

BAUGRUNDERKUNDUNG
SYSTEMBESCHREIBUNG
ERMITTLUNG DER HERAUSZIEH-WIDERSTÄNDE
BEMESSUNG
SYSTEMPRÜFUNG

für die Systeme

MIKROPFAHL
VERPRESSANKER
VERPRESSPFAHL
BODENNAGEL

auf Grundlage der Normen

ÖNORM EN 1997-1: Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik
2014-11-15 Teil 1: Allgemeine Regeln

ÖNORM EN 1997-2: Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik
2010-08-15 Teil 2: Erkundung und Untersuchung des Baugrundes

ÖNORM B 1997-1-1: Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik
2013-09-01 Teil 1: Allgemeine Regeln

ÖNORM EN 1537: Ausführung von Arbeiten im Spezialtiefbau – Verpressanker
2015-10-15

ÖNORM EN 14199: Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau)
2016-10-15 Pfähle mit kleinen Durchmessern (Mikropfähle)

ÖNORM EN 14490: Ausführung von Arbeiten im Spezialtiefbau - Bodenvernagelung
2010-07-15

ÖNORM B 1997-1-3: Pfahlgründungen
2015-08-01

1. BAUGRUNDERKUNDUNG

1.1 Allgemeines

Grundlage: ÖNORM EN 1997-2:2007

Anhang B.3 – Beispiele für Empfehlungen von Untersuchungsabständen

Folgende Abstände von Aufschlusspunkten sollten als Richtwerte benutzt werden:

- bei Linienbauwerken (Straßen, Eisenbahnen, Kanäle, Rohrleitungen, Deiche, Tunnel, Rückhaldedämme) ein Abstand von 20 m
- bei Sonderbauwerken (z. B. Brücken, Schornsteinen, Maschinenfundamenten), zwei bis sechs Aufschlüsse je Fundament

1.2 Mikropfähle

Baugrunderkundung

Grundlage: ÖNORM EN 14199

5.2.2 Die Baugrundkennwerte sind durch in-situ-Versuche und/oder Laborversuche über die gesamte Länge der Mikropfähle bzw. bis zu einer Tiefe, die durch die Eigenschaften des Baugrunds und der Lastabtragung des Mikropfahls (Spitzendruckpfahl oder Mantelreibungspfahl) definiert wird, zu bestimmen.

5.2.4 Die nachfolgenden Kenntnisse – sofern notwendig für die Herstellung der Mikropfähle – müssen im Rahmen des Baugrundgutachtens gegeben sein:

- a) Grundwasserstände aller Boden- und Felsschichten
- b) Vorhandensein grobkörniger, stark durchlässiger Böden bzw. künstliche oder natürliche Hohlräume, die ein schlagartiges Abfließen der Spülflüssigkeit und eine damit einhergehende Instabilität des Bohrlochs zur Folge haben können. Dies bedingt besondere Maßnahmen.
- c) Vorhandensein, Festigkeit und Verformungsverhalten weicher Schichten, wie z. B. sehr weicher Tone oder Torfe, die Schwierigkeiten bei der Herstellung oder Belastung der Mikropfähle verursachen können

- d) mögliches Geröll oder Blöcke oder andere Hindernisse im Baugrund, die Schwierigkeiten bei der Einbringung oder der Bohrung verursachen können
- e) Höhenlage und Neigung der Felsoberkante
- f) chemische Aggressivität von Grundwasser, Boden und Fels
- g) Vorhandensein, Ausdehnung und Beschaffenheit von Kontaminationen
- h) Erosions- und andere Zerfallserscheinungen von Boden und Fels bei Kontakt mit Wasser

1.3 Bodenvernagelung

Baugrunderkundung

Grundlage: ÖNORM EN 14490

siehe Mikropfähle

1.4 Verpressanker

Baugrunderkundung

Grundlage: ÖNORM EN 1537

5.2.4 Geotechnische Untersuchungen sollten bis zu den äußersten Grenzen des Baubereiches und, sofern möglich, auf Bodeninformationen außerhalb des eigentlichen Baubereiches ausgedehnt werden, wenn von Ankern ausgehende Spannungen über den Baubereich hinaus wirken. Damit können die Schichtgrenzen zwischen den einzelnen Baugrundaufschlüssen interpoliert werden, statt sie außerhalb des zu untersuchenden Bereiches extrapolieren zu müssen.

5.2.6 Die geotechnischen Untersuchungen sollten tief genug reichen, um sicherzustellen dass:

- a) die zu erwartende geologische Formation, die von Spannungsänderungen durch das Spannen des Ankers beeinflusst wird, bestätigt wird

- b) keine darunterliegende Schicht die Bemessung beeinflusst
- c) die Grundwasserverhältnisse genau definiert sind

5.2.7 Die geotechnischen Untersuchungen sollten Aufschluss geben über die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Schwierigkeiten hinsichtlich:

- möglicher Bohrhindernisse
- des Bohrverfahrens (Bohrbarkeit)
- der Bohrlochstabilität
- Grundwasserströmung in das oder aus dem Bohrloch
- Verpressgutverlust aus dem Bohrloch

2. SYSTEMBESCHREIBUNG

Hinsichtlich der Art der Konstruktion, der Art der Gründung und der anstehenden Bodenverhältnisse ist zu unterscheiden zwischen einer

- permanenten Ausführung
- semipermanenten Ausführung oder
- temporären Ausführung

Diese Entscheidung beeinflusst wesentlich die Systemwahl.

Systeme:

- doppelter Korrosionsschutz
- Berücksichtigung einer entsprechenden Abrostrate zur Festlegung eines semi-permanenten oder permanenten Systems
- einfacher Korrosionsschutz

2.1 Mikropfahl

Gebohrte Pfähle mit einem Bohrdurchmesser < 300 mm

Grundsätzlich sind alle Kleinbohrpfähle bei Tiefgründungen der unterschiedlichen Objekte (Stützkonstruktionen, Brücken, Halbbrücken,...) unabhängig der Beanspruchung (Zug-Druck-Wechselast) und der Systeme (z. B. GEWI, ANP, IBO,...) als Mikropfahl zu betrachten.

2.2 Verpressanker

Verpressanker sind vorgespannte oder nicht vorgespannte Konstruktionselemente mit einer **freien Länge des Zuggliedes** gemäß ÖNORM EN 1537.

2.3 Verpresspfähle (= blockierter Verpressanker)

Verpresspfähle sind verpresste Mikropfähle gemäß ÖNORM EN 14199 oder verpresste Verdrängungspfähle gemäß ÖNORM EN 12699, die als **Verankerungen auf Zug** beansprucht werden und als **Einzeltragglieder** wirken.

2.4 Nägel

Nägel sind stabförmige Konstruktionselemente gemäß ÖNORM EN 14490, die als Bodenbewehrung mit dem umgebenden Baugrund einen Verbundkörper (Bodenvernagelung) bilden. Wesentlicher Parameter ist der Abstand der Nägel untereinander. Dieser Abstand ist ausreichend klein zu wählen, um eine monolithische Gesamttragwirkung sicherzustellen. Üblicherweise ist der horizontale Abstand im Lockergestein mit etwa **1,50 m** zu begrenzen. Nägel wirken immer als **Kollektiv**.

3. ERMITTLUNG DER HERAUSZIEH-WIDERSTÄNDE

Probelastungen stellen eine wesentliche Grundlage zur Festlegung der entsprechenden Pfahl-, Anker- oder Nagellängen dar.

Vorrangig soll dabei ein **Bodenversagen bei den „Opfernägeln“** produziert werden, um für die Festlegung des charakteristischen Wert des Herauszieh-Widerstandes $R_{a;k}$ realistische Werte zu erhalten.

3.1 Ermittlung der charakteristischen Herauszieh Widerstände

$R_{a;k}$ = charakteristischer Herauszieh-Widerstand

3.1.1 Mikropfahl

$$R_{t;k} = \min\{(R_{t;m})_{\text{mitt}} / \xi_1, (R_{t;m})_{\text{min}} / \xi_2\}$$

$R_{t;m}$ aus Probelastungen auf Zug gemessene Werte

$(R_{t;m})_{\text{mitt}}$ Mittelwert der aus Probelastungen auf Zug gemessene Werte

$(R_{t;m})_{\text{min}}$ kleinster Wert von allen Messungen $R_{c;m}$

ξ_1, ξ_2 Streuungsfaktor ξ_i für Pfahlgründungen gemäß ÖNORM B 1997-1-1:2013, Abschnitt 4.5, Tabelle 8

3.1.2 Verpressanker

$R_{a;k}$ = Minimalwert des Herauszieh-Widerstandes der Versuche

Für Verpressanker sind 2 Nachweise für den Grenzzustand der Tragfähigkeit zu führen:

- 1) Nachweis der ausreichenden Sicherheit gegenüber dem Herauszieh-Widerstand (geotechnischer Nachweis der „äußeren Tragfähigkeit“),
- 2) Nachweis der ausreichenden Sicherheit gegenüber dem Versagen des Zuggliedes (Nachweis für den Materialwiderstand des Verpressankers, d. h. der „inneren Tragfähigkeit“). Werden anstatt Stahl alternative Materialien für Ankerzugglieder verwendet, gelten sämtliche Bestimmungen sinngemäß.

Zu 1) müssen gemäß ÖNORM EN 1997-1:2009, Abschnitt 8.5 folgende Festlegungen eingehalten werden:

- Zu ÖNORM EN 1997-1:2009, Abschnitt 8.5.2(2)P:

Bemessungswerte des Herauszieh-Widerstandes auf Grund von Ergebnissen von Eignungsprüfungen (in Sonderfällen von Untersuchungsprüfungen):

Die in Tabelle 13 definierten Teilsicherheitsbeiwerte sind anzuwenden.

- Zu ÖNORM EN 1997-1:2009, Abschnitt 8.5.2(3):

Bemessungswerte des Herauszieh-Widerstandes auf Grund von Ergebnissen von Ankerprüfungen durch Anwendung eines Streuungsfaktors ξ_a :

Entgegen ÖNORM EN 1997-1:2009, Abschnitt 8.5.2(3) werden Streuungsfaktoren ξ_a nicht angewendet. **Der charakteristische Herauszieh-Widerstand $R_{a;k}$ ist der Kleinstwert der Ergebnisse der an Bauwerksankern durchgeführten Eignungsprüfungen.**

3.1.3 Verpresspfahl

$$R_{a;k} = (R_{a;m})_{\min} / \xi_2$$

3.1.4 Bodennagel

$$R_{n;k} = (R_{n;m})_{\min} / \xi_2$$

hier gilt zusätzlich die Bestimmung lt. Pkt. 4.6.4.2 ÖNORM B 1997-1-1:2013

Für Nägel sind zwei Nachweise für den Grenzzustand der Tragfähigkeit zu führen:

- 1) Nachweis der ausreichenden Sicherheit gegenüber dem Herauszieh-Widerstand (geotechnischer Nachweis der „äußeren Tragfähigkeit“)
- 2) Nachweis der ausreichenden Sicherheit gegenüber dem Versagen des Zuggliedes (Nachweis für den Materialwiderstand, d. h. der „inneren Tragfähigkeit“).

Zu 1) müssen folgende Festlegungen eingehalten werden:

Die Ermittlung des Herauszieh-Widerstandes von Nägeln hat über mindestens drei Bodennagellastprüfungen (gemäß ÖNORM EN 14490:2010, Abschnitt 9.3.2) pro Gruppe gleichartig beanspruchter Nägel zu erfolgen, wobei der Kleinstwert aller Prüfergebnisse maßgebend ist.

ξ_1, ξ_2 lt. Tabelle 8 ÖNORM B 1997-1-1:2013

ξ für n =	1	2	3	4	≥ 5
ξ_1	1,40	1,30	1,20	1,10	1,00
ξ_2	1,40	1,20	1,05	1,00	1,00
n Anzahl der probebelasteten Pfähle, Anker bzw. Nägel					

4. BEMESSUNG

4.1 Äußere Tragfähigkeit (Herauszieh-Widerstand)

Es gelten die Bestimmungen gemäß ÖNORM EN 1997-1 bzw. ÖNORM B 1997-1-1

4.1.1 Mikropfähle

Druckpfähle

$$R_{c;d} = R_{c;k} / (\eta_{P;c} \times \gamma_t)$$

Zugpfähle

$$R_{t;d} = R_{t;k} / (\eta_{P;t} \times \gamma_{s;t})$$

Entgegen der ÖNORM EN 1997-1 ist der Wert für γ_t bzw. $\gamma_{s;t}$ unabhängig der Beanspruchung in Anlehnung an die Festlegung für Verpresspfähle in der ÖNORM B 1997-1-1 mit 1,40 zu berücksichtigen.

Tabelle A.1 – Modellfaktoren η

	Fall	Symbol	Wert
1	Pfahlwiderstände auf axialen Druck aus statischen Pfahlprobelastungen	$\eta_{P;c}$	1,0
2	Pfahlwiderstände auf axialen Zug aus statischen Pfahlprobelastungen	$\eta_{P;t}$	1,0
3	Pfahlwiderstände auf axialen Druck mittels Tabellenwerten der Anhänge C und D	$\eta_{P;c}$	1,3
4	Pfahlwiderstände auf axialen Zug mittels Tabellenwerten der Anhänge C und D	$\eta_{P;t}$	2,5
5	Pfahlwiderstände auf axialen Druck aufgrund von vergleichbarer Erfahrung	$\eta_{P;c}$	$\geq 1,3$
6	Pfahlwiderstände auf axialen Zug aufgrund von vergleichbarer Erfahrung	$\eta_{P;t}$	$\geq 2,5$

Bei Zugpfählen muss im Anlassfall neben dem Herausziehen des Pfahles aus dem Boden auch die ausreichende Sicherheit gegen das Anheben des

an einem Zugpfahl hängenden Bodenkörpers gem. Pkt. 7.3.2.2 ÖNORM B 1997-1-3 nachgewiesen werden.

4.1.2 Verpressanker

$$R_{a;d} = R_{a;k} / \gamma_a$$

4.1.3 Verpresspfahl

$$R_{a;d} = R_{a;k} / \gamma_{s;t}$$

4.1.4 Bodennagel

$$T_{i;d} \leq T_{k;m} / \gamma_{n;t}$$

$$T_{k;m} = R_{n;k} / a_m$$

(a_m = Verbundlänge lt. Bild C1 ÖNORM EN 14490)

Tabelle 13: ÖNORM B 1997-1-1:2013

Teilsicherheitsbeiwerte für Widerstände gegen Herausziehen von Verpressankern, Verpresspfählen und Nägeln (γ_R) für alle Bemessungssituationen

Widerstand	Symbol	Schadensfolgeklasse
		CC 1 und CC 2
Verpressanker	γ_a	1,10
Verpresspfähle	$\gamma_{s;t}$	1,40
Nägeln	$\gamma_{n;t}$	1,40

4.2 Innere Tragfähigkeit

(Sicherheit gegenüber dem Versagen des Zuggliedes / Druckgliedes)

Die Bemessungswerte des Material-Widerstands bilden sich wie folgt ab:

4.2.1 Mikropfahl

$$R_{m;d} = R_{t0,2k} / \gamma_s$$

$R_{m;d}$ = Bemessungswert des Material-Widerstandes

$R_{t0,2k}$ = charakteristischer Wert der Kraft des Stahlzuggliedes bei 0,2% bleibender Dehnung für Betonstahl

4.2.2 Verpressanker

$$R_{t;d} = R_{p0,1k} / (\gamma_s \times \eta) \quad \text{Spannstahl}$$

$$R_{t;d} = R_{t0,2k} / (\gamma_s \times \eta) \quad \text{Betonstahl}$$

4.2.3 Verpresspfahl

$$R_{t;d} = R_{t0,2k} / (\gamma_s \times \eta)$$

4.2.4 Bodennagel

$$R_{t;d} = R_{t0,2k} / (\gamma_s \times \eta)$$

γ_s = Teilsicherheitsbeiwert des Stahlgliedes = 1,15

Tabelle 14: ÖNORM B 1997-1-1:2013

Faktor η in Abhängigkeit von den Schadensfolgeklassen

Widerstand	Symbol	Schadensfolgeklasse
		CC 1 und CC 2
Verpressanker	η	1,00
Verpresspfähle	η	1,30
Nägel	η	1,30

Anmerkung: Durch die Einführung des Faktors η wird sichergestellt, dass alle Stahlzugglieder nicht nur für den Bemessungswert P_d , sondern auch für die geforderten Prüfkräfte bemessen sind.

5. SYSTEMPRÜFUNG

Die Prüfungen für die verschiedenen Systeme während der Bauausführung sind lt. ÖNORM B1997-1-1 bzw. ÖNORM EN 14199 bzw. ÖNORM EN 14490 wie folgt geregelt:

	Ausführung			
	Mikropfahl	Verpressanker	Verpresspfahl	Bodennagel
Vorspannung möglich	nein	ja	nein	nein
Anzahl der Prüfungen n	siehe Punkt 9.3.2.3.1 bzw. 9.3.2.3.2 lt. ÖNORM EN 14199	100 %	≥ 3 %, n ≥ 3	≥ 2 %, n ≥ 3

5.1 Mikropfahl

Grundlage ÖNORM EN 14199,

9.3.2.3 Statische Probelastungen an Bauwerks-Mikropfählen

9.3.2.3.1 Soweit nicht anders festgelegt, sollten für die ersten 100 Mikropfähle an mindestens zwei Mikropfählen Probelastungen und für alle weiteren 100 Mikropfähle mindestens eine Probelastung durchgeführt werden.

9.3.2.3.2 Soweit für Zugpfähle nicht anders festgelegt, sollte eine Probelastung für die ersten 50 Mikropfähle an mindestens zwei Mikropfählen und für alle weiteren 50 Mikropfähle mindestens eine Probelastung durchgeführt werden.

5.1.1 Versuchsdurchführung Pfahlzugversuch

Die Bauwerks-Mikropfähle werden einer **Eignungsprüfung** entsprechend dem Prüfverfahren 1 der ÖNORM EN 1537 unterzogen. Beim Prüfverfahren 1 wird der Anker stufenweise bis zur maximalen Prüflast P_p belastet. Die Prüfung umfasst die Messung der Verschiebung des Verankerungspunkts als Funktion der aufgebrauchten Last sowie, bei der höchsten Last jedes Zyklus, die Messung der Verschiebung des Verankerungspunkts als Funktion der Zeit.

Die Ermittlung der Prüflast P_p erfolgt nach 2 Kriterien:

- Kriterium 1: $P_p < 0,9 R_{t,0,2k}$
- Kriterium 2: $P_p > P_d$

Die maximale Prüfkraft ist mit mindestens 5 Kraftstufen aufzubringen. Die Mindestbeobachtungszeit der Verschiebung des Ankerkopfes für jede Laststufe beträgt 30 Minuten. Die aufeinanderfolgenden Beobachtungszeiten für jede Kraftstufe sind (in Minuten):

1→2→3→4→5→7→10→15→20→30

Die Lastaufbringung erfolgt in 6 Laststufen

Stufe 1: 25% P_p

Stufe 2: 40% P_p

Stufe 3: 55% P_p

Stufe 4: 70% P_p

Stufe 5: 85% P_p

Stufe 6: 100% P_p

Die Richtung der bei Pfahlversuchen aufgebrauchten Kraft, muss mit der Pfahlachse übereinstimmen. Die seitlichen Verschiebungen des Mikropfahlkopfes sollten während der Probelastung ebenfalls gemessen werden. Während der gesamten Prüfung hat jede Kraftaufbringung und –entlastung so vorsichtig zu erfolgen, dass der Anker weder stoßweise noch dynamisch belastet wird.

Nach Beendigung der Verpressarbeiten darf ein Mikropfahl erst nach einer Aushärtungszeit von 7 Tagen geprüft werden. Wird ein schnellerhärtender Zement verwendet, so reduziert sich die einzuhaltende Aushärtezeit auf 4 Tage.

5.2 Verpressanker

Bei den Verpressankern ist zwischen der Eignungsprüfung und der Abnahmeprüfung zu unterscheiden.

5.2.1 Eignungsprüfung

Die Eignungsprüfungen sind an mindestens 3 Bauwerksankern jeweils mit einer Prüfkraft

$$P_p = P_d \times \gamma_a$$

durchzuführen. ($\gamma_a = 1,10$ für CC1, CC2)

Als Versagenskriterium ist das zulässige Kriechmaß von $k_s \leq 2,00$ mm anzuwenden.

Gruppenprüfungen von Ankern sind durchzuführen, wenn die charakteristische Beanspruchung benachbarter Anker den Wert von $P_k \geq 700$ kN erreichen und die geplanten lichten Abstände der Ankerverpresskörper das Maß von $a = 1,50$ m unterschreiten.

Mit den Ergebnissen der Eignungsprüfung sind die Planungsannahmen zu überprüfen und die Planung gegebenenfalls an diese Ergebnisse anzupassen.

5.2.2 Abnahmeprüfung

Jeder Bauwerksanker ist zur Überprüfung seiner Funktionstauglichkeit einer Abnahmeprüfung zu unterziehen.

Hinsichtlich der Größe der Prüfkraft P_p für die Abnahmeprüfung sind die Festlegungen gemäß der Eignungsprüfung anzuwenden, d. h. die Abnahmeprüfungen sind mit der selben Prüfkraft wie die Eignungsprüfungen und bei gleichzeitiger Einhaltung des zulässigen Kriechmaßes $k_s = 2,00$ mm durchzuführen.

5.3 Bodennagel

5.3.1 Versuchsdurchführung

Gemäß ÖNORM EN 11490 gibt es für Bodennägel zwei verschiedene Arten der Lastprüfung, die Prüfung von Opfernägeln und die Prüfung von Ausführungsnägeln, wobei unterschiedliche Ziele und Anforderungen vorliegen.

Grundsätzlich werden statische Lastprüfungen angewendet, mit einer stufenweisen Belastung des Prüfnagels bis zu einem Höchstwert und einer Messung der entsprechenden Nagelverschiebung bei jeder Stufe. (im Regelfall ein Lastzyklus)

Für die Festlegung der Prüfkraft erfolgt nach folgenden Kriterien:

Opfernägel

- Kriterium 1: $P_p < 0,8 R_{t,k}$
- Kriterium 2: $P_p < 0,95 R_{t0.1,k}$ bzw. $P_p < 0,90 R_{t0.2,k}$

Ausführungsnägel

- die Prüflast P_p ist bei der Bemessung festzulegen

Die Lastaufbringung erfolgt in 6 Laststufen

Bezugslast $P_0 = 0,10 P_p$

Stufe 1: 30 % P_p

Stufe 2: 50 % P_p

Stufe 3: 70 % P_p

Stufe 4: 90 % P_p

Stufe 5: 100 % P_p

Nach dem Anlegen jeder Laststufe wird die Last konstant gehalten bis sich die Nagelverschiebung stabilisiert, d. h die Verschiebung zwischen zwei aufeinanderfolgenden Ablesezeiten (s_1-s_2) beträgt weniger als 0,50 mm mit folgenden Ablesezeiten:

0→1→2→5→10→15→20 min

Die Richtung der bei Zugversuchen aufgebrauchten Kraft, muss mit der Nagelachse übereinstimmen. Während der gesamten Prüfung hat jede Krauftaufbringung und –entlastung so vorsichtig zu erfolgen, dass der Nagel weder stoßweise noch dynamisch belastet wird.

Nach Beendigung der Verpressarbeiten darf ein Bodennagel erst nach einer Aushärungszeit von 7 Tagen geprüft werden. Wird ein schnellerhärtender Zement verwendet, so reduziert sich die einzuhaltende Aushärtezeit auf 4 Tage.