

## Pfahlgründungen – Einleitung

Programm: Pfahl, Pfahl CPT, Pfahlgruppe

Ziel dieses Ingenieurhandbuchs ist es, die praktische Verwendung von GEO5-Programmen zur Berechnung von Pfahlgründungen zu erläutern.

Die GEO5-Software enthält drei Programme zur Berechnung der Pfahlgründungen - **Pfahl**, **Pfahl CPT** und **Pfahlgruppe**. Im folgenden Text wird ausführlicher erläutert, wann und unter welchen Bedingungen welches Programm entsprechend verwendet werden sollte. In den folgenden Kapiteln werden dann einzelne Programme beschrieben.

Die vertikale Tragfähigkeit von Pfahlgründungen wird auf verschiedene Arten bestimmt:

- **mithilfe eines statischen Belastungsversuchs:** in manchen Ländern sind diese Versuche direkt erforderlich. Die statische Berechnung dient nur als vorläufige Bemessung der Pfahlgründungen;
- **analytische Berechnung basierend auf der Parametern der Bodenscherfestigkeit:** unter Verwendung der Berechnungsmethoden NAVFAC DM 7.2, Tomlinson, ČSN 73 1002 und Effektive Spannung im PFAHL- und PFAHLGRUPPE -Programmen;
- **Berechnung basierend auf der Auswertung von Eindringversuchen:** PFAHL CPT-Programm;
- **Berechnung nach den Gleichungen der Regressionskurven aus den Ergebnissen statischer Belastungsversuche** (nach Masopust): PFAHL-Programm; Die vertikale Tragfähigkeit wird aus der Belastungskurve des Pfahls für die entsprechende Setzung bestimmt (ČSN 73 1002 gibt den entsprechenden Wert der Setzung  $s_{\text{lim}} = 25,0 \text{ mm}$  an).
- **Berechnung basierend auf Mohr-Coulomb-Parametern und Verformungseigenschaften von Böden:** mithilfe der sogenannten Federmethode in den Programmen PFAHL und PFAHLGRUPPE;
- **numerische Berechnung nach der Finite-Elemente-Methode:** FEM-Programm.

Aus dieser Aufzählung geht hervor, dass Pfähle auf viele Arten und auf der Grundlage verschiedener Eingabeparameter bewertet werden können. Die Berechnungsergebnisse können gleich sein, unterscheiden sich jedoch manchmal auch erheblich.

Der große Vorteil der GEO5-Software besteht darin, dass der Benutzer mehrere Varianten und Berechnungsmethoden ausprobieren kann, das wahrscheinlichste Verhalten des Pfahlfundaments finden und nachfolgend die Gesamttragfähigkeit bzw. die Setzung eines Einzelpfahls oder einer Pfahlgruppe bestimmen kann.

Die vertikale Tragfähigkeit von Pfahlgründungen wird in GEO5-Programmen nur für die Belastung durch die vertikale Normalkraft überprüft (mit einer Ausnahme: Pfahlgruppen - Federmethode). Die Belastung durch horizontale Kräfte, Biege- und Torsionsmomente hat keinen Einfluss auf die Berechnung der vertikalen Tragfähigkeit der Pfähle.

Das Verfahren zur Berechnung der vertikalen Tragfähigkeit des Einzelpfahls im Programm GEO 5 - Pfahl ist in den Kapiteln 13 und 14 angegeben. Die Berechnung desselben Pfahls auf der Grundlage von CPT-Tests ist in Kapitel 15 beschrieben.

## Horizontale Tragfähigkeit der Pfahlgründungen

Das Ergebnis der Berechnung des horizontal beanspruchten Pfahls ist die horizontale Verformung des Pfahls und der Verlauf der inneren Kräfte entlang der Pfahllänge.

Bei einem Einzelpfahl hängt seine horizontale Verformung und Bewehrung von dem berechneten horizontalen Bettungsmodul und von der Belastung durch die Querkraft oder Biegemoment ab. Das Berechnungsverfahren wird in *Kapitel 16* erläutert. Für die Pfahlgruppe wird die Berechnung der horizontalen Tragfähigkeit in *Kapitel 18* angegeben.

## Setzung der Pfahlgründungen

Die tatsächliche Tragfähigkeit des Pfahls hängt direkt mit seiner Setzung zusammen, da praktisch jeder Pfahl unter dem Einfluss der Belastung sackt und seine vertikale Verformung beginnt.

Der Setzung von Einzelpfählen wird im PFAHL-Programm nach folgenden Arten bestimmt:

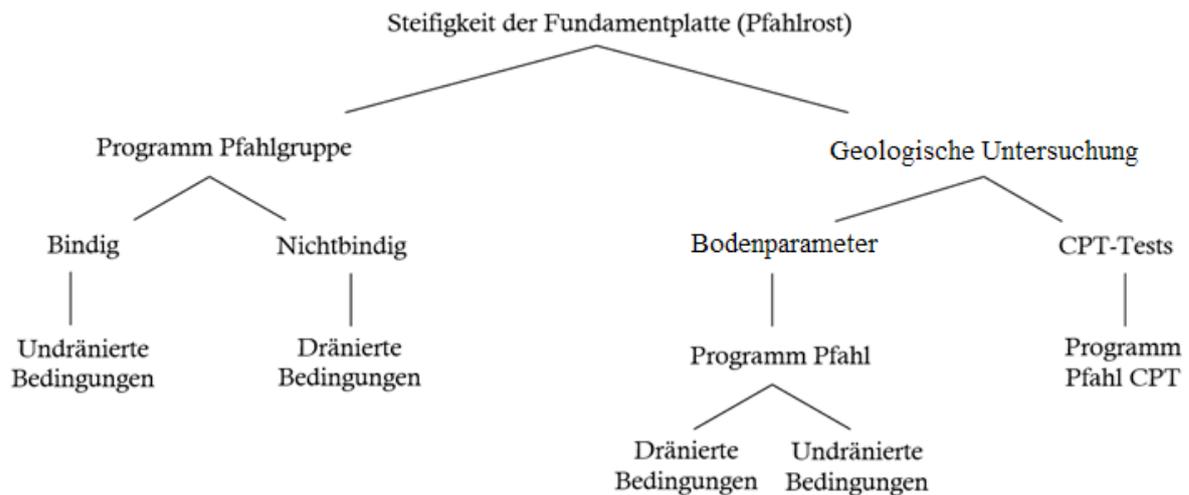
- **gemäß Masopust (nichtlinear):** das Programm berechnet die Setzung des Einzelpfahls auf der Grundlage der eingegebenen Regressionskoeffizienten entlang des Mantels und unterhalb des Pfahlfußes.
- **gemäß Poulos (linear):** das Programm berechnet den Wert der Gesamtsetzung anhand der festgelegte Pfahltragfähigkeit am Fuß  $R_b$  und seinem Mantel  $R_s$ .
- **gemäß Federmethode:** das Programm berechnet die Belastungskurve anhand der eingegebenen Bodenparameter mit der Finite-Elemente-Methode.

Für alle Methoden erstellt das PFAHL-Programm eine Belastungskurve (d.h. das Arbeitsdiagramm des Pfahls).

Die Setzung der Pfahlgruppe ist in *Kapitel 17* beschrieben, die Pfahlsetzung anhand von CPT-Eindringversuchen ist in *Kapitel 15* angeführt.

## Programmauswahl:

1. **die Entscheidung** nach der Steifigkeit der Fundamentplatte (Pfahlrost). Wenn der Pfahlrost als unendlich starr betrachtet wird, wird die Pfahlgruppe für die Lösung verwendet. In anderen Fällen untersuchen wir Einzelpfähle.
2. **Die Entscheidung** nach den Ergebnissen der geologischen Untersuchung. Wenn CPT-Tests verfügbar sind, wird für die Berechnung des Einzelpfahls oder Pfahlgruppe das Programm "Pfahl CPT" (*Kapitel 15*) verwendet. In anderen Fällen wird die Lösung mithilfe des Programms "Pfahl" (oder der Pfahlgruppe) aufgrund der eingegebenen Bodenparameter durchgeführt.



Je nach **Art der Berechnung** wird differenziert:

- **Berechnung für drännierte Bedingungen:** in den Programmen Pfahl und Pfahlgruppe werden standardmäßig effektive Parameter der Scherfestigkeit des Bodens  $\varphi_{ef}, c_{ef}$  für die Berechnungsmethoden *CSN 73 1002* und *Effektive Spannung* verwendet;
- **Berechnung für nicht undrännierte Bedingungen:** in den Programmen Pfahl und Pfahlgruppe wird nur der Wert der totalen Bodenkohäsion  $c_u$  eingegeben. Die vertikale Tragfähigkeit des Einzelpfahls wird nach *Tomlinson* bestimmt, die Pfahlgruppe wird als die Tragfähigkeit des Erdprismas nach *FHWA* berechnet.

Die NAVFAC DM 7.2-Methode kombiniert beide oben genannten Berechnungsverfahren. Für jede Bodenschicht können Sie wählen, ob der Boden als dränniert (nichtbindig) oder als nicht undränniert (bindig) betrachtet wird.

## Allgemeine Eingabe der Aufgabe

Berechnen Sie die vertikale Tragfähigkeit und die Setzung der Pfahlgründung (siehe Abbildung) im eingegebenen geologischen Profil, bestimmen Sie dann die horizontale Verformung der Pfähle und schlagen Sie die Bewehrung für einzelne Pfähle vor. Die Pfahlgründung besteht aus 4 gebohrten Pfählen mit Durchmesser  $d = 1,0 \text{ m}$  und Länge  $l = 12,0 \text{ m}$ . Die Resultierende der Gesamtlast  $N, M_y, H_x$  wirkt in der Ebene der oberen Grundfläche der Fundamentplatte, und zwar in ihrer Mitte. Betrachten Sie bei der Berechnung die ständige Bemessungssituation. Die Pfähle bestehen aus Stahlbeton der Klasse C 20/25.

## Pfahlbelastung

Um die Aufgabe zu vereinfachen, betrachten wir im Programm immer nur einen Lastfall.

Die Bestimmung der Belastung der Pfahlgründung hängt von der Art der Konstruktion und der nachfolgenden Lösung ab, d.h. ob wir den Einzelpfahl oder die Pfahlgruppe lösen.

## Pfahlgruppe

Wir gehen davon aus, dass die Platte, die die Pfähle verbindet, starr ist. In unserem Beispiel werden wir eine Platte mit der Dicke  $t = 1,0 \text{ m}$  betrachten. In diesem Fall bestimmen wir die Gesamtreaktion in der Mitte der Fundamentplatte.

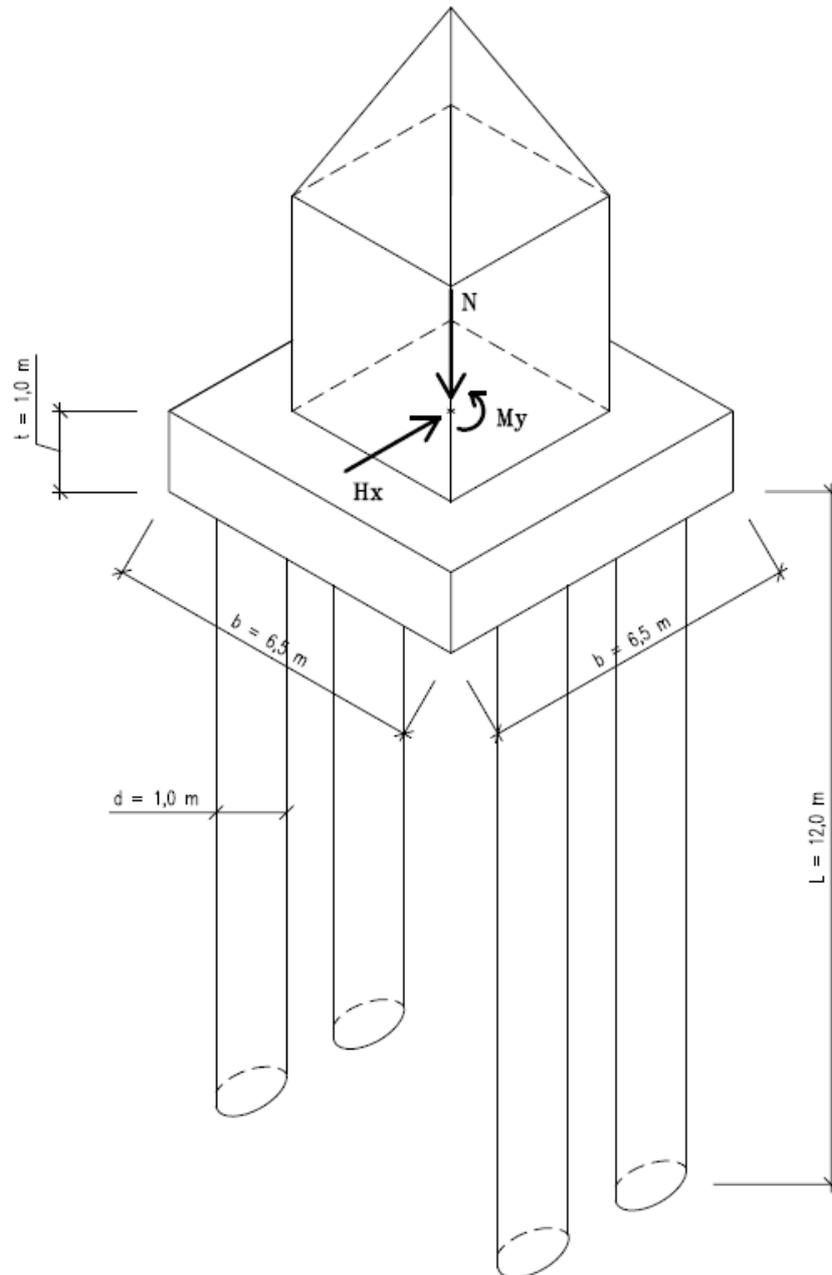
Hinweis: Eine einfache Möglichkeit, wie wir die Belastung auf eine Pfahlgruppe mit einem beliebigen statischen Programm erhalten, ist in der Hilfe zum Programm Pfahlgruppe „[Bestimmung der Belastung auf die Pfahlgruppe](#)“ beschrieben.

### a) Bemessungslast (Berechnungslast):

- Vertikale Normalkraft:  $N = 5680 \text{ kN}$ ,
- Biegemoment:  $M_y = 480 \text{ kNm}$ ,
- Horizontale Kraft:  $H_x = 310 \text{ kN}$ .

### b) Nutzlast (Betriebslast):

- Vertikale Normalkraft:  $N = 4000 \text{ kN}$ ,
- Biegemoment:  $M_y = 320 \text{ kNm}$ ,
- Horizontale Kraft:  $H_x = 240 \text{ kN}$ .



*Diagramm der Eingabe der Aufgabe - Pfahlgründung*

### **Einzelpfähle:**

Wenn die Platte biegsam weich (nicht starr) ist oder das Haus auf einem Pfahlkopf gegründet ist, unterscheidet sich dann das statische Konstruktionschema. Vom statischen Programm (z. B. GEO 5 - Platte, FIN 3D, SCIA-Ingenieur, Dlubal RStab usw.) erhalten wir Reaktionen in den einzelnen Pfahlköpfen.

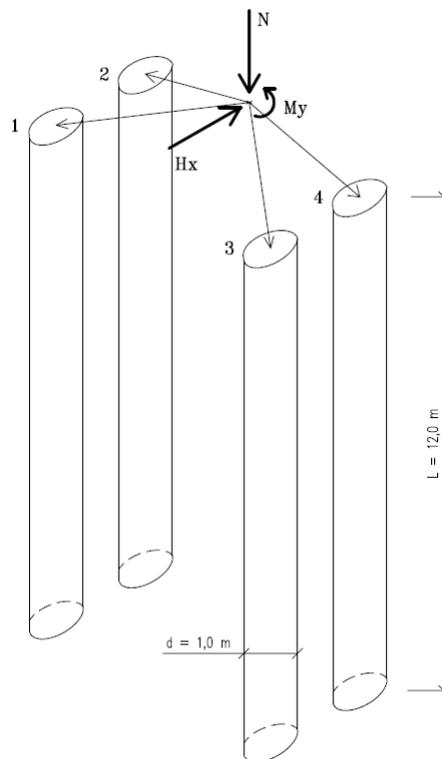
In diesem Beispiel werden wir für die Einfachheit die Überprüfung des Pfahls nur für einen Lastfall berechnen.

**a) Bemessungslast (Berechnungslast):**

- Vertikale Normalkraft:  $N_1 = 1450 \text{ kN}$ ,
- Biegemoment:  $M_{y,1} = 120 \text{ kNm}$ ,
- Horizontale Kraft:  $H_{x,1} = 85 \text{ kN}$ .

**b) Nutzlast (Betriebslast):**

- Vertikale Normalkraft:  $N_1 = 1015 \text{ kN}$ ,
- Biegemoment:  $M_{y,1} = 80 \text{ kNm}$ ,
- Horizontale Kraft:  $H_{x,1} = 60 \text{ kN}$ .



*Diagramm der Lastwirkung - Lastverteilung auf einzelne Einzelpfähle*

*Hinweis: Wenn wir die gleichen Abmessungen und Bewehrungen der Pfähle annehmen, können wir alle Pfähle als einen betrachten, jedoch mit Lastkombinationen für alle Pfähle.*

### Geologisches Profil

- 0,0 bis 6,0 m: Sandiger Lehm (Klasse F4, feste Konsistenz),
- ab 6,0 m: Sand gemischt mit feinkörnigem Boden (Klasse S3, mittel verdichtet).

*Hinweis: Die grundlegenden Festigkeits- und Verformungsparameter von Böden sind sowohl für die Berechnung von Einzelpfählen als auch für die Bemessung der Pfahlgruppe gleich. Ihre Werte sind in der Tabelle angegeben.*

Bodenparameter/Klassifizierung (Zuordnung)	Klasse F4 feste Konsistenz	Klasse S3, mittel verdichtet
Wichte des Bodens $\gamma$ [ $kN/m^3$ ]	18,5	17,5
Wichte des gesättigten Bodens $\gamma_{sat}$ [ $kN/m^3$ ]	20,5	19,5
Kohäsion des Bodens $c_{ef} / c_u$ [ $kPa$ ]	14,0 / 50,0	0 / 0
Efektiver Winkel der inneren Reibung $\varphi_{ef}$ [ $^\circ$ ]	24,5	29,5
Adhäsionsbeiwert $\alpha$ [-]	0,6	–
Tragfähigkeitsbeiwert des Pfahls $\beta_p$ [-]	0,3	0,45
Poissonzahl $\nu$ [-]	0,35	0,3
Ödometrisches Modul $E_{oed}$ [ $MPa$ ]	8,0	21,0
Verformungsmodul $E_{def}$ [ $MPa$ ]	5,0	15,5
Bodenart	Ton (bindiger Boden)	Sand, Kies (nichtbindiger Boden)
Streuwinkel $\beta$ [ $^\circ$ ]	10,0	15,0
Koeffizient $k$ [ $MN/m^3$ ]	60,0	150,0
Modul der horizontalen Kompressibilität $n_h$ [ $MN/m^3$ ]	–	4,5
Elastizitätsmodul $E$ [ $MPa$ ]	5,0	15,5

*Tabelle mit Bodenparametern - Pfahlgründungen (komplette Übersicht)*

Liste der Kapitel, die Pfahlgründungen betreffen:

- Ingenieurhandbuch 12: Pfahlgründungen – Einleitung
- Ingenieurhandbuch 13: Berechnung der vertikalen Tragfähigkeit des Einzelpfahls
- Ingenieurhandbuch 14: Berechnung der Setzung des Einzelpfahls
- Ingenieurhandbuch 15: Pfahlberechnung basierend auf CPT-Tests
- Ingenieurhandbuch 16: Berechnung der vertikalen Tragfähigkeit des Einzelpfahls
- Ingenieurhandbuch 17: Berechnung vertikaler Tragfähigkeit und der Setzung der Pfahlgruppe
- Ingenieurhandbuch 18: Berechnung der Verformung und Dimensionierung der Pfahlgruppe
- Ingenieurhandbuch 36: Nachweis der Mikropfahlgründung