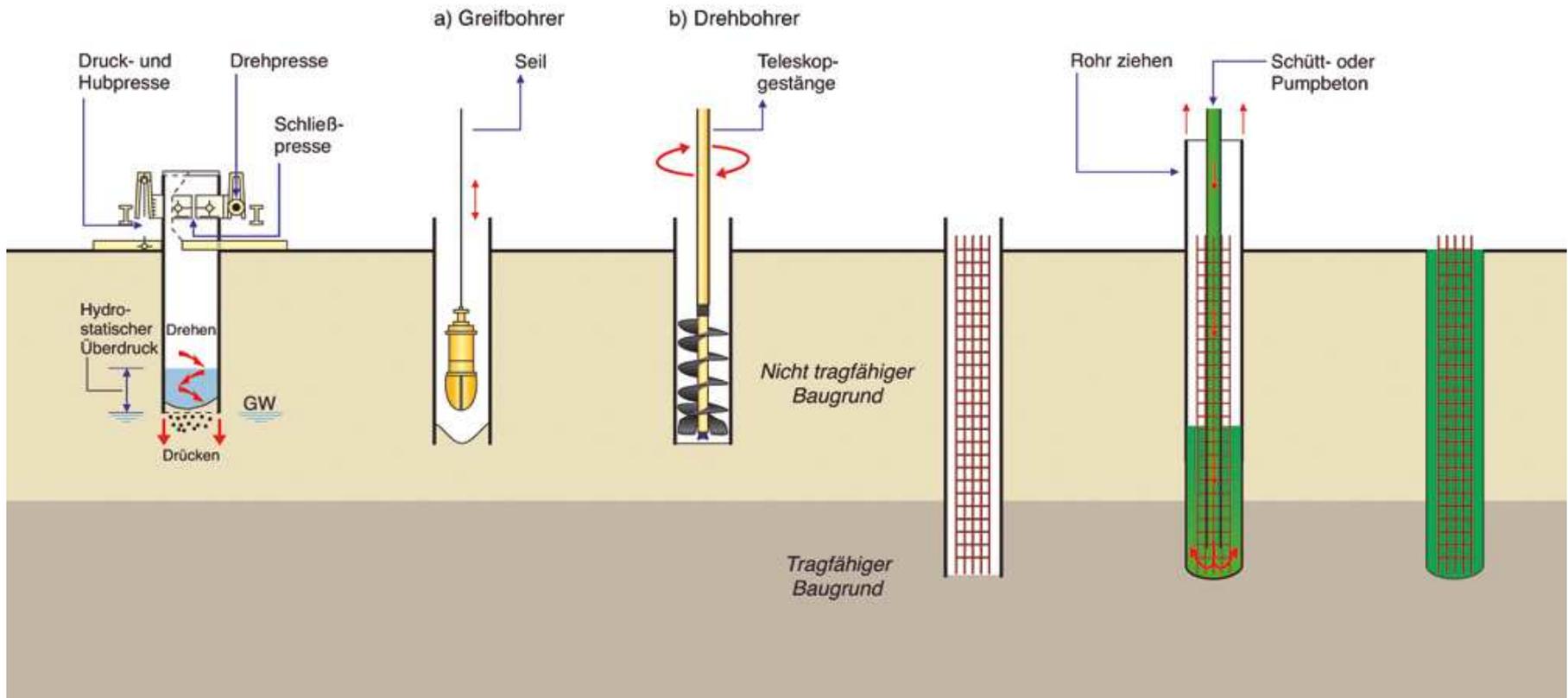
1 Niederbringen der Verrohrung (hier mit Verrohrungsanlage)

2 Lösen des Bodens mit:

3 Einbau des Bewehrungskorbes

4 Betoniervorgang

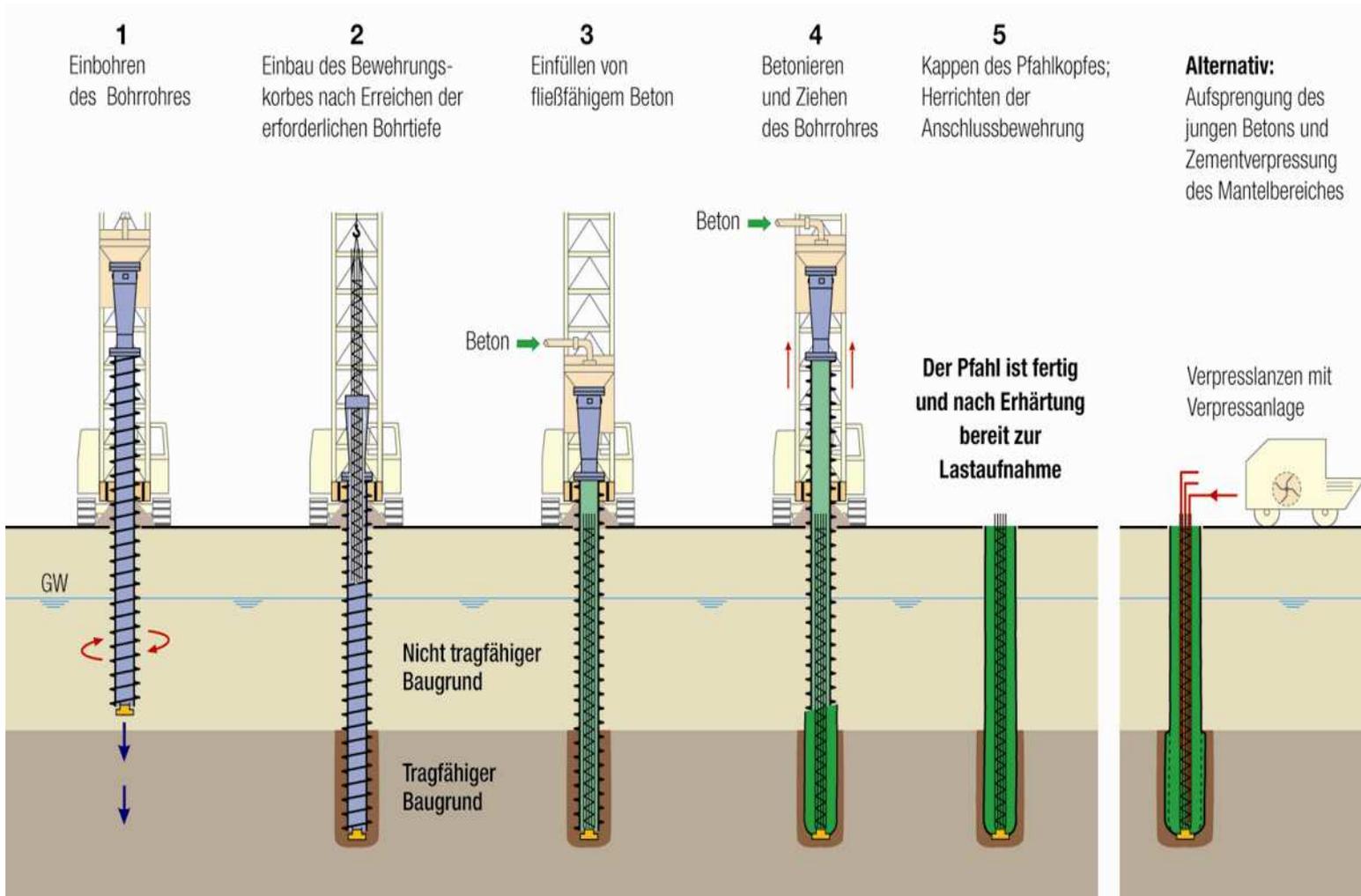
5 Fertiger Pfahl



■ Bohrpfähle



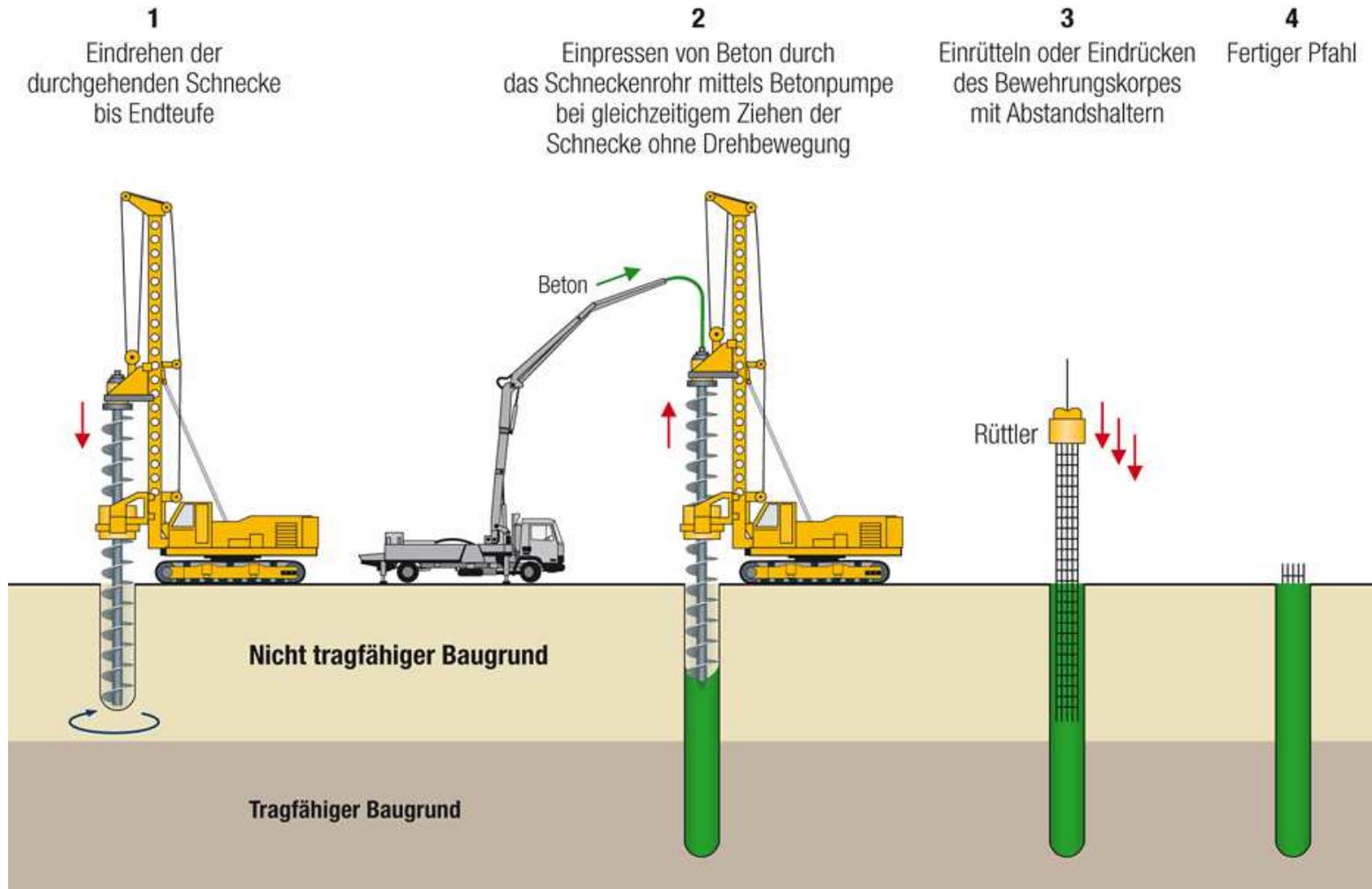
■ Teilverdrängungsbohrpfähle (TVB)



- **Teilverdrängungsbohrpfähle (TVB)**



■ Schneckenortbetonpfähle (SOB)



- **Schneckenortbetonpfähle (SOB)**



- **Qualität beginnt mit**
 - Bauch- und
 - Fingerspitzengefühl



- **Größte Einflussfaktoren für die spätere Tragfähigkeit**
 - ausreichende Baugrunderkundung (DIN 4020)
 - Anzahl und Tiefe der Aufschlüsse
 - Bodenförderung
 - Betonqualität

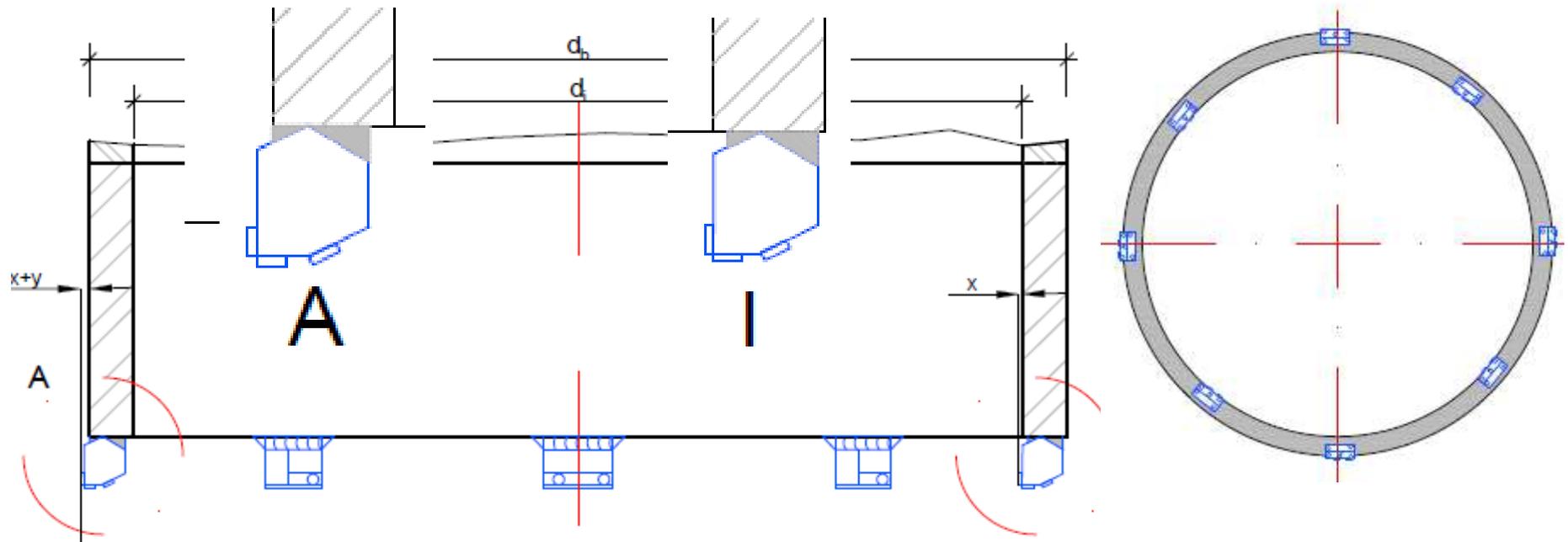
■ Bohrpfähle

- Wasserauflast, Bentonitspiegel
 - Wasserspiegel $\geq 1,0$ m über max. Wasserdruckhöhe
 - Bentonitspiegel $\geq 1,5$ m über max. Wasserdruckhöhe
 - ausreichend Ausgleichsvolumen für Bohrwerkzeug und unerwarteter Verluste



■ Bohrpfähle

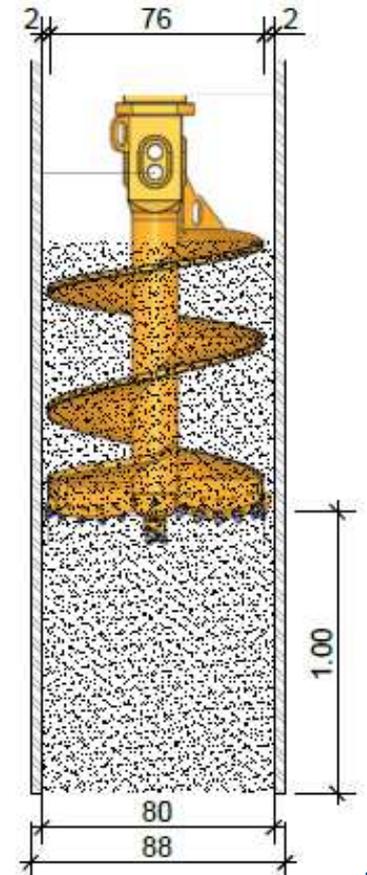
- Überstand Schneidkranz, angepasst an den anstehenden Baugrund, auf Minimum reduzieren,
 - Außen ca. 8 mm ($x+y$), Innen ca. 3 mm (x)



■ Bohrpfähle

- Durchflussöffnungen, Ziehgeschwindigkeit Bohrwerkzeug
 - Durch Kolbenwirkung Bodeneintrag in das Bohrrohr
 - Flächenverhältnis Werkzeug / Innenrohr $\leq 0,9$
 - Ziehgeschwindigkeit $\leq 0,5$ m / Sekunde

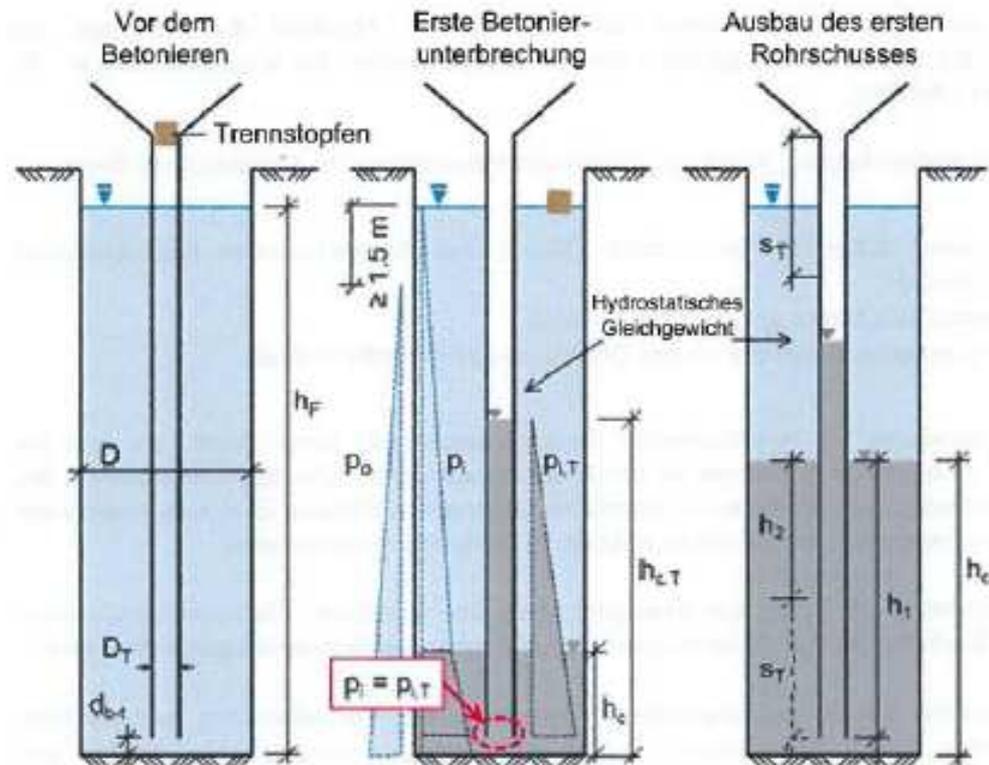
- Voreilmaß der Verrohrung
 - Bodeneintrag durch Grundbruch
 - Voreilmaß $\geq 1,0$ m



■ Bohrpfähle

- Betonierrohre, Dichtigkeit, Eintauchtiefe $\geq 1,5 - 3,0$ m
- Trennung Wasser / Beton

Bild 13 – Phasen des Betonierens im Kontraktorrohrverfahren

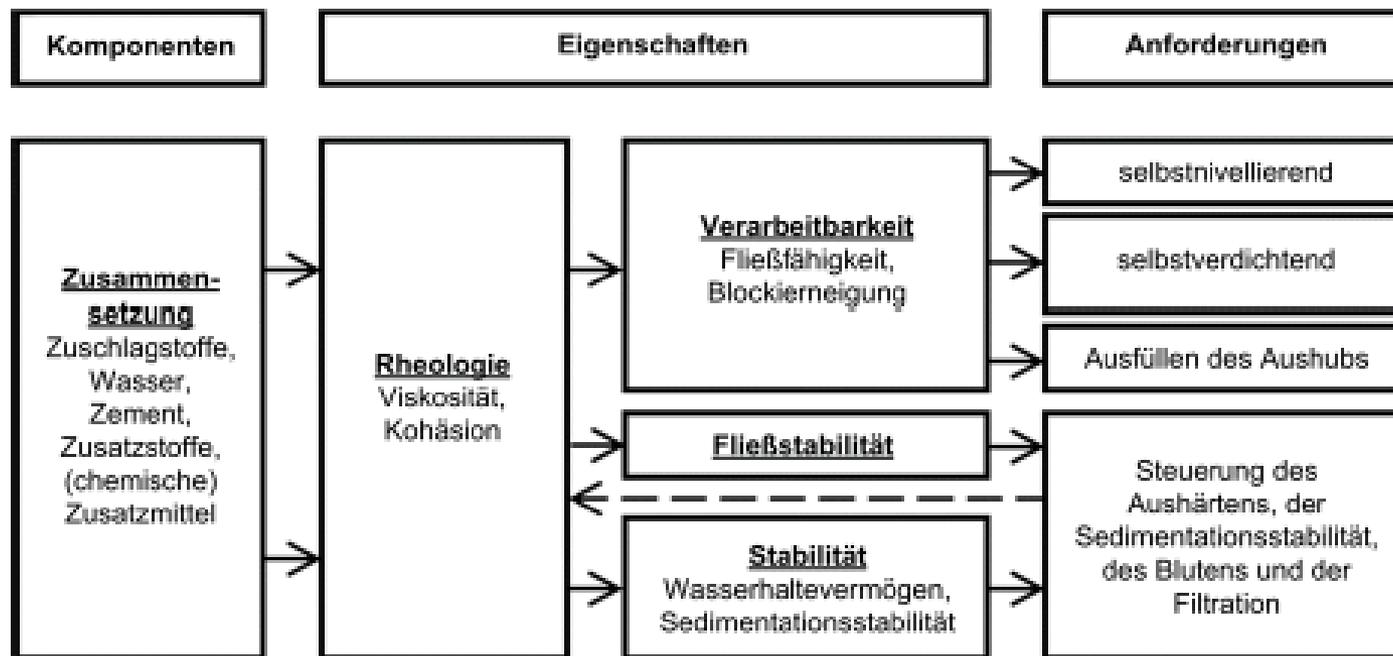


Bohrpfähle

Betonqualität

Ausbreitmaß 570 – 630 mm

Bild 4 – Abhängigkeiten zwischen der Zusammensetzung, der Rheologie und zugehöriger charakteristischer Eigenschaften und den Leistungsanforderungen an frischen Kontraktbeton



- **Bohrpfähle**
 - Betonqualität

EFFC/DFI Best Practice Guide to Tremie Concrete for Deep Foundations

By joint EFFC/DFI Concrete Task Group



EFFC/DFI-Leitfaden: Kontraktorbeton für Tiefgründungen

Deutsche Übersetzung durch die Bundesfachabteilung Spezialtiefbau
im Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e.V., Berlin



1ST EDITION 2016

■ Bohrpfähle

■ Räumung Bohrlochsohle

- Unmittelbar vor dem Einsetzen des Bewehrungskorbes
- ggf. Austausch des Bohrwassers
- Sandgehalt in Suspension $\leq 4,0 \%$

■ **Teilverdrängungsbohrpfähle**

- Drehgeschwindigkeit / Abteufgeschwindigkeit
 - Gefahr Bodenentzug aus der Umgebung
 - 10 – 12 Umdrehungen / Meter
- Abdichtung Bohrrrohr / Fußplatte
 - Entmischung des Betons durch Wasser im Seelenrohr
- Drehrichtung beim Ziehen
 - ohne Drehung oder wie Abteufrichtung
 - bei falscher Richtung Bodeneintrag in Frischb

- **Teilverdrängungsbohrpfähle**
 - Betonqualität
 - wie Bohrpfahl, nur Betonieren im Trockenen
 - Bewehrungsabstände
 - wie Bohrpfahl

■ Schneckenortbetonpfähle

- Drehgeschwindigkeit / Abteufgeschwindigkeit
 - Gefahr Bodenentzug aus der Umgebung
 - 10 – 12 Umdrehungen / Meter
- Abdichtung Bohrrohr / Fußplatte
 - Entmischung des Betons durch Wasser im Seelenrohr

■ Schneckenortbetonpfähle

■ Einbau Bewehrungskorb

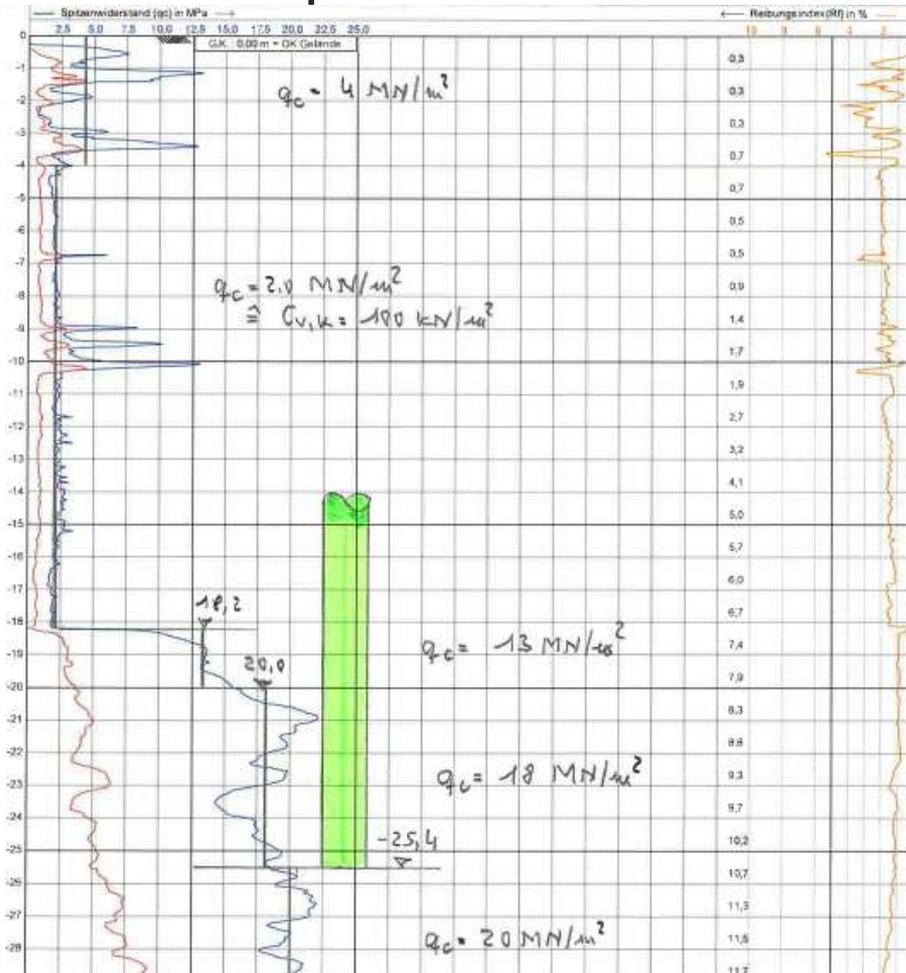
- unmittelbar nach Betonierende
- Anforderung an Beton anpassen
- ggf. mit Rüttlerunterstützung
- größere Betondeckung (100 mm)
- Zentrierungsunterstützung durch Korbausbildung

■ Schneckenortbetonpfähle

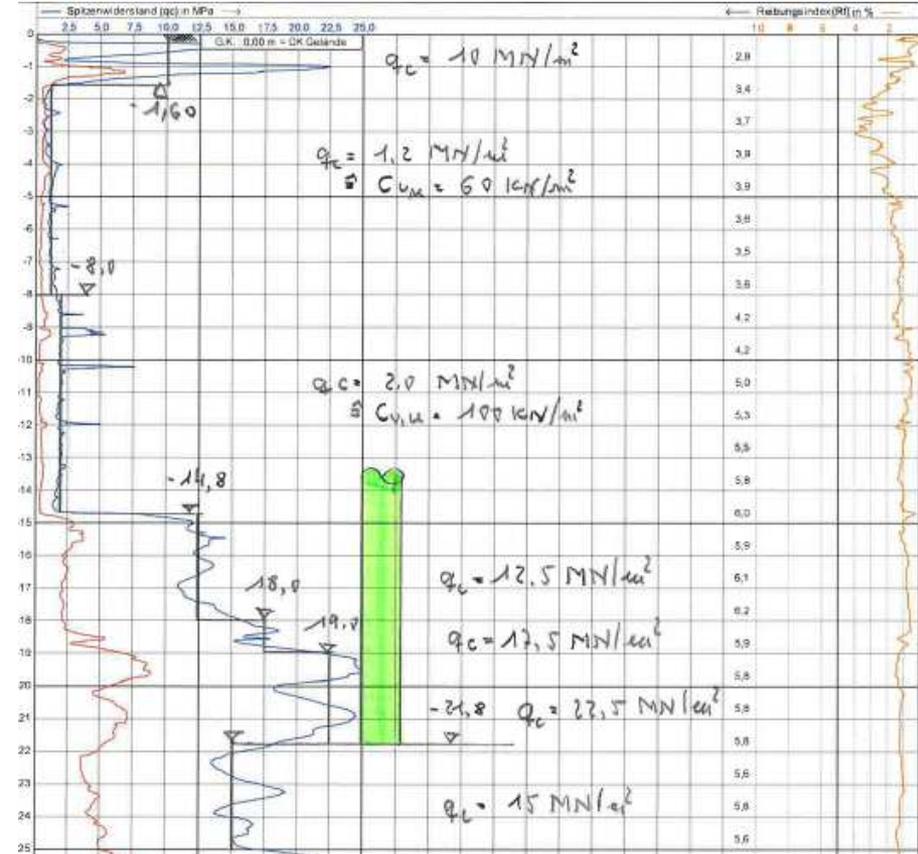
- Drehrichtung beim Ziehen
 - ohne Drehung oder wie Abteufrichtung
 - bei falscher Richtung Bodeneintrag in Frischbetonsäule
- Ziehgeschwindigkeit
 - sehr gering, da hoher Betonverbrauch mit kleinem Seelenrohr

■ Statische Probelastungen

■ Bohrpfahl d = 90 cm



TVB-Pfahl d = 78 cm



■ Statische Probelastungen

■ Bohrpfahl d = 90 cm

■ TVB-Pfahl d = 78 cm



■ Statische Probelastungen

- Bohrpfahl
 - obere Erfahrungswerte der EA-Pfähle
- TVB-Pfahl
 - 87% der oberen Erfahrungswerte der EA-Pfähle
 - Rücksprung Lagerungsdichte unterhalb der Absetztiefe
 - Keine automatische Aufzeichnung der Herstellung

- **Was ist zu tun?**
 - Qualität vor Leistung
 - Überwachung der Herstellung
 - Überprüfung der Anweisungen anhand der Erkenntnisse
 - Automatische Aufzeichnung der Maschinendaten
 - Erkenntnisse für zukünftige Projekte
 - Bessere Ursachenforschung bei Schäden
 - Erfahrenes Personal einsetzen
 - Intensive Schulung der Mitarbeiter

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



KOMPETENZ AUF DIE SIE BAUEN KÖNNEN