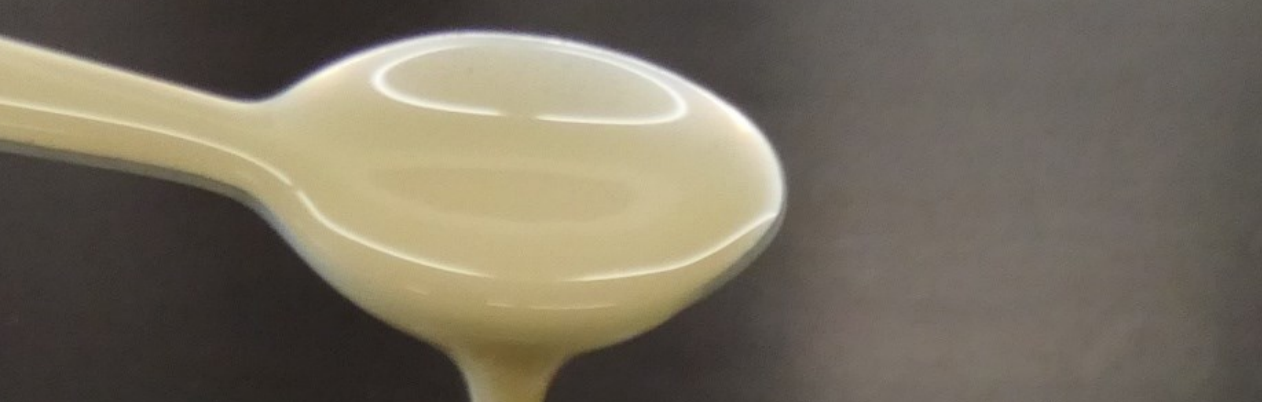


BAWKolloquium

Geotechnik: Stand der Technik – Stand des Wissens

Hamburg, 19.09.2019





Neuere Entwicklungen in der Schlitzwandtechnik

Prof. Dr.-Ing. Matthias Pulsfort
Bergische Universität Wuppertal

BAW-Kolloquium

„Geotechnik – Stand des Wissens, Stand der Forschung“
19.09.2019 – Hamburg

Übersicht

1. Stand der Normen und Empfehlungen
2. Aushubtechnik für Schlitzwände
3. Fugen-Abschalkonstruktionen
4. Polymerlösungen als Stützflüssigkeit
5. Betone für Spezialtiefbauarbeiten

Es fehlt:

Stand sicherheitsnachweis für
T- oder L-Lamellen!!



1. Stand der Normen und Empfehlungen

Ausführungsnorm:

DIN EN 1538: 2015-10 = Fortschreibung der Fassung von 2010-12

Stand sicherheitsnachweise für die flüssigkeitsgestützte Erdwand:

DIN 4126: 2013-09

Ausschreibung und Abrechnung: DIN 18313; 2012-02

Beton für den Spezialtiefbau:

DIN EN 206, Anhang D (Entwurf)

EFFC/DFI: Guide to Tremie Concrete for Deep Foundations, 2nd Ed. 2018 (auch deutsch)

Stützflüssigkeiten für den Spezialtiefbau:

EFFC/DFI: Guide to Support Fluids for Deep Foundations, 1st Ed. 2019

1. Stand der Normen und Empfehlungen

Deutschsprachige Fassung:

Leitfaden **Kontraktorbeton** für Tiefgründungen

der gemeinsamen Arbeitsgruppe "Beton" von EFFC und DFI



Übersetzung
Entwurf V1.1s
28. Sept 2018



ZWEITE
FASSUNG
2018

Guide to **Support Fluids** for Deep Foundations

By the joint EFFC/DFI Support Fluids Task Group



FIRST
EDITION
2019

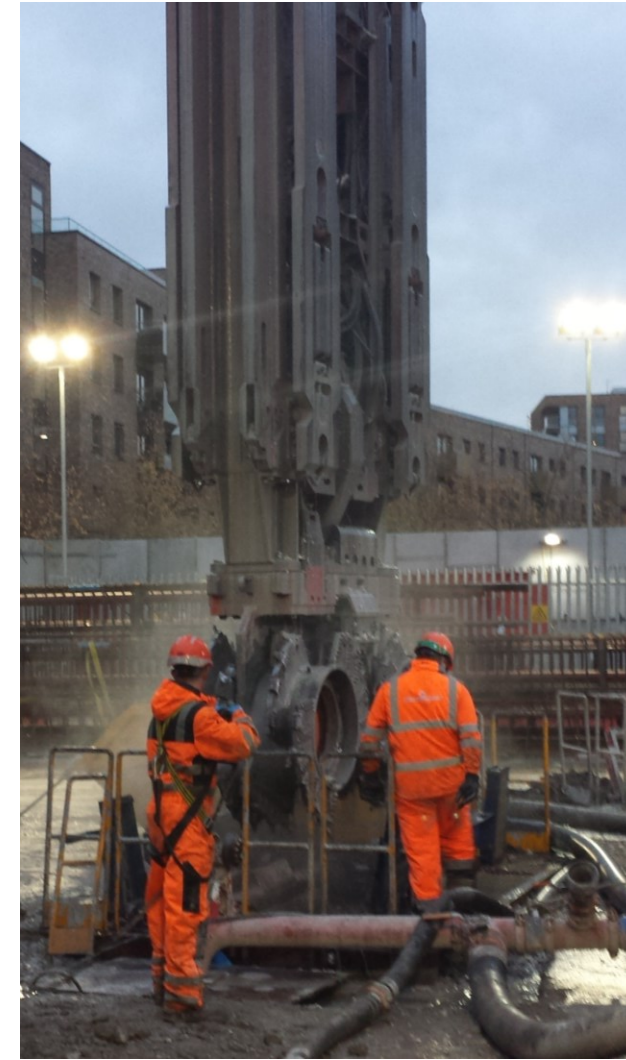
2. Aushubtechnik für Schlitzwände

Greifertechnik:

- Seilgreifer
- Hydraulikgreifer



Frästechnik:



2. Greifertechnik

Seilgreifer ...länger, schwerer, effektiver!



2. Greifertechnik - Seilgreifer

Wandstärken von 60 cm bis 150/180 cm – neu auch 200 cm



Quelle: MFS Wilhelmshaven

2. Greifertechnik

Seilgreifer



Hydraulikgreifer

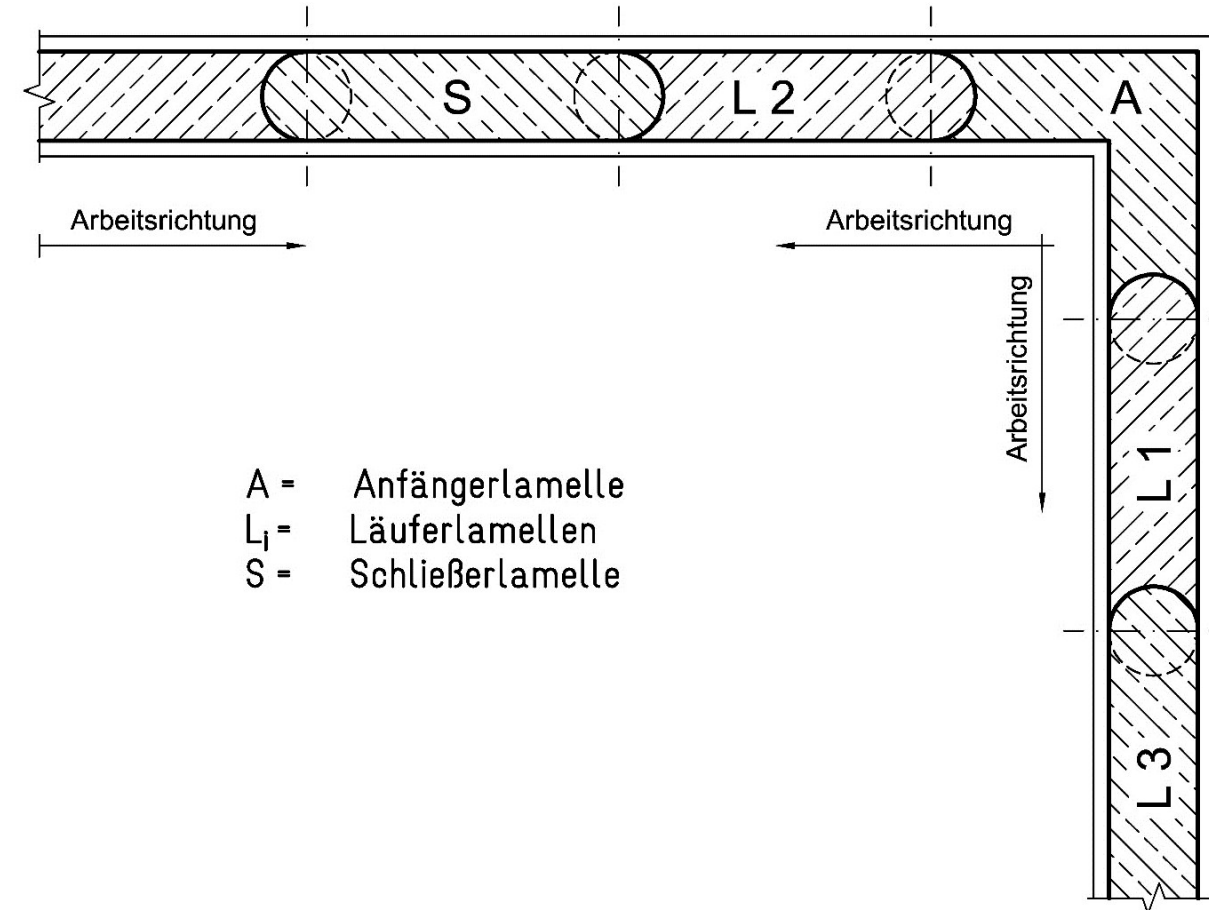


3. Fugen-Abschaltechnik

Lamellen aus einzelnen **Greiferstichen** zwischen 2,80 und ca. 10 m Länge möglich

Maulweiten: (2,50 m) 2,80 m,
3,40 m, 4,20 m

- bis 80 cm Wandstärke:
Rundschalensatz/Abschalrohr
- ab 100 cm Wandstärke:
eckiger Schalensatz/Fugenelement



Quelle: Grundbautaschenbuch, Teil 3
Haugwitz/Pulsfort

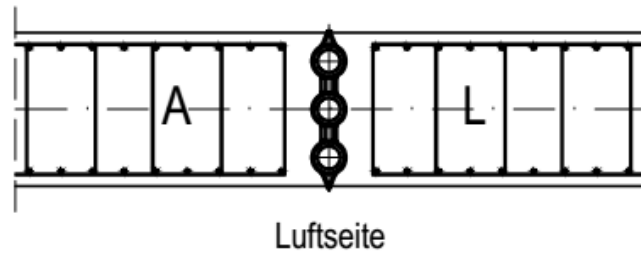
3. Fugen-Abschaltechnik

Schwachpunkt Fuge?

Fugenabschal-Systeme

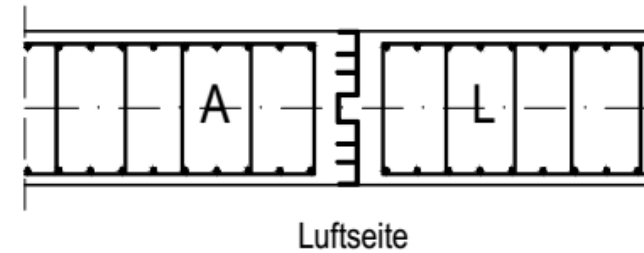
- wieder gezogen:

Flachfugenelement
Erdseite

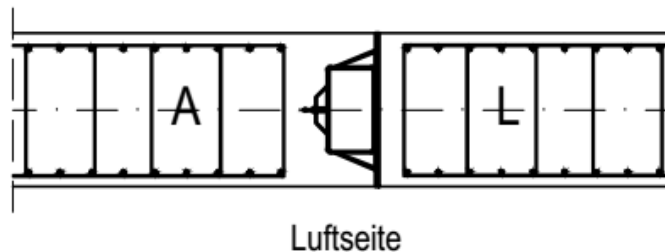


- im Schlitz verbleibend:

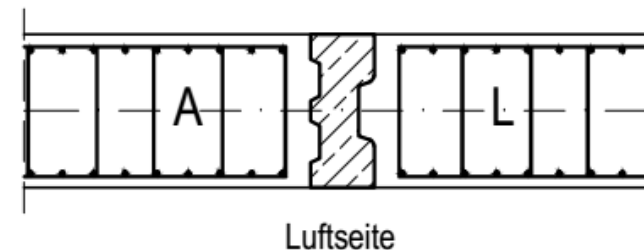
Zoch - Fuge
Erdseite



Bachy - Fuge
Erdseite



Bleibendes Stahlbeton-Fugenelement
Erdseite



3. Fugen-Abschaltechnik

Verbleibende Fertigteile: bei großen Tiefen zu schwer



3. Fugen-Abschaltechnik

Verbleibende Flachfuge = sog. Zoch-Fuge



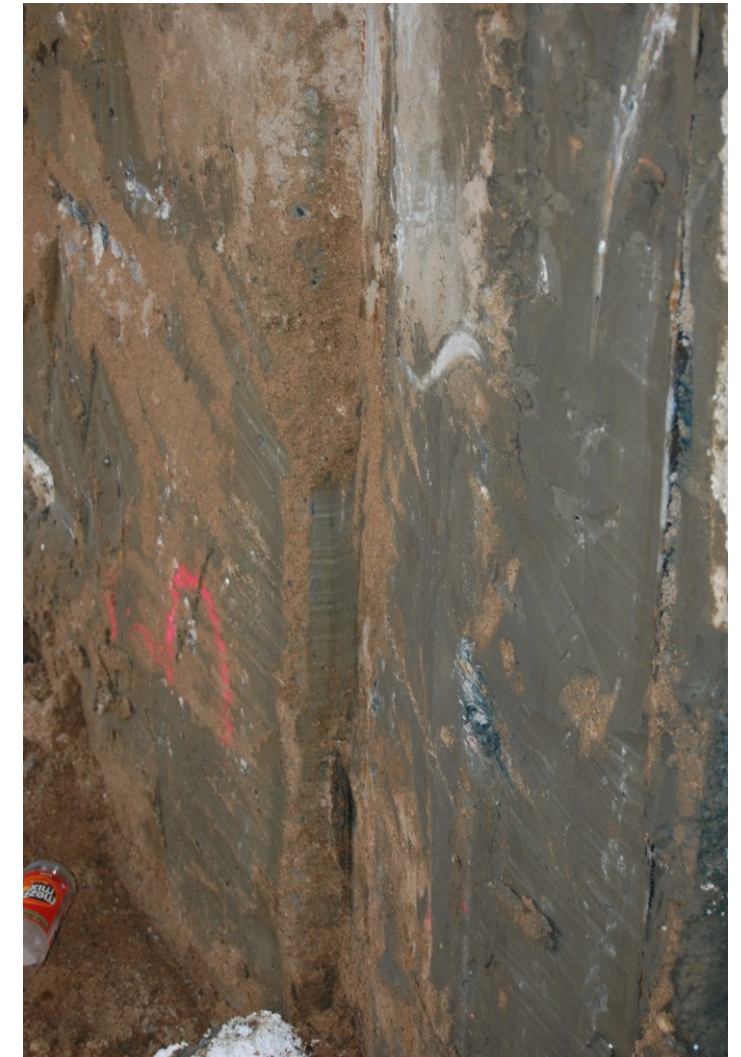
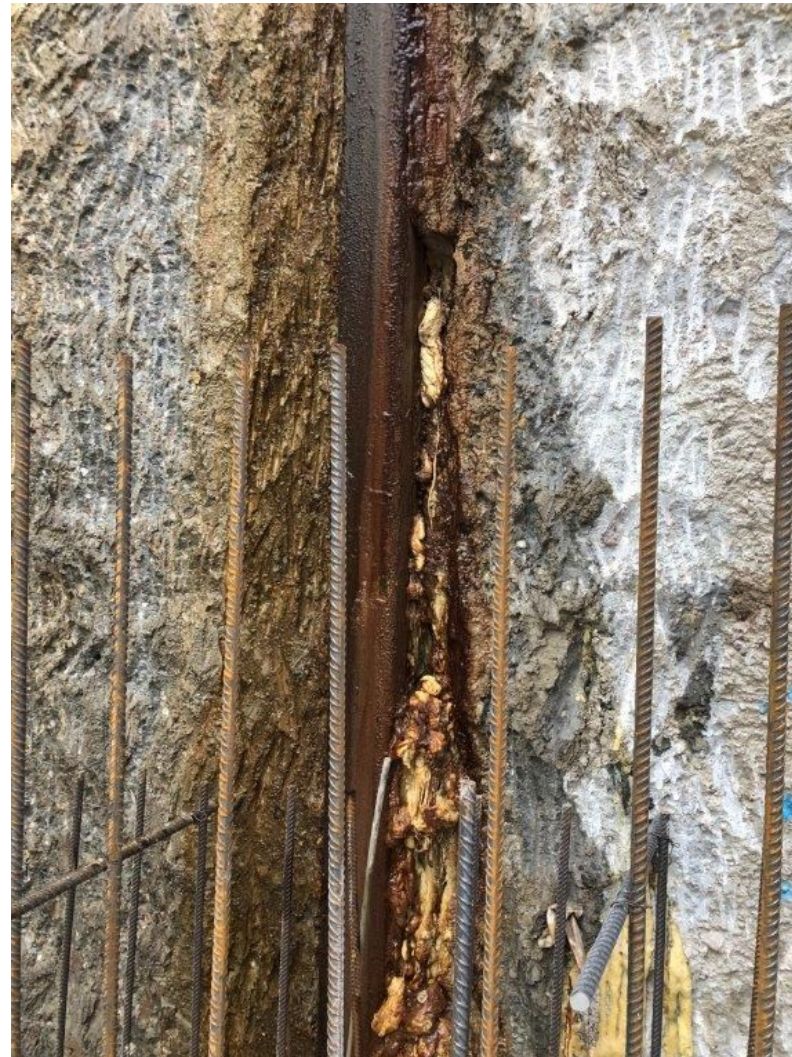
3. Fugen-Abschaltechnik

Verbleibende Flachfuge = sog. Zoch-Fuge



3. Fugen-Abschaltechnik

Verbleibende Flachfuge = sog. Zoch-Fuge



3. Fugen-Abschaltechnik

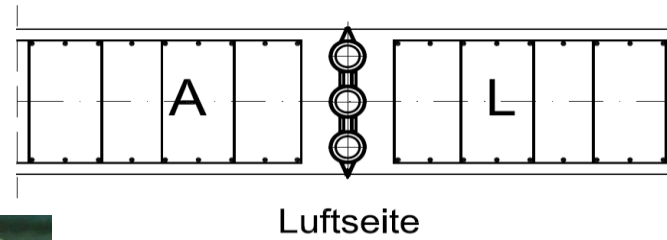


Nachteil Zoch-Fuge: rel. biegeweich, verletzlich beim Meißeln und Greifern!

3. Fugen-Abschaltechnik

Gezogene Flachfuge System MFS

Flachfugenelement
Erdseite



Vorteil: kein einseitiger Frischbeton-Überdruck!
Nachteil: Ziehzeitpunkt genau einhalten!

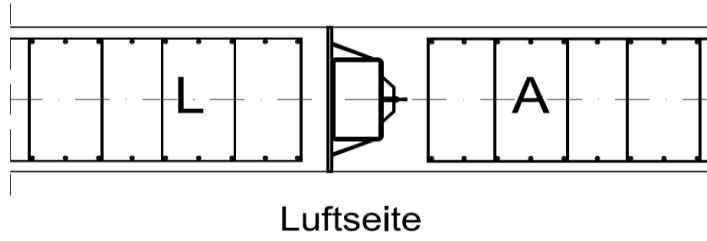
3. Fugen-Abschaltechnik

Gezogene Flachfuge System MFS: verlaufene Fuge



3. Fugen-Abschaltechnik

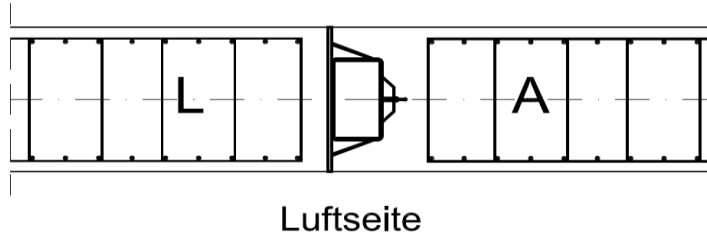
Bachy - Fuge
Erdseite



Vorteil: Fugenband möglich
Nachteil: bei größeren Tiefen schwer zu bergen, weil Gelenkkette durch Stöße!

3. Fugen-Abschaltechnik

Bachy - Fuge
Erdseite



Vorteil: Fugenband möglich
Nachteil: bei größeren Tiefen schwer zu bergen, weil Gelenkkette durch Stöße!

3. Fugen-Abschaltechnik



Besonderer Vorteil: Einbau von Spundbohlen möglich!

3. Fugen-Abschaltechnik

Schleuse Gleesen:
mit Fugenband



3. Fugen-Abschaltechnik



→ Die Kunst der Fuge!

4. Flüssigkeitsstützung der Erdwand

Klassisch: mit Bentonitsuspension

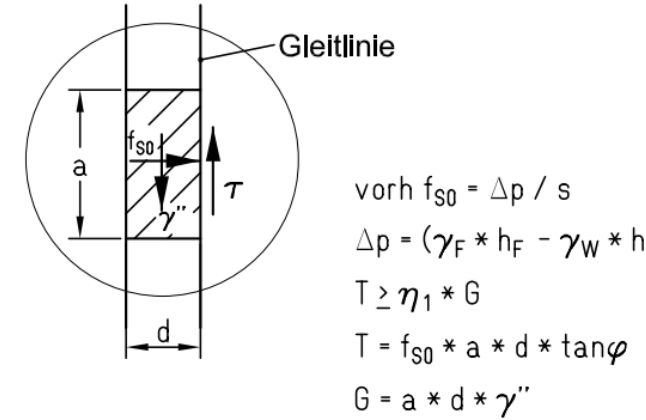
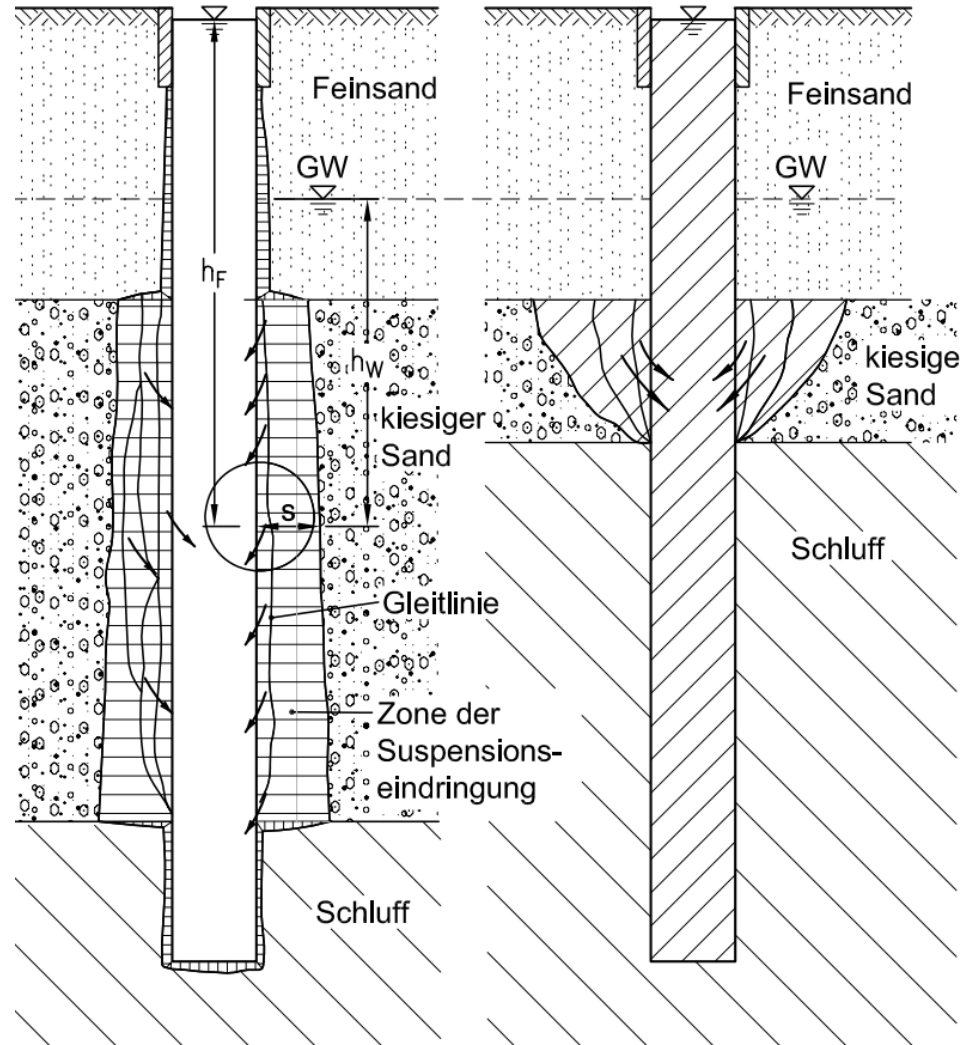
Alternativ: mit Polymerlösung!

Vorteile:

- Wirtschaftlichkeit (Baubetrieb, Vorkommen, Entsorgung)
- Umweltverträglichkeit (Fische, Muscheln, Grundwasserverunreinigung, Entsorgung)
- Chemische Randbedingungen (Verklebungen, Quellprobleme, Salz, pH)

Nachteile:

- Keine Fließgrenze, dadurch keine Stagnation im Porenkanal
- Vorbehalte bei den Wasserbehörden
- Weniger Erfahrungen



$$f_{s0} * a * d * \tan \varphi \geq \eta_1 * a * d * \gamma''$$

$erf f_{s0} = \eta_1 * \gamma'' / \tan \varphi$
vorh $f_{s0} > erf f_{s0}$

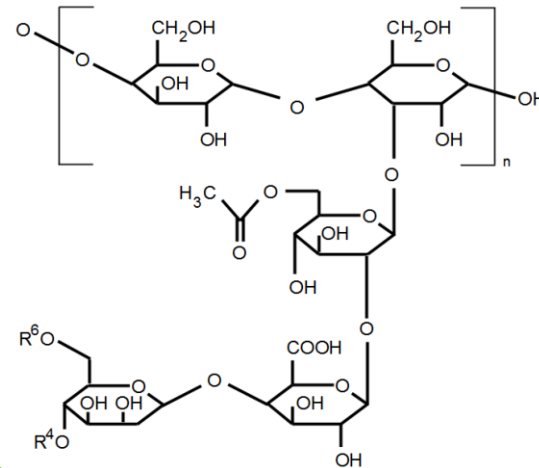
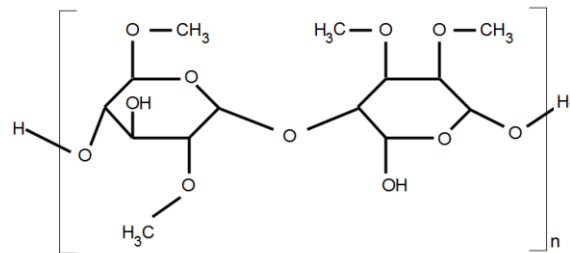
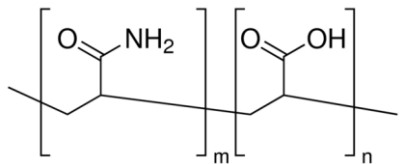
Nachweis der "inneren" Standsicherheit

Polymer

Großes Makromolekül, das sich aus Wiederholeinheiten zusammensetzt

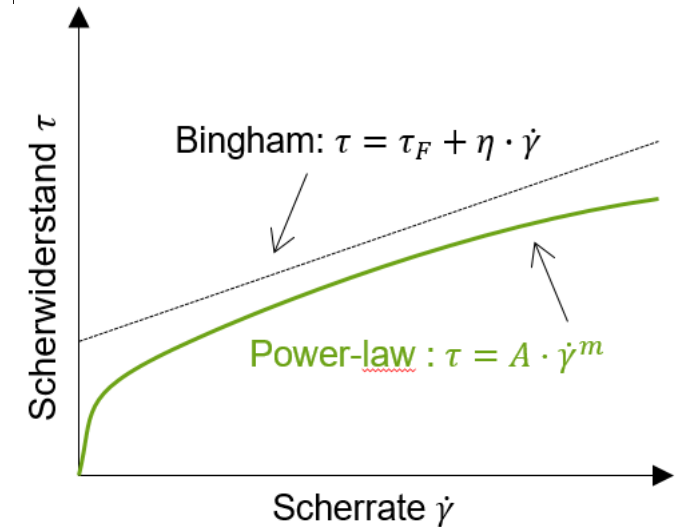
4. Flüssigkeit Erdwand

Acrylamid-Acrylat-Copolymer (auch: Polyacrylamid, PHPA)	Hydroxyethylzellulose (HEC)	Xanthan
Synthetisch	Biopolymer-Derivat	Biopolymer
Monomere: Acrylat, Acrylamid	Monomere: Zelluloseether	Monomere: Glucose, Mannose mit Seitenketten



hier: nur wasserlösliche und vergleichsweise langkettige

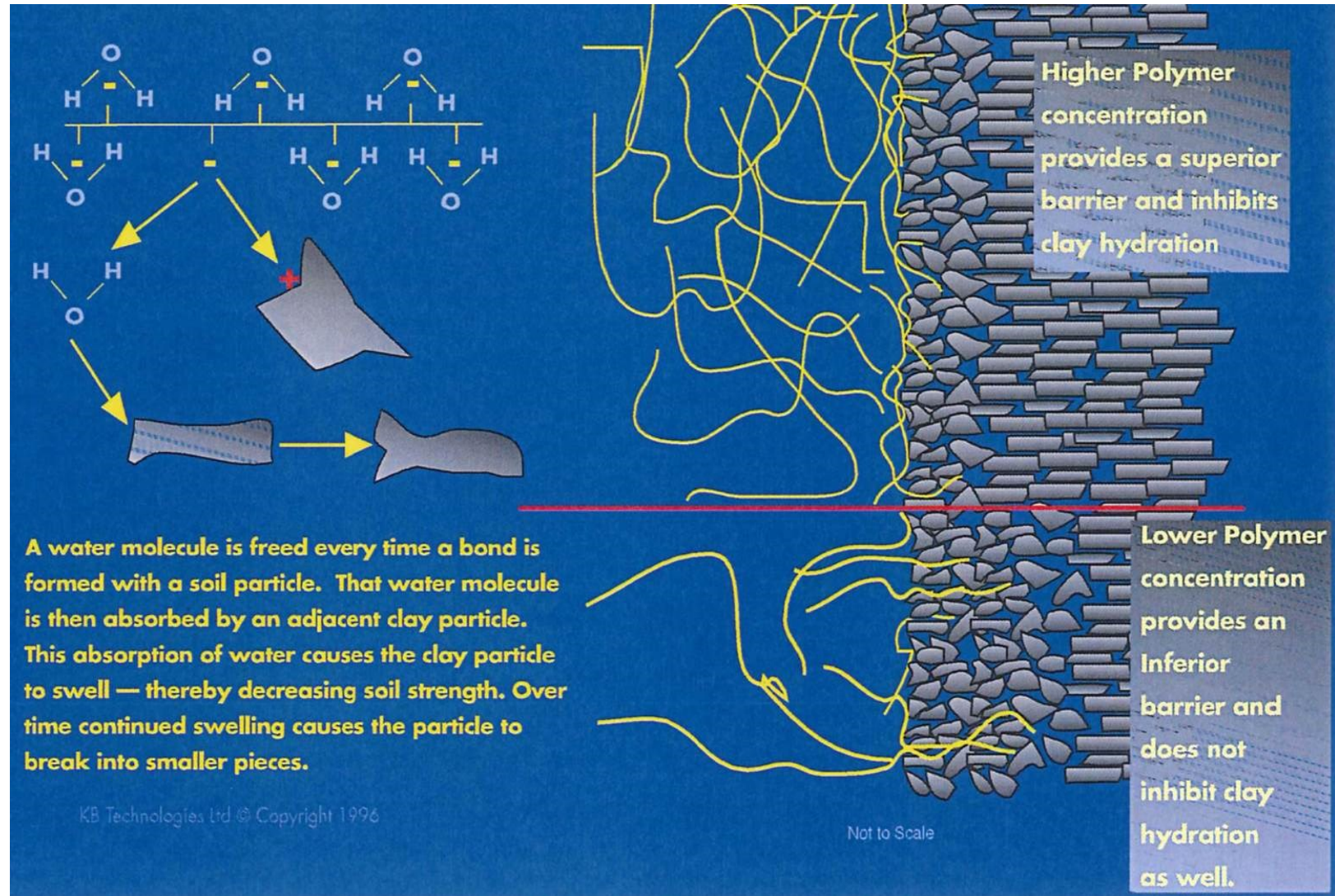
Polymere in Lösung



4. Flüssigkeitsstützung der Erdwand

Ideal-Vorstellung:

Die langkettigen Polymer-Moleküle legen sich wie eine Membran vor die Porenkanäle und „verstopfen“ sie!



Quelle: KB Systems

4. Flüssigkeitsstützung der Erdwand

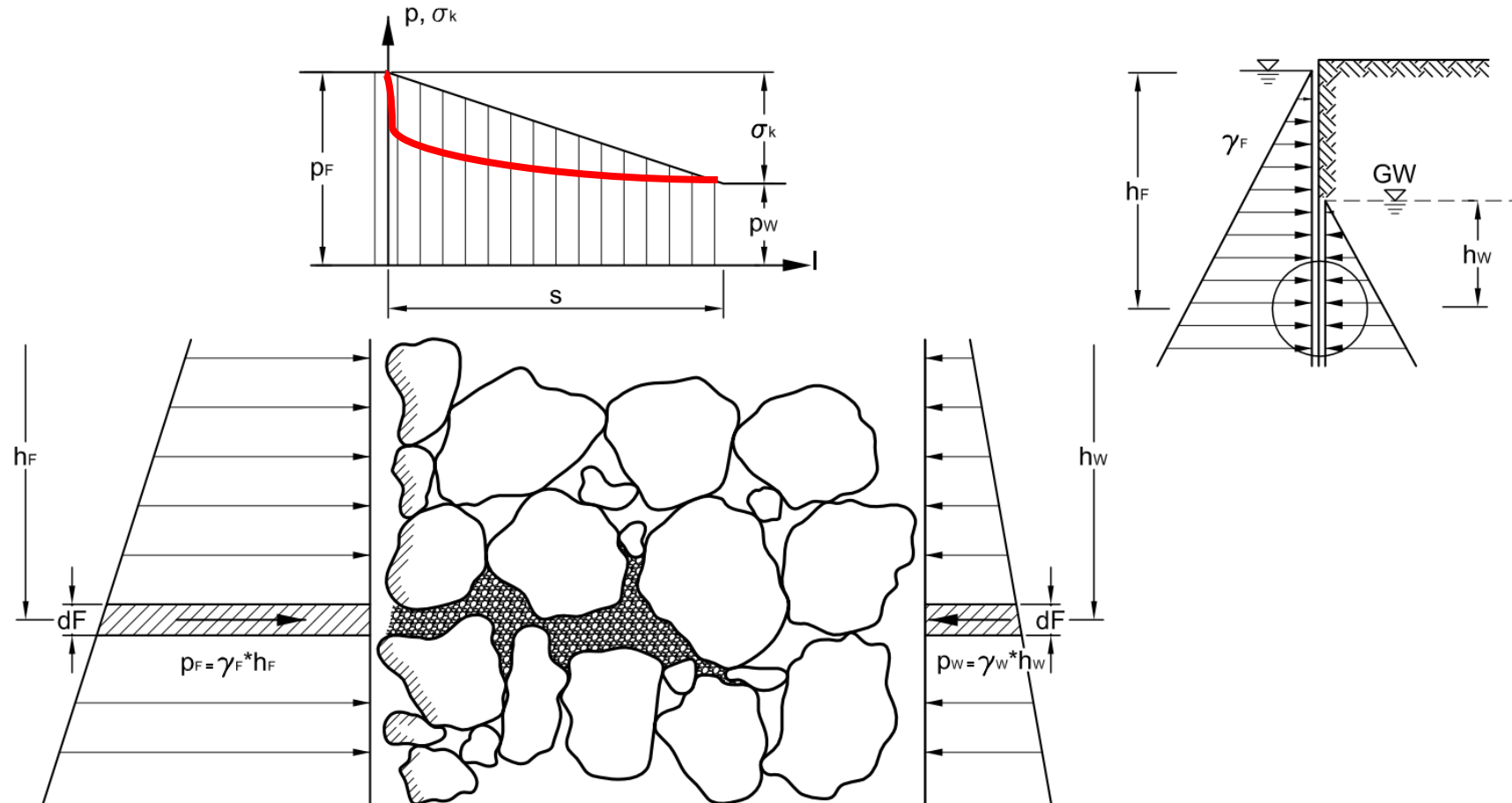
Stützdruckübertragung auf
grobes Korngerüst

aus einer „**beladenen**“
Polymerlösung:

Kolmation

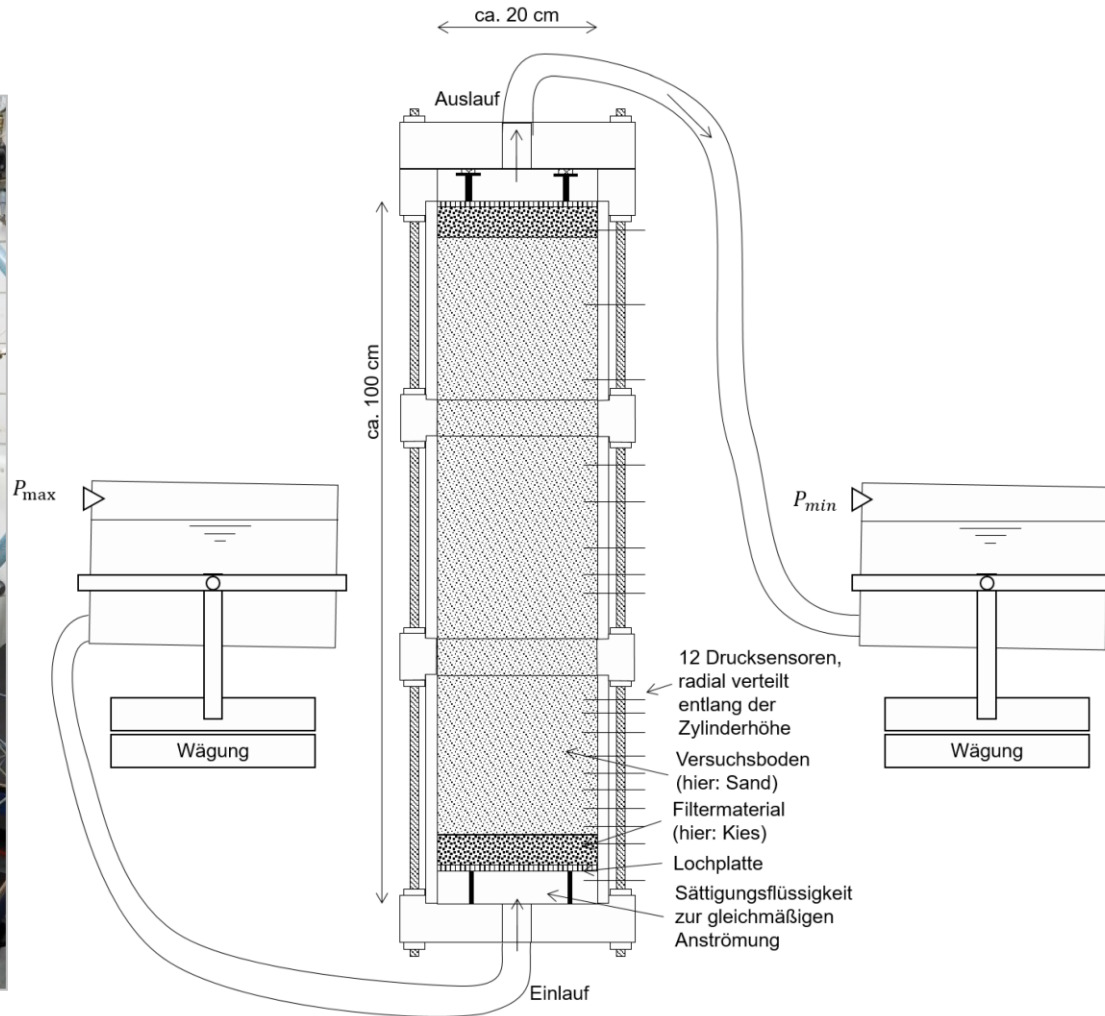
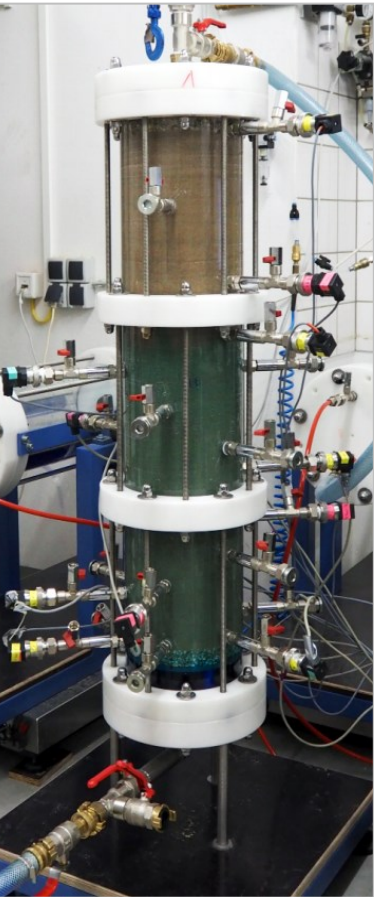
oder

Zugabe von Polymer-Kugel-
Granulat



4. Flüssigkeitsstützung der Erdwand

1D-Laborversuche zur Durchströmung



Sand

- $d_{50} = 0,48 \text{ mm}$
- $C_u = 2,7$
- $n = 0,34$
- $\rho_d = 1,67 \text{ g/cm}^3$
- $k_w = 2 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$

Drucklevel

- $p_{min} = 0,4 \text{ bar}$
- $\Delta p = p_{max} - p_{min} = 0,15 \text{ bar}$

Messgrößen

- Eindringgeschwindigkeit bzw. Eindringlänge $s(T)$
- Druckverteilung Δp entlang der Eindringlänge

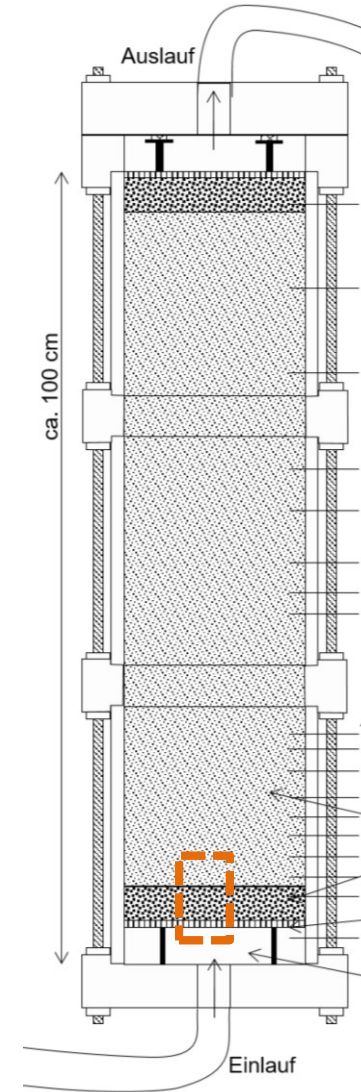
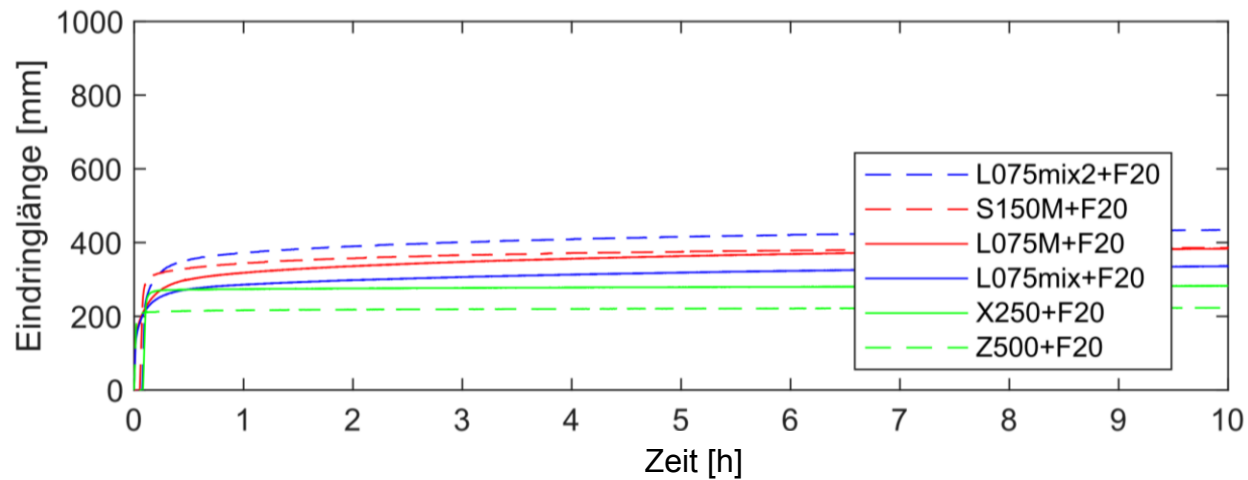
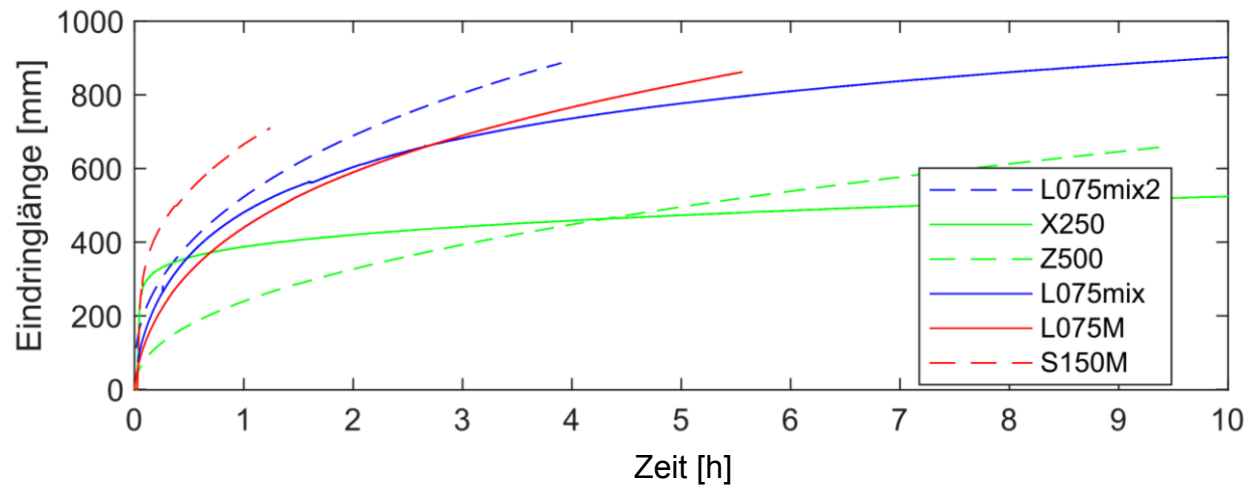
Quelle: Verst 2019

4. Polymerlösungen

	<i>Polymer-</i>			<i>... in Lösung</i>	
	Typ*	Molekulargewicht* [Da]	Ladungsdichte* [%]	Konzentration [g/l]	Marshzeit (1000 ml) [Sek]
S150M	PHPA	5..7·10 ⁶	30	1,50	58
S150M+F20	+Feinkorn			+20	55
L075M	PHPA	25..30·10 ⁶	30	0,75	107
L075M+F20	+ Feinkorn			+20	112
L075mix	PHPA+?	k.A.	k.A.	0,75	105
L075mix+F20	+ Feinkorn			+20	98
L075mix2	PHPA+?	k.A.	k.A.	0,75	106
L075mix2+F20	+ Feinkorn			+20	107
X250	Xanthan	k.A.	k.A.	2,50	58
X250+F20	+ Feinkorn			+20	53
Z500	Zellulose	k.A.	k.A.	5,00	80
Z500+F20	+ Feinkorn			+20	82

* Herstellerangaben

4. Versuchsergebnisse zur Eindringung



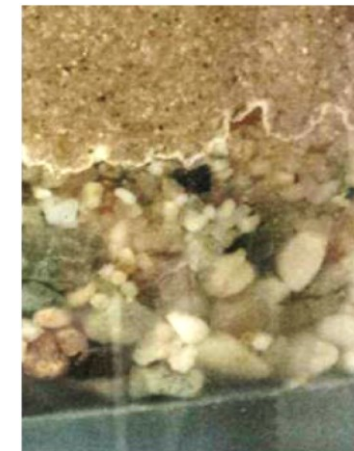
Start der Eindringung



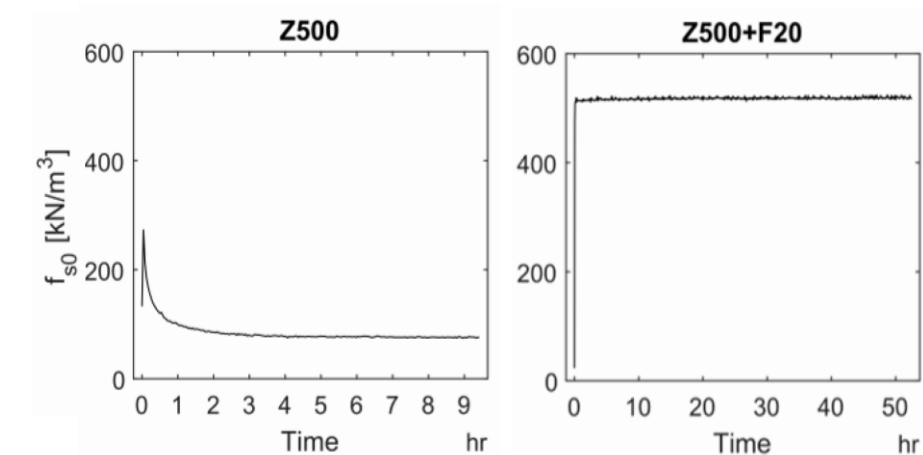
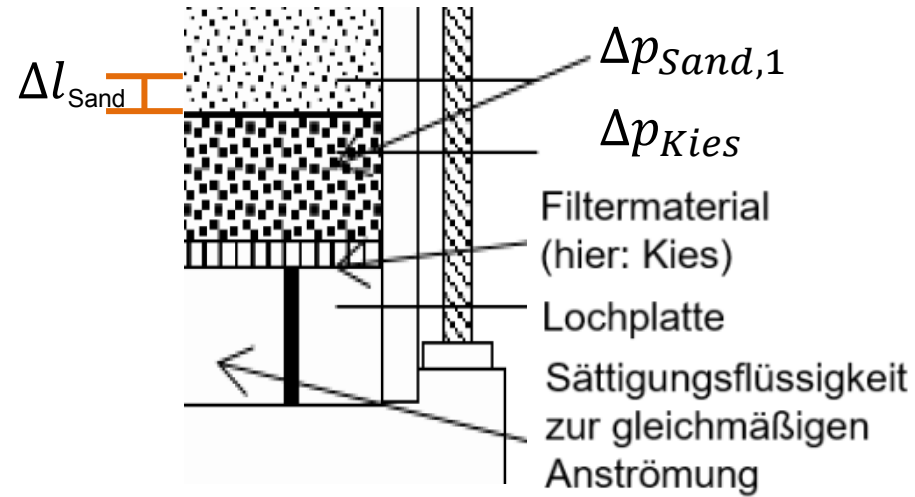
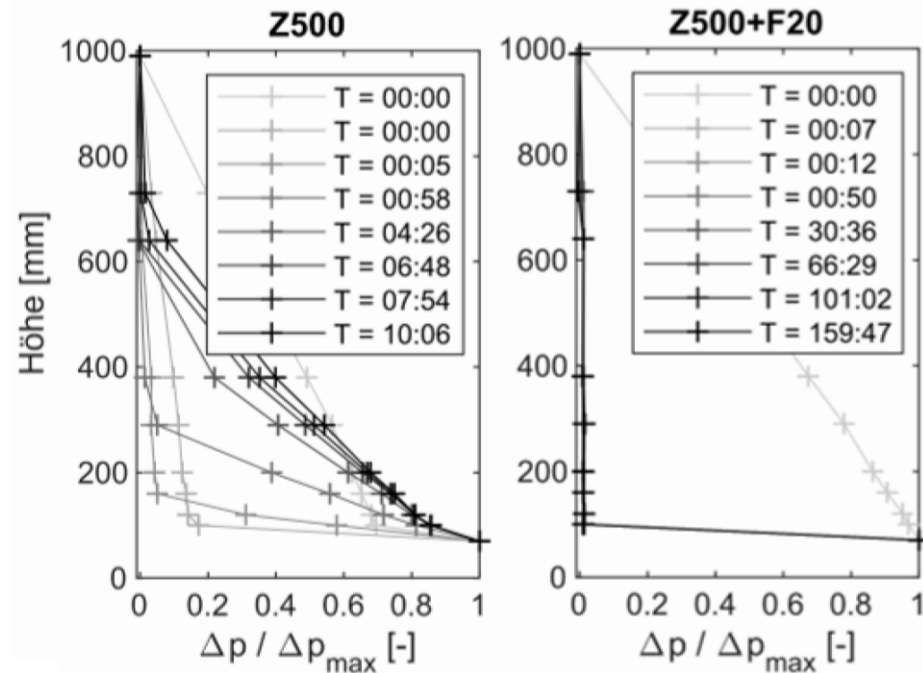
nach 48h:

Biopolymere

synth. Polymere



4. Versuchsergebnisse – Druckverteilung bei Bio-Polymerlösung



$$\text{Gradient: vorh. } f_{s0} = \frac{\Delta p}{\Delta l} = \frac{\Delta p_{Kies} - \Delta p_{Sand,1}}{\Delta l_{Sand}}$$

4. Flüssigkeitsstützung der Erdwand

Vorläufiges Fazit aus den 1D-Strömungsversuchen in Sand mit Polymerlösungen

1. „Einfache“ lineare Kettenpolymere ohne Feinkorneintrag:

- Höhere Viskosität → langsamere Eindringung
- Überlinearer Druckabbau

2. Kolmation durch Polymer-Mix und/oder durch Feinkornaufladung:

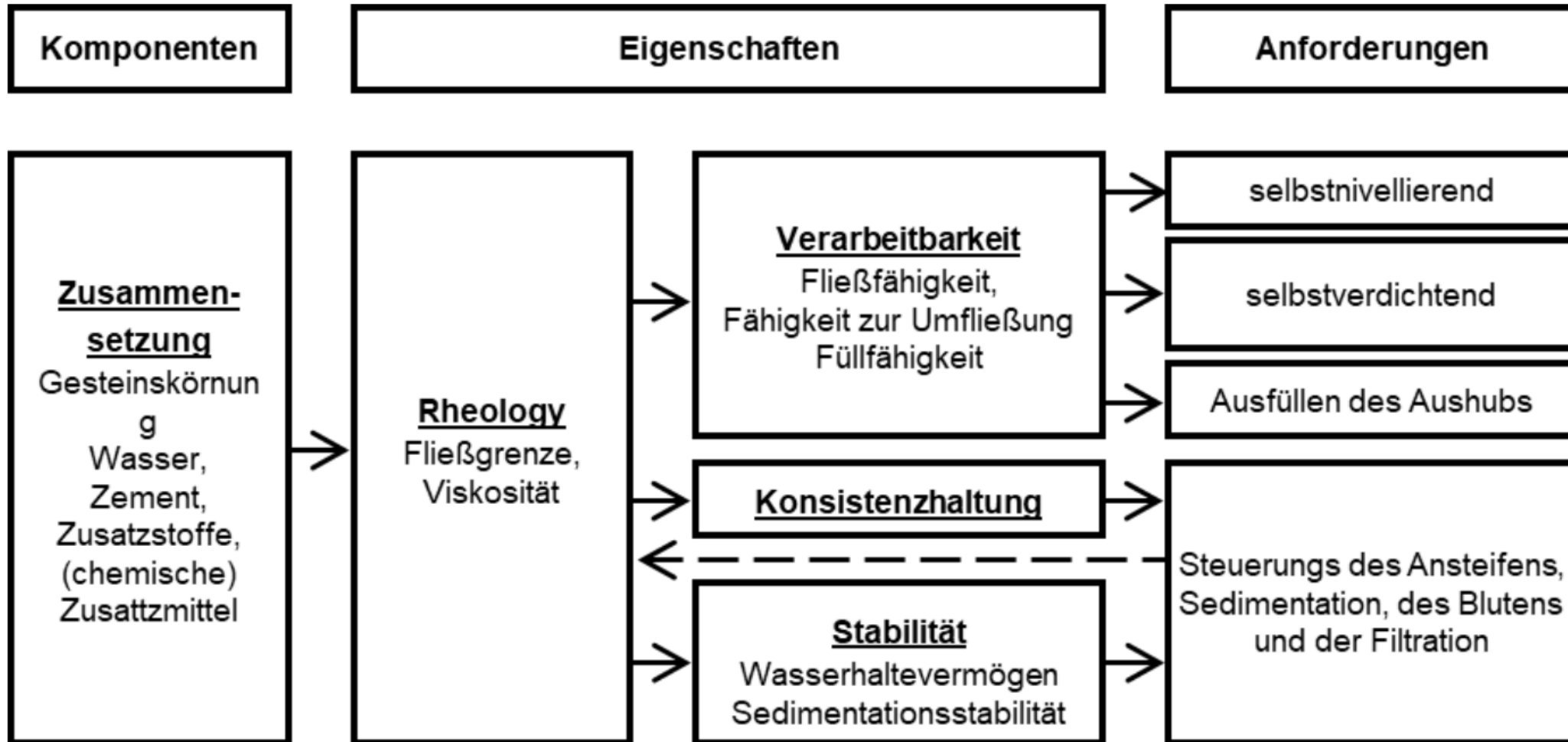
- Rheometer: ähnliche Fließkurven wie „einfache“ Polymerlösungen
- „in-situ“: signifikante Veränderung
 - des Eindringverhaltens und
 - des Druckabbaus an der Erdwand

→ Schlussfolgerungen für die innere Standsicherheit:

- Bei viskosem Fließen: Nachweis einer maximal zulässigen Standzeit
- Mit Kolmation: zeitunabhängiger Nachweis über f_{s0} möglich!

5. Betone für den Spezialtiefbau

Anforderungen an Schlitzwandbeton:



Quelle: EFFC/DFI 2018

5. Betone für den Spezialtiefbau

**Fließfähigkeit
des Frischbetons??**



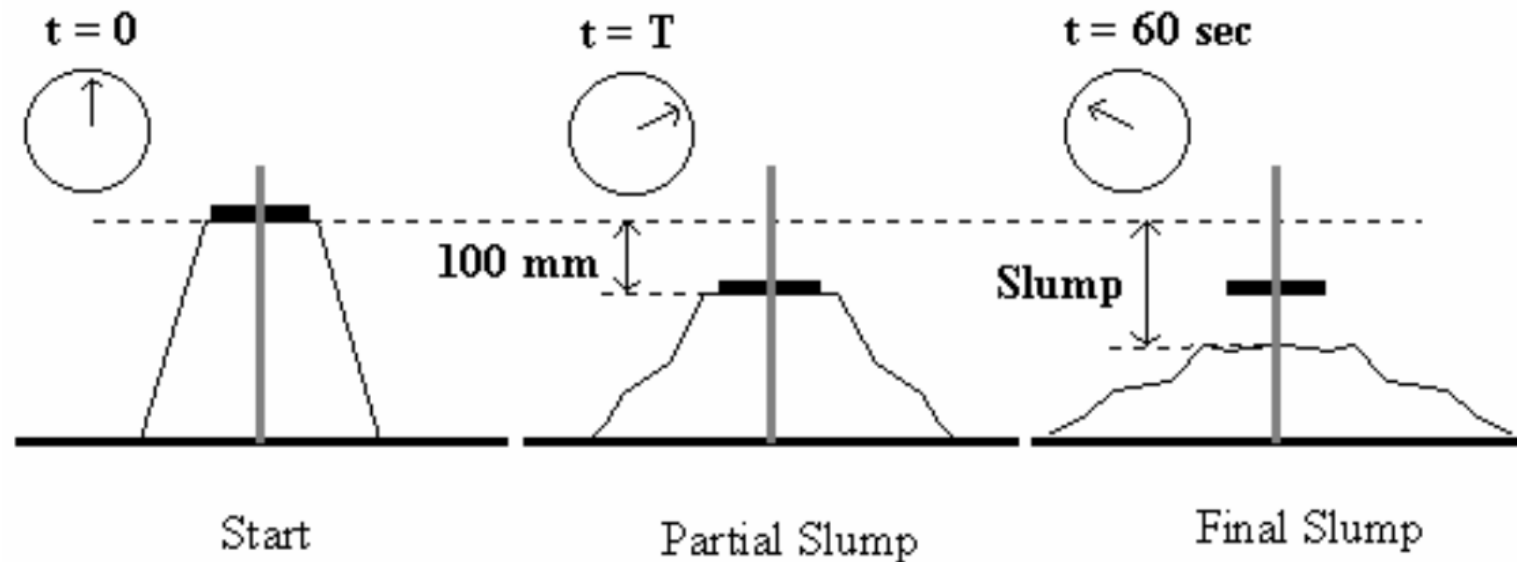
5. Betone für den Spezialtiefbau

Wesentliche Erkenntnisse:

klassische Ermittlung des Ausbreitmaßes nach deutscher Norm reicht nicht aus, um die Verarbeitbarkeit des Betons zu beurteilen!

Besser geeignet ist der Slump-Versuch sowie die für die SVB-Technologie entwickelten Frischbetonprüfungen.

Näheres s. EFFC-Guide!



5. Betone für den Spezialtiefbau

Erforderlich: Erweiterte Frischbeton-Prüfungen

Nr.	Prüfverfahren	zur Bestimmung der		
		Verarbeitbarkeit	Thixotropie	Stabilität
A1.1	Setzfließmaß	✓	✓*	-
A1.2	Slump Flow Velocity	✓	-	-
A1.3	VSI	-	-	✓
A2	Setzmaß	✓	✓*	-
A3	Ausbreitmaß	✓	✓*	-
A4	Modified Cone Outflow	✓	-	-
A5	Manual Vane Shear	✓	✓*	-
A6	Konsistenzhaltung	✓	-	-
A7	statische Entmischung	-	-	✓
A8	Sieb Entmischung	-	-	✓
A9	Bluten	-	-	✓
A10	BAUER Filtration	-	-	✓

Quelle: EFFC/DFI 2018

5. Betone für Spezialtiefbauarbeiten

Noch offene Fragen:

Blutneigung des Betons unter hohem Druck!

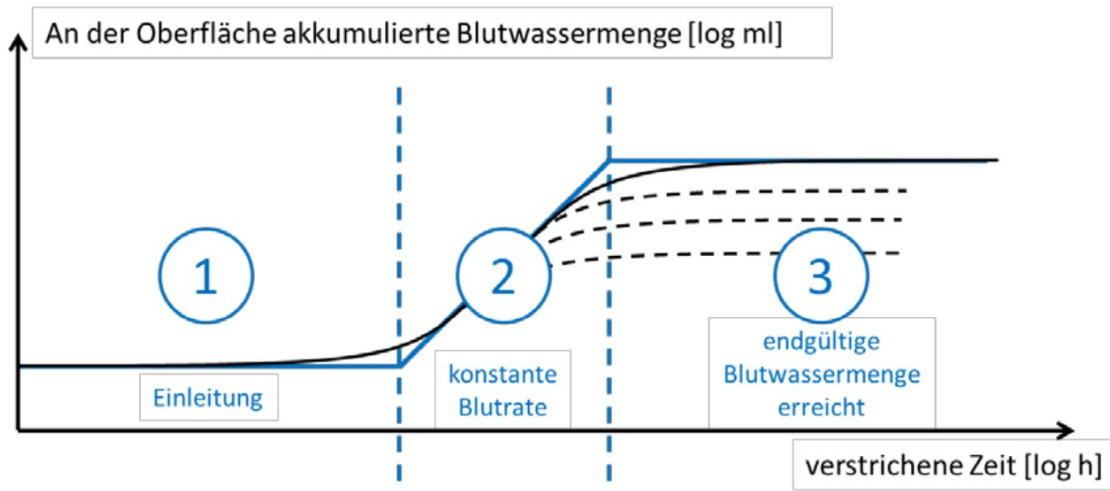
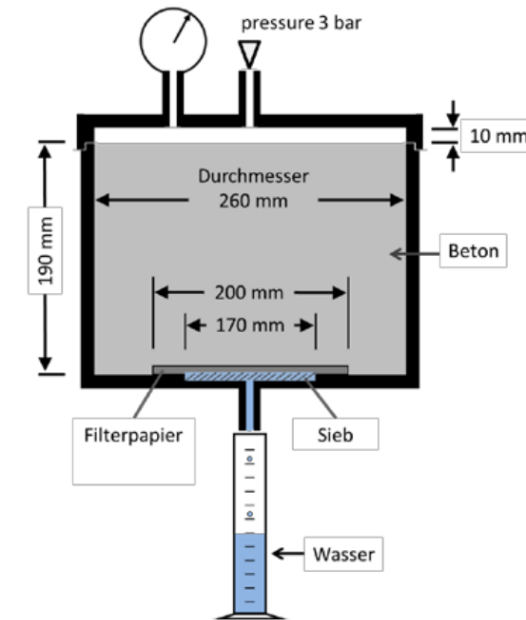


Abbildung A.8: Prüfmittel zur Bestimmung der Filtratwassermenge von unter Druck stehendem Frischbeton (gemäß ÖVBB-Merkblatt Weiche Betone, 2009)

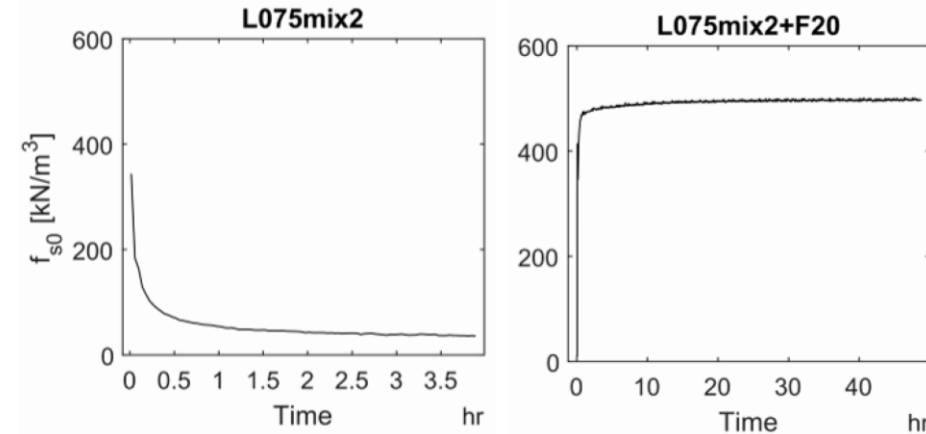
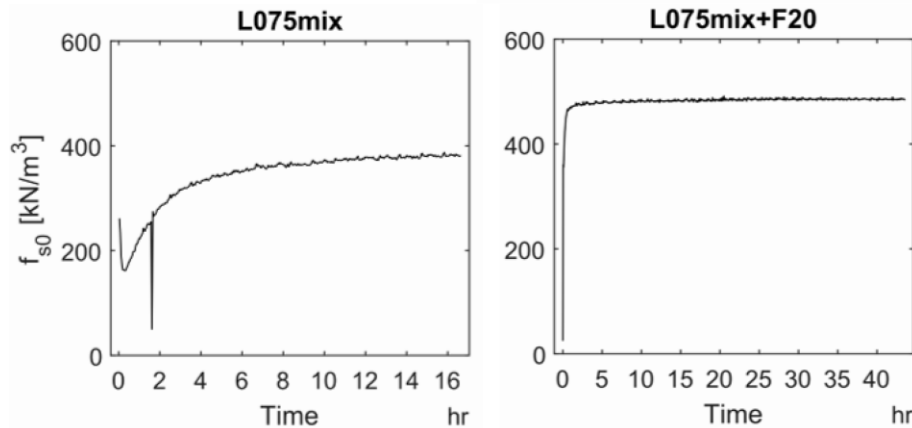
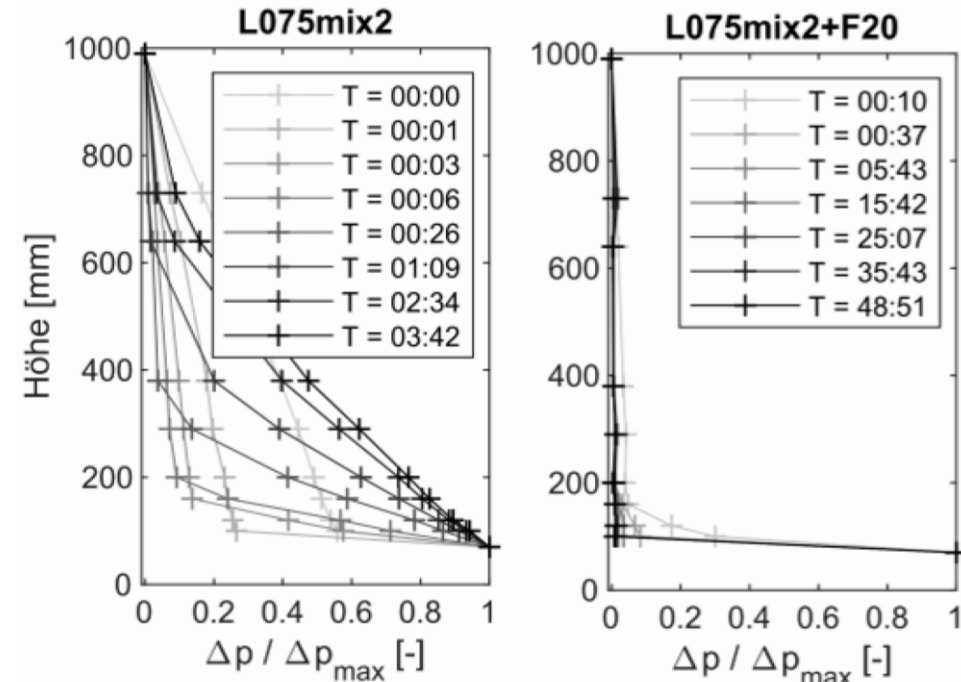
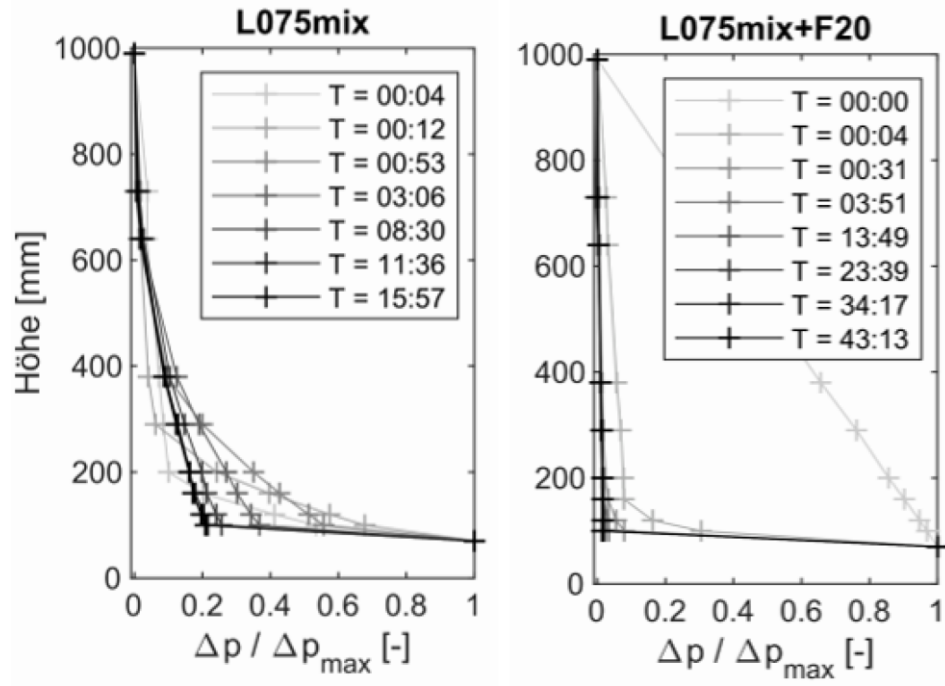


Quelle: EFFC/DFI 2018

**VIELEN DANK FÜR
IHRE AUFMERKSAMKEIT**



4. Versuchsergebnisse – Druckverteilung bei synth. Polymerlösungen



Verpressanker und Mikropfähle

Konstruktionsmerkmale und Anforderungen hinsichtlich Prüfungen/Zugversuchen



Dr.-Ing. Jörg Zimbelmann
Abteilung Bautechnik

- 1. Begriffsabgrenzung und Regelwerke**

- 2. Verpressanker nach DIN EN 1537**
 - § Herstellung
 - § Kurzzeitanker / Temporäranker
 - § Daueranker (System BAUER / SPANTEC)
 - § Eignungs- und Abnahmeprüfungen
 - § Prüfen und Vorspannen
 - § Worauf ist bei der Herstellung zu achten?

- 3. Zugpfähle (Verbundpfähle)**
 - § Stabverpresspfahl System BAUER / SPANTEC
 - § Prüfungen / Statis

- 4. Praxisbeispiele**
 - § Ankereignungsgruppenprüfung
 - § Statische Pfahlprobebelastung

1. Begriffsabgrenzung und Regelwerke

„Anker“

Verpressanker

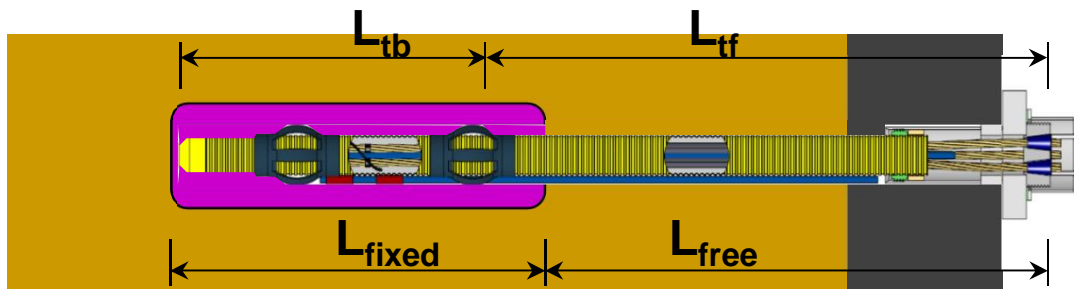
Bemessung: DIN EN 1997-1, Abschnitt 8

Bemessung

Ausführung

DIN EN 1537
+ DIN SPEC 18537

- Ankerkopf
- Freie Stahllänge L_{tf} / freie Ankerlänge L_{free}
- Verankerungslänge L_{tb} / Krafteintragungslänge L_{fixed}



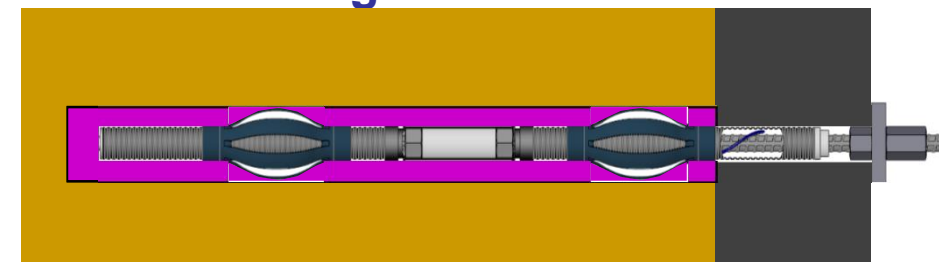
Zugpfahl

Bemessung: DIN EN 1997-1, Abschnitt 7

DIN EN 14199
+ DIN SPEC 18539

„Verbundpfahl“:

- Durchgehendes Tragglied
- Verfüll-/Verpressgut umschließt das Tragglied auf ganzer Länge im Baugrund



1. Begriffsabgrenzung und Regelwerke



„Anker“

Verpressanker

DIN SPEC 18537
DIN EN ISO 22477-5



- ALLE Anker (100 %)
- Prüflastfaktor $g_{G/Q} \times g_a \gg 1,5$

Prüfung

Sonstiges

- i.d.R. vorgespannt
- Vorspannkraft / Festlegekraft $0,8-1,0 \times P_k$
- ▷ KEINE Verschiebungen zur Aktivierung des Ankers erforderlich

Zugpfahl

DIN EN 1997-1, Abschnitt 7
+EA-Pfähle



- $n \geq 2$ und mind. 3 %
- Prüflastfaktor $g_{G/Q} \times g_{s,t} \times \kappa_{1/2} \times \kappa_{1M} \gg 2,0 - 2,5$ (je nach Anzahl Prüfpfähle)

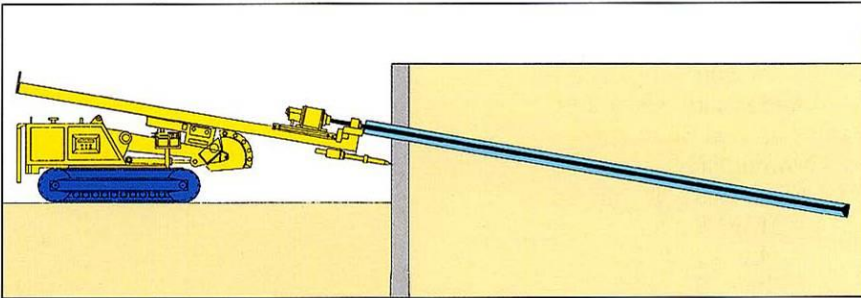
- Schlaff / nicht vorgespannt
- ▷ Aktivierung des Zugpfahls erst mit zunehmender Verformung

2. Verpressanker nach DIN EN 1537

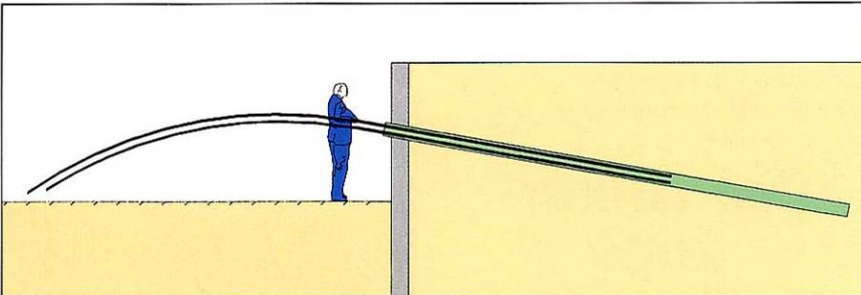
Herstellung



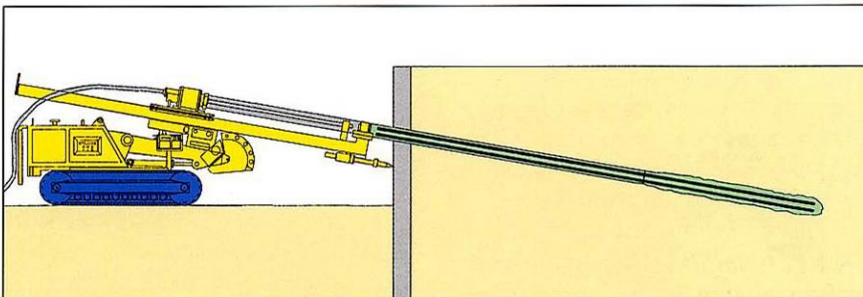
1. Bohrloch herstellen



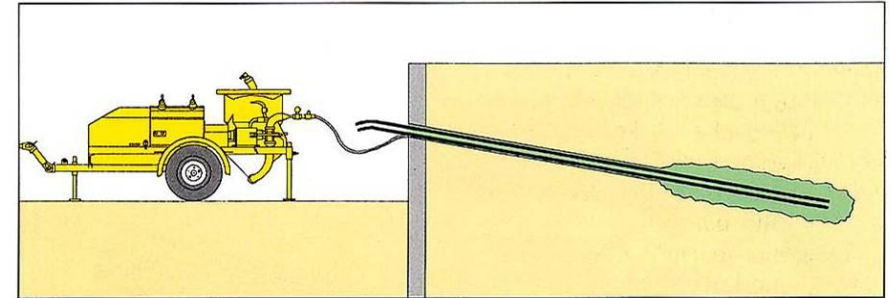
2. Eingeben des Ankerzugglieds



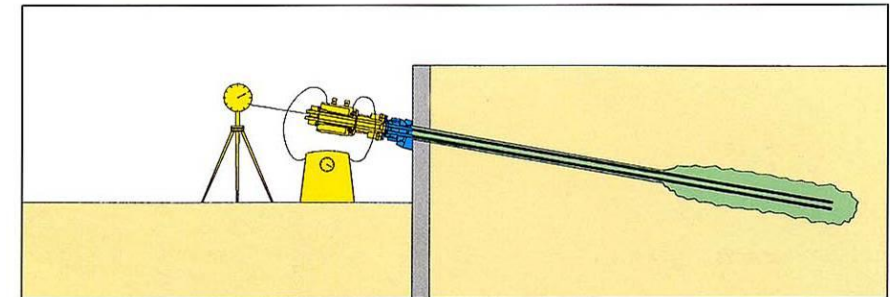
3. Gestänge ziehen und Primärverpressen



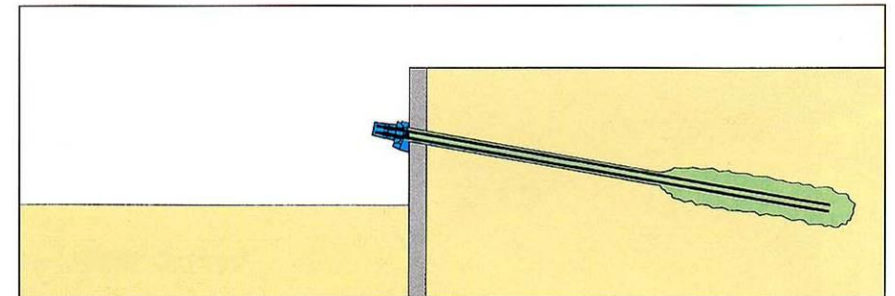
4. Nachverpressen



5. Anker spannen



6. Fertiger Anker

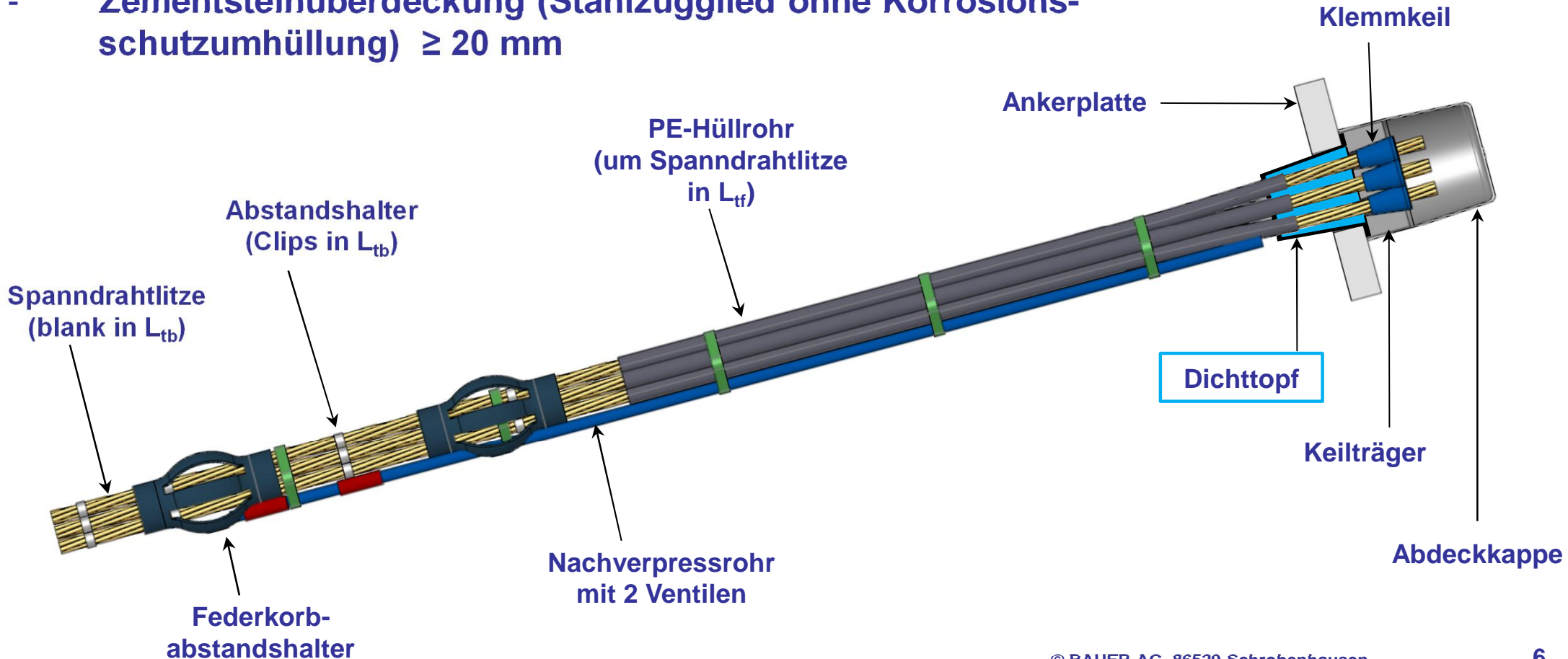


2. Verpressanker nach DIN EN 1537

Kurzzeitanker / Temporäranker



- begrenzte Einsatzdauer ≤ 2 Jahre
- Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung / Bauartgenehmigung erforderlich für:
 - § Stahzzuglieder
 - § Ankerköpfe (Klemmkeile und Keilträger)
- Zementsteinüberdeckung (Stahzzugglied ohne Korrosionsschutzumhüllung) ≥ 20 mm

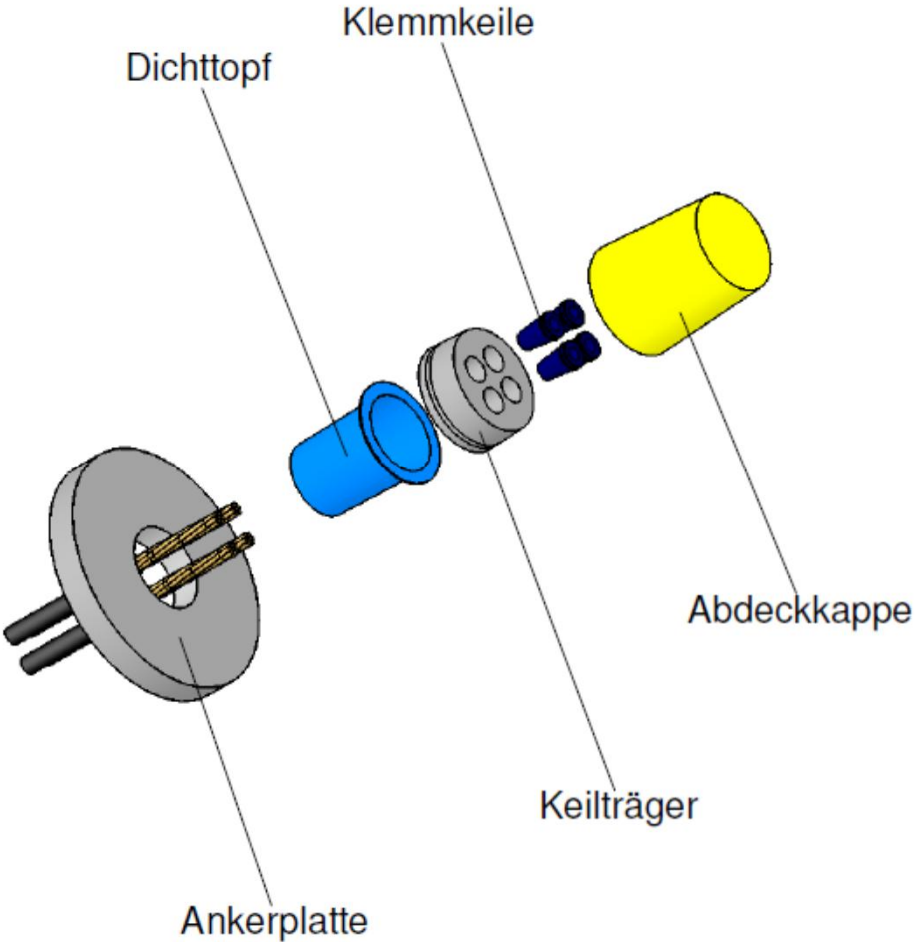


2. Verpressanker nach DIN EN 1537

Kurzzeitanker / Temporäranker



Ankerkopf

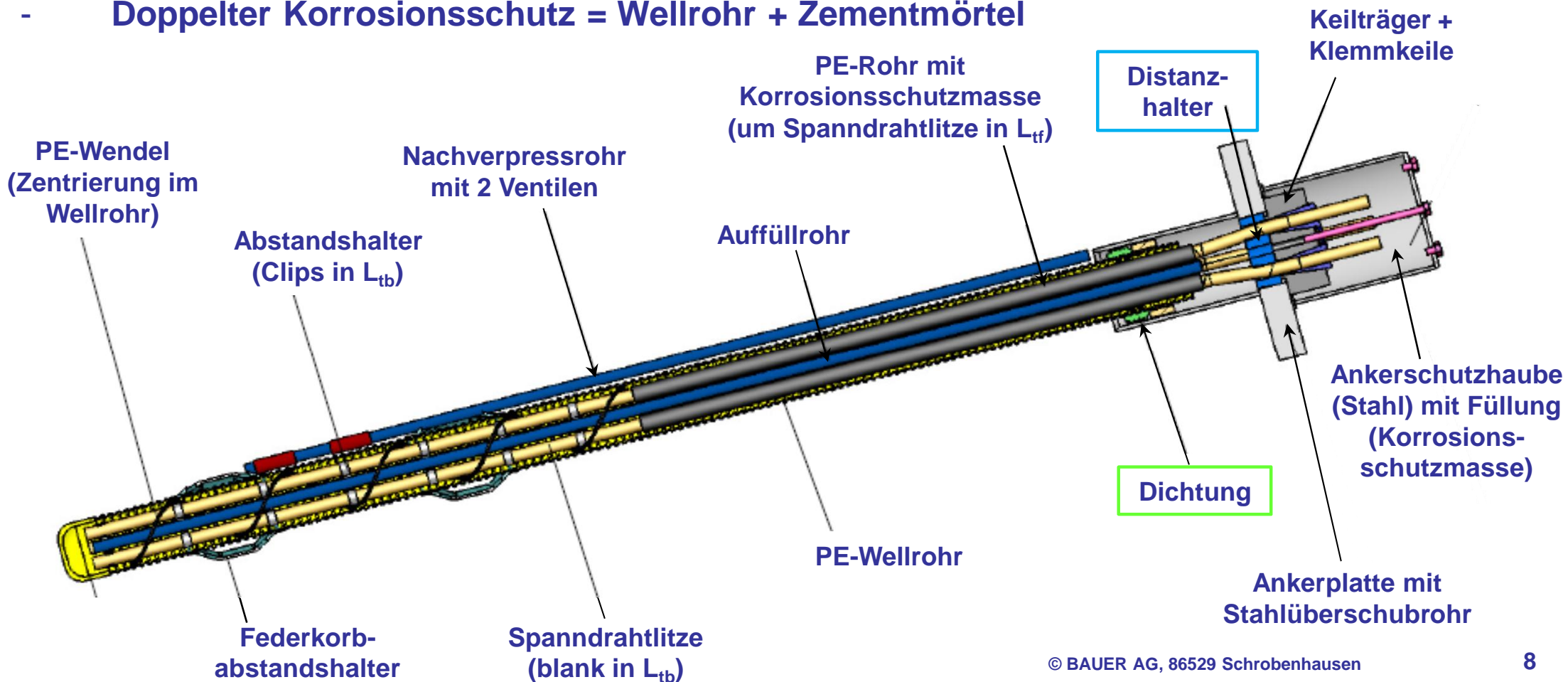


2. Verpressanker nach DIN EN 1537

Daueranker (System BAUER / SPANTEC)



- Einsatzdauer > 2 Jahre
- Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung / Bauartgenehmigung erforderlich für:
 - § Stahlzugglieder + Ankerköpfe (analog Kurzzeitanker)
 - § Daueranker (Herstellung im Werk und auf der Baustelle, Korrosionsschutz, ...)
- Doppelter Korrosionsschutz = Wellrohr + Zementmörtel

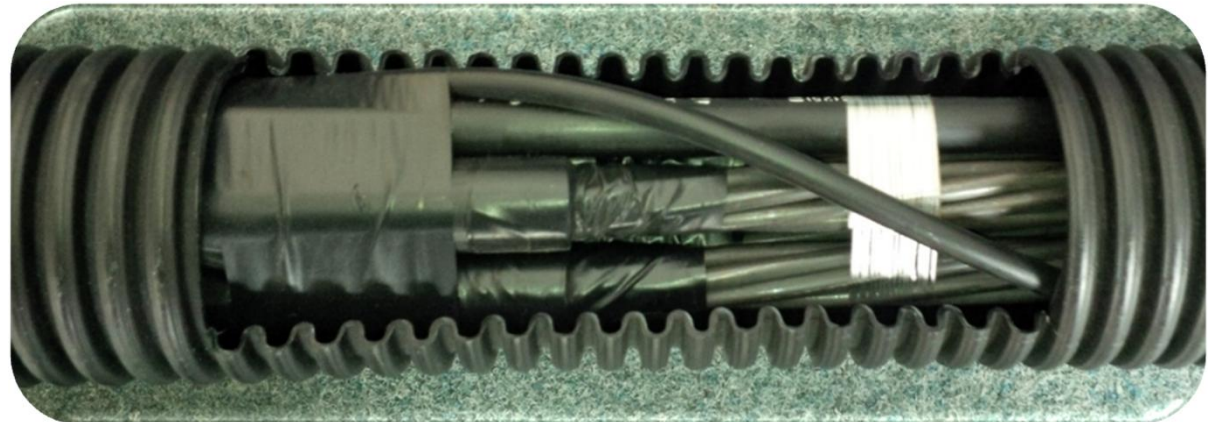
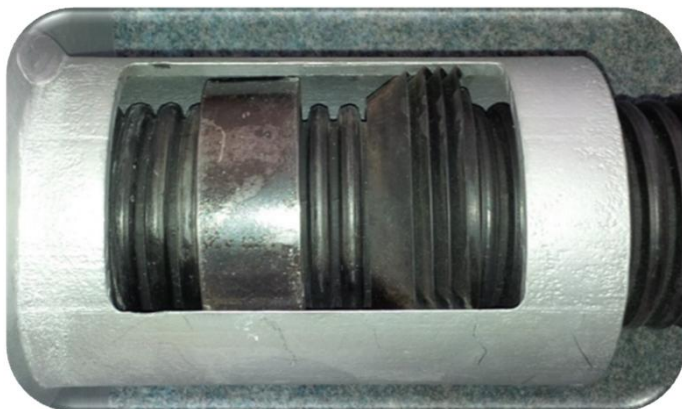


2. Verpressanker nach DIN EN 1537

Daueranker (System BAUER / SPANTEC)



- Planmäßige Nutzungsdauer > 50 Jahre
- ▷ Beachte: DIN EN 1537, 9.11 (Nachprüfungen, Kontrollen und ggf. Erneuerung des Korrosionsschutzes)

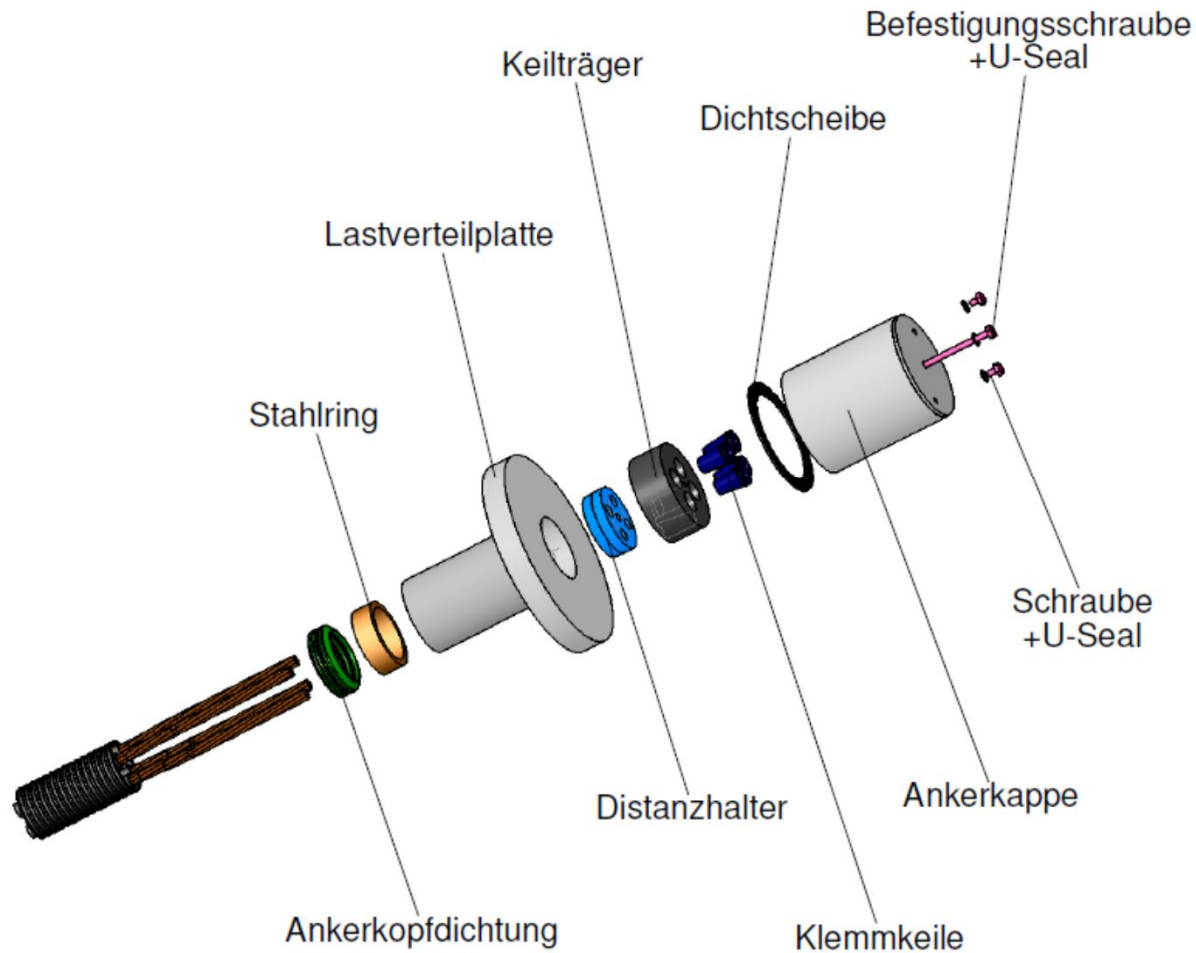


2. Verpressanker nach DIN EN 1537

Daueranker (System BAUER / SPANTEC)



Ankerkopf



2. Verpressanker nach DIN EN 1537

Daueranker (System BAUER / SPANTEC) – Herstellung



Lagerung



Transport (Abrollvorrichtung)



Stegabstandshalter



Innere Verfüllung des Wellrohrs
(VOR der Primärverpressung)



Hier: mit Korrosionsschutzmasse
gefüllte PE-Hüllrohre



Wellrohr entfernen mit
Rohrabschneider

2. Verpressanker nach DIN EN 1537 Daueranker (System BAUER / SPANTEC) – Herstellung



Hüllrohre entfernen



Beschichtung Zementstein-
oberfläche (Ausölschutz)



Positionierung Dichtlamelle



Positionierung Umlenkring



Positionierung Ankerplatte mit
Stahlüberschubrohr



Auffädeln Distanzhalter
(ACHTUNG: kein „Verweben“)

2. Verpressanker nach DIN EN 1537

Daueranker (System BAUER / SPANTEC) – Herstellung



**Keilträger montieren,
Graphitspray**



Keile montieren



Prüfen, Spannen und Festlegen



**Litzen kürzen, Verfüllung mit
Korrosionsschutzmasse**



**Montage Gummidichtscheibe und
Ankerschutzhaube**



**Ankerschutzhaube mit
Korrosionsschutzmasse verfüllen**

2. Verpressanker nach DIN EN 1537

Eignungs- und Abnahmeprüfungen

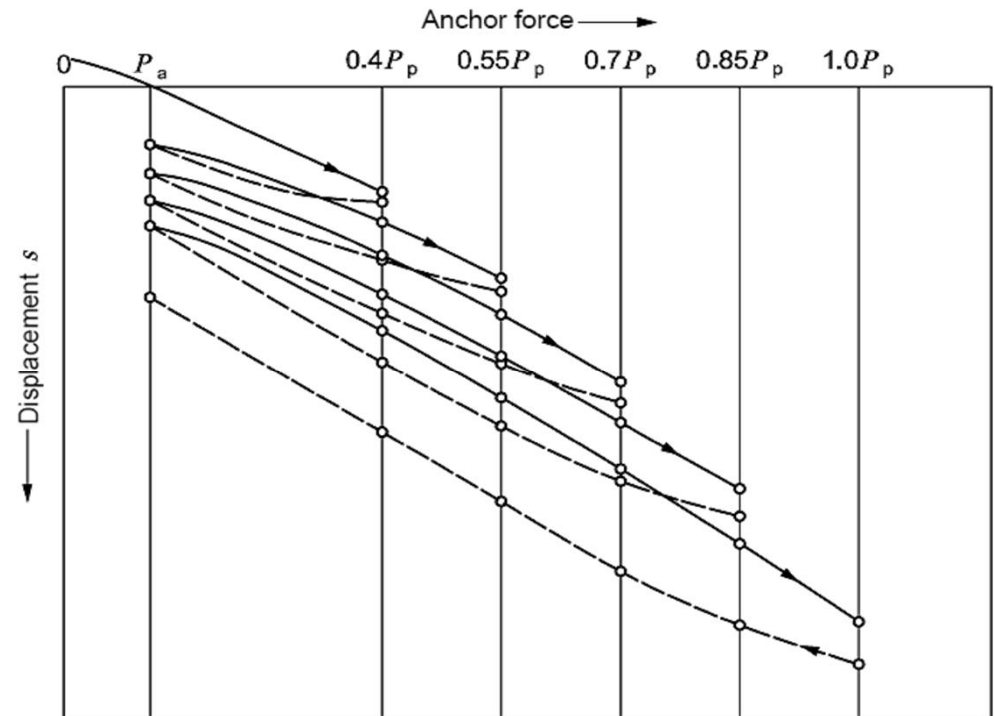


Eignungsprüfung

- **Mindestens 5 Lastzyklen**
- **Ergebnisse:**
 - § **Tragfähigkeitsnachweis bei der Prüflast P_p**
 - § **Kriechverhalten bis zur Prüflast**
 - § **Rechnerische freie Stahllänge L_{app}**

- **Daueranker:**
 - § **IMMER mindestens 3 Anker im Bereich mit ungünstigstem Baugrund**
 - § **Überwachung und Beurteilung IMMER durch eine PÜZ-Stelle**

- **Kurzzeitanker:** Ggf. Verzicht möglich bei vergleichbaren Baugrundbedingungen und maximal gleichen Prüflasten



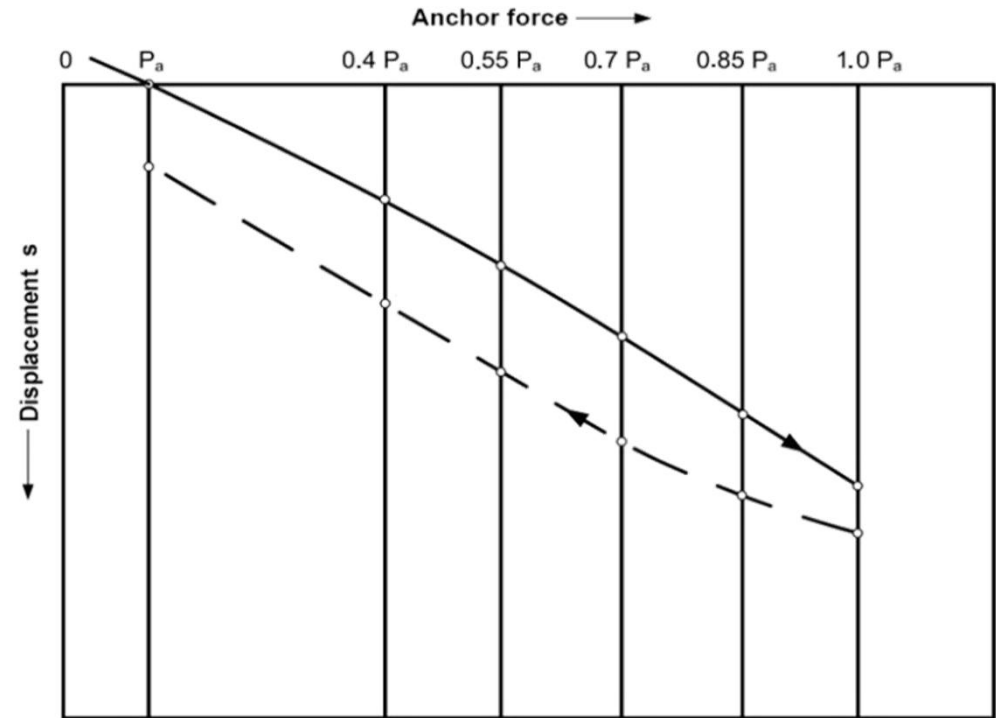
2. Verpressanker nach DIN EN 1537

Eignungs- und Abnahmeprüfungen



Abnahmeprüfung

- 1 Lastzyklus
- Ergebnisse:
 - § Tragfähigkeitsnachweis bei der Prüflast P_p
 - § Kriechverhalten im Grenzzustand der Tragfähigkeit (sofern erforderlich)
 - § Rechnerische freie Stahllänge L_{app}
- Bei ALLEN Bauwerksankern



2. Verpressanker nach DIN EN 1537 Prüfen und Vorspannen (hier: Kurzzeitanker)



Ankerplatte



Keilträger und Dichttopf



Graphit Spray



Klemmkeile



Fixieren der Klemmkeile



Fixierter Keilträger

2. Verpressanker nach DIN EN 1537

Prüfen und Vorspannen (hier: Kurzzeitanker)



Aufsetzen der Spannpresse



Aufsetzen des Endverkeilers



Prüfaufbau



Kürzen des Überstandes



Gekürzte Spannstahllitzen



Montage der Ankerkappe

2. Verpressanker nach DIN EN 1537



Worauf ist bei der Herstellung zu achten?

1) Allgemein (Kurzzeitanker und Daueranker)

- Ordnungsgemäße Lagerung: Mindestradius bei gerollten Ankern, Schutz vor Verschmutzung und Beschädigung,...

- Ordnungsgemäße Herstellung:

§ Mindestbohrlochdurchmesser

§ feste Montage der äußeren Abstandshalter

§ CEM I bei Kontakt mit Spannstahl

§ **Kein Kraftschluss zwischen Verpresskörper und zu verankernder Konstruktion (Absinken des Zementspiegels beim Ziehen der Verrohrung, Begrenzung der Krafteintragungslänge)!!!**

§ Nachverpressen (eindeutige Markierung bei mehreren Nachverpressrohren, von oben nach unten, stetiger Druckanstieg, Kontrolle der Verpressmenge (keine „Baugrundvergütung“), Konsolidierungszeiten beachten)

§ **Saubere und ebene Auflagerfläche der Ankerplatte !!!**

§ **Kein „Verweben“ der Spanndrahtlitzen beim Einfädeln in den Keilträger!!!**

§ Prüfen und Spannen (Erhärtungsdauer des Zements, Beobachtungszeiten)

§ **ACHTUNG: Keine verschmutzten Klemmkeile (Verschmutzung auch nach Spannen vermeiden, Nachgreifen der Keile bei Lastzunahme muss möglich sein)!!!**

§ **Mindestfestlegelast+ (möglichst) aktives/hydraulische Verkeilen!!!**

2. Verpressanker nach DIN EN 1537

Worauf ist bei der Herstellung zu achten?



2) Daueranker

- Schutz des Wellrohrs beim Einführen des Ankers in das Bohrröhr (Ankertrömpete)
- Abstützen des Wellrohrs nach der inneren Zementverfüllung des Wellrohrs
- Einrasten der Dichtung auf dem Wellrohr
- Ausreichende Überlappung Wellrohr Û Stahlüberschubrohr
- Korrosionsschutzmasse muss zwischen den Keilsegmenten austreten (Verfüllung hinter der Ankerplatte) Þ Dichtigkeitskontrolle
- Korrosionsschutzmasse muss aus der Entlüftungsöffnung der Ankerschutzhaube austreten (vollständige Verfüllung)
- Zulassung beachten

- **ACHTUNG:** stichprobenartige Überwachung des Einbaus von Dauerankern und Kontrolle des Korrosionsschutzmaßnahmen durch eine anerkannte Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstelle (PÜZ-Stelle)

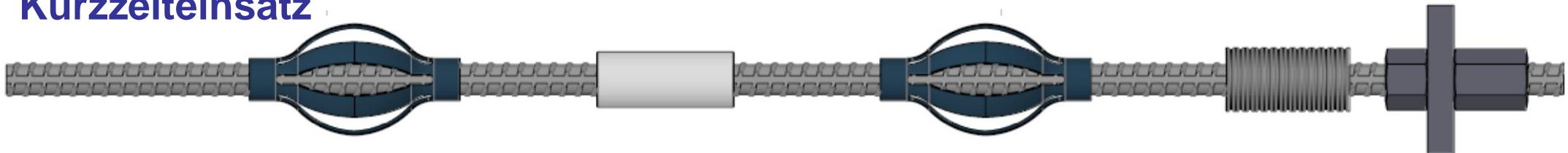
3. Zugpfähle (Verbundpfähle)

Stabverpresspfahl System BAUER / SPANTEC

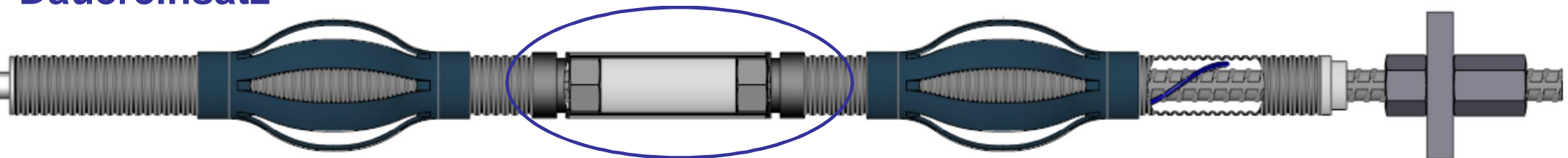


- Kurzzeiteinsatz ≤ 2 Jahre $\hat{=}$ Dauereinsatz > 2 Jahre (analog Verpressankern)
- Bei Verbundpfählen ist für das gesamte Pfahlsystem eine Zulassung erforderlich (DIN SPEC 18539, A 6.1.3) \supset Korrosionsschutz
- In Zukunft: Allgemeine Bauartgenehmigungen des DIBt nur noch für den Dauereinsatz, Kurzzeiteinsatz \supset Herstellung gemäß Normen
- Zusätzliche Zulassungen für:
 - § Betonstabstahl mit Gewinderippen
 - § Geschraubte Muffenverbindungen und Verankerungen

Kurzzeiteinsatz



Dauereinsatz



PE-Wellrohr

Korrosionsschutzschumpfschlauch über Muffenverbindungen

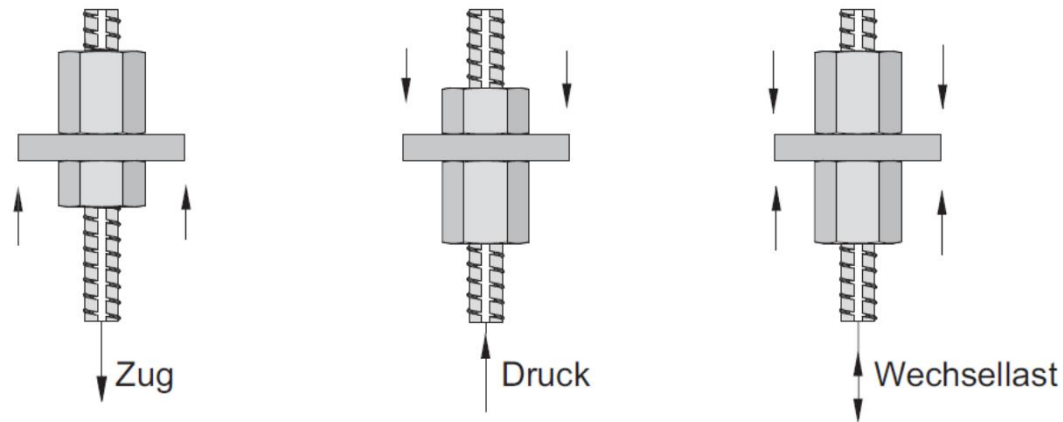
3. Zugpfähle (Verbundpfähle)

Stabverpresspfahl System BAUER / SPANTEC



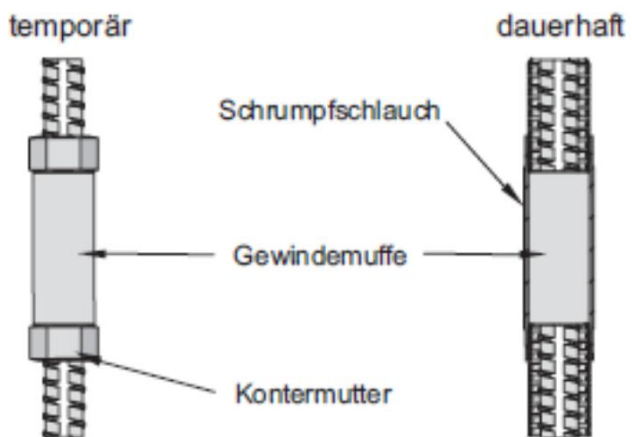
Plattenverankerung (und Endverankerung)

▷ Anordnung von Anker- und Kontermuttern in Abhängigkeit der Belastungsart

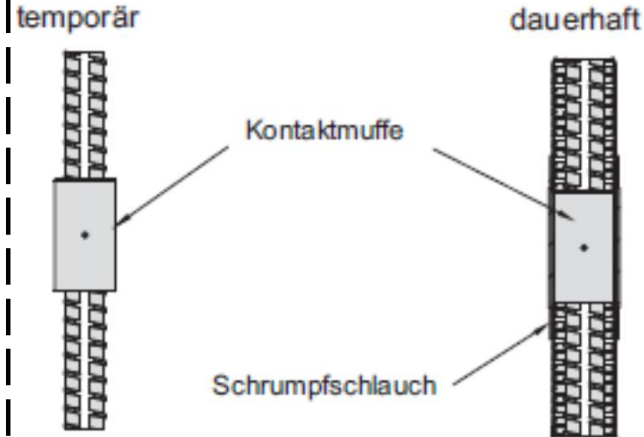


Muffenstöße in Abhängigkeit der Belastungsart und des Korrosionsschutzes

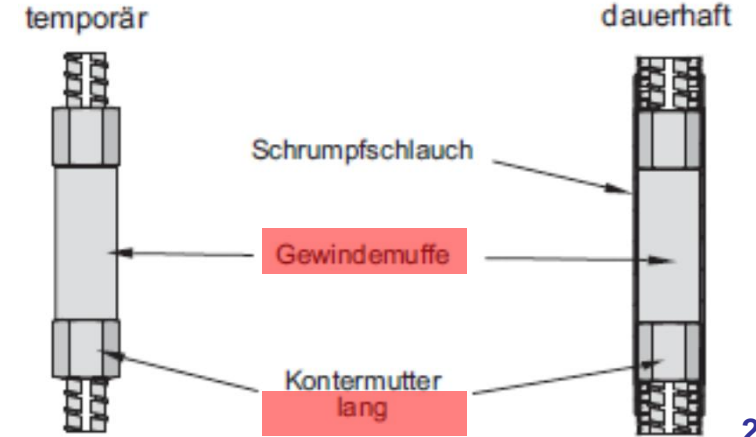
(a) Zugstoß



(b) Druckstoß



(c) Wechsellast

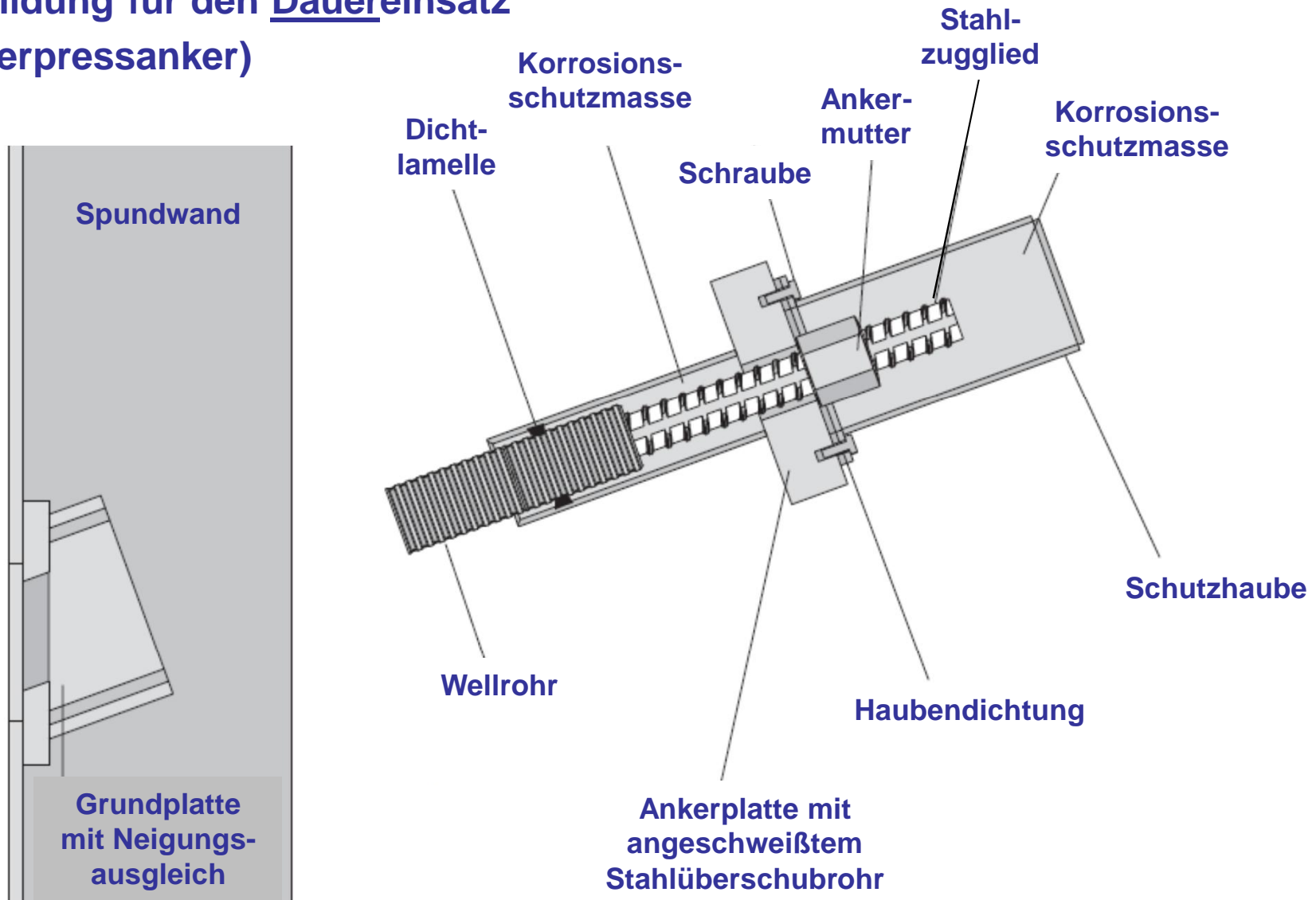


3. Zugpfähle (Verbundpfähle)

Stabverpresspfahl System BAUER / SPANTEC



Kopfausbildung für den Dauereinsatz
(analog Verpressanker)



3. Zugpfähle (Verbundpfähle)

Stabverpresspfahl System BAUER / SPANTEC



3. Zugpfähle (Verbundpfähle)

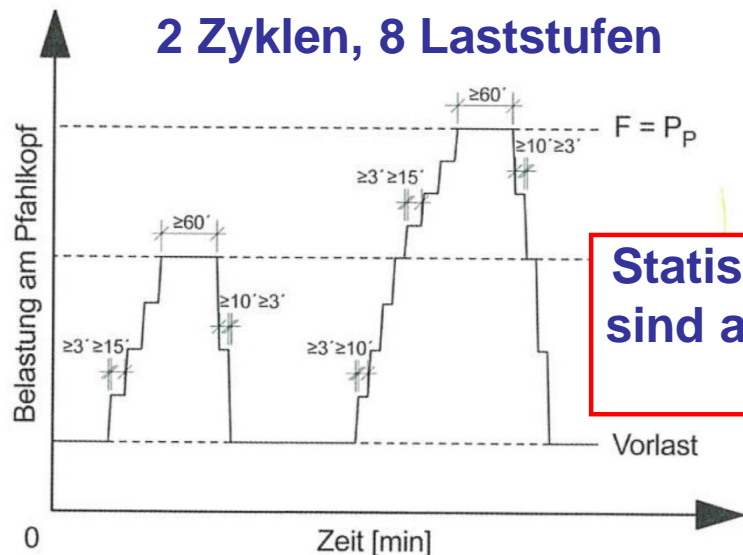
Prüfungen / Statische Probelastungen



- DIN 1054, 7.5.2.1 Anmerkung \triangleright Verweis auf EA-Pfähle
- EA-Pfähle, Kapitel 9.4 Statische Axiale Probelastungen an Mikropfählen (Verbundpfählen)
 - § Angaben zu Herstellung, Versuchsplanung, Instrumentierung, Versuchsdurchführung, Aufzeichnungen,...
 - § Mindestabstände zwischen Belastungseinrichtung und Probepfahl beachten (Kraftschluss)

System A

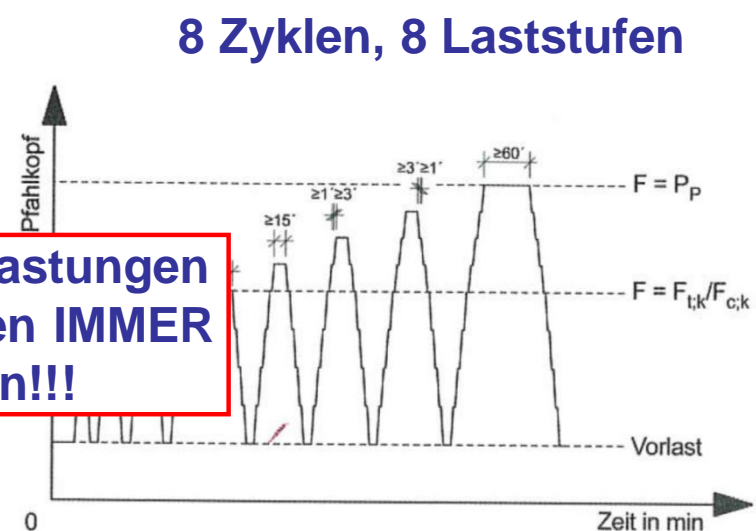
(Krafteinleitung über gesamte Pfahllänge)



[EA-Pfähle, Bild 9.24]

System B

(begrenzte Krafteinleitungslänge)

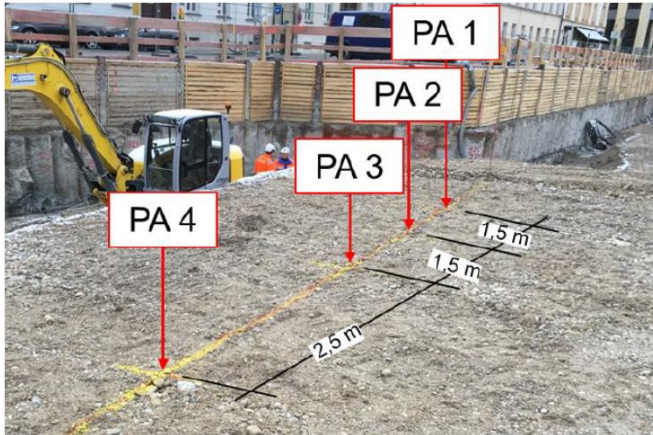


[EA-Pfähle, Bild 9.25]

Statische Probelastungen sind an Mikropfählen IMMER durchzuführen!!!

4. Praxisbeispiele

Ankergruppeneignungsprüfung an Kurzzeitankern



Herstellplanum



Ankereinbau
(Gewebeschlauchpacker)



Versuchsaufbau, Stufe 1



Versuchsaufbau, Stufe 2



Versuchsaufbau, Stufe 3



Versuchsaufbau, Stufe 4

4. Praxisbeispiele

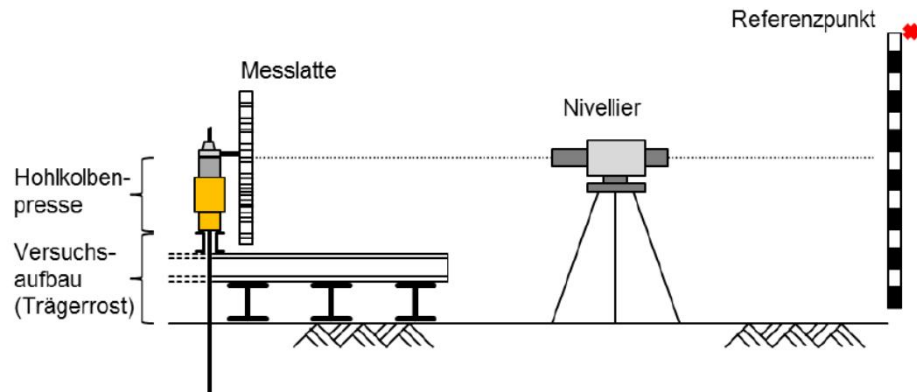
Ankergruppeneignungsprüfung an Kurzzeitankern



Versuchsaufbau komplett



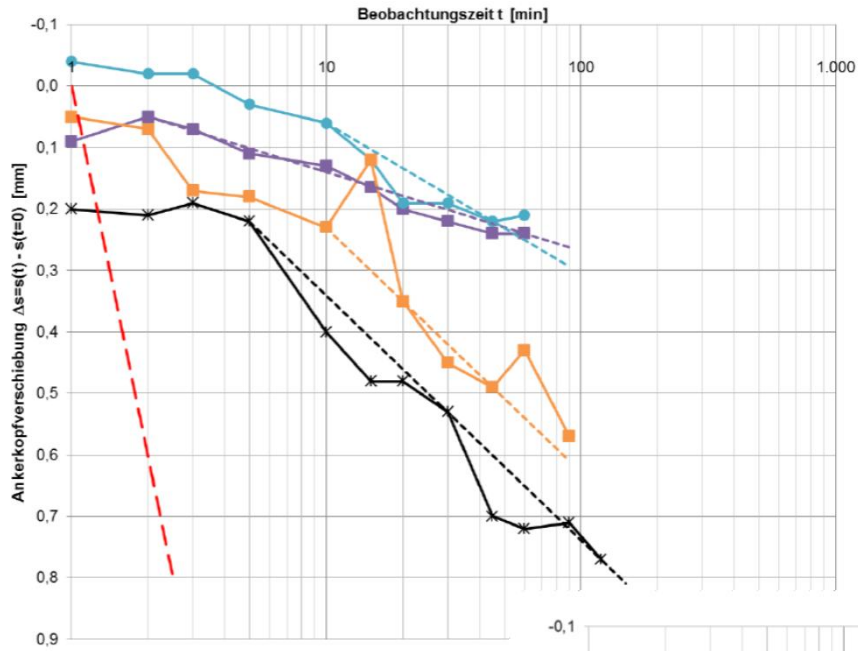
Nivellierstandort



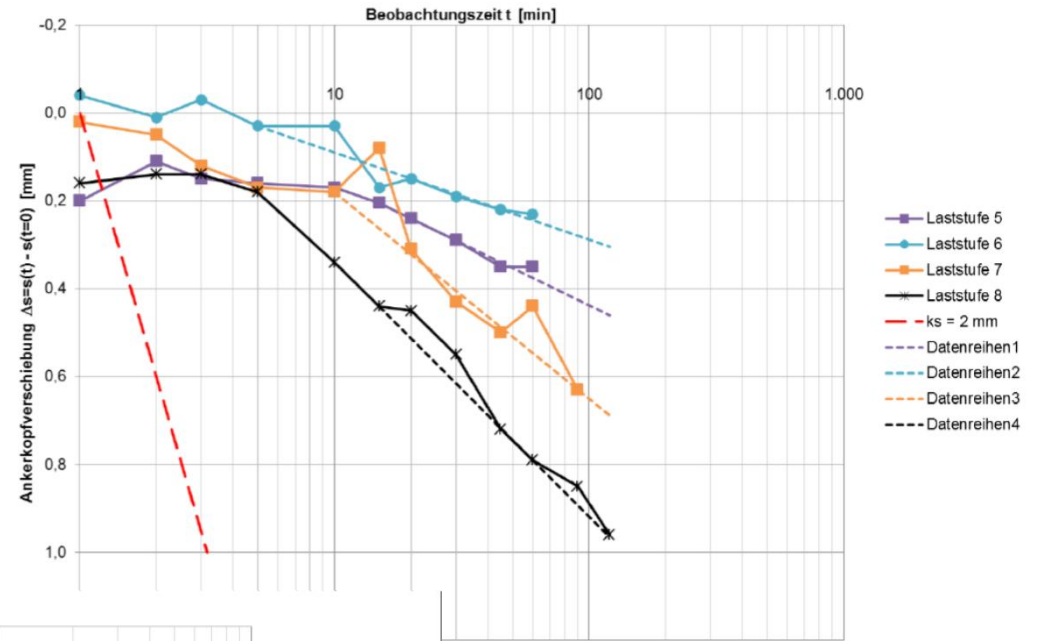
Messprinzip
Ankerkopfverschiebungen

4. Praxisbeispiele

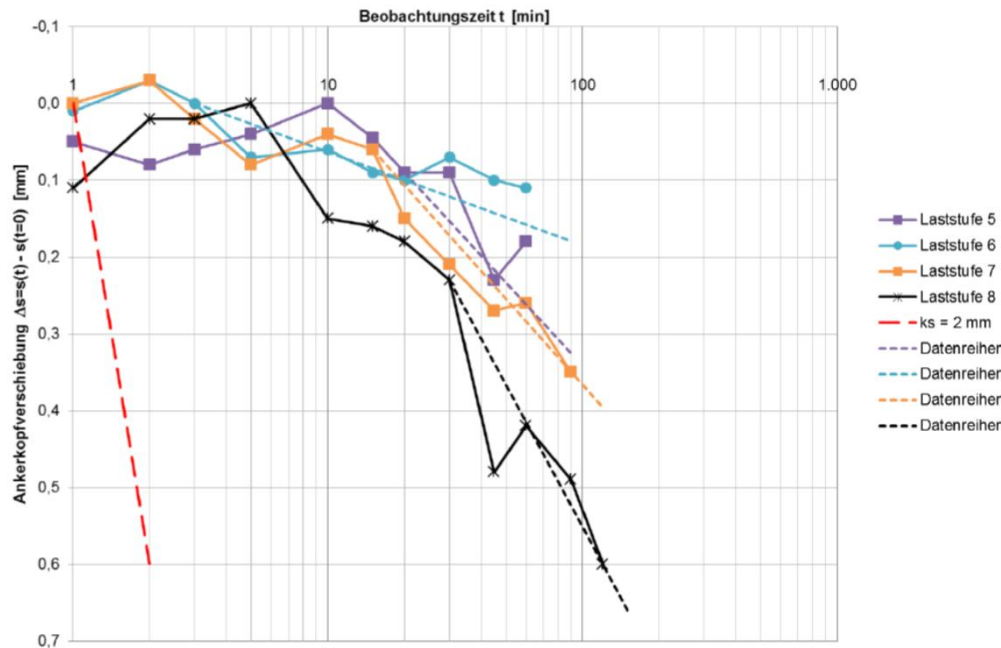
Ankergruppeneignungsprüfung an Kurzzeitankern



Anker 1



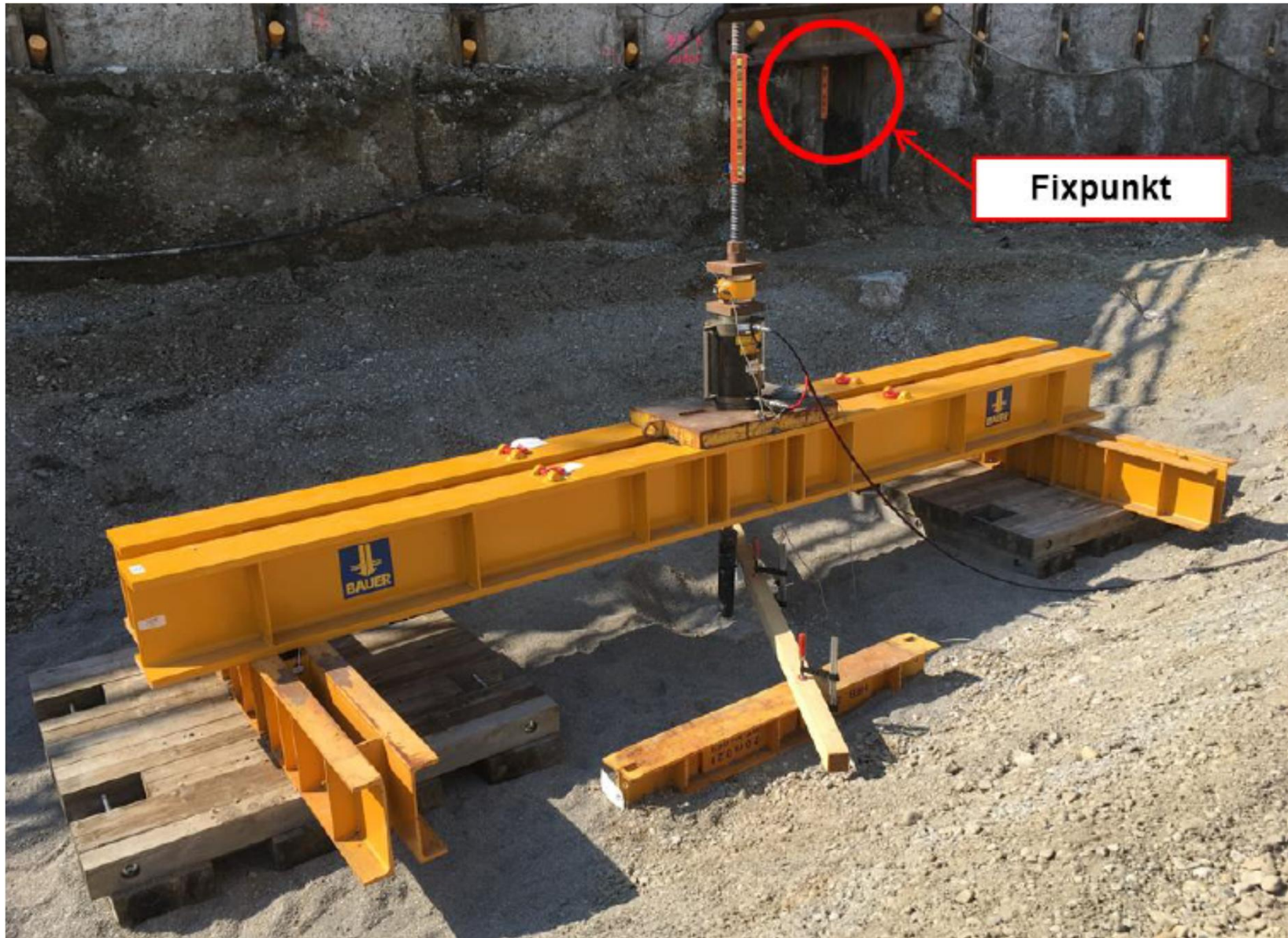
Anker 3



Anker 2

4. Praxisbeispiele

Statische Pfahlprobebelastung

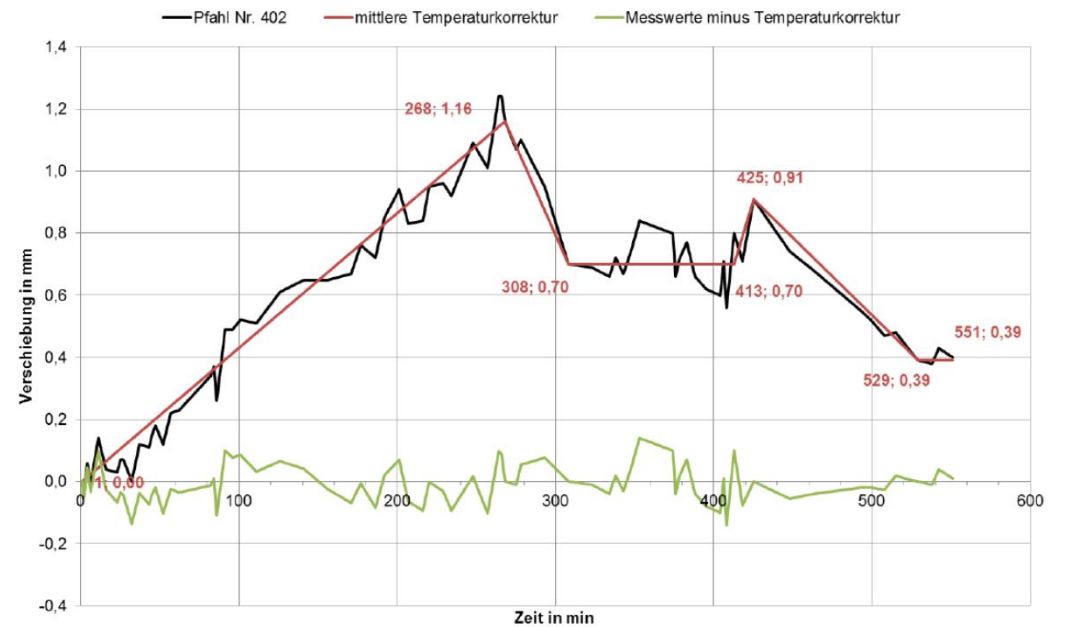
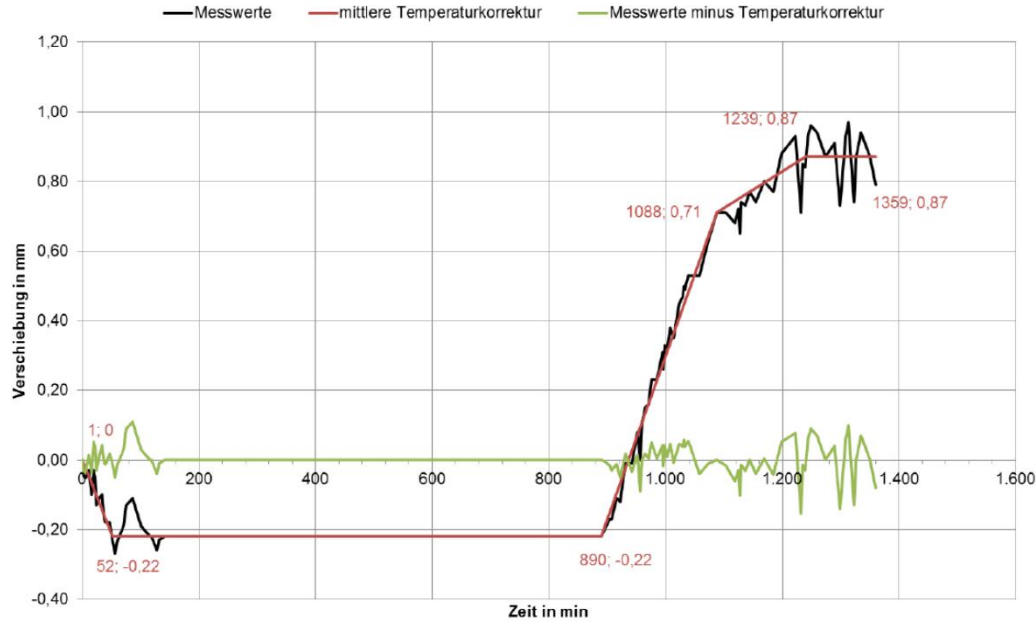


4. Praxisbeispiele

Statische Pfahlprobebelastung



Einfluss von Temperatur und Baubetrieb auf den FIXpunkt

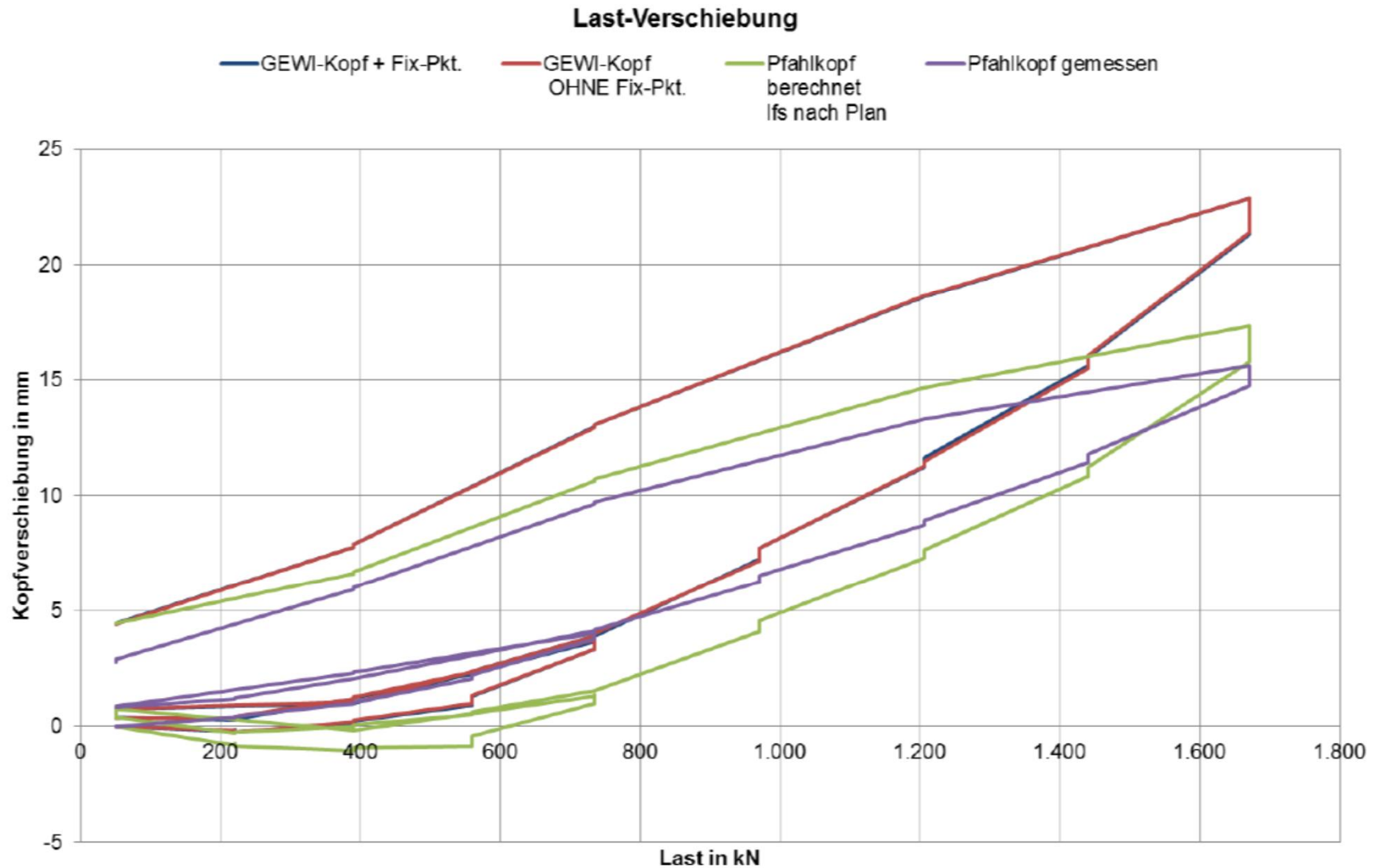


4. Praxisbeispiele

Statische Pfahlprobebelastung



Abweichungen von der planmäßigen Pfahlachse & Notwendigkeit eines zweiten Messsystems





BEGEISTERT für
FORTSCHRITT

**Danke für Ihre
Aufmerksamkeit**



BAU



MASCHINEN



RESOURCES

Pfahlgründungen

Normen, Empfehlungen und Ausführungsmöglichkeiten

Dipl.-Ing. Thomas Garbers

Ingenieurservice Grundbau GmbH

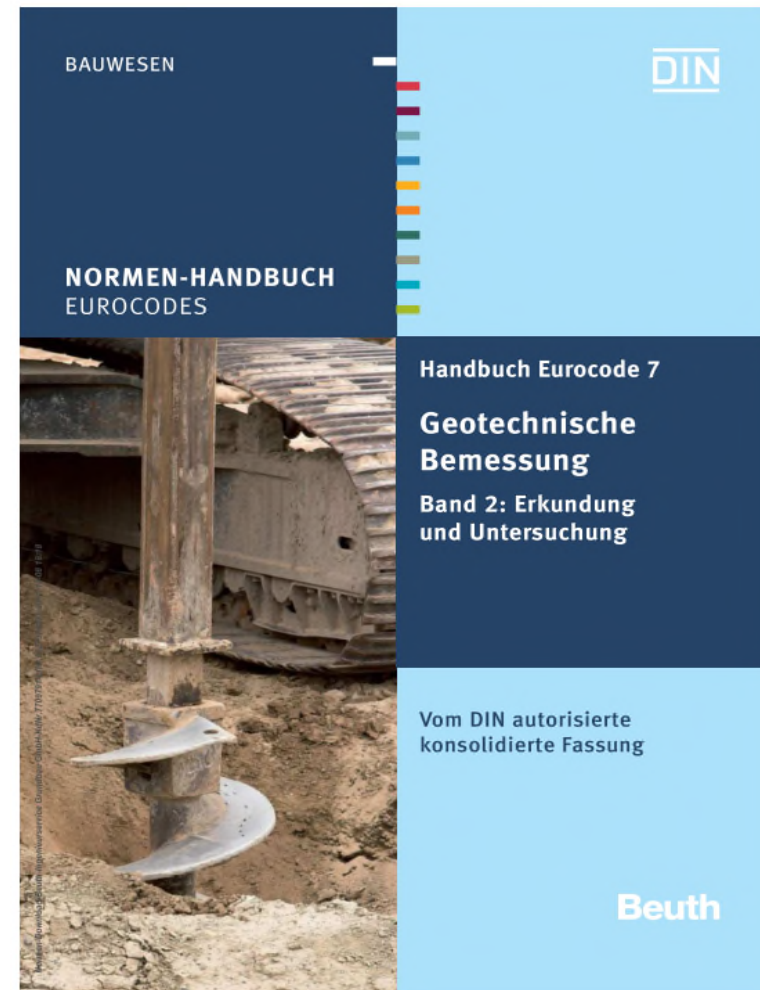
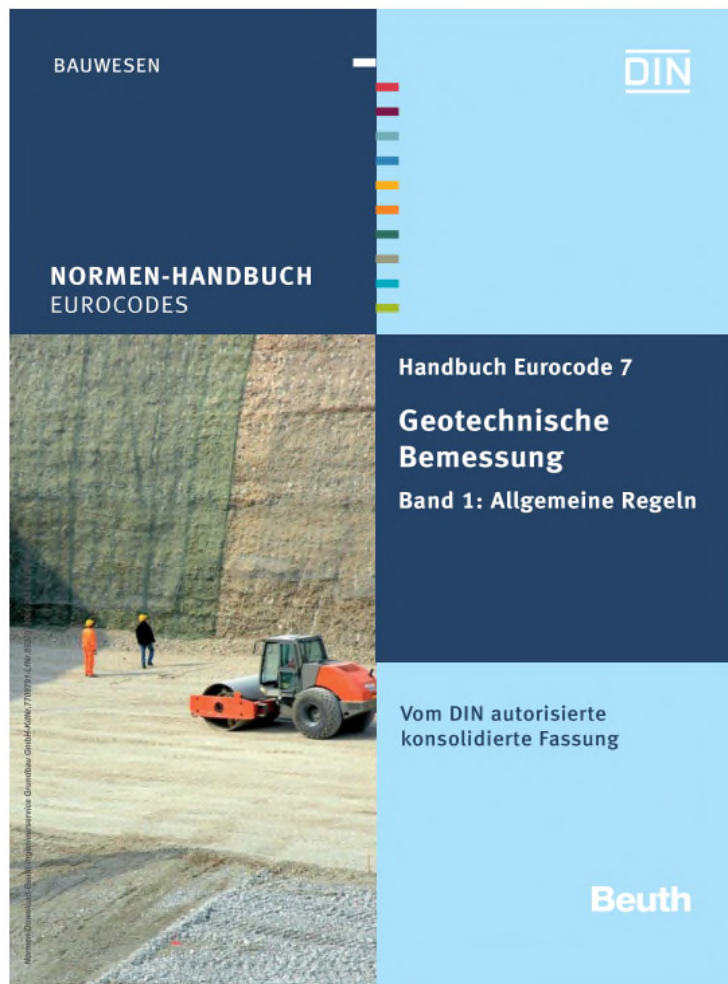
Bundesanstalt für Wasserbau, 19.09.2019

1. Einleitung
2. DIN EN 1997-3, Pfahlgründungen
3. DIN EN ISO 22477-1, statische Pfahlprobebelastungen
4. aktueller Stand der EA-Pfähle
5. Beispiele Ausführungstechnik

- **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
 - EAB, Empfehlungen für Baugrubenbemessung und Herstellung

- **DIN EN 1997-2:2010, Eurocode 7**
 - Erkundung und Untersuchung
- **DIN EN 1997-2/NA:2010, Nationaler Anhang**
- **DIN 4020:2010, ergänzende Regelungen**

- Zusammenfassung der beiden Normengruppen in:

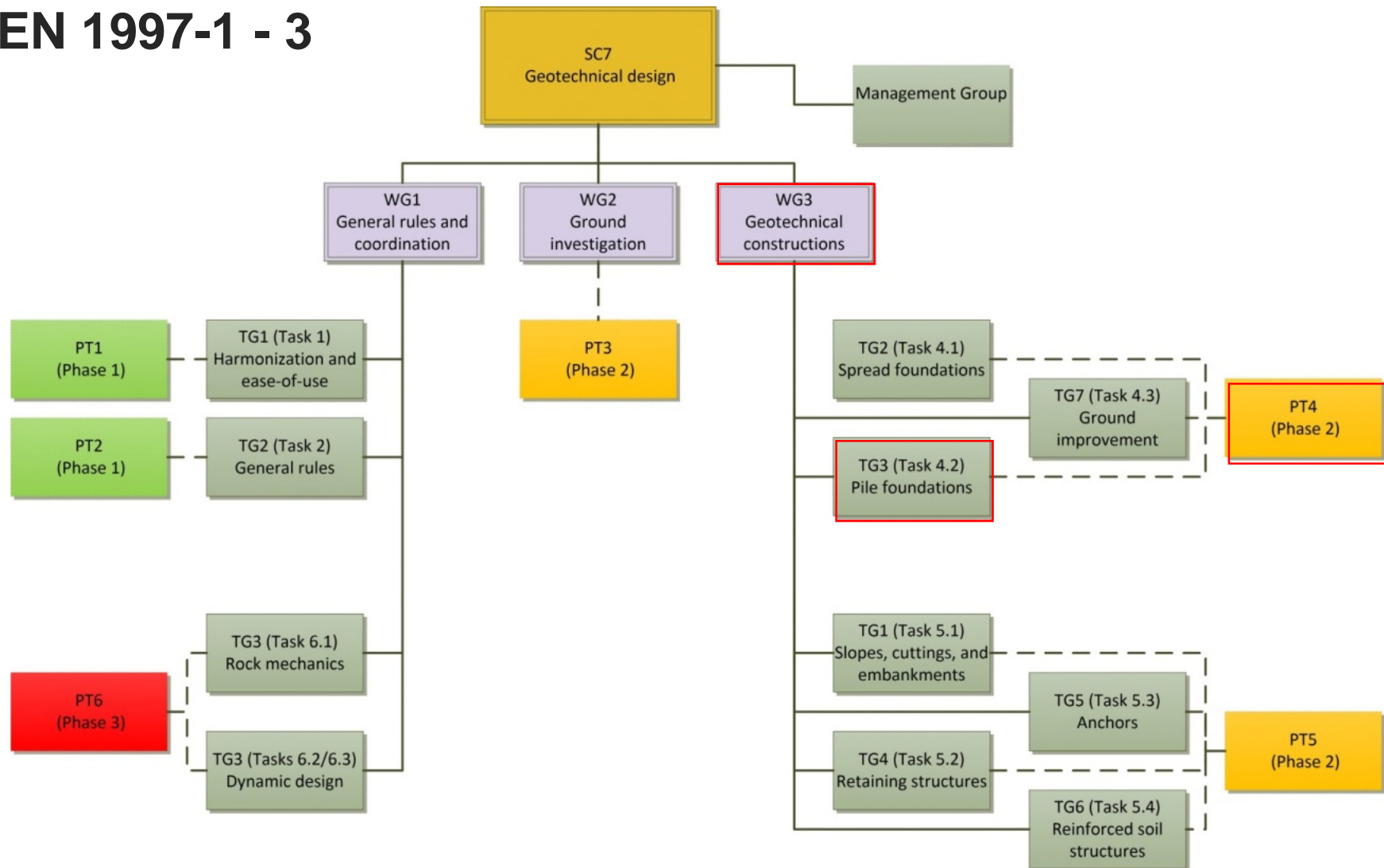


- **EN 1997-1 + 2**
 - Überarbeitung bis 2020

 - Dann drei Teile
 - **Allgemeine Festlegungen**, finaler Entwurf liegt vor
 - **Baugrunduntersuchungen**, finaler Entwurf liegt vor
 - **Geotechnische Konstruktionen**, wird zurzeit erstellt

 - Deutsche Wünsche
 - Straffung des Textes, kein Lehrbuch **wir nicht kommen!**

■ EN 1997-1 - 3



- **EN 1997-1 - 3, aktueller Zeitplan**
 - Finaler Entwurf Teil 3 im November 2019
 - Verteilung an nationale Normungsgesellschaften
 - Kommentare bis Februar 2020
 - Konsolidierung der Teile 1-3 bis Mitte 2021
 - Abstimmung bis Mitte 2022
 - Veröffentlichung in 2023

- **EN 1997-1 - 3, Änderungen (u.a)**
 - Konsequenz- und Komplexitätsklassen

 - Einteilung in Pfahltypen
 - Verdrängungspfähle (wenig, viel Verdrängung)
 - Bohrpfähle (wenig, viel Förderung)

 - verschiedene Korrelationsfaktoren
 - Anzahl der Baugrundaufschlüsse
 - Anzahl der Probelastungen
 - für unterschiedliche Berechnungsverfahren

- EN 1997-3
 - Consequence, Complexity Classes

Table 6.3 (NDP) – Selection of Geotechnical Complexity Class for piled foundations

Geotechnical Complexity Class	Complexity	General features causing uncertainty
GCC 3	Higher	Considerable uncertainty regarding ground conditions or any of the following apply: <ul style="list-style-type: none"> – difficult ground conditions – very low strength ground – vertical or horizontal ground movements – site instability – cyclic or dynamic loading
GCC 2	Normal	GCC2 should be selected if GCC1 and GCC3 are not relevant
GCC 1	Lower	The following conditions apply for piled foundations: <ul style="list-style-type: none"> – negligible uncertainty regarding the ground conditions – no ground movements

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 1997-3
 - Classification of piles

Table C.2.1 Classification of pile types and pile class

Pile type	Class	Example pile types
Displacement piles	High	Driven cast-in-place concrete piles Solid section precast concrete piles Closed ended tubular steel piles Closed ended tubular precast concrete piles Open ended tubular steel piles - plugged Open ended tubular precast concrete piles - plugged Timber piles
	Medium	Continuous helical displacement piles [Displacement auger piles] Cast-in-place concrete screw piles Open ended tubular steel piles
	Low	Steel sheet piles Steel H section piles
Replacement piles	High	Bored cast-in-place piles installed using continuous flight auger Bored cast-in-place concrete piles with or without temporary casing Caissons excavated by hand or by machine Barrettes Diaphragm walls
	Low	Minipiles [less than 400mm diameter] Micropiles [less than 300mm diameter]
Other	High	Helical steel piles

Drafting note: Guidance to content to Table C.2.1 required from WG3/TG3

Table 6.1 Classification of piles

Pile type	Description	
Displacement pile	Pile installed in the ground without excavation of material, causing the ground to be displaced radially as well as vertically	High displacement
		Low displacement
Replacement pile	Pile installed in the ground after the excavation of material	High replacement
		Low replacement
Pile not listed above		Unclassified

- EN 1997-3
 - Correlation factors

Table 6.7 (NDP) – Correlation factors for pile design based on dynamic impact or rapid load tests

Correlation factor	Foundation stiffness ¹	Number of dynamic impact or rapid load tests/Percentage						
		2 ≥ 4%	≥ 3 ≥ 6%	≥ 5 ≥ 10%	≥ 10 ≥ 15%	≥ 20 ≥ 25%	≥ 40 ≥ 50%	All 100%
$\xi_{d,mean}$	Single piles or normal foundation	1.60	1.55	1.50	1.45	1.40	1.35	1.25
$\xi_{d,min}$		1.50	1.45	1.35	1.30	1.25	1.25	1.25
$\xi_{d,mean}$	Very stiff foundation	1.45	1.40	1.35	1.30	1.25	1.20	1.10
$\xi_{d,min}$		1.35	1.30	1.25	1.20	1.15	1.10	1.10

¹A very stiff foundation can be defined by the ability to redistribute load from a single pile to other piles in the pile group without any significant additional settlement of the foundation

²Numbers of dynamic impact or rapid load tests are per a reference area of 2,500 m²

Table 6.6 (NDP) – Correlation factors for pile design based on results of static load tests

Correlation factor	Foundation stiffness ¹	Number of static load tests/Area per load test				
		1 ≤ 2500m ²	≥ 2 ≤ 1250m ²	≥ 3 ≤ 850m ²	≥ 4 ≤ 625m ²	≥ 5 ≤ 500m ²
$\xi_{s,mean}$	Single piles or normal foundation	1.40	1.30	1.20	1.10	1.00
$\xi_{s,min}$		1.40	1.20	1.05	1.00	1.00
$\xi_{s,mean}$	Very stiff foundation	1.27	1.18	1.09	1.00	1.00
$\xi_{s,min}$		1.27	1.09	1.00	1.00	1.00

¹A very stiff foundation can be defined by the ability to redistribute load from a single pile to other piles in the pile group without any significant additional settlement of the foundation

²Numbers of static load tests are per a reference area of 2,500 m²

- EN 1997-3
 - Baugrundaufschlüsse

Table 6.2 – Minimum ground investigation for piled foundations

Structure type	Minimum number of profiles	Maximum plan spacing	General arrangement
Low-rise structures	3	30 m	Grid pattern covering the entire footprint of the proposed structure
High-rise structures	6	20 m	
Chimney or tower structures	6		Provided that the footprint area is less than 300 m ² , the minimum number of investigation profiles may be reduced to three
Bridge structures	2 per abutment or pier	20 m	
Long structures ^a		25 m	To cover the entire length of the proposed structure
Note a: long structures include piled or embedded retaining walls and piled embankments used for roads or railways			

- **DIN EN ISO 22477-1,
stat. Probelastungen**

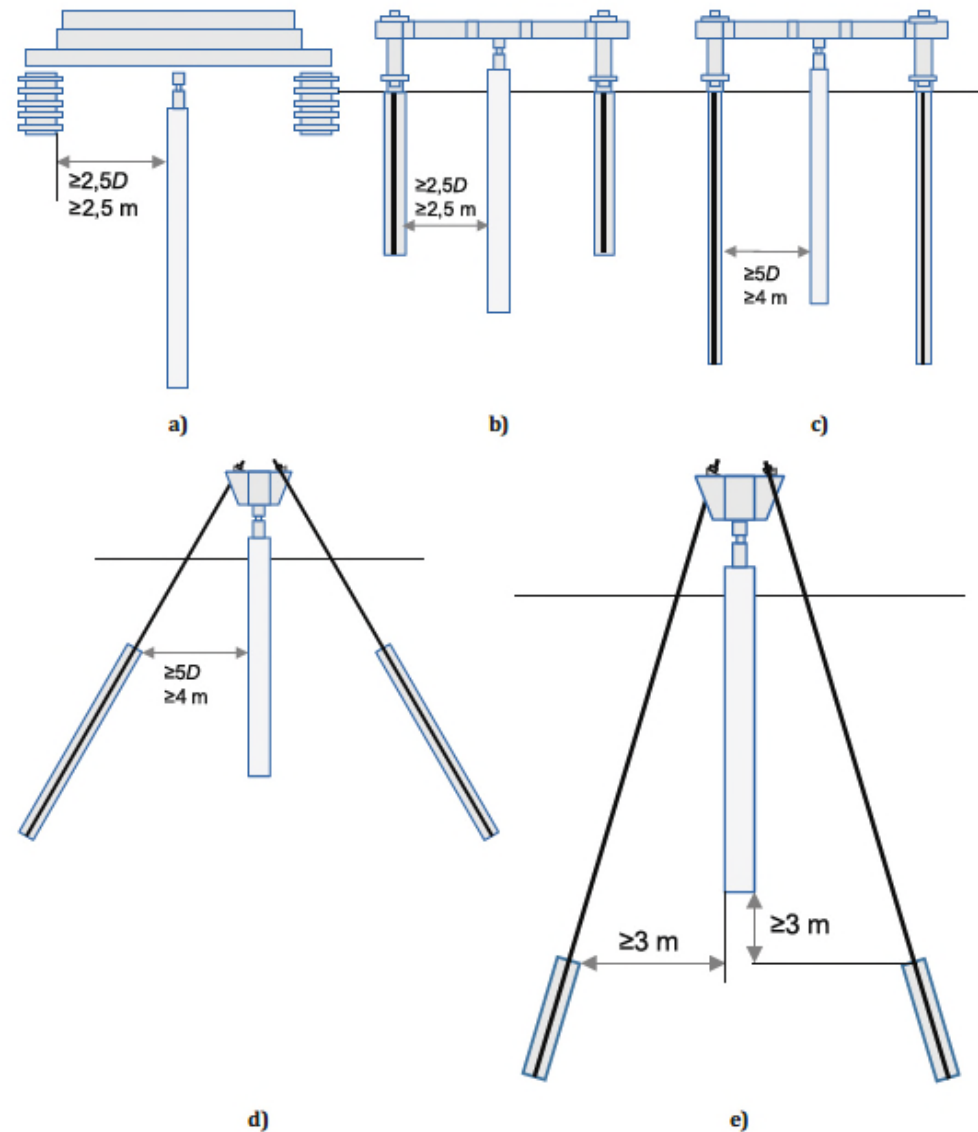


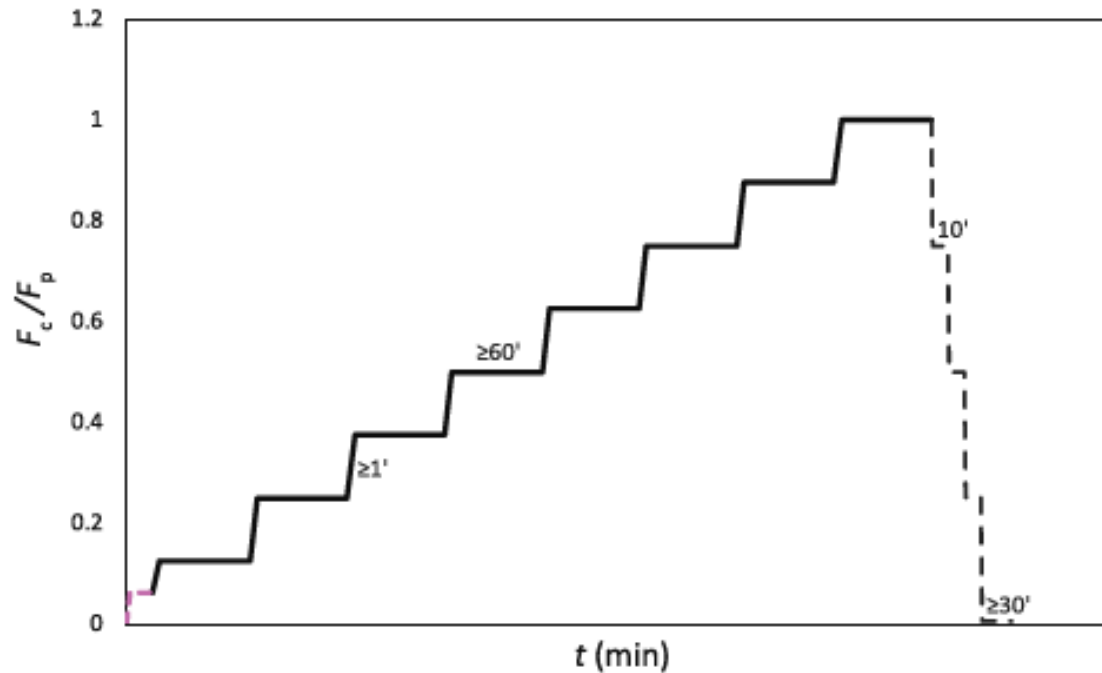
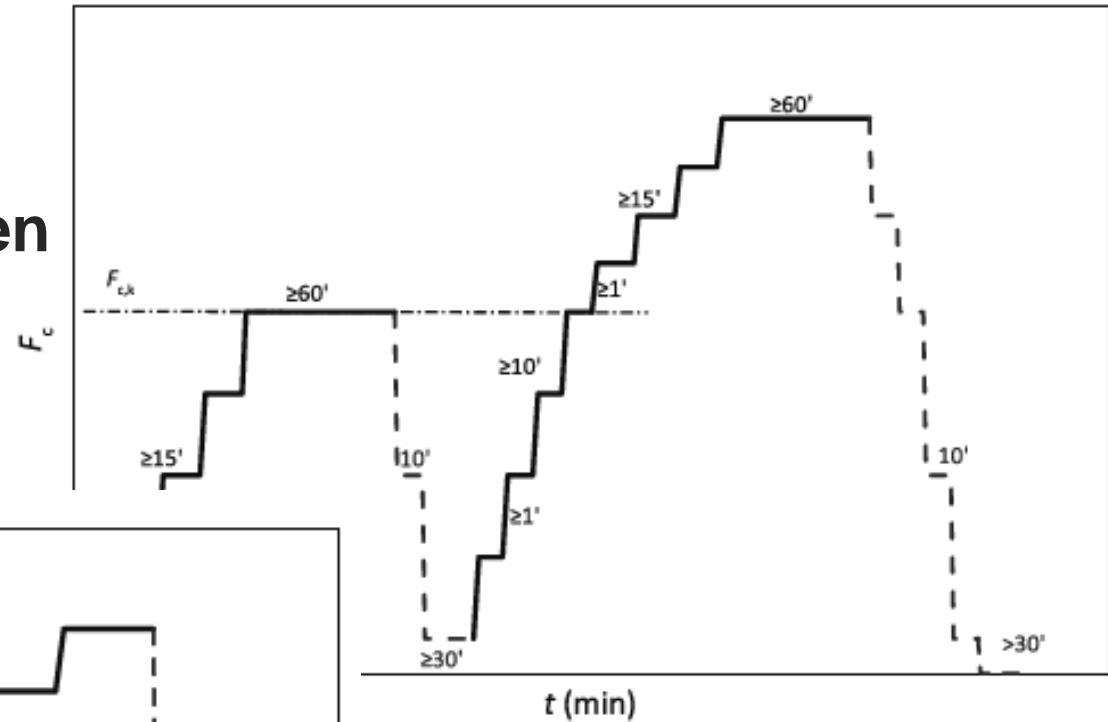
Figure 1 — Reaction system

- **DIN EN ISO 22477-1, stat. Probelastungen**

Table 1 — Recommended time periods between the installation and testing of a pile

Soil type	Pile type	Minimum time (days)
Coarse soils	All	7
Fine soils	Bored	21
	Displacement	28
NOTE 1 Alternative time periods can be specified with appropriate justification.		
NOTE 2 In sensitive soils sometimes longer times periods are necessary.		

- DIN EN ISO 22477-1,
stat. Probelastungen



- DIN EN ISO 22477-1,
stat. Probelastungen

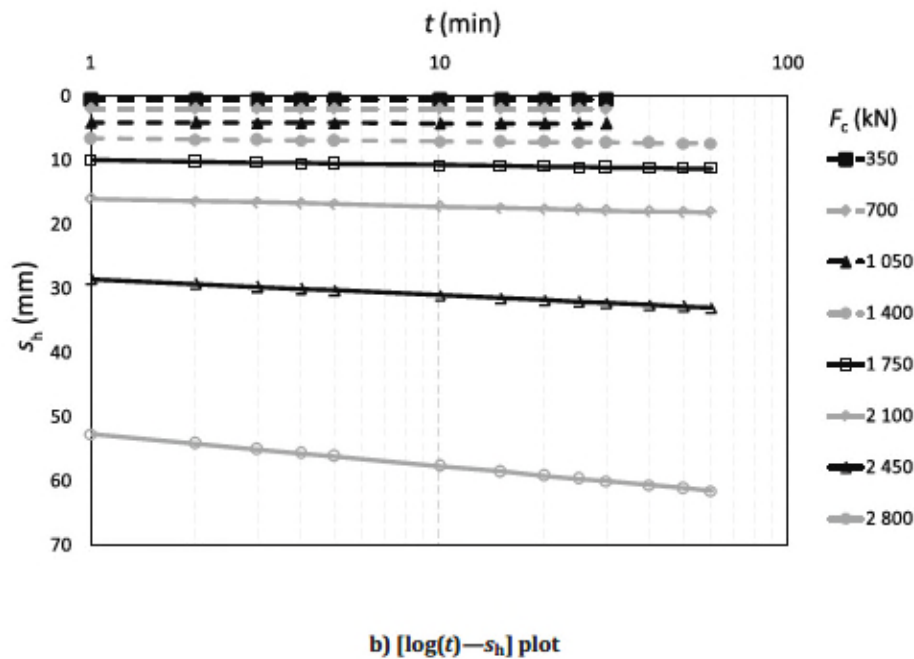


Figure 7 — Time-settlement for each load step

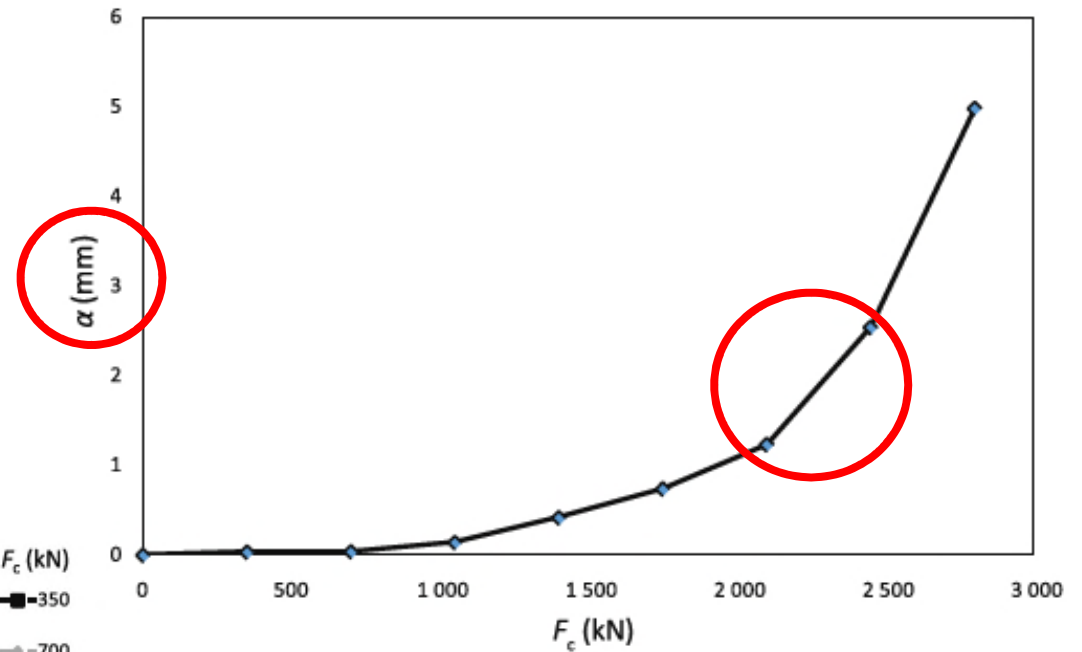


Figure 8 — Load-creep rate (F_c - α) plot

- **Ausführungsnormen:**
 - DIN EN ISO 22477, Geotechnische Erkundung und Untersuchung
 - Teil 1, Pfahlprobebelastungen durch statische axiale Druckbelastungen, **Veröffentlichung steht an**
 - Teil 2, Pfahlprobebelastungen durch statische axiale Zugbelastungen **wird zurzeit erarbeitet**
 - Teil 4, dynamische Pfahlprobebelastungen, **Veröffentlichung steht an**

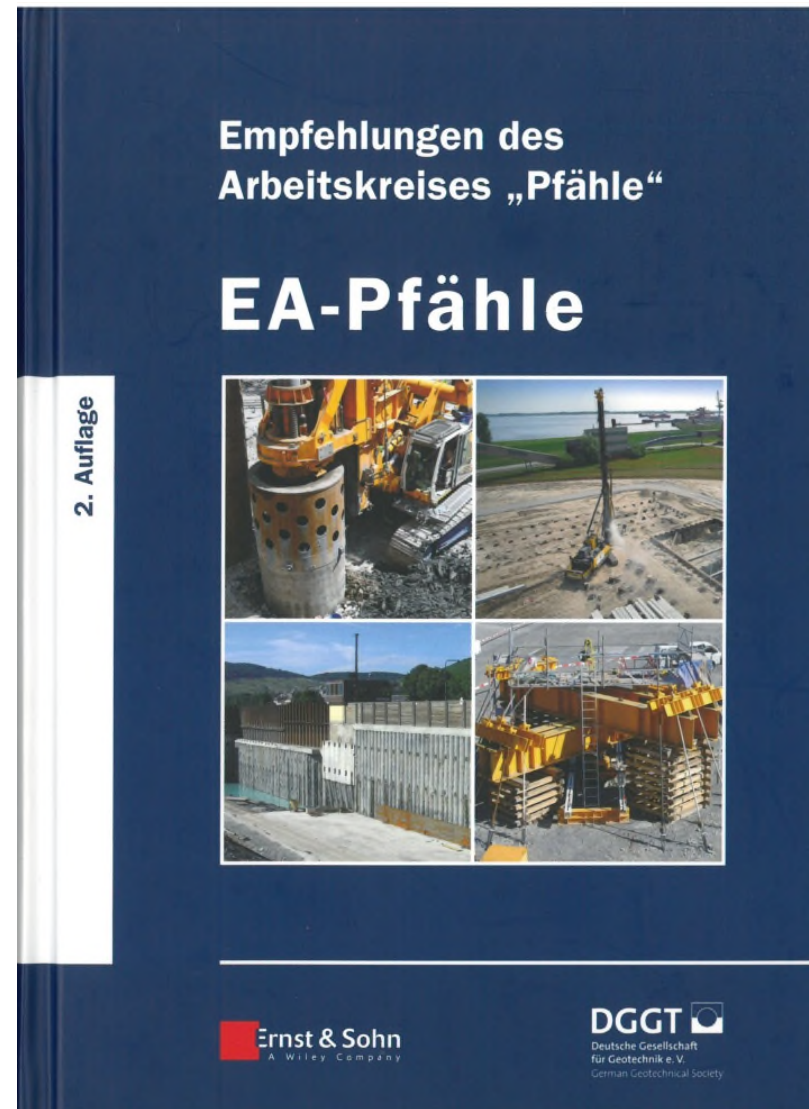
■ Ausführungsnormen:

- DIN EN 1536:2015, Bohrpfähle (**DIN SPEC fehlt!**)
 - DIN SPEC 18140:2012

- DIN EN 12699:2015, Verdrängungspfähle (**DIN SPEC fehlt!**)
 - DIN SPEC 18538:2012

- DIN EN 14199:2015, Mikropfähle (**DIN SPEC fehlt!**)
 - DIN SPEC 18539

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



■ Jahresbericht 2016

- diverse Abschnitte: Teilverdrängungsbohrpfähle
- 5.10.3 + A5: Knicken von Pfählen
- 10: Dynamische Probelastungen
- 11.2.4: Einbau der Bewehrung (Bohrpfähle)

■ Jahresbericht 2017

- 5.8: Pfahlwiderstände quer zur Pfahlachse
- 5.12: Zeitabhängiges Pfahltragverhalten infolge Anwachseffekt
- 13.4.3: Querbelastrung (zyklische Belastung)

- **Bohrpfähle**
 - Betonqualität

Deutschsprachige Fassung:

Leitfaden **Kontraktorbeton** für Tiefgründungen

der gemeinsamen Arbeitsgruppe "Beton" von EFFC und DFI



Übersetzung
Entwurf V1.1s
28. Sept 2018



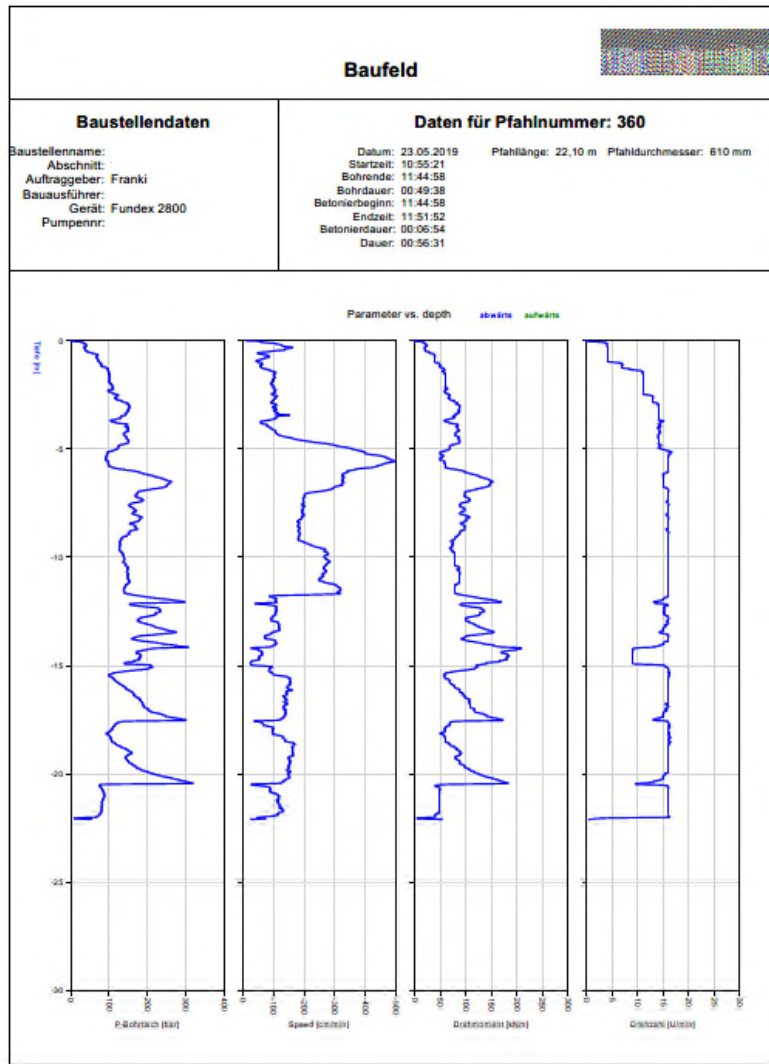
ZWEITE
FASSUNG
2018

bauindustrie.de/themen/bundesfachabteilungen/spezialtiefbau/effc-dfi-leitfaden_kontraktorbeton-fuer-tiefgruendungen/

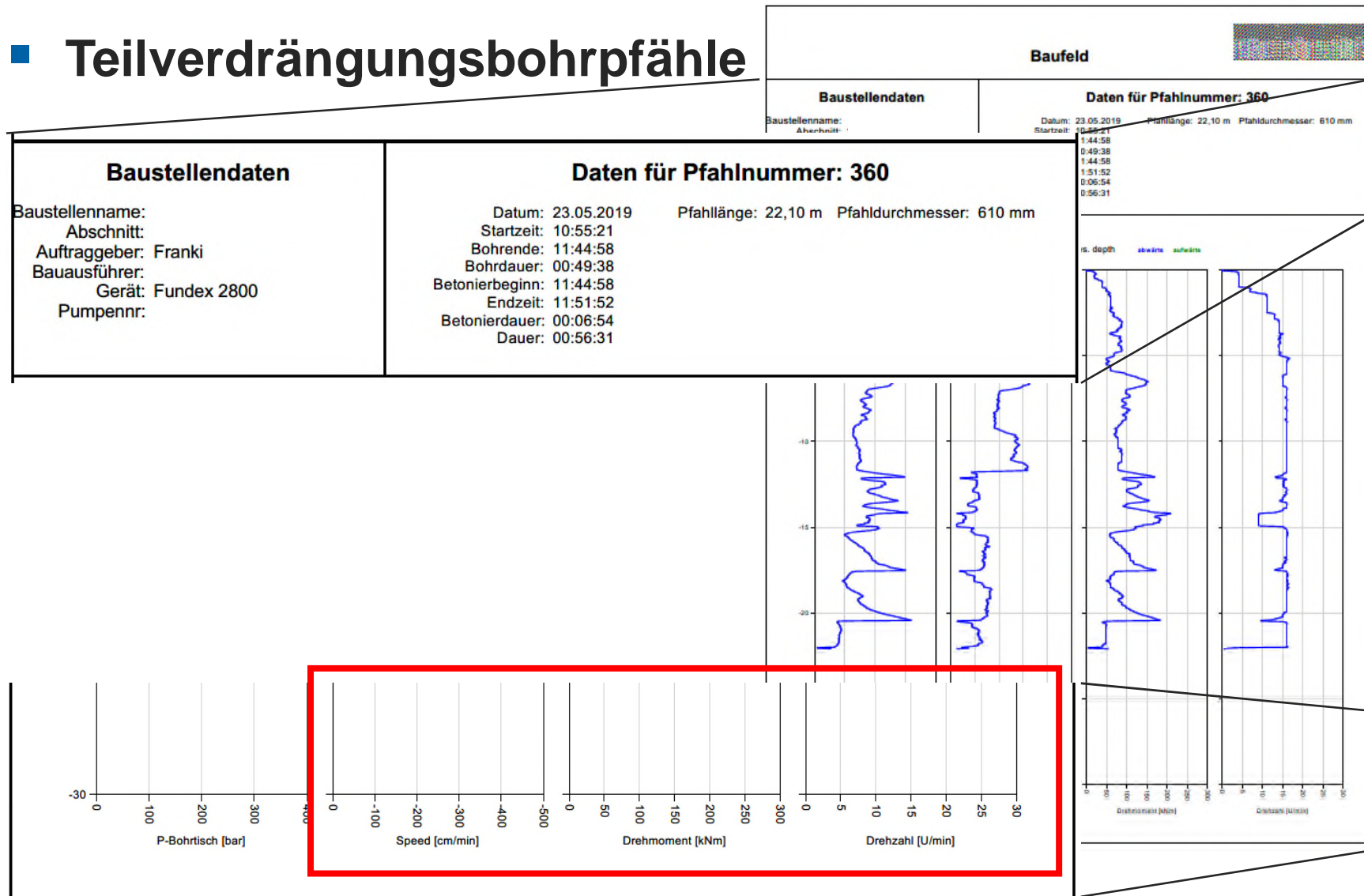
- **Teilverdrängungsbohrpfähle**
 - Erhöhung der Widerstandsbeiwerte im Einzelfall mit Zustimmung
 - Vergleichbarkeit anhand
 - Geometrie der Bohrschnecke
 - Drehmoment des Bohrantriebes
 - Vorschubkraft des Bohrgerätes
 - Drehgeschwindigkeit
 - Vorschubgeschwindigkeit

- **Teilverdrängungsbohrpfähle**
 - Aufzeichnung Herstellparameter
 - **Vorschubkraft**
 - **Vorschubgeschwindigkeit**
 - **Drehmoment**
 - **Umdrehungen pro Meter Eindringung**
 - **Drehrichtung beim Ziehvorgang**
 - **Ziehgeschwindigkeit**
 - **Betonverbrauch**

■ Teilverdrängungsbohrpfähle



■ Teilverdrängungsbohrpfähle



■ Teilverdrängungsbohrpfähle

Pfählpflichten		Pfähldaten		Bewehrung		Beton		Einbringung des Betons	
Pfahlprotokoll nach DIN EN 1536 Teilverdrängungsbohrpfahl und EA Pfähle 5.4.7									
Auftragnehmer Pfahlarbeiten: Franki Grundbau GmbH & Co. KG									
FRANKI GRUNDBAU					172469				
Bauvorhaben: BV-Anschrift: Auftraggeber: Pfählan-Nr.:					Baustellen-Nr.: 172469 TOB_BEW_FU_KXX_SNO_010Y_01_B8				
Pfahlart: Teilverdrängungsbohrpfähle nach DIN EN 1536 und EA Pfähle 5.4.7									
Pfahl-Nr.: 2594		Herstellungsdatum: 27.11.2018		Bericht-Nr.: KGM02					
Grunddaten: Pfähldaten, Bewehrung, Beton, Einbringung des Betons.									
x) Außendurchmesser Bohrwendel AB		81		Stegung Bohrwendel cm		25			
y) Innendurchmesser Seelenrohrs IS		41		y) IS/AB		0,67			
Bohrverfahren: Grundwasserspiegel befindet sich unterhalb Pfahlhöhe Bohren unter Wasserüberdruck									
Bewehrungslänge bis UKF (m)		Längsbew. Stück		10		Ø		16	
Einbringen des Bewehrungsstabes		Vor dem Betonieren		ja		Nach dem Betonieren			
Abstandshalter		Art der Abstandshalter		---		Längsabstand (m)		Anzahl	
Pfählbeton Festigkeitsklasse C		C35/45		Kornenzf F / S / Fließw.		P5		Seitenabstützung (Stoßkran) in mm	
Expositionsklasse		XC4, XA2, XF3, WA		Überwachungskategorie		2		Minizügiger Verarbeitbarkeitsdauer	
Zementgehalt kg/m³		365		Wasserzementwert W/Z		0,51		Betonzusatzmittel und % in Zm.	
Bei der Einbringung des Betons war immer der Druck der Betonsäulenhöhe > (Grundwasserdruck + Erdruck) ja Trockenbau des Betons									
Verwendung einer Betonpumpe: ja Anders: Einbringung des Betons beschreiben									
Bemerkungen:									
Herstellung des Bohrfahres									
Höhenkote Bauwerkssohl m		Höhenkote in NN		Arbeitsebene m		UKF m		1,16	
Ist Länge des Pfahles ab AE (m)		18,35		Soll Meter Länge ab AE		18,35		Leerböhrung in m	
Hinweise bei Abweichung von der Soll-Lage in der AE: Achse X in cm Achse Y in cm									
Bei Abweichung ist Neigung des Pfahles Soll-Neigung des Pfahles LOT									
Bohrzeit von		16:11		Bohrzeit bis		16:25		Unterbrechung von bis	
Verbleibende Verrohrung ab Tiefe				Verbleibende Verrohrung bis Tiefe				Länge verbleibende Verrohrung	
Betonieren Zeiten von		16:31		Betonieren Zeiten bis		16:53		Umgebungstemperatur °C	
Betonverbrauch Soll in m³		5,38		Betonverbrauch Ist in m³				Verfüllen der Leerböhrung (m)	
Pfählbeton Besondere Vorkehrungen									
Abweichung vom Bewehrungsplan Bei Längsabweichung, ist Bewehrungslänge bis UKF in m									
Änderung der Bewehrung: Ist Anzahl Längsbewehrung 10									
Bodenart und Widerstand, beim Bohren festgestellte Schichtgrenzen in Meter unter Arbeitsebene		Drehmoment in kNm oder Druck in Bar des Bohr-Teleskes		Umdrehung/Meter U/M		cm/U		Umdrehung/Minute U/min	
								cm/min	
								Tiefe m	
		13		3,0		33,3		8	
		32		4,0		25,0		13	
		72		4,0		25,0		13	
		74		11,0		9,1		15	
		57		12,0		8,3		16	
		59		15,0		6,7		16	
		79		14,0		7,1		15	
		90		6,0		16,7		15	
		92		5,0		20,0		15	
		70		4,0		25,0		15	
		47		4,0		25,0		16	
		54		3,0		33,3		16	
		62		4,0		25,0		15	
		84		5,0		20,0		15	
		164		18,0		5,6		8	
		160		17,0		5,9		8	
		112		12,0		8,3		10	
		146		15,0		6,7		9	
		129		16,5		6,1		10	
								20	
								21	
								22	
								23	



■ Teilverdrängungsbohrpfähle

Pfahlprotokoll nach DIN EN 1536 Teilverdrängungsbohrpfahl
und EA Pfähle 5.4.7

Auftragnehmer Pfahlarbeiten: Franki Grundbau GmbH & Co. KG



Bauvorhaben		Baustellen-Nr.	
BV-Anschrift		172469	
Auftraggeber			
Pfahlplan-Nr.			

Herstellung des Bohrpfahles									
Höhenkote Bauwerksnull m		Höhenkote m NN		Arbeitsebene m	2,10	UKF m	1,16	Grundwasser m	
Ist Länge des Pfahles ab AE (m)	18,35	Soll Meter Länge ab AE	18,35	Leerbohrung in m	0,94				
Hinweise bei Abweichung von der Soll-Lage in der AE:		Achse X in cm		Achse Y in cm					
Bei Abweichung Ist-Neigung des Pfahles		Soll-Neigung des Pfahles		LOT					
Bohren Zeiten von	16:11	Bohren Zeiten bis	16:25	Unterbrechung von bis					
Verbleibende Verrohrung ab Tiefe		Verbleibende Verrohrung bis Tiefe		Länge verbleibende Verrohrung					
Betonieren Zeiten von	16:31	Betonieren Zeiten bis	16:53	Umgebungstemperatur °C					
Betonverbrauch Soll in m3	5,38	Betonverbrauch Ist in m3		Verfüllen der Leerbohrung (m)					
Pfahlbeton Besondere Vorkommnisse									
Abweichung vom Bewehrungsplan			Bei Längenabweichung, ist Bewehrungslänge bis UKF in m						
Änderung der Bewehrung:									
Bodenart und Widerstand. Beim Bohrer festgestellte Schichtgrenzen in Meter unter Arbeitsebene	Drehmoment in kNm oder Druck in Bar des Bohr-Tisches	Umdrehung/Meter U/M	cm/U	Umdrehung/Minute U/min	cm/min	Tiefe m			
	13	3,0	33,3	6	200,0	1			
	32	4,0	25,0	13	325,0	2			
	72	4,0	25,0	13	312,5	3			
	74	11,0	9,1	15	134,5	4			
	57	12,0	8,3	16	130,0	5			
	58	15,0	6,7	16	103,4	6			
	78	14,0	7,1	15	107,8	7			
	90	6,0	16,7	15	248,4	8			
	92	5,0	20,0	15	298,0	9			
	70	4,0	25,0	15	385,0	10			
	47	4,0	25,0	16	390,0	11			
	54	3,0	33,3	16	516,6	12			
	62	4,0	25,0	15	385,0	13			
	84	5,0	20,0	15	298,0	14			
	164	18,0	5,6	8	41,7	15			
	160	17,0	5,9	8	45,8	16			
	112	12,0	8,3	10	80,5	17			
	146	15,0	6,7	9	62,7	18			
	129	16,5	6,1	10	57,6	19			

EA Pfähle 5.4.7	Gerät-Nr.	KAM02			
1.2.2018					
ang. Beton-Einbringung des Betons.					
verdel cm		25			
unterhalb Pfahlänge		Bohrten unter Wasserüberdruck			
ick 10	Ø 16				
ja	Nach dem Betonieren				
	Längelastend (m)	Anzahl			
Fließbet. F5	Betonkörnung (Größtkor.) in mm	16			
Klasse 2	Verzögerer Verarbeitungsdauer	3h			
wert WZ 0,51	Betonzusatzmittel und % in Zm.				
g > (Grundwasserdruck + Erdruck)	ja	Trockenbau des Betons			
art des Betons beschreiben					
Bes. Bohrpfähles					
ebene m	2,10	UKF m	1,16	Grundwasser m	
ge ab AE	18,35	Leerbohrung in m	0,94		
		Achse Y in cm			
es Pfahles		LOT			
is	16:25	Unterbrechung von bis			
ührung bis Tiefe		Länge verbleibende Verrohrung			
en bis	16:53	Umgebungstemperatur °C			
h ist in m3		Verfüllen der Leerbohrung (m)			
eichung, ist Bewehrungslänge bis UKF in m					
stbewehrung					
Meter U/M	cm/U	Umdrehung/Minute U/min	cm/min	Tiefe m	
1	33,3	6	200,0	1	
1	25,0	13	325,0	2	
1	25,0	13	312,5	3	
1	9,1	15	134,5	4	
1	8,3	16	130,0	5	
1	6,7	16	103,4	6	
1	7,1	15	107,8	7	
1	16,7	15	248,4	8	
1	20,0	15	298,0	9	
1	25,0	15	385,0	10	
1	25,0	16	390,0	11	
1	33,3	16	516,6	12	
1	25,0	15	385,0	13	
1	20,0	15	298,0	14	
1	5,6	8	41,7	15	
1	5,9	8	45,8	16	
1	8,3	10	80,5	17	
1	6,7	9	62,7	18	
1	6,1	10	57,6	19	
				20	
				21	
				22	
				23	

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



Ihr Partner für Planung im Grundbau



HELMUT SCHMIDT
UNIVERSITÄT

Universität der Bundeswehr Hamburg

Besondere Fragestellungen zur Bemessung von Wänden und dem Bau in deren direkter Nachbarschaft

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Sascha Henke

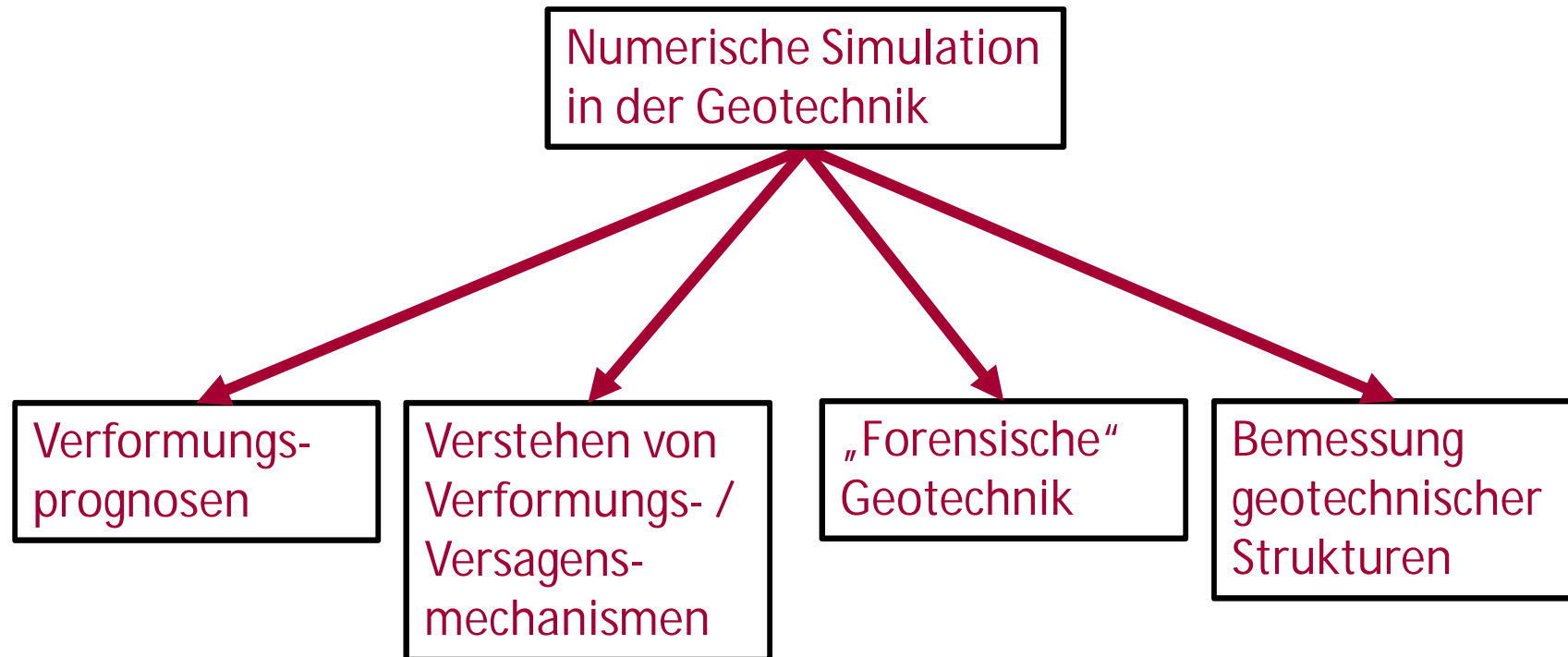
Helmut-Schmidt-Universität / BBI Geo- und Umwelttechnik Ingenieurgesellschaft mbH

Inhalt

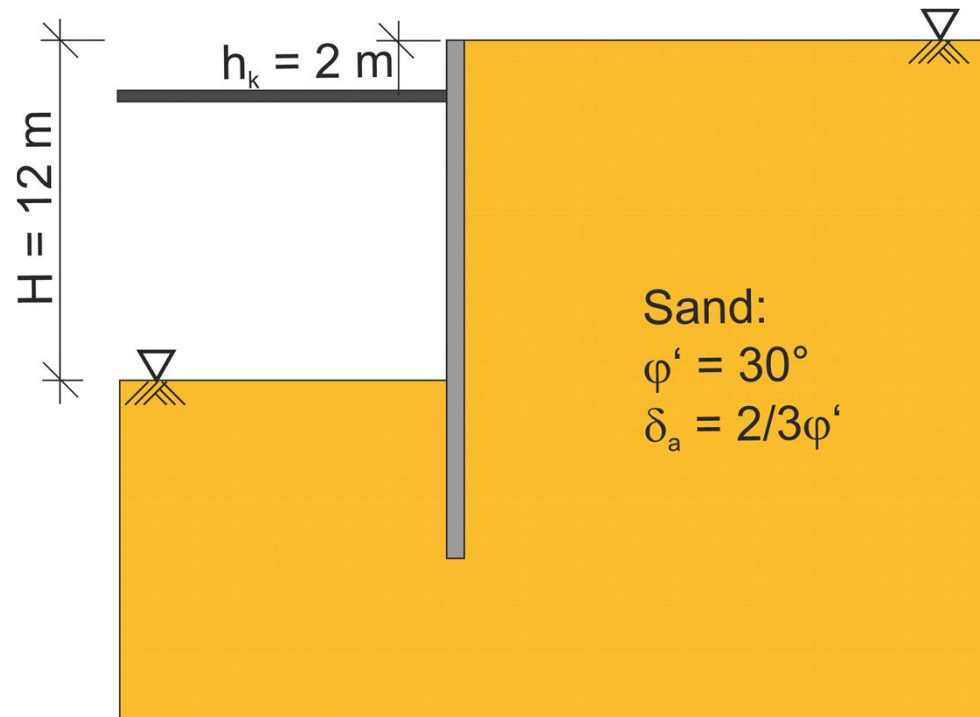
- § **Einleitung**
- § **Bemessung von Wänden mit numerischen Methoden**
- § **Benachbarte Bautätigkeiten**
- § **Zusammenfassung**

Bemessen mit numerischen Methoden

Numerische Methoden in der Geotechnik



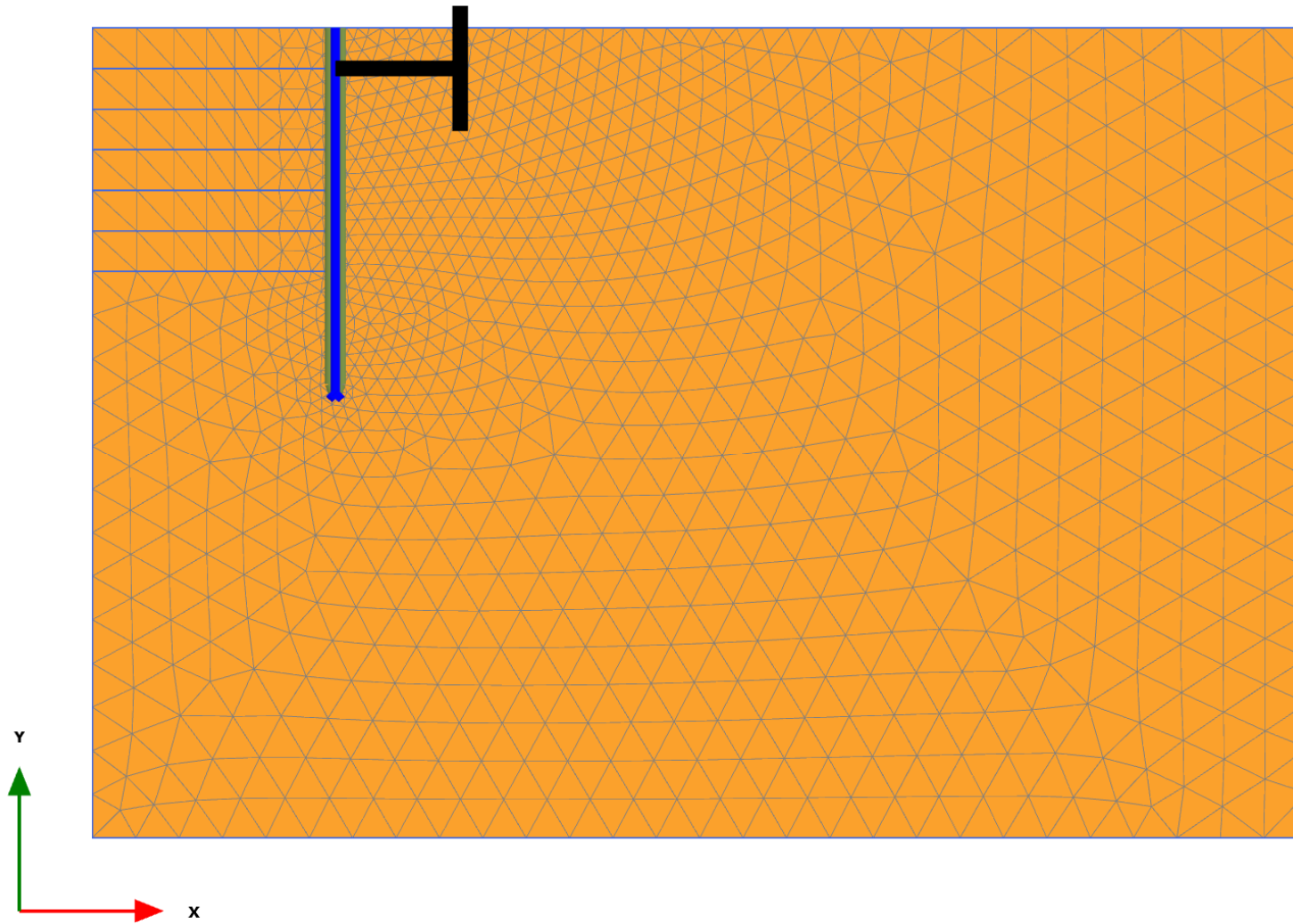
Erddruckverteilung via FEM



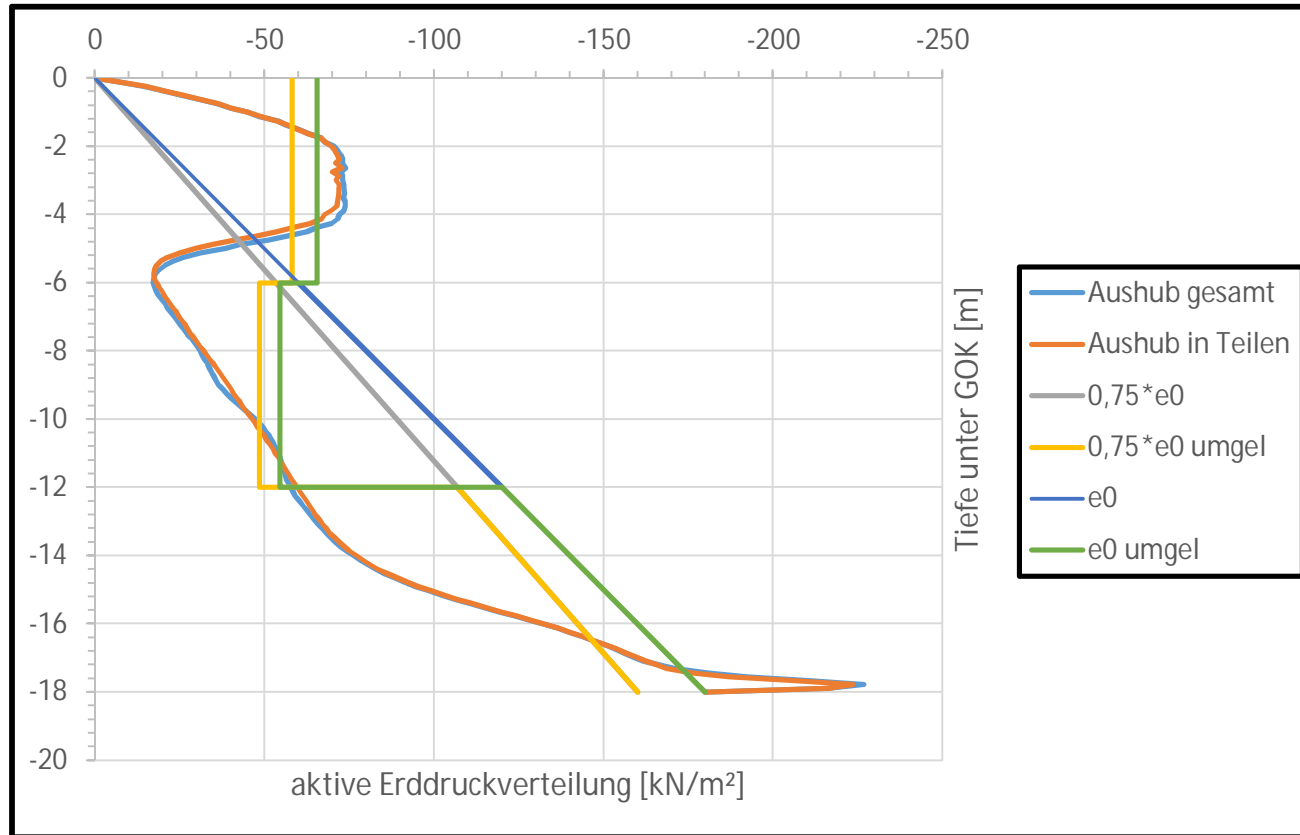
Varianten:

1. Aushub unter Steife in einem Schritt
2. Aushub unter Steife in 2 m Schritten

Erddruckverteilung via FEM



Erddruckverteilung via FEM



Baugrube Schleuse Lüneburg



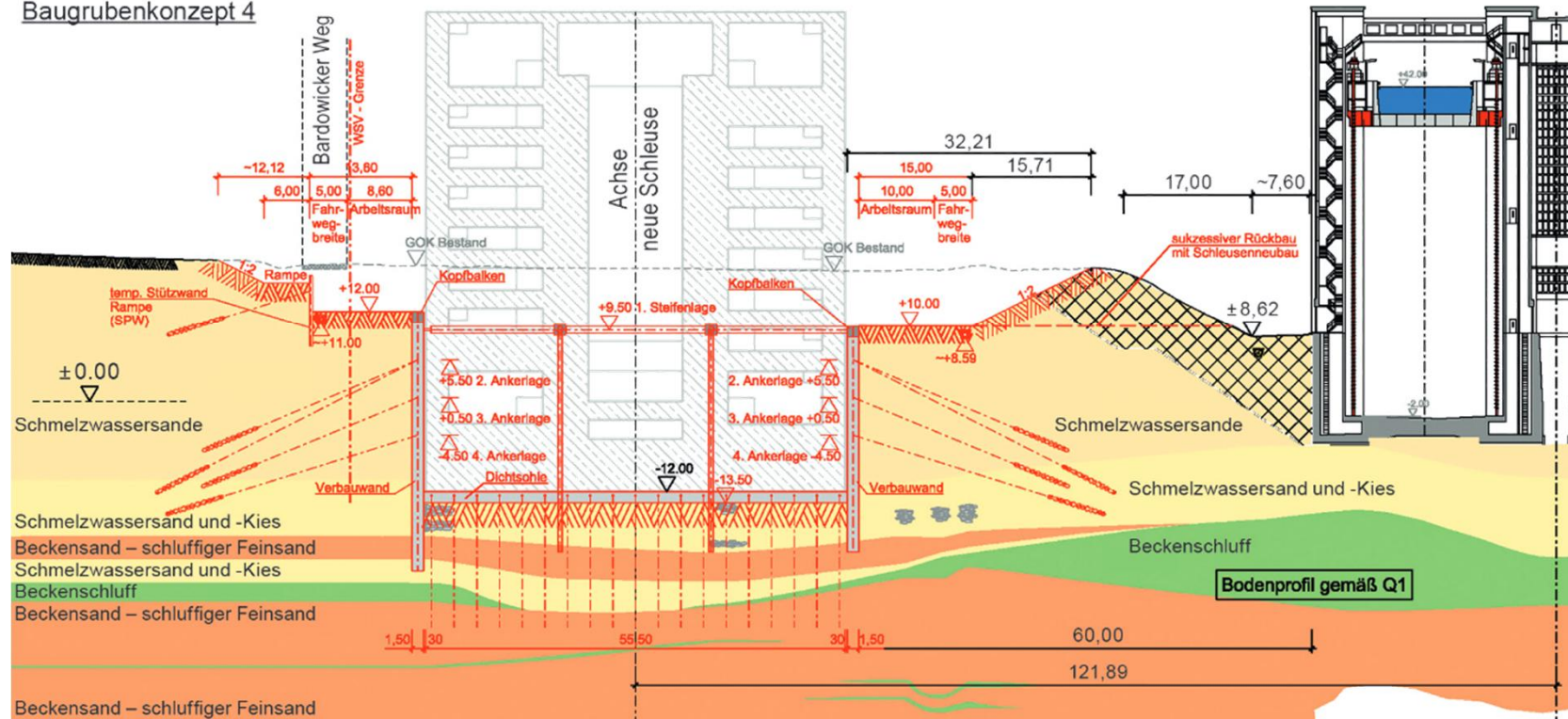
Baugrube Schleuse Lüneburg



Aufgabe: Planung der Schleuse direkt neben Schiffshebewerk
à Numerische Verformungsprognose + Ableitung von
Bemessungsansätzen für die Baugrubenbemessung

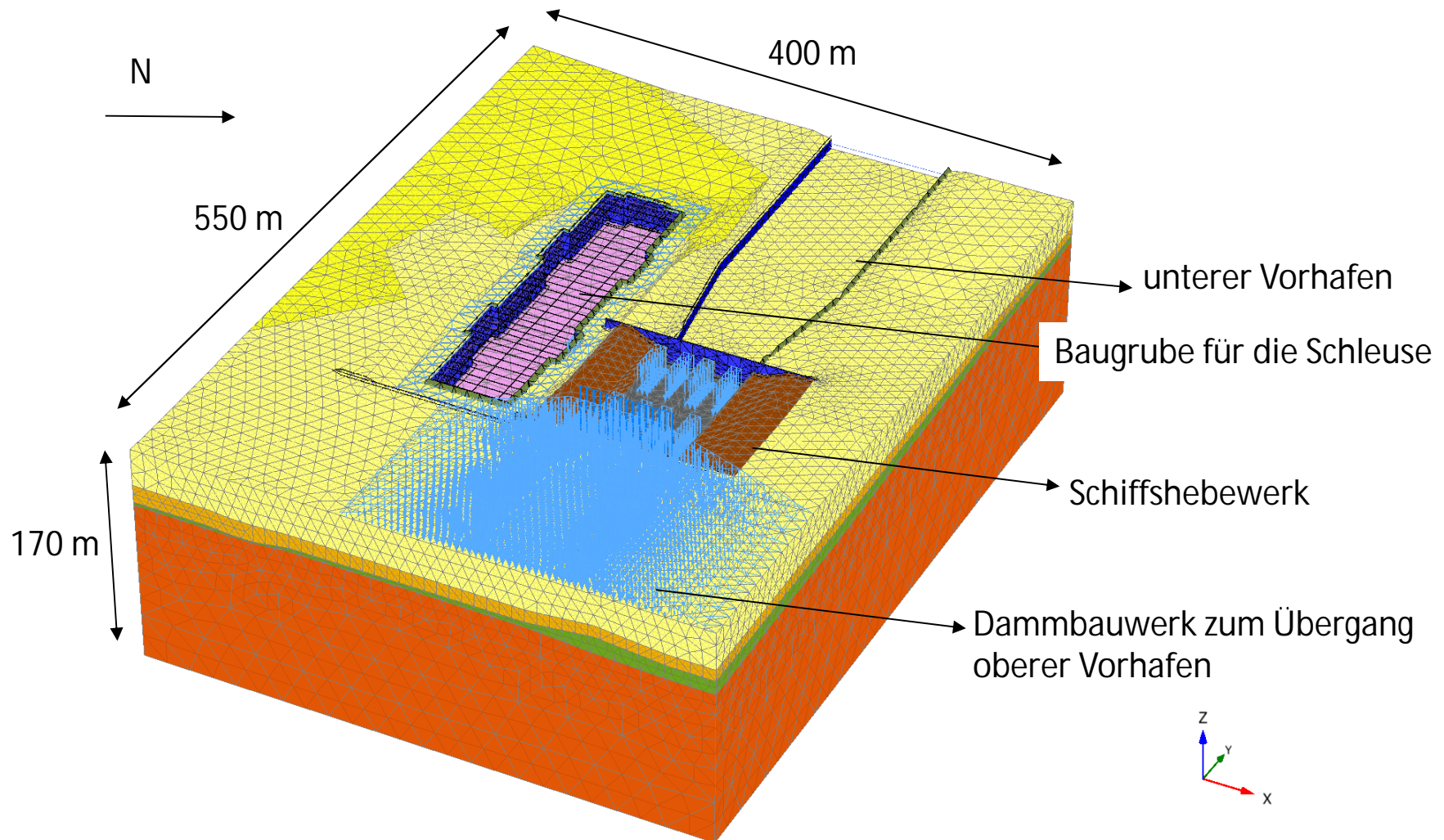
Baugrube Schleuse Lüneburg

Schnitt A-A M 1:500
Baugrubenkonzept 4

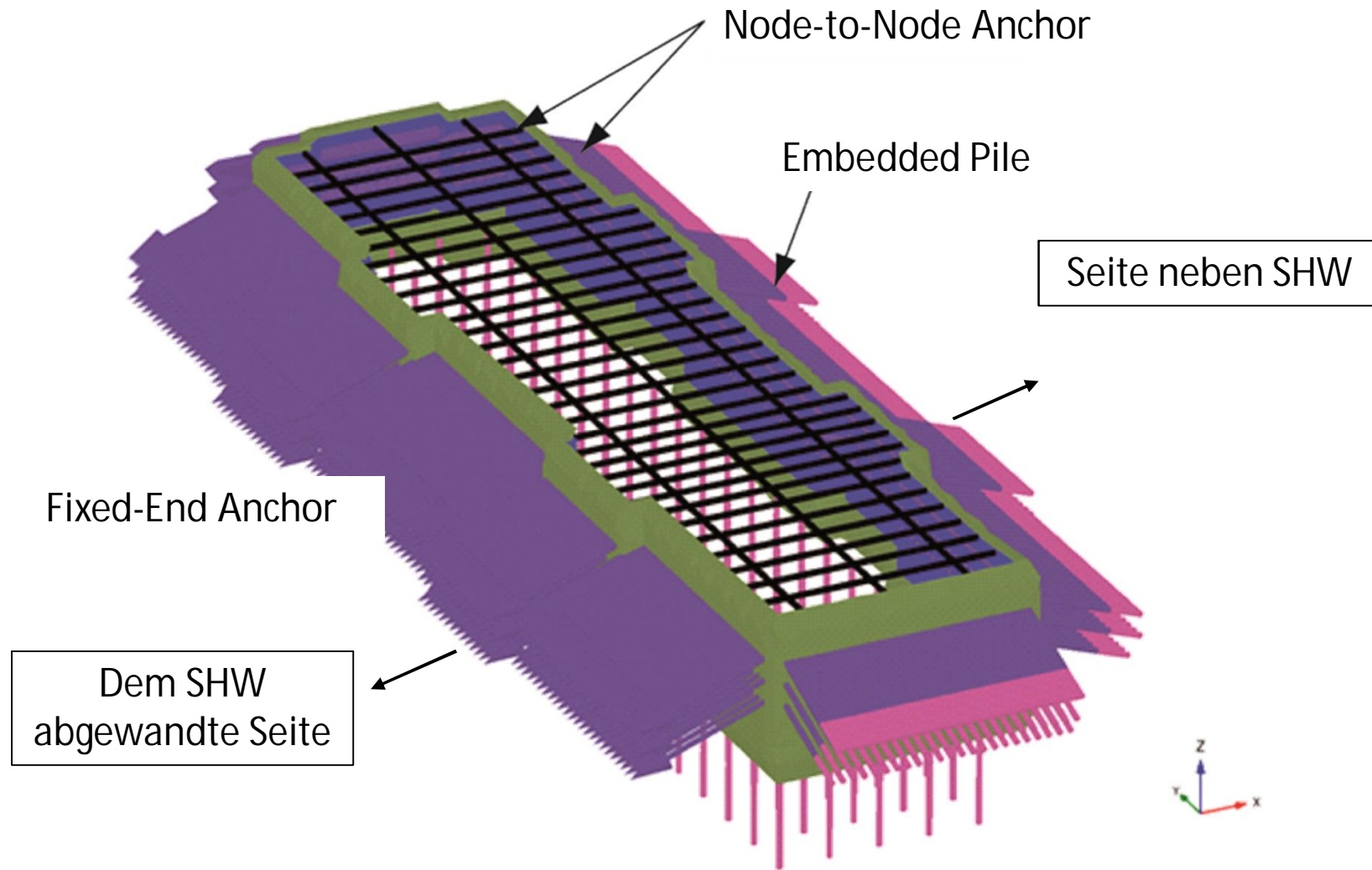


Aufgabe: Planung der Schleuse direkt neben Schiffshebewerk
à Numerische Verformungsprognose + Ableitung von
Bemessungsansätzen für die Baugrubenbemessung

Baugrube Schleuse Lüneburg

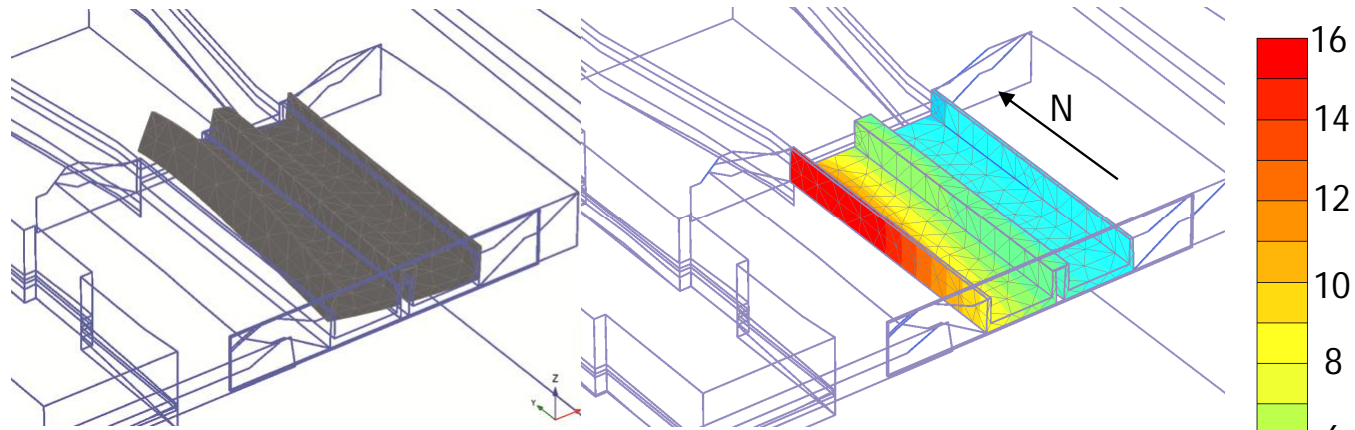


Baugrube Schleuse Lüneburg

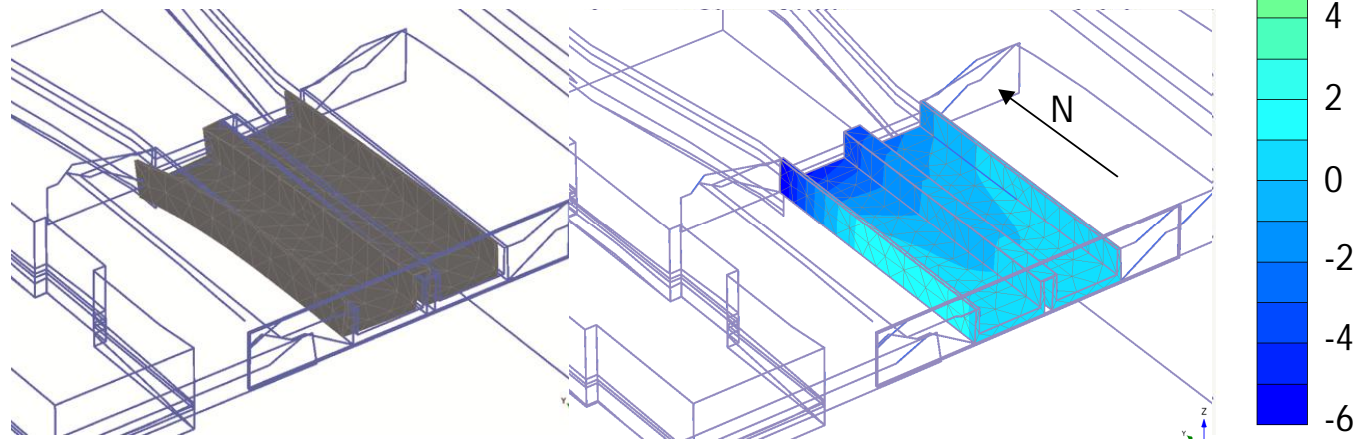


Baugrube Schleuse Lüneburg

Lenzen der Baugrube



Schleusen-
neubau



Akkumulierte vertikale Verformungen
+ Hebung; - Setzung

Baugrube Schleuse Lüneburg

EAB

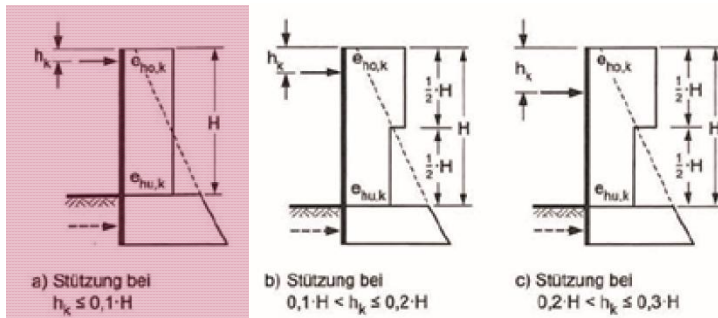


Bild EB 70-1. Lastfiguren für einmal gestützte Spundwände und Ort betonwände

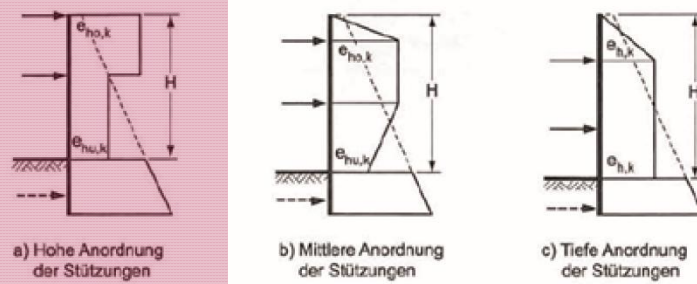


Bild EB 70-2. Lastfiguren für zweimal gestützte Spundwände und Ort betonwände

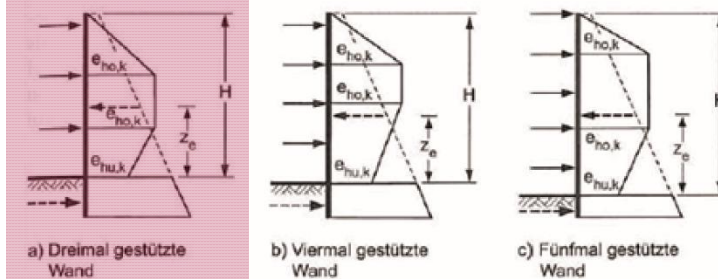


Bild EB 70-3. Lastfiguren für dreimal oder öfter gestützte Spundwände und Ort betonwände

EAU

Herstellverfahren „Abgegrabene Wand“

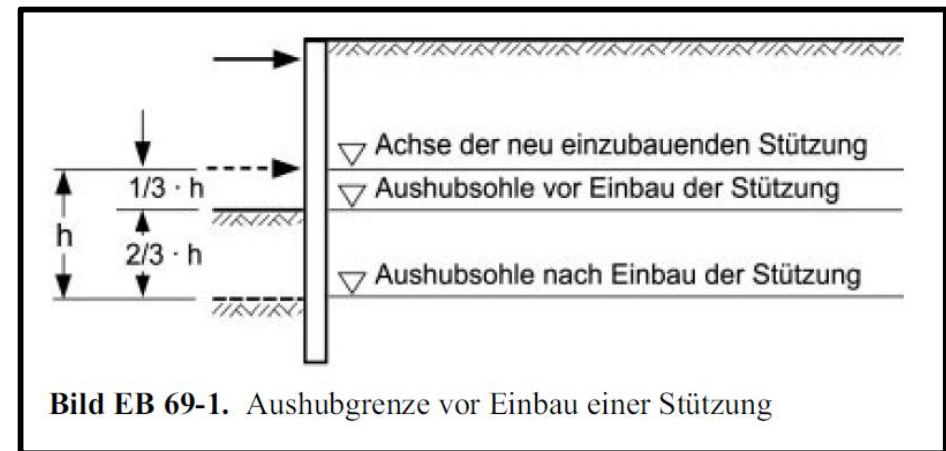
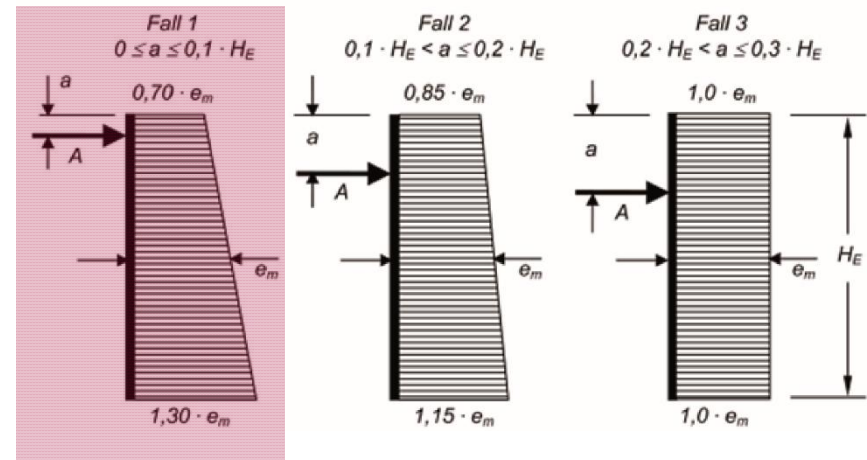
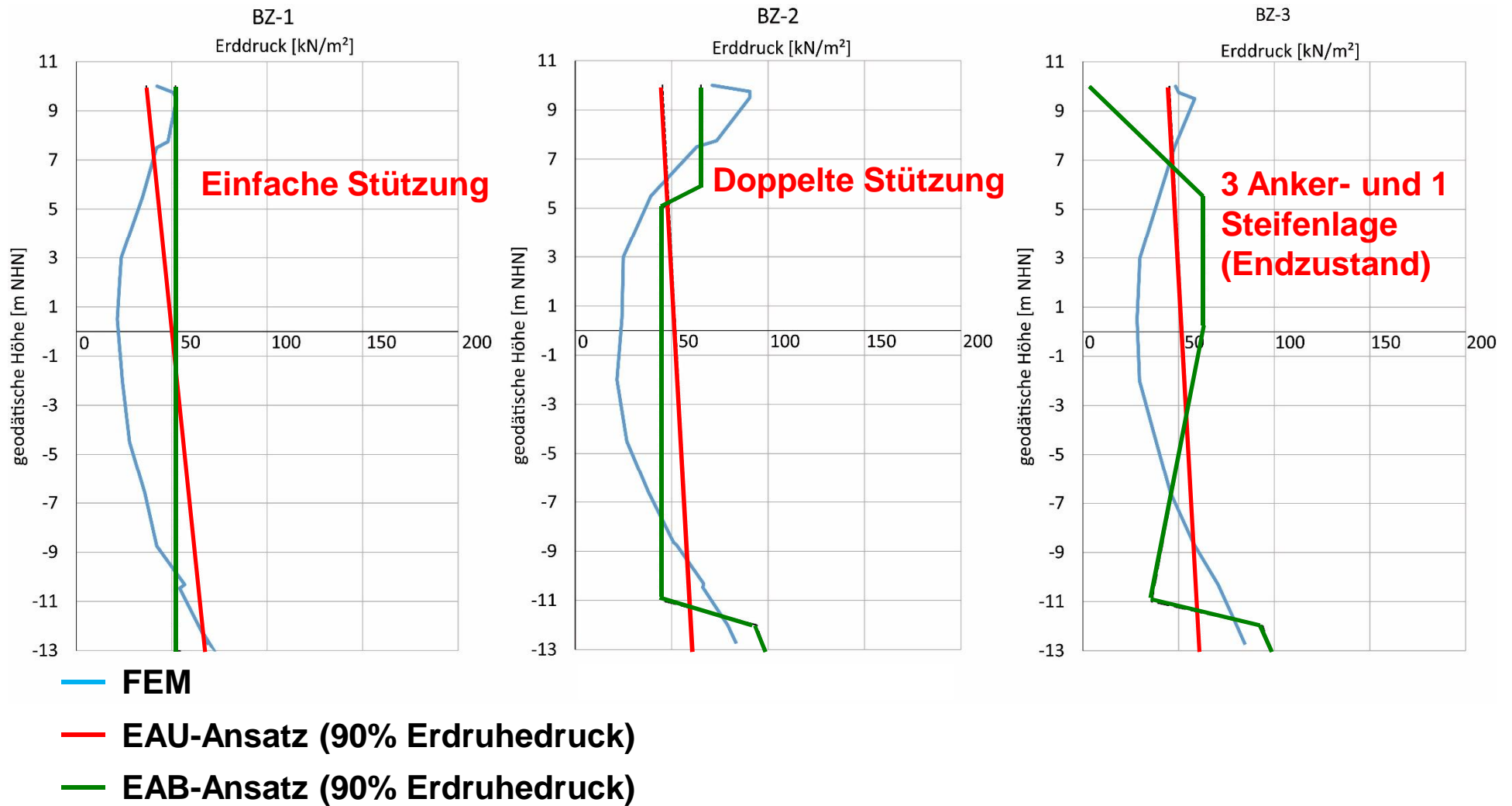


Bild EB 69-1. Aushubgrenze vor Einbau einer Stützung

Baugrube Schleuse Lüneburg



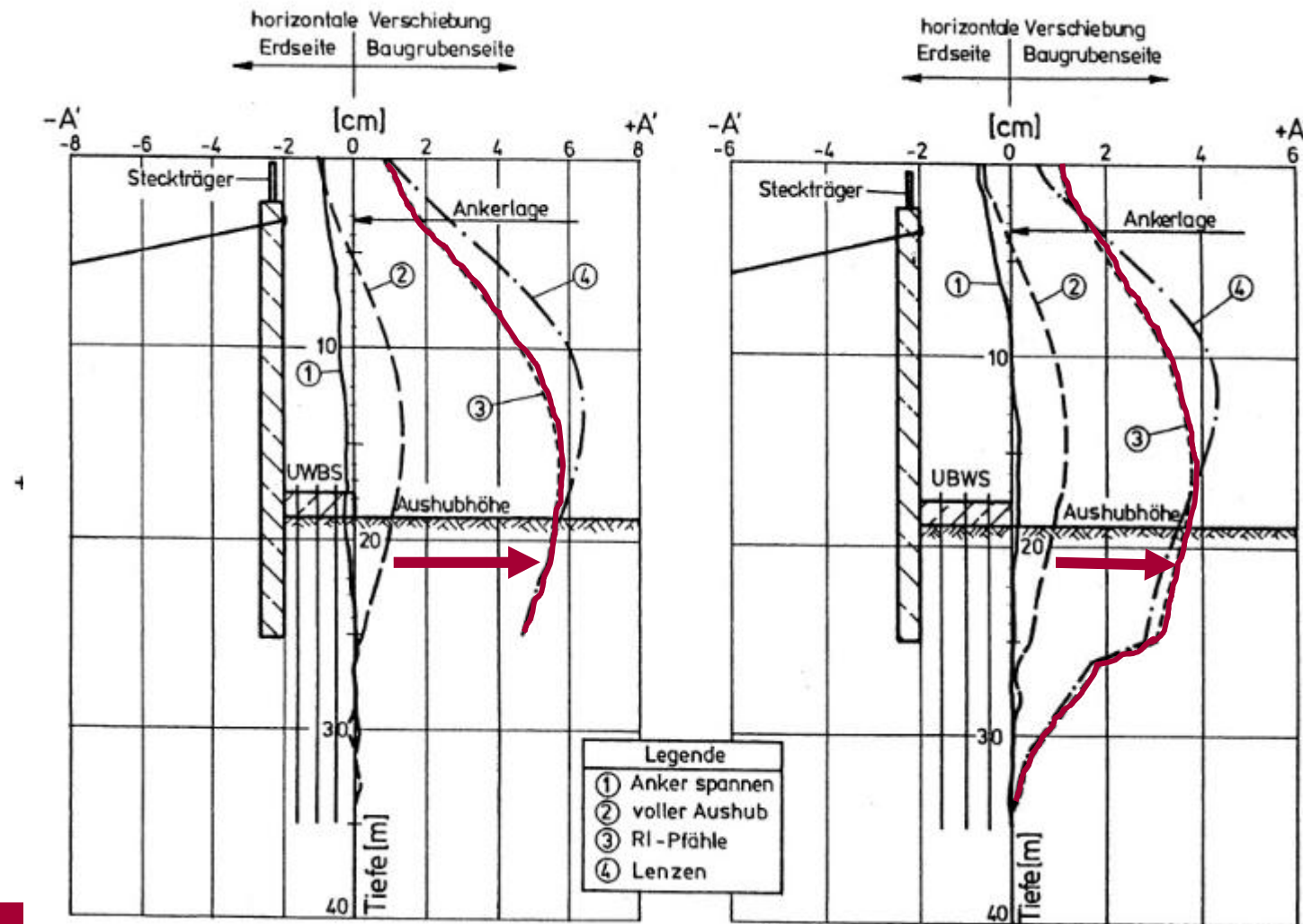
Bau in Nachbarschaft zu bestehenden Wänden

Bau in Nachbarschaft zu bestehenden Wänden

- **Pfahlarbeiten neben Baugrubenwänden**
- **Injektionen neben Baugrubenwänden**
- **Bau im Bereich von Verankerungselementen**

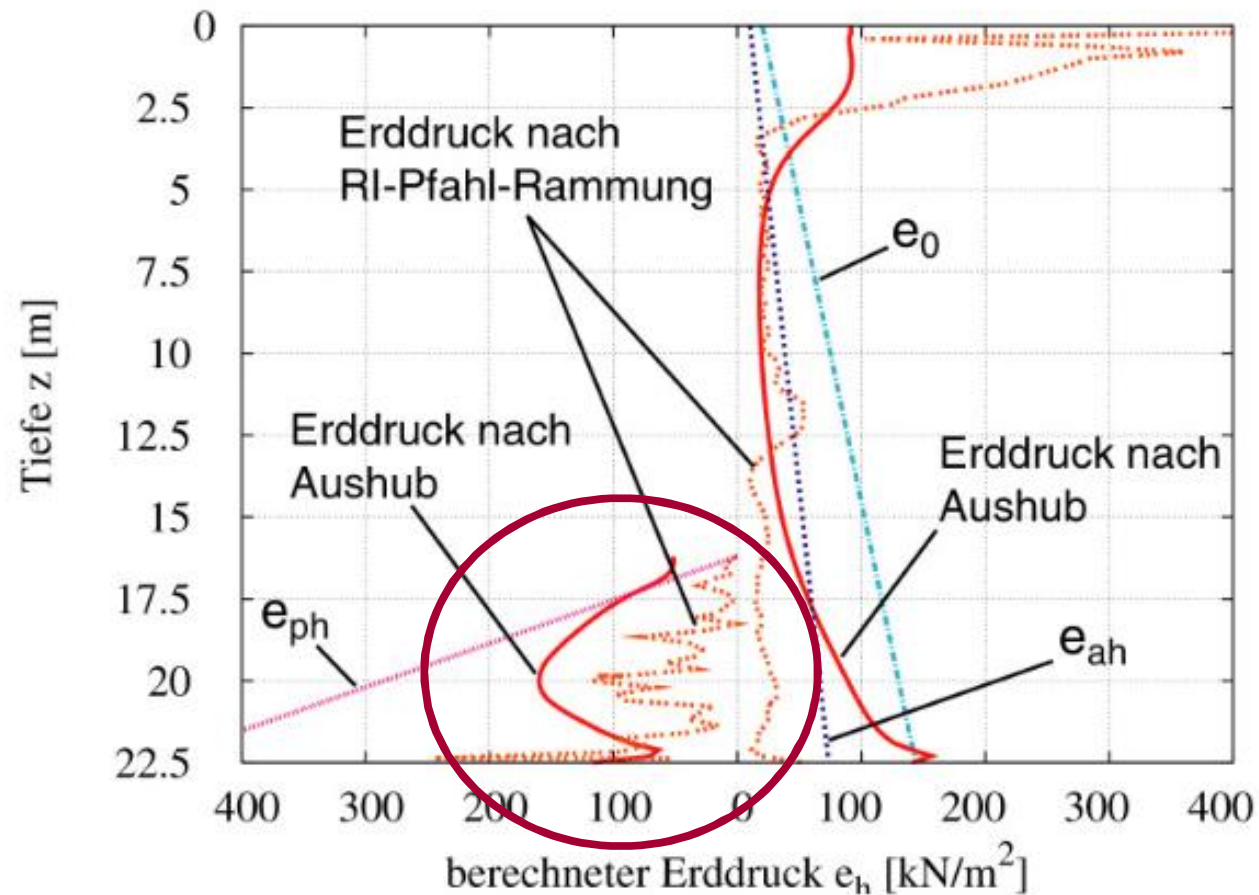
Pfahlherstellung neben Baugrubenwänden

RI-Pfahlinstallation vor Baugruben



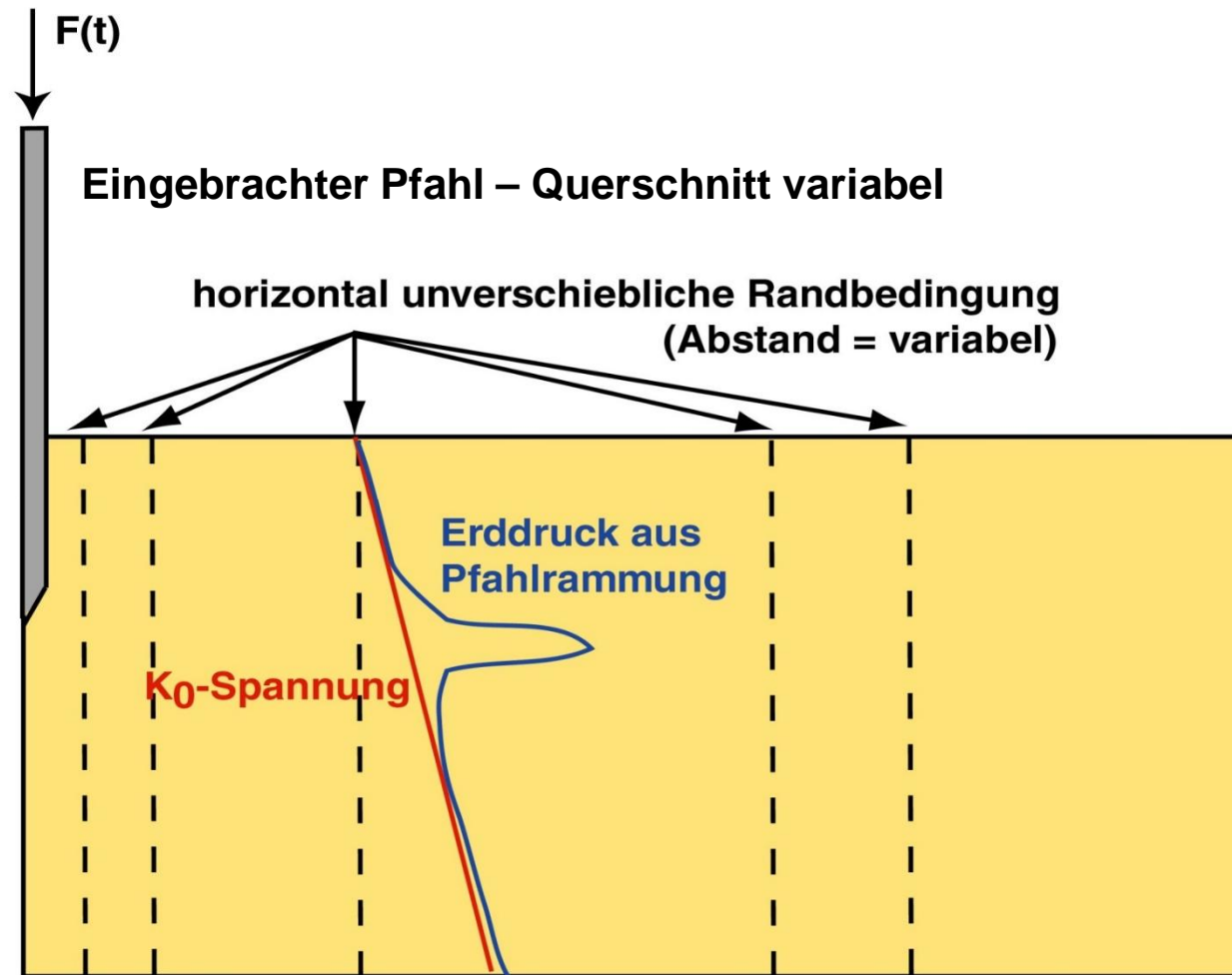
Quelle:
Triantafyllidis (2000)

RI-Pfahlinstallation vor Baugruben



Quelle: Grabe,
Henke, Schümann
(2007)

Untersuchung zu Herstellungseinflüssen aus Pfahlrammung



Quelle:
Henke (2008)

Untersuchung zu Herstellungseinflüssen aus Pfahlrammung

- **Profile:**

D = 16 cm, D = 30 cm, Rohrprofil $D_a = 61$ cm, HEM 200, PST 600/159

- **Anfängliche Lagerungsdichte des Bodens:**

locker, mitteldicht, dicht

- **Einbringverfahren:**

Eindrücken, Vibrationsrammung

- **Kontaktreibungsbeiwert $\tan \delta$:**

0; 0,1; 0,176; 0,268; 0,364; 0,577

Untersuchung zu Herstellungseinflüssen aus Pfahlrammung

- **Profile:**

D = 16 cm, D = 30 cm, Rohrprofil $D_a = 61$ cm, HEM 200, PST 600/159

- **Anfängliche Lagerungsdichte des Bodens:**

locker, mitteldicht, dicht

- **Einbringverfahren:**

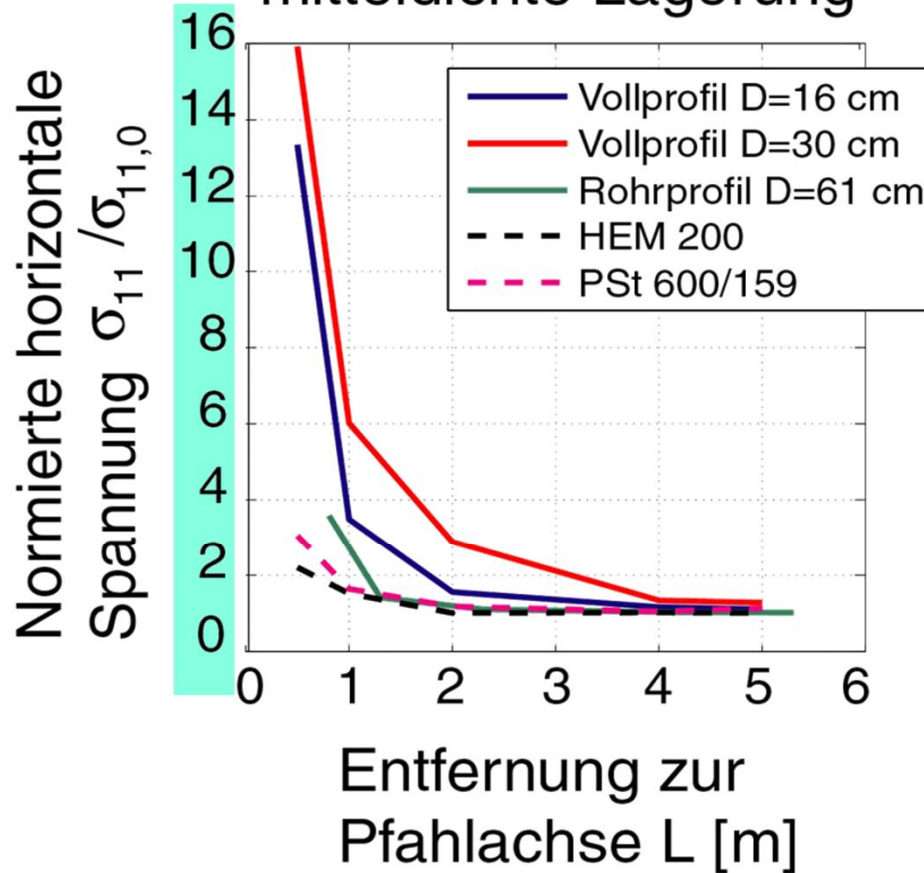
Eindrücken, Vibrationsrammung

- **Kontaktreibungsbeiwert $\tan \delta$:**

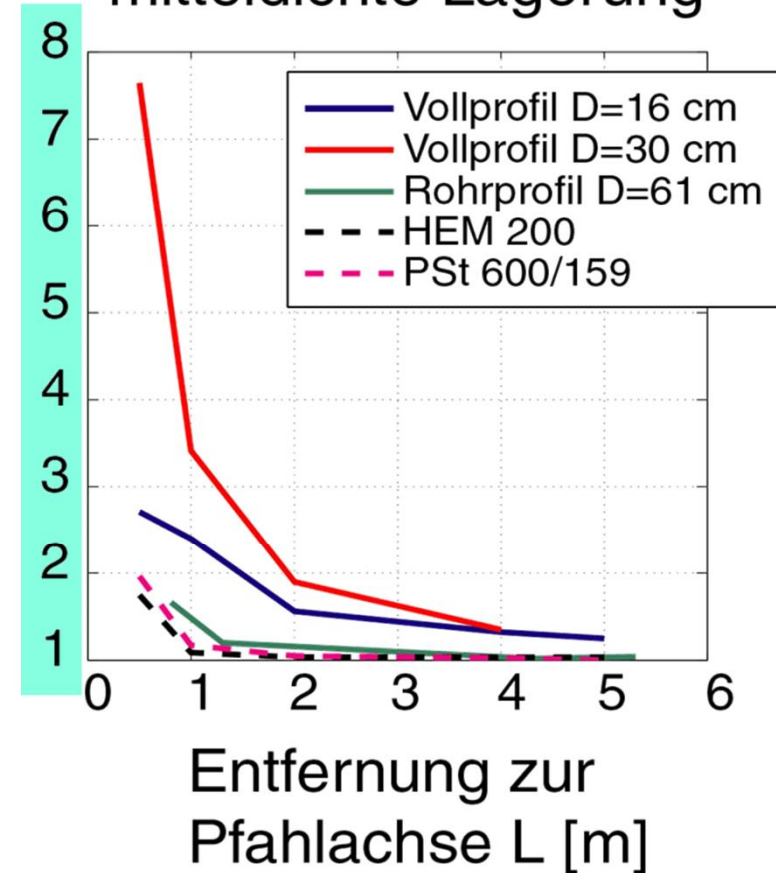
0; 0,1; 0,176; 0,268; 0,364; 0,577

Untersuchung zu Herstellungseinflüssen aus Pfahlrammung

Eindrücken,
mitteldichte Lagerung

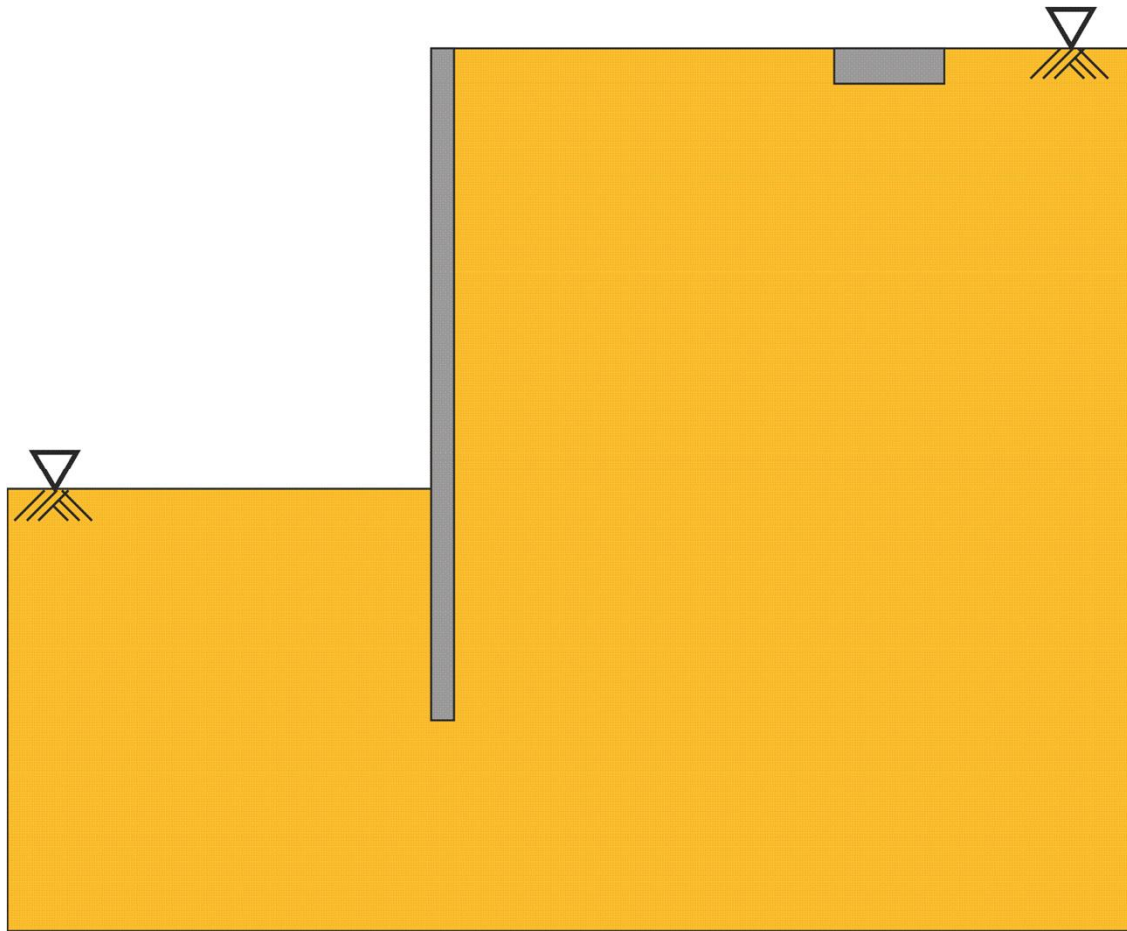


Vibrationsrammung,
mitteldichte Lagerung

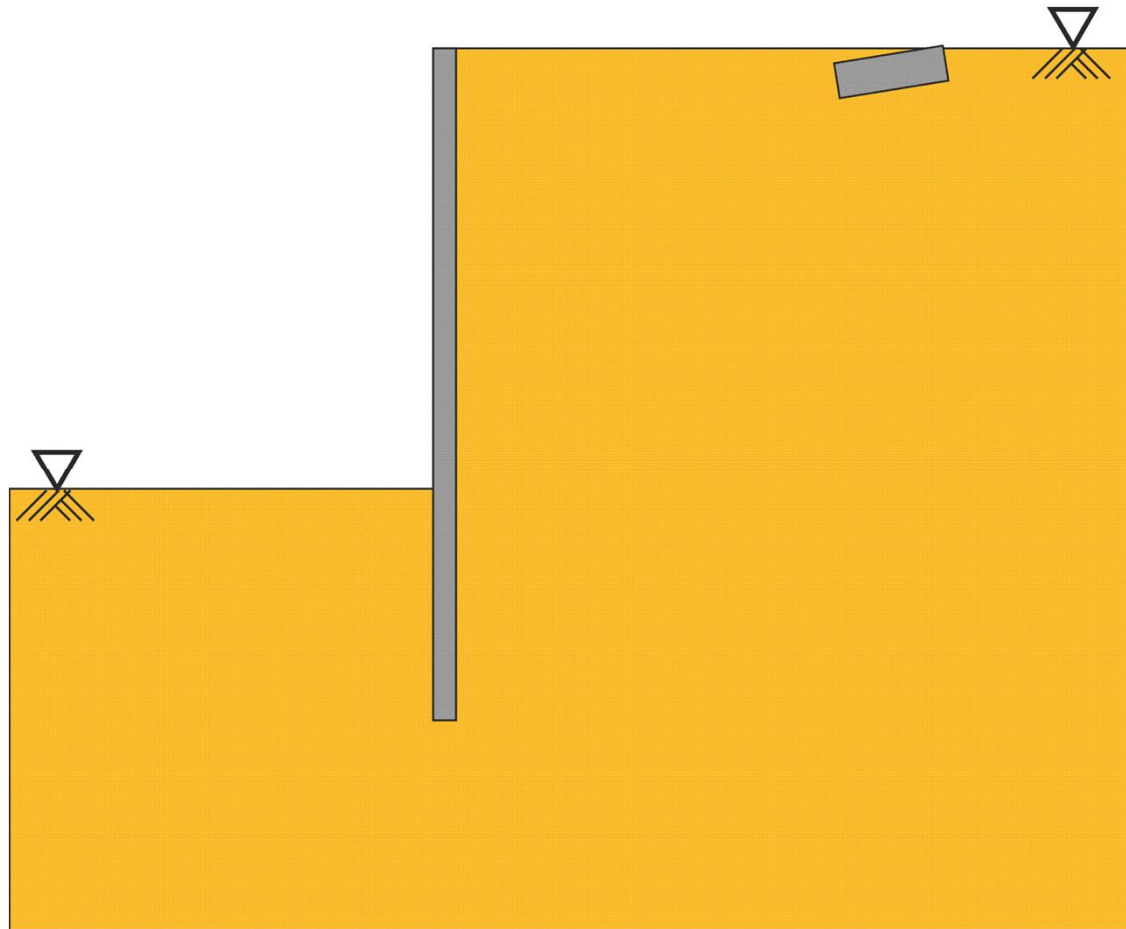


Injektionen neben Verbauwänden

Beispiel: Hebungsinjektion mit Manschettenrohren



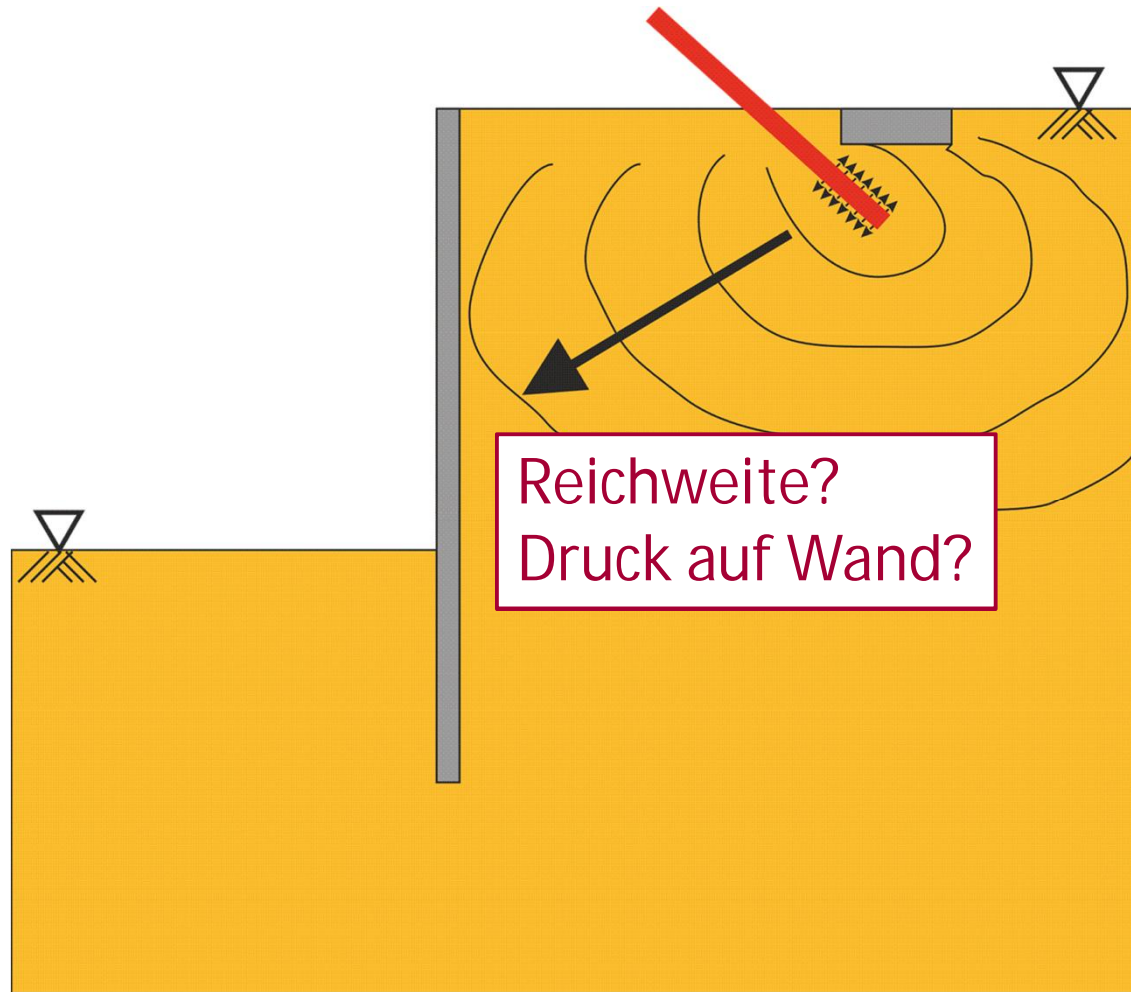
Beispiel: Hebungsinjektion mit Manschettenrohren



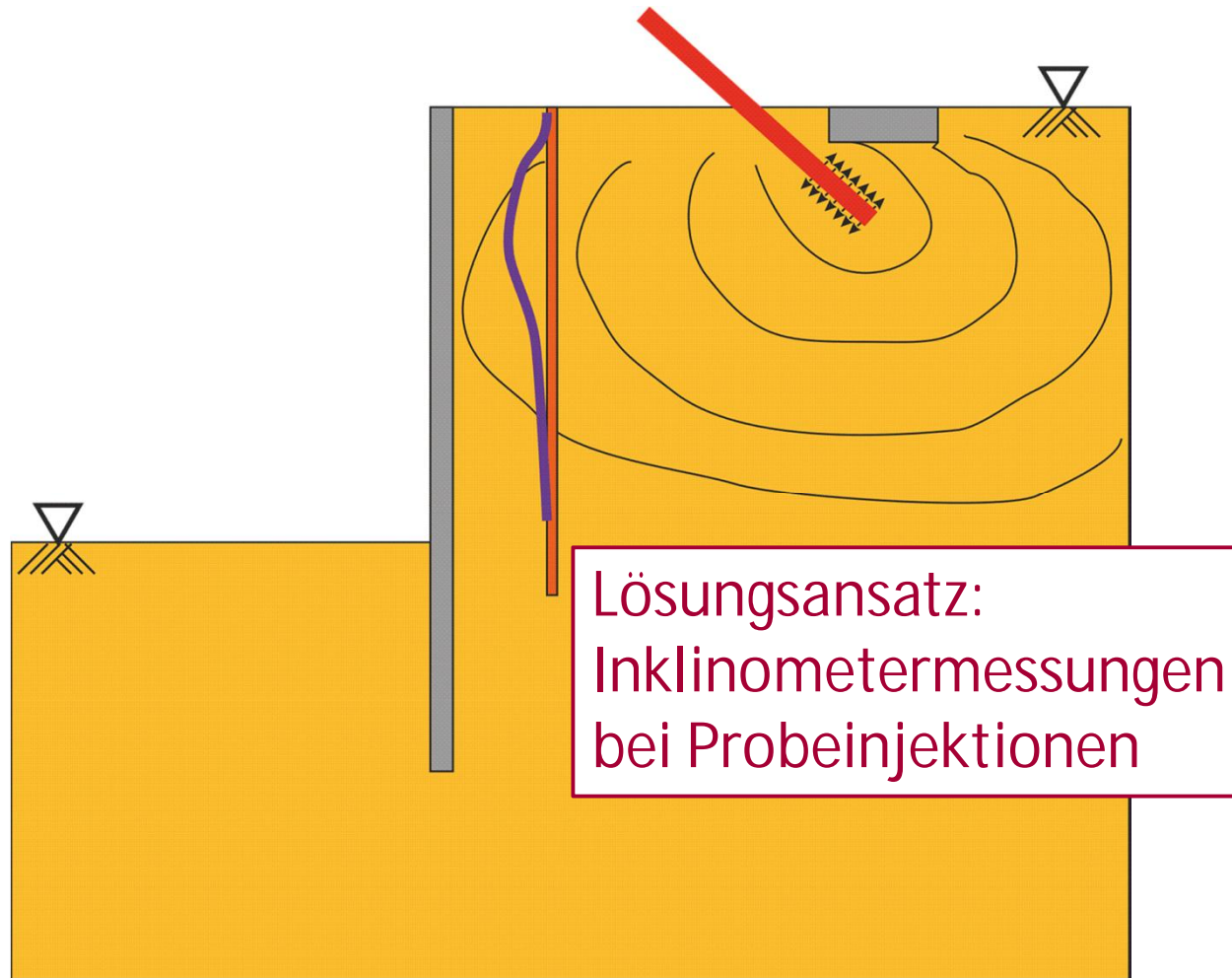
Beispiel: Hebungsinjektion mit Manschettenrohren



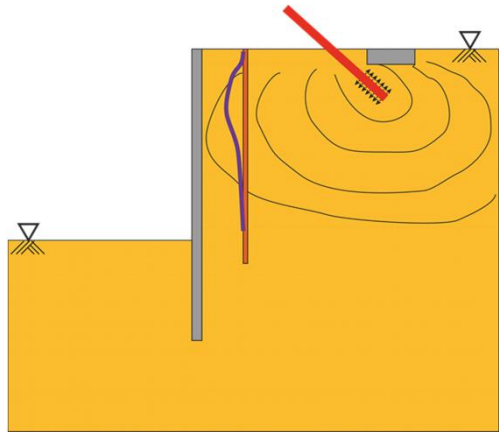
Beispiel: Hebungsinjektion mit Manschettenrohren



Beispiel: Hebungsinjektion mit Manschettenrohren



Beispiel: Hebungsinjektion mit Manschettenrohren



Lösungsansatz:

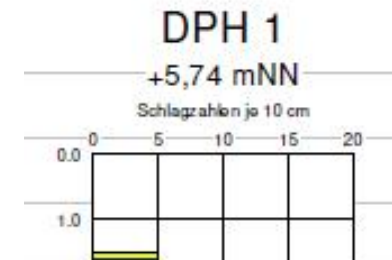
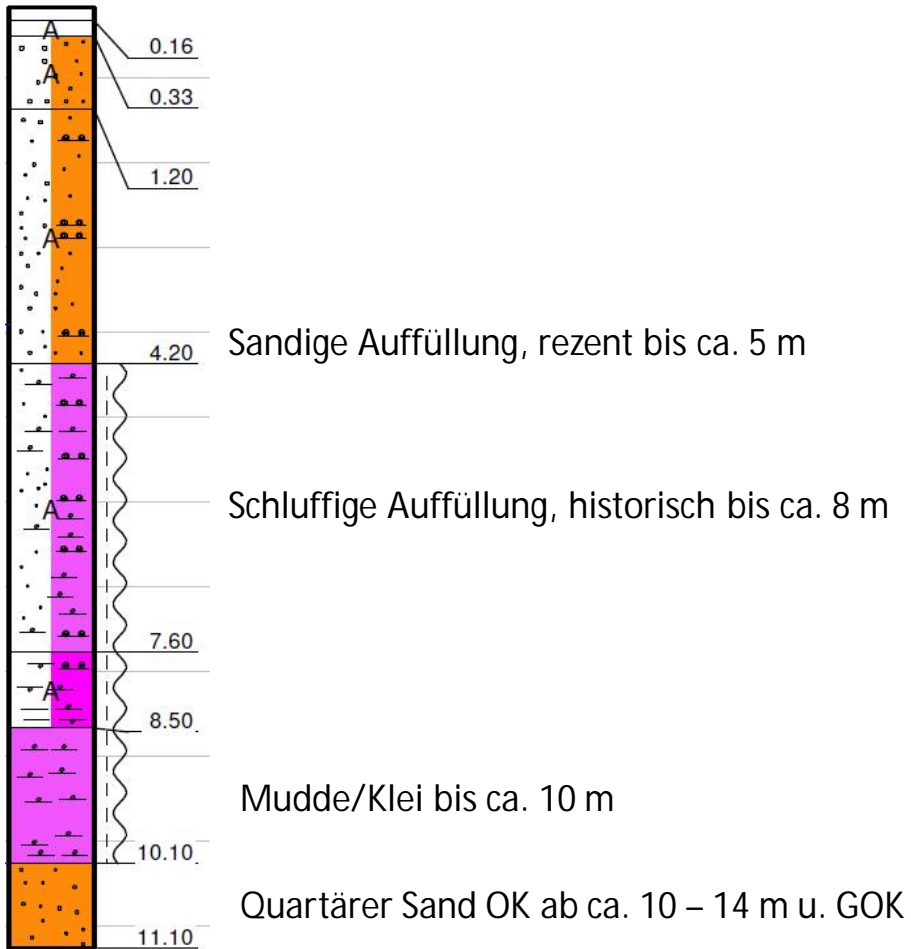
1. Probeinjektion
2. Durchführung von Inklinometermessungen in versch. Abständen
3. Auswertung der Verformungen
4. Numerische Simulation zur Reproduktion der gemessenen Verformungen
5. Ableitung eines zusätzlich anzusetzenden Erddrucks infolge Injektionen

Bau im Bereich von Verankerungselementen

Das Projekt – Geplantes Bauwerk

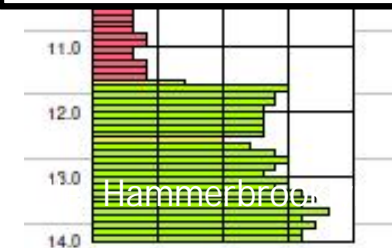


Typische Baugrundverhältnisse



Ergebnis:

- Pfahlgründung erforderlich
- Tragfähiger Baugrund gebildet durch die quartären Sande ab ca. 10-14 m u. GOK



Untergrund - Hindernisse

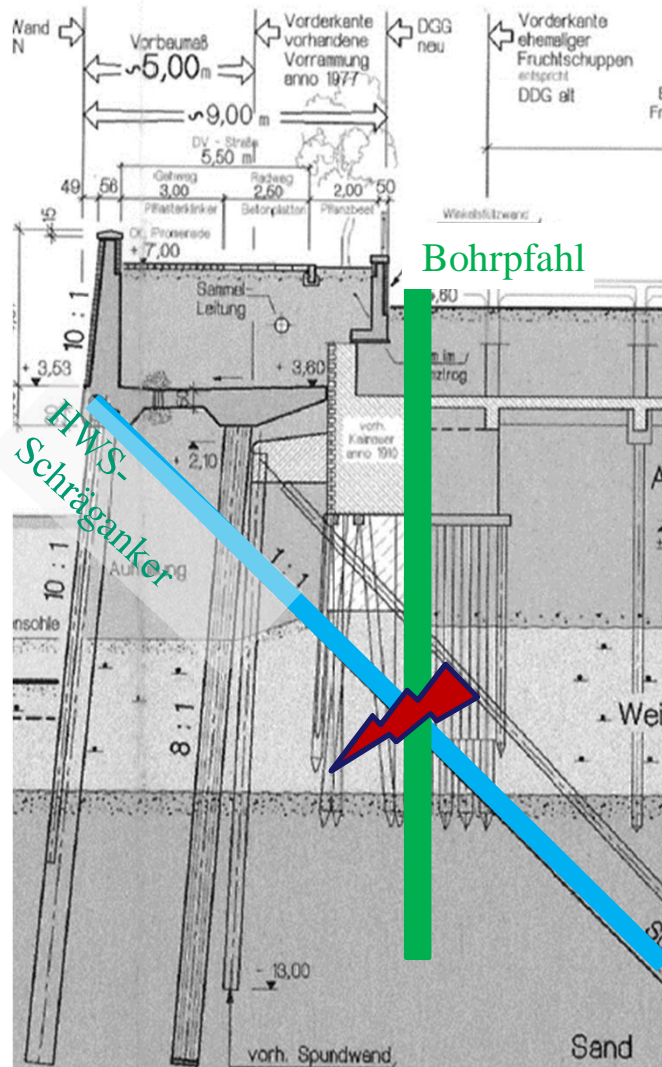
Kaimauer Anno 1910



Sohlplatte einer Müllverladestation mit bewehrten Streifenfundament



Untergrund – Maßgebende Herausforderung



Situation:

Die neuen Bohrpfähle kreuzen die Lage der Bestandsanker

à Kollisionsrisiko

Problem:

Die absolute Lage der HWS- Anker ist spekulativ, da keine ausreichende Dokumentation vorhanden.

Breitflanschpfahl aus HTM-Stahl,
400 x 117

Pfahlgründung - Daten

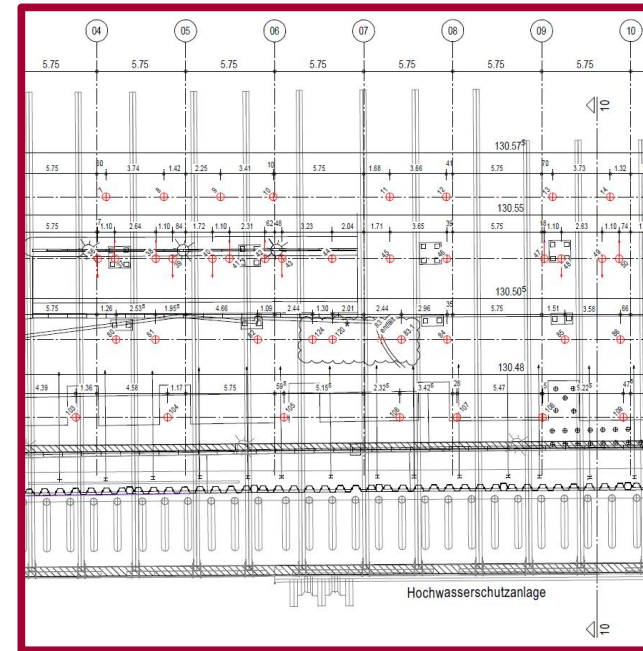
- § 15 m x 130 m zu bebauende Fläche
- § 21 Gebäudeachsen
- § 4 Pfahlachsen

à 123 Großbohrpfähle Ø 88 cm

- § Abstand zwischen HWS-Ankern ca. 3 m (laut Plan)

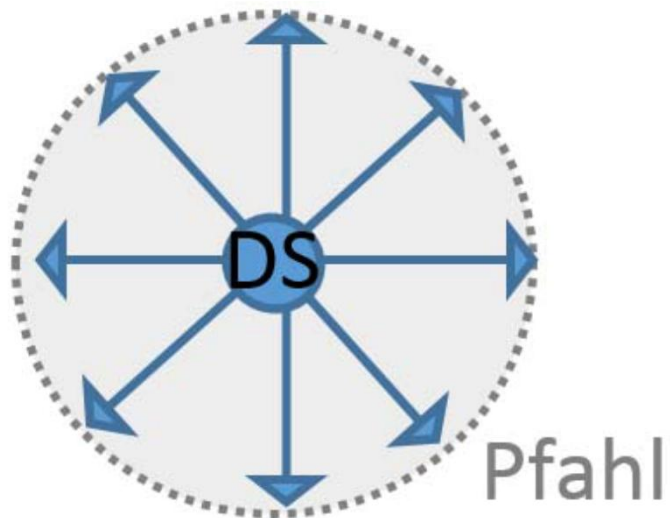
FRAGE:

Wie kann die Lage der HWS-Anker vor Pfahlherstellung möglichst gut ermittelt werden?



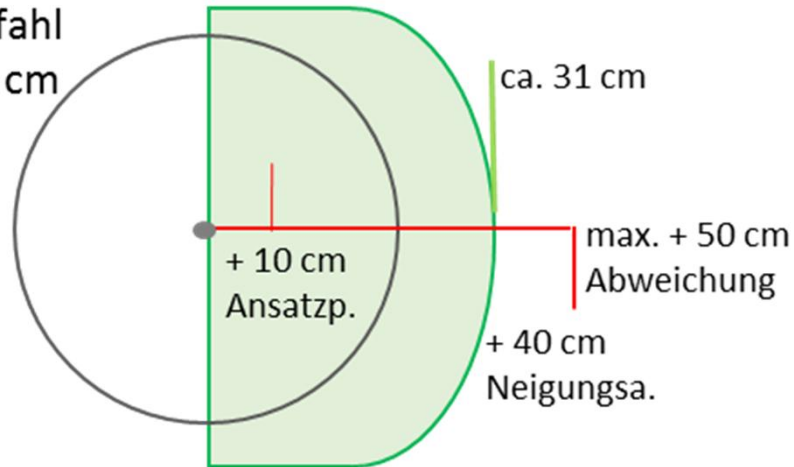
Möglichkeiten der Kampfmittelerkundung

Drucksondierung mit MagCone-Sonde

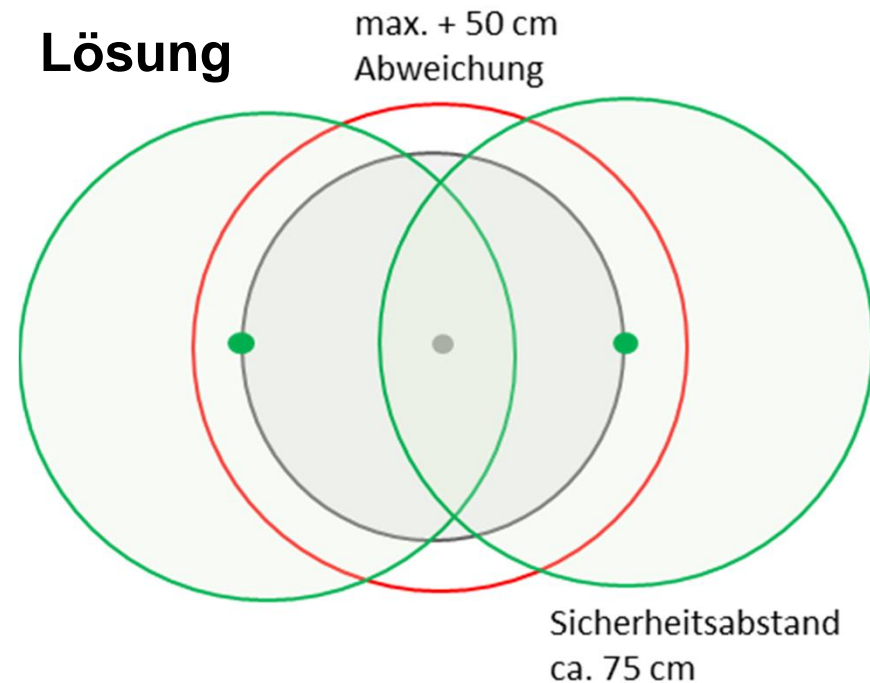


Verfahren zur Schrägankersondierung

Vertikaler
Bohrpfahl
d = 88 cm



Lösung



Sicherheitsabstand zum Pfahlmantel:

Geometrische Herstellungstoleranzen für Bohrpfähle gem. DIN EN 1536:2015-10

Abweichung Ansatzpunkt

+ 10 cm

Neigungsabweichung (Annahme 20 m Pfahl)

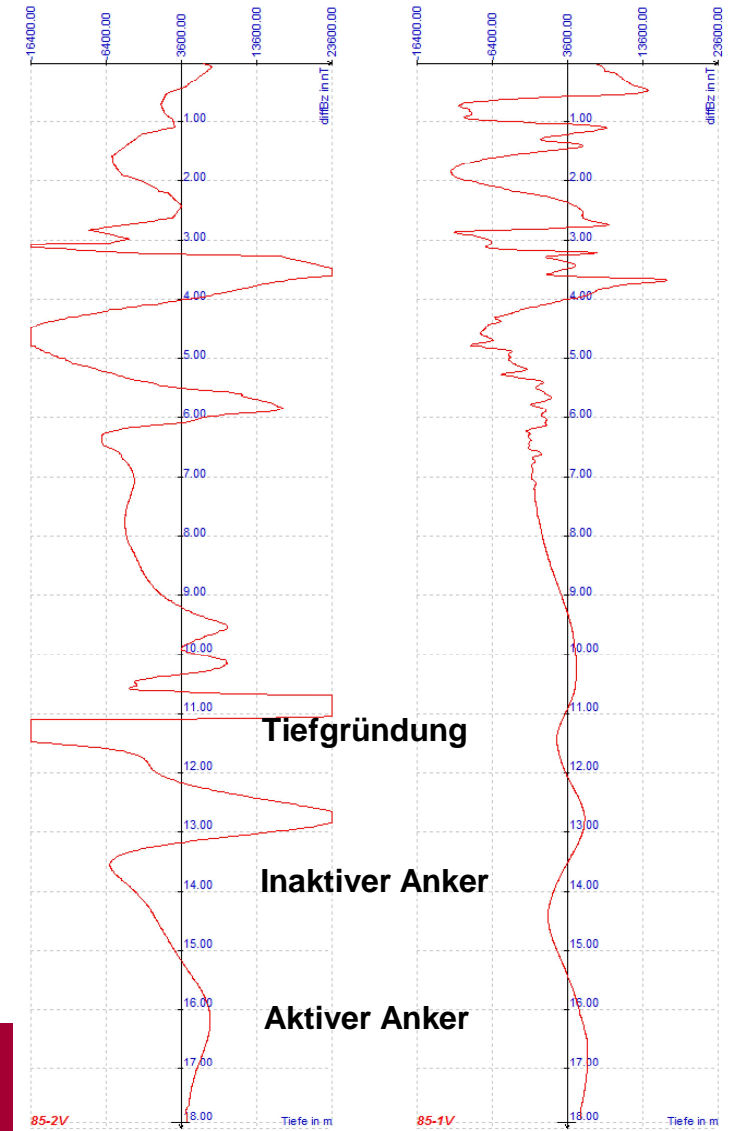
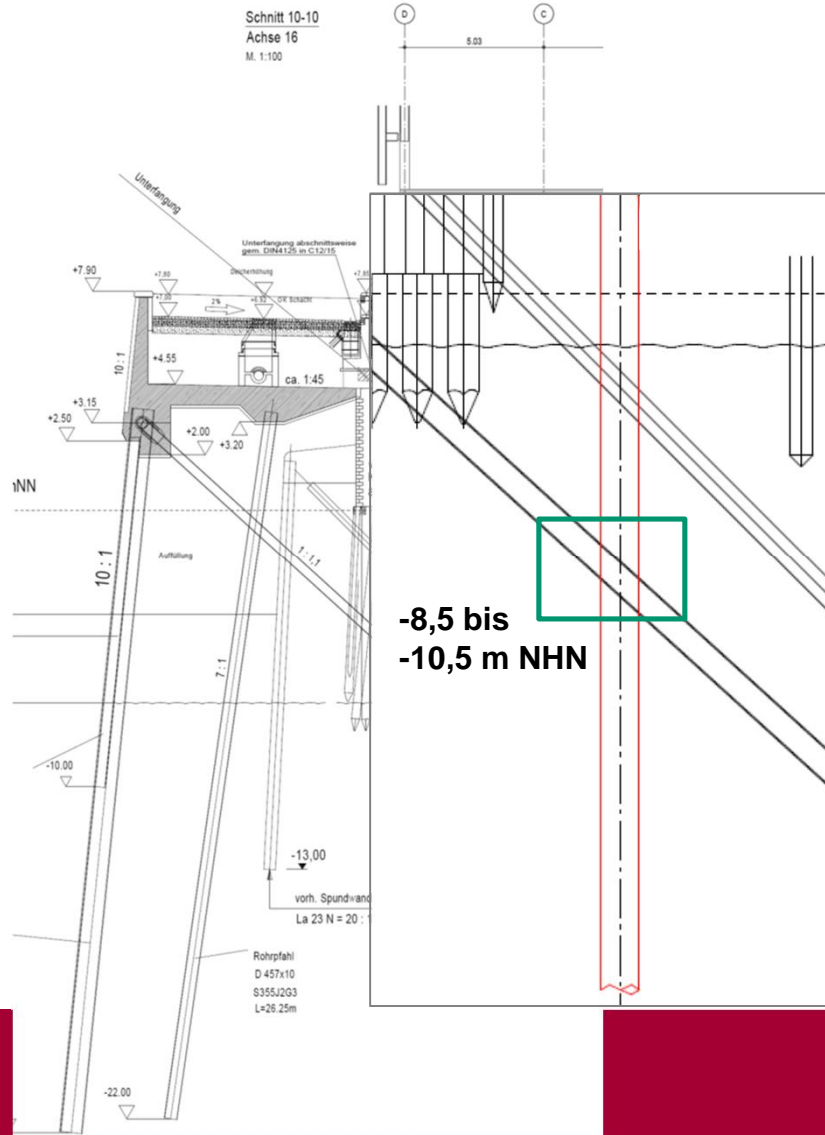
Vertikaler Pfahl 2 cm/m

+ 40 cm

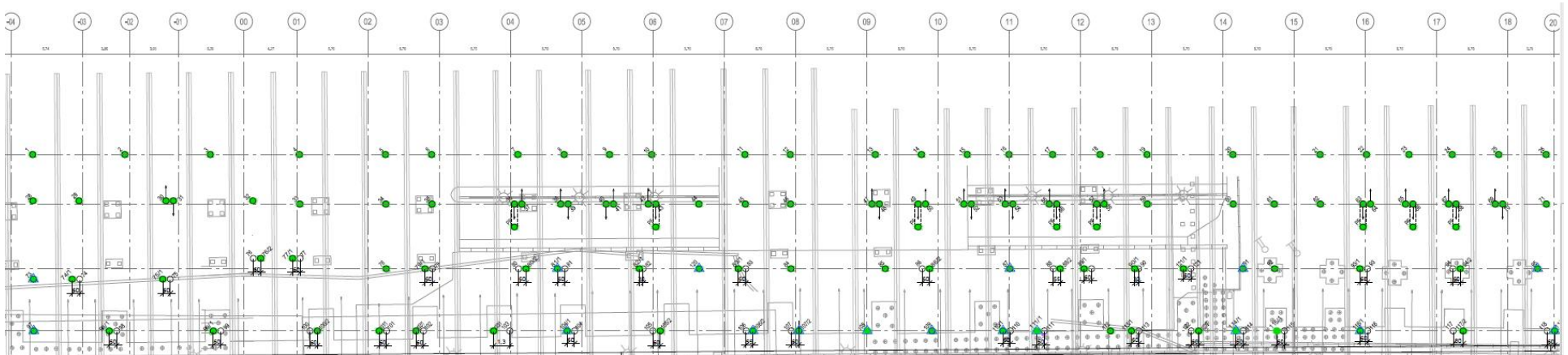
Geneigter Pfahl (10:1) 4 cm/m

+ 80 cm

Beispielhafte Messergebnisse



Zahlen und Fakten



In Zahlen:

- 123 Pfähle in 4 Achsen
- 5 Sondierkampagnen von Dezember 2017 bis Juni 2018
- 1500 m Vorbohren davon 350 m massive Hindernisse
- 5400 m Drucksondierung
- 40 Ansatzpunkte verschoben

Zusammenfassung

- **Numerische Methoden können für Verformungsprognosen aber auch zur Bemessung von Baugruben verwendet werden**
 - à **Aufnahme der Möglichkeit in neuen EC7**
 - à **Aktuelle Forschung zur Umsetzung in der Praxis**
- **Bei Bautätigkeiten in Nachbarschaft zu Verbauwänden sind oftmals individuelle Randbedingungen zu berücksichtigen**
 - à **Hilfsmittel sind neben analytischen Überlegungen:**
 - ∨ **Numerische Simulationen**
 - ∨ **Messtechnische Untersuchungen vorab**
 - ∨ **Beobachtungsmethode**

Fabian Heidenreich M.Sc.

Chemischer Angriff auf Verpressanker und Mikropfähle

BAW Kolloquium
Geotechnik: Stand der Technik - Stand des Wissens

Hamburg, 19.09.2019



Inhalt

1. Verpressanker und Mikropfähle
2. Chemische Angriffsarten
3. Aktueller Stand der Normung
4. Baustellen und Laborversuche bei kalklösender Kohlensäure
5. Zusammenfassung

Verpressanker und Mikropfähle Anwendung

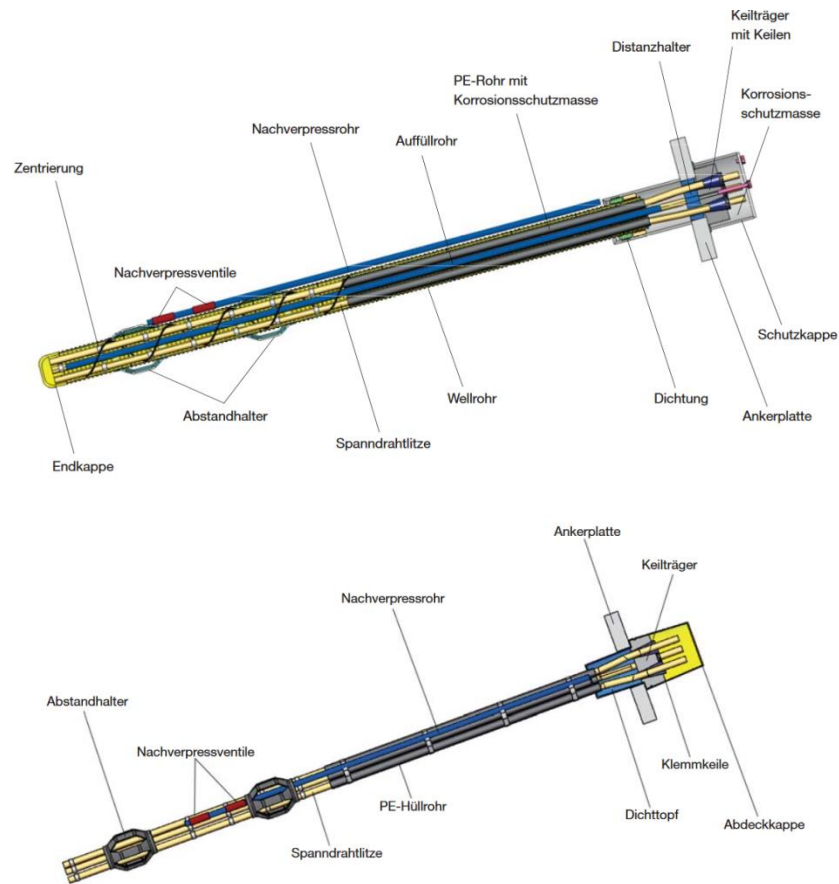
■ Anwendungsbereiche

- Sicherung von Baugruben
- Auftriebssicherungen
- Rückverankerungen von Ufersicherungen

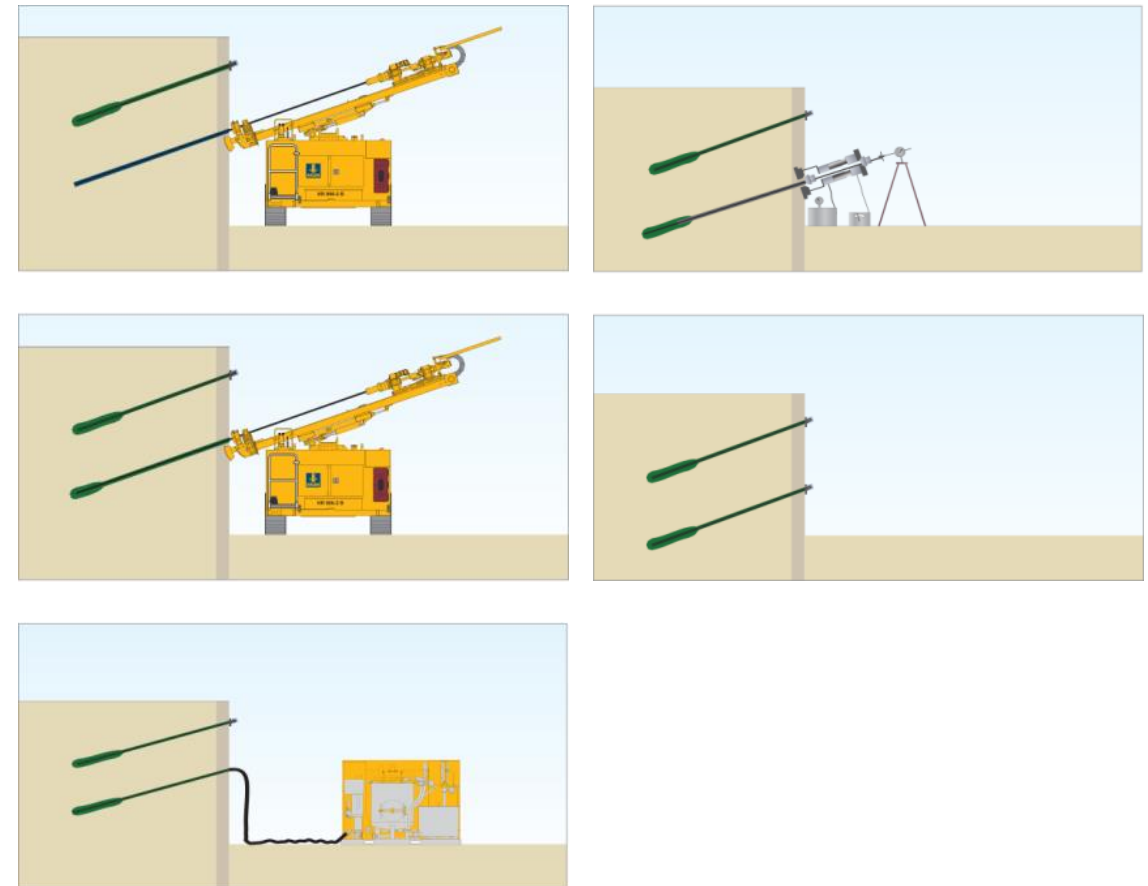


Verpressanker und Mikropfähle

Herstellung Verpressanker



Quelle: Bauer Spezialtiefbau (2013)

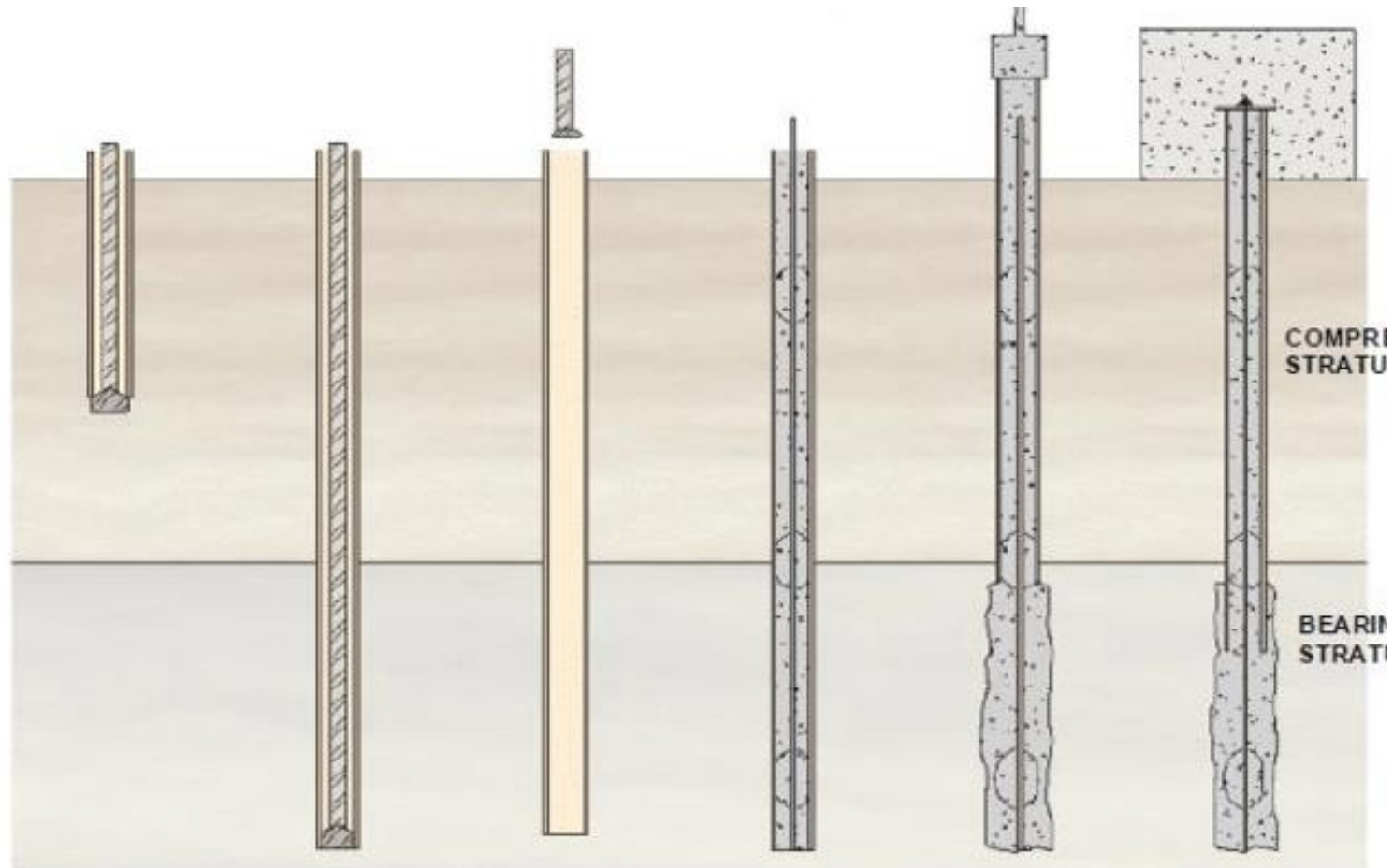


Quelle: Bauer Spezialtiefbau (2013)

- BAUER Spezialtiefbau GmbH (Hg.) (2013): Der BAUER Anker. Firmenbroschüre 04/2013

Verpressanker und Mikropfähle

Herstellung Mikropfahl

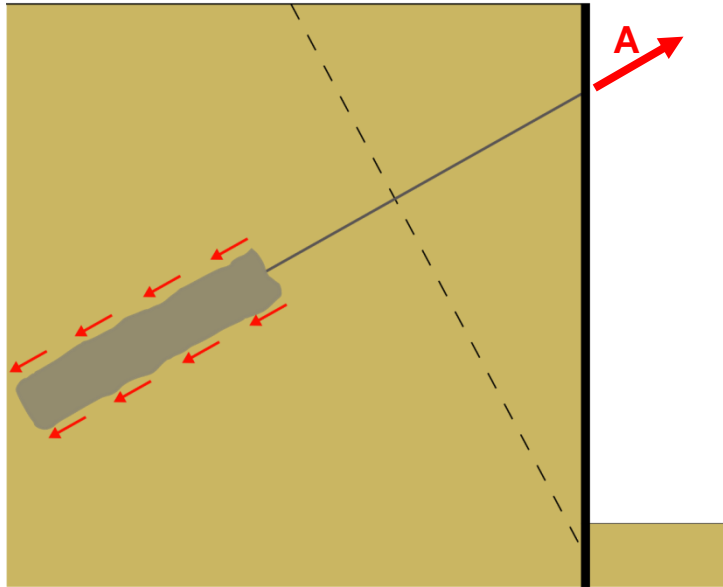


Quelle: Federal Highway Administration (2005)

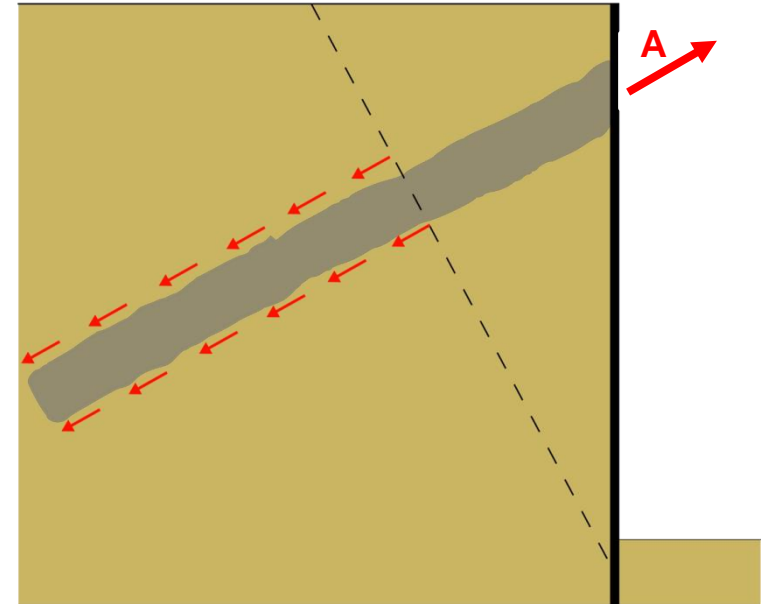
- Sabatini, P. J. et al (2005). Micropile Design and Construction (References Manual for NHI Course 132078). US Department of Transportation - Federal Highway Administration. Publication No. FHWA NHI-05-039, 12/2005

Verpressanker und Mikropfähle Lastabtragung

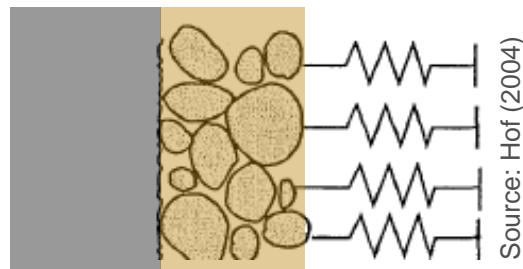
Verpressanker



Mikropfähle

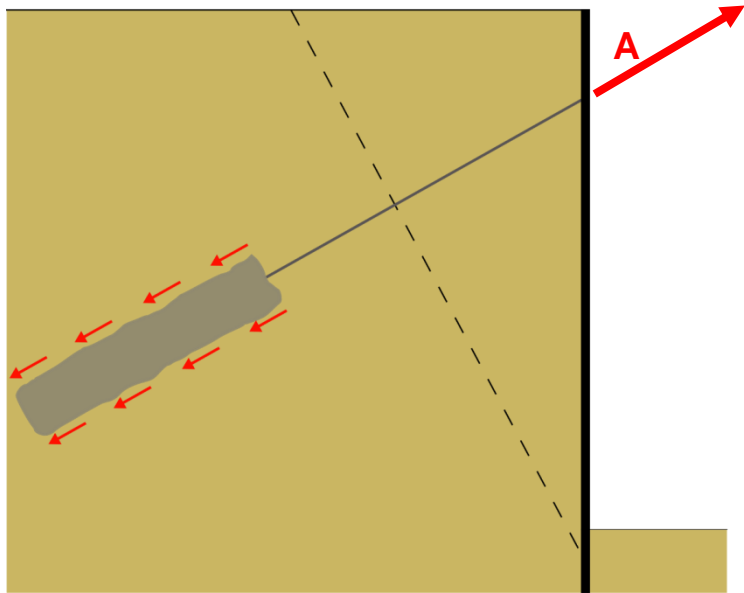


Ausgangszustand

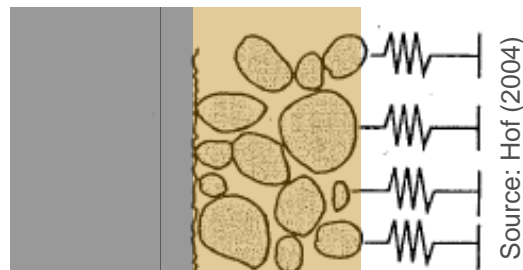


Verpressanker und Mikropfähle Lastabtragung

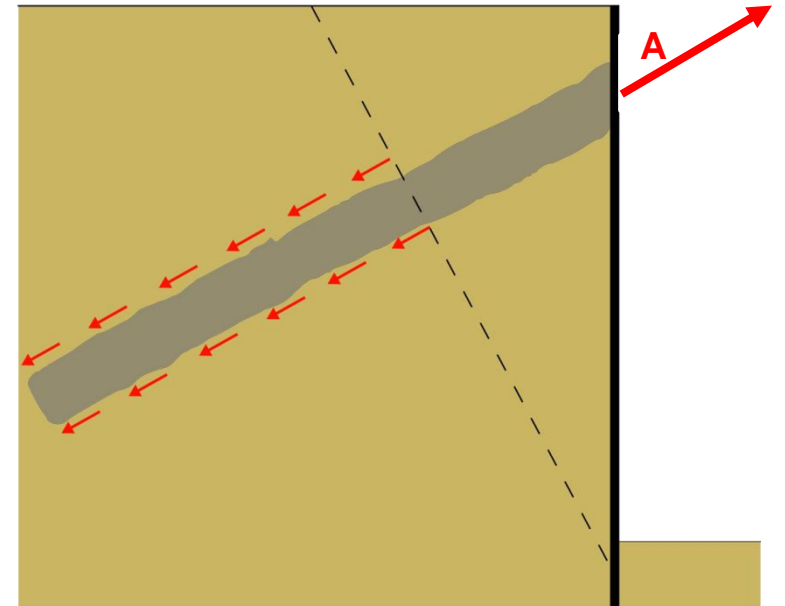
Verpressanker



Verpressen



Mikropfähle



Verpressanker und Mikropfähle Zulassungen

Verpressanker

Regelungsgegenstand	Antragsteller	Bescheid-Nr.	Geltungsdauer von / bis
DYWIDAG-Daueranker (Einstabanker) für Boden und Fels mit Stahlzuggliedern aus: B500B-GEWI Ø 40 mm und Ø 50 mm und S 555/700-GEWI Ø 63,5 mm	DYWIDAG-Systems International GmbH Destouchesstraße 68 80796 München	Z-34.11-225 >	Z: 12.05.2015 G: 12.04.2020
SPANTEC-Daueranker (Einstabanker) für Boden und Fels mit Stahlzuggliedern aus: St 950/1050 Ø 26,5 mm, Ø 32,0 mm, Ø 36,0 mm und Ø 40,0 mm	SPANTEC Spann- & Anker-technik GmbH In der Scherau 1 86529 Schrobenhausen	Z-34.11-231 >	Z: 02.08.2017 G: 24.07.2022
BBV Verpressanker mit Stahlzuggliedern aus 2 bis 31 0,6"/0,62"-Spanndrahtlitzten St 1570/1770 und St 1660/1860	BBV Systems GmbH Industriestraße 98 67240 Bobenheim- Roxheim	Z-34.11-234 >	Z: 28.03.2017 G: 17.12.2019
SPANTEC Verpressanker mit Stahlzuggliedern aus 2-22 Litzten, 0,6"/0,62" Spanndrahtlitzten St 1570/1770 und St 1660/1860	SPANTEC Spann- & Anker-technik GmbH In der Scherau 1 86529 Schrobenhausen	Z-34.11-236 >	Z: 17.07.2017 G: 17.07.2022
BAUER Verpressanker mit Stahlzuggliedern aus 2 - 12 Litzten, 0,6"/0,62" Spanndrahtlitzten St 1570/1770 und St 1660/1860	SPANTEC Spann- & Anker-technik GmbH In der Scherau 1 86529 Schrobenhausen	Z-34.11-242 >	Z: 15.05.2019 G: 15.05.2024

Mikropfähle

Regelungsgegenstand	Antragsteller	Bescheid-Nr.	Geltungsdauer von / bis
DYWIDAG GEWI-Pfähle (Mikropfähle) mit Traggliedern aus Betonstabstahl mit Gewinderippen B500B, Ø 20 mm, Ø 25 mm, Ø 28 mm, Ø 32 mm, Ø 40 mm und Ø 50 mm	DYWIDAG-Systems International GmbH Destouchesstraße 68 80796 München	Z-32.1-2 >	Z: 19.02.2019 G: 02.04.2021
Stabverpresspfähle mit Traggliedern aus Betonstabstahl mit gerippter Oberfläche Ø 28 mm, Ø 32 mm, Ø 40 mm und Ø 50 mm	BAUER Spezialtiefbau GmbH BAUER-Straße 1 86529 Schrobenhausen	Z-32.1-6 >	Z: 10.04.2015 G: 10.04.2020
Verbundpfahl System Stump mit Traggliedern aus Betonstahl mit gerippter Oberfläche Ø 20 mm bis Ø 50 mm	Stump Spezialtiefbau GmbH Valeska-Gert-Straße 1 10243 Berlin	Z-32.1-8 >	Z: 13.07.2016 G: 02.04.2021
DYWIDAG GEWI-Pfähle (Mikropfähle (Verbundpfähle) mit einem Tragglied aus Stabstahl mit Gewinderippen S 555/700, Ø 63,5 mm)	DYWIDAG-Systems International GmbH Destouchesstraße 68 80796 München	Z-32.1-9 >	Z: 20.02.2019 G: 02.04.2021
Stabverpresspfahl mit einem Tragglied aus Stabstahl mit Gewinderippen S 555/700, Ø 63,5 mm	BAUER Spezialtiefbau GmbH BAUER-Straße 1 86529 Schrobenhausen	Z-34.14-202 >	Z: 20.06.2013 V: 26.02.2016 G: 01.03.2021
BBV Mikropfähle Ø 57,5 mm und Ø 63,5 mm (Verbundpfähle mit einem Tragglied aus Stabstahl mit Gewinderippen S 555/700, Nenndurchmesser 57,5 mm und 63,5 mm)	BBV Systems GmbH Industriestraße 98 67240 Bobenheim- Roxheim	Z-34.14-207 >	Z: 20.02.2019 G: 02.04.2021

- Deutsches Institut für Bautechnik (Hg.): Bauprodukte und Bauarten → Erd- und Grundbau / Straßenbau → Erd- und Grundbau.
<https://www.dibt.de/de/bauprodukte/informationsportal-bauprodukte-und-bauarten/produktgruppen/bauproduktkategorie/erd-und-grundbau/>. zuletzt geprüft am 17.09.2019

Verpressanker und Mikropfähle Zulassungen

Verpressanker

Regelungsgegenstand	Antragsteller	Bescheid-Nr.	Geltungsdauer von / bis
DYWIDAG-Daueranker (Einstabanker) für Boden und Fels mit Stahlzuggliedern aus: St 950/1050 Ø 26,5 mm, Ø 32,0 mm, Ø 36,0 mm und Ø 40,0 mm	DYWIDAG-Systems International GmbH Destouchesstraße 68 80796 München	Z-20.1-17 >	Z: 15.11.2018 G: 30.06.2023
SUSPA-Felsanker	DYWIDAG-Systems International GmbH Destouchesstraße 68 80796 München	Z-20.1-53 >	Z: 21.02.2018 G: 23.04.2022
SUSPA-Kompaktanker für Fels und Boden	DYWIDAG-Systems International GmbH Destouchesstraße 68 80796 München	Z-20.1-64 >	Z: 25.01.2018 G: 18.03.2022
Daueranker Typ "Litzenwellrohranker" aus 2-12 Litzen 0,6"/0,62" St 1570/1770 und St 1660/1860	BAUER Spezialtiefbau GmbH BAUER-Straße 1 86529 Schrobenhausen	Z-34.11-201 >	Z: 13.12.2018 G: 02.01.2024
Stump-Felsanker	Stump Spezialtiefbau GmbH Valeska-Gert-Straße 1 10243 Berlin	Z-34.11-223 >	Z: 18.12.2017 G: 01.06.2022
Stump-Kompaktanker für Fels und Boden	Stump Spezialtiefbau GmbH Valeska-Gert-Straße 1 10243 Berlin	Z-34.11-224 >	Z: 08.11.2017 G: 01.06.2022

Mikropfähle

Regelungsgegenstand	Antragsteller	Bescheid-Nr.	Geltungsdauer von / bis
Mikropfähle TITAN	Friedr. Ischebeck GmbH Loher Str. 31-79 58256 Ennepetal	Z-34.14-209 >	Z: 31.05.2018 G: 02.04.2021
Verbundpfahl System Stump d=63,5 mm mit einem Tragglied aus Stabstahl mit Gewinderippen S 555/700	Stump Spezialtiefbau GmbH Storkower Straße 113 10407 Berlin	Z-34.14-217 >	Z: 12.09.2014 G: 01.10.2019
SAS Mikropfähle (Verpresspfähle mit kleinem Durchmesser) mit Traggliedern aus Betonstabstahl mit Gewinderippen SAS 500 (B500B); Ø 20 mm, Ø 25 mm, Ø 28 mm, Ø 32 mm, Ø 40 mm und Ø 50 mm	Stahlwerk Annahütte Max Aicher GmbH & Co. KG 83404 Ainring - Hammerau	Z-34.14-218 >	Z: 11.05.2015 G: 20.05.2020
SAS Mikropfähle (Verpresspfähle mit kleinem Durchmesser) mit einem Tragglied aus SAS-Stabstahl mit Gewinderippen S 555/700, Ø 63,5 mm	Stahlwerk Annahütte Max Aicher GmbH & Co. KG 83404 Ainring - Hammerau	Z-34.14-219 >	Z: 22.05.2015 G: 08.06.2020
SPANTEC Stabverpresspfähle mit Traggliedern aus Betonstabstahl mit gerippter Oberfläche Ø 20 mm, Ø 25 mm, Ø 28 mm, Ø 32 mm, Ø 40 mm und Ø 50 mm	SPANTEC Spann- & Anker-technik GmbH In der Scherau 1 86529 Schrobenhausen	Z-34.14-238 >	Z: 14.08.2018 G: 02.04.2021
SPANTEC Stabverpresspfahl mit einem Tragglied aus Stabstahl mit Gewinderippen S555/700; Ø 57,5 mm und Ø 63,5 mm	SPANTEC Spann- & Anker-technik GmbH In der Scherau 1 86529 Schrobenhausen	Z-34.14-239 >	Z: 20.11.2018 G: 02.04.2021

- Deutsches Institut für Bautechnik (Hg.): Bauprodukte und Bauarten → Erd- und Grundbau / Straßenbau → Erd- und Grundbau.
<https://www.dibt.de/de/bauprodukte/informationsportal-bauprodukte-und-bauarten/produktgruppen/bauproduktkategorie/erd-und-grundbau/>. zuletzt geprüft am 17.09.2019

Chemische Angriffsarten

Überblick

Chemisches Merkmal	XA1	XA2	XA3
Grundwasser			
SO ₄ ²⁻ mg/l	≥ 200 und ≤ 600	> 600 und ≤ 3.000	> 3.000 und ≤ 6.000
pH – Wert	≤ 6,5 und ≥ 5,5	< 5,5 und ≥ 4,5	< 4,5 und ≥ 4,0
CO ₂ mg/l	≥ 15 und ≤ 40	> 40 und ≤ 100	> 100 bis zur Sättigung
NH ₄ ⁺ mg/l	≥ 15 und ≤ 30	> 30 und ≤ 60	> 60 und ≤ 100
Mg ²⁺ mg/l	≥ 300 und ≤ 1.000	> 1.000 und ≤ 3.000	> 3.000 bis zur Sättigung
Boden			
SO ₄ ²⁻ mg/kg insgesamt	≥ 2.000 und ≤ 3.000	> 3.000 und ≤ 12.000	> 12.000 und ≤ 24.000
Säuregrad	> 200 Baumann – Gully	in der Praxis nicht anzutreffen	

Sulfat

Kalklösende
Kohlensäure

Ammonium

Magnesium

Sulfat

Treibender
Ang.

Lösender
Ang.

Quelle: Nach DIN 4030-1:2008-06

Chemische Angriffsarten

Sulfat

■ Herkunft des Sulfats im Grundwasser

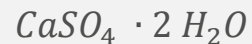
- Natürliche Lösungsprozesse (Gips, Anhydrit)
- Auslaugung bei Bauschuttdeponien und Schlackenhalde
- Landwirtschaftliche Flächen (Düngung)
- Niederschläge (Saurer Regen)

■ Schadensmechanismen

- Sekundäre Ettringitbildung



- Gipsbildung



- Thaumasitbildung



Treibender Angriff



Quelle: Holcim (2018)

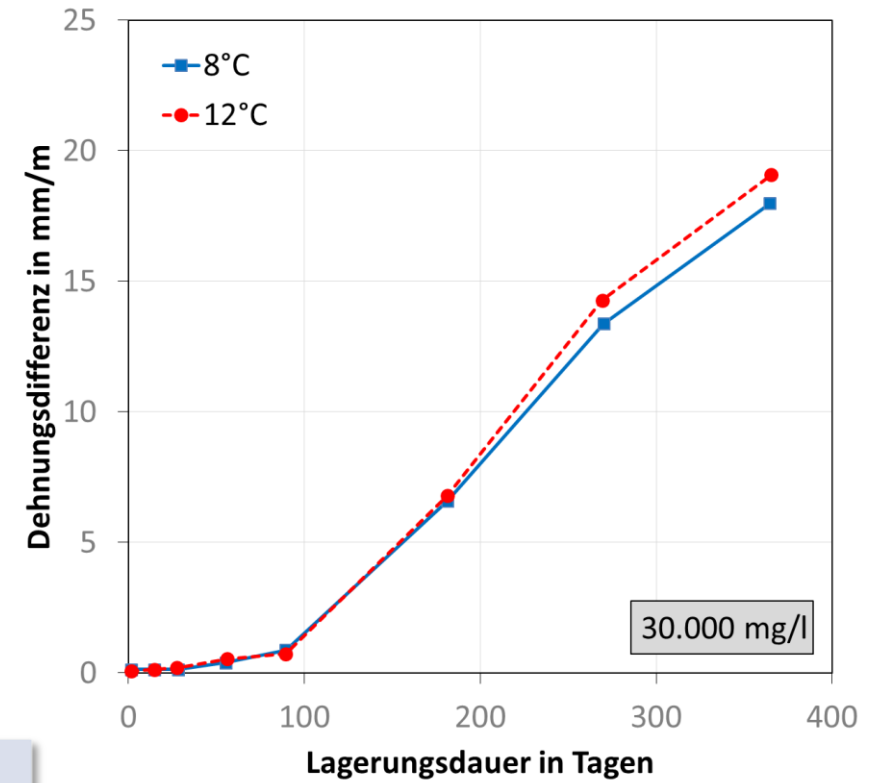
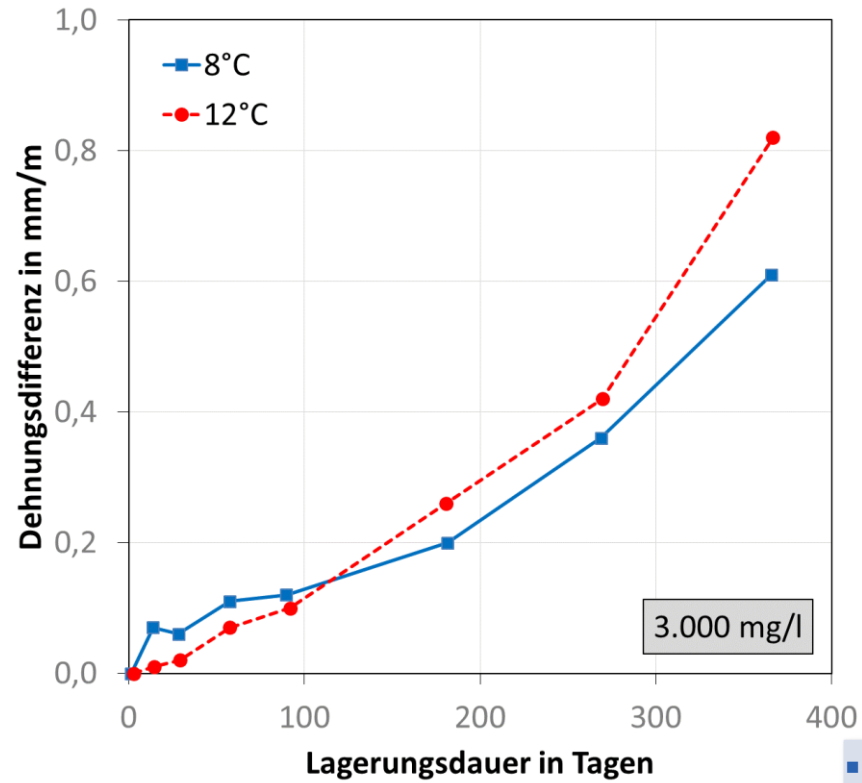


Quelle: Wikipedia „Sulfattreiben“ (2019)

- Seite „Sulfattreiben“. In: Wikipedia, Die freie Enzyklopädie. Bearbeitungsstand: 3. August 2018, 17:46 UTC. URL: <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Sulfattreiben&oldid=179697439> (Abgerufen: 11. September 2019, 08:05 UTC)
- Holcim (Schweiz) GmbH (Hg.) (2014): Betonpraxis - Der Weg zum dauerhaften Beton. Firmenbroschüre Juli 2014

Chemische Angriffsarten

Sulfat



- Einwirkung
 - 3.000 mg/l Sulfat → XA2
 - > 6.000 mg/l Sulfat → XA3

▪ Nach: Brameshuber, W. (2014): Sulfatwiderstand von Beton - Auslegung, Prüfung, Ausführung. 2. Jahrestagung und 55. Forschungskolloquium des DAfStb, 26.11.2014

Chemische Angriffsarten

Ammonium

■ Herkunft des Ammoniums im Grundwasser

- Landwirtschaft ca. 95% (Düngung, Tierhaltung)
- Verbrennung fossiler Brennstoffe
- Industrielle Prozesse (Kühlmittel, Kläranlagen)

■ Schadensmechanismen

- Ammoniumnitrat



- Ammoniumchlorid



- Ammoniumsulfat



Lösender Angriff



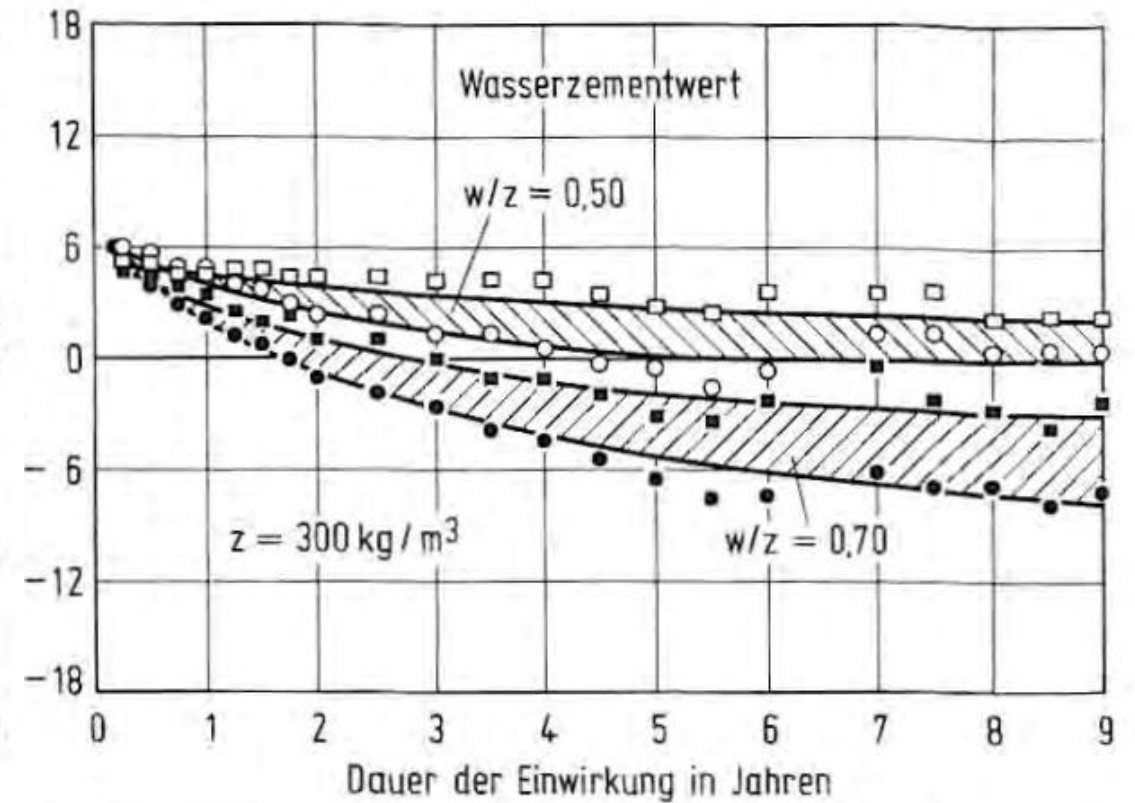
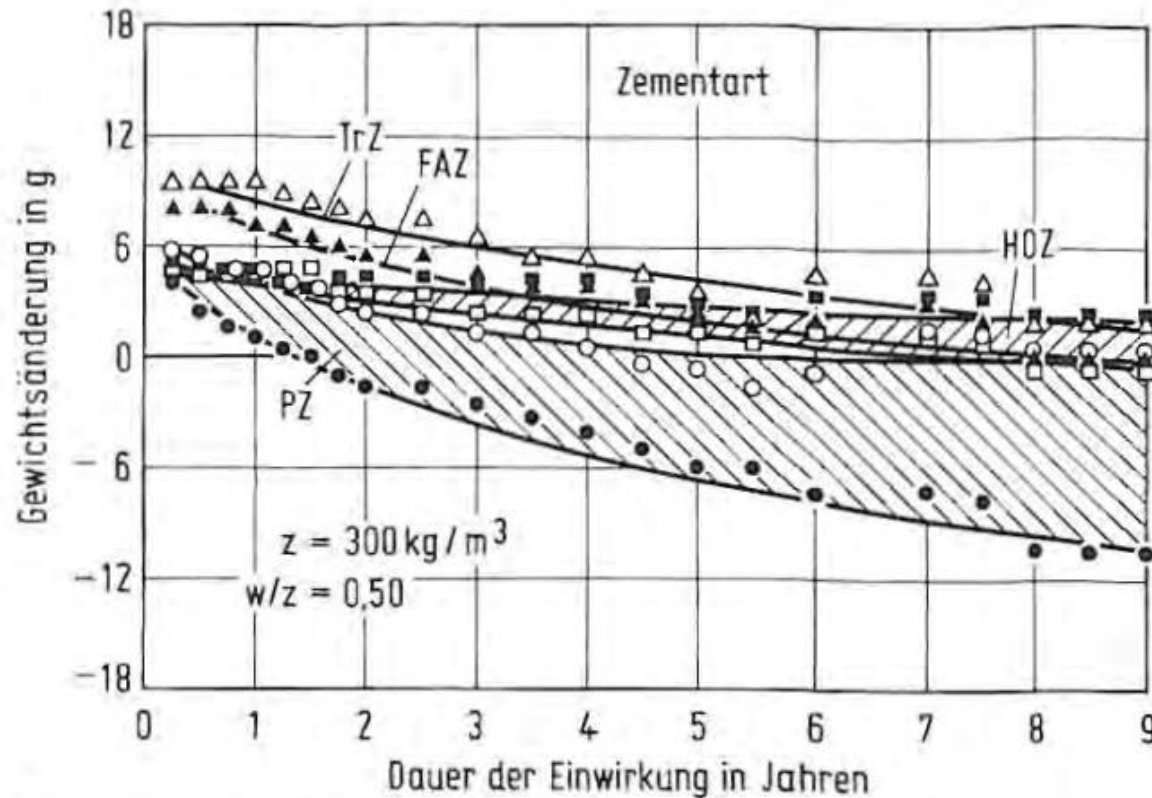
Quelle: Wolff & Schwamborn (2015)



Quelle: Wolff & Schwamborn (2015)

- Wolff, L.; Schwamborn, B. (2015): Besondere Erscheinungsformen der Betonkorrosion. In: Der Bausachverständige 03/2015. Bundesanzeiger Verlag GmbH, Köln. S.16-17

Chemische Angriffsarten Ammonium



- Einwirkung
 - 100 mg/l Ammoniumchlorid → XA3

Rechenberg, W.; Sylla, H.-M. (1993): Die Wirkung von Ammonium auf Beton. In: beton 43 (1993). Verlag Bau+Technik, Erkrath. S. 26-31

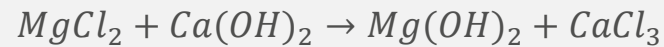
Chemische Angriffsarten

Magnesium

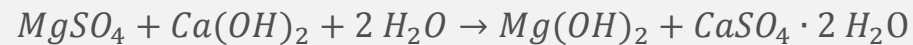
- Herkunft des Magnesiums im Grundwasser
 - Lösungsprozesse (Dolomit, Salzlagerstätten)
 - Magnesiumhaltige Düngemittel
 - Abwässer (Kaliindustrie)

Schadensmechanismen

- Magnesiumchlorid



- Magnesiumsulfat



Treibender + Lösender Angriff

Kein
Nutzungsrecht

Quelle: Darwin et. al (2008)

Kein
Nutzungsrecht

Quelle: Sutter et. al (2006)

- Darwin, D.; Browning, J.; Gong, L. und Hughes, S. R. (2008): Effects of Deicers on Concrete Deterioration. ACI Materials Journal, Vol. 105. S. 622-627
- Sutter, L.; Van Dam, T.; Peterson, K. R. und Johnston, D. P. (2006): Long-Term Effects of Magnesium Chloride and Other Concentrated Salt Solutions on Pavement and Structural Portland Cement Concrete. *Transportation Research Record*, 1979(1). S. 60–68

Chemische Angriffsarten

Magnesium

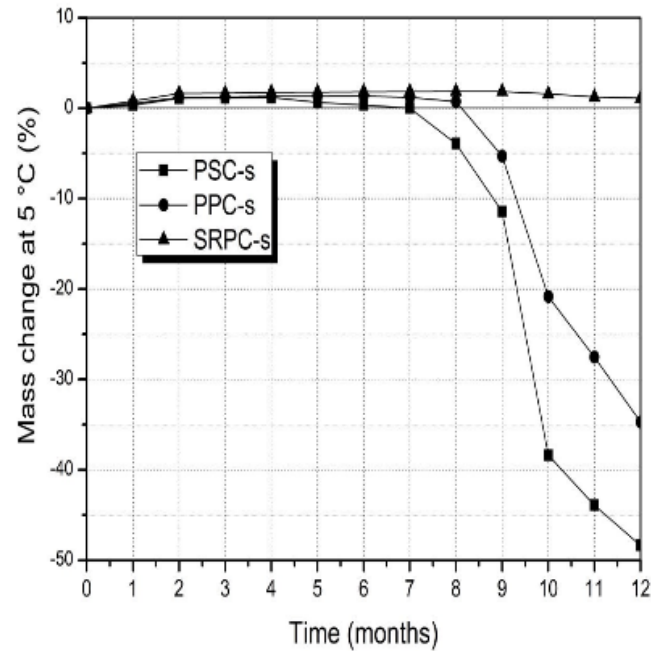


Fig. 3. Mass change of mortar samples with silica sand after immersion in 5% $MgSO_4$ for 12 months at 5 °C.

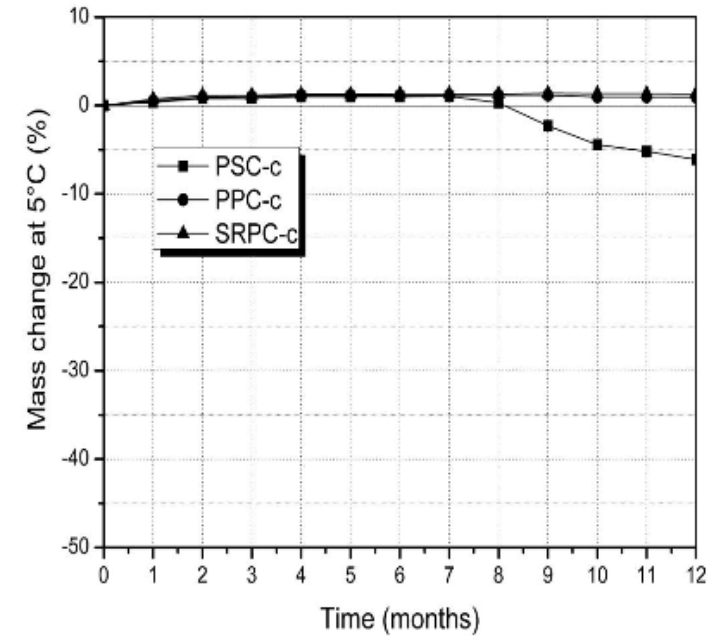


Fig. 4. Mass change of mortar samples with limestone sand after immersion in 5% $MgSO_4$ for 12 months at 5 °C.

CEM I 42.5 sulphate resistant Portland cement (SRPC),
CEM II/A 42.5 portland slag cement (PSC),
CEM II/A 42.5 pozzolan-based Portland cement (PPC),

- Aziez, M.N.; Bezzar, A. (2017). Magnesium Sulphate Attacks on Mortars - Influence of Temperature, Type of Sand and Type of Cement. In: Journal of Engineering Science and Technology Review. 10 (1). S. 41-50

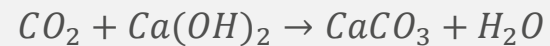
Chemische Angriffsarten - Kalklösende Kohlensäure

■ Herkunft des Kohlendioxid im Grundwasser

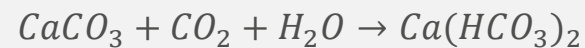
- Verbrennung fossiler Brennstoffe
→ Eintrag in den Boden über den Regen
- Respiration von Boden, Tieren und Pflanzen
- Natürliche Kohlensäurevorkommen aus magmatischen Gesteinen

■ Schadensmechanismen

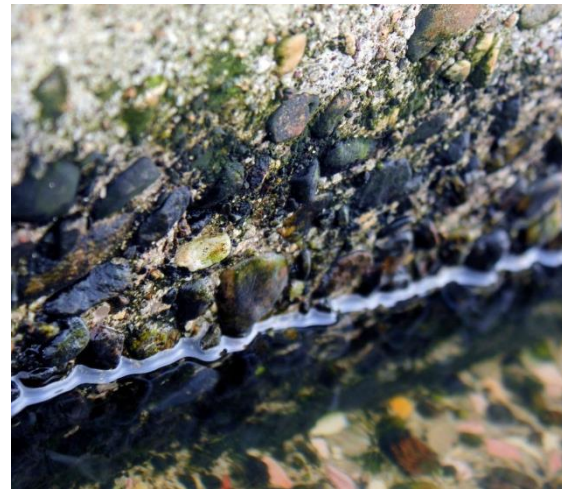
- 1. Carbonatisierung



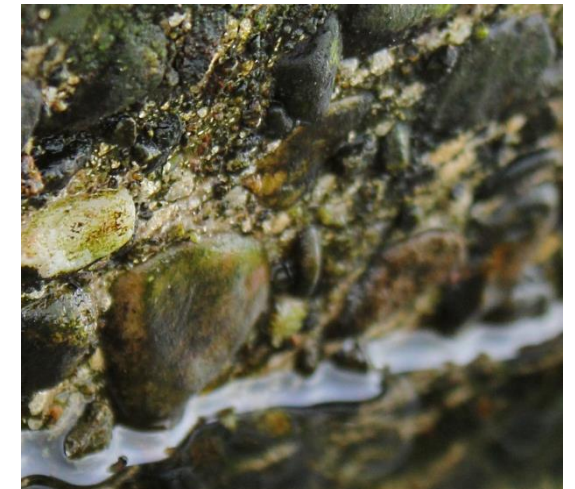
- 2. Entfestigung



Lösender Angriff



Quelle: dolomitreaktor.de (2019)

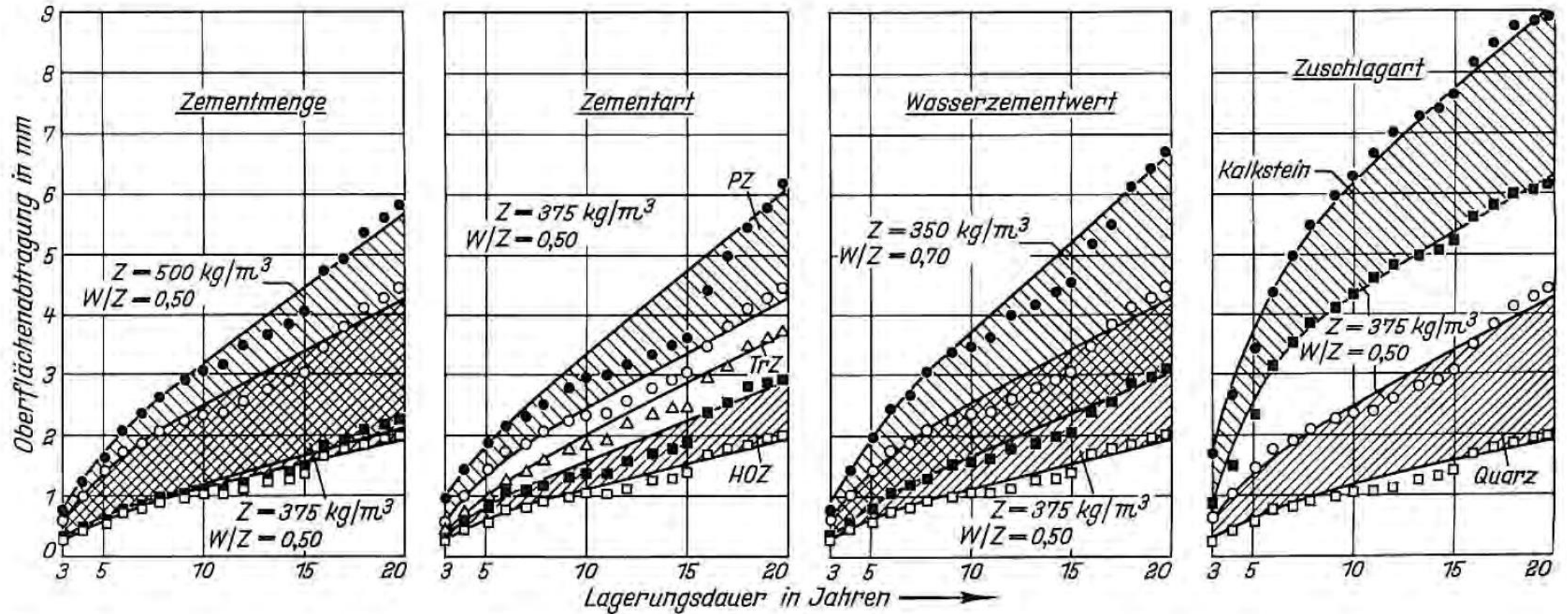


Quelle: dolomitreaktor.de (2019)

- Carl Wassermann (Hg.): Bildergalerie. Online verfügbar unter: <https://www.dolomitreaktor.de/bildergalerie/betonkorrosion/>, zuletzt geprüft am 12.09.2019

Chemische Angriffsarten

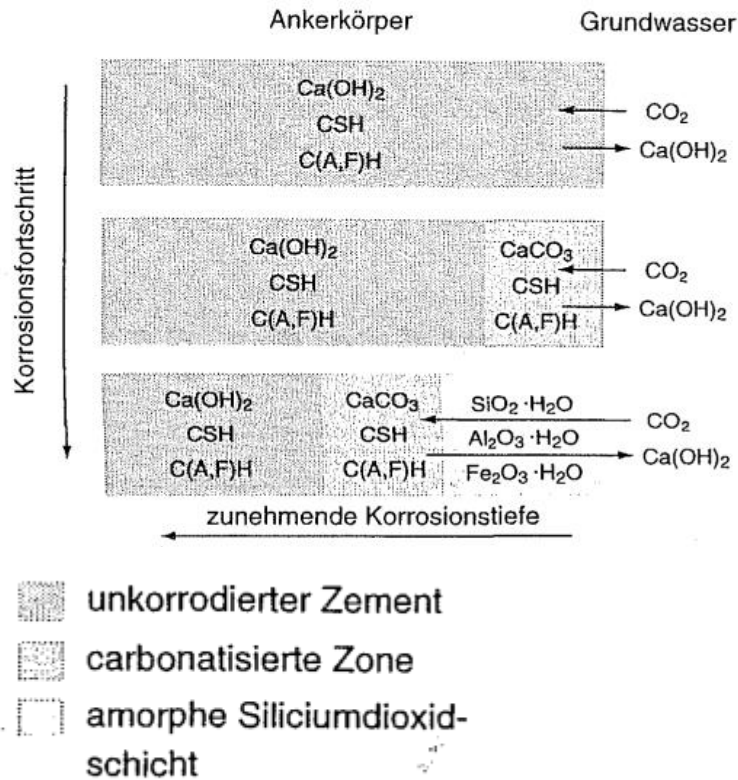
Kalklösende Kohlensäure



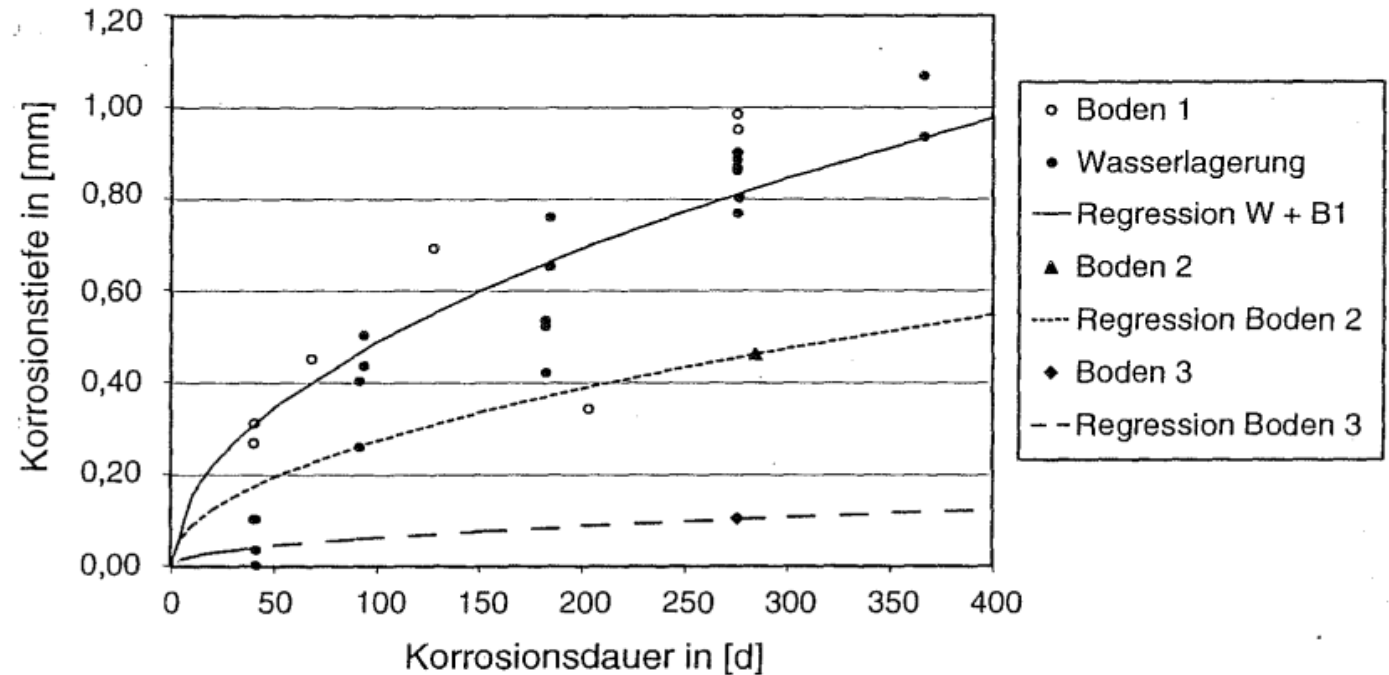
- Locher, F. W.; Rechenberg, W.; Sprung, S. (1984): Beton nach 20jähriger Einwirkung von kalklösender Kohlensäure. In: beton 34 (1984) 5. Verlag Bau+Technik, Erkrath. S. 41-56

Chemische Angriffsarten

Kalklösende Kohlensäure



Quelle: Hof (2004)



Quelle: Hof (2004)

Durchlässigkeitsbeiwerte

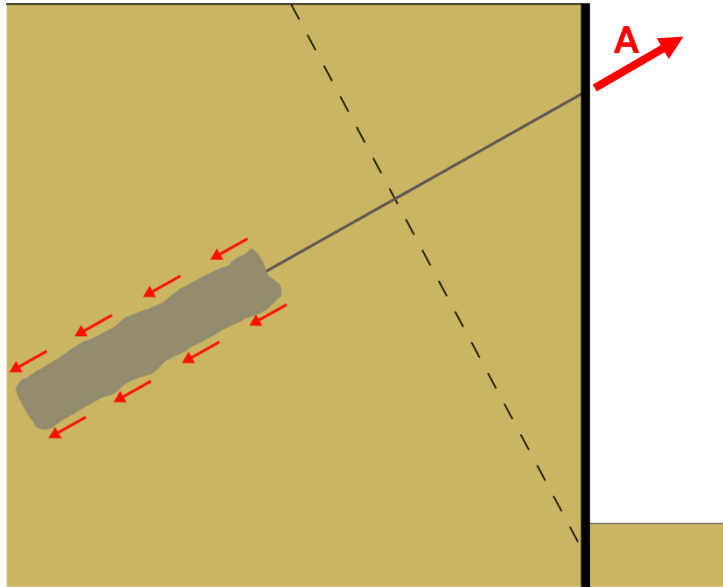
- Boden 1: k_f -Wert = $1,2 \times 10^{-4}$ / Boden 2: k_f -Wert = $1,7 \times 10^{-5}$ / **Boden 3: k_f -Wert = $2,4 \times 10^{-7}$**

- Hof, C. (2004): Über das Verpressankertragverhalten unter kalklösendem Kohlensäureangriff. Dissertation. In: Schriftenreihe des Inst. f. Grundbau und Bodenmechanik der Ruhr-Universität Bochum, Heft 35. Bochum

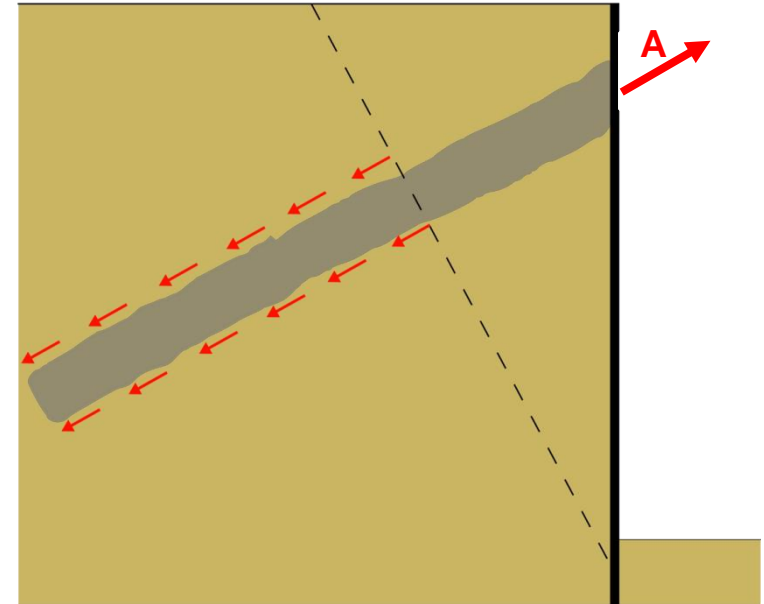
Chemische Angriffsarten

Änderung der Lastabtragung durch den lösenden Angriff

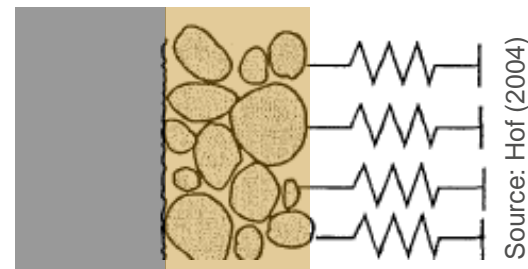
Verpressanker



Mikropfähle



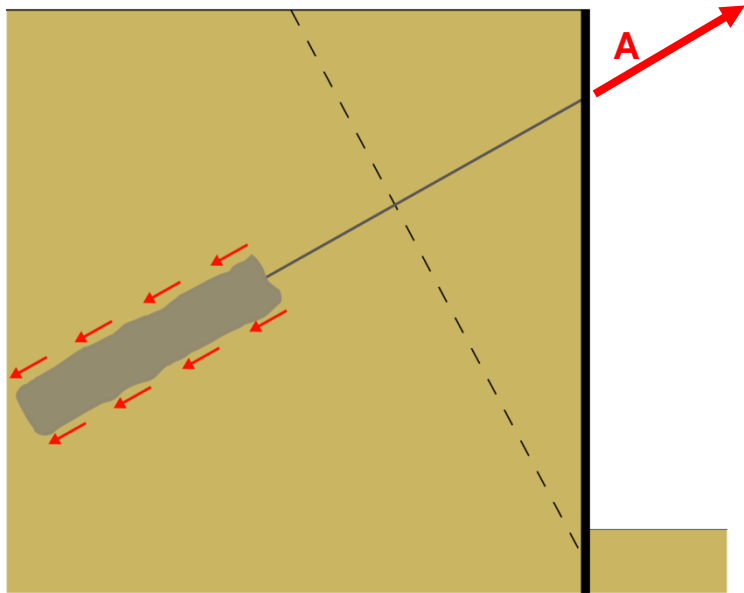
Ausgangszustand



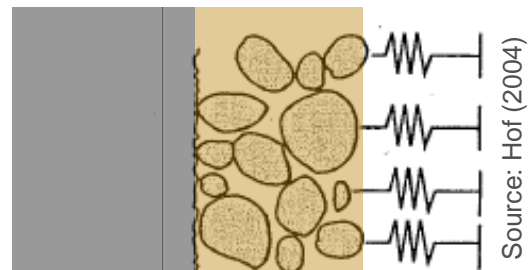
Chemische Angriffsarten

Änderung der Lastabtragung durch den lösenden Angriff

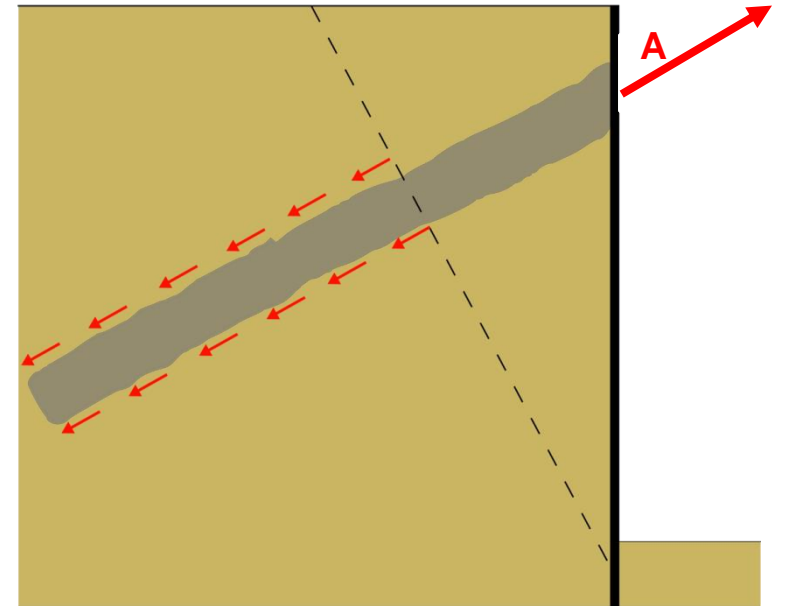
Verpressanker



Verpressen



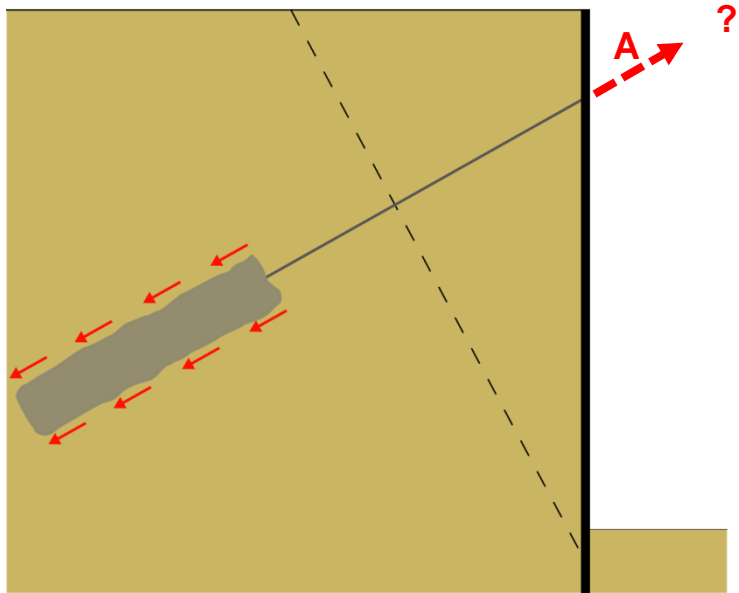
Mikropfähle



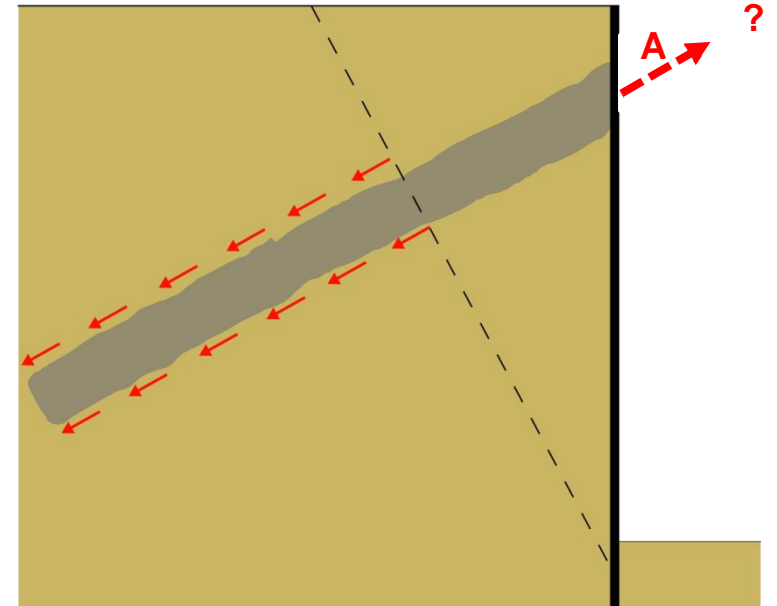
Chemische Angriffsarten

Änderung der Lastabtragung durch den lösenden Angriff

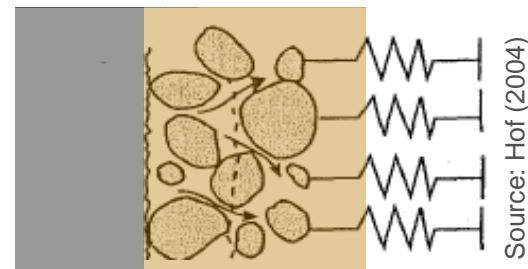
Verpressanker



Mikropfähle

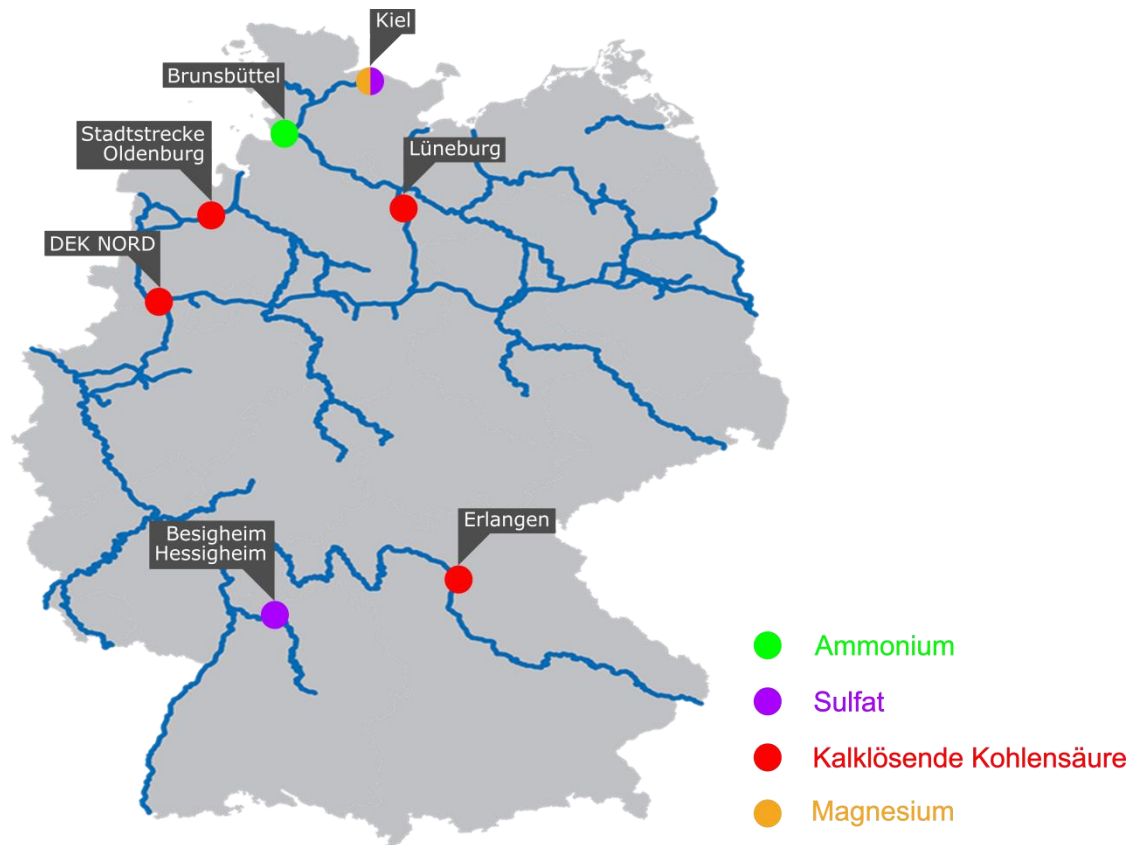


Auflockerung



Chemische Angriffsarten

Übersicht betroffener Baustellen an Wasser- und Schifffahrtsstraßen



Quelle: WSA Brunsbüttel (2019)

- Wasser- und Schifffahrtsamt Brunsbüttel (Hg.): Schleusen Brunsbüttel. https://www.wsv.de/wsa-bb/Nord-Ostsee-Kanal/Schleusen_neu/Schleusenanlage_Brb/, zuletzt geprüft am 13.09.2019

Aktueller Stand der Normung

Übersicht

- Aktueller Umgang mit chemischen Angriff in der WSV gem. Erlass WS 12/5257.15/1-10 (11/2018)
 - Übersicht der Verwendbarkeit von Verpressankern / Mikropfählen in einer chemischen angreifenden Umgebung gem. DIN EN 1537:2014-07 und DIN SPEC 18537:2017-11

	Kurzzeitanker			Daueranker		
	XA 1	XA 2	XA 3	XA 1	XA 2	XA 3
Lockergestein	Zementmörtel muss den Vorgaben der DIN EN 1537:2014-07 und der DIN 1045-2:2008-08 entsprechen. Bei Sulfat zusätzlich hoher Sulfatwiderstand	Bestätigung durch Sachverständigen, dass das Tragverhalten durch zeitabhängige Verminderung der Mantelreibung nicht beeinträchtigt wird		Bestätigung durch Sachverständigen, dass das Tragverhalten durch zeitabhängige Verminderung der Mantelreibung nicht beeinträchtigt wird		
Festgestein	Einsatz erlaubt. Bei Sulfat zusätzlich hoher Sulfatwiderstand	Durchlässigkeit im Bereich der Krafteintragungslänge $k < 3$ Lugeon		Einsatz erlaubt. Bei Sulfat zusätzlich hoher Sulfatwiderstand	Durchlässigkeit im Bereich der Krafteintragungslänge $k < 3$ Lugeon	

Aktueller Stand der Normung Folgen der alternativen Planung



Baustellen und Laborversuche bei kalklösender Kohlensäure

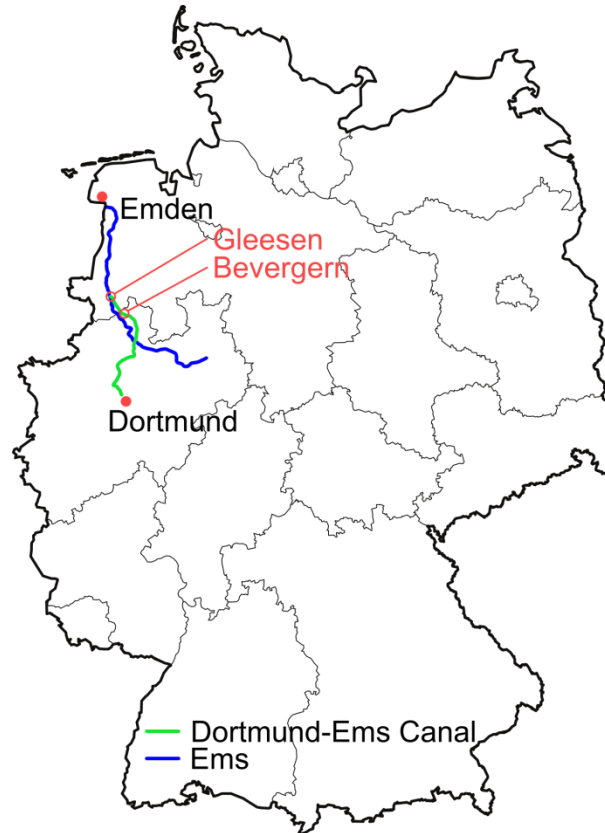
Fallbeispiel Gleesen und Bevergern

Kalklösende Kohlensäure

- 2017: 38 und 50 mg/l → XA1 - XA2
- 2018: 50 und 70 mg/l → XA2



Quelle: WSA Rheine (2019)



Kalklösende Kohlensäure

- 2011: 20 und 25 mg/l → XA1
- 2018: 35 und 42 mg/l → XA1 - XA2



Quelle: WSA Rheine (2019)

- Wasser- und Schifffahrtsamt Rheine (Hg.): Schleusen am DEK. http://www.wsa-rheine.de/wasserstrassenbereich/dek/schleusen/schleuse_gleesen/index.html, zuletzt geprüft am 13.09.2019

Baustellen und Laborversuche bei kalklösender Kohlensäure

Fallbeispiel Gleesen und Bevergern

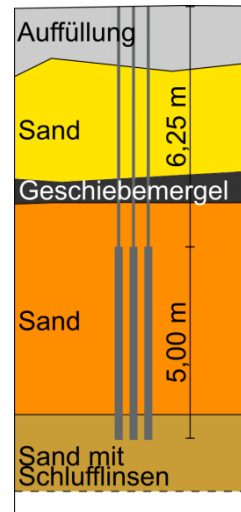
Kalklösende Kohlensäure

- 2017: 38 und 50 mg/l → XA1 - XA2
- 2018: 50 und 70 mg/l → XA2



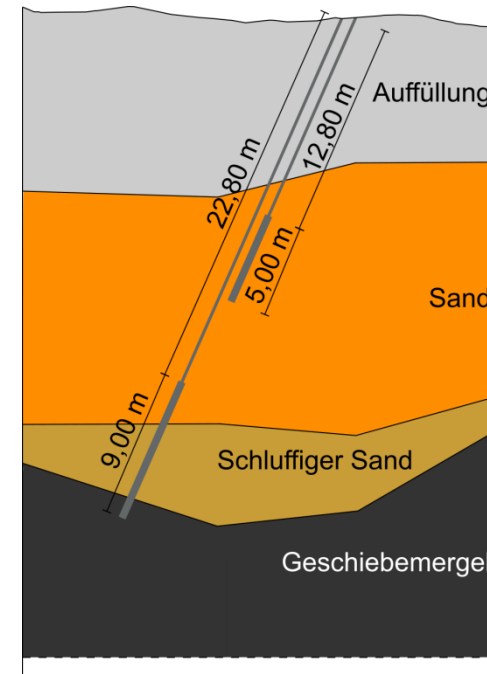
Quelle: WSA Rheine (2019)

Gleesen



Bodenprofil

Bevergern



Kalklösende Kohlensäure

- 2011: 20 und 25 mg/l → XA1
- 2018: 35 und 42 mg/l → XA1 - XA2

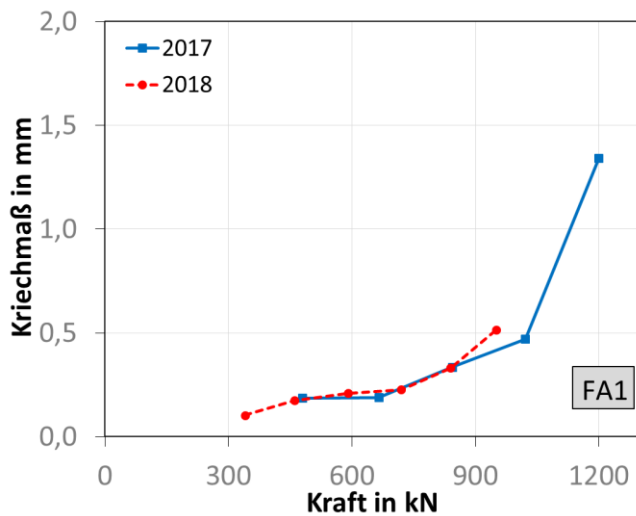
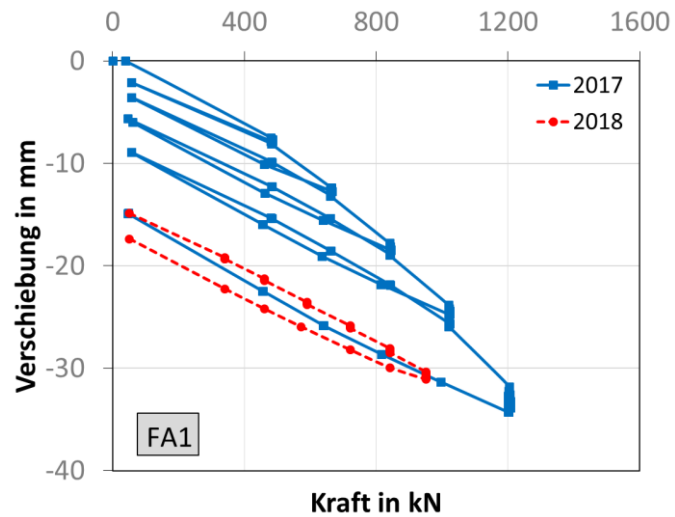


Quelle: WSA Rheine (2019)

- Wasser- und Schifffahrtsamt Rheine (Hg.): Schleusen am DEK. http://www.wsa-rheine.de/wasserstrassenbereich/dek/schleusen/schleuse_gleesen/index.html, zuletzt geprüft am 13.09.2019

Baustellen und Laborversuche bei kalklösender Kohlensäure

Fallbeispiel Gleesen und Bevergern



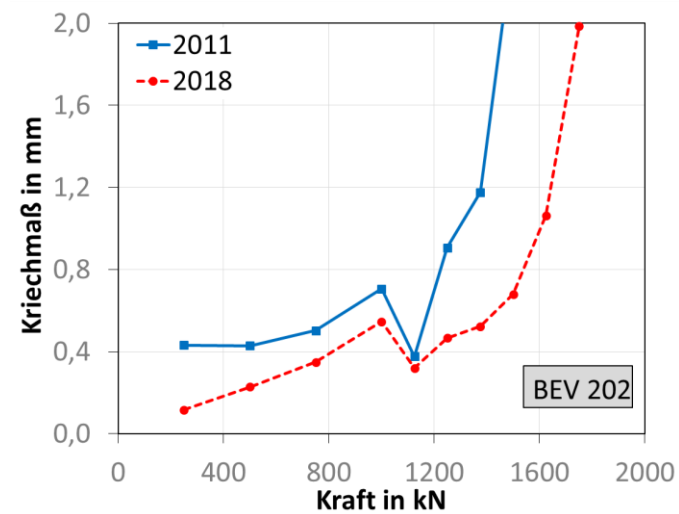
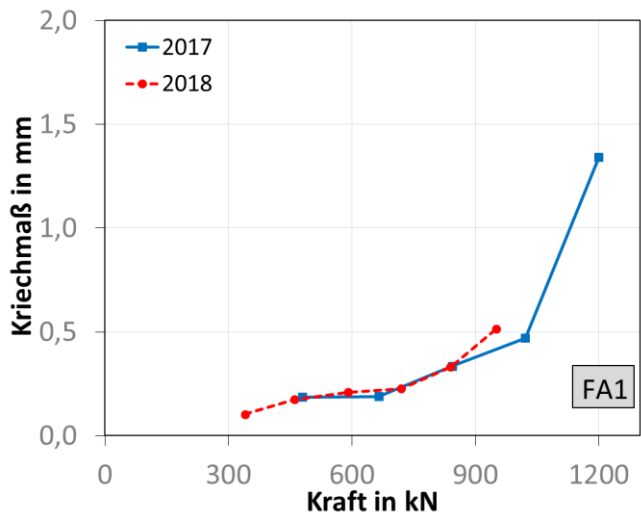
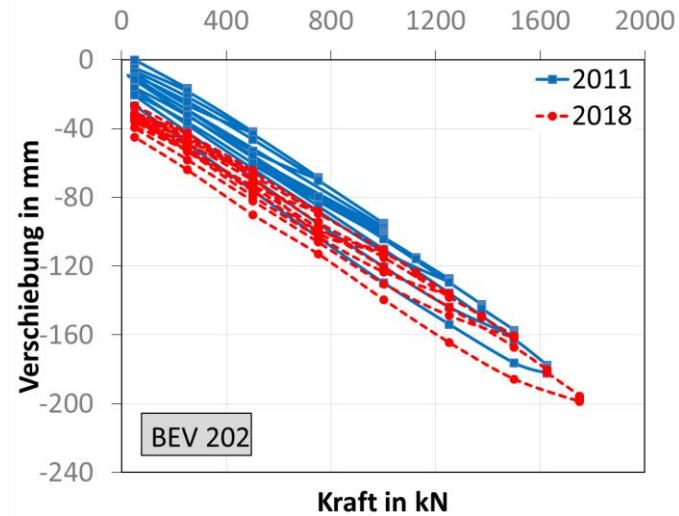
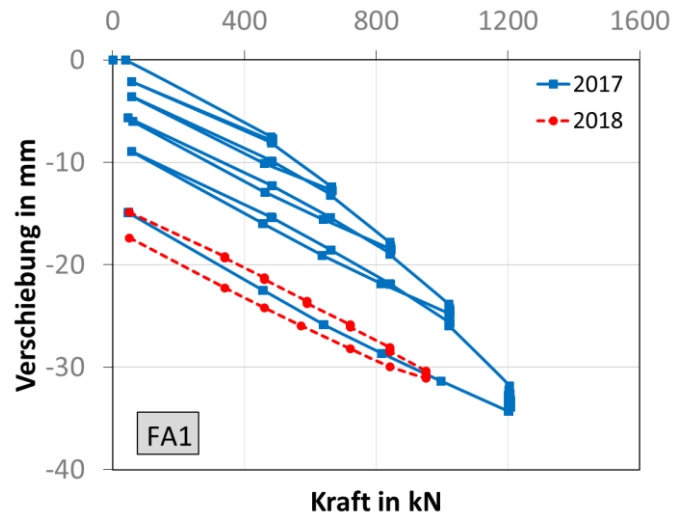
Gleesen 2017



Gleesen 2018

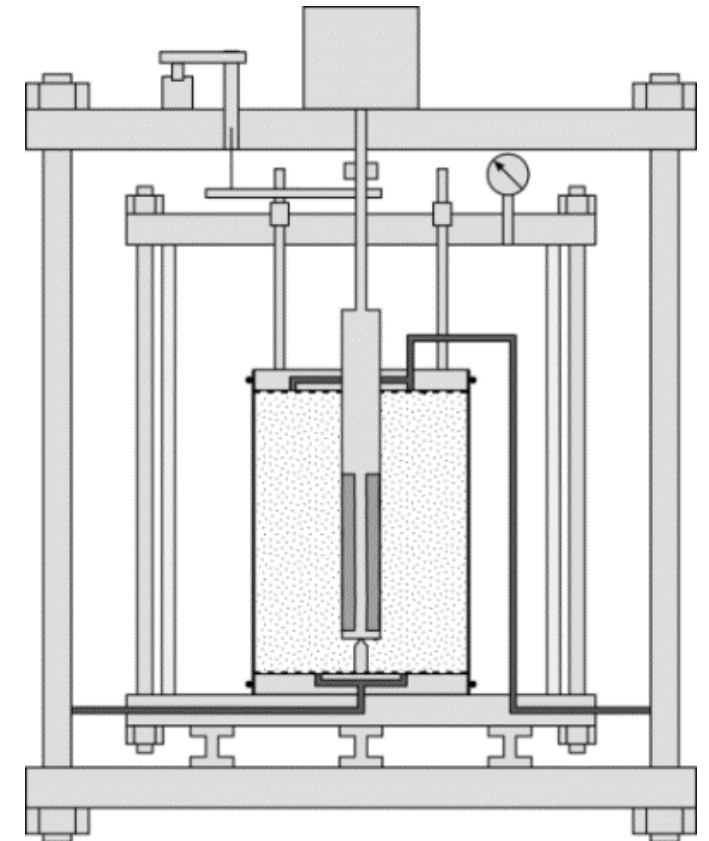
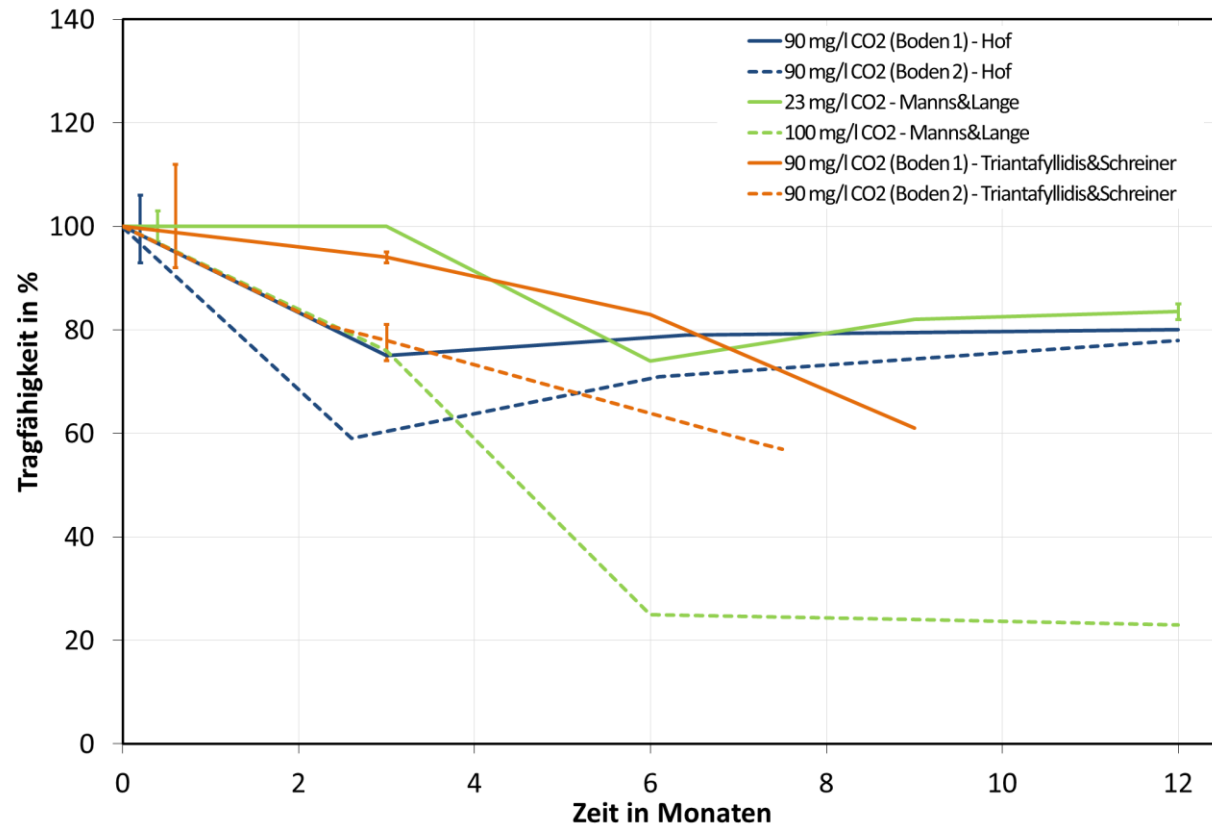
Baustellen und Laborversuche bei kalklösender Kohlendensäure

Fallbeispiel Gleesen und Bevergern



Baustellen und Laborversuche bei kalklösender Kohlensäure

Ergebnisse Laborversuche



Quelle: Hof (2004)

- Hof, C. (2004): Über das Verpressankertragverhalten unter kalklösendem Kohlensäureangriff. Dissertation. In: Schriftenreihe des Inst. f. Grundbau und Bodenmechanik der Ruhr-Universität Bochum, Heft 35. Bochum

Baustellen und Laborversuche bei kalklösender Kohlensäure

Ausblick Laborversuche



Zusammenfassung

Zusammenfassung

- Mikropfähle und Verpressanker werden im Bereich der Wasserstraßen und Baumaßnahmen in vielfältiger Weise genutzt
- Die chemischen Angriffsarten wirken sich ,je nach Angriffsart „lösend“ oder „treibend“, unterschiedlich auf die Tragfähigkeit des Ankers bzw. Mikropfahls aus
- Die generelle Auswirkung des chemischen Angriffes auf Beton ist bekannt, dabei bleiben bisher aber die Durchlässigkeit des anstehenden Bodens sowie die Veränderung der Betonstruktur durch das Verpressen größtenteils unberücksichtigt
- Bei Feldversuchen im kalklösenden Milieu sowie bei durchgeführten Baumaßnahmen konnten bisher keine Auswirkungen durch den Angriff von kalklösender Kohlensäure festgestellt werden
- Laborversuche zeigen eine stellenweise deutliche Abnahme der Tragfähigkeit von bis zu 80 % nach bereits 6 Monaten Lagerung in einem kalkaggressiven Milieu
- Nach bisherigem Kenntnisstand ist bei geringen Durchlässigkeitsbeiwerten ($k_f < 1 \times 10^{-7}$ m/s) kein schneller Abtrag der Betonoberfläche durch kalklösende Kohlensäure zu erwarten, wodurch der Einsatz von temporären Verpressankern / Mikropfählen möglich wäre

Quellenverzeichnis

- Aziez, M.N.; Bezzar, A. (2017). Magnesium Sulphate Attacks on Mortars - Influence of Temperature, Type of Sand and Type of Cement. In: Journal of Engineering Science and Technology Review. 10 (1). S. 41-50
- BAUER Spezialtiefbau GmbH (Hg.) (2013): Der BAUER Anker. Firmenbroschüre 04/2013
- Brameshuber, W. (2014): Sulfatwiderstand von Beton - Auslegung, Prüfung, Ausführung. 2. Jahrestagung und 55. Forschungskolloquium des DAfStb, 26.11.2014
- Bundesanstalt für Wasserbau (2008): Neubau der Schleusenanlage Gleesen - Geotechnischer Bericht (BAW-Gutachten, A39520210116-2)
- Bundesanstalt für Wasserbau (2008): Neubau der Schleusenanlage Bevergern - Geotechnischer Bericht (BAW-Gutachten, A39520210117-2)
- Darwin, D.; Browning, J.; Gong, L. und Hughes, S. R. (2008): Effects of Deicers on Concrete Deterioration. ACI Materials Journal, Vol. 105. S. 622-627
- DIN 4030-1:2008-06: Beurteilung betonangreifender Wässer, Böden und Gase - Teil 1: Grundlagen und Grenzwerte
- DIN EN 1537:2017-07: Ausführung von Arbeiten im Spezialtiefbau - Verpressanker
- DIN SPEC 18537:2017-11: Ergänzende Festlegungen zu DIN EN 1537:2014-11, Ausführungen von Arbeiten im Spezialtiefbau - Verpressanker
- DYWIDAG-Systems International (Hg.) (2019): DYWIDAG Geotechnische Systeme. Firmenbroschüre 02.08.2019
- Herten, M. (2016): Grenztragfähigkeit von Verpressankern und Mikropfählen bei kalklösender Kohlensäure im Grundwasser. Vermerk vom 29.11.2016. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau
- Hof, C. (2004): Über das Verpressankertragverhalten unter kalklösendem Kohlensäureangriff. Dissertation. In: Schriftenreihe des Inst. f. Grundbau und Bodenmechanik der Ruhr-Universität Bochum, Heft 35. Bochum
- Holcim (Schweiz) GmbH (Hg.) (2014): Betonpraxis - Der Weg zum dauerhaften Beton. Firmenbroschüre Juli 2014
- Locher, F. W.; Rechenberg, W.; Sprung, S. (1984): Beton nach 20jähriger Einwirkung von kalklösender Kohlensäure. In: beton 34 (1984) 5. Verlag Bau+Technik, Erkrath. S. 41-56

Quellenverzeichnis

- Manns, W.; Lange, H.-D. (1993): Einfluß aggressiver Wässer und Böden auf das Langzeitverhalten von Verpreßankern und Verpreßpfählen. Abschlußbericht zu Tl. 2. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag
- Quast, Arne et. Al (2008): Zum Einsatz von Verpresspfählen an Stelle von Verpressankern zur Rückverankerung von Spundwänden. In: Bautechnik 85 (2008), Heft 6. S. 367-373
- Rechenberg, W.; Sylla, H.-M. (1993): Die Wirkung von Ammonium auf Beton. In: beton 43 (1993). Verlag Bau+Technik, Erkrath. S. 26-31
- Sabatini, P. J. et al (2005). Micropile Design and Construction (References Manual for NHI Course 132078). US Department of Transportation - Federal Highway Administration. Publication No. FHWA NHI-05-039, 12/2005
- Sutter, L.; Van Dam, T.; Peterson, K. R. und Johnston, D. P. (2006): Long-Term Effects of Magnesium Chloride and Other Concentrated Salt Solutions on Pavement and Structural Portland Cement Concrete. *Transportation Research Record*, 1979(1). S. 60–68
- Triantafyllidis, T.; Schreiner, V. (2007): Tragverhalten von Verpressankern unter kalklösender CO₂-Belastung. Abschlussbericht. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag
- WasStrVerz; WS 12/5257.15/1-10:2018-11-30 - 1. Verzeichnis "Technisches Regelwerk - Wasserstraßen" (TR-W), Ausgabe 2018-11 - Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen - Wasserstraßen (VV TB-W), Ausgabe 2018-11
- Wolff, L.; Schamborn, B. (2015): Besondere Erscheinungsformen der Betonkorrosion. In: Der Bausachverständige 03/2015. Bundesanzeiger Verlag GmbH, Köln. S.16-17



Vielen Dank für ihre
Aufmerksamkeit!

Bundesanstalt für Wasserbau
76187 Karlsruhe

www.baw.de

Pfahlgründungen: Stand der Forschung

Prof. Dr.-Ing. Frank Rackwitz
Fachgebiet Grundbau und Bodenmechanik
Technische Universität Berlin

unter Mitwirkung von:

Dr.-Ing. Daniel Aubram, Dr.-Ing. Ralf Glasenapp,
Dr.-Ing. Viet Hung Le, Fabian Remspecher M.Eng.

Gliederung



- § **Einleitung**
- § **Einflüsse aus der Pfahlherstellung**
- § **Pfahltragverhalten**
- § **Dynamische Pfahlprüfung**
- § **Schlussfolgerungen und Ausblick**

Gliederung



- § **Einleitung**
- § Einflüsse aus der Pfahlherstellung
- § Pfahltragverhalten
- § Dynamische Pfahlprüfung
- § Schlussfolgerungen und Ausblick

- § **Einflüsse aus der Pfahlherstellung (im Boden, im Pfahl)**
- § **Pfahltragverhalten und Pfahlverformungsverhalten**
 - § Einzelpfahl, Pfahlgruppe (Gruppenwirkung)
 - § Statische vs. zyklische vs. dynamische Belastung
- § **Dynamische Pfahlprüfungen**
 - § Pfahltragfähigkeit
 - § Pfahlintegrität
- § **Weitere Aspekte, z. B.:**
 - § Pfropfenbildung
 - § Zeitabhängigkeit (Festwachsen)
 - § Negative Mantelreibung, Knicken, Seitendruck, Fußbeulen ...

Gliederung



- § Einleitung
- § **Einflüsse aus der Pfahlherstellung**
- § Pfahltragverhalten
- § Dynamische Pfahlprüfung
- § Schlussfolgerungen und Ausblick

Auswirkungen der Pfahlherstellung



§ Zustandsänderungen im Boden

- § Effektive Spannung
- § Lagerungsdichte / Porenzahl

§ Trag- und Verformungsverhalten des Pfahls

§ Schwingungen bzw. Erschütterungen

§ Abhängigkeit von der Herstellungsmethode

- § Pressen
- § Rammen
- § Vibrieren
- § Bohren mit / ohne Verrohrung bzw. Suspensionsstützung

§ **Komplexes Materialverhalten**

- § Zustandsabhängigkeit (Spannung, Lagerungsdichte)
- § Pfadabhängigkeit (Zyklik, Materialgeschichte)
- § Dilatanz / Kontraktanz
- § Anisotropie

§ **Große Bodendeformationen (Materialfließen)**

§ **Korngerüst-Porenwasser-Interaktion (Mehrphasensystem)**

§ **Pfahl-Boden-Interaktion (Kontakt)**

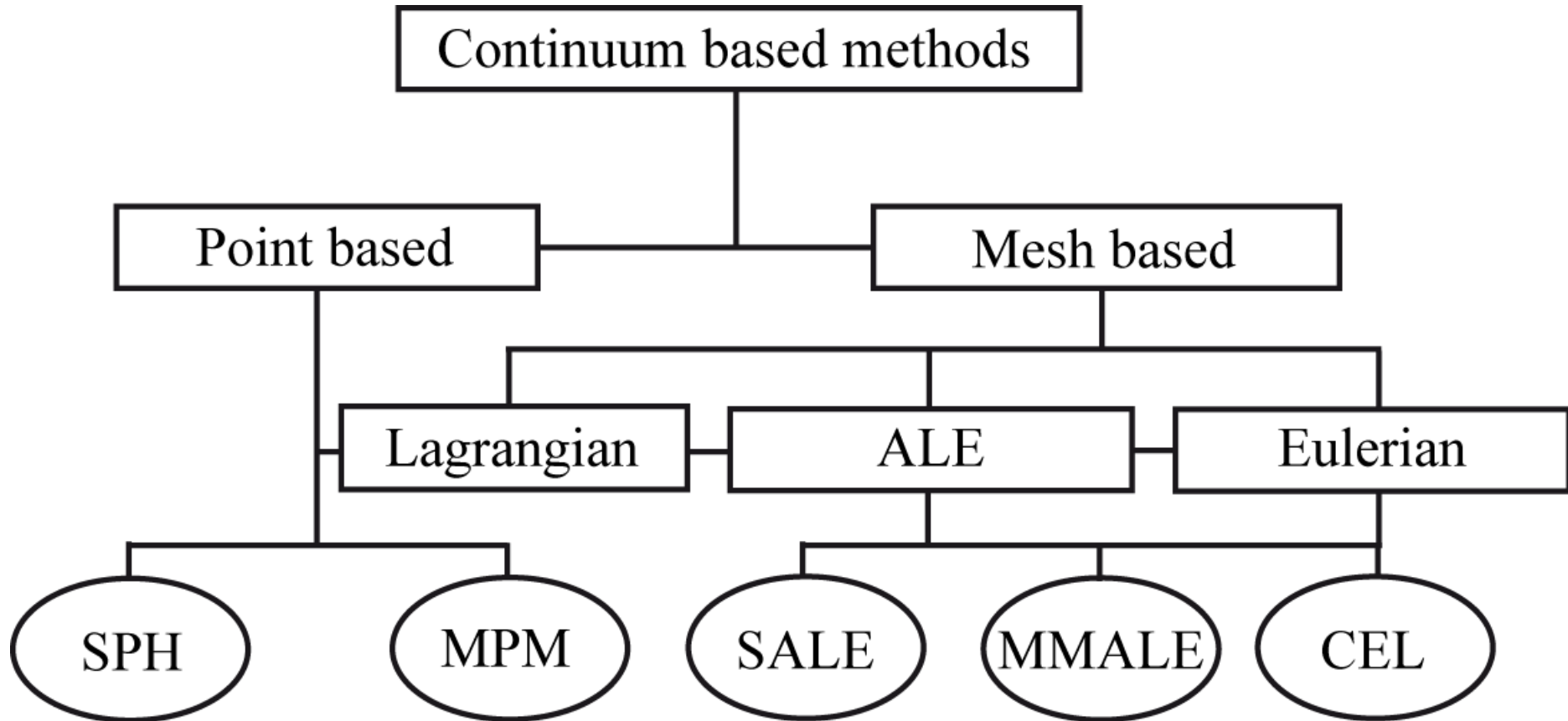
§ **Evolution von Materialrändern (Interfaces)**

§ **Klassische FEM erfordert stark vereinfachte Modellierung**

- § „wished-in-place“: Pfahl ist bereits im Boden oder wird unmittelbar aktiviert
- § „Reißverschluss“-Modell: Pfahl verdrängt Boden vorwiegend in radialer Richtung, Weg in die Tiefe ist vorgegeben
- § Bodenverformungen begrenzt, sofern keine Neuvernetzung

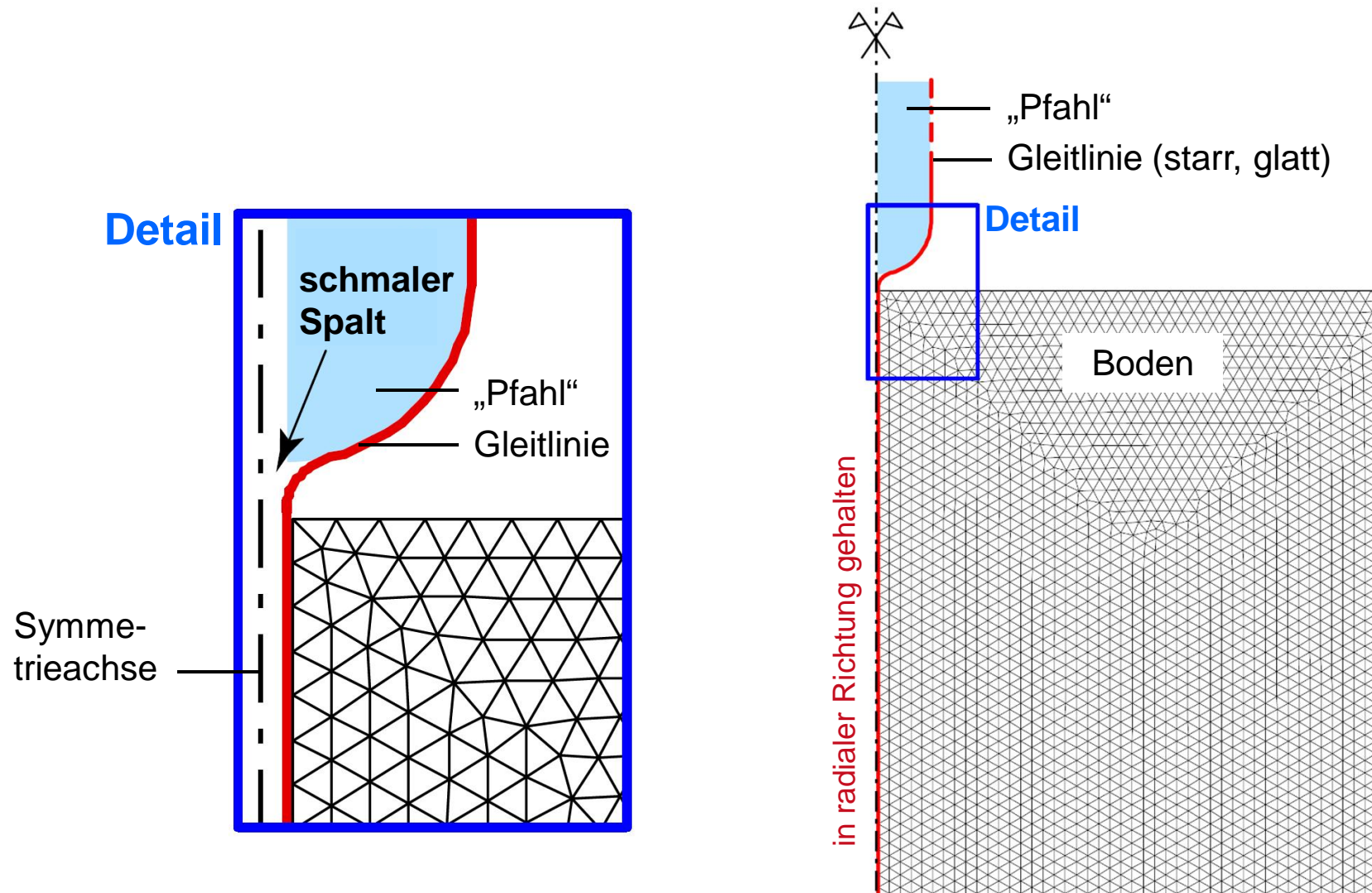
§ **Geeignete Methoden sind interdisziplinär und komplex**

- § Punktbasiert (MPM, SPH) oder netzbasiert (ALE, CEL)
- § Festkörper- und strömungsmechanische Algorithmen
- § Materialtrajektorien oft nicht direkt verfügbar



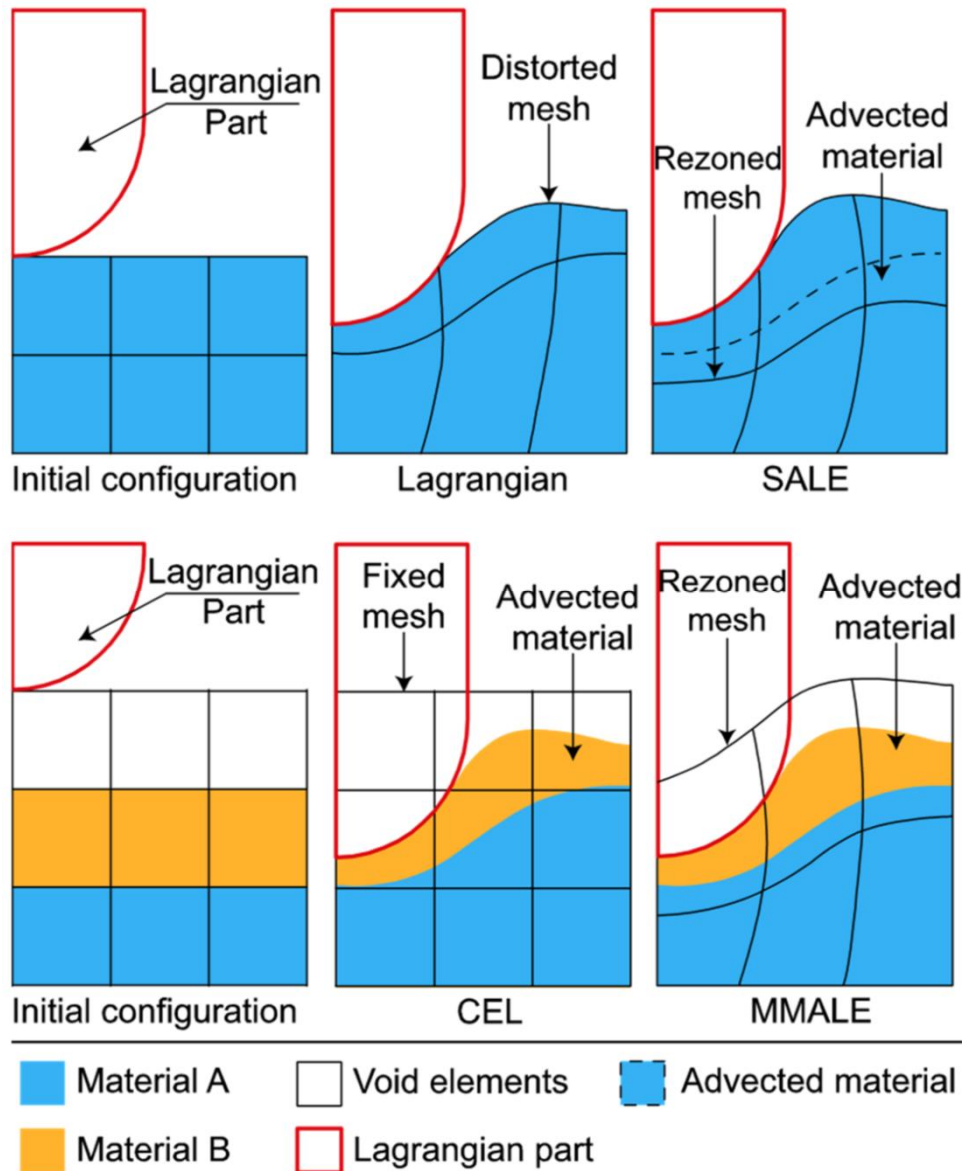
Quelle: F. Rackwitz (2020): *Possibilities and Limitations of ALE Large Deformations Analyses in Geotechnical Engineering*. In: Th. Triantafyllidis (Ed.): *Recent Developments of Soil Mechanics and Geotechnics in Theory and Practice, LNACM 91*, Springer, Cham, pp. 97-112.

„Reißverschluss“- Modellierung



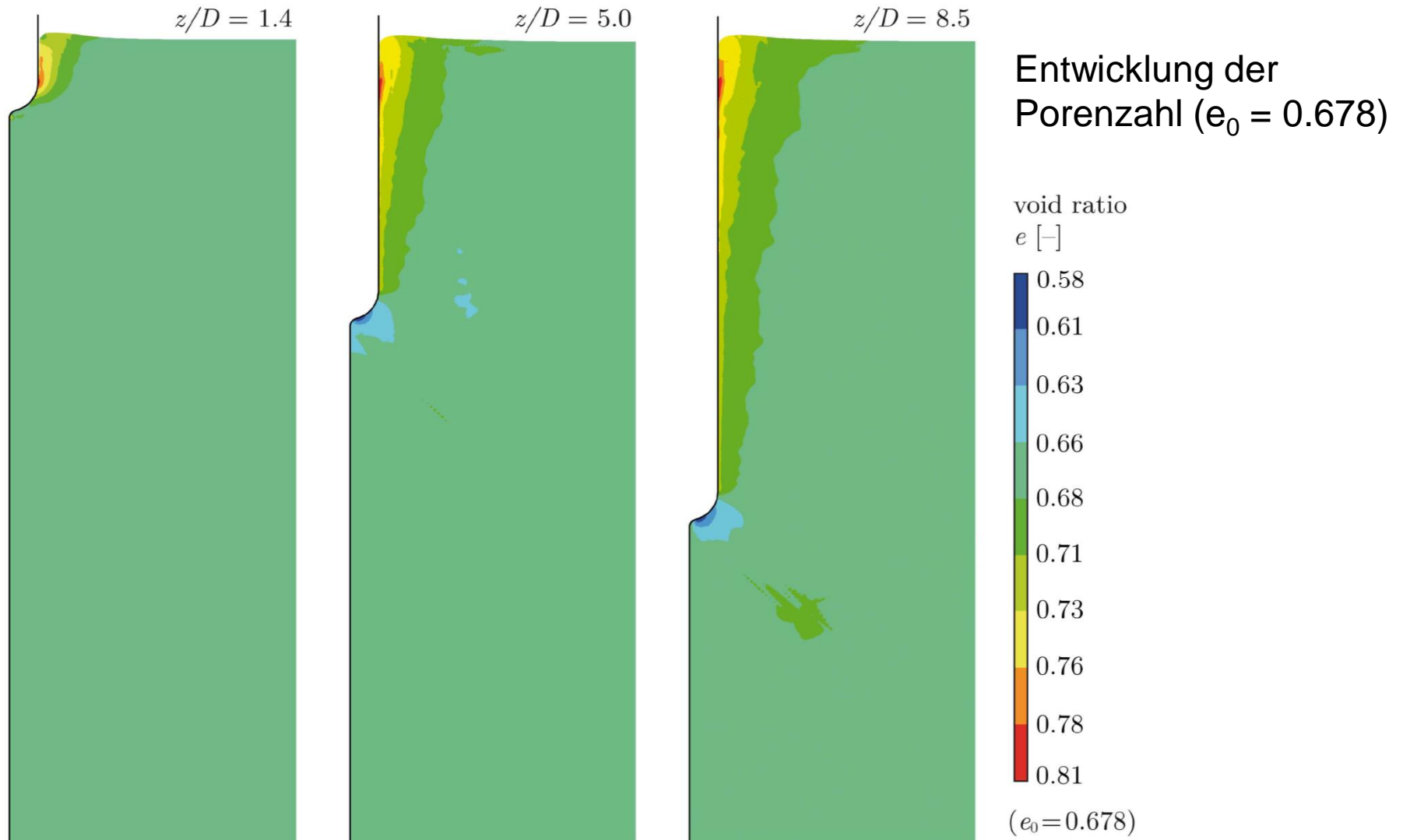
Quelle: D. Aubram (2013): *An Arbitrary Lagrangian-Eulerian Method for Penetration into Sand at Finite Deformation*.
Veröffentlichungen des Grundbauinstitutes der Technischen Universität Berlin, Heft 62, Shaker, Aachen

Verschiedene netzbasierte Methoden



Quelle: M. Bakroon u.a. (2018):
 Multi-material arbitrary Lagrangian-
 Eulerian and coupled Eulerian-
 Lagrangian methods for large
 deformation geotechnical problems.
 Numerical Methods in Geotechnical
 Engineering (NUMGE) IX, CRC
 Press, London, S. 673-681

SALE Simulation mit Hypoplastizität



Quelle: D. Aubram u.a. (2015): An ALE method for penetration into sand utilizing optimization-based mesh motion. *Computers and Geotechnics* 65, S. 241-249

Vergleich der Ramm- und Vibrierbarkeit von Offshore-Monopfählen



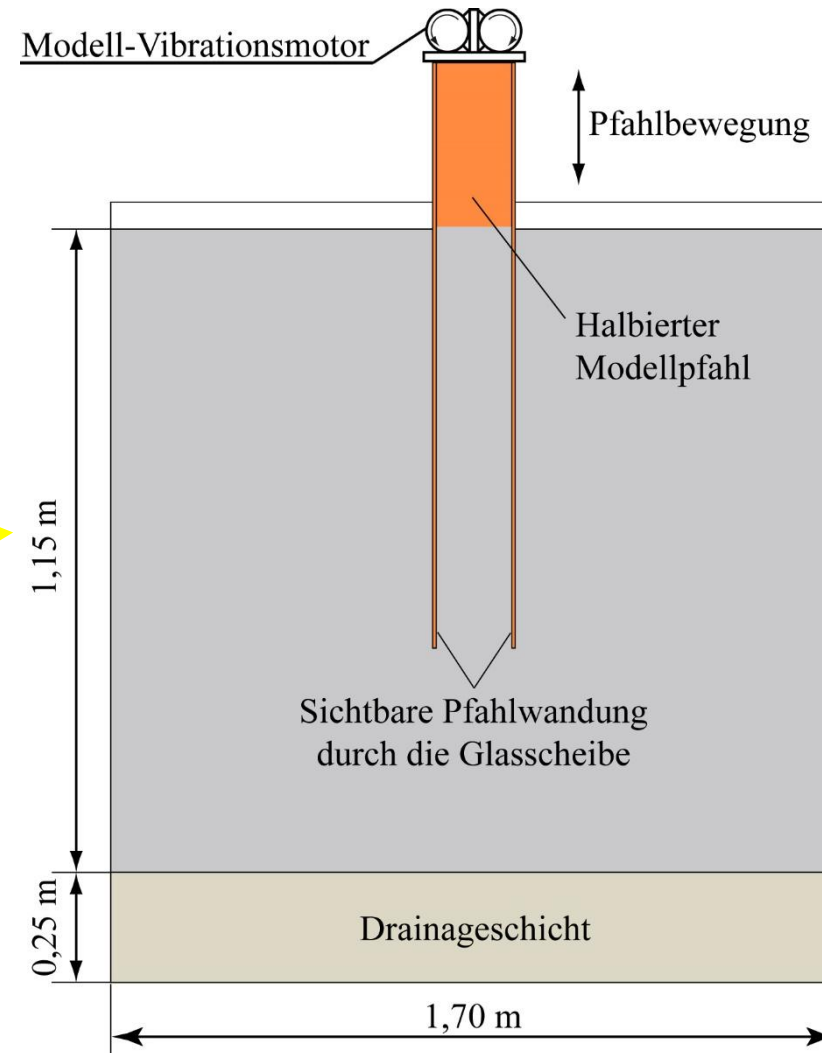
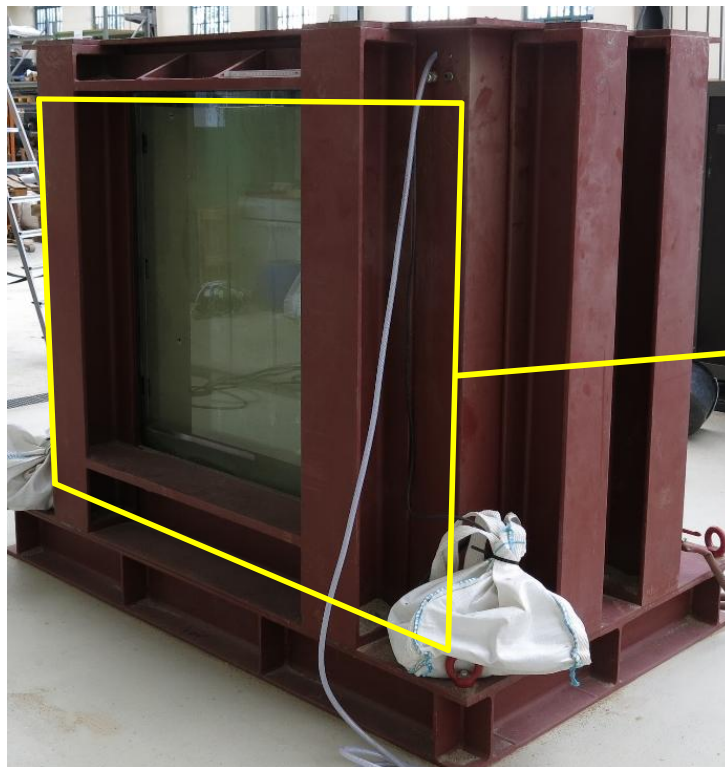
- § Zeit- und Kostenersparnis bei der Installation
- § Bewertung des Langzeit-Tragverhaltens
- § Wahl des optimalen Verfahrens



vs.

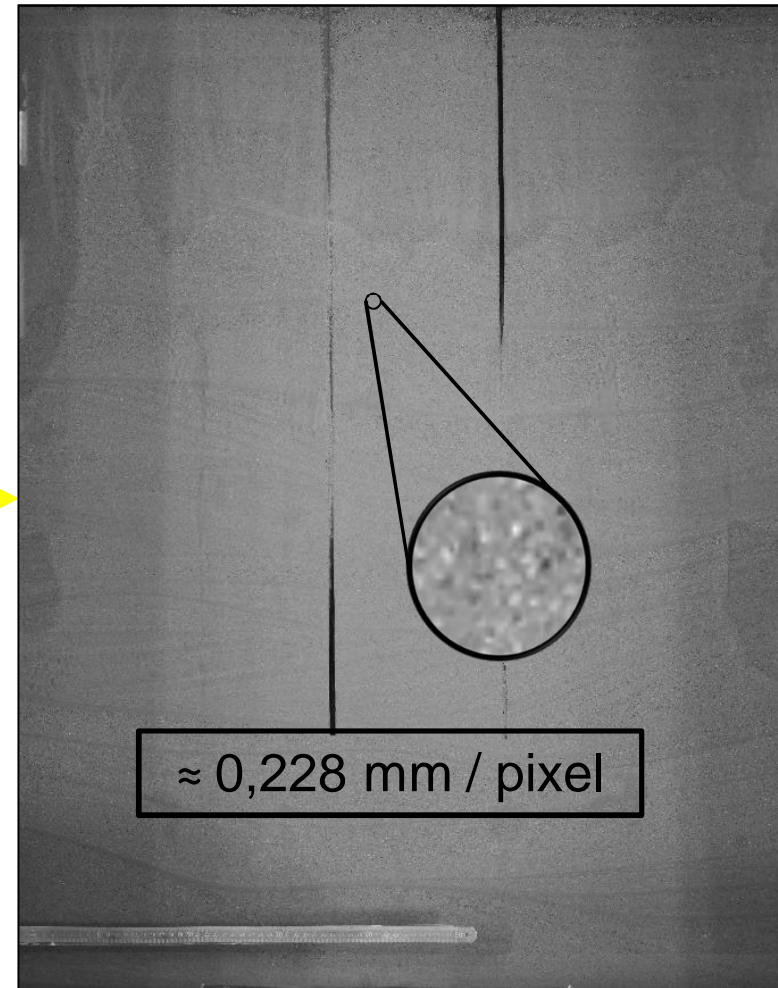


Modellaufbau



Quelle: F. Remspecher et al. (2018)

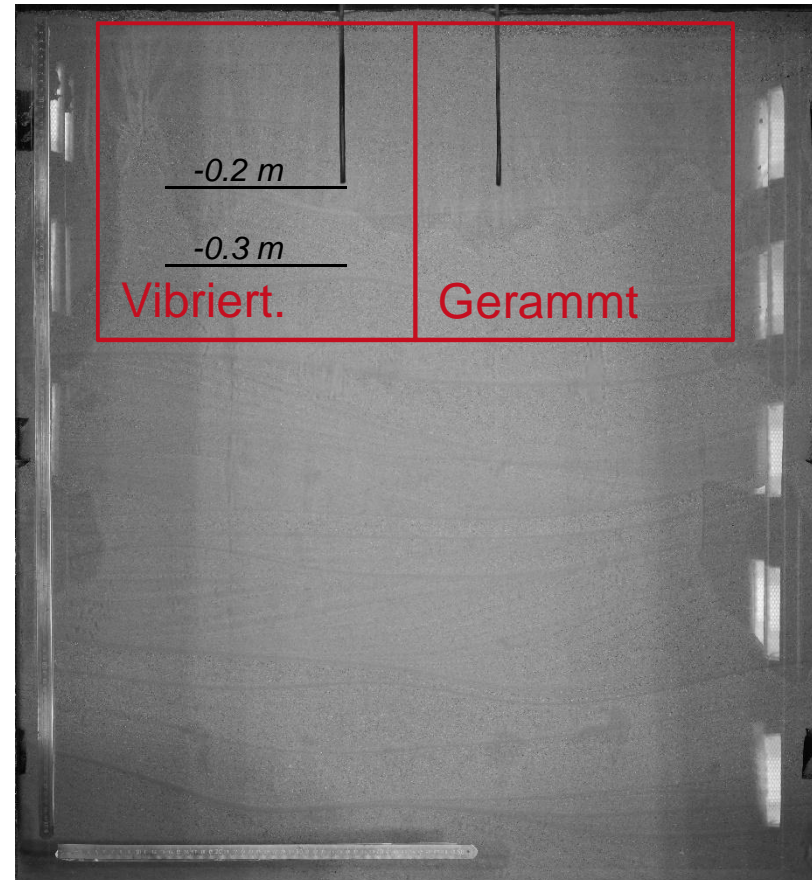
Modellaufbau



Quelle: F. Remspecher et al. (2018)

Vergleich der Eindringarten anhand DIC

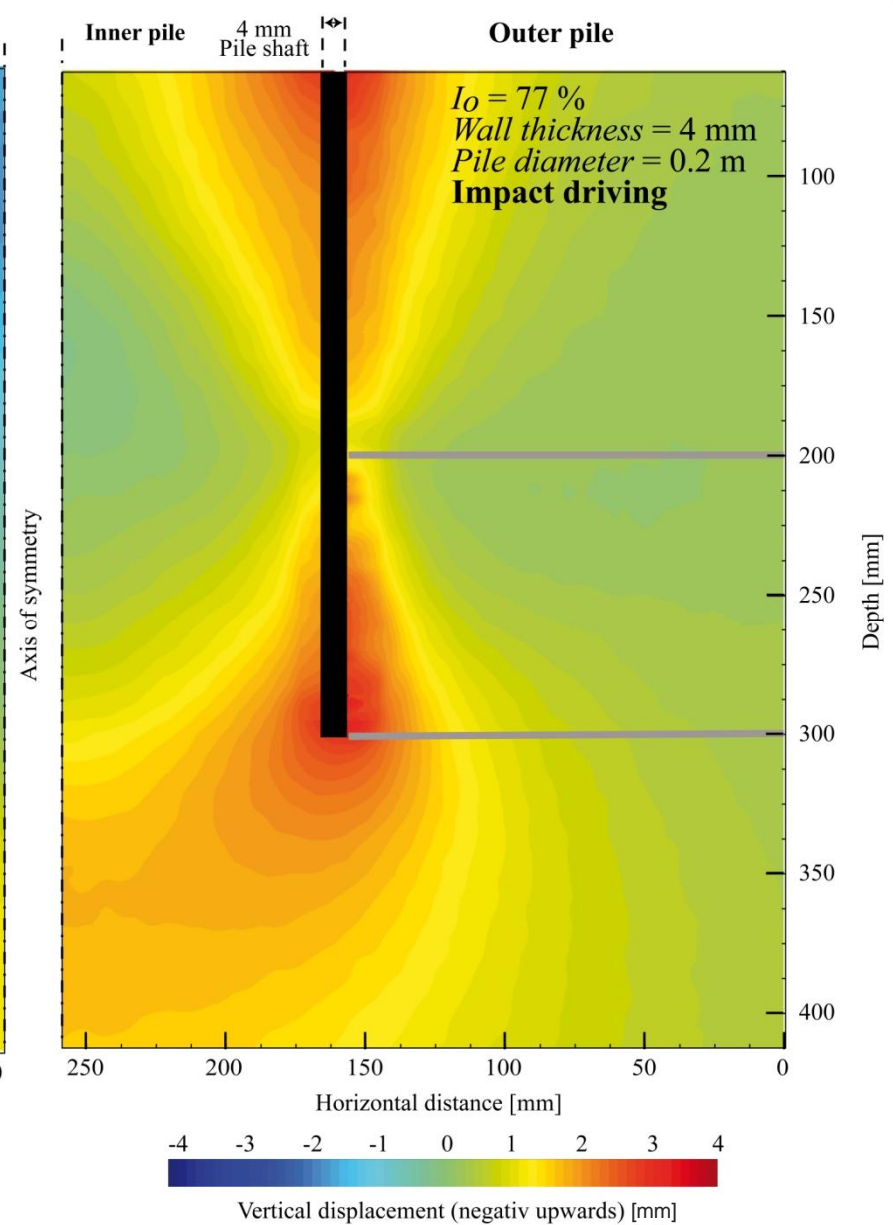
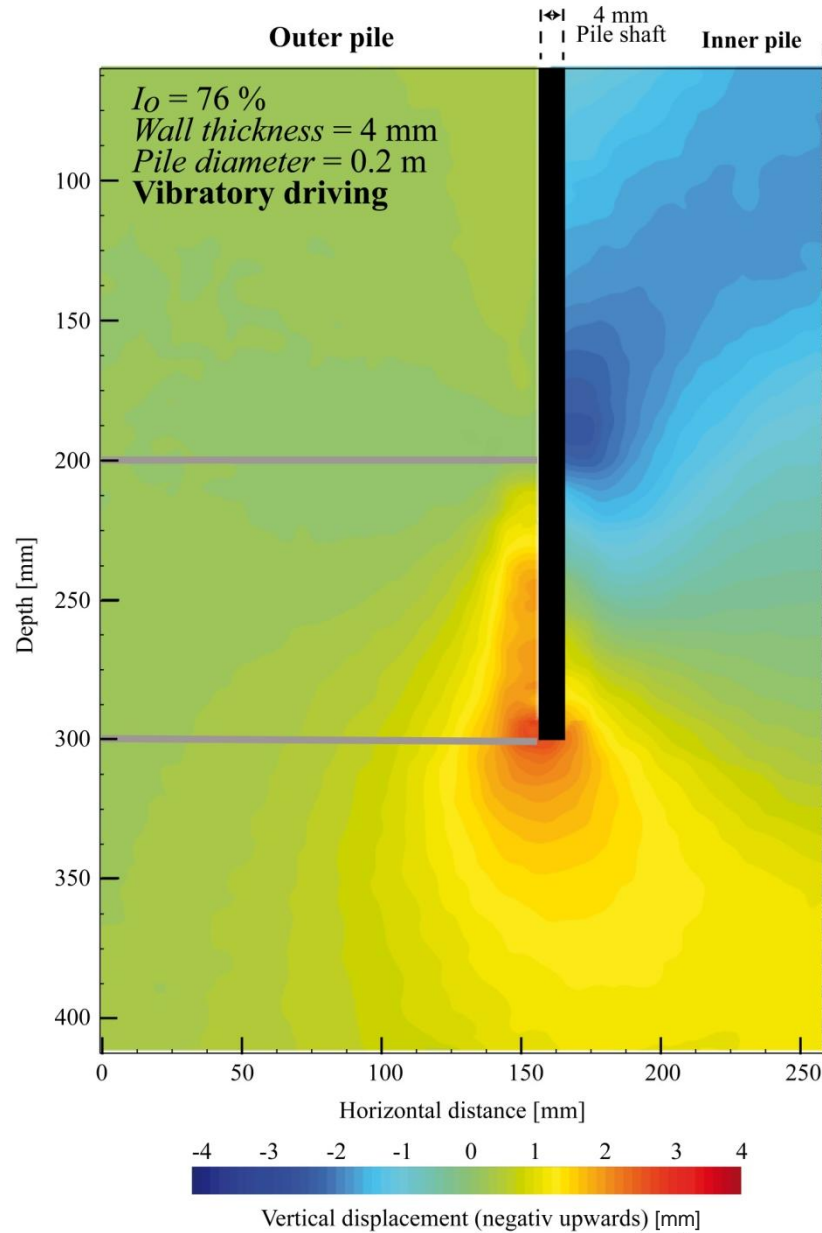
- **Auswertung eines Teilbereiches der aufgenommenen Bilder**
- **Eindringung zwischen 0,2 m und 0,3 m der Gesamteindringung**
- **Vibrierte Eindringung links, gerammte Installation rechts**



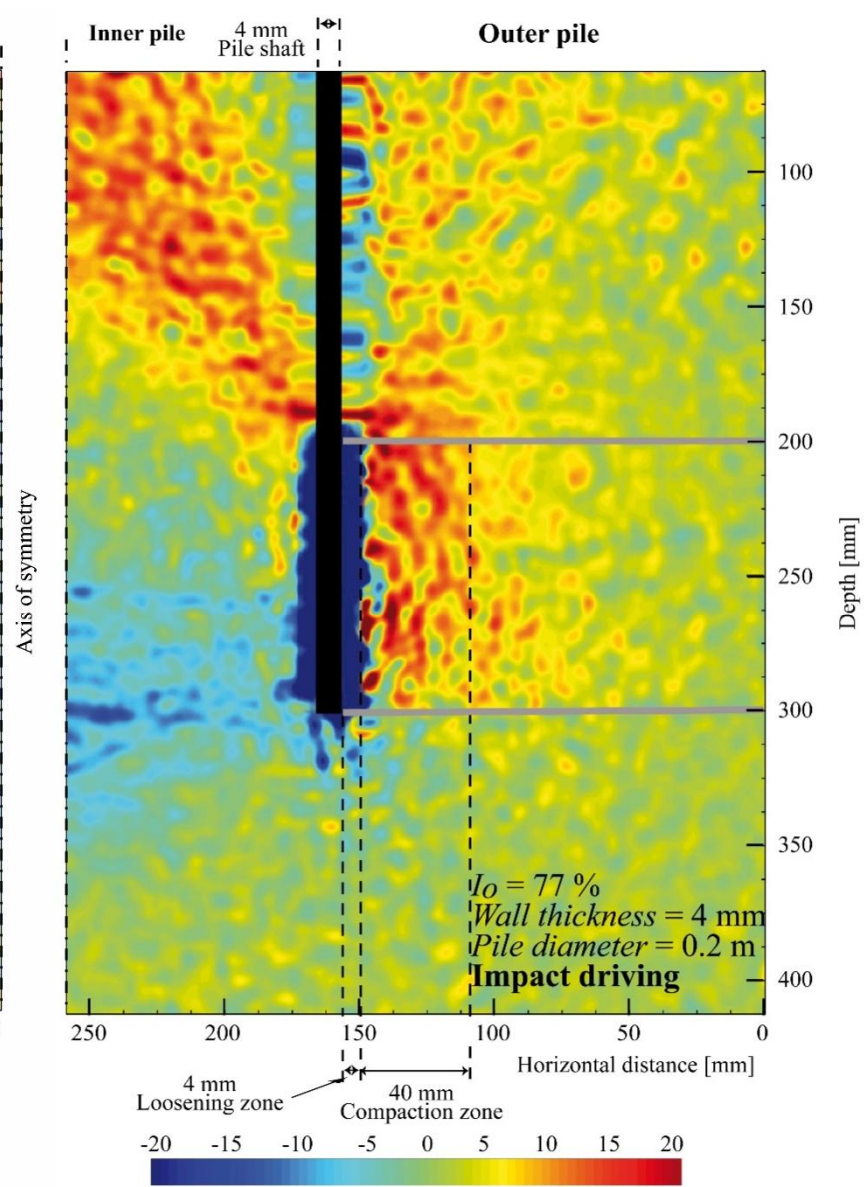
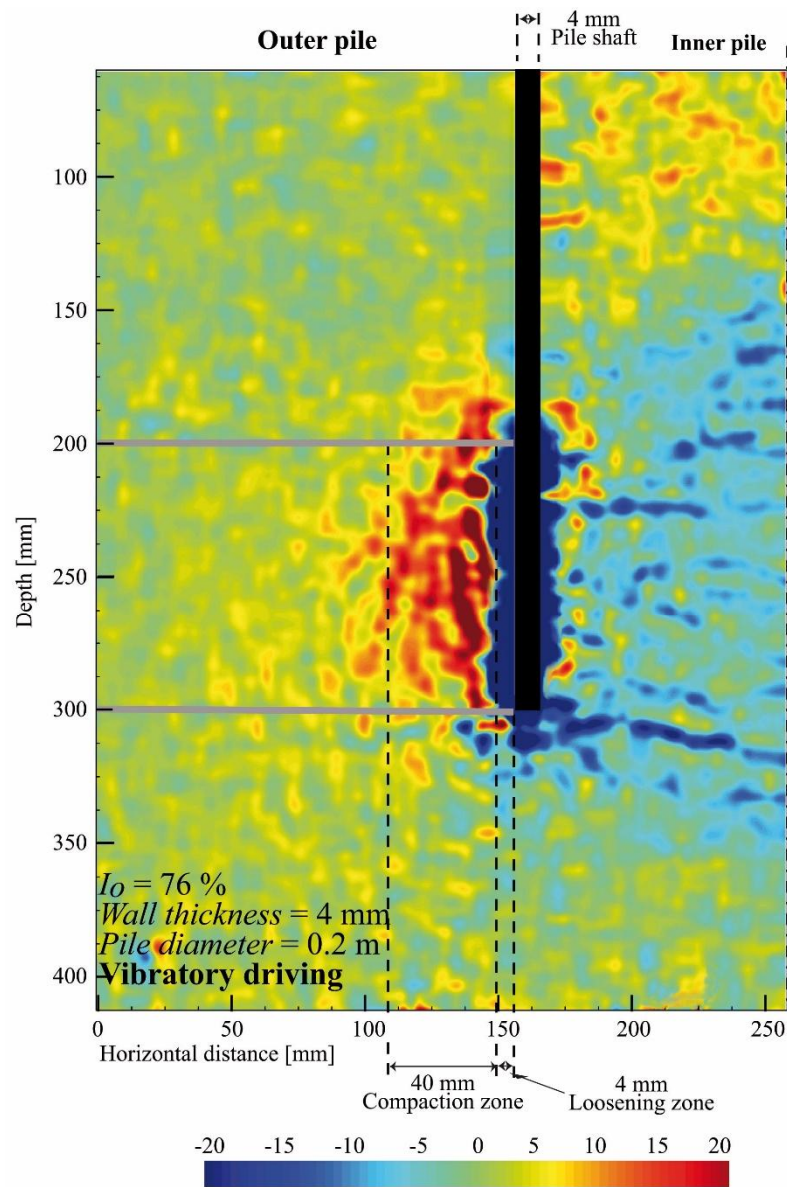
Gesamtpixelzahl: 1.81 Mpx
Bildgröße: 370 x 255 mm

Quelle: F. Remspecher et al. (2018)

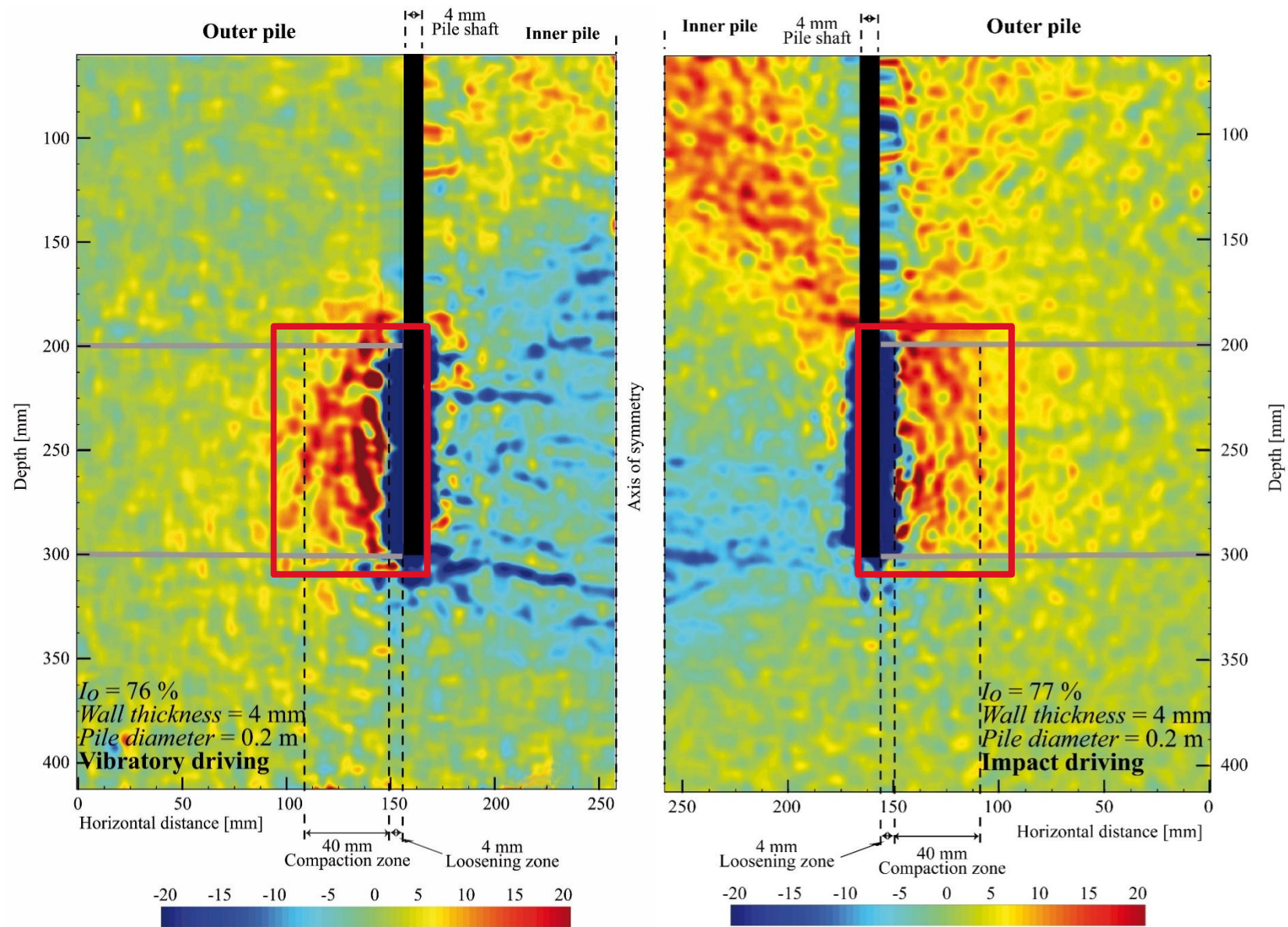
Änderung der vertikalen Verschiebungen



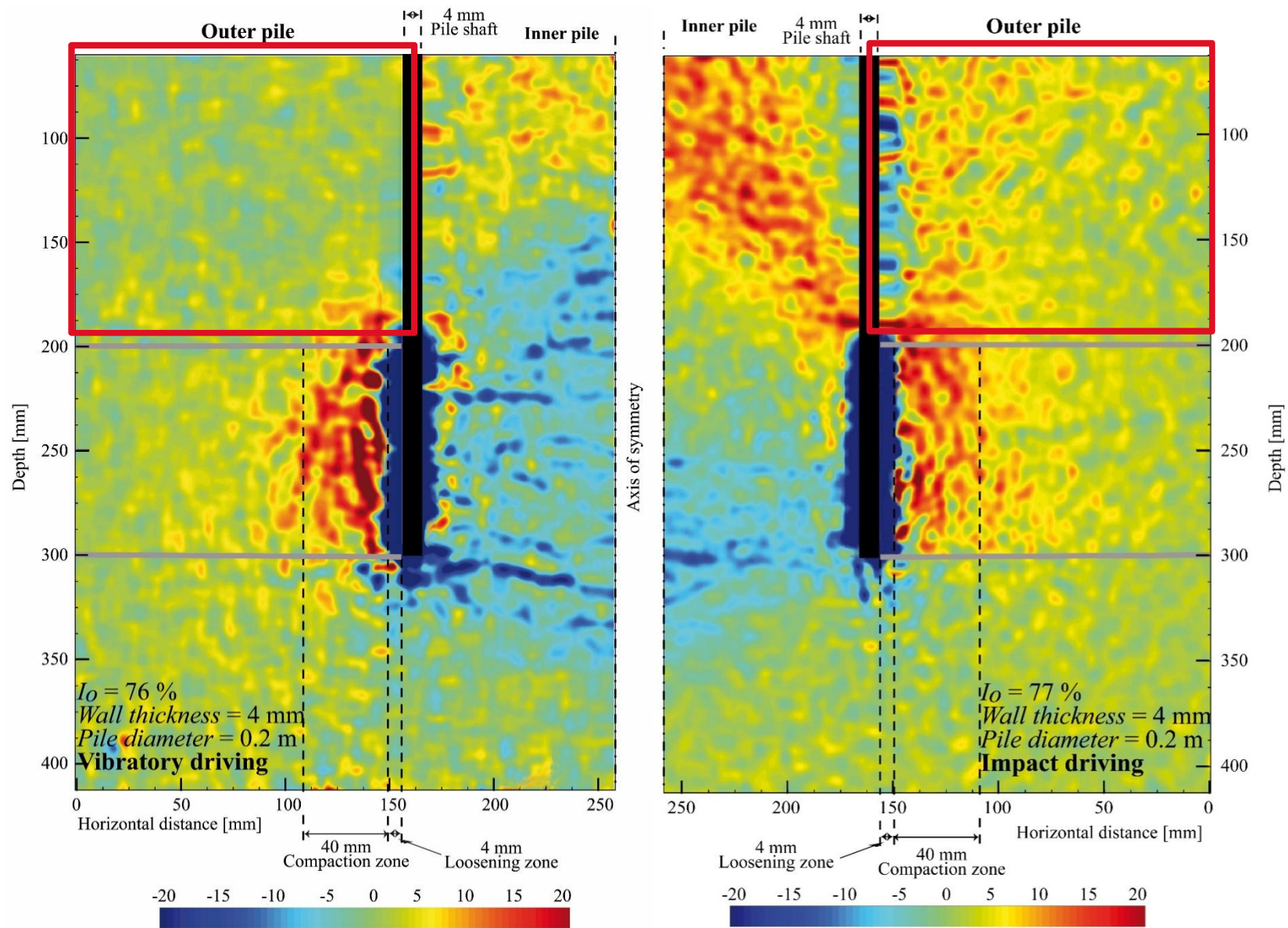
Änderung der relative bezogenen Lagerungsdichte



Änderung der relative bezogenen Lagerungsdichte



Änderung der relative bezogenen Lagerungsdichte



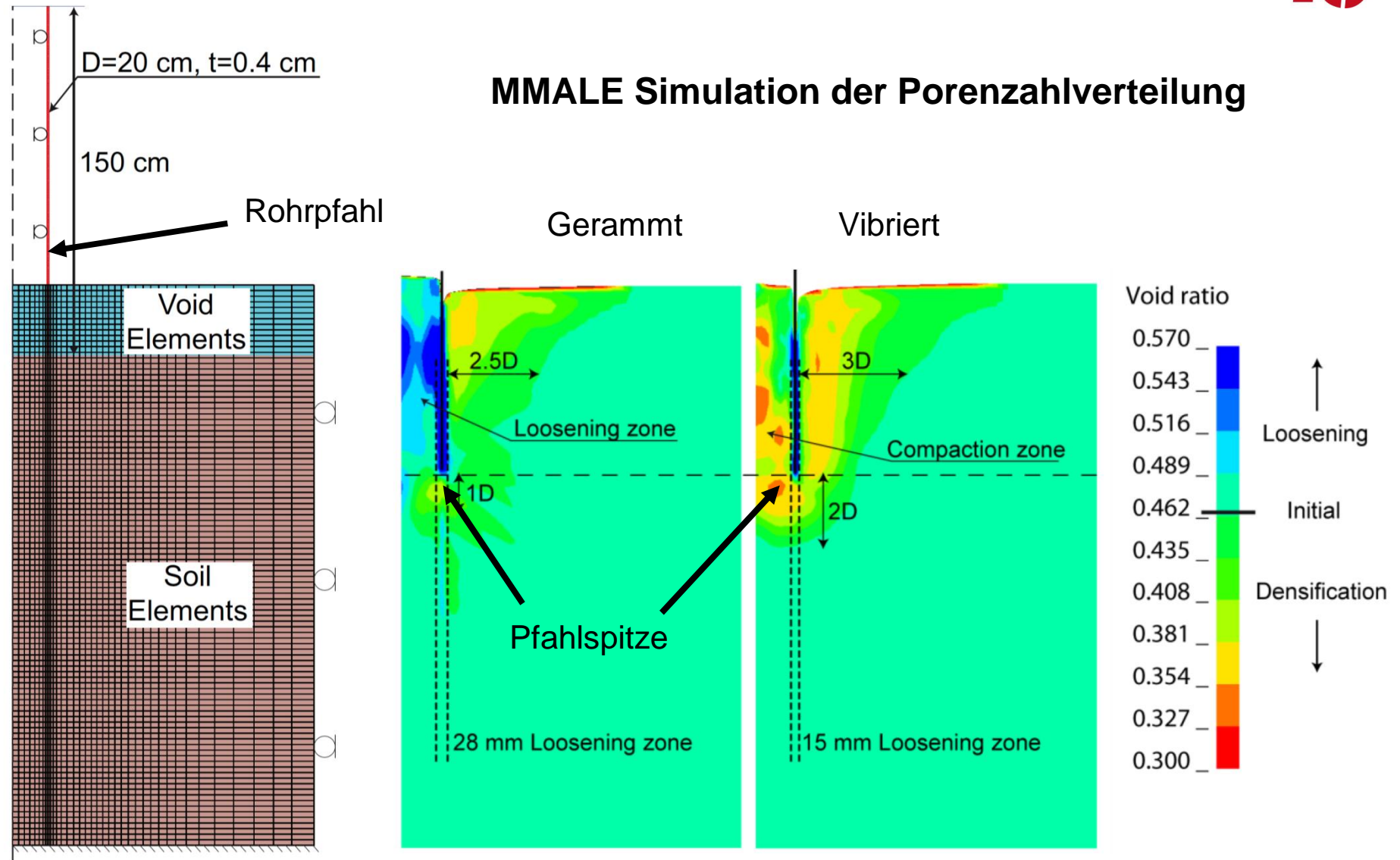
Interpretation der Versuchsergebnisse



- **Einflussradius der Dichteänderungen bei gerammten Pfählen größer**
- **Vibration verursacht konzentrierte Dichteänderung,**
- **Starke Verdichtung im Pfahlinneren bei gerammten Pfählen**
- **Keine Pfropfenbildung**

Einfluss des Herstellungsverfahrens

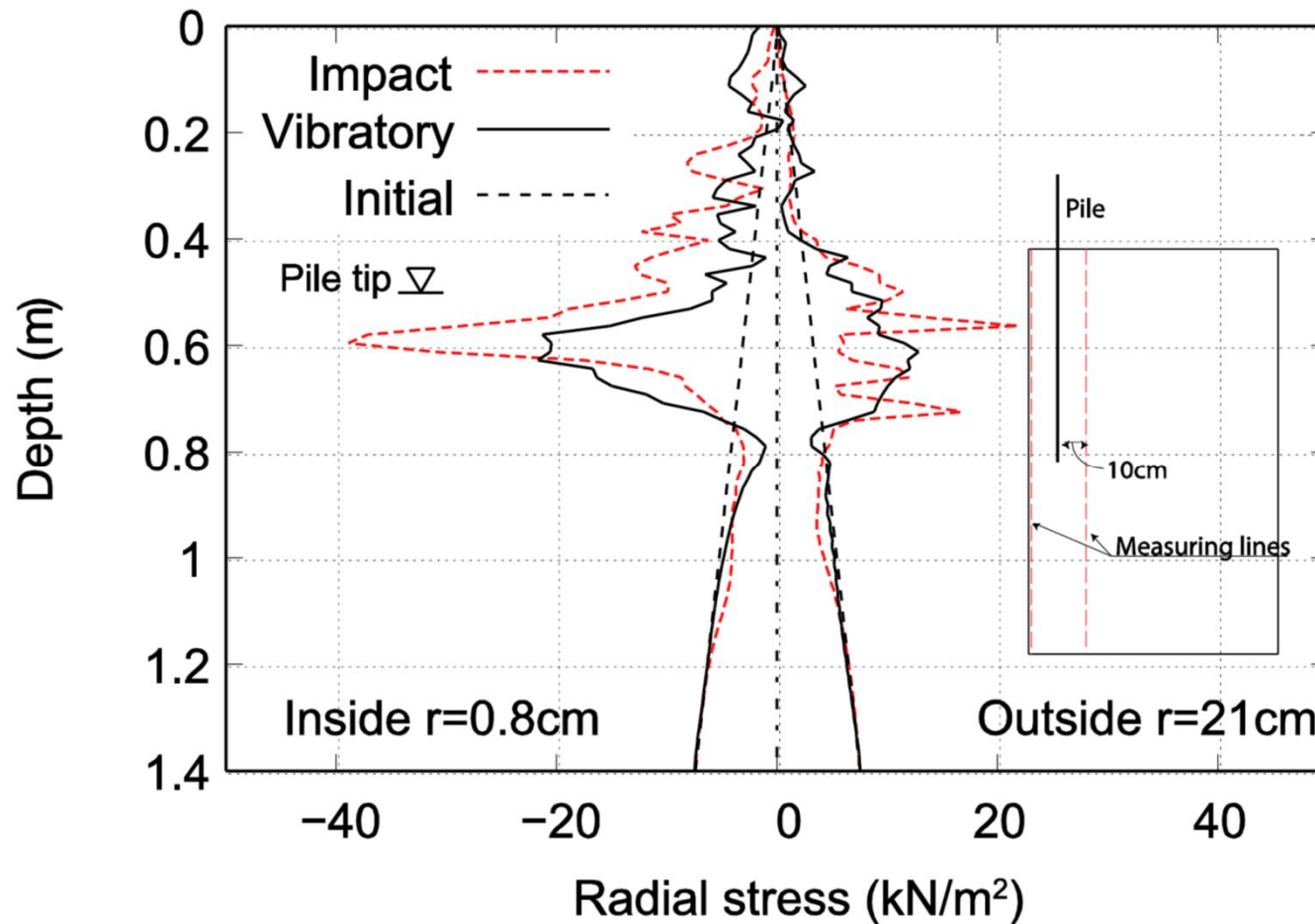
MMALE Simulation der Porenzahlverteilung



Axialsymmetrisches Modell

Porenzahlverteilung ($e_0 = 0.465$)

Einfluss des Herstellungsverfahrens

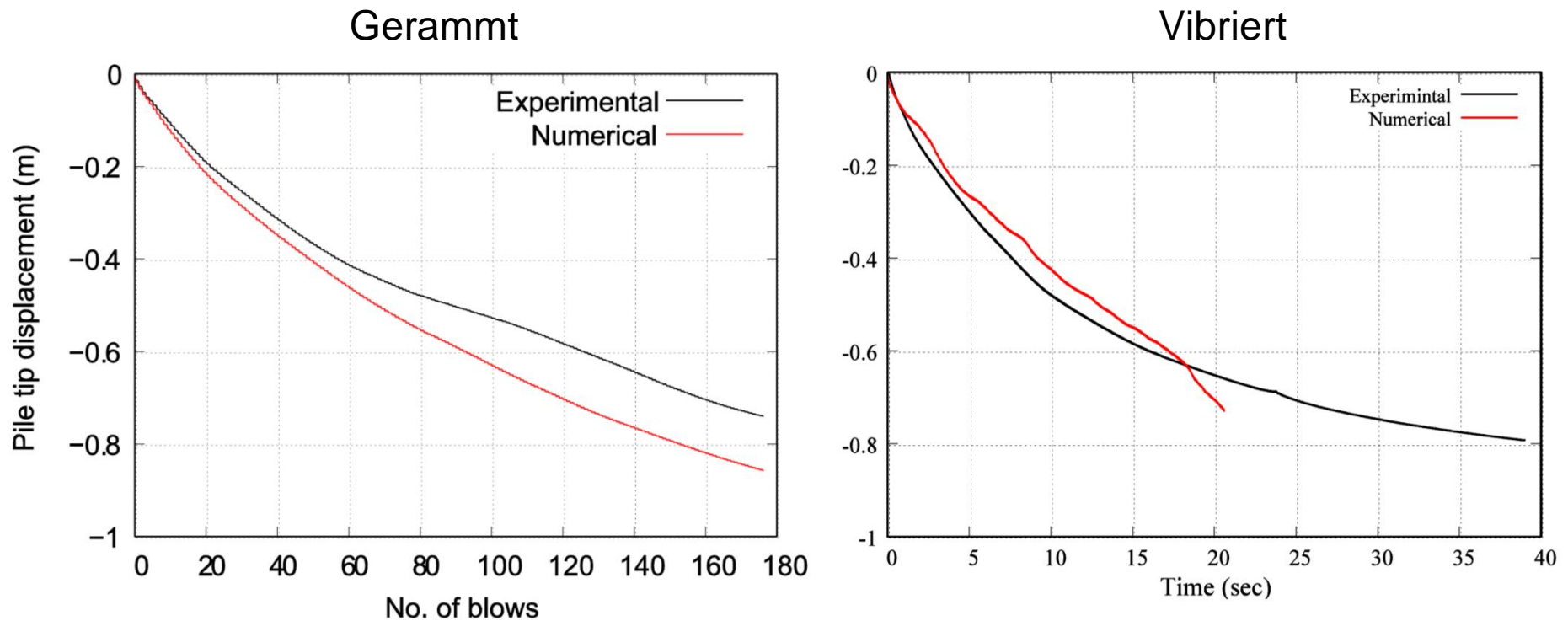


Verteilung der Radialspannung innerhalb ($r = 0.8 \text{ cm}$) und außerhalb ($r = 21 \text{ cm}$) des Pfahls.
Die Tiefe des Pfahlfußes beträgt 0,5 m.

Validierung: Nachrechnung Modellversuche



Untersuchung des Einflusses des Installationsverfahrens bei
Rohrpfählen ($D = 20$ cm) in Sand



Quelle Modellversuche: F. Remspecher u.a. (2018): Vibratory driven installation of monopiles – An experimental investigation of the soil-pile Interaction. Proc. 1st Vietnam Symposium on Advances in Offshore Engineering, Springer, S. 171-176

Gliederung



- § Einleitung
- § Einflüsse aus der Pfahlherstellung
- § **Pfahltragverhalten**
- § Dynamische Pfahlprüfung
- § Schlussfolgerungen und Ausblick

Pfahltragfähigkeit



- § **Statisches Tragverhalten**
- § **Zyklisches Tragverhalten**
- § **Post-zyklisches statisches Tragverhalten**

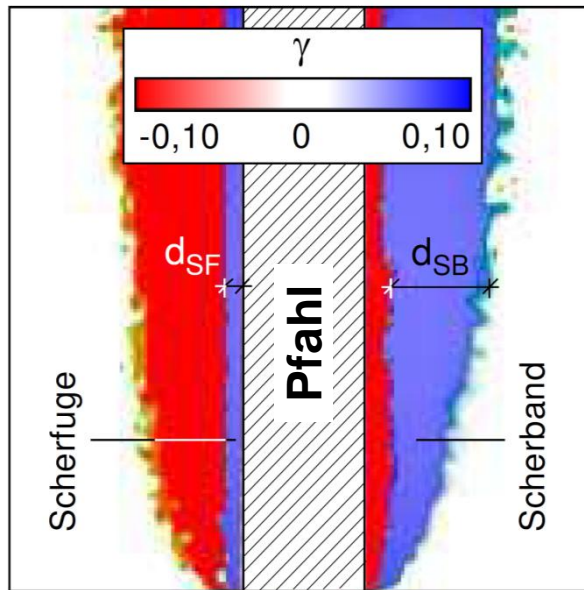
Einflussfaktoren zyklische Tragfähigkeit



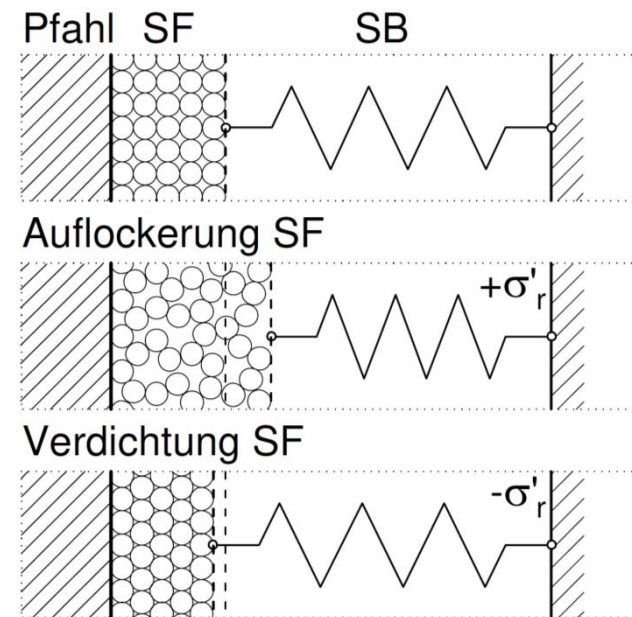
- § Anzahl der Zyklen
- § Belastungsart (Zug-, Druck-, Schwell-, Wechsellasten)
- § Mittleres und zyklisches Lastniveau
- § Bodenart
- § Lagerungsdichte
- § Drainagebedingungen

Zyklisch axial: Scherfuge und Scherband

§ Modellversuche und bildgebende Verfahren (z.B. DIC, PIV) können Bodenverformungen sichtbar machen



aus: Thomas (2011), Bild 5.7b



aus: Thomas (2011), Bild 6.1

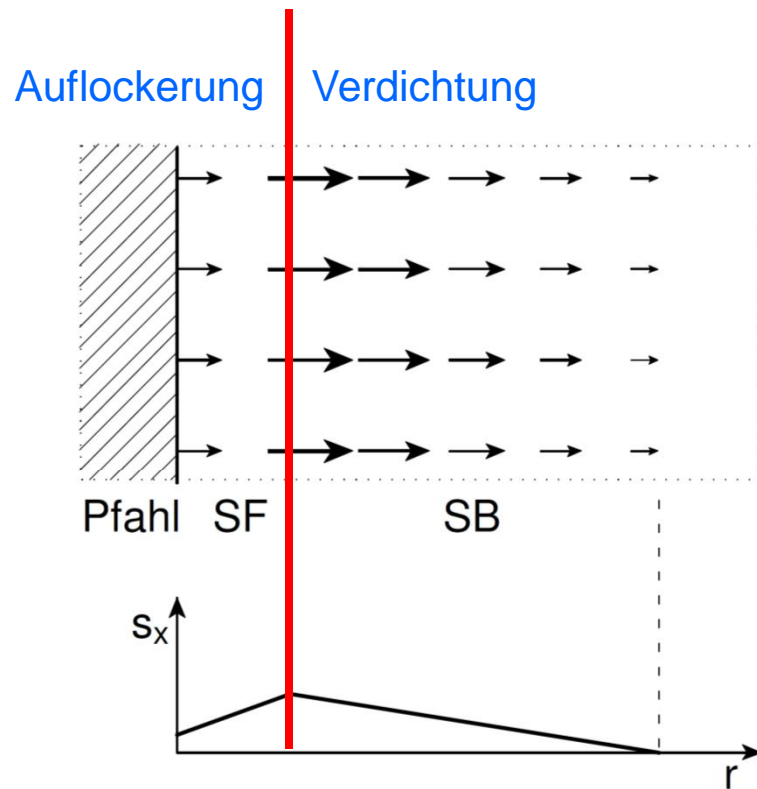
SF: Scherfuge, SB: Scherband

Quelle: S. Thomas (2011): Zum Pfahltragverhalten unter zyklisch axialer Belastung. Schriftenreihe Geotechnik, Universität Kassel, Heft 25

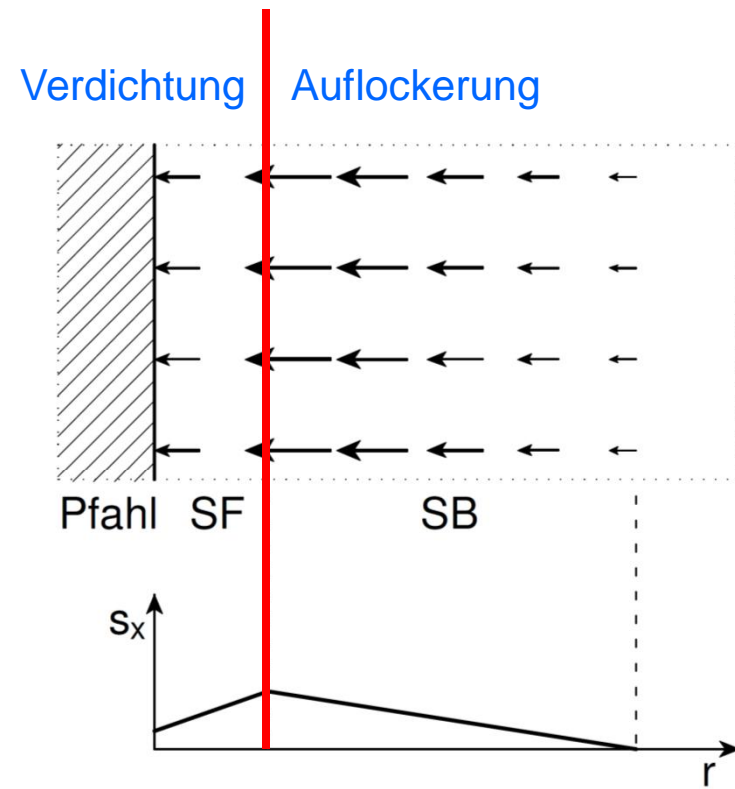
Zykl. axial: Bodenverhalten am Pfahlmantel



...unter Schwelllasten



...unter Wechsellasten



Radiale Komponente der Bodenverschiebung am Pfahlmantel; aus: Thomas (2011), Bild 5.9

Quelle: S. Thomas (2011): Zum Pfahltragverhalten unter zyklisch axialer Belastung. Schriftenreihe Geotechnik, Universität Kassel, Heft 25

$$R_{ult}(N) = R_{ult} - \Delta R_{zyk}$$

- § **Ändert sich in den meisten Fällen nach N Zyklen**
- § **Zu- oder Abnahme unter Schwelllasten**
- § **Abnahme unter Wechsellasten**

Quelle: S. Thomas (2011): Zum Pfahltragverhalten unter zyklisch axialer Belastung. Schriftenreihe Geotechnik, Universität Kassel, Heft 25

Numerische Methoden - Stoffmodelle



Monotone, statische Belastung

Material	Stoffmodell	Anzahl der Parameter
Rollige Böden	Extended Mohr-Coulomb ¹⁾	6
	Hypoplastizität mit i. Dehnung ²⁾	13
	Sanisand ³⁾	15
	CSSA-Modell ⁴⁾	15
	Barodesy ⁵⁾	5
...
Bindige Böden	Extended Mohr-Coulomb ¹⁾	6
	Modified Cam Clay Modell ⁶⁾	6
	Hypoplastizität für Ton ⁷⁾	12
Organische Böden	Visko-Hypoplastizität ⁸⁾	9

1) Doherty, J. P. & Muir Wood, D. (2013)

2) Niemunis, A. & Herle, I. (1997)

3) Dafalias, Y. F. and Manzari, M. T. (2004)

4) Carow, C., Rackwitz, F., Savidis, S. (2017)

5) Kolymbas, D. (2015)

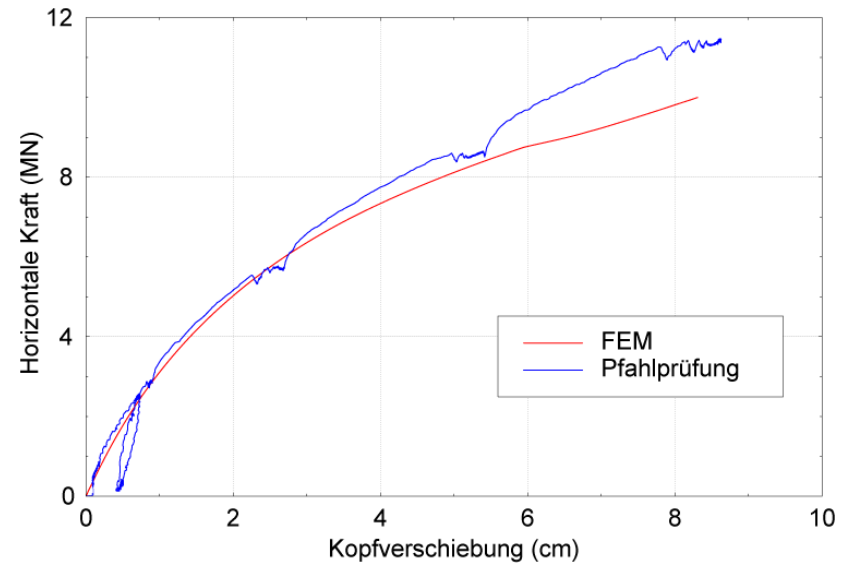
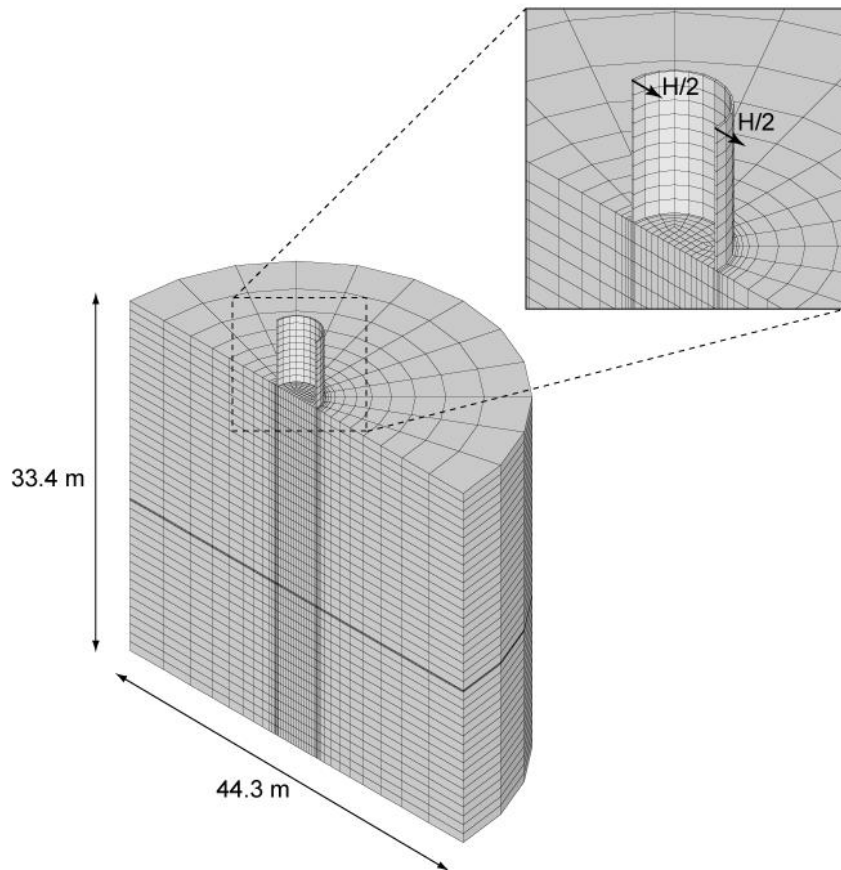
6) Schofield, A. and Wroth, P. (1968)

7) Mašín, D. (2014)

8) Niemunis, A., Grandas-Tavera, C.G. and Prada-Sarmiento, L.F. (2009)

Numerik: Zyklisch lateral und Stoffmodelle

Beispielberechnung: monoton belasteter Monopile



Pfahldurchmesser: 4,3 m

Wandstärke: 4,5 cm

Einbindetiefe: 18,7 m

Boden: Sand, Hypoplastizität mit i. Dehnung

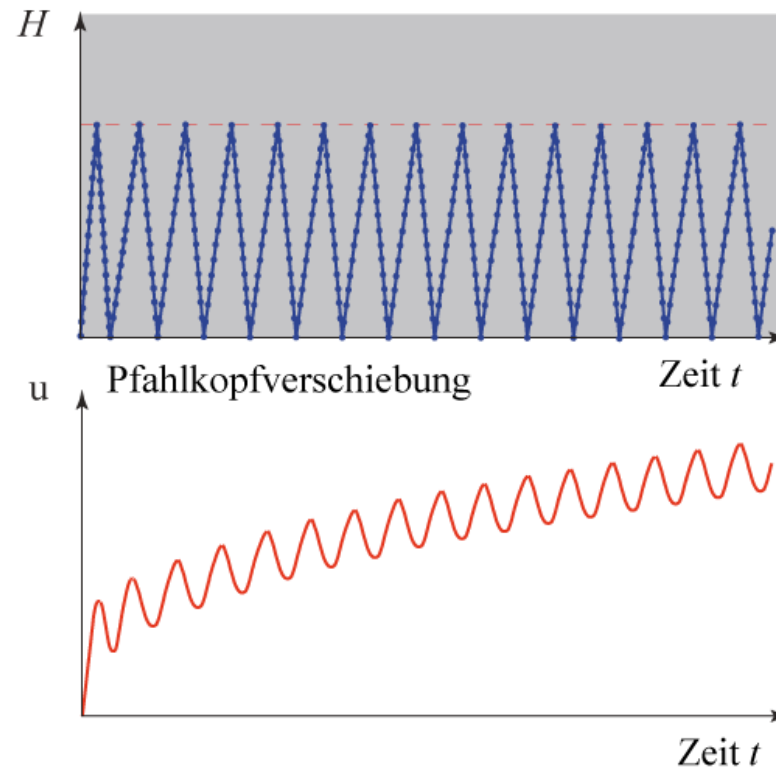
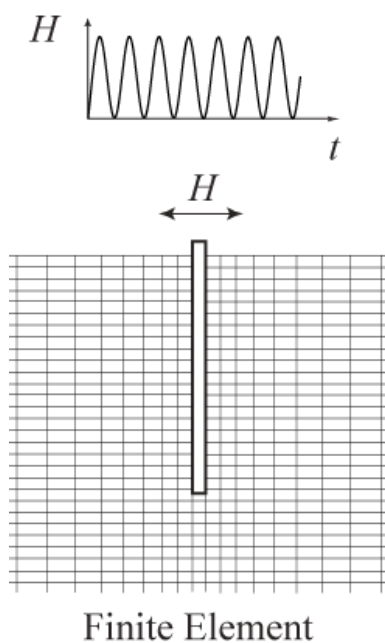
$$I_d = 75\%$$

Pfahl: Stahl, linear elastisches Stoffmodell

Numerische Methoden: Zyklik

Zyklische Belastung

Implizites Berechnungskonzept

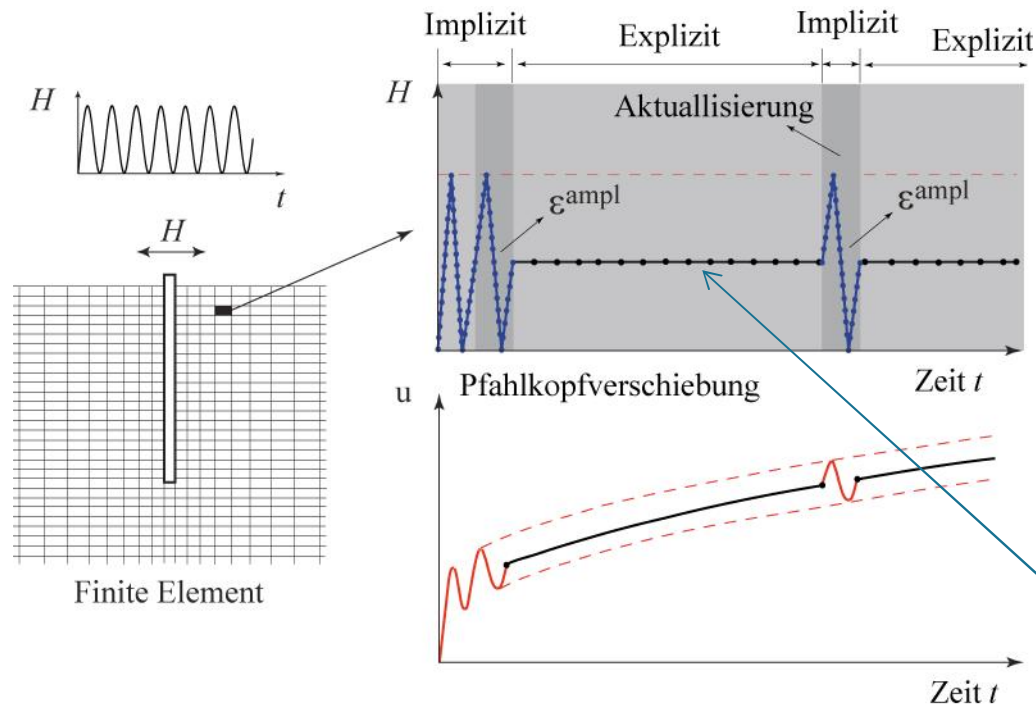


Nachteile:

- Akkumulation der numerischen Fehler
- Großer Rechenaufwand
- Limitierte Zyklenanzahl (max $N < 100$)

Zyklische Belastung

Explizites Berechnungskonzept



Vorteile:

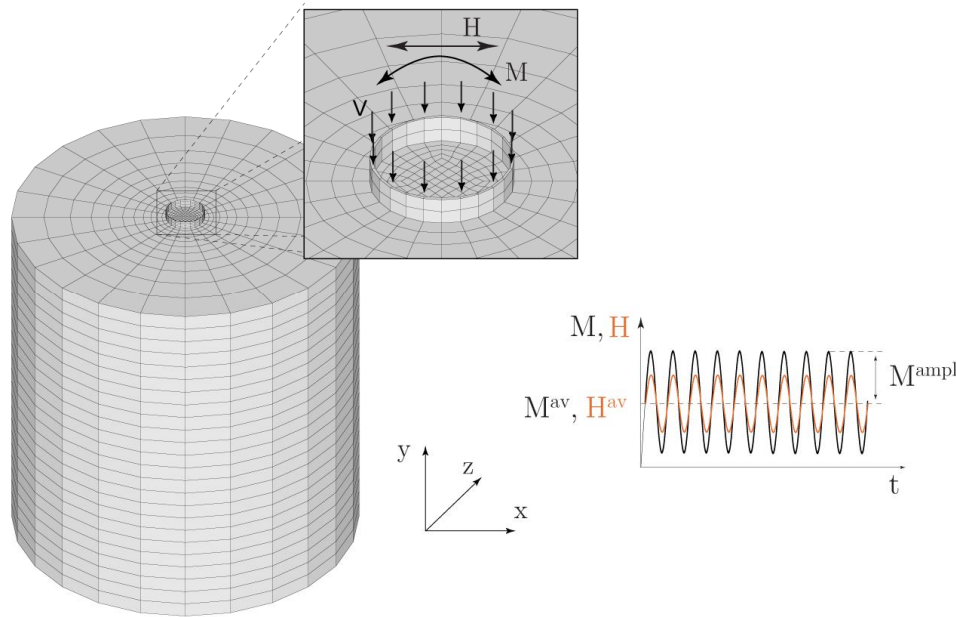
- Kleiner numerischer Fehler
- Kleiner Rechenaufwand
- Zyklenanzahl ist nicht limitiert

Akkumulationsmodell:

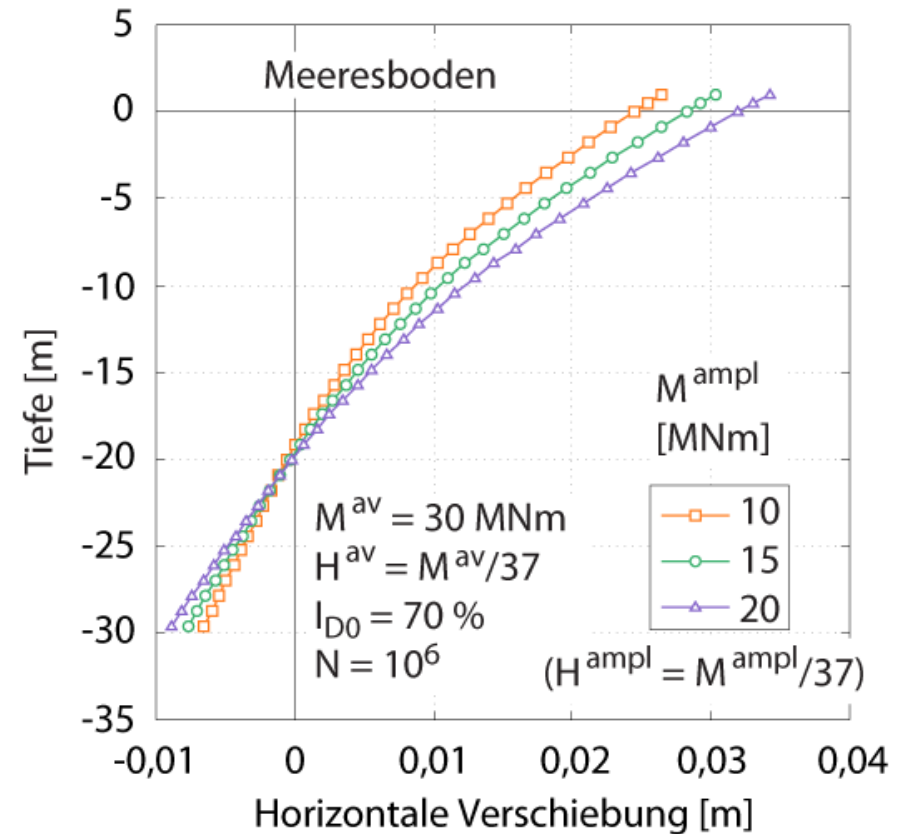
- HCA-Modell für Sand ⁹⁾
- HCA-Modell für bindige Böden ¹⁰⁾

Numerische Methoden: Zyklisch lateral

Beispiel: zyklisch lateral belasteter Stahlrohrpfahl



Durchmesser: 5 m
 Wandstärke: 9 cm
 Einbindetiefe: 30 m

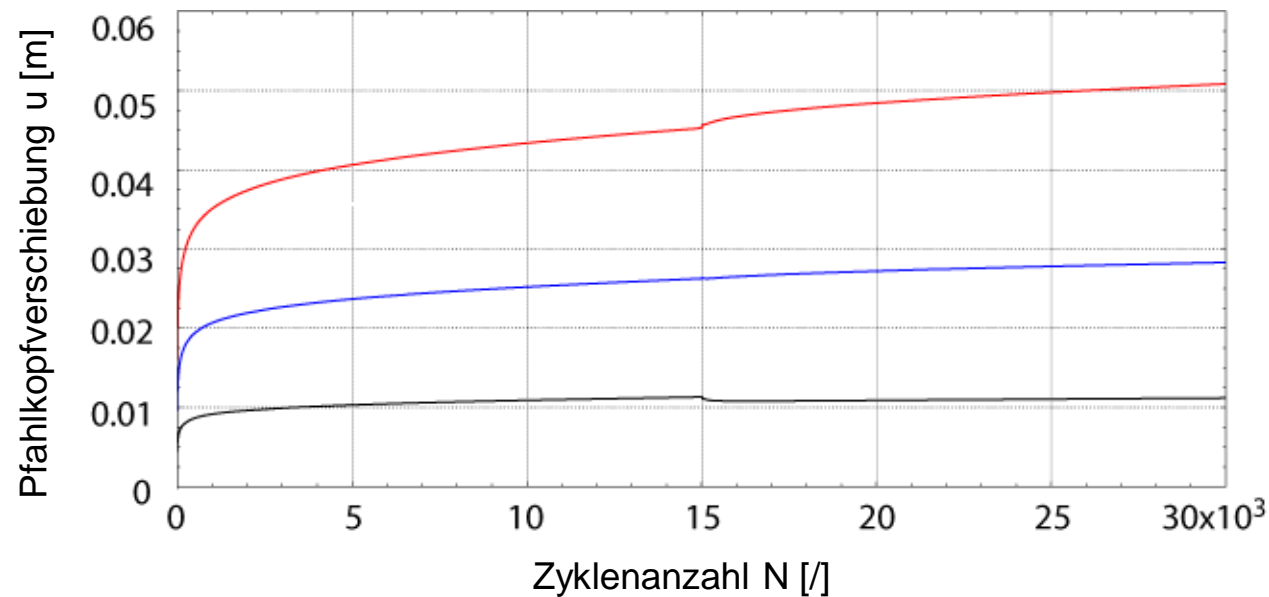
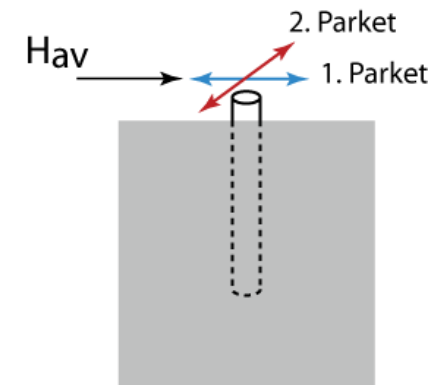


Quelle: Le, V. H.; Rackwitz, F.; Savidis, S.:
 Verformungsakkumulation bei Monopilegründungen in Sand mit
 Lastrichtungswechseln. *Bauingenieur* 92, pp. 263-270, 2017

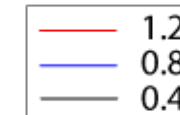
Numerische Methoden: Zyklisch lateral

Beispiel:
Zyklisch lateral belasteter Stahlrohrpfahl

Änderung der Lastrichtung (Polarisation)



H_{av} [MN]



$H_{ampl} = 0.4$ MN
 $V = 7,8$ MN
 $I_{D0} = 75\%$; $\alpha = 90^\circ$

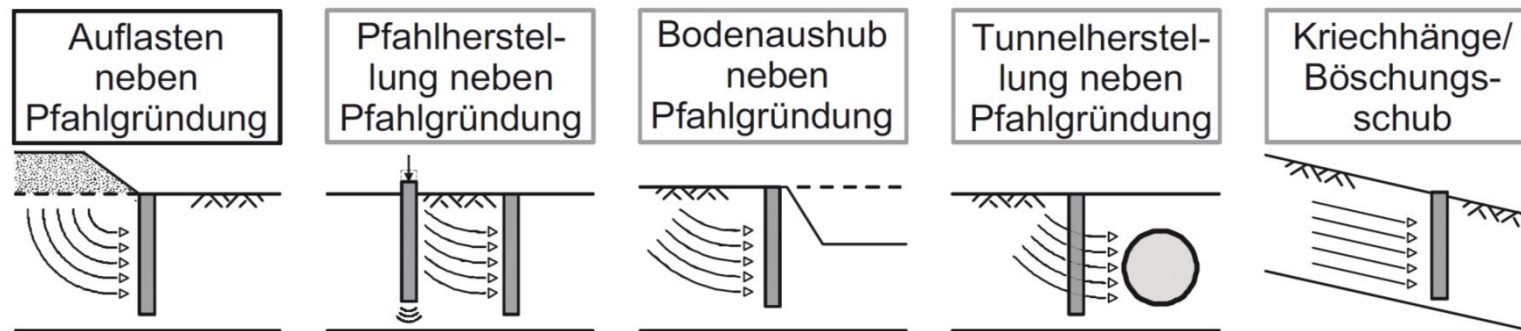
Quelle: Le, V. H.; Rackwitz, F.; Savidis, S.: Verformungsakkumulation bei Monopilegründungen in Sand mit Lastrichtungswechseln. *Bauingenieur* 92, pp. 263-270, 2017

Weitere Aspekte, z.B....



- § **Pfropfenbildung**
- § **Seitendruck**
- § **Knicken in weichen Böden**
- § **Negative Mantelreibung**
- § **Pfahlfußbeulen**
- § **Zeitabhängigkeit / Festwachsen**

§ Einwirkung aus dem Baugrund (z.B. Fließdruck weicher bindiger Böden)



§ Ansatz in EA Pfähle betrachtet nur Bruchzustand

§ Abhängigkeit von der Größe der Bodenbewegung?

§ Gibt es Grenzwerte für c_u (Gültigkeit eines Ansatzes)?

§ Wirkung auf Pfahlgruppen?

Quelle: J. Bauer (2016): Seitendruck auf Pfahlgründungen in bindigen Böden infolge quer zur Pfahlachse wirkender Bodenverschiebungen. Schriftenreihe Geotechnik, Universität Kassel, Heft 26

Knicken in weichen Böden



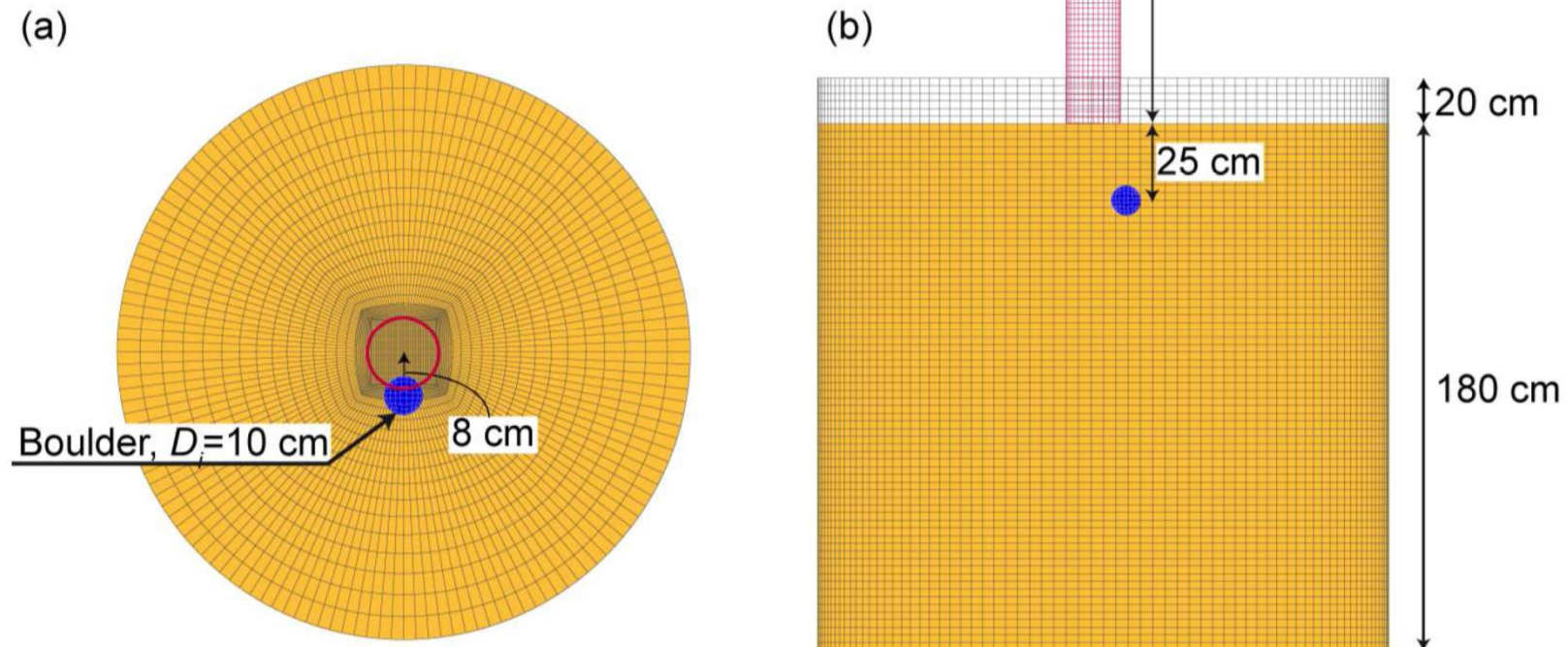
- § **Verzeigungslast eines schlanken Pfahls abhängig vom seitlichen Stützdruck (Bettung)**
- § **Mobilisierte Bettung verschiebungsabhängig**
- § **Bettung abhängig von Bodenkenngrößen**
 - § Undrained Shear Strength
 - § Wassergehalt (Konsistenz)
 - § Viskosität

Quelle: N. Vogt u.a. (2005): *Knicken von schlanken Pfählen in weichen Böden*. Bautechnik 82, Heft 12, S. 889-901

- § **Großes Einsparpotential durch geringere Wandstärken von Offshore-Monopiles**
- § **Während der Installation Risiko von großen Verformungen des Pfahls im Boden (Pfahlfußbeulen)**
- § **Mögliche Einflussfaktoren**
 - § Geometrische Imperfektionen (z.B. Ovalisierung) des Pfahls
 - § Heterogenitäten (z.B. Findlinge) im Boden
 - § Seitliche Bettung des Pfahls im Boden
- § **Umfassende Rechenmodelle oder Bemessungsansätze fehlen**

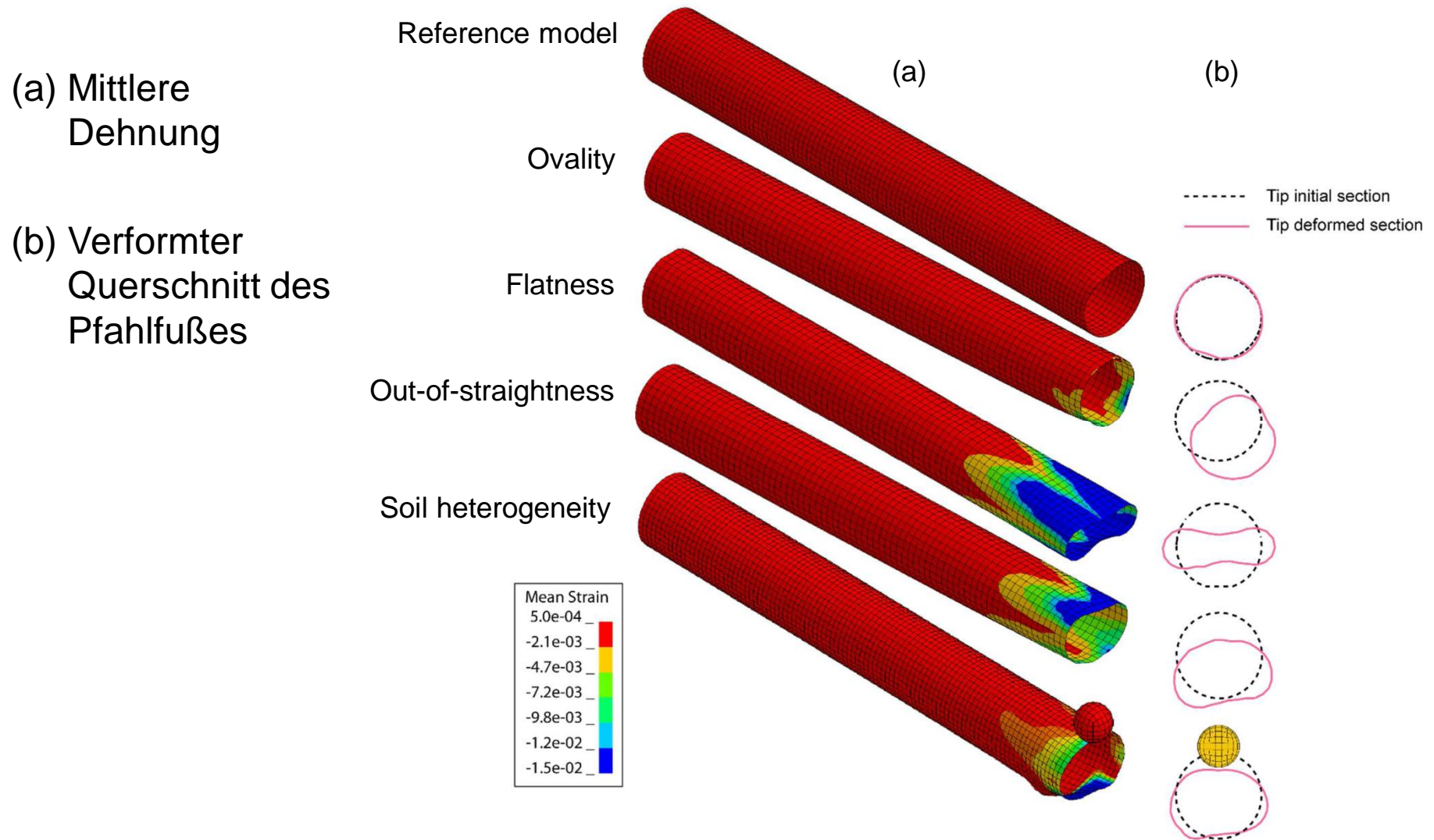
Pfahlfußbeulen: Numerische Simulation

MMALE Rechenmodell und Materialzonen



Quelle: M. Bakroon u.a. (2019): Numerical evaluation of buckling in steel pipe piles during vibratory installation. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 122, S. 327-336

Pfahlfußbeulen: Einflussfaktoren



Quelle: M. Bakroon u.a. (2019): Numerical evaluation of buckling in steel pipe piles during vibratory installation. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 122, S. 327-336

Festwachsen (Set-Up)

§ **Standzeitabhängige Zunahme der Tragfähigkeit von gerammtten Pfählen**

§ **Bindige und nichtbindige Böden**

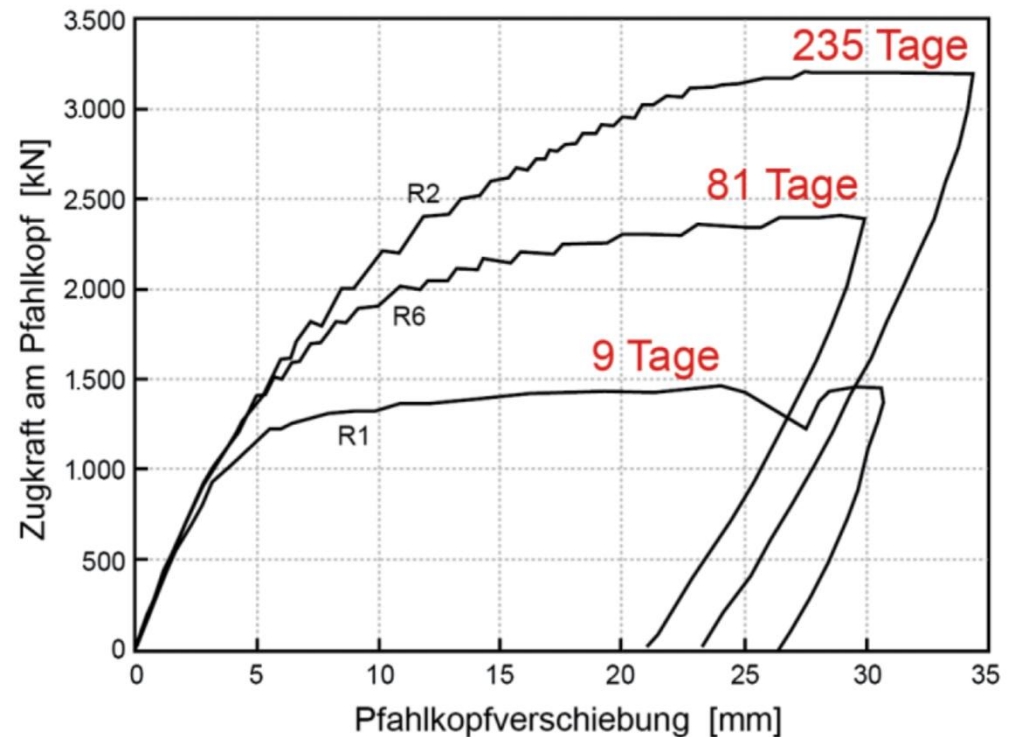
§ **Praktische Relevanz, aber schwer quantifizierbar**

§ **Mögliche Einflussfaktoren**

§ Konsolidierung bzw. Abbau Porenwasserdruck

§ Veränderungen im Korngerüst (Gewölbewirkung, Zementierung)

§ Korrosion Pfahlmantel



Quellen: R. J. Jardine u.a. (2006): *Some observations of the effects of time on the capacity of piles driven in sand*. Géotechnique 56, Heft 4, S. 227-244

W. Rücker u.a. (2012): *Großversuche an Rammpfählen zur Ermittlung der Tragfähigkeit unter zyklischer Belastung und Standzeit*. Geotechnik 36, Heft 2, S. 77-89

Gliederung



- § Einleitung
- § Einflüsse aus der Pfahlherstellung
- § Pfahltragverhalten
- § **Dynamische Pfahlprüfung**
- § Schlussfolgerungen und Ausblick

Qualitätskontrolle während und nach der Pfahlherstellung

- § Baubegleitende Maßnahmen (Dokumentation und Überwachung der Herstellung)
- § Maßnahmen nach der Herstellung (**Pfahlprüfungen**)

Pfahlprüfverfahren - Übersicht

Statisch

Tragfähigkeit
(last- und
weggesteuert)

Dynamisch

Tragfähigkeit („high strain“)
Integrität („low strain“)

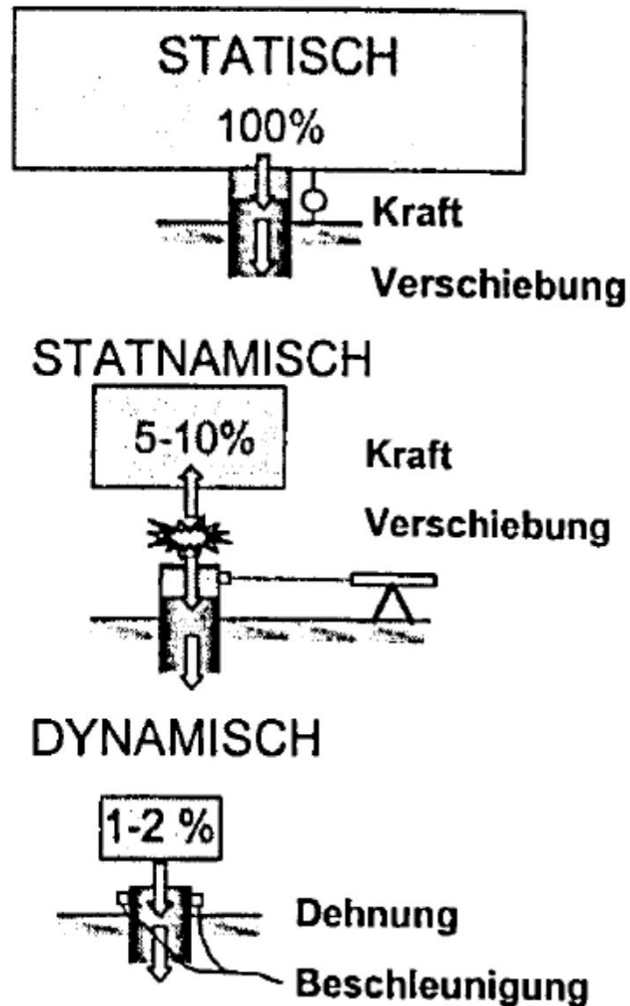
Sonderformen

Tragfähigkeit
- rapid load tests
(statnamisch)

Normung, Richtlinien

Angaben in EA Pfähle und EC7-1/DIN1054
sowie in jeweiligen Pfahlnormen

Messgrößen und erforderliche Massen im Vergleich



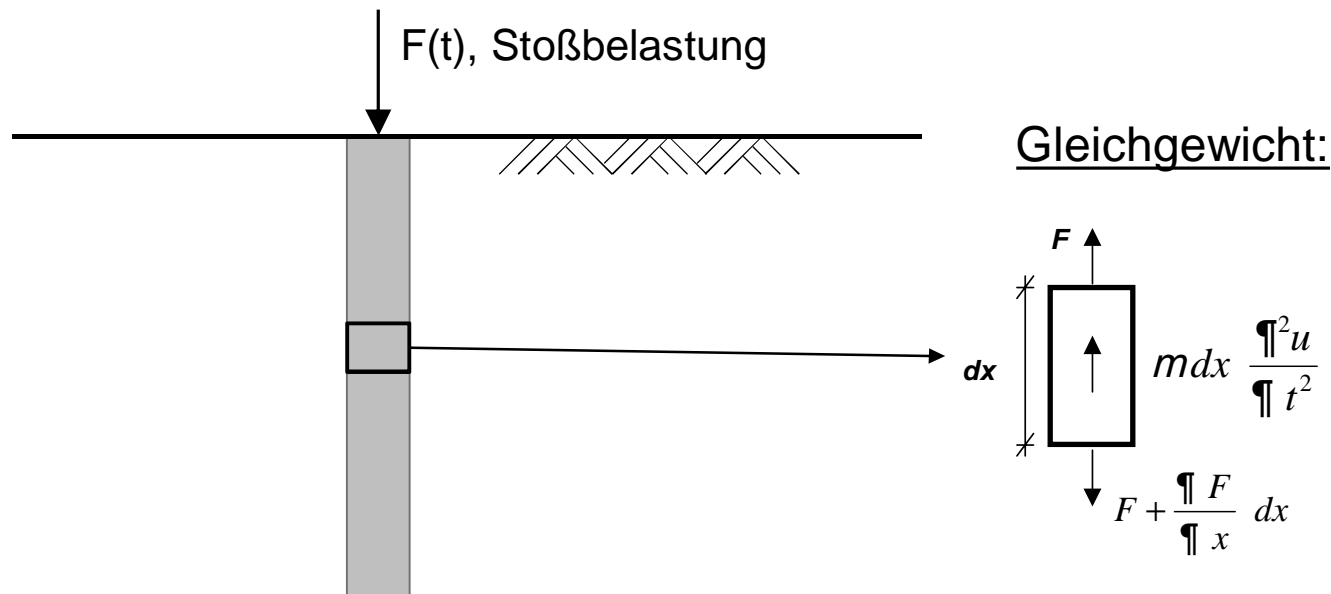
- § Ermittlung der Messgrößen bei allen Verfahren am Pfahlkopf
 - § wesentlicher Unterschied: Größe der erforderlichen Kräfte (Massen)
- ➔ zeitlicher und wirtschaftlicher Aufwand

Quelle: J. Stahlmann u.a. (2004). Pfahltests – modern dynamisch und/oder konservativ statisch? 4.Kolloquium TA Esslingen: Bauen in Boden und Fels, H.Schad (Hrsg.), S. 23-40

Dynamische Pfahlprüfung

Theoretische Grundlagen

Wellenausbreitungsvorgänge im 3D-Halbraum:



Reduktion auf 1D-Modell: 1D-Wellengleichung

$$c_0^2 \times \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 u}{\partial t^2}$$

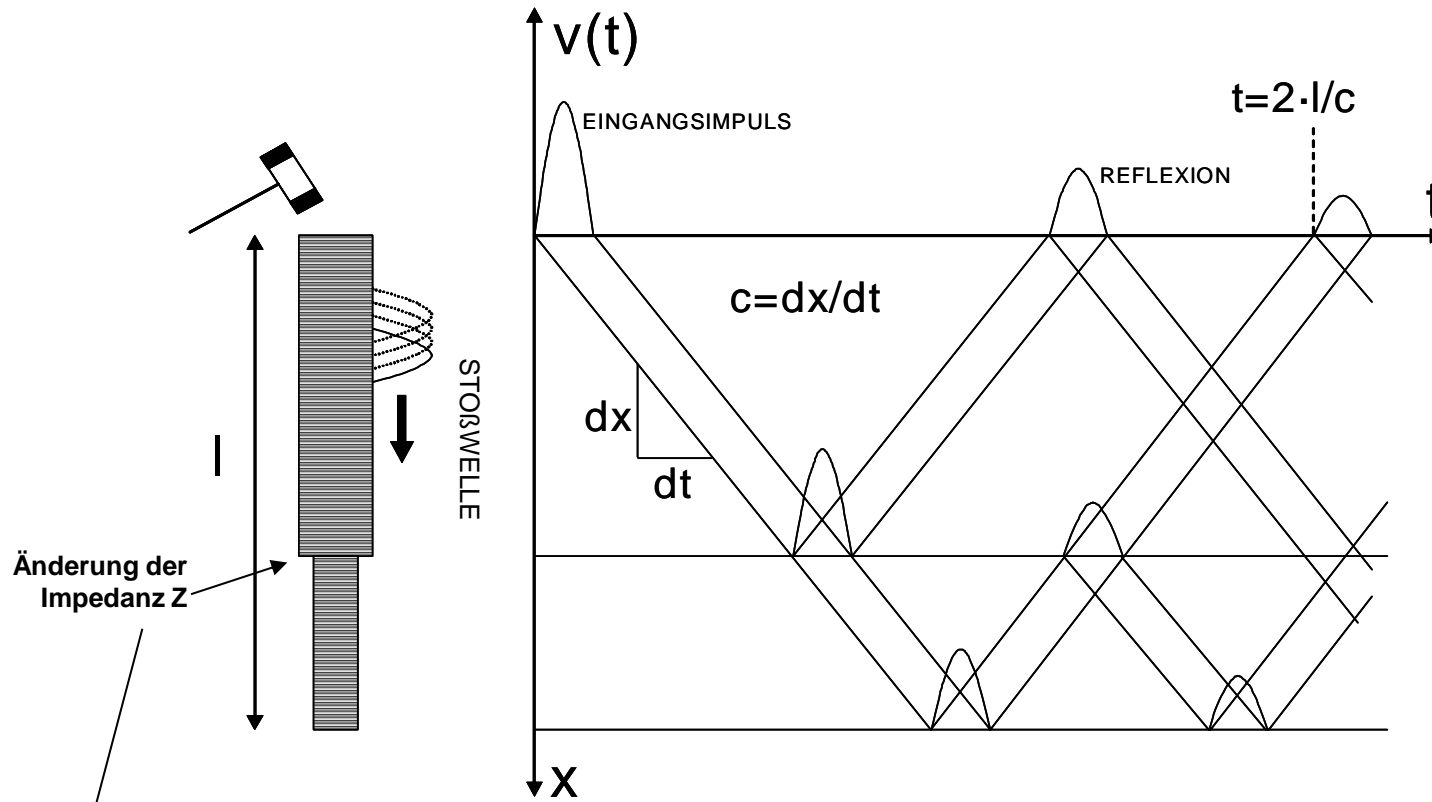
Ausbreitungsgeschwindigkeit: $c_0 = \sqrt{\frac{E}{r}}$

Quelle: J. Stahlmann u.a. (2004). Pfahltests – modern dynamisch und/oder konservativ statisch? 4.Kolloquium TA Esslingen: Bauen in Boden und Fels, H.Schad (Hrsg.), S. 23-40

Dynamische Pfahlprüfung - Integrität



„Low-strain“ Integritätsprüfung – Prinzip



Änderung der Impedanz Z

$$Z = A\sqrt{Er} = \frac{EA}{c_D}$$

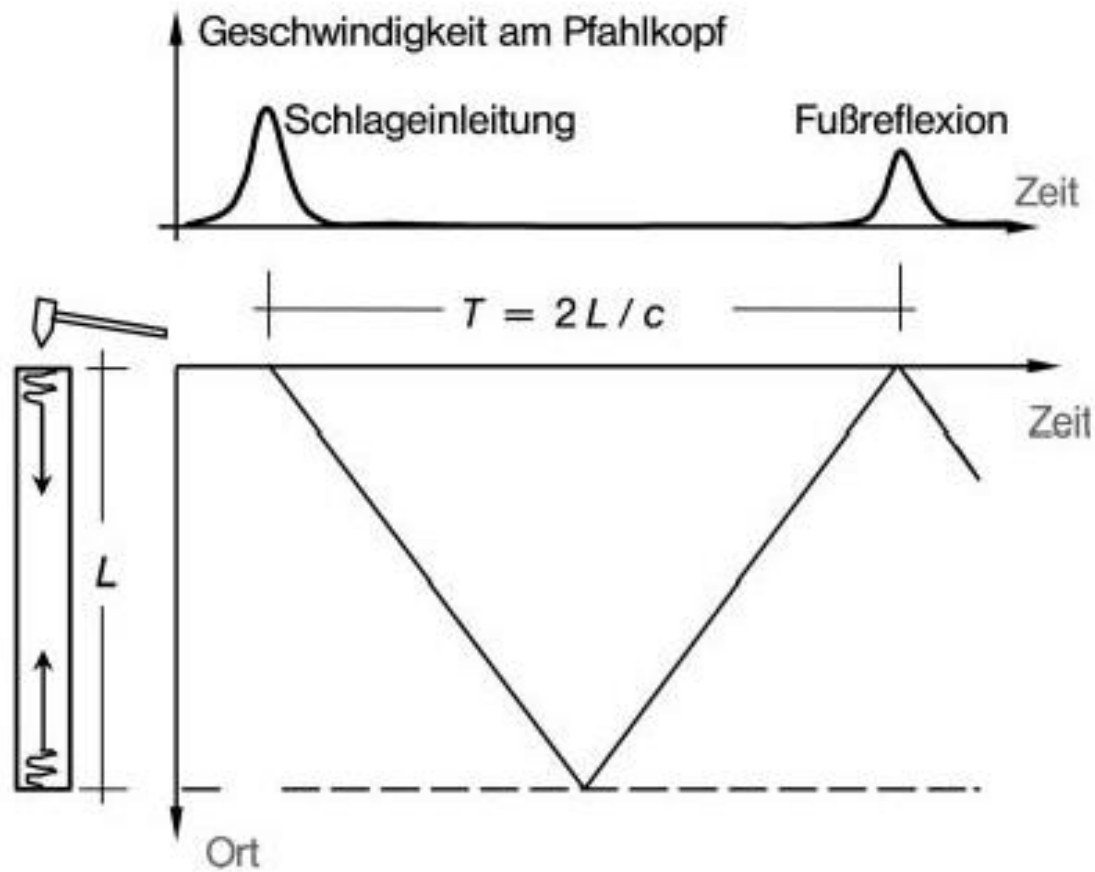
Änderung der Steifigkeit E

Änderung der Querschnittsfläche A

Quelle: J. Stahlmann u.a. (2004). Pfahltests – modern dynamisch und/oder konservativ statisch? 4.Kolloquium TA Esslingen: Bauen in Boden und Fels, H.Schad (Hrsg.), S. 23-40

Dynamische Pfahlprüfung - Integrität

„Low-strain“ Integritätsprüfung – Prinzip



$$t_{\text{gemessen}} = 2 \times L_{\text{vorhanden}} / c_{D, \text{geschätzt}}$$

$$L_{\text{vorhanden}} = c_{D, \text{geschätzt}} \times t_{\text{gemessen}} / 2$$

Quelle: EA Pfähle, 2. Aufl.
(2012), DGGT

Signalinterpretation – Einteilung in Ergebnisklassen (EA Pfähle)

Ergebnisklasse A1:

Die Messung zeigt keine Impedanzänderung.
Es sind keine qualitätsrelevanten Auffälligkeiten vorhanden.

Ergebnisklasse 0:

Das Messsignal ist nicht auswertbar.

Ergebnisklasse A2:

Die Messung zeigt keine Impedanzminderung.
Es sind keine qualitätsmindernden Auffälligkeiten vorhanden.

Ergebnisklasse A3:

Die Messung zeigt unvollständigen Wellendurchgang aufgrund einer geringen unplanmäßigen Impedanzabnahme (Impedanzabnahme max. 25%)
Die Auffälligkeiten sind möglicherweise qualitätsrelevant.

Ergebnisklasse B:

Das Signal zeigt einen unvollständigen Wellendurchgang aufgrund einer unplanmäßigen **deutlichen** Impedanzabnahme oder einer unterbrochenen Betonsäule an.
Die Messung weist auf einen erheblichen Mangel in der Pfahlbeschaffenheit hin.

Dynamische Pfahlprüfung - Integrität



Möglichkeiten:

Erkennen von

- § Fehlstellen entlang des Pfahlschaftes,
- § Scherflächen,
- § Querschnittsänderungen,
- § Längenabweichungen und
- § Zonen mangelhafter Betonqualität

Grenzen:

- § Bestimmung von Bewehrungslängen ist NICHT möglich,
- § Kontrolle von Bohrpfahlwänden oder Schlitzwänden und Spundwänden
- § Verbauträger
- § Mikropfählen (z.B. Gewi-Pfähle)
- § Aussagen zum Tragverhalten

Optimal:

Ortbetonpfähle in nichtbindigen Böden
Verhältnis D / L größer als 1:30
Länge von 5 m bis 20 m

Quelle: J. Stahlmann u.a. (2004). Pfahltests – modern dynamisch und/oder konservativ statisch? 4.Kolloquium TA Esslingen: Bauen in Boden und Fels, H.Schad (Hrsg.), S. 23-40

Möglichkeiten:

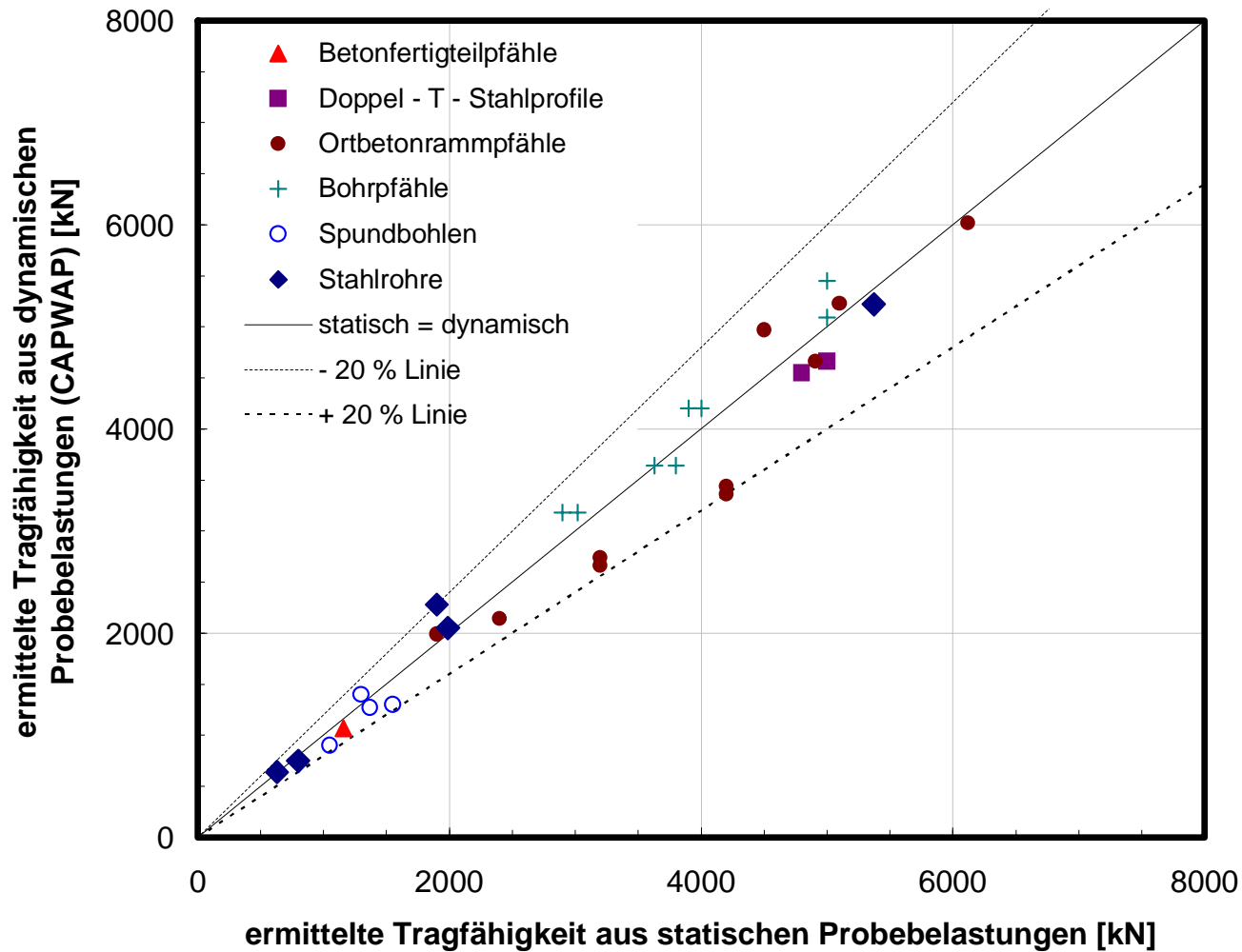
- § Ortbetonpfähle
- § Fertigteilpfähle
- § Stahlprofile
- § Stahlrohre
- § Doppelte Spundwandbohlen
einzeln, nicht im Verbund
- § Holzpfähle

Grenzen:

- § Großbohrpfähle mit Durchmessern
> 1,50 m und großen Längen
- § Aussagen zur Grenztragfähigkeit
abhängig von erreichter Verschiebung
je Prüfschlag (Anpassung der
Fallmasse)
- § unbewehrte Pfähle und ähnliche
Gründungskörper (vermörtelte
Stopfsäulen, ...)
- § Pfahlneigung

*Quelle: J. Stahlmann u.a.
(2004). Pfahltests –
modern dynamisch
und/oder konservativ
statisch? 4.Kolloquium TA
Esslingen: Bauen in
Boden und Fels, H.Schad
(Hrsg.), S. 23-40*

Gegenüberstellung: CAPWAP-Verfahren – statische Probelastung



Quelle: J. Stahlmann u.a. (2004). Pfahltests – modern dynamisch und/oder konservativ statisch? 4.Kolloquium TA Esslingen: Bauen in Boden und Fels, H.Schad (Hrsg.), S. 23-40

Gliederung



- § Einleitung
- § Einflüsse aus der Pfahlherstellung
- § Pfahltragverhalten
- § Dynamische Pfahlprüfung
- § **Schlussfolgerungen und Ausblick**

- § **Pfahlgründungen erscheinen oft simpel, sind aber im Zusammenspiel von verschiedenen Pfahlarten, Herstellungsverfahren, Baugrundsituationen und Belastungen hoch komplexe Gründungen**
à weitere Forschung nötig!

- § **Forschungsarbeiten sollten experimentelle (verschiedene Maßstäbe) und numerische Untersuchungen verknüpfen und nach Möglichkeit einfache Ingenieurmodelle daraus ableiten**

- § **Validierung und Erprobung neuer Forschungsansätze in der Praxis und anschließende Überführung in technische Regelwerke (EA Pfähle etc.)**

- § D. Aubram (2013): An Arbitrary Lagrangian-Eulerian Method for Penetration into Sand at Finite Deformation. Veröffentlichungen des Grundbauinstitutes der Technischen Universität Berlin, Heft 62, Shaker, Aachen
- § F. Rackwitz (2020): Possibilities and Limitations of ALE Large Deformations Analyses in Geotechnical Engineering. In: Th. Triantafyllidis (Ed.): Recent Developments of Soil Mechanics and Geotechnics in Theory and Practice, LNACM 91, Springer, Cham, pp. 97-112.
- § M. Bakroon, R. Daryaei, D. Aubram, F. Rackwitz (2018): Multi-material arbitrary Lagrangian-Eulerian and coupled Eulerian-Lagrangian methods for large deformation geotechnical problems. In A. S. Cardoso u.a. (Hrsg.): Numerical Methods in Geotechnical Engineering (NUMGE) IX, CRC Press, London, S. 673-681
- § D. Aubram, F. Rackwitz, P. Wriggers, S. A. Savidis (2015): An ALE method for penetration into sand utilizing optimization-based mesh motion. Computers and Geotechnics 65, S. 241-249
- § F. Remspecher, V. H. Le, F. Rackwitz, V. Herwig und B. Matlock (2018): Vibratory driven installation of monopiles – An experimental investigation of the soil-pile interaction. Proceedings of the 1st Vietnam Symposium on Advances in Offshore Engineering. VSOE 2018, Singapore, Springer, S. 171-176
- § S. Thomas (2011): Zum Pfahltragverhalten unter zyklisch axialer Belastung. Schriftenreihe Geotechnik, Universität Kassel, Heft 25
- § J. Bauer (2016): Seitendruck auf Pfahlgründungen in bindigen Böden infolge quer zur Pfahlachse wirkender Bodenverschiebungen. Schriftenreihe Geotechnik, Universität Kassel, Heft 26
- § N. Vogt, S. Vogt, Ch. Kellner (2005): Knicken von schlanken Pfählen in weichen Böden. Bautechnik 82, Heft 12, S. 889-901

- § M. Bakroon, R. Daryaei, D. Aubram, F. Rackwitz (2019): Numerical evaluation of buckling in steel pipe piles during vibratory installation. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 122, S. 327-336
- § R. J. Jardine, J. R. Standing, F. C. Chow (2006): Some observations of the effects of time on the capacity of piles driven in sand. *Géotechnique* 56, Heft 4, S. 227-244
- § W. Rücker, K. Karabeliov, P. Cuéllar, M. Baeßler, S. Georgi (2012): Großversuche an Rammpfählen zur Ermittlung der Tragfähigkeit unter zyklischer Belastung und Standzeit. *Geotechnik* 36, Heft 2, S. 77-89
- § Doherty, J. P. & Muir Wood, D. (2013). An extended Mohr–Coulomb (EMC) model for predicting the settlement of shallow foundations on sand. *Géotechnique* 63, No. 8, 661–673.
- § Niemunis, A. & Herle, I. (1997). Hypoplastic model for cohesionless soils with elastic strain range. *Mechanics of Cohesive-Frictional Materials* 2 (1997), pp. 279-299.
- § Dafalias, Y. F. and Manzari, M. T. (2004). Simple plasticity sand model accounting for fabric change effects. *Journal of Engineering Mechanics*, Volume 130, No. 6, 622-634.
- § Carow, C., Rackwitz, F., Savidis, S. (2017). Über ein elastoplastisches Stoffgesetz für zyklisch beanspruchten Sand. *Bautechnik* 94(9). DOI: 10.1002 / bate.201700042.
- § Kolymbas, D. (2015) Introduction to barodesy, *Géotechnique* 65(13): 52–65.
- § Schofield, A. and Wroth, P. (1968). *The Critical State Soil Mechanics*. McGraw Hill, London.
- § Mašín, D. (2014) Clay hypoplasticity model including stiffness anisotropy. *Géotechnique* 64(3): 232-238.

- § Niemunis, A., Grandas-Tavera, C.G. and Prada-Sarmiento, L.F. (2009). Anisotropic Visco-Hypoplasticity. Acta Geotechnica, Vol. 4, pp.293-314.
- § Niemunis, A., Wichtmann, T., Triantafyllidis, T. (2005). A high-cycle accumulation model for sand. Computers and Geotechnics 32, Nr. 4, pp. 245-263.
- § Wichtmann, T. (2016). Soil behavior under cyclic loading – experimental observations, constitutive description and applications. Veröffentlichung des Institutes für Bodenmechanik und Felsmechanik am Karlsruhe Institut für Technologie (KIT), Habilitationsschrift.
- § M. Ashour u.a. (2004). Lateral behavior of pile groups in layered soils. In: J.Geotech.Geoenviro.Eng.130(6): S. 580-592
- § D.A. Brown u.a. (1988). Lateral load behavior of pile group in sand. In: J.Geotech.Engrg.114(11): S. 1261-1276
- § DGGT (Hrsg.) (2012). Empfehlungen des Arbeitskreises Pfähle. 2.Aufl., Ernst & Sohn
- § EC7-1:2014-03 / DIN 1054:2010-12
- § A.B. Fadeev u.a. (1984). The behaviour of piles and pile-groups under vertical loading. In: Proc. 6th Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Budapest. G. Petrasovits (Hrsg.). S. 351-358
- § KPP-Richtlinie. (2002), J.Hanisch, R.Katzenbach, G.König (Hrsg.), Ernst & Sohn
- § J. Quarg-Vonscheidt und B.Walz (2002). Die Grenztragfähigkeit von Zugpfählen und Zugpfahlgruppen in Sand. In: Bautechnik 79(1): S. 42-47

Quellenangaben



- § F. Rackwitz und S. Savidis (2004). Numerische Untersuchungen zum Tragverhalten von Zugpfählen in Berliner Sand. In: Der Bauingenieur 79(9): S. 375-383
- § J. Stahlmann u.a. (2004). Pfahltests – modern dynamisch und/oder konservativ statisch? 4.Kolloquium TA Esslingen: Bauen in Boden und Fels, H.Schad (Hrsg.), S. 23-40

**Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit**