

Setzungsberechnung eines Einzelpfahls

Programm: GEO5 Pfahl

Datei: Demo_manual_14.gpi

Ziel dieses Ingenieurhandbuchs ist es, die Verwendung des Programms GEO 5 - PFAHL zur Berechnung der Setzung eines Einzelpfahls für eine bestimmte Aufgabe zu erläutern.

Spezifikation der Eingabe der Aufgabe

Die allgemeine Eingabe der Aufgabe ist im vorherigen Kapitel (*12. Pfahlgründungen - Einleitung*) beschrieben. Führen Sie alle Berechnungen für die Setzung des Einzelpfahls im Bezug zu der vorherigen Aufgabe in Kapitel 13 *Berechnung der vertikalen Tragfähigkeit eines Einzelpfahls* durch.

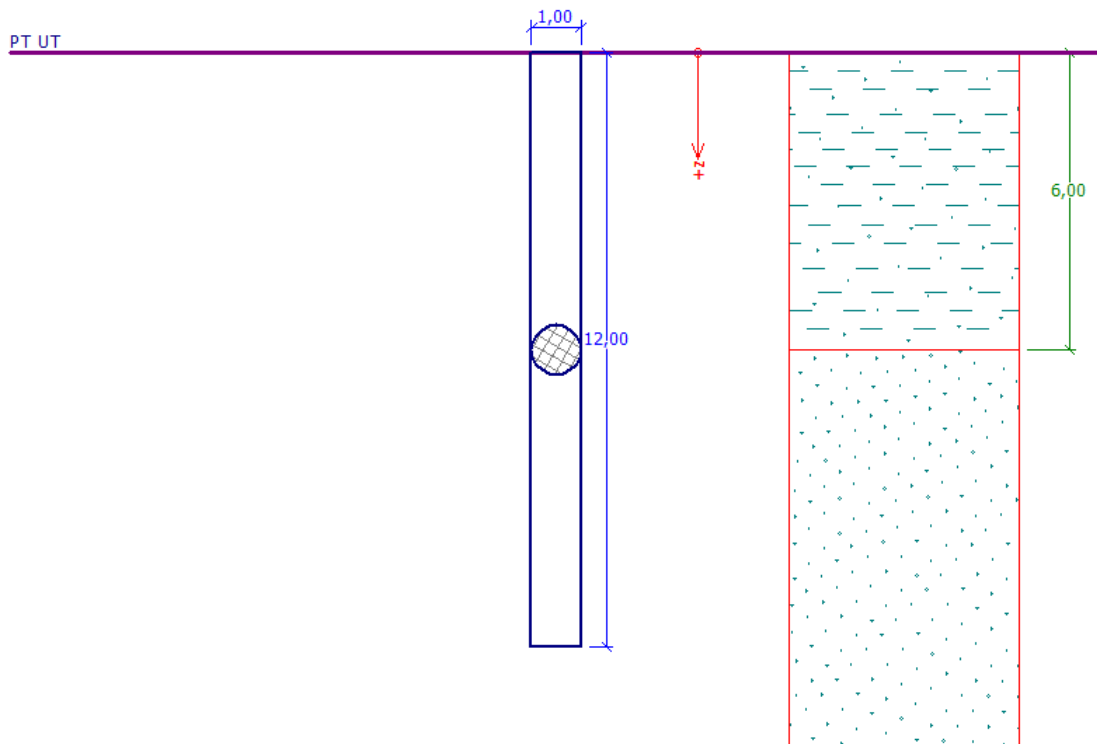


Diagramm der Eingabe der Aufgabe – Einzelpfahl

Lösung

Um diese Aufgabe zu berechnen, verwenden wir das Programm GEO 5 - Pfahl. Im folgenden Text werden wir schrittweise die Lösung des Beispiels beschreiben.

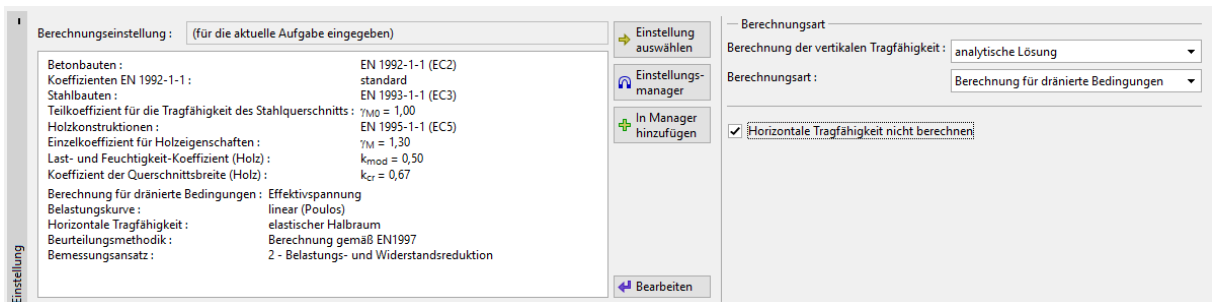
In dieser Berechnung berechnen wir die Setzung eines Einzelpfahls nach folgenden Methoden:

- *lineare Theorie der Setzung* (gemäß Prof. **Poulos**)
- *nichtlineare Theorie der Setzung* (gemäß Doz. **Masopust**)

Die **lineare Belastungskurve** (Lösung gemäß Poulos) wird aus den Ergebnissen der vertikalen Tragfähigkeit des Pfahls bestimmt. Die grundlegende Eingabe für die Berechnung sind die **Werte des Pfahlmantel- und Pfahlfusswiderstands** - R_s und R_b . Diese Werte ergeben sich aus der vorherigen Berechnung für die vertikale Tragfähigkeit des Einzelpfahls in Abhängigkeit von der angegebenen Methode (NAVFAC DM 7.2, Effektive Spannung, 73SN 73 1002 oder Tomlinson). Die **nichtlineare Belastungskurve** (Lösung gemäß Masopust) basiert auf der Eingabe unter Verwendung sogenannter **Regressionskoeffizienten**. Das Ergebnis ist daher unabhängig von den Berechnungsmethoden der Tragfähigkeit und kann auch zur Bestimmung der vertikalen Tragfähigkeit des Einzelpfahls verwendet werden - wobei die Tragfähigkeit der zulässigen Setzung entspricht (in der Regel 25 mm).

Eingabevorgang: Lineare Theorie des Setzung (POULOS)

Öffnen Sie im Pfahl-Programm die Datei aus dem vorherigen Handbuch (Nr. 13). Wir behalten die Berechnungseinstellung als "Standard - EN 1997 - DA2" gemäß der vorherigen Aufgabe bei, die Berechnung der Tragfähigkeit wird gemäß NAVFAC DM 7.2 durchgeführt. Aktivieren Sie auch die Option "Horizontale Tragfähigkeit nicht berechnen". Für diese Berechnungseinstellung wird bereits eine lineare Belastungskurve (Poulos) eingegeben.



Fenster „Einstellung“

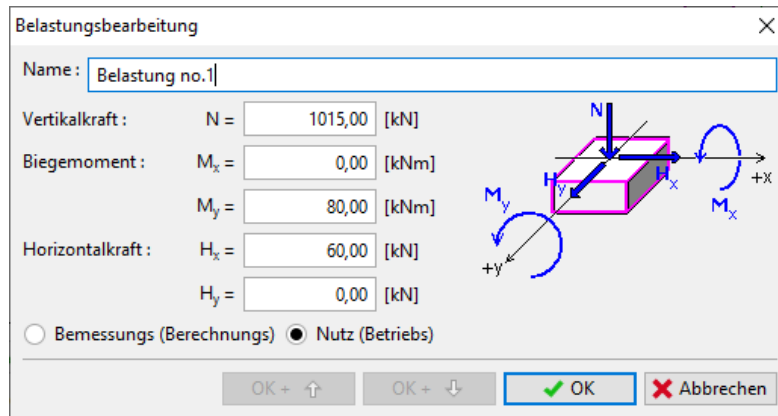
Hinweis: Die Berechnung der Grenzbelastungskurve basiert auf der Elastizitätstheorie. Der Gründungsboden wird durch den Verformungsmodul E_{def} und die Poissonzahl ν beschrieben.

Im nächsten Schritt wir definieren im Fenster „Böden“ die Verformungseigenschaften der Böden, die für die Berechnung der Setzung benötigt werden, d. h. den ödometrischen Modul E_{oed} bzw. Verformungsmodul E_{def} und Poissonzahl ν .

Boden (Spezifikation, Zuordnung)	Wichte γ [kN/m^3]	Winkel der inneren Reibung φ_{ef} / φ_u [$^\circ$]	Kohäsion des Bodens c_{ef} / c_u [kPa]	Poissonzahl ν [-]	Ödometrisches Modul $E_{oed} = [MPa]$
F4, feste Konsistenz	18,5	-/0,0	-/50,0	0,35	8,0
S3, mittel verdichtet	17,5	29,5/-	0,0/-	0,30	21,0

Tabelle mit der Bodenparametern – Pfahlsetzung

Dann definieren wir im Fenster „Belastung“ die Nutzlast (Betriebslast) für die Setzungsberechnung des Einzelpfahls. Klicken Sie auf die Schaltfläche "Hinzufügen", um eine neue Belastung gemäß der Abbildung hinzuzufügen.



Dialogbox „Neue Belastung“

Wir werden die anderen Fenster überspringen, da sie unverändert bleiben. Wir können nun mit der Setzungsberechnung im Fenster "Setzung" überzugehen.

In diesem Fenster geben wir den Sekantenmodul der Verformung E_s [MPa] für einzelne Bodentypen über die Schaltfläche "Bearbeitung E_s " ein.

Für die 1. Schicht des kohäsiven Bodens (Klasse F4, $I_c = 0,5$) geben wir den empfohlenen Wert des Sekantenmoduls der Verformung $E_s \cong 17,0$ MPa ein. Für die 2. Schicht *kohäsionslosen Bodens* (Klasse S3, $I_d = 0,5$) betrachten wir den Sekantenmodul der Verformung in der Größe $E_s \cong 24,0$ MPa gemäß Tabelle.

Eingabe für die Belastungskurve

Parametereingabe in die Schicht Nr. : 1
 Zugeordneter Boden : F4, feste Konsistenz
 Schichtanfangs von ver. Gelände : 0,00m
 Schichtende von ver. Gelände : 6,00m, Schichtmächtigkeit: 6,00m

Parameter Hilfe

$E_s =$ [MPa]

Eingabe des Sekantenmoduls der Verformung E_s [MPa]:

Gesteine:
 Klasse R3 105,50
 Klasse R4 57,30
 Klasse R5 41,00
 Klasse R6 23,90

Kohäsionslose Böden:
 (I_d = relative Lagerungsdichte)
 I_d = 0.5 18,40
 I_d = 0.7 25,00
 I_d = 1.0 47,80

Kohäsive Böden:
 (I_c = Konsistenzindex)
 I_c = 0.5 12,50
 I_c > 1 23,90

OK + ↑ OK + ↓

Dialogbox „Eingabe für Belastungskurve - Sekantenmodul der Verformung E_s “ - Boden F4

Eingabe für die Belastungskurve

Parametereingabe in die Schicht Nr. : 2
 Zugeordneter Boden : S3, mittel verdichtet
 Schichtanfangs von ver. Gelände : 6,00m
 Schichtende von ver. Gelände : 12,00m, Schichtmächtigkeit: 6,00m

Parameter Hilfe

$E_s =$ [MPa]

Eingabe des Sekantenmoduls der Verformung E_s [MPa]:

Gesteine:
 Klasse R3 158,00
 Klasse R4 106,66
 Klasse R5 77,52
 Klasse R6 47,72

Kohäsionslose Böden:
 (I_d = relative Lagerungsdichte)
 I_d = 0.5 28,40
 I_d = 0.7 44,74
 I_d = 1.0 88,54

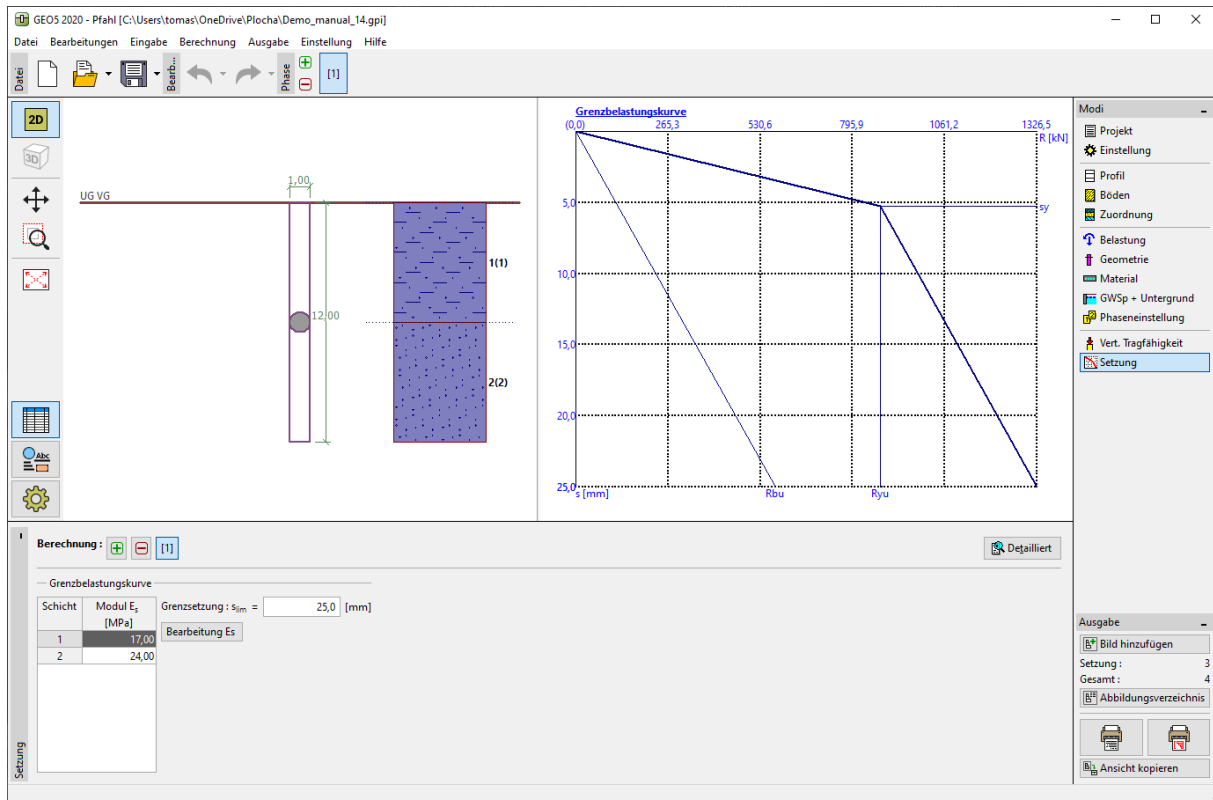
Kohäsive Böden:
 (I_c = Konsistenzindex)
 I_c = 0.5 20,22
 I_c > 1 48,12

OK + ↑ OK + ↓

Dialogbox „Eingabe für Belastungskurve - Sekantenmodul der Verformung E_s “ - Boden S3

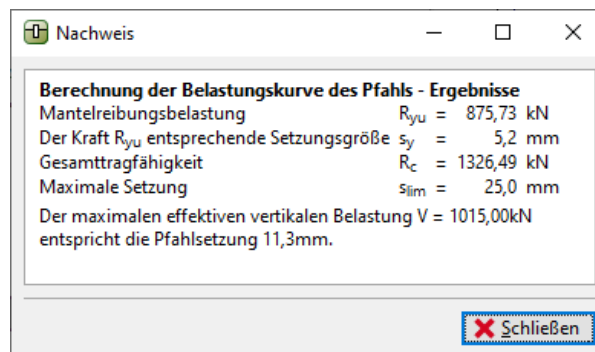
Hinweis: Der Sekantenmodul der Verformung E_s hängt vom Pfahldurchmesser und der Mächtigkeit der einzelnen Bodenschichten ab. Die Werte dieses Moduls sollten anhand von In-situ-Tests ermittelt werden. Bei kohäsionslosen Böden hängt sein Wert ferner vom Index der relativen Dichte I_d ab, bei kohäsiven Böden vom Konsistenzindex I_c .

Als nächstes geben wir die Grenzsetzung ein, was der maximale Wert der Setzung ist, für den die Belastungskurve berechnet wird. In unserem Fall geben wir den Wert der Grenzsetzung 25 mm ein.



Fenster „Setzung“ – Lineare Belastungskurve (Lösung gemäß Poulos)

Klicken Sie auf die Schaltfläche "Detailliert" und ziehen Sie den berechneten Setzungswert für die maximale Nutzlast ab.

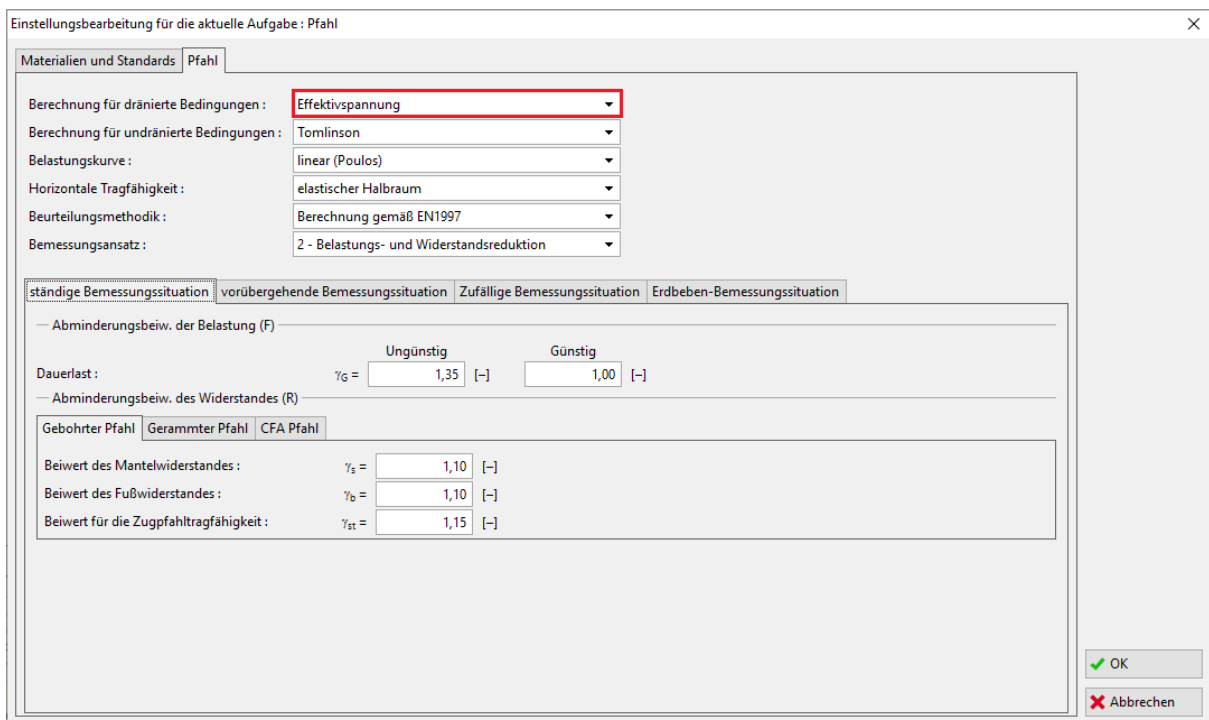


Detaillierte Ergebnisse der Setzung

Zur Berechnung der vertikalen Tragfähigkeit nach **NAVFAC DM 7.2** ergibt sich die Setzung des Einzelpfahls **11,3 mm**.

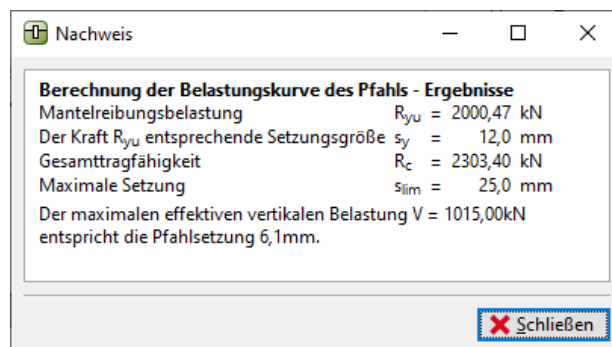
Setzungsberechnung des Einzelpfahls: Lineare Theorie der Setzung (POULOS), sonstige Methoden

Wir werden nun zur Eingabe der Eingangsdaten zurückkehren. Klicken Sie im Fenster "Einstellung" auf die Schaltfläche "Bearbeiten". Wählen Sie in der Tabelle "Pfähle" bei der Berechnung für dränierete Bedingungen zuerst die Option "Effektive Spannung" und dann "CSN 73 1002" für die nächste Berechnung. Andere Eingabeparameter ändern sich nicht.



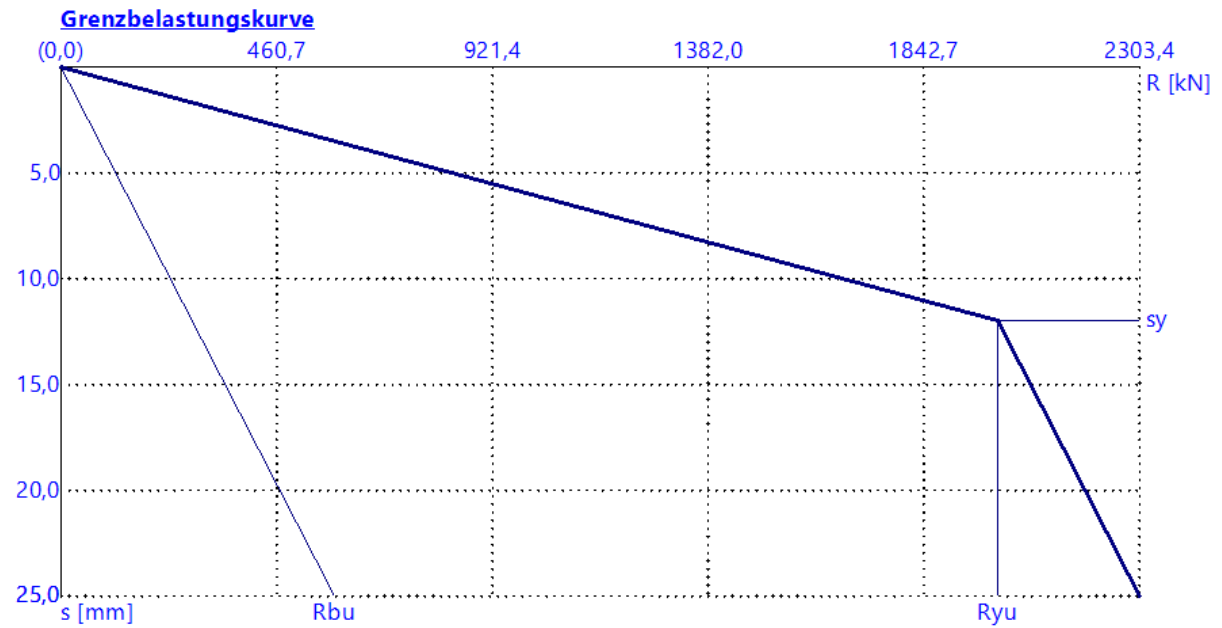
Dialogbox „Einstellungsbearbeitung für die aktuelle Aufgabe“

Dann kehren wir zum Fenster "Setzung" zurück, wo wir die Ergebnisse anschauen. Die Größe der Grenzsetzung s_{lim} , die Art des Pfahls und die Sekantenmodule der Verformung E_s bleiben die gleichen wie im vorherigen Fall.



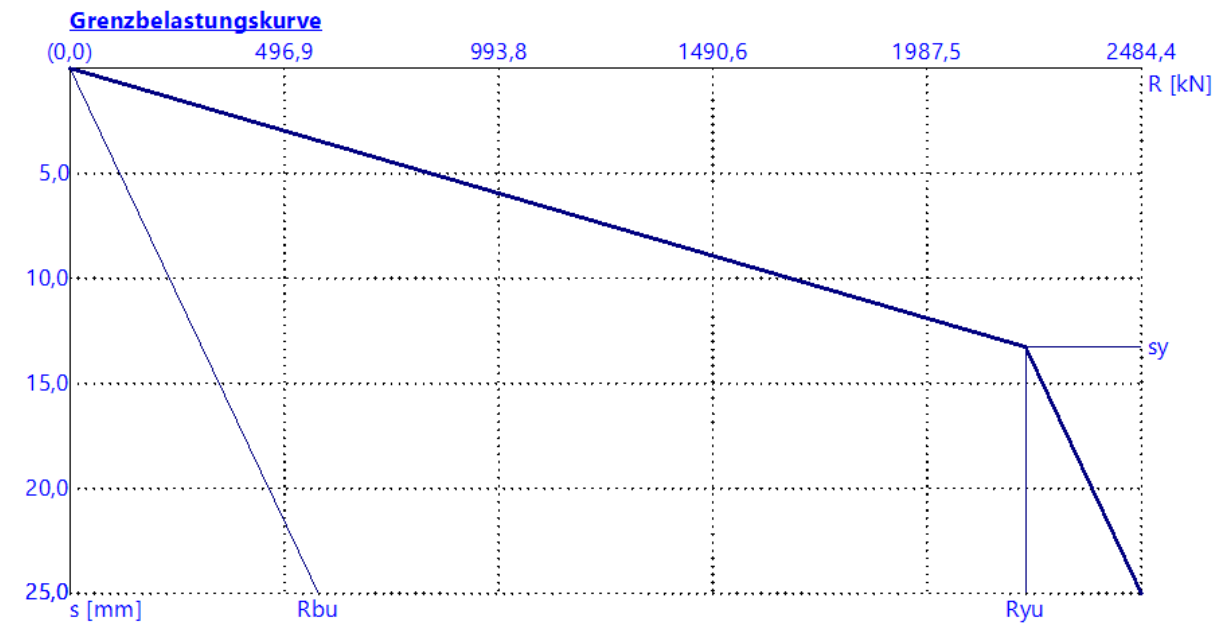
Dialogbox – "Detailliert" – Ergebnisse der Methode der effektiven Spannungen

Für die vertikale Tragfähigkeit eines Einzelpfahls, die für die Methode der **EFFEKTIVEN SPANNUNGEN**, bestimmt ist, ergibt sich die Pfahlsetzung $s = 6,1 \text{ mm}$.



Fenster „Setzung“ – Lineare Belastungskurve (nach Poulos) für die Methode der effektiven Spannungen

Für die vertikale Tragfähigkeit eines Einzelpfahls, die für die Methode der **CSN 73 1002** bestimmt ist, ergibt sich die Pfahlsetzung $s = 6,1 \text{ mm}$.



Fenster „Setzung“ – Lineare Belastungskurve (nach Poulos) für die Methode CSN 73 1002

Die Ergebnisse der Setzungsberechnung eines Einzelpfahls nach der linearen Theorie (**Poulos**) in Abhängigkeit von der verwendeten Berechnungsmethode der vertikalen Tragfähigkeit sind in der folgenden Tabelle angegeben:

Lineare Theorie der Setzung Berechnungsmethode	Kraft auf der Grenze der Mobilisierung der Mantelreibung R_{yu} [kN]	Gesamte vertikale Tragfähigkeit R_c [kN] für $s_{lim} = 25,0$ mm	Pfahlsetzung s [mm]
NAVFAC DM 7.2	875,73	1326,49	11,4
EFFEKTIVE SPANNUNG	2000,47	2303,4	6,1
CSN 73 1002	2215,89	2484,40	6,1

Zusammenfassung der Ergebnisse – Pfahlsetzung nach der linearen Theorie (Poulos)

Setzungsberechnung des Einzelpfahls: Nichtlineare Theorie der Setzung (MASOPUST)

Diese Lösung hängt nicht von vorigen Berechnungen der vertikalen Tragfähigkeit des Pfahls ab. Die Methode basiert auf der Lösung der Gleichungen von Regressionskurven gemäß den Ergebnissen der statischen Belastungsversuche von Pfählen. Diese Lösungsmethode wird hauptsächlich in der Tschechischen und Slowakischen Republik angewendet und zeigt zuverlässige und konservative Ergebnisse für lokale ingenieurgeologische Bedingungen.

Klicken Sie im Fenster "Einstellung" auf die Schaltfläche "Bearbeiten". Wählen Sie in der Tabelle "Pfähle" für die Belastungskurve die Option "Nichtlinear (Masopust)".

Einstellungsbearbeitung für die aktuelle Aufgabe: Pfahl

Materialien und Standards Pfahl

Berechnung für drainierte Bedingungen: ČSN 73 1002

Berechnung für undrainierte Bedingungen: Tomlinson

Belastungskurve: nichtlinear (Masopust)

Horizontale Tragfähigkeit: elastischer Halbraum

Beurteilungsmethodik: Berechnung gemäß EN1997

Bemessungsansatz: 2 - Belastungs- und Widerstandsreduktion

ständige Bemessungssituation vorübergehende Bemessungssituation Zufällige Bemessungssituation Erdbeben-Bemessungssituation

— Abminderungsbeiw. der Belastung (F)

Dauerlast: $\gamma_G =$ Ungünstig 1,35 [-] Günstig 1,00 [-]

— Abminderungsbeiw. des Widerstandes (R)

Gebogener Pfahl Gerammter Pfahl CFA Pfahl

Beiwert des Mantelwiderstandes: $\gamma_s =$ 1,10 [-]

Beiwert des Fußwiderstandes: $\gamma_b =$ 1,10 [-]

Beiwert für die Zugpfahltragfähigkeit: $\gamma_{st} =$ 1,15 [-]

OK

Abbrechen

Dialogbox „Einstellungsbearbeitung für die aktuelle Aufgabe“

Andere Daten bleiben unverändert. Dann gehen wir zum Fenster "Setzung".

Für die nichtlineare Grenzbelastungskurve der Pfähle betrachten wir die *Nutzlast*, da es sich um eine Berechnung gemäß dem Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit handelt. Wir werden den Schutzkoeffizient des Pfahlschafts auf den Wert $m_2 = 1,0$ beibehalten, daher werden wir den resultierenden Wert der vertikalen Tragfähigkeit des Pfahls in Bezug auf die Ausführungstechnologie nicht verringern. Wir behalten die Werte der zulässigen Setzung s_{lim} und des Sekantenmoduls der Verformung E_s wie für frühere Berechnungen bei.

Geben Sie als Nächstes die Größen der Regressionskoeffizienten mithilfe der Schaltflächen "Bearbeiten a, b" und "Bearbeiten e, f" ein. Während der Bearbeitung werden die empfohlenen Werte der Regressionskoeffizienten für verschiedene Arten von Böden und Gesteinen in der Dialogbox angezeigt.

Eingabe für die Belastungskurve [X]

Parametereingabe in die Schicht Nr. : 1
 Zugeordneter Boden : F4, feste Konsistenz
 Schichtanfangs von ver. Gelände : 0,00m
 Schichtende von ver. Gelände : 6,00m, Schichtmächtigkeit: 6,00m

— Parameter — — Hilfe —

a = [-]
 b = [-]

Eingabe der Regressionskoeffizienten a,b [-]:

Gesteine

	a	b
Klasse R3	246	225
Klasse R4	169	139
Klasse R5	131	94
Klasse R6	97	108

Kohäsionslose Böden
 (Id = relative Lagerungsdichte)

Id	a	b
Id = 0,5	62	16
Id = 0,7	91	48
Id = 1,0	154	115

Kohäsive Böden
 (Ic = Konsistenzindex)

Ic	a	b
Ic = 0,5	46	20
Ic > 1	97	108

OK + ↑ OK + ↓

Dialogbox „Eingabe für die Belastungskurve – Regressionskoeffizienten a, b“ – Boden F4

Eingabe für die Belastungskurve [X]

Parametereingabe in die Schicht Nr. : 2
 Zugeordneter Boden : S3, mittel verdichtet
 Schichtanfangs von ver. Gelände : 6,00m
 Schichtende von ver. Gelände : 12,00m, Schichtmächtigkeit: 6,00m

— Parameter — — Hilfe —

a = [-]
 b = [-]

Eingabe der Regressionskoeffizienten a,b [-]:

Gesteine

	a	b
Klasse R3	246	225
Klasse R4	169	139
Klasse R5	131	94
Klasse R6	97	108

Kohäsionslose Böden
 (Id = relative Lagerungsdichte)

Id	a	b
Id = 0,5	62	16
Id = 0,7	91	48
Id = 1,0	154	115

Kohäsive Böden
 (Ic = Konsistenzindex)

Ic	a	b
Ic = 0,5	46	20
Ic > 1	97	108

OK + ↑ OK + ↓

Dialogbox „Eingabe für die Belastungskurve – Regressionskoeffizienten a, b“ – Boden S3

Eingabe für die Belastungskurve

Parametereingabe unter dem Pfahlfuß
 Schichtanfangs von ver. Gelände : 12,00m
 Schichtende von ver. Gelände : -

— Parameter — — Hilfe —

e = [-]
 f = [-]

Eingabe der Regressionskoeffizienten e, f [-]:

Gesteine:

	e	f
Klasse R3	2840	1298
Klasse R4	1616	1155
Klasse R5	957	704
Klasse R6	988	1084

Kohäsionslose Böden
 (Id = relative Lagerungsdichte)

Id	e	f
Id = 0.5	268	175
Id = 0.7	490	445
Id = 1.0	1596	1400

Kohäsive Böden
 (Ic = Konsistenzindex)

Ic	e	f
Ic = 0.5	198	150
Ic > 1	988	1084

OK Abbrechen

Dialogbox „Eingabe für die Belastungskurve – Regressionskoeffizienten e, f“

Berechnung:

— Grenzbelastungskurve —
 Belastung betrachten: nutzbar

Einflusskoeff. des Schaftschutzes: $m_2 = 1,00$ [-]
 Grenzsetzung: $s_{lim} = 25,0$ [mm]

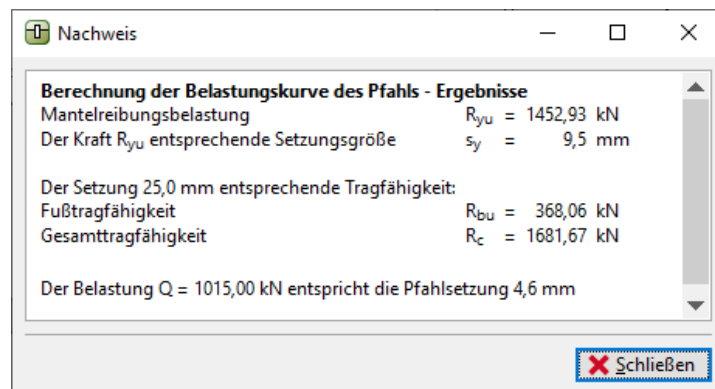
Schicht	Koeff a [-]	Koeff b [-]	Modul E_p [MPa]	Koeffizient e [-]	Koeffizient f [-]
1	46,00	20,00	17,00	268,00	175,00
2	62,00	16,00	24,00		

Bearbeitung a, b Bearbeitung Es
 Bearbeitung e, f

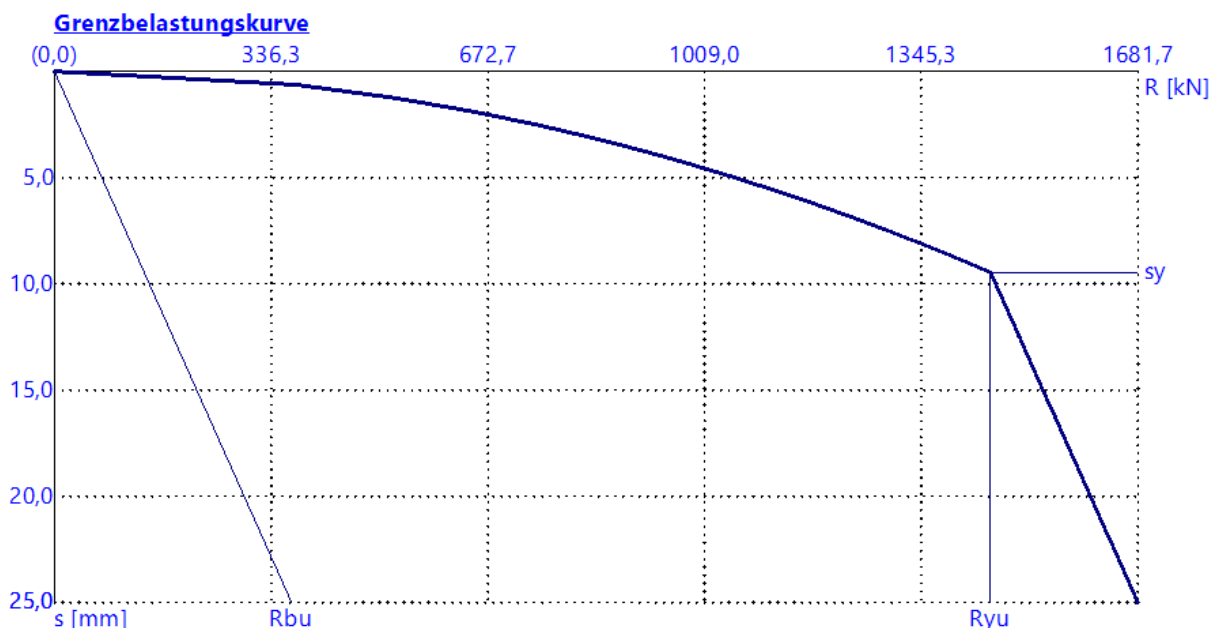
Fenster „Setzung“ – Ergebnisse gemäß der nichtlinearen Theorie der Setzung (Masopust)

Hinweis: Die spezifische Mantelreibung hängt von den Regressionskoeffizienten "a, b" ab. Die Spannung am Pfahlfuß (bei vollständiger Mobilisierung der Mantelreibung) hängt von den Regressionskoeffizienten "e, f" ab. Die Werte dieser Regressionskoeffizienten wurden aus den Gleichungen der Regressionskurven abgeleitet, die auf der Grundlage einer statistischen Analyse der Ergebnisse von ungefähr 350 statischen Belastungsversuchen von Pfählen in der Tschechischen und Slowakischen Republik ermittelt wurden (weitere Informationen in der Programmhilfe - F1). Für die kohäsionslosen Böden hängen diese Werte vom Index der relativen Dichte I_d ab, bei kohäsiven Böden vom Konsistenzindex I_c (weitere Informationen in der Hilfe - F1).

Die Pfahlsetzung für die angegebene Nutzlast ergibt sich $s = 4,6 \text{ mm}$.



Detaillierte Ergebnisse – Masopust



Fenster „Setzung“ – Nichtlineare Belastungskurve (gemäß Masopust)

Hinweis Diese Methode wird auch für die Berechnung der Tragfähigkeit des Pfahls verwendet, wo das Programm die Tragfähigkeit des Pfahls für die Grenzsetzung errechnet (normalerweise 25 mm).

Gesamttragfähigkeit für s_{lim} : $R_c = 1681,67 \text{ kN} > V_d = 1015,0 \text{ kN}$ **GENÜGT**

Schlussfolgerung

Das Programm hat für die angegebene Nutzlast die Pfahlsetzung im Bereich von 4,6 - 11,4 mm berechnet. Diese Setzung ist geringer als die maximal zulässige Setzung - der Pfahl genügt vom Gesichtspunkt des 2. Grenzzustands.