

Gründung / Nachgründung



Rückverankerung



Hangsicherung



## Mikropfähle TITAN

**Eine Innovation setzt sich durch.**  
Entwurf, Bemessung und Ausführung.

Allgemeine bauaufsichtliche  
Zulassung Z-34.14-209



**Gründung /  
Nachgründung**

Auftriebssicherung mit  
Mikropfählen TITAN 40/20  
Kulturhaus Westerhaar,  
Niederlande



**Rückverankerung**

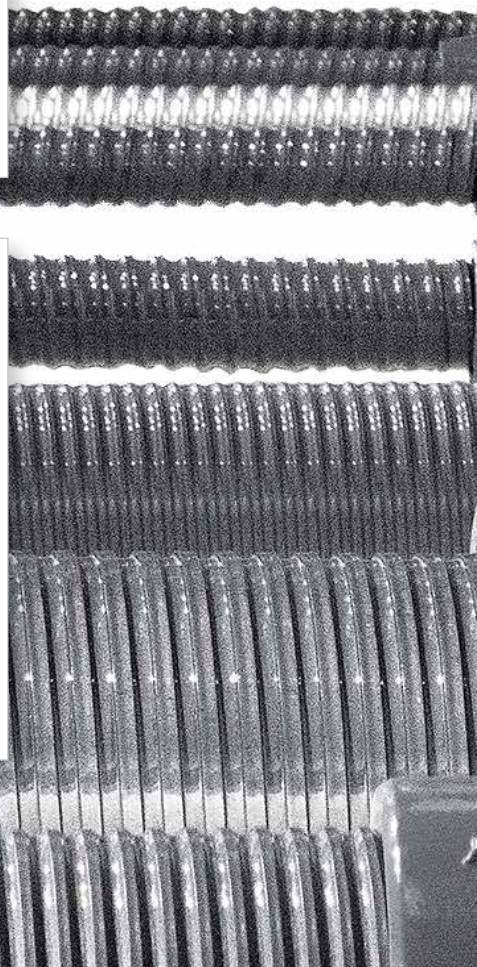
Baugrubensicherung mit  
Mikropfählen TITAN  
Dresden, Deutschland



**Hangsicherung**

Mikropfähle TITAN 30/11  
zur Böschungssicherung,  
BV ARGE Teltowkanal Los 2  
Berlin, Deutschland

Bodennägel 12 m lang,  
Bohren mit Lafette an  
Teleskopkranausleger vom  
Ponton aus.



## Zu dieser Broschüre.

Mit dieser Broschüre erhalten Sie Basisinformationen zu unseren Mikropfählen TITAN mit detaillierten Erläuterungen zur Anwendungstechnik.

Mikropfähle werden in der Geotechnik vielfältig für die Einleitung von Zug- und/oder Druckbelastungen in den Baugrund angewendet:

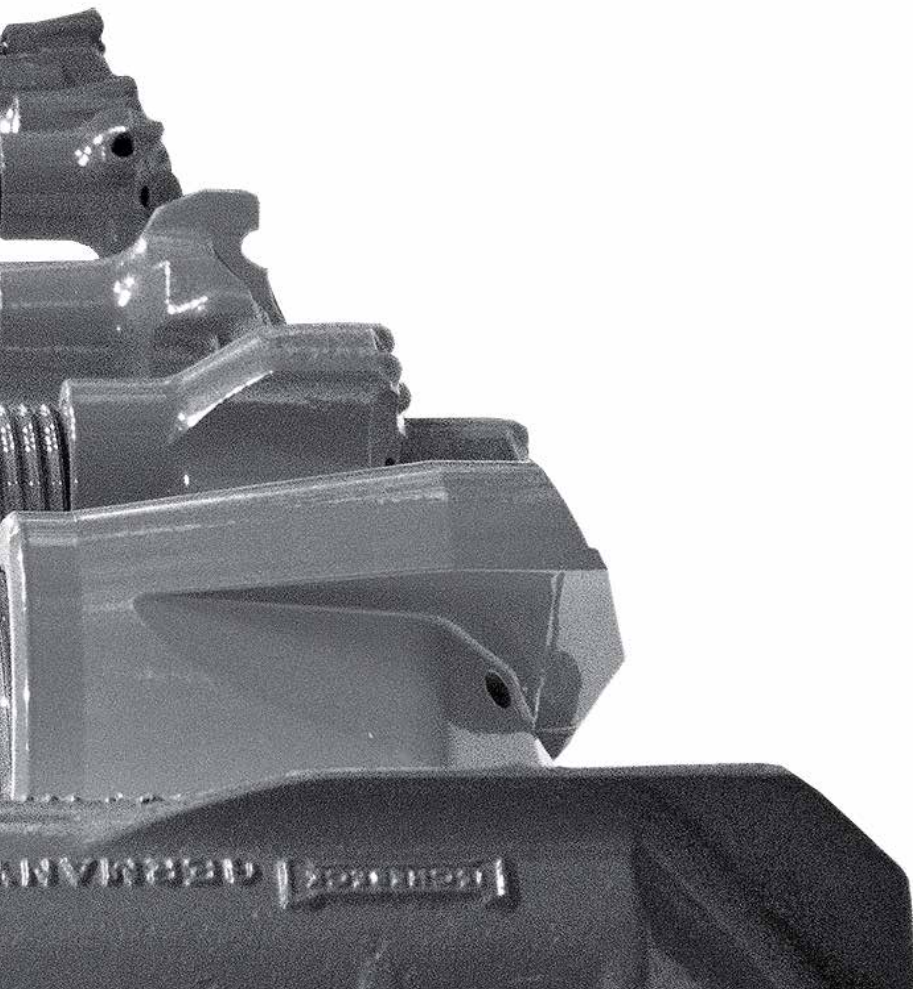
- Gründungen und Nachgründungen
- Rückverankerte Stützkonstruktionen
- Hang- und Böschungssicherungen
- Auftriebssicherungen (auch Wechselbeanspruchung)

Das Kapitel „Bemessungshilfen“ mit Bemessungsbeispielen gibt einen Überblick über die nach Bemessungsnorm erforderlichen Nachweise.

Der Anhang dokumentiert eine Reihe von Grundsatzversuchen und eine tabellarische Gesamtübersicht aller lieferbaren Systembauteile.

Detaillierte Informationen zu den verschiedenen Anwendungsmöglichkeiten des Mikropfahls TITAN finden Sie in den Anwendungsbroschüren von ISCHEBECK, im Internet unter [www.ischebeck.de](http://www.ischebeck.de) oder bei Ihrem Ansprechpartner.

1.	Leitbild	4
2.	Einsatzspektrum	6
3.	Mikropfahl TITAN im Detail	8
3.1	Stahltragglied mit drei Funktionen	8
3.2	Einweg-Bohrkronen	10
3.3	Kopplungsmuffe	11
3.4	Abstandhalter	11
3.5	Pfahlkopfvarianten	11
4.	Verfahrenstechnik	12
4.1	In zwei Schritten zur Verankerung	12
4.2	Ergebnis	14
5.	Gerätetechnik	16
6.	Bemessungshilfen	20
6.1	Bemessung Mikropfahl TITAN	20
6.1.1	Nachweis der inneren Tragfähigkeit	21
6.1.2	Nachweis der äußeren Tragfähigkeit	22
6.1.3	Knicksicherheitsnachweis (Druckpfähle)	24
6.1.4	Gebrauchstauglichkeitsnachweis	26
6.2	Bemessungsbeispiele	28
6.3	Nachweis der Dauerhaftigkeit (Korrosionsschutz)	32
6.4	Ermittlung der theoretisch benötigten Zementmenge	34
7.	Anhang	36
7.1	Nachweise und Grundsatzversuche	36
7.1.1	Richtungsstabilität	36
7.1.2	Lastabtrag	37
7.1.3	Verpresskörperdurchmesser	38
7.1.4	Verbundverhalten Rissweiten	39
7.1.5	Die Bohrlochaufweitung	40
7.2	Übersicht Normen	42
7.3	Technische Daten	43

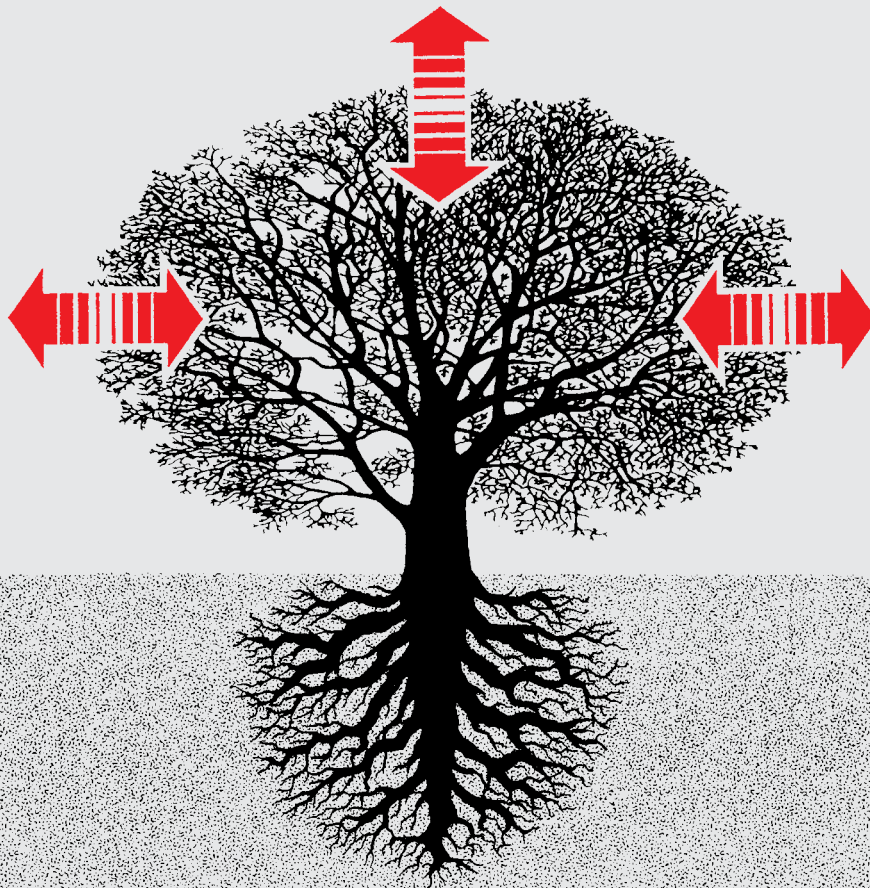


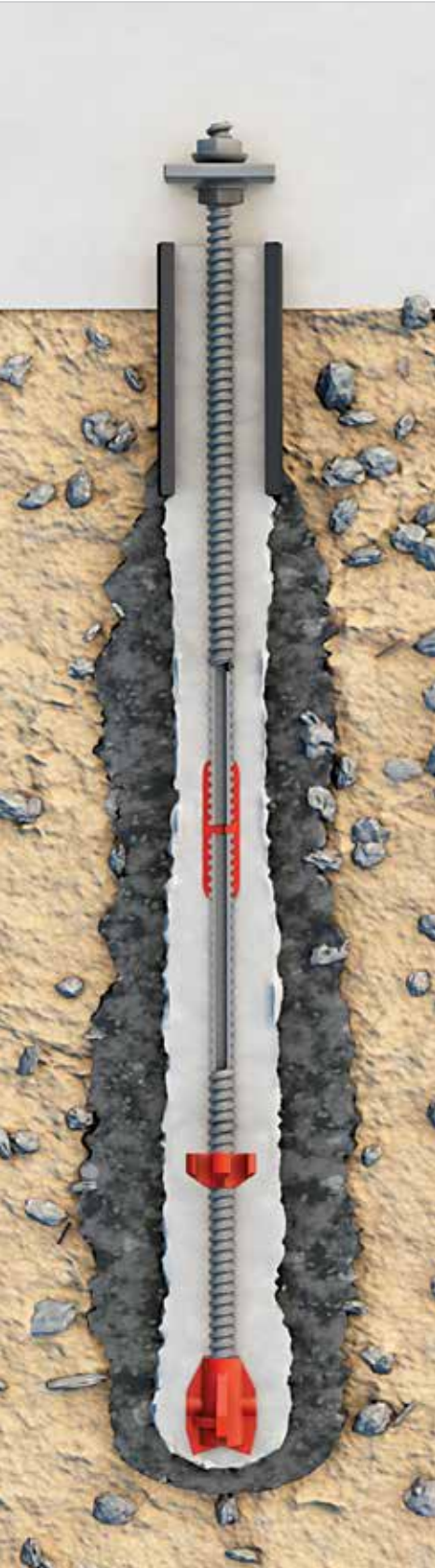
# 1. Leitbild

## Die Wurzeln eines Baumes – ein Leitbild.

Das Bild eines mächtigen Baumes hat uns geleitet. Er hat ein Netzwerk von großen und kleinen Wurzeln, die ihn stützen und ihn so im Boden verankern, ohne ein Betonfundament. Die Wurzeln tragen auf den Baum wirkende vertikale und horizontale, statische und dynamische Kräfte, sowie Momente und Stöße in den Boden ab. Der Baum widersteht so Wind, Schnee und Erdbeben. Die Wurzeln verzahnen sich mit dem Boden und binden ihn dadurch zu einem Monolithen (Wurzelballen) zusammen.

So entsteht ein Verbundbaustoff (Composite). Die Wurzeln wachsen mit dem Baum nach einem uns bisher weitgehend unbekanntem „Bemessungssystem“. Vom Baum lernen wir, mit dem Boden zu bauen, sparsam mit ihm umzugehen, den Boden zu verbessern und zu bewehren. Diesen neuen Gedanken in der Gründungstechnik erkannte Dr. F. Lizzi bereits 1952 und nannte seine Mikropfähle „Wurzelpfähle“ (Pali Radice).





### Mikropfahl TITAN – unser System.

Die DIN EN 14199 unterscheidet bei gebohrten Systemen Ortbetonpfähle (Mikropfähle mit einem durchgehenden Bewehrungskorb) und Verbundpfähle (Mikropfähle mit durchgehendem Tragglied). Für Verbundpfähle ist für das gesamte System eine Zulassung erforderlich.

Die EA-Pfähle (Empfehlungen Arbeitskreis Pfähle) unterteilt die Verbundpfähle in verpresste Einstabpfähle und Rohrverpresspfähle, bei denen das Tragglied direkt mit einer verlorenen Bohrkronen und einer Zementspülung eingebohrt wird (= System Ischebeck TITAN).

Das beim Mikropfahl TITAN verwendete Tragglied ist ein Stahlrohr mit einer Profilierung in Anlehnung an die DIN 488, das gleichermaßen als verlorene Bohrstange, als Injektionsrohr und als Bewehrungsstab dient (3-in-1).

Entgegen den früher nach DIN 4128 bekannten Verfahren, das Bohrloch in z. B. Lockerböden oder Felsersatz durch ein Bohrrohr (Verrohrung/Casing) gegen Einfallen zu sichern, wird bei dem System Ischebeck TITAN entsprechend der DIN EN 14199 und der DIN 18301 „Bohrarbeiten“ die Bohrlochwandung durch Stützflüssigkeit (Zementsuspension) stabilisiert – eine zusätzliche Verrohrung ist dann nicht mehr erforderlich. Es können so Arbeitsschritte im Bohrloch eingespart werden, was in vielen Fällen zu einer höheren Einbauleistung gegenüber verrohrt gebohrten Systemen führt.

Ein weiterer Vorteil des direkten Bohrens und gleichzeitigem Spülen/Verpressen mit Zementsuspension (dynamisches Verpressen) gegenüber einer Verrohrung ist eine formschlüssige Verzahnung des Verpresskörpers mit dem Boden. Durch diesen erhöhten Scherverbund können höhere Tragfähigkeiten erreicht bzw. Setzungen reduziert werden. Die Pfahlkopfverschiebungen liegen i.d.R. im Millimeterbereich. Somit können Mikropfähle TITAN, unter Berücksichtigung des Lasteinleitungsbildes, eine gleichwertige und preiswerte Alternative zu vorgespannten Dauerankern nach DIN EN 1537 sein.

Der Mikropfahl TITAN ist ein Rohrverpresspfahl. Je nach Anwendung wird er jedoch auch Verpresspfahl, Verbundpfahl, Ankerpfahl oder Bodennagel genannt.

Formschlüssige Verzahnung des Verpresskörpers mit dem Boden




---

Mikropfähle TITAN nach DIN EN 14199 (+ DIN SPEC 18539)\* sind in Deutschland über die allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Z-34.14-209 vom Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt) geregelt.

---

\* Im Folgenden ist mit DIN EN 14199 gleichzeitig auch die nationale Ergänzung DIN SPEC 18539 mit ihren Vorgaben und Regelungen gemeint.

## 2. Einsatzspektrum

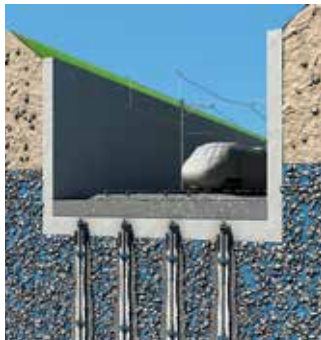
### Mikropfahl

für Gründungen/  
Nachgründungen



Mikropfahl TITAN nach DIN EN 14199 für Gründungen/Nachgründungen. Zum Lastabtrag von Druck- und Zuglasten in tieferliegende, tragfähige Bodenschichten.

- Neubauten
- Umnutzung älterer Gebäude
- Nach Schadensfällen (z. B. Unterspülungen, etc.)
- Auftriebssicherungen



### Mikropfahl

für Rückverankerungen



Mikropfahl TITAN nach DIN EN 14199 für Rückverankerungen. Zum Lastabtrag von Zuglasten in tieferliegende, tragfähige Bodenschichten.

- Baugruben
- Spundwandrückverankerungen
- Stützmaerverankerungen
- temporär und permanent
- als Alternative zu vorgespannten Litzenankern



### Bodennagel



Mikropfahl TITAN als Bodennagel (Bodenbewehrung) nach DIN EN 14490 für die Aufnahme von Zugkräften im Boden, die dieser nicht aufnehmen kann.

- Hangsicherungen
- Böschungssicherungen
- bewehrte Erde
- Befestigungen von Schutznetzen

> weitere Informationen zu den Einsatzgebieten des Mikropfahls TITAN finden Sie in den Anwendungsbroschüren von Ischebeck oder im Internet unter [www.ischebeck.de](http://www.ischebeck.de)

## Tunnelbau



Mikropfahl TITAN im Tunnelbau.

- Kalottenfußpfähle
- Bodenvernagelung der Voreinschnitte
- Bodenvernagelung der Anschlagwand
- Verbundschirm
- Selbstbohrspieße
- Selbstbohranker
- IQ-Anker, mit Spezialharz eingeklebt

## Sonderanwendungen



- Drill Drain  
Mikropfahl TITAN als horizontale Drainage mit speziellem, durchlässigen Verpresskörper zur sicheren und gezielten Hangentwässerung
- Monojet  
Mikropfahl TITAN verwendet nach "Jet-grouting-Prinzip" mit bis zu 240 bar
- Geothermie  
Mikropfahl TITAN als kombinierter Tragwerks- und Geothermiepfahl



### Vorteile in der Planung

- Zugelassenes System
- Schnelle und sichere Planung
- Vielseitig im Einsatz – auch bei schwierigen Randbedingungen
- Einsetzbar in allen Bodenarten

### Vorteile in der Ausführung

- Einheitliches Verfahren unabhängig von der Anwendung
- Einsatz bei beengten Baustellenbedingungen
- Schneller Baufortschritt
- Unabhängig von wechselnden Böden
- Kein zusätzlicher Maschinenpark

### Vorteile für den Bauherrn

- Keine laufenden Kosten für Überwachungsprüfungen
- Dauerhafter Korrosionsschutz
- Hohe Ausführungssicherheit
- Kein großer Eingriff in den Bestand
- Wirtschaftliches System

## 3. Mikropfahl TITAN im Detail

### 3.1 Stahltragglied mit drei Funktionen

- Direktes Bohren ohne Verrohrung
- weniger Arbeitsschritte = effizienteres Arbeiten
- hohe Ausführungssicherheit

Stahltragglied als  
- Bewehrungsstab

- Injektionsrohr

- Bohrstange



#### 3.1.1 Funktion Bewehrungsstab

Stahltragglied aus Feinkornbaustahl

##### Normung

Nach DIN EN 14199, Abschnitt 6.2.2 haben Tragglieder aus Stahl der EN 10080\* zu entsprechen. Für Selbstbohrsysteme kommen nahtlos gezogene Rohre nach DIN EN 10210 in Frage.

Eurocode 2 (DIN EN 1992) und DIN 488 teilen Bewehrungsstähle in drei bzw. zwei Klassen ein.

Für Klasse B wird folgendes gefordert:

- Streckgrenze  $f_{y,k}$ : 400-600 N/mm<sup>2</sup>
- Streckgrenzenverhältnis  $(f_t/f_{y,k})$  bzw.  $R_m/R_b \geq 1,08$
- Dehnung bei Höchstlast  $\epsilon_{uk}$  bzw.  $A_{gt} \geq 5,0 \%$

##### Feinkornbaustahl S 460 NH nach DIN EN 10210\*\*

Feinkornbaustahl kann im Vergleich zu normalen Baustählen bei gleichen Dimensionen höheren Belastungen standhalten. Daher kommt für den Bewehrungsstab ein zäher, duktiler Stahl mit einer hohen Kerbschlagzähigkeit zum Einsatz. Die Kerbschlagarbeit dieses Stahls liegt bei ca.  $W \geq 40$  Joule (bei  $-20$  °C) und damit deutlich über den Werten von typischem Baustahl und Spannstählen mit 27 bzw. 15 Joule (bei  $-20$  °C). Das bedeutet minimiertes Risiko einer Vorschädigung beim drehschlagenden Bohren. Nach dem drehschlagenden Einbau werden zudem alle Anforderungen an Betonstahl erfüllt! Der Feinkornbaustahl ist außerdem unempfindlich gegen Spannungsriss-Korrosion.

##### Duktilität – kein schlagartiges Versagen des Materials

Durch die hohe Duktilität reagiert der Stahl bei Überlastung mit einer großen Gleichmaßdehnung. Die Last bleibt konstant. Im Anwendungsfall treten somit bei möglicher Überlastung zunächst Verformungen auf, bevor das Bauteil versagt. Ein schlagartiges Versagen ist damit ausgeschlossen.

##### Dauerhaft korrosionsschutz

Ein dauerhafter Korrosionsschutz des Stahltraggliedes ist durch die Zementstein-Überdeckung/Verpresskörper gewährleistet (siehe Seite 32).

Durch folgende Zusatzmaßnahmen kann der Korrosionsschutz bei besonderen Beanspruchungen noch erhöht werden durch:

- Feuerverzinkung
- Duplex-Beschichtung
- Edelstahl (siehe 6.3, Nachweis Dauerhaftigkeit)

\* Anmerkung: Die EN 10080 ist in Deutschland baurechtlich nicht eingeführt, daher gilt nach DIN SPEC 18539 auch weiterhin die DIN 488 für Betonstahl.

\*\* DIN EN 10210: Warmgefertigte Hohlprofile für den Stahlbau aus unlegierten Baustählen und aus Feinkornbaustählen



### 3.1.2 Funktion Injektionsrohr

Stahltragglied als Rohr statt Vollstab

#### Keine zusätzliche Verrohrung = weniger Arbeit

Das Stahltragglied wird direkt dreh Schlagend bis auf Tiefe gebohrt. Durch die Stützflüssigkeit, die an der Bohrkronen austritt, wird das Bohrloch automatisch stabilisiert, eine zusätzliche Verrohrung entfällt. Die Arbeitsschritte Einführen des Stahltragglieds und das Ziehen der Verrohrung entfallen.

#### Sicheres Verfüllen = kein Nachverpressen

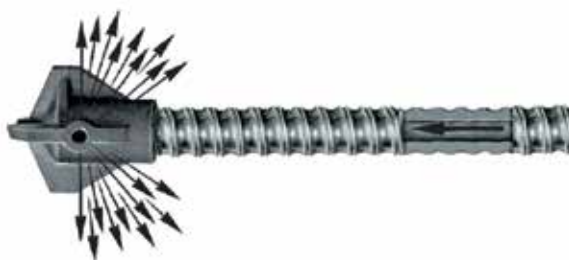
Das Stahltragglied wird für das Verfüllen des Bohrlochs vom Bohrloch tiefsten benutzt. Dies garantiert eine zwangsläufige, vollständige Füllung des Bohrlochs und aller möglichen Klüfte. Es werden keine zusätzlichen Schläuche zum Injizieren benötigt. Ein Nachverpressen entfällt.

#### Zusätzlicher Vorteil ist die statisch günstigere Querschnittsfläche

Ein Rohr ist bei gleicher Querschnittsfläche statisch günstiger als ein Vollstab hinsichtlich Knicken, Umfang (Verbundfläche) und Biegesteifigkeit. Bei gleicher Stahlmenge (Materialkosten) und gleicher Zug- und Druckkraft erhält man eine höhere Knick- und Biegestabilität.

Beispiel: Vergleich 50 mm Vollstab zum Rohr TITAN 73/53.

<p><math>\varnothing 50 \text{ mm}</math></p>	<p><math>\varnothing 73 \text{ mm}</math></p>
$A_{\text{Voll}} \approx 19,60 \text{ cm}^2$	$A_{\text{Rohr}} = A_{\text{eff}} \approx 16,15 \text{ cm}^2$ (s.S. 43)
$W_{\text{Voll}} \approx 12,3 \text{ cm}^3$	$W_{\text{Rohr}} \approx 22,2 \text{ cm}^3$
$I_{\text{Voll}} \approx 30,7 \text{ cm}^4$	$I_{\text{Rohr}} \approx 77,5 \text{ cm}^4$



### 3.1.3 Funktion Bohrstange

Stahltragglied mit TITAN-Gewinde\*

#### Durchlaufendes Gewinde für flexiblen Einsatz

Schnelle und individuelle Anpassung an die Baustellenbedingungen durch Kürzen der Stahltragglieder auf jede beliebige Länge bei beengten Platzverhältnissen oder beschränkter Einbauhöhe. Das durchlaufende Gewinde gewährleistet die Schraubbarkeit (Koppeln, Vorspannen, etc.) an jeder beliebigen Stelle.

#### Selbsthemmendes Gewinde

Die selbsthemmende Gewindesteigung erspart je zwei Kontermuttern pro Kopplungsmuffe.

#### Optimaler Scherverbund bei minimalen Rissweiten im Verpresskörper

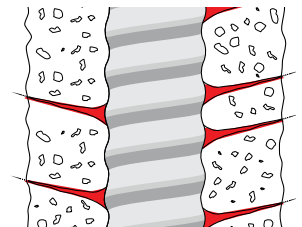
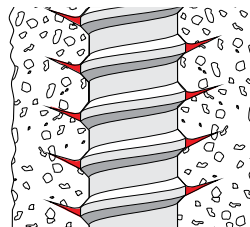
Der Scherverbund als wirkungsvollste und zuverlässigste Verbundart hängt maßgeblich von der Rippengeometrie ab. Das Maß für die bezogene Rippenfläche  $f_R$  dient dabei als Kennwert für die Verbundgüte. Für die TITAN-Gewinde ergibt sich eine sehr hohe bezogene Rippenfläche. Sie liegt bei  $f_R = 0,14$  bis  $f_R = 0,25$  und damit um ein Vielfaches höher als die bezogene Rippenfläche für Betonrippenstahl ( $f_R = 0,056$ ). Zusätzlich zum Verbund reduzieren die im Winkel von  $45^\circ$  geneigten Rippenflächen die Spaltkräfte. Die Rissweiten bei Höchstlast liegen unter den geforderten  $0,1 \text{ mm}$  für den Nachweis des dauerhaften Korrosionsschutzes – eine Rissweite, die von Bohrstangen mit Rundgewinde, z.B. R32 oder R38 (nach ISO 10208 und ISO 1720), nicht eingehalten werden kann.

TITAN-Gewinde\*

Mikrorisse ohne durchdringende Schädigung des Verpresskörpers

R-Gewinde

Wenige durchdringende Risse im Verpresskörper



Das spezielle TITAN-Gewinde garantiert einen sehr guten Scherverbund und minimiert die Gefahr von Längsrissen im Verpresskörper.



\* Das Gewinde entspricht in Form und Ausbildung Eurocode 2, DIN 488, DIN EN 10080 bzw. ASTM-A 615.

### 3. Mikropfahl TITAN im Detail

- für alle Bodentypen passende Bohrkronen verfügbar
- unvorhergesehene Bodenänderung beim Bohren bedarf in der Regel keiner Verfahrensänderung

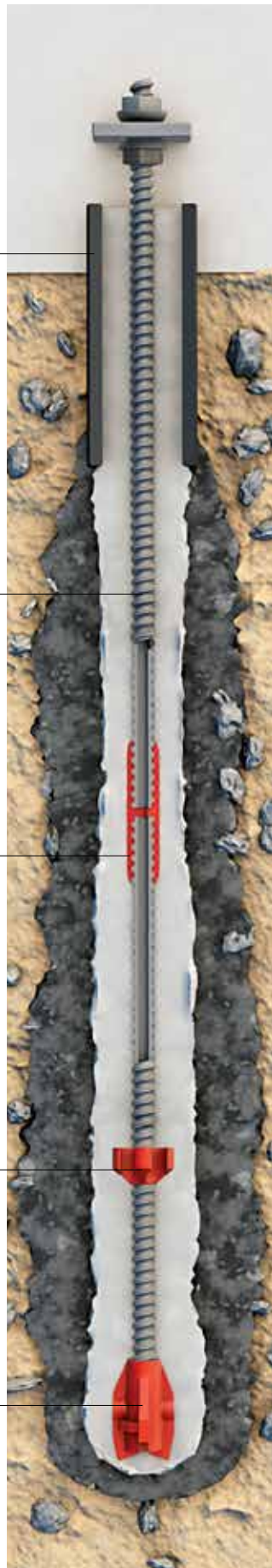
Übergangrohr  
Kunststoff PE-HD

Stahltragglied

Kopplungsmuffe

Abstandhalter

Bohrkrone



#### 3.2 Bohrkronen



##### **Lehmbohrkrone**

Lehm, sandig-bindiger Mischboden ohne Hindernisse < 50 S.P.T. <sup>1)</sup>



##### **Kreuzbohrkrone**

Dicht gelagerter Sand und Kies mit Hindernissen > 50 S.P.T. <sup>1)</sup>



##### **Warzenbohrkrone**

Verwitterter Fels<sup>2)</sup>, Phylit, Schiefer, Tonstein; Festigkeit < 70 MPa



##### **Hartmetall-Y-Stufenbohrkrone**

Dolomit, Granit, Sandstein; Festigkeit 70 - 150 mPa



##### **Hartmetall-Stiftbohrkrone**

Bewehrter Beton oder Fels<sup>2)</sup>, Vorkernen; Festigkeit > 70 MPa



##### **Hartmetall-Stufenbohrkrone:**

Für richtungsstabile Bohrungen bei Trennflächen im Boden

- Alle Bohrkronen mit Venturi-Spüllöchern.
- Fotos der Bohrkronen sind beispielhaft. Form und Farbe können abweichen.

<sup>1)</sup> S.P.T. Standard Penetration Test

<sup>2)</sup> Die Druckfestigkeit von Fels liegt wegen der praktisch immer vorhandenen Trennflächen deutlich unter der Gesteinsfestigkeit. Als Faustregel gilt: Die Druckfestigkeit von Fels kann mit 10 - 20 % der Gesteinsfestigkeit angenommen werden.

(Quelle: Prof. Dr. Kurosch Thuro, Lehrstuhl für Ingenieurgeologie, TU München).

### 3.3 Kopplungsmuffe

Verbindung ohne Kontermutter



Die Kopplungsmuffe erlaubt sowohl Wechselbelastungen als auch dynamische Lastwechsel. Dies ermöglicht der Mittelstopp (Stahlring mit Dichtung). Durch das Verspannen gegen den Mittelstopp wird außerdem eine optimale Übertragung der Schlagenergie während des Bohrvorganges erreicht. Eine zusätzliche Konterung mit Muttern, wie bei anderen Systemen, ist nach Zulassung nicht erforderlich.

### 3.4 Abstandhalter

Sicherstellung der Mindest-Zementstein-Überdeckung



Der mitlaufende Abstandhalter vor jeder Kopplungsmuffe (mind. alle 3 m, gemäß Zulassung) sorgt auf Grund seiner Abmessungen für eine gleichmäßige Zementstein-Überdeckung von mind.  $c = 20$  mm und eine Zentrierung des Stahltraggliedes im Bohrloch. Die Bohrlöchaufweitung durch die Bohrkronen (s. Seite 14) trägt dazu bei, die in der Zulassung geforderte Zementstein-Überdeckung zu gewährleisten. Die Form des Abstandhalters garantiert eine optimale Förderung des Bohrkleins aus dem Bohrloch. Darüber hinaus verbessert der Abstandhalter die Richtungsstabilität beim Bohren. Der Einbau des Abstandhalters erfolgt zum Bohrlöchtiefsten spitz zulaufend.

### 3.5 Pfahlkopfvarianten

Flexibler Neigungsausgleich von 0° bis 45°



1



2



3



4

Je nach Anwendungsfall können unterschiedliche Pfahlkopfausbildungen zum Einsatz kommen. Der Pfahlkopf ist in der Regel in Stahlbeton (Kopfbalken, Fundament, Bodenplatte) bzw. Spritzbeton eingebunden oder wird auf Stahlkonstruktionen (Spundwand, Gurtung) befestigt.

Im Stahlbeton wird der Pfahlkopf häufig durch eine Kopfplatte ausgebildet, die mit zwei Kugelbundmuttern befestigt wird. Es müssen Nachweise auf Teilflächenpressung, Ausstanzen und Plattenbiegung (Kopfplatte) geführt werden.

Bei Spritzbeton kommt i. d. R. die Kalottenplatte mit einer Kugelbundmutter zum Einsatz. Neigungen bis 5° können so ausgeglichen werden (Bild 1 und 2).

Für einen Neigungsausgleich bis 36° kann auf die Kalottenplatte eine Ausgleichsscheibe gesetzt werden (Bild 3).

Bei der Rückverankerung von Spundwänden kommt die Kugelplatte mit Kugel zum Einsatz, mit der ein Neigungsausgleich bis 45° zur Vertikalen realisiert werden kann. Ein gleichzeitiges Verschwenken in horizontaler Richtung ist in Abhängigkeit des vertikalen Neigungswinkel ebenfalls möglich (Bild 4).

Bemessungshilfen für die Anwendungsfälle „Einbindung in Stahlbeton“ und „Spundwandrückverankerung“ finden Sie im Prospekt Standard-Pfahlkopf-Varianten.

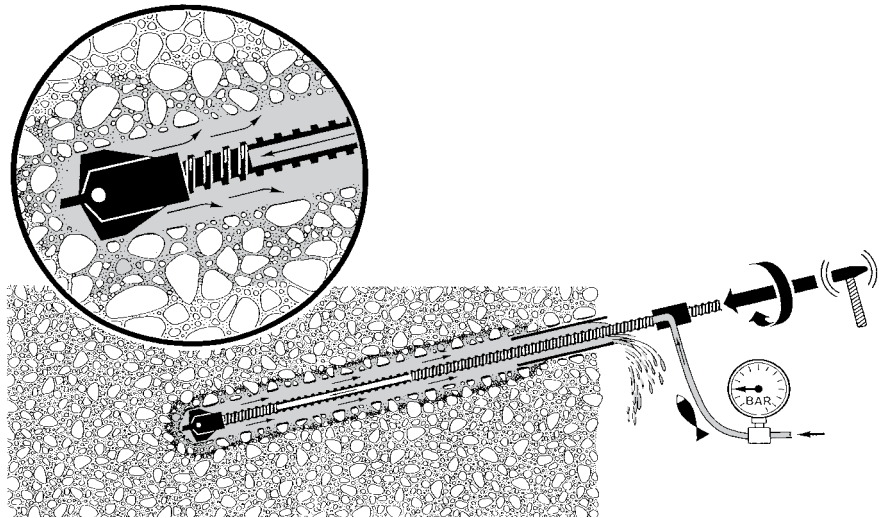
## 4. Verfahrenstechnik

### 4.1 In zwei Schritten zur Verankerung

#### Ein Verfahren für alle Anwendungsfälle

Unabhängig von Bodenbeschaffenheit und Anwendungsfall werden Mikropfähle TITAN immer mit dem gleichen Verfahren eingebracht.

- einheitliches Verfahren für alle Bodentypen
- einheitliches Verfahren für alle Anwendungsfälle, z. B. als Gründungspfahl, Ankerpfahl oder Bodennagel
- kein Nachverpressen



#### Schritt 1: Direktbohren

Drehschlagendes Bohren mit Spülmedium

Durch drehschlagendes Bohren mit Zementsuspension kommt es zu einer Bodenverdrängung und -verbesserung wie bei Verdrängungspfählen. Während des Bohrvorgangs wird das Wasser aus der Zementsuspension abgefiltert und bildet einen Filterkuchen, der das Bohrloch stabilisiert. Der Filterkuchen kann auch als Primärinjektion bezeichnet werden, die den Scherverbund zwischen Verpresskörper und Boden verbessert. Der Zement verzahnt sich formschlüssig mit dem Korngerüst des Bodens. Anders als beim Imlochhammer mit Luftspülung oder bei einer verrohrten Bohrung kommt es nicht zur Auflockerung und Entspannung der Bohrlochwand.

Die Bohrlochstabilisierung mit Stützflüssigkeit ist Stand der Technik und von Schlitzwänden nach DIN EN 1538 und Bohrpfählen nach DIN EN 1536 bekannt (hier aber mit Zementsuspension statt Bentonit!).

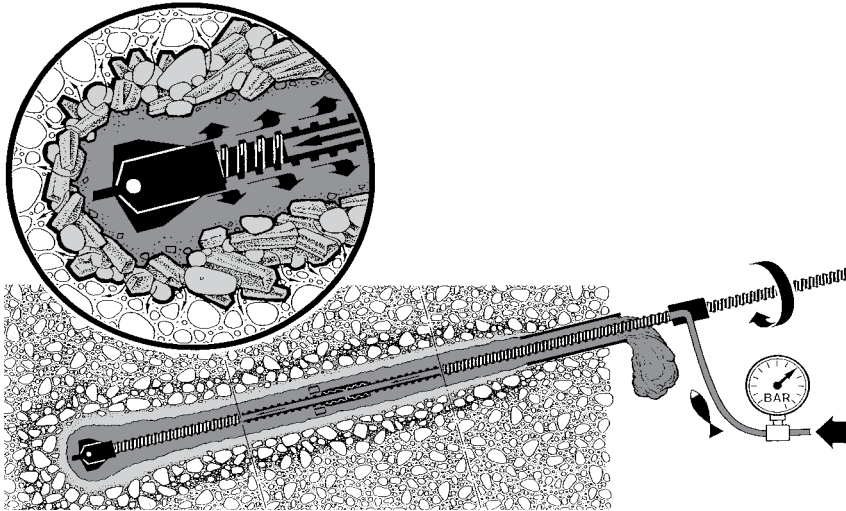
#### Das Spülmedium

Eine Zementsuspension mit einem Verhältnis Wasser zu Zement von  $W/Z = 0,4 \div 0,7$  (z. B. 70 Liter Wasser auf 4 Sack Zement à 25 kg;  $W/Z = 0,7$ ) dient als Spül- und Stützflüssigkeit. Je nach Anwendungsfall können auch dünnere Zementsuspensionen, Wasser oder Luft als Spülmedium zur Anwendung kommen.

#### Bohrvorschub und Ausfegen

Je geringer der Bohrersvorschub (ca. 1 m/min) und je häufiger das Bohrloch ausgefegt wird, desto besser ist die Qualität des Verpresskörpers und des Verbundes.

Ausfegen bedeutet: Wiederholtes Herausziehen und Wiedereinfahren der Bohrstange unter ständigem Drehen und Spülen. Hierdurch wird das Bohrloch freigespült und das Bohrklein aus dem Bohrloch gefördert. Zur Kontrolle kann die Rücklaufspülung mit einem Sieb aufgefangen werden. Die Rücklaufspülung muss kontinuierlich erfolgen. Sollte sie abreißen oder im Bohrloch verschwinden, so ist ohne weiteren Vorschub weiter zu spülen, eventuell mit einer dicken Zementmischung, bis die Zementsuspension am Bohrlochmund wieder austritt.



### Schritt 2: Dynamisches Verpressen mit Verpresssuspension

Dynamisches Verpressen bezeichnet das Verpressen unter gleichzeitiger Rotation. Verpresst wird eine Zement-suspension mit  $W/Z = 0,4 \div 0,5$  und einer Festigkeit von  $f_{c,k} \geq 35 \text{ N/mm}^2$ . Mit dieser steifen Verpresssuspension wird die als Spülmedium eingesetzte Stützflüssigkeit verdrängt, bis die steife Suspension aus dem Bohrloch fließt. Vergleichbar mit einer Rüttel-flasche im Beton entsteht durch das dynamische Verpressen ein dichter Verpresskörper. Wurde bereits im ersten Schritt mit einer Verpresssuspension mit einem  $W/Z$ -Wert von  $0,4 \div 0,5$  gebohrt, kann auf das dynamische Verpressen (Schritt 2) gem. Zulassung verzichtet werden.

#### Verpressdruck

Indikator eines gut verspannten Mikropfahls ist ein ansteigender Verpressdruck in der Endphase des Verpressens. Der Verpressdruckanstieg lässt sich trotz offenem Bohrloch so erklären, dass die schnell abbindenden Zementsteinschollen, die sich im Bohrloch nach außen schieben, zwischen dem rotierenden Stahltragglied und Bohrloch verkeilen, so dass sich ein natürlicher Stau oder „Packer“ bildet, bzw. mit dem Filtergesetz von Darcy. Mit steigendem Verpressdruck baut sich eine höhere Mantelreibung auf. Deshalb gehört die Aufzeichnung des End-Verpressdrucks in jedes Herstellungsprotokoll. Ein Nachverpressen ist nicht erforderlich, da der

nach DIN SPEC 18539, Abschnitt A 8.8.1.1 geforderte Verpressdruck von 5 bar immer erreicht wird.

### Gesteuerte Fußhinterschneidung und Infiltrationsverdübelung durch radialen Spülstrahl

Alle Bohrkronen haben Venturi-Spülbohrungen, durch die es zu einer Infiltrationsverdübelung mit dem umgebenden Boden kommt und durch die eine gesteuerte Fußhinterschneidung erzeugt werden kann. Ausgegrabene Mikropfähle zeigen, dass der radiale Spülstrahl auch

schon bei geringen Drücken schneidet, ähnlich dem Düsenstrahlverfahren „jet grouting“ und der Injektionsverdichtung „compaction grouting“ (profilierter Verpresskörpergrenzfläche, Verpresskörperdurchmesser bis zum 2-fachen gegenüber dem Bohrkronendurchmesser).



## 4. Verfahrenstechnik

### 4.2 Ergebnis



#### Verpresskörper

Durchgängig mit dem Boden verzahnt

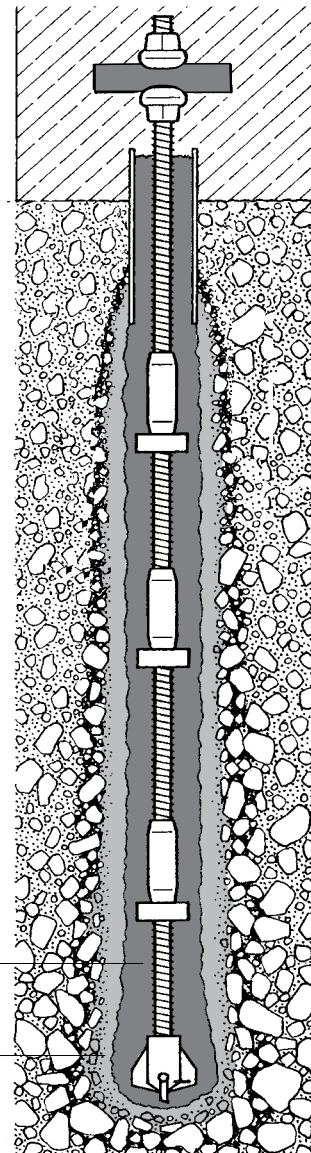
Während des Einbohrens mit Spül- bzw. Stützflüssigkeit verzahnt sich der Zement formschlüssig mit dem Korngerüst des Bodens. Der dabei entstehende Filterkuchen schützt nicht nur das Bohrloch vor dem Einfallen, sondern verbessert auch den Scherverbund zwischen Verpresskörper und Boden und schützt das Stahltragglied dauerhaft vor Korrosion.

Die Verpresskörper ausgegrabener Mikropfähle TITAN verdeutlichen:

- die Verzahnung mit dem Boden
- den vergrößerten Durchmesser gegenüber der Bohrkronen
- die gleichmäßige Zementstein-Überdeckung

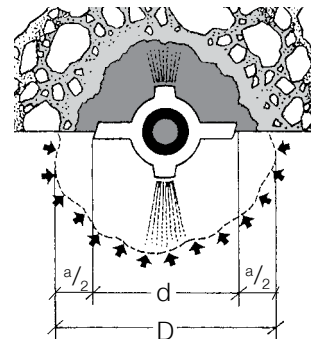
Zementstein-Überdeckung

Filterkuchen



#### Bohrlochaufweitung

Durch das Bohren mit radialem Spülstrahl wird eine Aufweitung gegenüber dem Durchmesser der Bohrkörne erreicht. Gemäß DIN SPEC 18539 Abschnitt 3.3 darf der Pfahldurchmesser  $D$  bei der Herstellung mit Außenspülung mind. gleich dem maximalen Durchmesser des Bohrkopfes bzw. der Einbringvorrichtung (hier: Bohrkronendurchmesser) zzgl. 20 mm angenommen werden.



$$D = d + a$$

**Aufweitung  $a \geq 20$  mm**

Erfahrungswerte\* der Fa. Ischebeck  
 $a = 75$  mm (Mittel- und Grobkies)  
 $a = 50$  mm (Sand und Kiessand)

\*gemessen an ausgegrabenen Verpresskörpern



---

Verzahnung von Stahltragglied, Zementstein-Überdeckung, Filterkuchen und Boden. Der zur Untersuchung aufgebrochene Verpresskörper zeigt das eingeschlossene Stahltragglied mit Kopplungsmuffe – dauerhaft korrosionsgeschützt.

---

## 5. Gerätetechnik



Typische Baustelleneinrichtung bestehend aus Verpresstation und Anbaulafette an der Baumaschine





Mikropfähle TITAN mit einem Nennaußendurchmesser ( $D_{\text{Stahl}}$ ) bis 40 mm (TITAN 40) können bereits mit handlichen Bohrhämmern eingesetzt werden. Bis Nennaußendurchmesser  $D_{\text{Stahl}} = 52$  mm (TITAN 52) kann mit beliebigen Baumaschinen mit hydraulischem drehschlagendem Antrieb und Anbaulafette gearbeitet werden.

Aufgrund des durchgängigen Gewindes können Mikropfähle TITAN an jeder beliebigen Stelle gekürzt und gekoppelt werden. Durch die Verwendung von kleinen, leichten Bohrgeräten ist der Einsatz von Mikropfählen TITAN daher auch bei beengten Platzverhältnissen (z. B. in Kellern, in Hinterhöfen, in Werkshallen zwischen Maschinen etc.) und schwer zugänglichen Stellen (z. B. unter Brücken, an Steilhängen oder im Gebirge) möglich.

Der Platzbedarf für Minibagger mit Anbaulafette ist geringer als bei Raupenbohrwagen (6 m Planum vor der Einbaustelle).

Leichte Bohrausrüstungen können unter Umständen mit dem Hubschrauber an unzugängliche Einbaustellen, z. B. im Gebirge, gebracht werden.

## 5. Gerätetechnik



### Handliche Bohrhämmer

- zum Einbau von kleineren Stahltraggliedgrößen von TITAN 30 bis TITAN 40 geeignet



### Anbaufetten auf beliebigen Baumaschinen mit hydraulischem Antrieb

- geeignet für den Einbau von kleineren bis mittelgroßen Stahltraggliedern TITAN 30 bis TITAN 73
- Hersteller: Morath, TEI Rockdrills, Klemm usw.



### Ankerbohrgeräte

- universelle Bohrraupen zum Einsetzen aller Stahltraggliedgrößen TITAN geeignet
- Hersteller: Klemm, Morath, Hütte-Casagrande usw.

### Geeignete Bohrhämmer

TITAN 30/... Atlas Copco COP 1036, 1038, 1238; SIG PLB 291 A; TAMROCK HL 438; Krupp HB 5, HB 11, HB 15, HB 20; Eurodrill HD 1001, HD 1002; Klemm KD 204, KD 511; Morath HB 23; TEI TE 160 HT, TE 260 HT

TITAN 40/... Atlas Copco COP 1036, 1038, 1238; SIG PLB 291 A; TAMROCK HL 438; Krupp HB 11, HB 15, HB 20; Eurodrill HD 1001, HD 1002; Klemm KD 204, KD 511, KD 1011; Morath HB 70; TEI TE 260 HT, TE 350

TITAN 52/... Krupp HB 25, HB 35; Eurodrill HD 2004; Klemm KD 511, KD 1011, KD 1215; Morath HB 100; TEI TE 560

TITAN 73/... Krupp HB 35, HB 45, HB 50; Eurodrill HD 2004, HD 4010; Klemm KD 1011, KD 1215; Morath HB 100; TEI TE 560

TITAN 103/... Krupp HB 50, HB 60; Eurodrill HD 4010, HD 5012;

TITAN 127/... Klemm KD 1215, KD 1624, KD 1828; TEI TE 1000

### Verpresstationen

35 l/min Verpresstationen mit Wasserdosierung, Turbomischer, 1 Mischbehälter + 1 Vorratsbehälter, Doppel-Plungerpumpe, bis 100 bar, Hersteller: Scheltzke, MAT Obermann, Häny, Morath

50 l/min

70 l/min

90 l/min

120 l/min

Vorschub:  $0,3 \div 1,0$  m/min, Drehzahl ca. 50 Umdrehungen  $\text{min}^{-1}$ , Spüldruck  $10 \div 15$  bar.

Hinweis: Gegenüber dem Bohren von Sprenglöchern im Fels empfiehlt sich eine Reduktion von Vorschub und Schlag (percussion) auf ca. 1/3.

Wir empfehlen für die Herstellung von Mikropfählen TITAN drehschlagende Hämmer einzusetzen.



**Übliche Verpresstationen**



Für die gängigsten Bohrhämmer sind Spülköpfe zur Anbindung des Stahltraggliedes an den Bohrhämmer lieferbar.

## 6. Bemessungshilfen

### 6.1 Bemessung Mikropfahl TITAN

Die Bemessung des Mikropfahls TITAN erfolgt nach EC7 (DIN EN 1997). In Abhängigkeit von seiner Verwendung und den Randbedingungen können folgende Nachweise relevant sein:

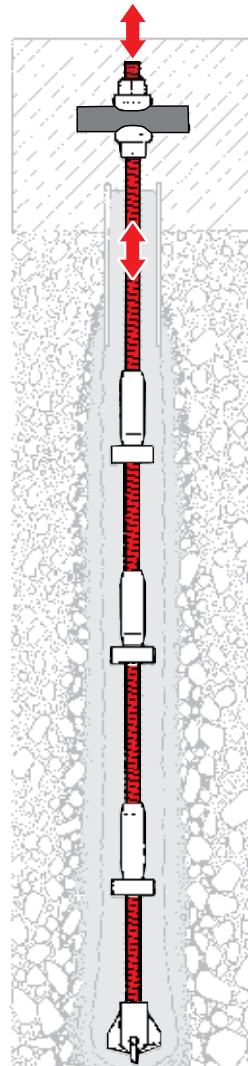
- > 1. Nachweis der inneren Tragfähigkeit
- > 2. Nachweis der äußeren Tragfähigkeit
- > 3. Knicksicherheitsnachweis (Druckpfähle)
- > 4. Gebrauchstauglichkeitsnachweis



### 6.1.1 Nachweis der inneren Tragfähigkeit

Für den Nachweis muss der Bemessungswert der Einwirkungen  $E_d$  kleiner als der Bemessungswert der Tragfähigkeit des Stahltraggliedes  $R_d$  sein.  
 Der Teilsicherheitsbeiwert zur Berechnung von  $R_d$  liegt nach EC7 und der Zulassung Z-34.14-209 bei  $\gamma_M = 1,15$  ( $R_d = R_k / \gamma_M$ ).

**Nachweis:  $E_d < R_d$**



- Bauaufsichtliche Zulassung Z 34.14-209
- DIN EN 1997 (EC7)

Bezeichnung	Einheit	TITAN	TITAN	TITAN	TITAN	TITAN	TITAN	TITAN	TITAN	TITAN	TITAN	TITAN	TITAN	TITAN
		30/16	30/11	40/20	40/16	52/26	73/56	73/53	73/45	73/35	103/78	103/51	103/43	127/103
Nenndurchmesser außen $\varnothing$	mm	30	30	40	40	52	73	73	73	73	103	103	103	127
Nenndurchmesser innen $\varnothing$	mm	16	11	20	16	26	56	53	45	35	78	51	43	103
Charakteristische Tragfähigkeit $R_k$ gemäß deutscher Zulassung <sup>1)</sup>	kN	155 <sup>2)</sup>	225 (250) <sup>3)</sup>	372	490	650	695 <sup>2)</sup>	900	1218	1386	1626	2500	3015 <sup>2)</sup>	1800 <sup>2)</sup>
$F_{0,2,k}$ Kraft an der 0,2 % Dehngrenze (Mittelwert)	kN	190	260	425	525	730	830	970	1270	1430	1800	2670	3398	2030

<sup>1)</sup> Zulassung Z-34.14-209: Bei Dauer-Zugbeanspruchungen und Zementstein-Überdeckungen  $c < 45$  mm sind ggfs. die Tragfähigkeiten entsprechend Zulassung Z-34.14-209 zu reduzieren.

<sup>2)</sup> Für diese Größen liegt noch keine Zulassung vor, für TITAN 30/16, 73/56, 103/43 und 127/103 wurden die Werte analog zur Zulassung interpoliert.

<sup>3)</sup> Für den Typ TITAN 30/11 darf für den vorübergehenden Einsatz ( $\leq 2$  Jahre) eine charakteristische Tragfähigkeit von 250 kN angesetzt werden.

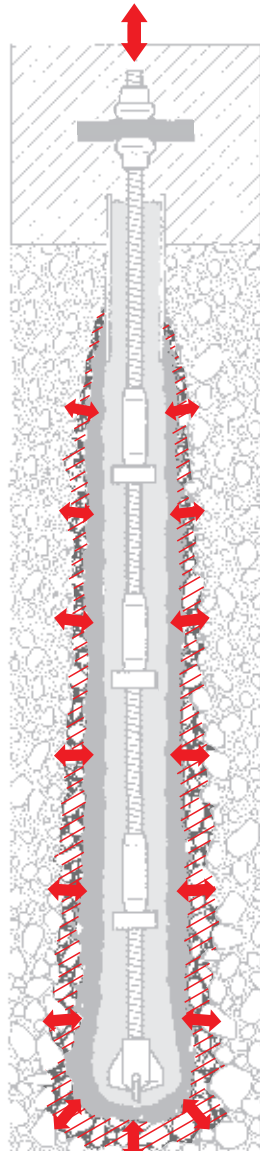
## 6. Bemessungshilfen

### 6.1 Bemessung Mikropfahl TITAN

#### 6.1.2 Nachweis der äußeren Tragfähigkeit

(Grenzfläche Verpresskörper-Boden)

- DIN EN 14199  
- EC7



Mikropfähle tragen ihre Lasten über Mantelreibung in den tragfähigen Boden ab. Der Spitzendruck wird dabei vernachlässigt. Der Pfahlwiderstand im Boden (äußere Tragfähigkeit) ist maßgebend von der Mantelfläche  $A_{s,i}$  des Verpresskörpers und der charakteristischen Pfahlmantelreibung  $q_{s,i,k}$  des anstehenden Bodens abhängig.

Die erforderliche Verbundlänge  $l_b$  des Pfahls zur Einleitung der Lasten in den Boden ergibt sich aus dem Verpresskörperdurchmesser und dem Mantelreibungswert  $q_{s,i,k}$ , der mit dem entsprechenden Teilsicherheitsbeiwert für den Pfahlwiderstand nach Tab. A 2.3 der DIN 1054:2010-12 abgemindert wird.

Sofern nicht durch Probelastungen an Vorversuchspfählen die tatsächlichen projektspezifischen Pfahlmantelreibungswerte bestimmt werden, sollte nach DIN 1054:2010-12 mit den Mantelreibungswerten für Druck- und Zugbelastungen der EA-Pfähle gerechnet werden (für Rohrverpresspfähle z.B. Tab. 5.31 und Tab. 5.32):

Zur Ermittlung des erforderlichen Verpresskörperdurchmessers  $D$  ist zunächst die Wahl der richtigen Bohrkronen maßgebend (aus Prospekt „Technische Daten“). Diese ist abhängig von:

- der bohrtechnisch maßgebenden Bodenart
- der geforderten Mindest-Zementstein-Überdeckung des Traggliedes nach Norm/Zulassung

In Abhängigkeit des Baugrundes und der Einbautechnik wird der Verpresskörperdurchmesser  $D$  um eine Aufweitung  $a$  größer sein als der Bohrkronendurchmesser  $d$ :

$$D = d + a$$

Bohrlochaufweitung  $a$ :

- nach DIN SPEC 18539:  $a_{\min} \geq 20$  mm (bei Herstellung mit Außenspülung)
- Rohrverpresspfahl nach EA-Pfähle:  $a = 20$  mm
- Gemittelte Erfahrungswerte der Fa. ISCHEBECK zur Vordimensionierung (an ausgegrabenen Verpresskörpern gemessener Wert):

sandiger Boden:  $a \approx 50$  mm

kiesiger Boden:  $a \approx 75$  mm

**Nachweis:  $E_d \leq R_d$**

**- mit Probelastung**

$$\text{Druck: } R_{c,d} = \frac{R_{c,k}}{\gamma_s \cdot \xi_1} = \frac{\pi \cdot D \cdot l_b \cdot q_{s,k}}{\gamma_s \cdot \xi_1} \text{ [kN]}$$

$$\text{Zug: } R_{t,d} = \frac{R_{t,k}}{\gamma_{s,t} \cdot \xi_1 \cdot \eta_M} = \frac{\pi \cdot D \cdot l_b \cdot q_{s,k}}{\gamma_{s,t} \cdot \xi_1 \cdot \eta_M} \text{ [kN]}$$

mit:

- Streuungsfaktor  $\xi_1$   
(in Abhängigkeit der Anzahl n der geplanten/ ausgeführten Probelastungen, gemäß DIN 1054:2010-12 Tab. A 7.1)

n	1	2	3	4	5
$\xi_1$	1,35	1,25	1,15	1,05	1,00

- Modellfaktor  $\eta_M$   
(bei Zugbeanspruchungen, unabhängig von der Pfahlneigung nach Änderung DIN 1054/A1:2012-08)  
 $\eta_M = 1,25$

**- ohne Probelastung (mit Erfahrungswerten für Pfahlmantelreibungswerte)**

$$\text{Druck: } R_{c,d} = \frac{R_{c,k}}{\gamma_s} = \frac{\pi \cdot D \cdot l_b \cdot q_{s,k}}{\gamma_s} \text{ [kN]}$$

$$\text{Zug: } R_{t,d} = \frac{R_{t,k}}{\gamma_{s,t} \cdot \eta_M} = \frac{\pi \cdot D \cdot l_b \cdot q_{s,k}}{\gamma_{s,t} \cdot \eta_M} \text{ [kN]}$$

In den Empfehlungen des Arbeitskreises „Pfähle“ (EA-Pfähle) der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e.V. werden Erfahrungswerte für die charakteristischen Pfahlmantelreibungen von verpressten Mikropfählen (System GEWI) und Rohrverpresspfählen (System TITAN) in nichtbindigen und bindigen Böden angegeben.

Die Daten sind aus Probelastungen ermittelt worden. Der untere Wert ist der 10%-Fraktilwert und der obere Wert der 50%-Fraktilwert der statistischen Auswertung.

**Teilsicherheitsbeiwerte  $\gamma_R$  für Widerstände**  
(Auszug aus DIN 1054:2010-12, Tabelle A 2.3)

Widerstand	Formelzeichen	Bemessungssituation		
		BS-P	BS-T	BS-A

**Pfahlwiderstände aus statischen und dynamischen Pfahlprobelastungen**

Widerstand	Formelzeichen	BS-P	BS-T	BS-A
Fußwiderstand	$\gamma_b$	1,10	1,10	1,10
Mantelwiderstand (Druck)	$\gamma_s$	1,10	1,10	1,10
Gesamtwiderstand (Druck)	$\gamma_t$	1,10	1,10	1,10
Mantelwiderstand (Zug)	$\gamma_{s,t}$	1,15	1,15	1,15

**Pfahlwiderstände auf der Grundlage von Erfahrungswerten**

Widerstand	Formelzeichen	BS-P	BS-T	BS-A
Druckpfähle	$\gamma_b, \gamma_s, \gamma_t$	1,40	1,40	1,40
Zugpfähle (nur in Ausnahmefällen)	$\gamma_{s,t}$	1,50	1,50	1,50

**Erfahrungswerte von Rohrverpresspfählen EA-Pfähle Tabelle 5.31 in nichtbindigen Böden**

Mittlerer Spitzenwiderstand $q_c$ der Drucksonde in MN/m <sup>2</sup>	Bruchwert $q_{s,k}$ der Pfahlmantelreibung in kN/m <sup>2</sup> *	
	10 %	50 %
7,5	170	210
15	255	320
≥ 25	305	365

**EA-Pfähle Tabelle 5.32 in bindigen Böden**

Scherfestigkeit $c_{u,k}$ des undrännierten Bodens in kN/m <sup>2</sup>	Bruchwert $q_{s,k}$ der Pfahlmantelreibung in kN/m <sup>2</sup> *	
	10 %	50 %
60	70	80
150	115	125
≥ 250	140	150

\* Zwischenwerte dürfen geradlinig interpoliert werden.

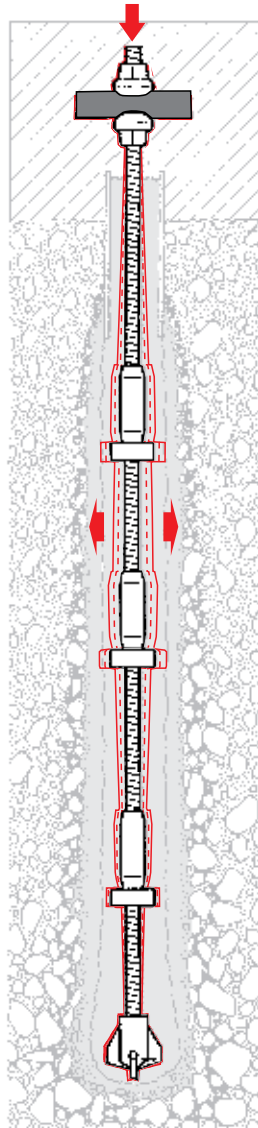
## 6. Bemessungshilfen

### 6.1 Bemessung Mikropfahl TITAN

#### 6.1.3 Knicksicherheitsnachweis (Druckpfähle)

Relevante Normen

- EC7
- DIN EN 14199
- EA-Pfähle
- EC3



Allgemein wird das Ausknicken von Druckpfählen durch die stützende Wirkung des den Pfahlschaft umgebenden Bodens behindert. Die DIN EN 1997-1 fordert jedoch einen Knicknachweis für schlanke Pfähle, die teilweise im Wasser oder sehr weichen bindigen Böden größerer Dicke mit einer undrännierten Scherfestigkeit  $c_{u,k} < 10 \text{ kN/m}^2$  stehen. Untersuchungen von z.B. VOGT/VOGT/KELLNER\* und OFNER/WIMMER\*\* haben gezeigt, dass unter ungünstigen Randbedingungen ein Knickversagen in Bodenschichten mit geringer seitlicher Stützung allerdings auch dann eintreten kann, wenn der  $c_{u,k}$ -Wert  $> 10 \text{ kN/m}^2$  ist. Die DIN 1054 verweist für Mikropfähle diesbezüglich auf die EA-Pfähle, nach der in nichtbindigen Böden oder mindestens steifen bindigen Böden der Knicknachweis entfällt. Die undrännierte Scherfestigkeit kann durch einaxiale Druckversuche, UU-Triaxialversuche oder im Flügelscherversuch bestimmt werden. Leider gehören derartige Untersuchungen nicht zum Standard einer Baugrunduntersuchung, so dass die undrännierte Scherfestigkeit i.d.R. aus Tabellenwerten bestimmt oder Sondierwiderständen korreliert werden muss.

Weitere Angaben zum Knicken von Mikropfählen können der EA-Pfähle entnommen werden.

Zusammenhang zwischen der Konsistenz, undrännierter Scherfestigkeit  $c_{u,k}$  und den Schlagzahlen unterschiedlicher Sondierungen

Konsistenz	undrännierte Scherfestigkeit $c_{u,k}$ (kN/m <sup>2</sup> )	Spitzen- druck $q_s$ (MN/m <sup>2</sup> )	Schlagzahl			
			DPH $N_{10}$	DPM $N_{10}$	DPL $N_{10}$	SPT $N_{30}$
breiig	< 20	< 2,0	0 - 2	0 - 3	0 - 3	< 2
weich	20 - 60	2,0 - 5,0	2 - 5	3 - 8	3 - 10	2 - 6
steif	60 - 200	5,0 - 8,0	5 - 9	8 - 14	10 - 17	6 - 15
halb- fest	> 200	8,0 - 15,0	9 - 17	14 - 18	17 - 37	15 - 30
fest	> 400	> 15,0	> 17	> 28	> 37	> 30

Tabelle E06.10 aus Zentrum Geotechnik; Lehrstuhl für Grundbau, Bodenmechanik, Felsmechanik und Tunnelbau (TU München)

\*Knicken von schlanken Pfählen in weichen Böden, Bautechnik 82 (2005)

\*\*Knicknachweis von Mikropfählen in geschichteten Böden, Bautechnik 84 (2007)

Bei Bedarf führen wir für Ihr Projekt gerne den Knicknachweis nach OFNER/WIMMER

Anmerkung:

Bei der Entscheidung ob und wie ein Knicknachweis geführt werden soll, ist zu berücksichtigen, dass keine nennenswerten Schadensfälle bekannt sind, bei denen es zu Stabilitätsversagen aufgrund von undrännierten Scherfestigkeiten von  $c_{u,k} > 10 \text{ kN/m}^2$  gekommen ist. Die obigen Untersuchungen basieren auf Modellversuchen und die daraus abgeleiteten Rechenverfahren stellen noch keine allgemein anerkannte Regel der Technik dar. Es wird von "ungünstigen Randbedingungen" gesprochen, was nach unserer Auffassung ein alleinstehender Einzelpfahl wäre. Sobald eine Pfahlgruppe belastet wird, kann ein Knicken nahezu ausgeschlossen werden.



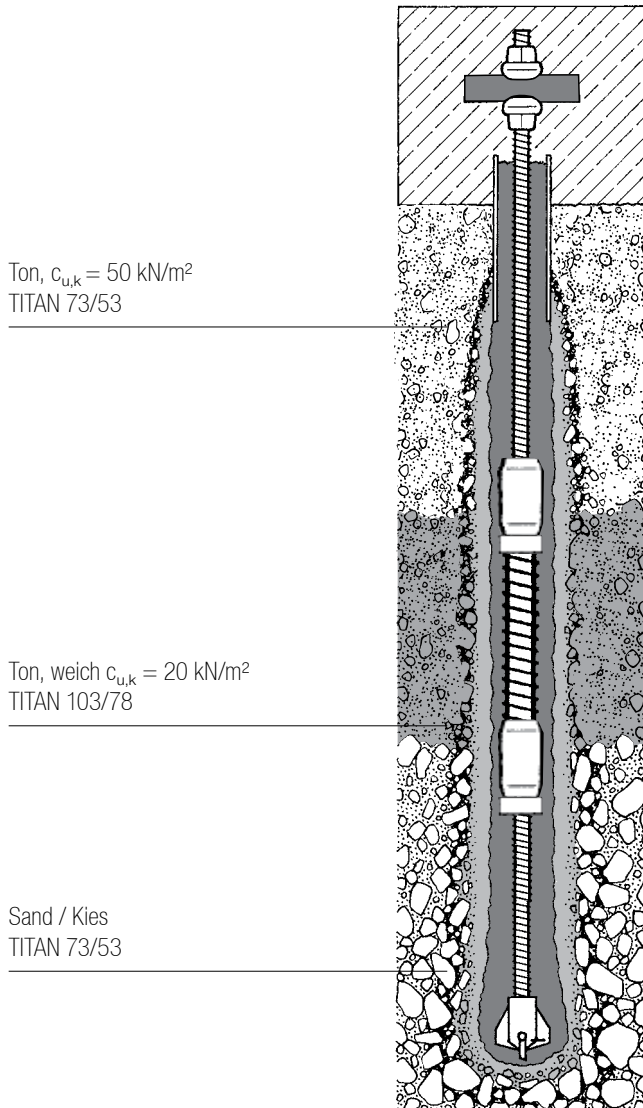
## Kombipfahl – Die Lösung für knickgefährdeten Baugrund

### Verschiedene Größen kombinieren

Das System TITAN bietet die Möglichkeit zur Herstellung eines Kombipfahls. Dies bedeutet, dass im knickgefährdeten Baugrund eine Überdimensionierung des Stahltragglieds erfolgen kann. Die Verstärkung des Stahltragglieds in diesem Bereich erhöht die Biegefestigkeit des Pfahls ohne zusätzliche teure konstruktive Maßnahmen, wie zum Beispiel den Einbau eines Stahlrohres. Die Dimensionierung des Stahltragglieds erfolgt über die Bemessungslast des Druckpfahls und des anstehenden  $c_{u,k}$ -Wertes, z. B. nach den Knicksicherheitsnachweisen von OFNER/WIMMER bzw. VOGT/VOGT/KELLNER\* sowie bei teilweise „freistehenden“ Pfählen nach EC3. Die Abbildung zeigt einen Druckpfahl TITAN 73/53 (max.  $E_d = 783 \text{ kN}$ ), der im Bereich der weichen Tonschicht mit einem  $c_{u,k}$ -Wert von  $20 \text{ kN/m}^2$  als TITAN 103/78 ausgebildet wird. Die Dimensionierung des TITAN 103/78 erfolgt über den Knicksicherheitsnachweis nach OFNER/WIMMER\*\*.

\* Knicken von schlanken Pfählen in weichen Böden, Bautechnik 82 (2005)

\*\* Knicknachweis von Mikropfählen in geschichteten Böden, Bautechnik 84 (2007)



Bezeichnung	Einheit	TITAN	TITAN	TITAN	TITAN	TITAN	TITAN	TITAN	TITAN	TITAN	TITAN	TITAN	TITAN	
		30/16	30/11	40/20	40/16	52/26	73/56	73/53	73/45	73/35	103/78	103/51	103/43	127/103
Biegesteifigkeit	$10^6$													
$E \cdot I^*$	$\text{kNmm}^2$	3,7	4,6	15	17	42	125	143	178	195	564	794	838	1163

\*Die Werte sind aus Versuchen ermittelt. Es ist nicht möglich, aus diesen Angaben rechnerisch E-Modul, Querschnitt oder Trägheitsmoment zu ermitteln. Die Werte aus der Zulassung dienen als Rechenwerte für Verformungen (auf Zug bzw. Druck). Für den Knicksicherheitsnachweis sollte die tatsächliche Biegesteifigkeit  $E \cdot I$  angesetzt werden.

## 6. Bemessungshilfen

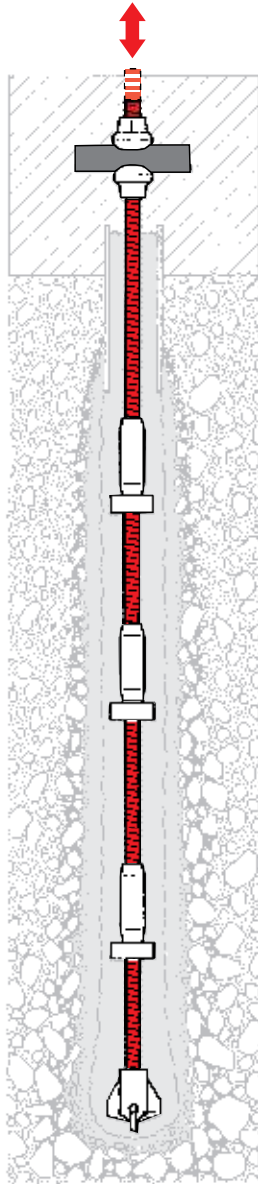
### 6.1 Bemessung Mikropfahl TITAN

#### 6.1.4 Gebrauchstauglichkeitsnachweis

Abschätzung der Gesamtverformung

Relevante Normen

- EC2
- EC3
- EC7



Verformungsberechnungen sind komplex und werden unter Verwendung von aufwendigen Rechenverfahren (z. B. DC-Software) oder Pfahlprobebelastungen durchgeführt. Umfassende Bodenuntersuchungen als Grundlage liegen oft nicht vor. Nach DIN 4128 Absatz 9.1 gilt: "Für Einzelpfähle mit Gesamtlängen bis zu 10 m ohne freistehende Teile sind axiale Pfahlverschiebungen in einer Größenordnung bis 10 mm unter zulässiger Belastung zu erwarten."

Last-Verformungs-Diagramme (Grundlage: umfangreiche Belastungsprüfungen) erleichtern eine schnelle Abschätzung der Pfahlkopfverschiebung. Ein vereinfachter Bemessungsansatz ermöglicht die Abschätzung der bleibenden Pfahlkopfverschiebung.

- Für die Ermittlung der bleibenden Verformung werden die Dehnsteifigkeit des Stahltraggliebes und des Verpresskörpers angesetzt, da es sich beim Mikropfahl TITAN um einen Verbundwerkstoff aus Stahl und Zement handelt.
- Dehnsteifigkeit des Stahltraggliebes (s. technische Daten)
- Dehnsteifigkeit des Verpresskörpers kann mit einem E-Modul nach DIN EN 1992-1, Tab. 3.1,  $f_{ck,cyl} = 35 \text{ N/mm}^2$   $E_{cm} = 34000 \text{ N/mm}^2$  gerechnet werden.

Daraus ergibt sich nun vereinfacht eine Gesamtdehnsteifigkeit für den Mikropfahl von

$$(EA)_{ges} = (EA)_{Stahl} + (EA)_{Zement}$$

und eine Verformung/Pfahlkopfverschiebung

$$\epsilon_{l,ges} = \frac{E_k}{(EA)_{ges}}$$

Bezeichnung	Einheit	TITAN	TITAN	TITAN	TITAN	TITAN	TITAN	TITAN	TITAN	TITAN	TITAN	TITAN	TITAN	
		30/16	30/11	40/20	40/16	52/26	73/56	73/53	73/45	73/35	103/78	103/51	103/43	127/103
Außen - durchmesser $D_a^*$	mm	29	29	40,5	40,5	50,3	72,4	72,4	72,4	72,4	101	101	101	126,8
effektiver Querschnitt $A_{eff}$	mm <sup>2</sup>	340	415	730	900	1250	1360	1615	2239	2714	3140	5680	6023	3475
Dehnsteifigkeit $E \cdot A^{**}$	10 <sup>3</sup> kN	63	83	135	167	231	251	299	414	502	580	1022	1202	640

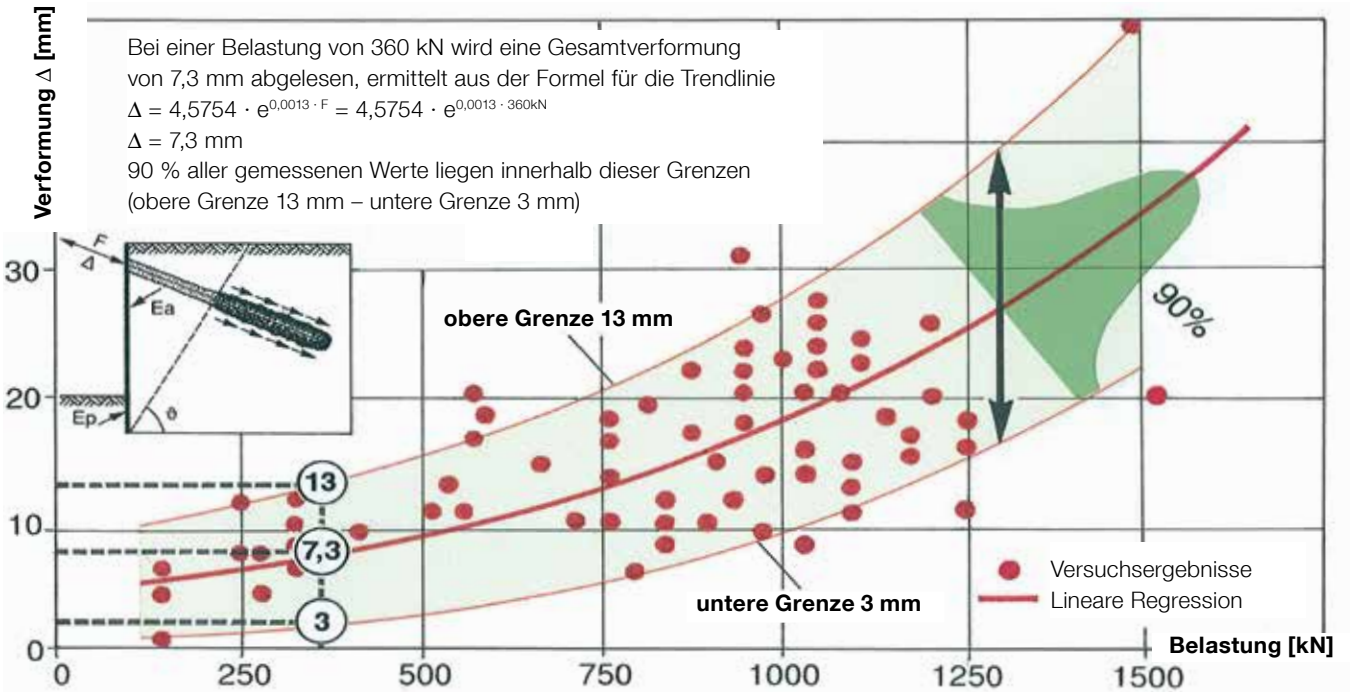
\* Siehe Anlage 2 der Zulassung.

\*\* Die Werte sind aus Versuchen ermittelt. Es ist nicht möglich, aus diesen Angaben rechnerisch E-Modul, Querschnitt oder Trägheitsmoment zu ermitteln.

**Last-Verformungsdiagramm**

Statistische Auswertung von 136 Eignungs- und Abnahme-Zugprüfungen. Gemessen wurde die Pfahlkopfverschiebung (Gesamtverformung, gemessen am Pfahlkopf). Krafterlei-

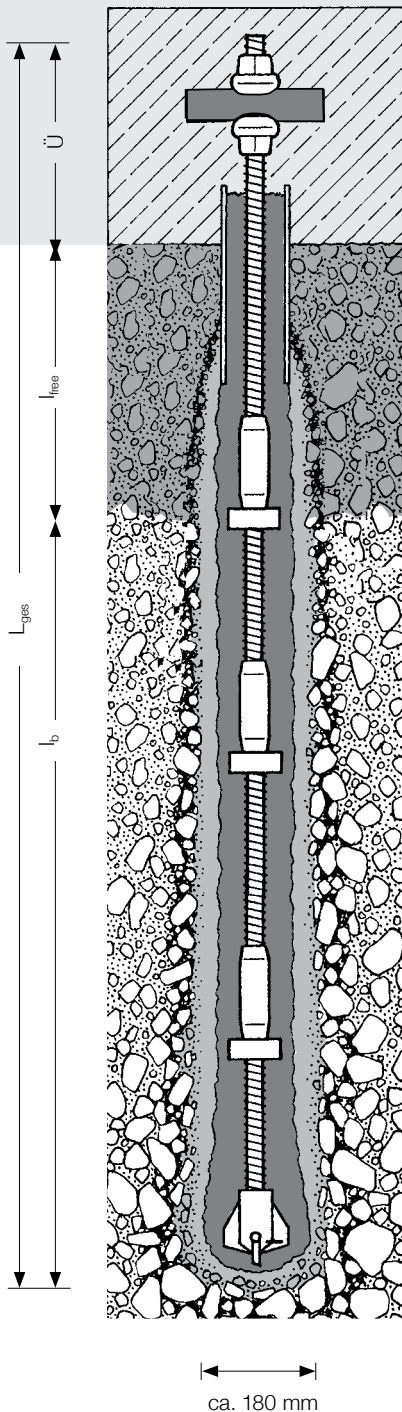
tungslänge in sandigen und kiesigen Böden, tragfähiger Baugrund in unterschiedlichen Tiefen. Verformung  $\Delta$  in Abhängigkeit von der Belastung.



Diplomarbeit von A. Scholl: „Entwicklung eines Modells zur Verformungsberechnung von Verpresspfählen (schlaffen Ankern) TITAN nach DIN EN 14199, auf der Grundlage von durchgeführten Eignungs- und Abnahmeversuchen“, 2008, Universität Siegen, Prof. Dr.-Ing. R. Herrmann

## 6. Bemessungshilfen

### 6.2 Bemessungsbeispiele



#### 6.2.1 Beispiel Pfahlgründung: Druckpfahl

Bemessungslast (Druck):  $E_d = 712 \text{ kN}$   
 Gewählt: Tragglied TITAN 73/53

##### Nachweis der inneren Tragfähigkeit:

$E_d \leq R_d$   
 $R_d = R_k / \gamma_M$   
 $R_d = 900 \text{ kN} / 1,15 = \underline{783 \text{ kN}}$  (mit  $\gamma_M = 1,15$ )  
 -> Nachweis erfüllt

##### Nachweis der äußeren Tragfähigkeit:

Ermittlung der erforderlichen Verbundlänge  $l_b$  mit:

Mantelwiderstand Druck:  $\gamma_s = 1,10$   
 (nach DIN 1054:2010-12 Tab. A.2.3)

Vorgabe:

Es werden an 2 Pfählen Probebelastungen durchgeführt:  $\xi_t = 1,25$

Baugrund: bis 5 m: Auffüllung  $l_0 = 5 \text{ m}$  (nicht tragfähig)  
 ab 5 m: Kies-Sand  $q_{c,0} = 15 \text{ MN/m}^2$  (Spitzendruck)

Bohrkrone: Kreuzbohrkrone  $d = 175 \text{ mm}$

Aufweitung: DIN SPEC 18539:  $a = 20 \text{ mm}$

Überstand  $\ddot{U} = 0,50 \text{ m}$

Grenzmantelreibungswert:  $q_{s1,k} = 255 \text{ kN/m}^2$   
 EA Pfähle (Tab. 5.31 Rohrverpresspfahl)

Muss durch Probebelastungen bestätigt werden:  
 gewählt: 2 (Streuungsfaktor  $\xi_t$ , siehe Seite 23)

$$P_p = 712 \text{ kN} \cdot 1,10 \cdot 1,25 = \underline{979 \text{ kN}^*}$$

\* (Für Probebelastungen müssen ggf. größere Stahlquerschnitte gewählt werden.)

##### Verbundlänge $l_b$

$$l_b = \frac{E_d}{\pi \cdot (d + a) \cdot \frac{q_{s1,k}}{\gamma_s \cdot \xi_t}} = \frac{712 \text{ kN}}{\pi \cdot (0,175 \text{ m} + 0,02 \text{ m}) \cdot \frac{255 \text{ kN/m}^2}{1,10 \cdot 1,25}} = \underline{6,27 \text{ m}}$$

##### Gesamte Pfahllänge $L_{ges}$

$$L_{ges} = l_b + \ddot{U} + l_{free}$$

$$L_{ges} = 6,27 \text{ m} + 0,50 \text{ m} + 5,0 \text{ m} = \underline{11,77 \text{ m}}$$

Gewählt:  $L_{ges} = 12,00 \text{ m}$

## 6.2.2 Beispiel Pfahlgründung (Abschätzung Pfahlkopfverschiebung)

Reine Stahl- / Verpresskörperverformung

Pfahllänge:  $L_{\text{ges}} = 12,00 \text{ m}$   
 Einwirkung:  $E_k = 500 \text{ kN}$

### TITAN 73/53 (S)

Nenn Durchmesser außen:  $D_{\text{Stahl}} = 73 \text{ mm}$   
 Effektiver Querschnitt:  $A_{\text{eff}} = 1.615 \text{ mm}^2$   
 Dehnsteifigkeit:  $(EA)_{\text{Stahl}} = 299.000 \text{ kN}$

### Verpresskörper (Z)

Pfahldurchmesser:  $D = 180 \text{ mm}$

Querschnitt Verpresskörper  $A_{\text{Zement}} = (\pi \cdot (D^2 - D_{\text{Stahl}}^2)) / 4$

$$A_{\text{Zement}} = (\pi \cdot (180^2 \text{ mm}^2 - 73^2 \text{ mm}^2)) / 4 = 21.262 \text{ mm}^2$$

(Der Zement im Tragglied wird vernachlässigt)

E-Modul Verpresskörper  $E_{\text{Zement}} = 34.000 \text{ N/mm}^2 = 34 \text{ kN/mm}^2$

Dehnsteifigkeit Verpresskörper  $(EA)_{\text{Zement}} = E_{\text{Zement}} \cdot A_{\text{Zement}}$

$$(EA)_{\text{Zement}} = 34 \text{ kN/mm}^2 \cdot 21.262 \text{ mm}^2 = 722.908 \text{ kN}$$

Gesamtdehnsteifigkeit  $(EA)_{\text{ges}} = (EA)_{\text{Stahl}} + (EA)_{\text{Zement}}$

$$(EA)_{\text{ges}} = 722.908 \text{ kN} + 299.000 \text{ kN} = 1.021.908 \text{ kN}$$

### Ermittlung der Verformung / Pfahlkopfverschiebung

$$\epsilon_{i,\text{ges}} = \frac{E_k}{(EA)_{\text{ges}}}$$

$$\epsilon_{i,\text{ges}} = \frac{500 \text{ kN}}{1.021.908 \text{ kN}} = 0,05 \%$$

$$f = \epsilon_{i,\text{ges}} \cdot L_{\text{ges}}$$

$$f = 0,05 \% \cdot 12,00 \text{ m} = 6 \text{ mm}$$



### Lärmschutzwandgründung

Bahnstrecke Karlsruhe-Freiburg, Schwarzwald

Errichtung von Lärmschutzwänden in unmittelbarer Nähe der Gleise, Einzelfundamente mit TITAN 40/16

## 6. Bemessungshilfen

### 6.2 Bemessungsbeispiele

#### 6.2.3 Beispiel Rückverankerung: Zugpfahl

Nachweis nach EAU in Anlehnung an das Bemessungsmodell von Kranz, 1940

Bemessungslast (Zug)  
Gewählt:

$E_d = 400 \text{ kN}$   
Tragglied TITAN 40/16

#### Nachweis der inneren Tragfähigkeit:

$E_d \leq R_d$   
 $R_d = R_k / \gamma_M$   
 $R_d = 490 \text{ kN} / 1,15 = \underline{426 \text{ kN}}$  (mit  $\gamma_M = 1,15$ )  
-> Nachweis erfüllt

#### Nachweis der äußeren Tragfähigkeit:

Ermittlung der erforderlichen Verbundlänge  $l_b$  mit:

Mantelwiderstand Zug:  $\gamma_s = 1,15$   
(nach DIN 1054:2010-12 Tab. A.2.3)

Modellfaktor  $\eta_M = 1,25$

Vorgabe:  
Es werden an 3 Pfählen Probebelastungen durchgeführt:  $\xi_1 = 1,15$

Baugrund: bindiger Boden  
(undrÄnirierte Scherfestigkeit)  $c_{u,k} = 250 \text{ kN/m}^2$

Bohrkrone: Lehmbohrkrone  $d = 150 \text{ mm}$

Aufweitung: DIN SPEC 18539:  $a = 20 \text{ mm}$

Grenzmantelreibungswert:  $q_{s1,k} = 140 \text{ kN/m}^2$   
(Annahme aus EA Pfähle: Tab. 5.32 Rohrverpresspfähle)

Muss durch Probebelastungen bestätigt werden:  
gewählt: 3 (Streuungsfaktor  $\xi_1$ , siehe Seite 23)

$$P_p = 400 \text{ kN} \cdot 1,15 \cdot 1,25 \cdot 1,15 = \underline{661 \text{ kN}^*}$$

\* (Für Probebelastungen müssen ggf. größere Stahlquerschnitte gewählt werden.)

#### Verbundlänge $l_b$

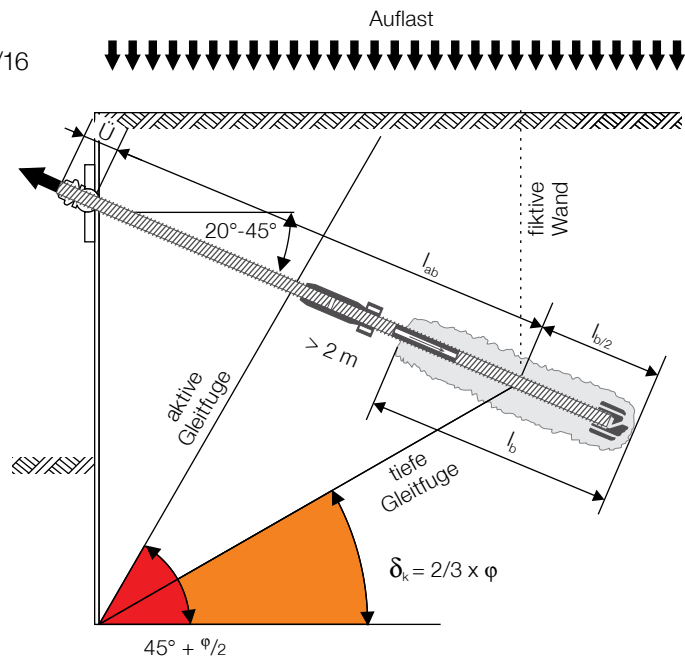
$$l_b = \frac{E_d}{\pi \cdot (d + a) \cdot \frac{q_{s1,k}}{\gamma_s \cdot \xi_1 \cdot \eta_M}} = \frac{400 \text{ kN}}{\pi \cdot (0,15 \text{ m} + 0,02 \text{ m}) \cdot \frac{140 \text{ kN/m}^2}{1,15 \cdot 1,25 \cdot 1,15}} = \underline{8,85 \text{ m}}$$

#### Gesamte Pfahllänge $L_{ges}$

Abstand Wand - tiefe Gleitfuge:  $l_{ab} = 8,10 \text{ m}$

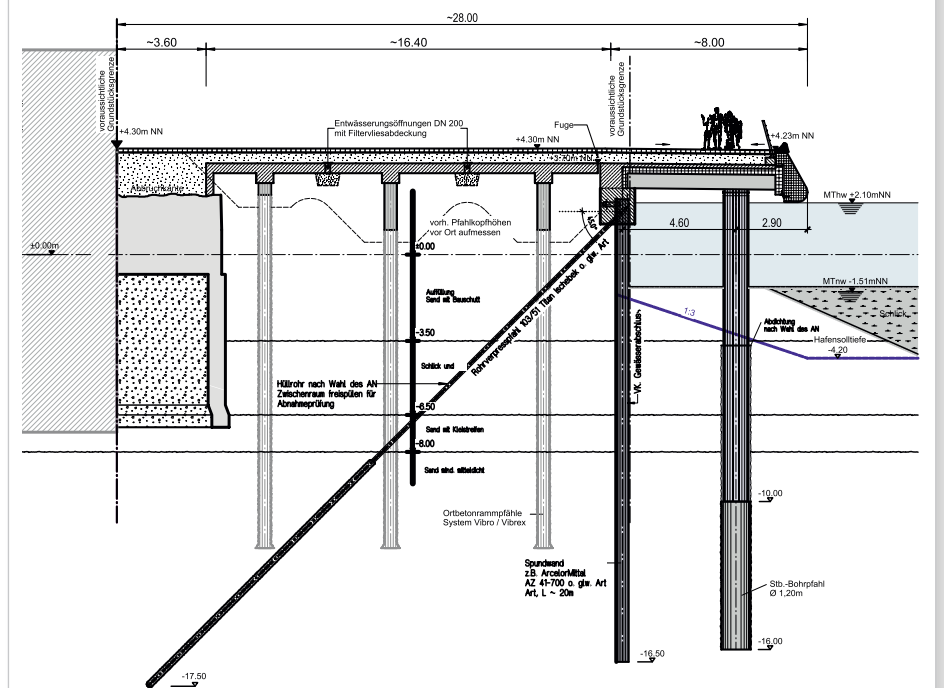
$$L_{ges} = \frac{l_b}{2} + l_{ab} + \ddot{U} = \frac{8,85}{2} + 8,10 \text{ m} + 0,30 \text{ m} = \underline{12,83 \text{ m}}$$

Gewählt:  $L_{ges} = 13,00 \text{ m}$





**Rückverankerung** der Pieranlage Elbtor  
Magdeburger Hafen, Hamburg



## 6. Bemessungshilfen

### 6.3 Nachweis der Dauerhaftigkeit

Relevante Normen:

- gem. Zulassung
- DIN EN 14490 – Bodenvernagelung, Anhang B 3.4.5.1
- DIN 4128
- DIN 1045, Ausgabe 1978, Abschnitt 17.6.2
- DIN 50976
- EN 1537 Anhang A

Ein dauerhafter Korrosionsschutz für Mikropfähle TITAN wird gewährleistet durch:

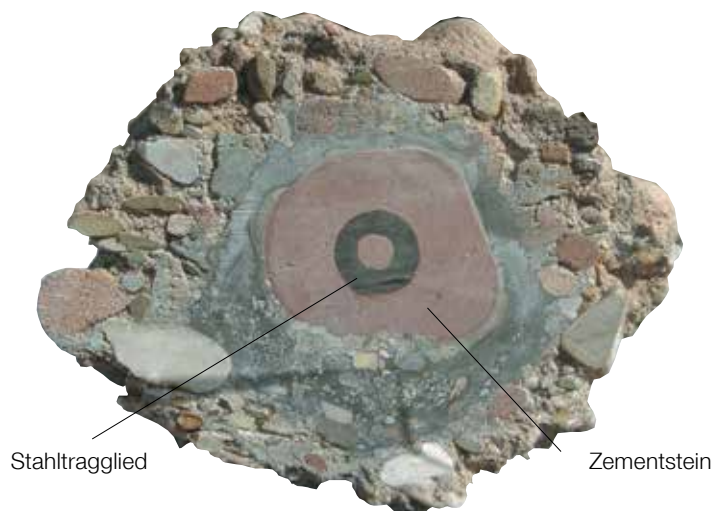
#### Zementstein-Überdeckung

Ein dauerhafter Korrosionsschutz für Mikropfähle TITAN wird durch die Zementstein-Überdeckung erzielt. Forschungsergebnisse haben gezeigt, dass der Korrosionsschutz durch den Verpresskörper aus Beton für dauerhafte Maßnahmen gewährleistet wird, solange die unter Belastung entstandenen Risse  $< 0,1$  mm sind (siehe auch DIN EN 14490 – Bodenvernagelung, Anhang B 3.4.5.1). Auch die DIN 4128 von 1983 weist schon auf die Begrenzung der Rissbreiten hin: „...der Nachweis der Beschränkung der Rissbreite [ist] nach DIN 1045, Ausgabe 1978, Abschnitt 17.6.2 für eine zu erwartende Rissbreite „sehr gering“ zu führen“ (Kap. 9.2). Dies führte zu den in der Zulassung geforderten Zementstein-Überdeckungen, die teilweise etwas größer sind, als die von den einschlägigen Fachnormen geforderten Mindest-Überdeckungen von

- mind. 20 mm bei Druckpfählen (nach EN 14199 / DIN SPEC 18539)
- mind. 30 mm bei Zugpfählen (nach EN 14199 / DIN SPEC 18539)

die hier als einfacher Korrosionsschutz bezeichnet werden. Größere Zementstein-Überdeckungen vergrößern wesentlich den Korrosionsschutz.

Die Begrenzung der Rissweite im Verpresskörper auf  $< 0,1$  mm war daher auch Auflage des DIBt für die Erteilung der Zulassung für Mikropfähle TITAN für den temporären und dauerhaften Einsatz **ohne** zusätzliche Korrosionsschutzmaßnahmen. Der Nachweis wurde durch umfangreiche Verbundversuche mit Rissweitenmessung erbracht.





Bei besonderen Anforderungen oder aggressiveren Böden können noch Zusatzmaßnahmen getroffen werden:

#### **Feuerverzinkung**

Nach DIN EN 14199 Abschnitt 7.6 „Korrosionsschutz von Stahlbauteilen“ und den Ergänzungen der DIN SPEC 18539 ist der Korrosionsschutz von Mikropfählen in der Zulassung geregelt. Eine zusätzliche Vorkehrung zum Schutze des Traggliebes gegen Korrosion kann dabei eine Verzinkung sein. Die nach DIN EN ISO 1461 aufbrachte Zinkschicht widersteht starken Korrosionsbelastungen und stellt einen langlebigen und wirtschaftlichen Korrosionsschutz dar.

Hinweise zur Korrosionswahrscheinlichkeit metallischer Werkstoffe in Böden siehe DIN EN 12501.

#### **Duplex-Beschichtung**

Feuerverzinkung gem. DIN EN ISO 1461 mit zusätzlicher Pulverbeschichtung (Duplex) entsprechend DIN 55633 (April 2009).

Es handelt sich um eine Pulverbeschichtung für den Bereich der Korrosivitätskategorie C5-M Medium entsprechend DIN EN ISO 12944 Teil 1 und einem Korrosionsschutz entsprechend DIN EN ISO 12944 Teil 2 und Teil 5.

Verarbeitungshinweis: Werden Duplex-beschichtete Stahltragglieder eingesetzt, sollte die Brechvorrichtung mit „weichen“ Backen ausgestattet werden, um die Beschichtung nicht zu beschädigen.

#### **Edelstahl**

Stahltragglieder TITAN 30/11 und TITAN 40/16 sind lieferbar in rostfreiem Stahl (INOX-Edelstahl) mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung Z-30.3-6 für die höchste Widerstandsklasse IV/Stark (Chloride, Schwefeldioxyd, Bergwässer). Dieser rostfreie Stahl ist auch ohne Zementstein korrosionsbeständig. Er empfiehlt sich dort, wo die gleichmäßige Zementstein-Überdeckung nicht gewährleistet werden kann, z. B. bei der Sanierung alter Tunnel. Ein ausführliches Korrosionsgutachten der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin (BAM) Aktenzeichen 1.3/12279 kann angefordert werden.



## 6. Bemessungshilfen

### 6.4 Ermittlung der theoretisch benötigten Zementmenge

Bei der überschlägigen Ermittlung der voraussichtlich benötigten Zementmenge wird der Bohrl Lochdurchmesser über die verwendete Bohrkronen plus Bohrl ochaufweitung ermittelt (abhängig vom anstehenden Boden, s. S. 40). Daraus ergibt sich ein theoretischer Querschnitt des Verpresskörpers. Bezogen auf einen Meter Pfahlänge ergibt sich das Bohrl ochvolumen. Die theoretisch benötigte Zementmenge wird vom Wasser/Zement-Wert beeinflusst.

Die lt. Berechnungsbeispiel bzw. Tabelle genannten Zementmengen basieren auf einem rein theoretischen Bohrl ochvolumen. In der Praxis treten mehr oder weniger starke Differenzen auf, für diese können Ursachen sein:

- Infiltration in den Boden
- Suspensionsrücklauf
- Art und Dauer der Bohrl ochstabilisierung beim Bohren
- Spül- und Verpressdruck
- Klüftigkeit des Bodens/Gebirges

#### Vergütungshinweis

Gem. DIN 18309:2012-09 (VOB Teil C, ATV-Einpressarbeiten) Abschnitt 4 sind Verfüll- und Verpressmengen bis zum 1,7-fachen des theoretischen Bohrl ochvolumens Nebenleistungen. Darüber hinausgehende Verfüll- und Verpressmengen sind besondere Leistungen.

Gemäß ZTV-W für Spundwände, Pfähle, Verankerungen ist bei der Angebotsstellung mit dem 1,7-fachen des theoretisch ermittelten Bohrl ochvolumens zu rechnen: „Größere Mengen an Verpressmasse werden nur nach vorheriger Abstimmung mit dem AG vergütet.“

#### Für spezielle Anwendungen kann es sinnvoll sein, folgende Zusätze zu verwenden:

Für bindige Böden, z.B. Löß, tonig-schluffige Mischböden können Quellzemente verwendet werden, z.B. CEMEX 15 auf Ettringit-Basis. Unter dem Quelldruck konsolidiert die Grenzschicht schneller. Für Überkopfb Bohrungen empfehlen sich fertig gemischte thixotrope Anker Mörtel, z. B. WILMIX LAWINA 98. Zusatz von Flow Cable, etc.

#### Beispielermittlung des Bohrl ochvolumens

TITAN 73/35  
 Lehmbohrkrone  $d = 200 \text{ mm}$   
 bindiger Boden  $a = 20 \text{ mm}$  (Bohrl ochaufweitung)  
 Bohrl ochdurchmesser:  $D = 20 \text{ cm} + 2 \text{ cm} = 22 \text{ cm}$

Theoretischer Verpresskörperquerschnitt:

$$A = \pi \cdot (D/2)^2 = \pi \cdot (11 \text{ cm})^2 = 380 \text{ cm}^2$$

Bohrl ochvolumen je 1 m Verpresskörperlänge:

$$V = A \cdot 1 \text{ m} = 380 \text{ cm}^2 \cdot 100 \text{ cm} = 38.000 \text{ cm}^3 = 38 \text{ Liter}$$

#### Beispielermittlung der erforderlichen Trockenzementmenge

Die nachstehende Tabelle gibt an, wie viel Kilogramm pro lfm für ein bestimmtes Bohrl ochvolumen theoretisch benötigt wird.

Nach Zulassung sind Zemente nach DIN EN 197 und DIN SPEC 18539 einzusetzen.

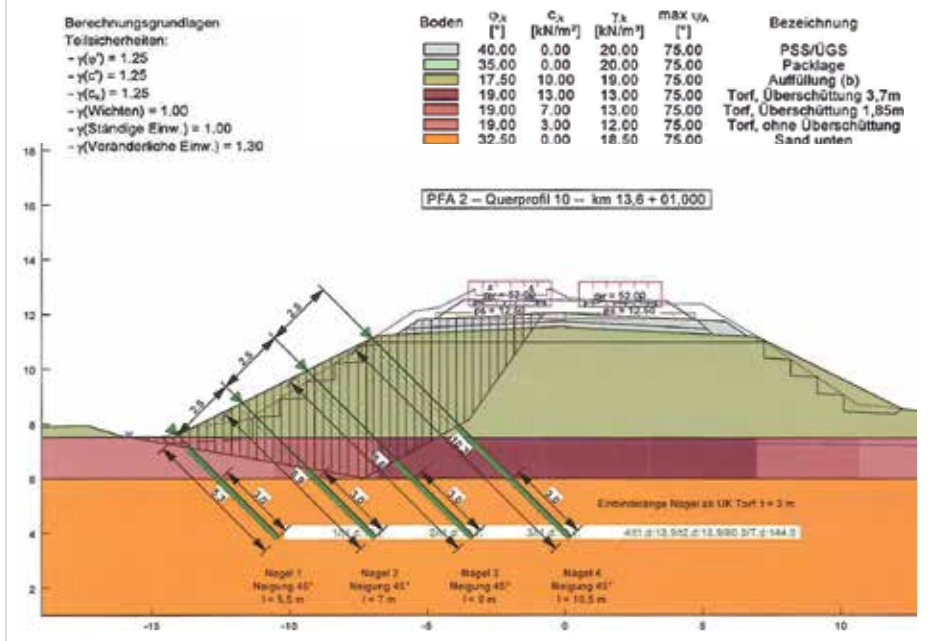
erforderliche Zementmenge	$Z = \frac{V \times \gamma_{\text{Sus}}}{1 + W/Z}$	[kg]
Wichte Suspension	$\gamma_{\text{Sus}} = g_{\text{Sus}} / V = \frac{W/Z + 1}{W/Z + 1/3}$	[kg/ltr]
Gewicht Suspension	$g_{\text{Sus}} = W + Z$	[kg]
Bohrl ochvolumen	$V = W + V_Z$	[ltr]
Volumen Zement	$V_Z = Z / g_{\text{spez}}$	[ltr]
spez. Gewicht Zement	$g_{\text{spez}} = 3,0$	[kg/ltr]

#### Bohrl ochvolumen und Zementmenge in Abhängigkeit vom W/Z-Wert

Pfahl-Ø	Bohrl ochvolumen V	W/Z-Wert Zementsuspension [ - ]							
		0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	
D	V	Wichte Suspension $\gamma_{\text{Sus}}$ [ kg/ltr ]							
		1,91	1,80	1,71	1,65	1,59	1,54	1,50	
[mm]	[l/m]	erforderliche Zementmenge Z [kg] pro lfd m Verpresskörperlänge							
60	2,8	3,9	3,4	3,0	2,7	2,5	2,3	2,1	
90	6,4	8,7	7,6	6,8	6,2	5,6	5,2	4,8	
120	11,3	15,4	13,6	12,1	10,9	10,0	9,2	8,5	
150	17,7	24,1	21,2	18,9	17,1	15,6	14,3	13,3	
180	25,4	34,7	30,5	27,3	24,6	22,5	20,6	19,1	
200	31,4	42,8	37,7	33,7	30,4	27,7	25,5	23,6	
220	38,0	51,8	45,6	40,7	36,8	33,5	30,8	28,5	
250	49,1	66,9	58,9	52,6	47,5	43,3	39,8	36,8	
300	70,7	96,4	84,8	75,7	68,4	62,4	57,3	53,0	



**Böschungsvernagelung**  
Ausbaustrecke JadeWeserPort,  
Wilhelmshaven



## 7. Anhang

### 7.1 Nachweise und Grundsatzversuche

Seit der Entwicklung des Systems wurden umfangreiche Grundsatzversuche durchgeführt. Die dabei ermittelten Werte werden im Folgenden als Nachweis angeführt.

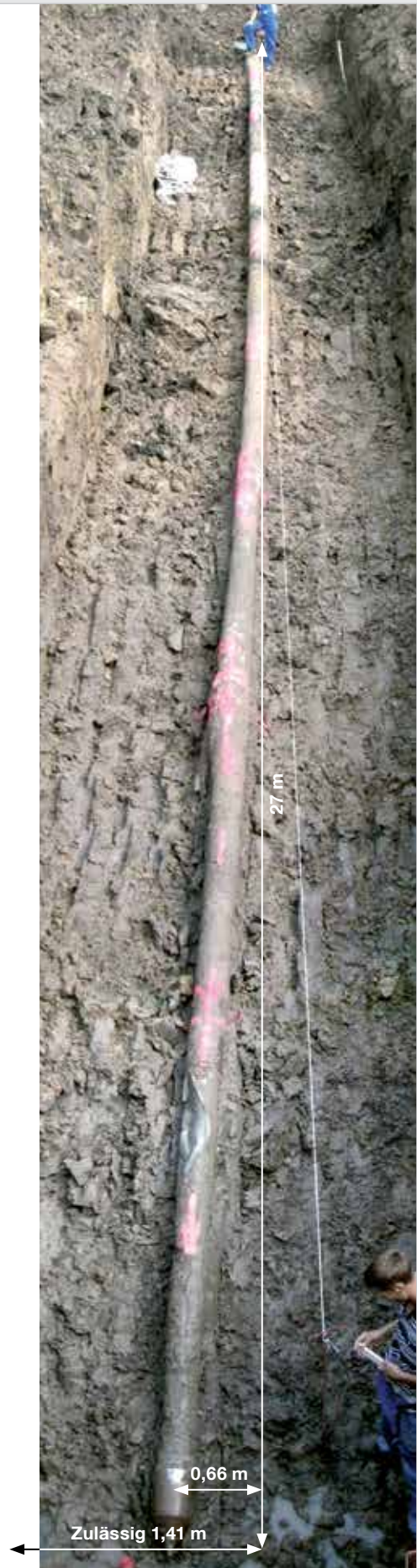
#### 7.1.1 Richtungsstabilität

Mikropfahl TITAN 103/78

Einbau unter  $20^\circ$  zur Horizontalen geneigt.

Richtungsabweichung: 66 cm bei einer Pfahllänge von 27 m = 2,4% (entspricht  $1,4^\circ$ ).

Gemäß DIN SPEC 18539:2012-02 ist eine Ausführungstoleranz von  $\pm 7,5$  cm am Bohransatzpunkt und eine Abweichung von  $3^\circ$  der Neigung zulässig (entspräche hier 1,41 m).



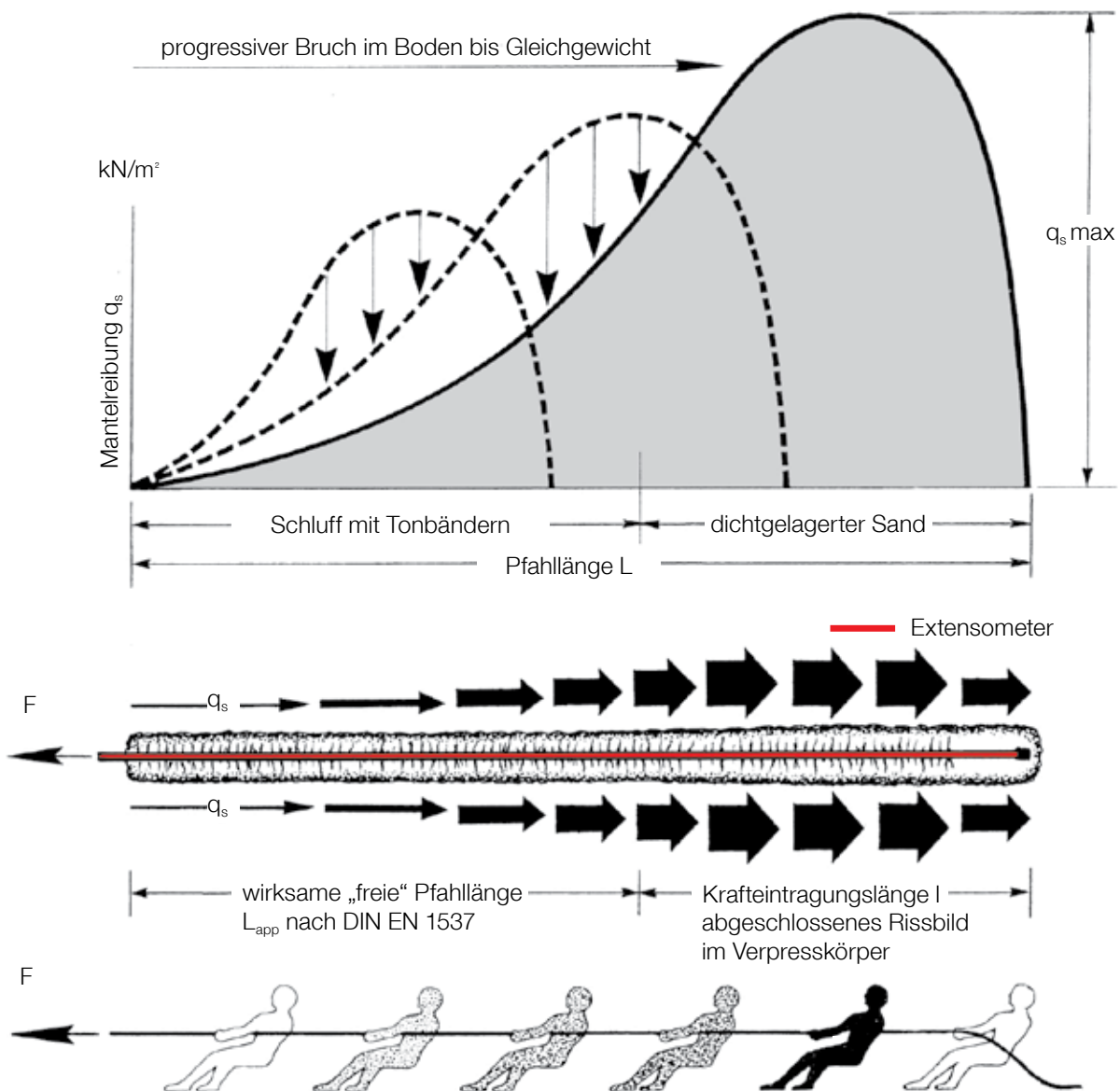
**7.1.2 Lastabtrag**



In Versuchen wurde die Stahldehnung über die Verpresslänge gemessen. Dazu wurde ein Extensometer in das Innere eines Stahltragglieds eingegossen. Die Versuchsergebnisse belegen, dass sich der nicht oder wenig tragfähige Baugrund der Lastaufnahme entzieht und so eine wirksame „freie“ Pfahlänge ausbildet. Diese kann, wie die freie

Stahlänge bei Verpressankern nach DIN EN 1537, in ähnlicher Weise anhand von Probebelastungen gemessen und überprüft werden.

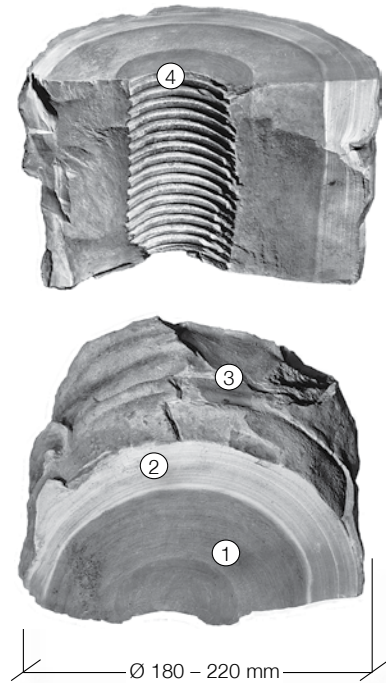
**Lastabtrag beim Mikropfahl**  
gemessen mit Extensometer



## 7. Anhang

### 7.1 Nachweise und Grundsatzversuche

#### 7.1.3 Verpresskörperdurchmesser



Die Verpresskörper ausgegrabener Mikropfähle TITAN verdeutlichen

- die gute Verzahnung mit dem Boden,
- den vergrößerten Durchmesser gegenüber der Bohrkronen,
- die gleichmäßige Zementstein-Überdeckung.

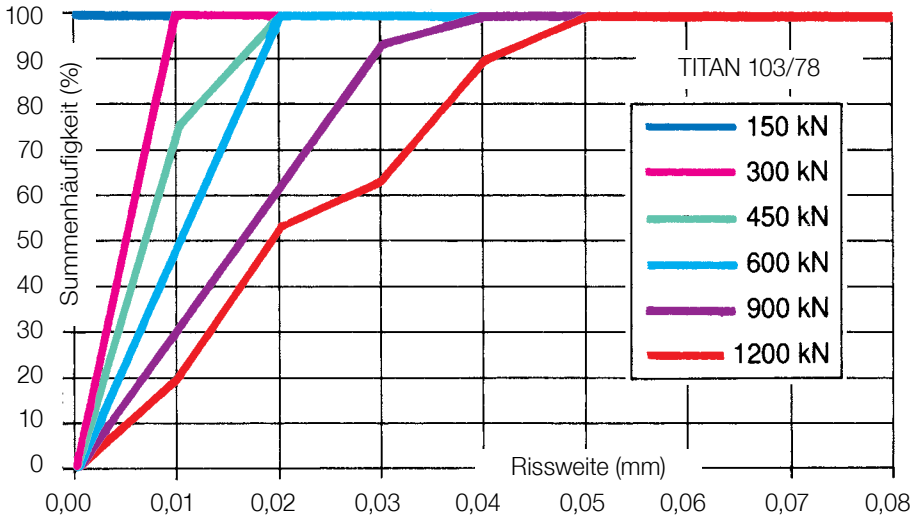
Verpresskörperdurchmesser am Beispiel BV Ericusspitze/Hamburg: Im Kopfbereich freigelegte Mikropfähle TITAN 103/78 verdeutlichen die Bohrlöcheröffnung im sandigen Baugrund bei Verwendung einer Kreuzbohrkronen  $\varnothing 175 \text{ mm}$ .

Ausgegrabener Verpresskörper Mikropfahl TITAN 103/78 (sehr feiner, loser Sand, 40 m unter dem Wasserspiegel,  $q_c = 15 \text{ MN/m}^2$ )

- ① Portlandzement, Druckfestigkeit  $f_{c,k} \geq 35 \text{ N/mm}^2$
- ② Filterkuchen abgefilterter Zement, Stützschaale, hellere und dunklere Ringe zeigen unterschiedliche W/Z-Werte
- ③ Formschlüssiger Scherverbund mit dem Boden
- ④ Zentrische Lage des Stahltragglieds, gleichmäßige Zementstein-Überdeckung

**7.1.4 Verbundverhalten Rissweiten**

Verbundversuche mit Rissweitenmessung an ausgegrabenen Ankerpfählen/Mikropfählen TITAN, TU München Prof. Dr.-Ing. Zilch, Prof. Dr.-Ing. Schießl

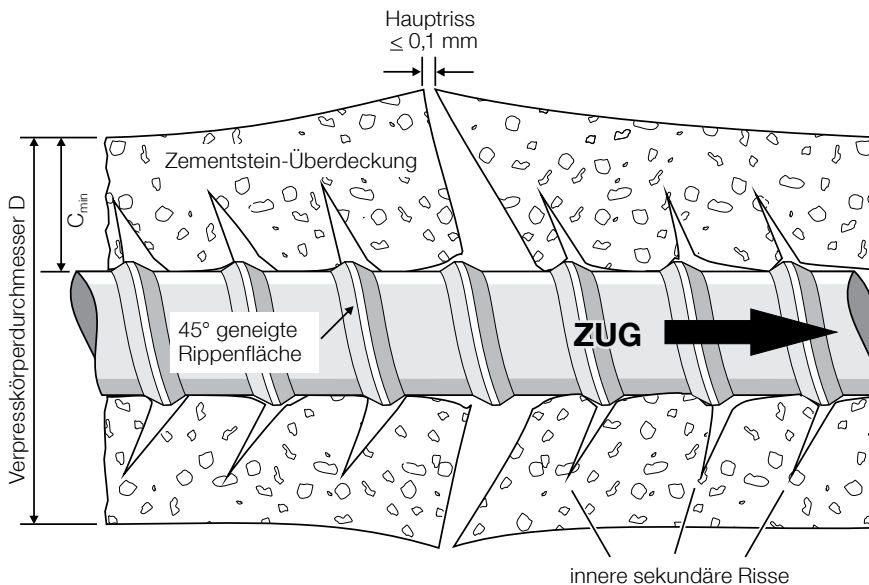


Für einen dauerhaften Korrosionsschutz wird gefordert, dass die Risse im Verpresskörper  $< 0,1$  mm sind (siehe auch Nachweis Dauerhaftigkeit). Der Nachweis wurde durch umfangreiche Verbundversuche mit Rissweitenmessung an ausgegrabenen Mikropfählen TITAN und Vergleichsrechnungen erbracht.

Die unterschiedliche Dehnung von Stahltragglied und Zement wird durch Mikrorisse ausgeglichen, die von jeder Gewinderippe ausgehen. Radial verlaufende Mikrorisse  $< 0,1$  mm Rissweite gelten als unbedeutend für Korrosion und Verbund. Der gerissene Verpresskörper bewirkt eine Zugversteifung, den sog. „Tension Stiffening Effect“.



Aufgebrochener Verpresskörper TITAN 30/11 mit abgeschlossenem Rissbild.



## 7. Anhang

### 7.1 Nachweise und Grundsatzversuche

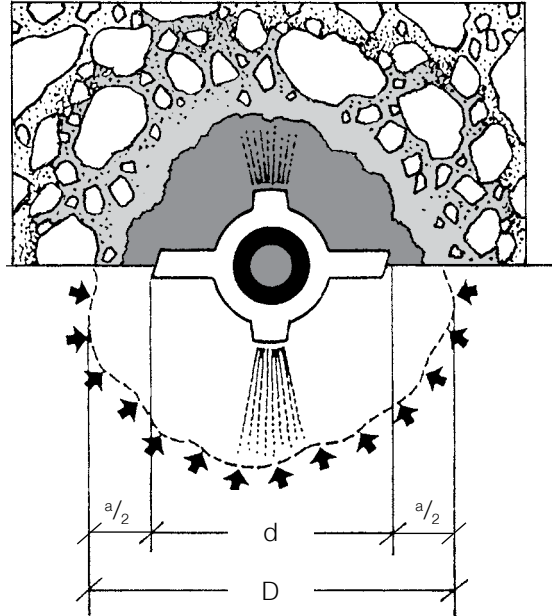
#### 7.1.5 Die Bohrlochaufweitung

Durch den Bohrvorgang mit radialem Spülstrahl wird ein größerer Durchmesser des Verpresskörpers erreicht. Basierend auf mehreren Versuchsreihen und einer Vielzahl von ausgegrabenen Mikropfählen TITAN können folgende Erfahrungswerte für Bohrlochaufweitungen (in bindigen Böden) angenommen werden:

$$D = d + a$$

Bohrlochaufweitung a:

- nach DIN SPEC 18539:  $a_{\min} \geq 20 \text{ mm}$   
(Bei Herstellung mit Außenspülung)
- Rohrverpresspfahl nach EA-Pfähle:  $a = 20 \text{ mm}$
- Gemittelte Erfahrungswerte der Fa. Ischebeck zur Vordimensionierung (an ausgegrabenen Verpresskörpern gemessener Wert):  
sandiger Boden:  $a \approx 50 \text{ mm}$   
kiesiger Boden:  $a \approx 75 \text{ mm}$



#### Nachweis der Bohrlochaufweitung für den Verpresskörper in bindigem Boden

Baustelle: Casaramona in Barcelona/Spanien, ca. 200 Stück ausgegrabene Mikropfähle TITAN

gemessener Umfang	Radius Verpresskörper	effektiver Durchmesser	Bohrlochaufweitung	Zementstein-Überdeckung
$u$	$r = \frac{u}{2 \cdot \pi}$	$d_{\text{eff}} = 2 \times r$	$b = d_{\text{eff}} - d_B$ $> 25 \text{ mm}$	$c = \frac{2 \cdot r - d_v}{2}$
[mm]	[mm]	[mm]	[-]	[mm]

#### Mikropfahl TITAN 73/53, $d_v = 73 \text{ mm}$ , Kreuzbohrkrone, $d_B = 130 \text{ mm } \emptyset$

Abschnitt 1	550,0	87,54	175,07	<b>45,07</b>	51,04
Abschnitt 2	550,0	87,54	175,07	<b>45,07</b>	51,04
Abschnitt 3	546,0	86,90	173,80	<b>43,80</b>	50,40
<b>Mittelwert</b>	<b>548,7</b>	<b>87,32</b>	<b>174,65</b>	<b>44,60</b>	<b>50,82</b>

#### Mikropfahl TITAN 40/16, $d_v = 40 \text{ mm}$ , Lehmbohrkrone, $d_B = 110 \text{ mm } \emptyset$

Abschnitt 4	466,0	74,17	148,33	<b>38,30</b>	54,17
Abschnitt 5	471,0	74,96	149,92	<b>39,90</b>	54,96
Abschnitt 6	472,0	75,12	150,24	<b>40,20</b>	55,12
Abschnitt 7	464,0	73,85	147,70	<b>37,70</b>	53,85
<b>Mittelwert</b>	<b>468,3</b>	<b>74,52</b>	<b>149,05</b>	<b>38,85</b>	<b>54,52</b>



**Randbalken** für Pacific Coast Highway #1, Panamericana, „Devil's Slide“



Zusätzliche **Rückverankerung** einer Spundwand, HPA, Hamburger Hafen

Bohransatzpunkt unter Wasser.



**Gründung** eines Brückenbogens auf Ankerpfählen TITAN 40/16  
Autobahn-Neubau Zwardon, Polen

Übrige Böschung durch Bodenvernagelung gesichert.



# 7. Anhang

## 7.2 Übersicht Normen

### Relevante Normen

<b>Nachweise</b>	<b>Normen</b>
Innere Tragfähigkeit	Bauaufsichtliche Zulassung Z 34.14-209
Mikropfähle/Verpresspfähle	DIN EN 14199 DIN SPEC 18539
Bodenvernagelung	DIN EN 14490
Geotechnische Nachweise	EC7 bestehend aus: - DIN EN 1997-1:2009-09 - DIN EN 1997-1 / NA:2010-12 - DIN 1054:2010-12 - DIN 4084 EA Pfähle
Anforderung an Bewehrung (Material S 460 NH)	DIN EN 14199 DIN EN 10210 DIN 488 EC 2
Korrosionsschutz (Zementstein-Überdeckung)	Bauaufsichtliche Zulassung Z-34.14-209 DIN EN 14199 DIN EN 14490
Probelastungen	EC7 bestehend aus: - DIN EN 1997-1:2009-09 - DIN EN 1997-1 / NA:2010-12 - DIN 1054:2010-12 - DIN EN 14199 / EC7 - DIN EN 14490 - (DIN EN ISO 22477-1) zukünftig

### Technische Daten

Bezeichnung	Einheit	TITAN	TITAN	TITAN	TITAN	TITAN	TITAN	TITAN	TITAN	TITAN	TITAN	TITAN	TITAN	TITAN
		30/16	30/11	40/20	40/16	52/26	73/56	73/53	73/45	73/35	103/78	103/51	103/43	127/103
Nenn Durchmesser $D_{\text{Stahl}} \text{ außen}$	mm	30	30	40	40	52	73	73	73	73	103	103	103	127
Nenn Durchmesser $D_{\text{Stahl}} \text{ innen}$	mm	16	11	20	16	26	56	53	45	35	78	51	43	103
Effektiver Querschnitt $A_{\text{eff}}$	mm <sup>2</sup>	340	415	730	900	1250	1360	1615	2239	2714	3140	5680	6024	3475
Bruchlast $F_u$	kN	245	320	540	660	925	1035	1160	1575	1865	2270	3660	4155	2320 <sup>4)</sup>
Charakteristische Tragfähigkeit $R_k$ gem. dt. Zulassung <sup>1)</sup>	kN	155 <sup>2)</sup>	225	372	490	650	695 <sup>2)</sup>	900	1218	1386	1626	2500	3015 <sup>2)</sup>	1800 <sup>2)</sup>
			(250) <sup>3)</sup>											
Kraft an der 0,2 % Dehngrenze $F_{0,2k}$ (Mittelwert)	kN	190	260	425	525	730	830	970	1270	1430	1800	2670	3398	2030
Dehnsteifigkeit $E \cdot A^{5)}$	10 <sup>3</sup> kN	63	83	135	167	231	251	299	414	502	580	1022	1202	640
Biegesteifigkeit $E \cdot I^{5)}$	10 <sup>6</sup> kNm <sup>2</sup>	3,7	4,6	15	17	42	125	143	178	195	564	794	838	1163
Gewicht	kg/m	2,7	3,29	5,8	7,17	9,87	10,75	13,75	17,8	21,0	25,3	44,6	47,3	28,9
Länge	m	3	2/3/4	3/4	2/3/4	3	6,25	3	3	3	3	3	3	3
Links-/Rechts- Gewinde	-	links	links	links	links	links	rechts	rechts	rechts	rechts	rechts	rechts	rechts	rechts

<sup>1)</sup> Bei Dauer-Zugbeanspruchungen und Zementstein-Überdeckungen  $c < 45$  mm sind die Tragfähigkeiten entsprechend Zulassung Z-34.14-209 zu reduzieren.  
<sup>2)</sup> Für diese Größen liegt noch keine Zulassung vor. Für TITAN 30/16, 73/56 103/43 und 127/103 wurden die Werte analog zur Zulassung interpoliert.  
<sup>3)</sup> Für den Typ TITAN 30/11 darf für den vorübergehenden Einsatz ( $\leq 2$  Jahre) eine charakteristische Tragfähigkeit von 250 kN angesetzt werden.  
<sup>4)</sup> Gilt nur für das Stahltragglied ohne Kopplungsmuffe. Bei gekoppelten Stahltraggliedern beträgt die Bruchlast 2048 kN.  
<sup>5)</sup> Für den Fall von Verformungsberechnungen sind die angegebenen Werte anzusetzen. Die Werte sind aus Versuchen ermittelt. Es ist nicht möglich, aus diesen Angaben rechnerisch E-Modul, Querschnitt oder Trägheitsmoment zu ermitteln.



**Hangsicherung** an der Bahnstrecke Nürnberg – Regensburg

Es kamen ca. 8000 lfm feuerverzinkte TITAN 30/11 zum Einsatz.

Schalungssysteme



Verbausysteme



Geotechnik



Zertifiziertes Management-System nach DIN EN ISO 9001:2015  ZERT



**FRIEDR. ISCHEBECK GMBH**

Geschäftsführer: Dipl. Wi.-Ing. Björn Ischebeck, Dr. jur. Lars Ischebeck  
 Loher Str. 31-79 | DE-58256 Ennepetal | Tel. +49 (2333) 8305-0 | Fax +49 (2333) 8305-55  
 E-Mail: [info@ischebeck.de](mailto:info@ischebeck.de) | <http://www.ischebeck.de>