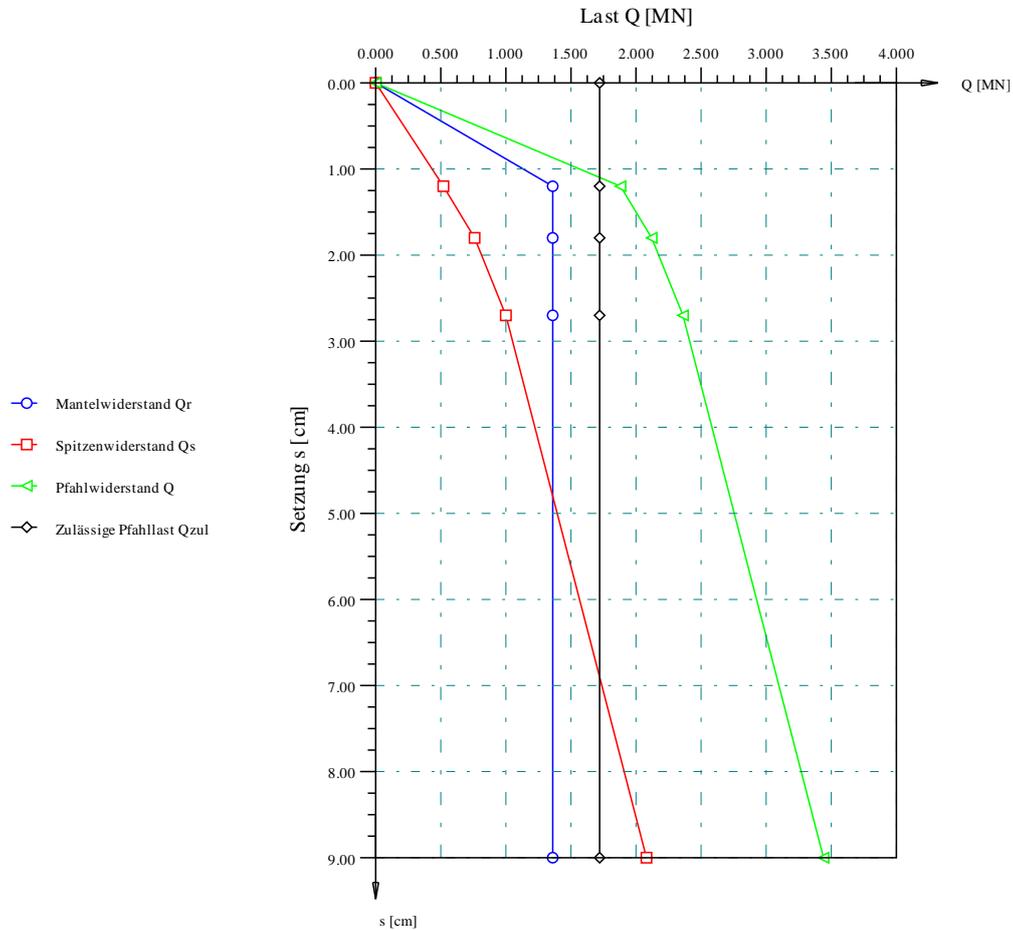


Tragfähigkeit und Setzung eines Einzelpfahles oder einer Pfahlwand mit dem Programm *GEO Tools*

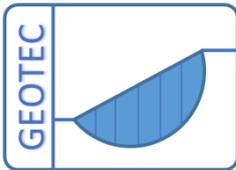
Pfahlbezeichnung: P1

Pfahl Nr.: 1



Lastsetzungslinie des Pfahles nach DIN 4014

Programmautoren: *M. El Gendy*
A. El Gendy



Copyright ©
GEOTEC Software Inc.
Canada
Tele.: +1(587) 332-3323
geotec@geotecsoftware.com
www.geotecsoftware.com

2022

Inhalt

	Seite
1 Tragfähigkeit und Setzung eines Einzelpfahles oder einer Pfahlwand.....	4
1.1 Vorbemerkungen.....	4
1.2 Aufbau des Programms	5
1.3 Berechnung von Einzelpfählen nach DIN 4014.....	6
1.4 Berechnung von Pfahlwänden.....	9
1.4.1 Einführung.....	9
1.4.2 Abminderungsfaktoren.....	9
1.5 Berechnung von Einzelpfählen nach EA-Pfähle	10
1.5.1 Allgemeines.....	10
1.5.2 Erfahrungswerte von Pfahlspitzendruck und Pfahlmantelreibung.....	11
1.6 Eingabe der Projektdaten	14
1.6.1 Stammdaten	14
1.6.2 Berechnungsverfahren.....	14
1.6.3 Auftragsdaten	16
1.6.4 Systemdaten des Pfahles	16
1.6.5 Daten für die Mantelreibung am Pfahlschaft	19
1.6.6 Baugrunddaten unter der Pfahlspitze	20
1.7 Berechnungsbeispiele.....	22
1.7.1 Vorbemerkungen.....	22
1.7.2 Beispiel 1: Berechnung eines Einzelpfahls (DIN 4014)	22
1.7.3 Beispiel 2: Berechnung eines Einzelpfahls (<i>Simmer</i> 1999)	32
1.7.4 Beispiel 3: Berechnung einer Pfahlwand	41
1.7.5 Beispiel 4: Berechnung eines Einzelpfahls (EA-Pfähle).....	49
1.7.6 Beispiel 6: Berechnung eines Einzelpfahls (<i>ECP</i>).....	60
1.8 Literatur.....	65

1 Tragfähigkeit und Setzung eines Einzelpfahles oder einer Pfahlwand

1.1 Vorbemerkungen

Mit dem Programm *GEO Tools* können verschiedene Probleme in der Geotechnik untersucht werden. Die Urfassung des Programmes *GEO Tools* in der Programmkette *GEOTEC Office* wurde von der Prof. M. Kany, Prof. M. El Gendy und Dr. A. El Gendy entwickelt, um die Setzungen und Tragfähigkeiten von Einzelpfählen oder Pfahlwänden nach DIN 4014 (Ausg. 03/ 1990) zu berechnen und die Ergebnisse in Anlehnung an die Norm graphisch darstellen zu können.

Dieses Programm wurde nach dem Tod von Prof. Kany dann bei Prof. M. El Gendy und Dr. A. El Gendy weiterentwickelt, um es an die Bedürfnisse der Praxis anzupassen. Hierzu gehören in dem Programm die Einarbeitung der Möglichkeiten der Interpolation zwischen den Werten der Tabellen 1, 2, 4 und 5 der Norm DIN 4014 durch das Programm, die Erweiterung der Benutzeroberfläche bei der Dateneingabe und Ergänzungen in der Ausgabe auf dem Drucker. Ferner wurden in dem Programm viele Veränderungen an der graphischen Ausgabe und der Speicherung der Daten und Ergebnisse vorgenommen. Auch die Tabellen der Textausgabe wurden neugestaltet.

1.2 Aufbau des Programms

Mit dem Programm *GEO Tools* können außerdem graphische Darstellungen der Kurve des Pfahlwiderstandes $Q(s)$ in Abhängigkeit von der Pfahlkopfsetzung s nach dem Bild 2.1 und B2 in DIN 4014 (siehe Beispiele der Anlage) erzeugt werden.

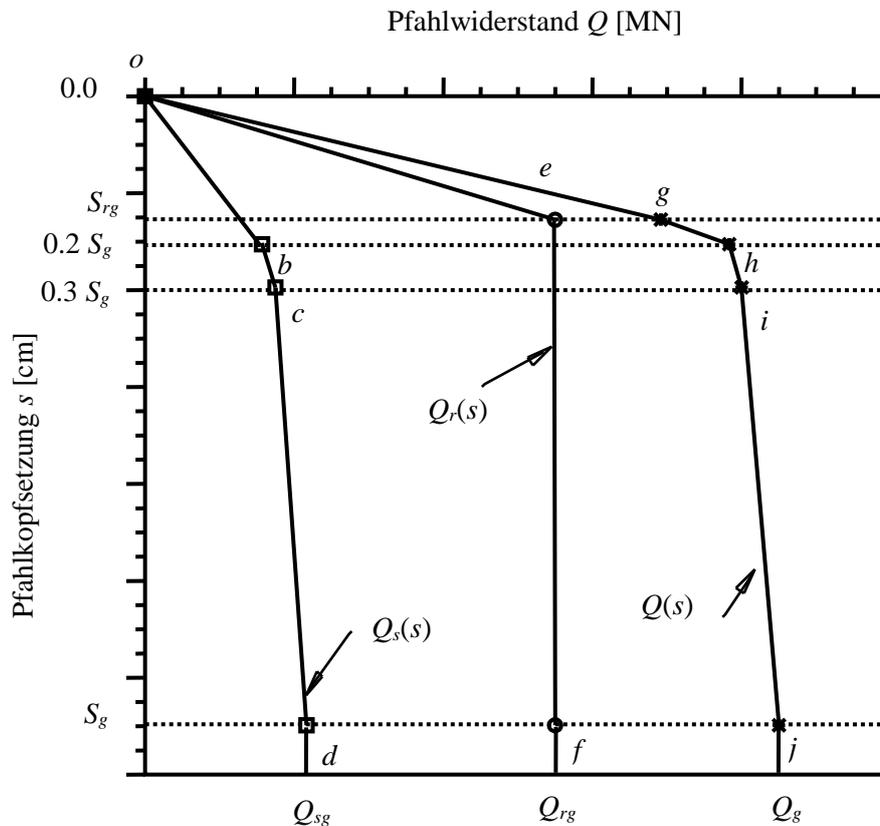


Bild 2.1 Konstruktion der Widerstandsetzungslinie unter Verwendung der Tabellen 1 bis 6

Mit dem Programm *GEO Tools* können die Tragfähigkeiten und Setzungen der Einzelpfähle und Pfahlwände nach DIN 4014 bestimmt und graphisch dargestellt werden.

Bei der Eingabe der Projektdaten im Programm muss zunächst die Wahl der Berechnungsaufgabe

- Einzelpfahl oder Pfahlwand -

vorgenommen werden. Bei Einzelpfählen wird zunächst der Pfahlspitzenwiderstand und dann die Reibung am Pfahlmantel untersucht. Bei Pfahlwänden werden zusätzlich die geometrischen Daten der Wand benötigt.

1.3 Berechnung von Einzelpfählen nach DIN 4014

Bei der Berechnung von Einzelpfählen werden zunächst die Kennwerte für den Bereich unter dem Pfahlfuß eingegeben.

Für die Eingabe der drei Pfahlspitzendruckwerte σ (Pfahlfußwiderstand) gibt es folgende 3 Möglichkeiten:

- direkte Eingabe von σ , σ_1 und σ_{gr}
- Eingabe des Spitzendruckes q_s der Drucksonde (bei nichtbindigen Böden) und Interpolation in der Tabelle 1 in DIN 4014 (siehe Tabelle 1)
- Eingabe der Kohäsion c_u im undränierten Zustand und automatische Interpolation in der Tabelle 2 in DIN 4014 (siehe Tabelle 2).

Tabelle 1 Pfahlspitzenwiderstand σ_s [MN/m²] in Abhängigkeit von der auf den Pfahl(fuß)durchmesser bezogenen Pfahlkopfsetzung s/D bzw. s/D_F und dem mittleren Sondierspitzenwiderstand in nichtbindigen Böden (nach DIN 4014, Tabelle 1)

bezogene Pfahlkopfsetzung s/D bzw. s/D_F	Pfahlspitzenwiderstand σ_s MN/m ² *)			
	bei einem mittleren Sondierspitzenwiderstand q_s [MN/m ²]			
	10	15	20	25
0,02	0,7	1,05	1,4	1,75
0,03	0,9	1,35	1,8	2,25
0,10 = s_g	2,0	3,0	3,5	4,0

*) Zwischenwerte dürfen linear interpoliert werden.
Bei Bohrpfählen mit Fußverbreiterung sind die Werte auf 75% abzumindern.

Tabelle 2 Pfahlspitzenwiderstand σ_s in Abhängigkeit von der auf den Pfahl(fuß) durchmesser bezogenen Pfahlkopfsetzung s/D bzw. s/D_F in bindigen Böden (nach DIN 4014, Tabelle 2)

bezogene Pfahlkopfsetzung s/D bzw. s/D_F	Pfahlspitzenwiderstand σ_s MN/m ² *)		
	bei einer Kohäsion im undrännierten Zustand c_u [MN/m ²]		
	0,1	0,2	0,4
0,02	0,35	0,9	2,0
0,03	0,45	1,1	2,4
0,10 = s_g	0,8	1,5	2,9

*) Zwischenwerte dürfen linear interpoliert werden.
Bei Bohrpfählen mit Fußverbreiterung sind die Werte auf 75% abzumindern.

Wenn die Sondierergebnisse der schweren Rammsonde durch Gestängereibung beeinflusst werden, wird die Anwendung der Standard-Sonde SPT nach DIN 4094 (z.Zt. Entwurf) empfohlen. Die Umrechnung der Ergebniswerte kann dann nach Tabelle 3 erfolgen.

Tabelle 3 Umrechnungsfaktoren zwischen dem Sondierspitzenwiderstand q_s [MN/m²] der Drucksonde und der Schlagzahl N_{30} (Schläge je 30 [cm] Eindringung) beim Standard-Penetrations-Test (nach DIN 4014, Tabelle 3)

Bodenart	q_s/N_{30}
Fein- bis Mittelsand oder leicht schluffiger Sand	0,3 bis 0,4
Sand oder Sand mit etwas Kies	0,5 bis 0,6
Weitgestufter Sand	0,5 bis 1,0
Sandiger Kies oder Kies	0,8 bis 1,0

Tragfähigkeit und Setzung eines Einzelpfahles oder einer Pfahlwand

Anschließend werden die Daten für die Mantelreibung eingegeben, und zwar für jede Schicht. Auch hierzu gibt es drei Möglichkeiten:

- direkte Eingabe des Bruchreibungswertes τ_{mf}
- Eingabe des Drucksonden-Spitzendruckwertes q_s und automatische Auswertung der DIN-Tabelle 4 (für nichtbindige Böden mit Sondierspitzendruck q_s , siehe Tabelle 4)
- Eingabe der Kohäsion c_u im undränierten Zustand und Auswertung der DIN-Tabelle 5 (für bindige Böden mit Kohäsion c_u , siehe Tabelle 5).

Tabelle 4 Bruchwert τ_{mf} der Mantelreibung in nichtbindigen Böden
(nach DIN 4014, Tabelle 4)

Festigkeit des nichtbindigen Bodens bei einem mittleren Sondierspitzendruck q_s MN/m ²	Bruchwert τ_{mf} der Mantelreibung MN/m ² *)
0	0
5	0,04
10	0,08
∃ 15	0,12
*) Zwischenwerte dürfen linear interpoliert werden.	

Tabelle 5 Bruchwert τ_{mf} der Mantelreibung in bindigen Böden
(nach DIN 4014, Tabelle 5)

Festigkeit des bindigen Bodens bei einer Kohäsion im undränierten Zustand c_u MN/m ²	Bruchwert τ_{mf} der Mantelreibung MN/m ² *)
0,025	0,025
0,1	0,04
∃ 0,2	0,06
*) Zwischenwerte dürfen linear interpoliert werden.	

1.4 Berechnung von Pfahlwänden

1.4.1 Einführung

Die Berechnung von Pfahlwänden wird entsprechend DIN 4014 im Wesentlichen mit den gleichen Formeln und Tabellen wie bei Einzelpfählen vorgenommen. Es sind aber Abminderungsfaktoren beim Pfahlspitzenwiderstand erforderlich, wie nachfolgend erläutert wird:

1.4.2 Abminderungsfaktoren

Für die Bestimmung der Mantelreibung bei nicht kreisförmigen Bohrpfählen (Schlitzwandelementen und Pfahlwänden) sind die Werte nach Tabelle 4 und Tabelle 5 maßgebend. Beim Pfahlspitzenwiderstand sind die Werte der Tabelle 1 und Tabelle 2 mit den vom Seitenverhältnis abhängigen Abminderungsfaktoren ν nach Tabelle 6 abzumindern.

Bei vertikal belasteten Bohrpfahlwänden wird sinngemäß verfahren, wobei als Grundfläche die Summe der Pfahlfußflächen und als Mantelfläche die umhüllende Fläche eingeführt wird.

Tabelle 6 Abminderungsfaktor ν für den Pfahlspitzenwiderstand σ_s bei nicht kreisförmigen Bohrpfählen (Schlitzwandelementen)
(nach DIN 4017, Tabelle 6)

Seitenverhältnis *)	1	≥ 5
ν	1	0,6
*) Zwischenwerte werden linear interpoliert		

1.5 Berechnung von Einzelpfählen nach EA-Pfähle

1.5.1 Allgemeines

- (1) In Bild 2.2 sind die Elemente der charakteristischen Widerstands-Setzungs-Linie bis zu einer Setzung von $s_{ult} = s_g$ für Bohrpfähle dargestellt.
- (2) Es ist zu unterscheiden zwischen dem setzungsabhängigen Pfahlfußwiderstand $R_b(s)$ und dem Pfahlmantelwiderstand $R_s(s)$.
- (3) Für $R_{b,k}(s_{ult} = s_g)$ ist die Grenzsetzung:

$$s_g = 0,10 \times D_b$$

Dabei ist:

D_b der Durchmesser des Pfahlfußes in [m].

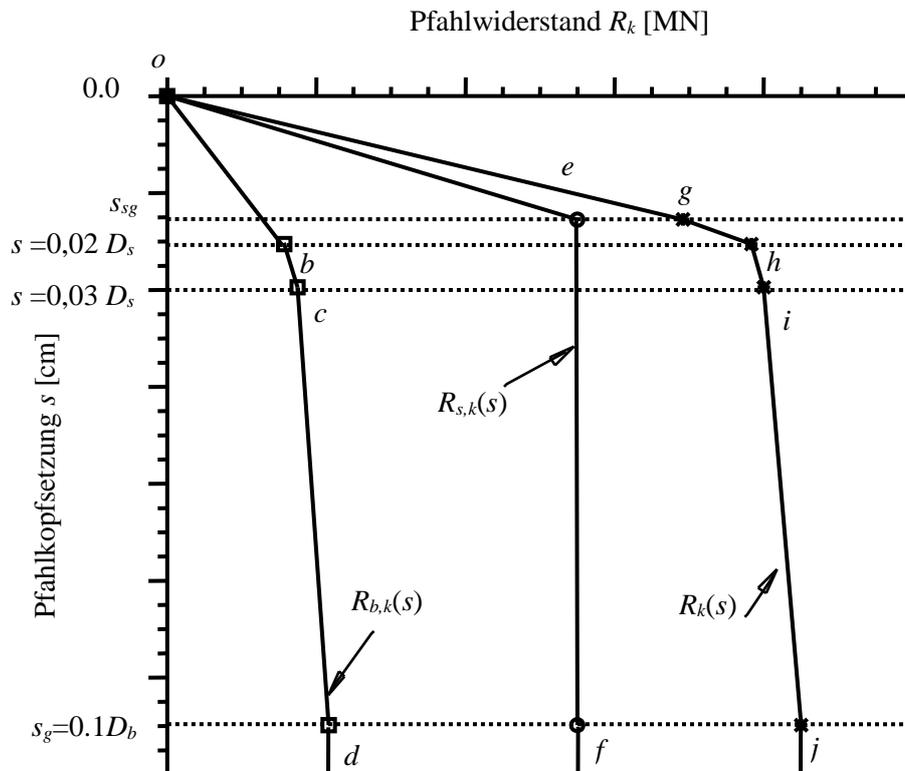


Bild 2.2 Elemente der charakteristischen Widerstands-Setzungs-Linie von Bohrpfählen

- (4) Für die Setzung im Gebrauchszustand ist der Pfahlschaftdurchmesser D_s die maßgebliche Bezugsgröße. Für die Setzung im Bruchzustand wird bei Pfählen ohne Fußaufweitung der Pfahldurchmesser D (hier $D = D_s = D_b$) als Bezugsgröße angesetzt, bei Pfählen mit Fußaufweitung ist der Pfahlfußdurchmesser D_b die maßgebliche Bezugsgröße. Bei Schlitzwandelementen ist für D die Schlitzwanddicke anzusetzen.
- (5) Für den charakteristischen Pfahlmantelwiderstand $R_{s,k}(s_{sg})$ in [MN] gilt im Bruchzustand eine Grenzsetzung:

$$s_{sg} [\text{cm}] = 0,5 \times R_{s,k}(s_{sg}) [\text{MN}] + 0,5 [\text{cm}] \leq 3 [\text{cm}]$$

- (6) Die charakteristische axiale Pfahlwiderstandskraft ist aus dem Ansatz

$$R_{k(s)} = R_{b,k(s)} + R_{s,k(s)} = q_{b,k} \times A_b + \sum A_{q_{s,k,i}} \times A_{s,i}$$

zu ermitteln.

Dabei ist:

A_b	der Nennwert der Pfahlfußfläche,
$A_{s,i}$	der Nennwert der Pfahlmantelfläche in der Schicht i ,
$q_{b,k}$	der charakteristische Wert des Pfahlspitzendrucks abgeleitet nach Tabelle 7 und Tabelle 9 (nach EA-Pfähle, Tabelle 5.12 und 5.14),
$q_{s,k,i}$	der charakteristische Wert der Pfahlmantelreibung in der Schicht i abgeleitet nach 0Tabelle 8 und Tabelle 10 (nach EA-Pfähle, Tabelle und 5.15),
5.13	
$R_{c,k(s)}$	der setzungsabhängige charakteristische Druckpfahlwiderstand,
$R_{b,k(s)}$	der setzungsabhängige charakteristische Pfahlfußwiderstand,
$R_{s,k(s)}$	der setzungsabhängige charakteristische Pfahlmantelwiderstand, s_{sg} die Grenzsetzung für den setzungsabhängigen charakteristischen Pfahlmantelwiderstand.

1.5.2 Erfahrungswerte von Pfahlspitzendruck und Pfahlmantelreibung

- (1) Die in Tabelle 7 bis 0Tabelle 10 (nach EA-Pfähle, Tabelle 5.12 bis Tabelle 5.15) angegebenen Erfahrungswerte von Pfahlspitzendruck und Pfahlmantelreibung gelten für Bohrpfähle von D_s bzw. $D_b = 0,30$ bis $3,00$ [m], die mindestens $2,50$ [m] in eine tragfähige Schicht einbinden, und sind abhängig
- vom über die Tiefe gemittelten Spitzenwiderstand q_c der Drucksonde bei nichtbindigen Boden und
 - von der Scherfestigkeit des undränierten Bodens $c_{u,k}$ bei bindigen Boden.

Anmerkung: Die Größenordnung der unteren Werte (Kleinstwerte) der Tabellen wurden auf Grundlage der Untersuchungen von [4] erstmalig in DIN 4014:1990-03 aufgenommen.

Tragfähigkeit und Setzung eines Einzelpfahles oder einer Pfahlwand

(2) Für die Anwendung der Werte nach Tabelle 7 und 0Tabelle 9 (nach EA-Pfähle, Tabelle 5.12 und 5.14) wird vorausgesetzt, dass

- die Mächtigkeit der tragfähigen Schicht unterhalb der Pfahlfußfläche nicht weniger als drei Pfahlfußdurchmesser, mindestens aber 1,50 [m] beträgt und
- in diesem Bereich $q_c \geq 7,5$ [MN/m²] bzw. $c_{u,k} \geq 100$ [kN/m²] nachgewiesen ist.

Unabhängig davon wird empfohlen, die Pfahlfüße in Bereichen mit $q_c \geq 10$ [MN/m²] abzusetzen.

Tabelle 7 Spannen der Erfahrungswerte für den charakteristischen Pfahlspitzendruck $q_{b,k}$ für Bohrpfähle in nichtbindigen Boden (nach EA-Pfähle, Tabelle 5,12)

bezogene Pfahlkopfsetzung s/D_s bzw. s/D_b	Pfahlspitzendruck $q_{b,k}$ [kN/m ²]		
	bei einem mittleren Spitzenwiderstand q_c der Drucksonde [MN/m ²]		
	7,5	15	25
0,02	550–800	1.050–1.400	1.750–2.300
0,03	700–1.050	1.350–1.800	2.250–2.950
0,10 = s_g	1.600–2.300	3.000–4.000	4.000–5.300

Zwischenwerte dürfen geradlinig interpoliert werden.
Bei Bohrpfählen mit Fußverbreiterung sind die Werte auf 75% abzumindern.

Tabelle 8 Spannen der Erfahrungswerte für die charakteristische Pfahlmantelreibung $q_{s,k}$ für Bohrpfähle in nichtbindigen Boden (nach EA-Pfähle, Tabelle 5.13)

Mittlerer Spitzenwiderstand q_c der Drucksonde [MN/m ²]	Bruchwert $q_{s,k}$ der Pfahlmantelreibung [kN/m ²]
7,5	55–80
15	105–140
≥ 25	130–170

Zwischenwerte dürfen geradlinig interpoliert werden.

Tabelle 9 Spannen der Erfahrungswerte für den charakteristischen Pfahlspitzendruck $q_{b,k}$ für Bohrpfähle in bindigen Boden (nach EA-Pfähle, Tabelle 5.14)

bezogene Pfahlkopfsetzung s/D_s bzw. s/D_b	Pfahlspitzendruck $q_{b,k}$ [kN/m ²]		
	Scherfestigkeit $c_{u,k}$ des undränierten Bodens [kN/m ²]		
	100	150	250
0,02	350–450	600–750	950–1.200
0,03	450–550	700–900	1.200–1.450
0,10 = s_g	800–1.000	1.200–1.500	1.600–2.000
Zwischenwerte dürfen geradlinig interpoliert werden. Bei Bohrpfählen mit Fußverbreiterung sind die Werte auf 75% abzumindern.			

Tabelle 10 Spannen der Erfahrungswerte für die charakteristische Pfahlmantelreibung $q_{s,k}$ für Bohrpfähle in bindigen Boden (nach EA-Pfähle, Tabelle 5.15)

Scherfestigkeit $c_{u,k}$ des undränierten Bodens [kN/m ²]	Bruchwert $q_{s,k}$ der Pfahlmantelreibung [kN/m ²]
60	30–40
150	50–65
≥ 250	65–85
Zwischenwerte dürfen geradlinig interpoliert werden.	

1.6 Eingabe der Projektdaten

1.6.1 Stammdaten

Beim Ausdrucken der Ergebnisse werden auf jeder Seite oben in zwei Zeilen die Stammdaten (Firmenname) wiedergegeben. Diese können mit der Option "Firme-Kopfzeilen" aus Einstellung-Tab (siehe Bild 2.3) eingegeben, geändert und gespeichert werden.

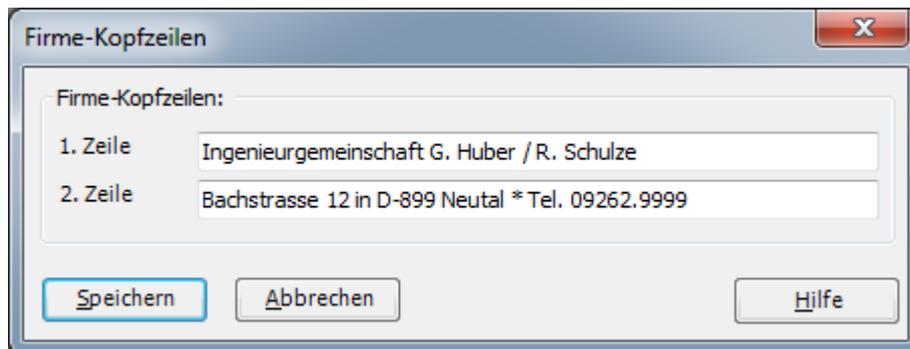


Bild 2.3 Firmenname

1.6.2 Berechnungsverfahren

Mit dem Programm *GEO Tools* können verschiedene Probleme in der Geotechnik für Flächen Gründungen und Tiefgründungen untersucht werden, Bild 2.4.

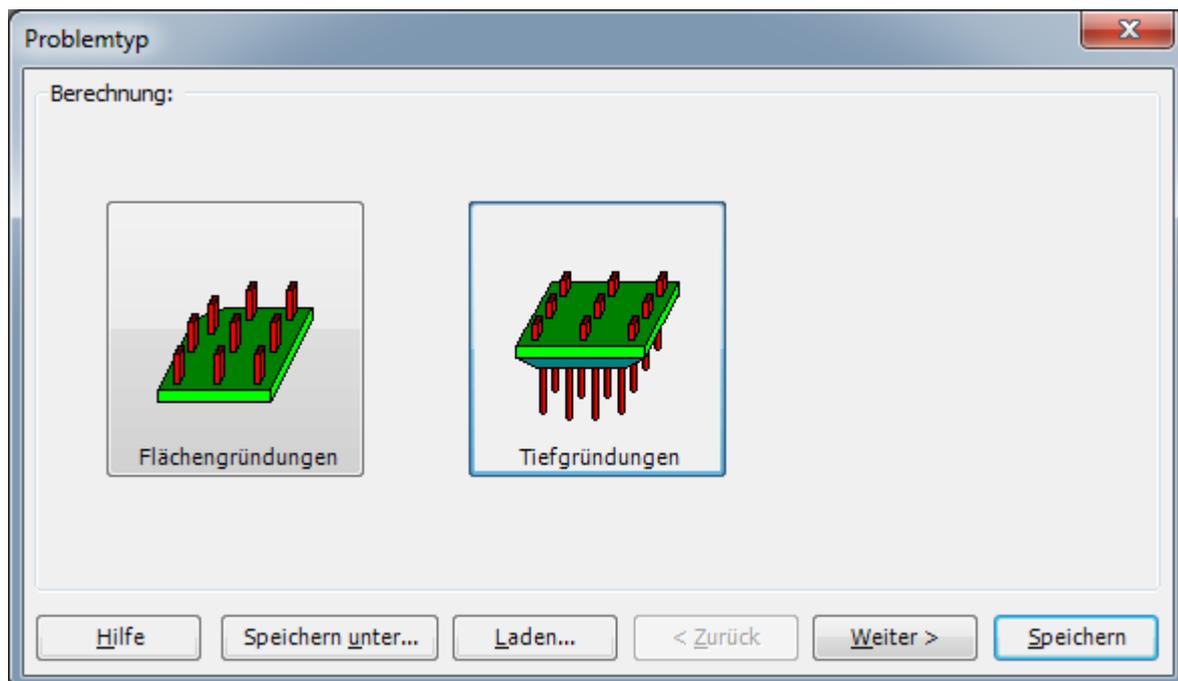


Bild 2.4 Problemtyp

Es können entsprechend dem Hauptmenü (Bild 2.5) die folgenden geotechnischen Probleme für Tiefgründungen berechnet werden:

- Berechnung für Einzelpfahl
- Tragfähigkeit und Setzung eines Einzelpfahles oder einer Pfahlwand
- Berechnung von Pfahl-Plattengründungen
- Einflusszahlen der Spannungen nach GEDDES.
- Spundwand
- Berechnung einer einzelnen Haarspange

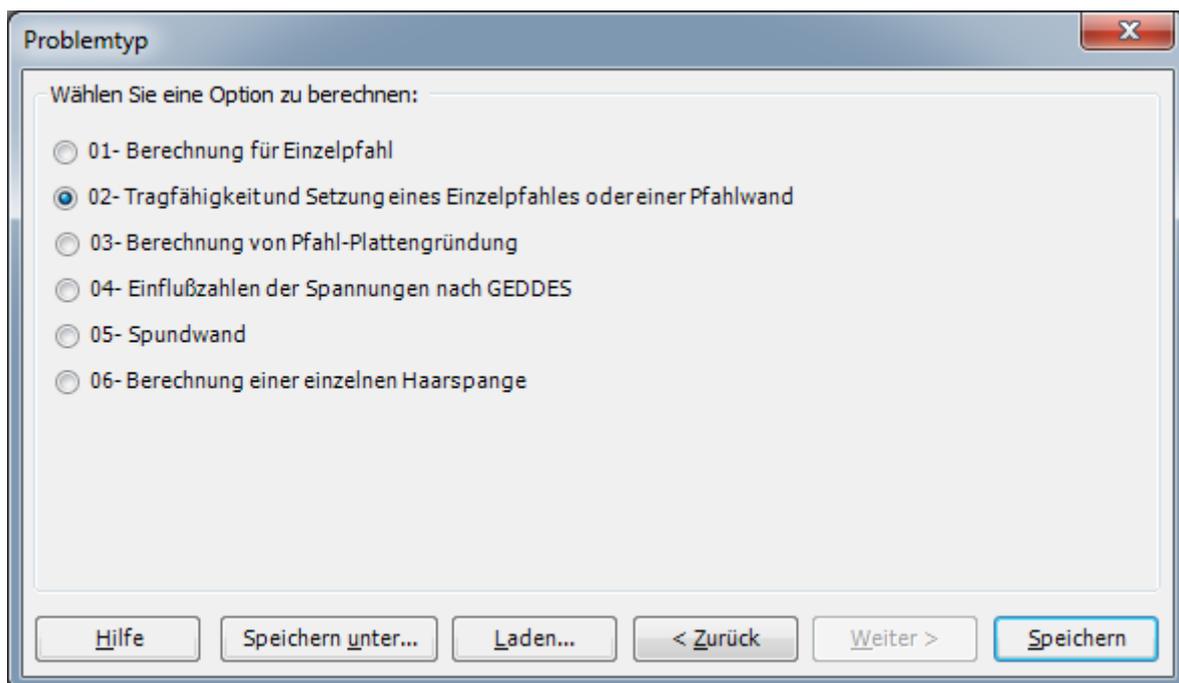


Bild 2.5 Problemtyp für Tiefgründungen

Im Bild 2.5 wählen Sie die Aufgabe des Programmes *GEO Tools*:

02- Tragfähigkeit und Setzung eines Einzelpfahles oder einer Pfahlwand

Im Folgenden wird beschrieben, wie man Tragfähigkeit und Setzungen von Einzelpfählen oder Pfahlwänden mit dem Programm *GEO Tools* berechnen kann. Es können die Tragfähigkeiten und Setzungen von einzelnen Bohrpfählen oder Bohrpfahl-Wänden nach DIN 4014 oder EA-Pfähle berechnet werden. Eingegeben werden die Abmessungen der Pfähle, der Spitzendruck von Drucksondierungen q_s oder die Scherfestigkeit c_u der Schichten. Es können die Mantelreibungswerte am Pfahlschaft eingegeben oder nach DIN 4014 oder EA-Pfähle berechnet werden.

1.6.3 Auftragsdaten

In dem Programm wird bei der Dateneingabe unterschieden zwischen folgenden zwei Datengruppen:

- 1 Systemdaten (zur Kennzeichnung des zu bearbeitenden Projektes und Informationen zur Ausgabe auf dem Drucker).
- 2 Baugrunddaten (Baugrundkennwerte usw.).

Die Dateneingabe für diese Datengruppen erfolgt im Menu mit dem Computer. Die Aufrufe der Daten sind in folgender Weise programmiert:

Nach Anklicken der Option "Bezeichnung des Projekts" werden zunächst die folgenden allgemeinen Projektdaten eingelesen (Bild 2.6):

Auftrag:	Auftragsbezeichnung
Datum:	Eingabe des Datums
Projekt:	Projektbezeichnung

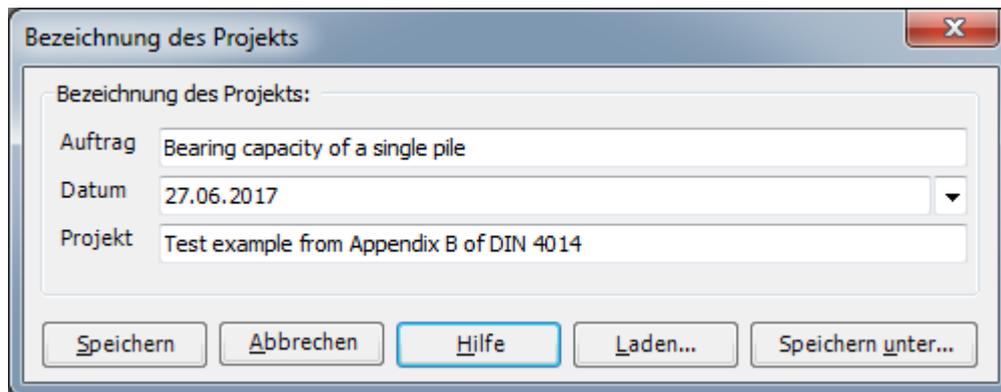


Bild 2.6 Bezeichnung des Projekts

1.6.4 Systemdaten des Pfahles

Nach Anklicken der Option "Tragfähigkeit und Setzungen eines Einzelpfahles" werden die folgenden Systemdaten des Pfahles eingelesen (Bild 2.7):

Eingabe der Berechnungsanweisung:

- Berechnung eines Einzelpfahls
- Berechnung einer Pfahlwand

und nach

- DIN 4014
- EA-Pfähle für untere Tabellenwerte
- EA-Pfähle für obere Tabellenwerte

Systemdaten des Pfahles

D Pfahl-Durchmesser [m]
Pz Pfahlbezeichnung (Kurzbezeichnung)

wenn Einzelpfähle

Ipf Nr. des Pfahles
Df Pfahlfuß-Durchmesser [m]
Qv Vorhandene Pfahllast [MN]

wenn Pfahlwand

Ipf Nr. der Pfahlwand
Wl Breite der Pfahlwand [m]
Abst Pfahlabstand [m]
Npf Anzahl der Pfähle

Tragfähigkeit und Setzung eines Einzelpfahles oder einer Pfahlwand

Tragfähigkeit und Setzung eines Einzelpfahles oder einer Pfahlwand

Daten des Pfahles | Bodenprofil | Baugrunddaten unter der Pfahlspitze

Berechnungsverfahren:

- Lastsetzungslinie der Pfähle nach DIN 4014
- Lastsetzungslinie der Pfähle nach EA-Pfähle für untere Tabellenwerte
- Lastsetzungslinie der Pfähle nach EA-Pfähle für obere Tabellenwerte

Berechnungsaufgabe:

- Berechnung eines Einzelpfahles
- Berechnung einer Pfahlwand

Pfahlbezeichnung:

Pfahlbezeichnung	Pz	[-]	<input type="text" value="P1"/>
Pfahl Nr.	Ipf	[-]	<input type="text" value="1"/>

Daten des Pfahles:

Pfahldurchmesser	D	[m]	<input type="text" value="0.9"/>
Pfahlfussdurchmesser	Df	[m]	<input type="text" value="0.9"/>
Pfahlkopflast	Qv	[MN]	<input type="text" value="1.50"/>

Daten der Pfahlwand:

Breite der Wand	Wl	[m]	<input type="text"/>
Pfahlabstand	Abst	[m]	<input type="text"/>
Anzahl der Pfähle	Npf	[-]	<input type="text"/>

Ergebnisse | Speichern | Laden... | OK | Speichern unter... | Hilfe

Bild 2.7 Daten des Pfahles

1.6.5 Daten für die Mantelreibung am Pfahlschaft

Danach werden die Baugrundverhältnisse bzw. die Bruchwerte der Mantelreibung am Pfahlschaft entsprechend der Tabelle 4 (für nichtbindige Böden) oder der Tabelle 5 (für bindige Böden) erfasst. Hierzu wird zunächst eingelesen (Bild 2.8):

ANSCH Anzahl der Schichten im Bereich des Pfahlschaftes
(über der Pfahlsohle).

Anschließend werden die Daten für die Mantelreibung am Pfahlschaft eingegeben, und zwar für jede der ANSCH Schichten i . Auch hierzu gibt es drei Möglichkeiten:

- 1 direkte Eingabe des Bruchreibungswertes $Tau (i)$
- 2 Eingabe des Drucksonden-Spitzendruckwertes $q_s (i)$
(dieser Wert ist gleich groß der Anzahl der Rammschläge je 10 [cm] bei Verwendung der schweren Rammsonde, sofern 10% der Körner größer als 20 [cm] sind) und automatischer Auswertung der DIN-Tabelle 4 (für nichtbindige Böden mit Sondierspitzendruck q_s , siehe Abschnitt 1.3)
- 3 Eingabe der Kohäsion $c_u (i)$ im undränierten Zustand und Auswertung der DIN-Tabelle 5 (für bindige Böden mit Kohäsion c_u , siehe Abschnitt 1.3).

Hierzu wird gefragt, ob die Bruchwerte der Mantelreibung $Tau (i)$ aus der Festigkeit des Bodens errechnet oder als Festwerte $Tau (i)$ eingegeben werden sollen. Wird Ja eingegeben, so werden die $Tau (i)$ -Werte aus den Tabellen 4 oder 5 der Norm DIN 4014 durch lineare Interpolation aus dem Sondierspitzenwiderstand (Tabelle 4) oder aus der Kohäsion c_u (Tabelle 5) errechnet. Bei Eingabe von Nein werden von jeder Schicht i die Bruch-Mantelreibungswerte $Tau (i)$ [MN/m²] eingelesen.

Danach werden von jeder der ANSCH Schichten folgende Werte eingelesen:

$L1(i)$ Dicke der Schicht i [m].

Bei vorhergehender Eingabe von Ja werden von jeder Schicht die Bodenkenngrößen $q_s (i)$ oder $c_u (i)$ eingelesen und daraus die Bruchwerte $Tau (i)$ der Mantelreibung durch Interpolation aus einer der beiden folgenden Bodenkenngrößen errechnet und am Bildschirm ausgegeben.

$q_s (i)$ Mittlerer Drucksondier-Widerstand [MN/m²]
bei nichtbindigen Böden.
Bestimmung der Bruchmantelreibung $Tau (i)$ durch Interpolation aus der Tabelle 4 der Norm.

oder, wird die Kohäsion der Schicht eingelesen:

$c_u(i)$ Kohäsion [MN/m²] der Schicht i (im undrännierten Zustand) bei bindigen Böden.
Bestimmung der Bruchmantelreibung $\tau(i)$ durch Interpolation aus der Tabelle 5 der Norm.

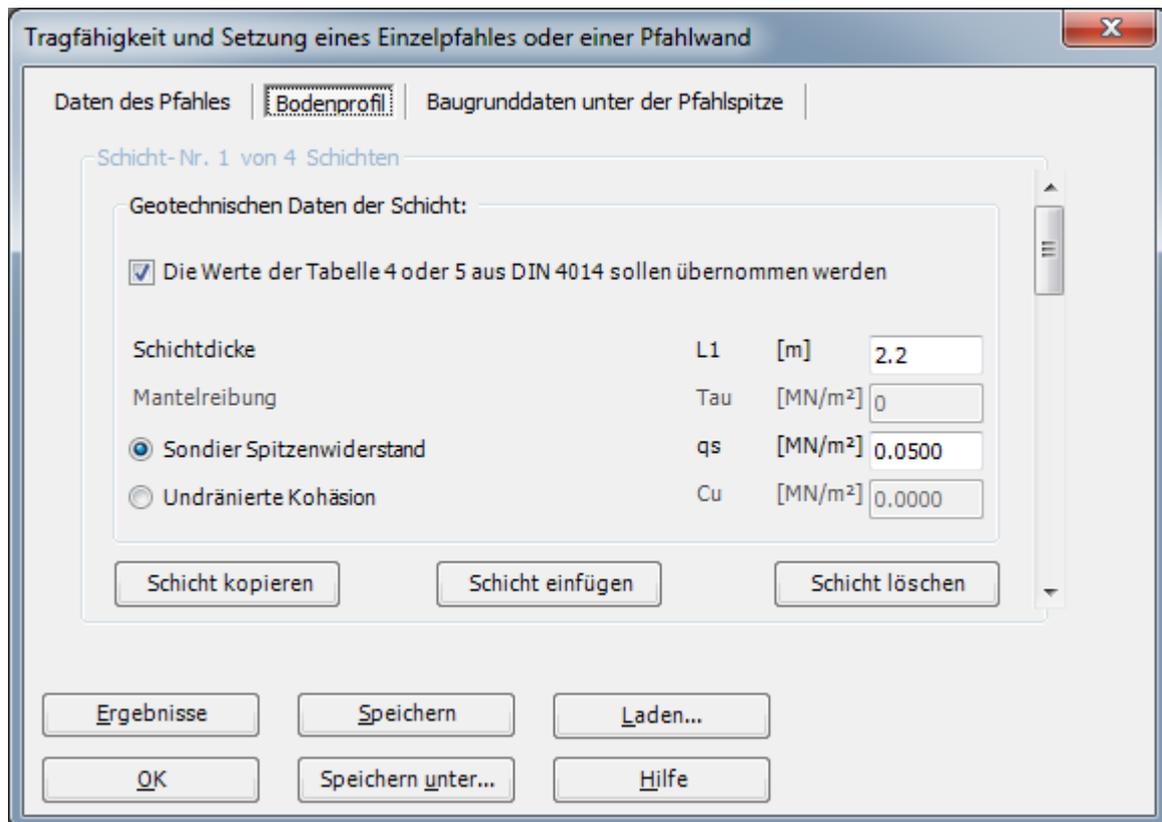


Bild 2.8 Bodenprofil

1.6.6 Baugrunddaten unter der Pfahlspitze

Danach werden die Baugrunddaten unter der Pfahlspitze (Bild 2.9):

q_s Mittlerer Spitzenwiderstand q_s [MN/m²] unter dem Pfahlfuß bei Verwendung der Drucksonde im Tiefenbereich $3D$ bei nichtbindigen Böden

oder

c_u Kohäsion c_u [MN/m²] des Bodens im undrännierten Zustand unter dem Pfahlfuß bei bindigen Böden.

Anschließend wird gefragt, ob der Pfahlsitzenwiderstand σ_s aus den Tabellen 1 oder 2 der Norm DIN 4014 durch Interpolation errechnet oder vom Benutzer eingegeben werden soll. Wird die Frage mit J beantwortet, so werden die Pfahlsitzenwiderstände σ_s (σ) durch programmierte Interpolation aus der Tabelle 1 der Norm DIN 4014 (bei nichtbindigen Böden) bzw. aus der Tabelle 2 der Norm (bei bindigen Böden) errechnet. Andernfalls werden 3 Werte σ in Abhängigkeit vom Verhältnis s/D wie folgt eingelesen:

- σ Spitzenwiderstand des Pfahles [MN/m²] für die auf den Pfahldurchmesser bezogene Pfahlkopfsetzung $s/D = 0.02$
- σ_1 Spitzenwiderstand des Pfahles [MN/m²] für die bezogene Pfahlkopfsetzung $s/D = 0.03$
- σ_{Gr} Spitzenwiderstand des Pfahles [MN/m⁵] für die bezogene Pfahlkopfsetzung $s/D = 0.10$.

The screenshot shows a software dialog box titled "Tragfähigkeit und Setzung eines Einzelpfahles oder einer Pfahlwand". It has three tabs: "Daten des Pfahles", "Bodenprofil", and "Baugrunddaten unter der Pfahlspitze". The "Baugrunddaten unter der Pfahlspitze" tab is active. Inside the dialog, there is a section titled "Baugrunddaten unter der Pfahlspitze:" with a checked checkbox "Die Werte der Tabelle 1 oder 2 aus DIN 4014 sollen übernommen werden". Below this, there are three rows of input fields for tip resistance values:

Parameter	Unit	Value
Pfahlsitzenwiderstand ($s/D_f = 0.02$)	Sig [MN/m ²]	0
Pfahlsitzenwiderstand ($s/D_f = 0.03$)	Sig1 [MN/m ²]	0
Pfahlsitzenwiderstand ($s/D_f = 0.1$)	SigGr [MN/m ²]	0
<input checked="" type="radio"/> Sondier-Spitzenruck unter dem Pfahlfuß	qs [MN/m ²]	17.5000
<input type="radio"/> Undrained Kohäsion unter dem Pfahlfuß	Cu [MN/m ²]	0

At the bottom of the dialog, there are six buttons: "Ergebnisse", "Speichern", "Laden...", "OK", "Speichern unter...", and "Hilfe".

Bild 2.9 Baugrunddaten unter der Pfahlspitze

1.7 Berechnungsbeispiele

1.7.1 Vorbemerkungen

Nachfolgend werden in einigen Berechnungsbeispielen die Anwendungsmöglichkeiten dem Programm *GEO Tools* gezeigt.

1.7.2 Beispiel 1: Berechnung eines Einzelpfahls (DIN 4014)

1.7.2.1 Aufgabenstellung

Mit dem Programm *GEO Tools* soll ein Einzelpfahl berechnet werden. Als Beispiel wird der gleiche Pfahl berechnet, der auch in dem Beispiel im Anhang *B* der Norm DIN 4014 zu finden ist. Danach ist das folgende in Bild 2.10 dargestellte Bodenprofil vorgegeben. Ermittlung der Widerstandssetzungslinie und des Sicherheitsfaktors für einen Bohrpfahl mit Belastung $Q_v = 1,5$ [MN].

Unter der $L_I(1) = 2.2$ [m] dicken Auffüllung befindet sich in der Tiefe von 2.2 [m] bis 5.2 [m] eine Tonschicht (Dicke $L_I(2) = 3$ [m]), die mit einer undränierten Scherfestigkeit von $c_u(2) = 0.1$ [MN/m²] charakterisiert werden kann. Darunter folgt bis in die erkundete Tiefe von ca 15 [m] Sand. Diese Sandschicht wird entsprechend dem Diagramm Bild 2.10 der Drucksonde in 3 Tiefenbereiche mit unterschiedlichem Widerstand q_s der Spitzendrucksonde unterteilt.

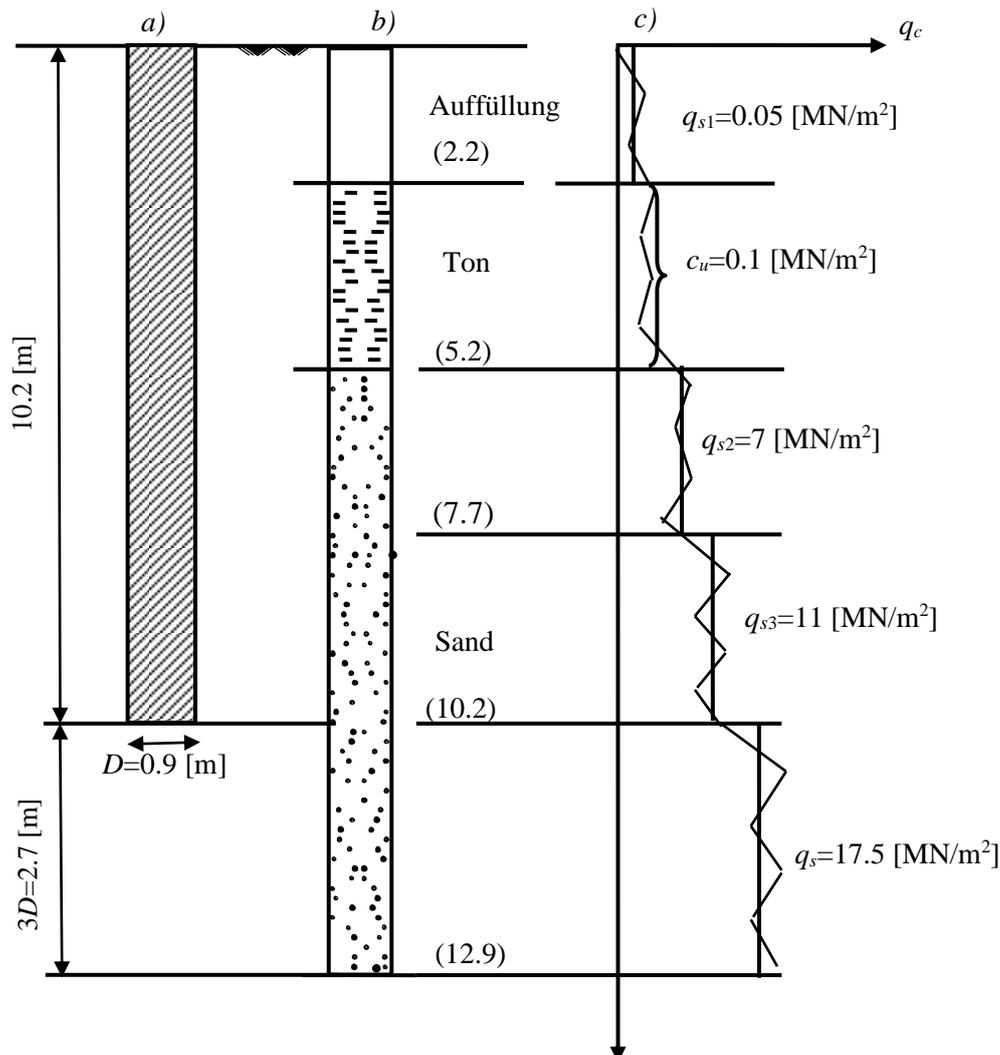


Bild 2.10 Bohrprofil, Sondierdiagramm und Maße zur Ermittlung der Widerstands-Setzungslinie

1.7.2.2 Lösung der Aufgabe

Das in die Berechnung eingehende Bodenprofil besteht gemäß Bild 2.10 aus 5 Schichten. Die Auffüllung hat nur einen geringen Sondier-Spitzenwiderstand von $q_s(1) = 0.05$ [MN/m²]. Bei der 2. Schicht (Ton) wird die Kohäsion im undrained Zustand mit $c_u(2) = 0.1$ [MN/m²] angesetzt. Bei den Schichten 3 bis 5 wird in der Berechnung der Sondierwiderstand $q_s(i)$ entsprechend der Norm DIN 4014 angesetzt. Damit ergibt sich die folgende Tabelle 11 der Bodenkennwerte:

Tabelle 11 Bodenkennwerte

Schicht Nr.	Baugrund	Schichtdicke $L_I(i)$ [m]	Sondiersp.dru. $q_s(i)$ [MN/m]	undrän.Kohä $c_u(i)$ [MN/m ²]
1	Auffüllung	2.2	0.05	- - -
2	Ton	3.0	- - -	0.10
3	Sand	2,5	7.00	- - -
4	Sand	2,5	11.00	- - -
5 (Fußber)	Sand	$3 \times D_f = 2.7$	17.50	- - -

1.7.2.3 Handberechnung

Die Handberechnung wird nach den folgenden Schritten durchgeführt:

1.7.2.3.1 Berechnung der charakteristischen Pfahlfußwiderstände $Q_s(s)$:

Die Pfahlfußfläche beträgt:

$$A_f = \frac{\pi D_f^2}{4} = \frac{\pi (0.9)^2}{4} = 0.636 [\text{m}^2]$$

Zur Ermittlung des Pfahlsitzenwiderstandes $\sigma(s)$ ist die Festigkeit des Baugrundes bis zur Tiefe $\geq 3D$ bzw. 1,5 [m], im Beispiel bis $3 \times 0,9 = 2,7$ [m] unterhalb der Pfahlsohle maßgebend.

Für Sondier-Spitzenwiderstand $q_s = 17,5$ [MN/m²] erhält man nach der Tabelle 1 der Norm DIN 4014 für die bezogene Pfahlkopfsetzung s/D_f Spitzenwiderstand des Pfahles σ [MN/m²]. Wobei q_s ein mittlerer Sondier-Spitzenwiderstand ist, dürfen zwischenwerte linear interpoliert werden.

Spitzenwiderstand des Pfahles σ [MN/m²] für die auf den Pfahldurchmesser bezogene Pfahlkopfsetzung $s/D_f = 0.02$

$$\sigma = 1.05 + (1.4 - 1.05) \frac{20 - 17.5}{20 - 15}$$

$$\sigma = 1.225 [\text{MN/m}^2]$$

Spitzenwiderstand des Pfahles σ_1 [MN/m²] für die auf den Pfahldurchmesser bezogene Pfahlkopfsetzung $s/D_f = 0.03$

$$\sigma_1 = 1.35 + (1.8 - 1.35) \frac{20 - 17.5}{20 - 15}$$

$$\sigma_1 = 1.575 [\text{MN/m}^2]$$

Spitzenwiderstand des Pfahles σ_{gr} [MN/m²] für die auf den Pfahldurchmesser bezogene Pfahlkopfsetzung $s/D_f = 0.10$

$$\sigma_{gr} = 3.0 + (3.5 - 3.0) \frac{20 - 17.5}{20 - 15}$$

$$\sigma_{gr} = 3.25 [\text{MN/m}^2]$$

Die Pfahlfußwiderstände $Q_s(s)$ sind:

$$Q_s(s)_1 = \sigma \times A_f = 1.225 \times 0.636 = 0.779 [\text{MN}]$$

$$Q_s(s)_2 = \sigma_1 \times A_f = 1.575 \times 0.636 = 1.002 [\text{MN}]$$

$$Q_s(s)_3 = \sigma_{gr} \times A_f = 3.25 \times 0.636 = 2.067 [\text{MN}]$$

Die zugehörigen Pfahlkopfsetzungen s sind:

$$s_1 = 0.02D_f = 0.02 \times 0.9 = 0.0018 [\text{m}] = 1.8 [\text{cm}]$$

$$s_2 = 0.03D_f = 0.03 \times 0.9 = 0.0027 [\text{m}] = 2.7 [\text{cm}]$$

$$s_3 = 0.10D_f = 0.10 \times 0.9 = 0.090 [\text{m}] = 9.0 [\text{cm}]$$

1.7.2.3.2 Berechnung des charakteristischen Pfahlreibungswiderstandes Q_{rg} :

Die Pfahlmantelfläche beträgt:

$$A_m = \pi D_f \times 1.0 = 0.9\pi \times 1.0 = 2.827 [\text{m}^2/\text{m}]$$

Auffüllung: Sie liefert keinen nennenswerten Anteil und wird vernachlässigt.

Tonschicht: Schichtdicke $L_1 = 3.0$ [m] für $c_{u1} = 0.1$ [MN/m²] ist nach der Tabelle 5 der Norm DIN 4014:

$$\tau_{mf1} = 0.04 [\text{MN/m}^2]$$

damit:

$$Q_{rg1} = \tau_{mf1} \times A_m \times L_1 = 0.04 \times 2.827 \times 3.0 = 0.339 [\text{MN}]$$

Sandschicht: Schichtdicke $L_2 = 2.5$ [m] für $q_{s2} = 7$ [MN/m²] ist nach der Tabelle 4 der Norm DIN 4014:

Tragfähigkeit und Setzung eines Einzelpfahles oder einer Pfahlwand

$$\tau_{mf2} = 0.04 + (0.08 - 0.04) \frac{7 - 5}{10 - 5}$$

$$\tau_{mf2} = 0.056 \text{ [MN/m}^2\text{]}$$

damit:

$$Q_{rg2} = \tau_{mf2} \times A_m \times L_2 = 0.056 \times 2.827 \times 2.5 = 0.396 \text{ [MN]}$$

Sandschicht oberhalb der Pfahlsohle: Schichtdicke $L_3 = 2.5$ [m] für $q_{s3} = 11$ [MN/m²] ist nach der Tabelle 4 der Norm DIN 4014:

$$\tau_{mf3} = 0.08 + (0.12 - 0.08) \frac{11 - 10}{15 - 10}$$

$$\tau_{mf3} = 0.088 \text{ [MN/m}^2\text{]}$$

damit:

$$Q_{rg3} = \tau_{mf3} \times A_m \times L_3 = 0.088 \times 2.827 \times 2.5 = 0.622 \text{ [MN]}$$

Summe Reibungskräfte:

$$Q_{rg} = Q_{rg1} + Q_{rg2} + Q_{rg3} = 0.339 + 0.396 + 0.622 = 1.357 \text{ [MN]}$$

Berechnung des charakteristischen Pfahlreibungswiderstandes Q_{rg} ist in der Tabelle 12 aufgelistet.

Tabelle 12 Bruchwert für Pfahlmantelwiderstand

Schichtdicke L_1 [m]	Sondier- Spitzen- widerstand q_s [MN/m ²]	UndrÄnierte KohÄsion des Bodens c_u [MN/m ²]	Mantel- reibung τ_{mf} [MN/m ²]	Reibungsß Kraft Q_{rg} [MN]
3,0	-	0,1	0,040	0,339
2,5	7	-	0,056	0,396
2,5	11	-	0,088	0,622
Summe Reibungskräfte Q_{rg}				1,357

Damit errechnet sich die Pfahlkopfsetzung s_{rg} zu:

$$s_{rg} = 0.5Q_{rg} \text{ (in [MN])} + 0.5 < 3 \text{ [cm]}$$

$$s_{rg} = 0.5 \times 1.357 + 0.5 = 1.2 \text{ [cm]}$$

Der Pfahlfußwiderstand $Q_s(s)$ bei $s_{rg} = 1.2$ [cm] beträgt:

$$Q_s(s) = \frac{s_{rg}}{s_1} \times Q_s(s)_1$$

$$Q_s(s) = \frac{1.2}{1.8} \times 0.779 = 0.519 \text{ [MN]}$$

Pfahlwiderstand $Q(s)$ in Abhängigkeit von der Pfahlsetzung ist in der Tabelle 13 aufgelistet.

Tabelle 13 Pfahlwiderstand $Q(s)$ in Abhängigkeit von der Pfahlsetzung

Bezogene Setzung $\frac{S}{D_f}$ [-]	Pfahl- kopf- Setzung s [cm]	Spitzen- Widerstand $Q_s(s)$ [MN]	Pfahl- reibungs- widerstand $Q_r(s)$ [MN]	Pfahl- Widerstand $Q(s)$ [MN]
0.013	1,20	0,519	1,357	1,876
0.02	1,80	0,779	1,357	2,136
0.03	2,70	1,002	1,357	2,359
0.10 = S_g	9,00	2,067	1,357	3,424 = Q_g

1.7.2.3.3 Zulässige Belastung des Pfahles Q_{zul} :

Aus der Tabelle 13 ist die Max. Pfahlwiderstand $Q_g = 3,424$ [MN]. Zulässige Belastung des Pfahles Q_{zul} für eine Sicherheitsfaktor $\eta = 2.0$ ist:

$$Q_{zul} = \frac{Q_g}{\eta}$$

$$Q_{zul} = \frac{3.424}{2.0} = 1.712 \text{ [MN]}$$

1.7.2.3.4 Zulässige Setzung des Pfahles s_{zul} :

Zulässige Setzung des Pfahles s_{zul} für zulässige Belastung des Pfahles $Q_{zul} = 1,712$ [MN] ist:

$$s_{zul} = s(1) \frac{Q_{zul}}{Q(1)}$$
$$s_{zul} = 1.2 \frac{1.712}{1.876}$$
$$s_{zul} = 1.095 [\text{cm}]$$

Für $Q_v = 1,5$ [MN] ist Sicherheitsfaktor η :

$$\eta = \frac{Q_{zul}}{Q_v} = \frac{1.712}{1.5}$$
$$\eta = 1.14$$

1.7.2.3.5 Computerberechnung

Diese Baugrundwerte werden nun entsprechend den Anweisungen im Abschnitt 1.3 mit dem Programm eingegeben.

Auf den nächsten Seiten sind die Ergebnisse wiedergegeben. Es wurden 2 Seiten Daten, Zwischen- und Endergebnisse sowie eine Seite Farbgraphik ausgedruckt. Durch Vergleich erkennt man die weitgehende Übereinstimmung mit der Norm DIN 4014.

GEO Tools
Version 10

Progr.autoren Prof. M. El Gendy/ Dr. A. El Gendy

Auftrag: Bearing capacity of a single pile

Datum: 27.06.2017

Projekt: Test example from Appendix B of DIN 4014

Datei: DIN 4014

Tragfähigkeit und Setzung eines Einzelpfahles
nach DIN 4014

Daten:

Pfahldurchmesser D [m] = 0.9
Pfahlfussdurchmesser Df [m] = 0.9
Pfahllänge Lg [m] = 10.2

Zusammenfassung der Ergebnisse

Baugrunddaten unter der Pfahlspitze:

Sondier-Spitzendruck unter dem Pfahlfuß qs [MN/m²] = 17.5000

Pfahlspitzendruck (Nach DIN 4014 Tabelle 1)

s/Df = 0.02 Sig [MN/m²] = 1.2250
s/Df = 0.03 Sig1 [MN/m²] = 1.5750
s/Df = 0.10 SigGR [MN/m²] = 3.2500

Zwischenergebnisse

Mantelreibung:

Schicht-Nr.	Schichtdicke L1 [m]	Sondier-Spitzendruck qs [MN/m ²]	UndrÄnierte Kohäsion des Bodens Cu [MN/m ²]	Mantelreibung Tau [MN/m ²]	Reibungskraft Qrg [MN]
1	2.2	0.0500	-----	0.0004	0.0025
2	3.0	-----	0.1000	0.0400	0.3393
3	2.5	7.0000	-----	0.0560	0.3958
4	2.5	11.0000	-----	0.0880	0.6220

Summe Reibungskräfte Qrf [MN] = 1.3597

Pfahlkopflast Qma+Qsp = Qv [MN] = 1.5000
Mantelreibungsanteil aus Qv Qma [MN] = 1.0904
Spitzendruckanteil aus Qv Qsp [MN] = 0.4096
Erwartende Setzung sv [cm] = 0.95

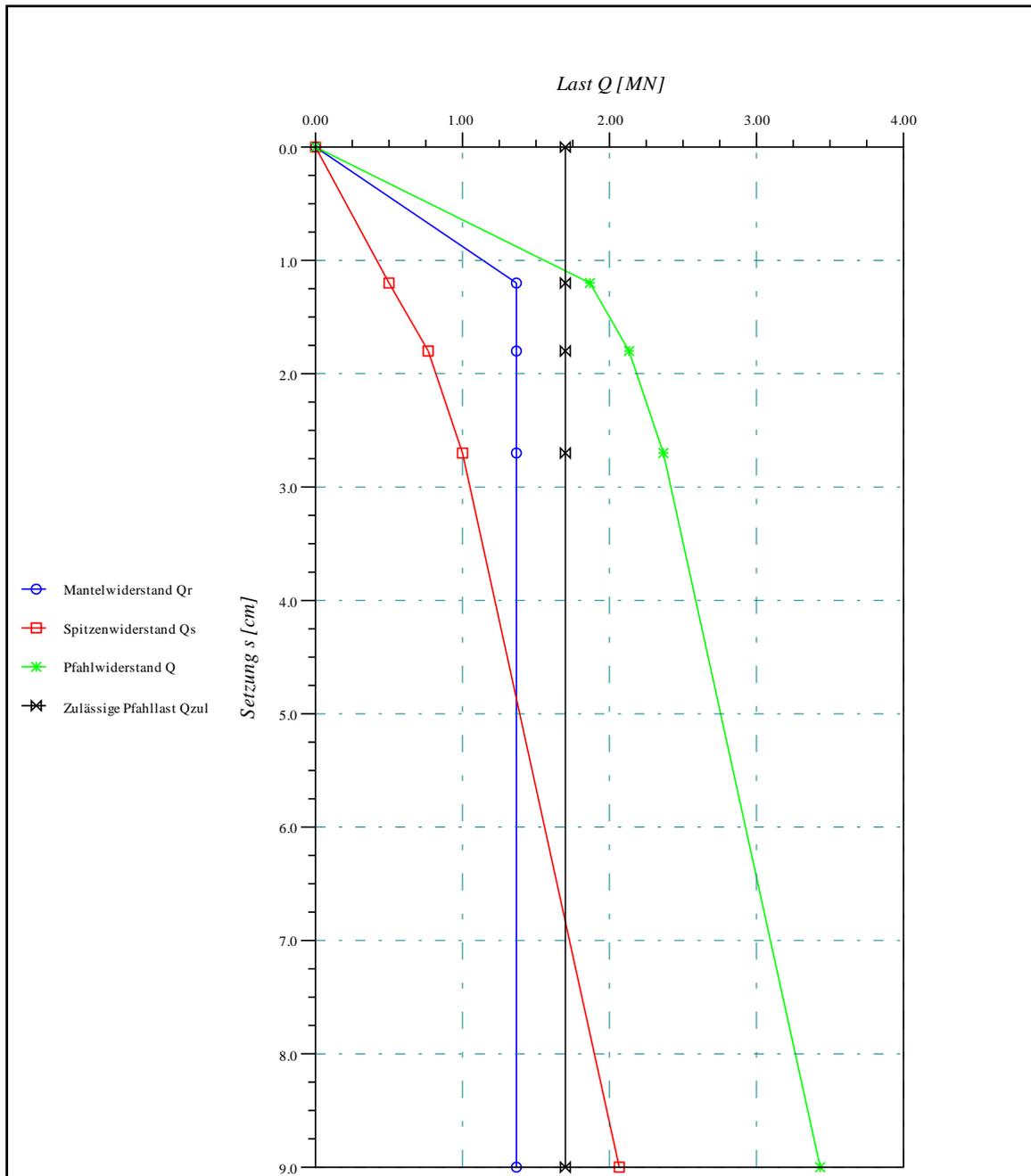
Tragfähigkeit und Setzung eines Einzelpfahles oder einer Pfahlwand

Pfahlwiderstand in Abhängigkeit von der Pfahlsetzung:

Nr.	Bezogene setzung	Pfahl- kopf- setzung	Pfahl- reibungs- widerstand	Spitzen- widerstand	Pfahl- widerstand
I	s/Df	s	Qr	Qs	Q
[-]	[-]	[cm]	[MN]	[MN]	[MN]
1	0.013	1.18	1.3597	0.5108	1.8705
2	0.020	1.80	1.3597	0.7793	2.1390
3	0.030	2.70	1.3597	1.0020	2.3616
4	0.100	9.00	1.3597	2.0676	3.4272 =
Qg=2*Qzul					

Endergebnisse:

Zulässige Setzung	Szul	[cm]	= 1.08
Zulässige Pfahllast	Qr+Qs = Qzul	[MN]	= 1.7136
Mantelreibungsanteil	Qr	[MN]	= 1.2456
Spitzendruckanteil	Qs	[MN]	= 0.4680
Sicherheitsfaktor	Qzul/QV = ETHA	[-]	= 1.142



Lastsetzungslinie der Pfähle nach DIN 4014

Ingenieurgemeinschaft G. Huber/ R. Schulze Bachstrasse 12 in D-899 Neutal * Tel. 09262.9999	
Maßstab: 33 Datei: DIN 4014 Blatt Nr.:	Projekt: Test example from Appendix B of DIN 4014 Datum: 27.06.2017 Auftrag: Bearing capacity of a single pile

1.7.3 Beispiel 2: Berechnung eines Einzelpfahls (Simmer 1999)

1.7.3.1 Aufgabenstellung

Als Beispiel wird der gleiche Pfahl berechnet, der auch in dem Beispiel aus *Simmer 1999*, Beispiel 23, Seite 300 zu finden ist. Danach ist das folgende in Bild 2.11 dargestellte Bodenprofil vorgegeben. Ermittlung der Widerstandssetzungslinie und der zulässigen Belastung Q_v für einen Bohrpfahl mit $z_{ul} = 2$ [cm] und Ermittlung auch des Sicherheitsfaktors für einen Bohrpfahl mit Belastung Q_v .

Unter der $L_I(1) = 2$ [m] dicken Auffüllung befindet sich in der Tiefe von 2 [m] bis 7 [m] eine Tonschicht (Dicke $L_I(2) = 5$ [m]), die mit einer undrained Scherfestigkeit von $c_u(2) = 0.1$ [MN/m²] charakterisiert werden kann. Darunter folgt bis in die erkundete Tiefe von ca 15 [m] Kies. Diese Kiesschicht wird entsprechend dem Diagramm Bild 2.11 der Drucksonde in 2 Tiefenbereiche mit unterschiedlichem Widerstand q_s der Spitzendrucksonde unterteilt.

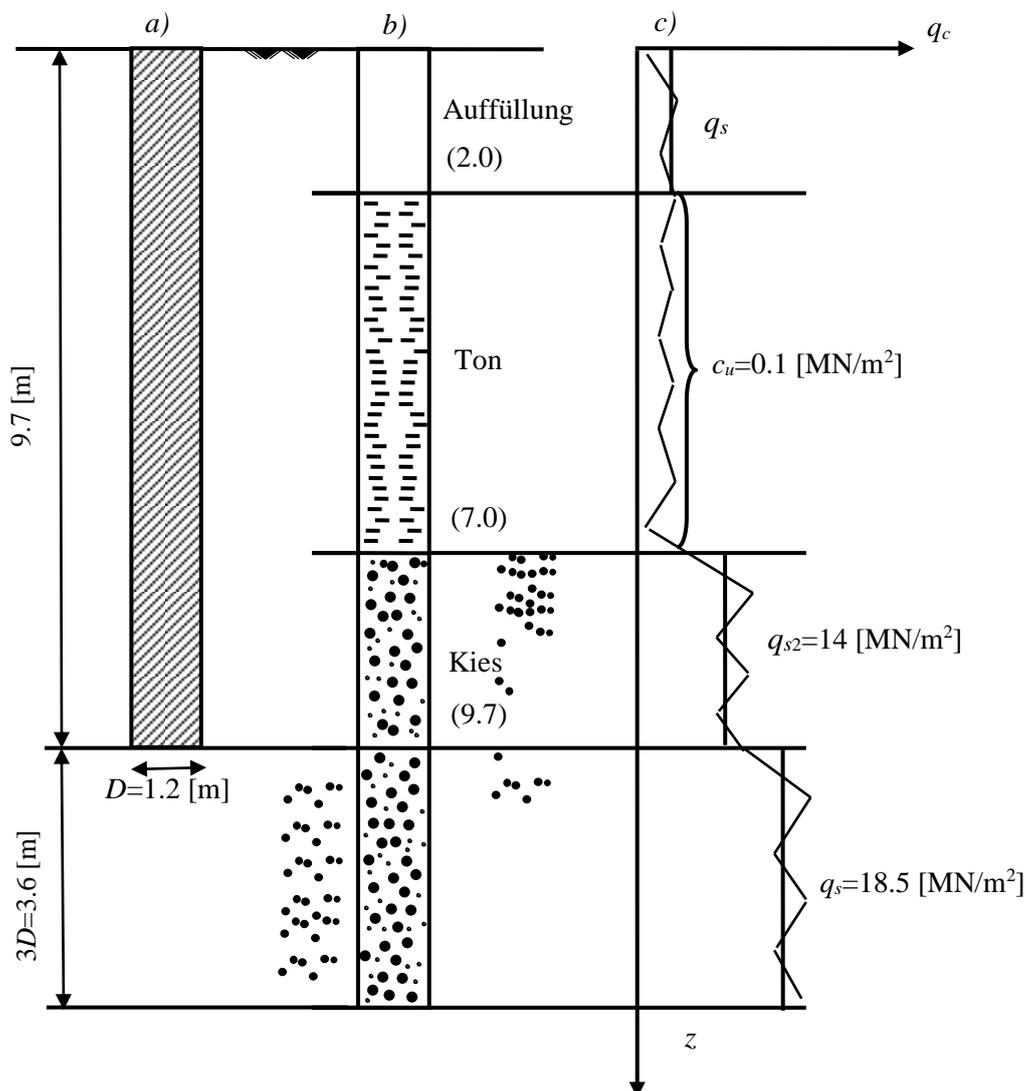


Bild 2.11 a) Pfahlgeometrie, b) Bohrprofil und c) Sondierdiagramm

1.7.3.2 Lösung der Aufgabe

Das in die Berechnung eingehende Bodenprofil besteht gemäß Bild 2.11 aus 4 Schichten. Die Auffüllung hat nur einen geringen Sondier-Spitzenwiderstand von $q_s(1) = 0.05$ [MN/m²]. Bei der 2. Schicht (Ton) wird die Kohäsion im undrännierten Zustand mit $c_u(2) = 0.1$ [MN/m²] angesetzt. Bei den Schichten 3 und 4 wird in der Berechnung der Sondierwiderstand $q_s(i)$ entsprechend der Norm DIN 4014 angesetzt. Damit ergibt sich die folgende Tabelle 14 der Bodenkennwerte:

Tabelle 14 Bodenkennwerte

Schicht Nr.	Baugrund	Schichtdicke $L_I(i)$ [m]	Sondiersp.dru. $q_s(i)$ [MN/m ²]	undrän.Kohä $c_u(i)$ [MN/m ²]
1	Auffüllung	2,0	0.05	- - -
2	Ton	5,0	- - -	0.10
3	Kies	9,7	14,0	- - -
4 (Fußber)	Kies	$3 \times D_f = 3,6$	18.5	- - -

1.7.3.3 Handberechnung

Die Handberechnung wird nach den folgenden Schritten durchgeführt:

1.7.3.3.1 Berechnung der charakteristischen Pfahlfußwiderstände $Q_s(s)$:

Die Pfahlfußfläche beträgt:

$$A_f = \frac{\pi D_f^2}{4} = \frac{\pi (1.2)^2}{4} = 1.13 [\text{m}^2]$$

Zur Ermittlung des Pfahlsitzenwiderstandes $\sigma(s)$ ist die Festigkeit des Baugrundes bis zur Tiefe $\geq 3D$ bzw. 1,5 [m], im Beispiel bis $3 \times 1,2 = 3,6$ [m] unterhalb der Pfahlsohle maßgebend.

Für Sondier-Spitzenwiderstand $q_s = 18,5$ [MN/m²] erhält man nach der Tabelle 1 der Norm DIN 4014 für die bezogene Pfahlkopfsetzung s/D_f Spitzenwiderstand des Pfahles σ [MN/m²]. Wobei q_{s2} ein mittlerer Sondier-Spitzenwiderstand ist, dürfen zwischenwerte linear interpoliert werden.

Spitzenwiderstand des Pfahles σ [MN/m²] für die auf den Pfahldurchmesser bezogene Pfahlkopfsetzung $s/D_f = 0.02$

$$\sigma = 1.05 + (1.4 - 1.05) \frac{20 - 18.5}{20 - 15}$$

$$\sigma = 1.30 [\text{MN/m}^2]$$

Spitzenwiderstand des Pfahles σ_1 [MN/m²] für die auf den Pfahldurchmesser bezogene Pfahlkopfsetzung $s/D_f = 0.03$

$$\sigma_1 = 1.35 + (1.8 - 1.35) \frac{20 - 18.5}{20 - 15}$$
$$\sigma_1 = 1.67 \text{ [MN/m}^2\text{]}$$

Spitzenwiderstand des Pfahles σ_{gr} [MN/m²] für die auf den Pfahldurchmesser bezogene Pfahlkopfsetzung $s/D_f = 0.10$

$$\sigma_{gr} = 3.0 + (3.5 - 3.0) \frac{20 - 18.5}{20 - 15}$$
$$\sigma_{gr} = 3.35 \text{ [MN/m}^2\text{]}$$

Die Pfahlfußwiderstände $Q_s(s)$ sind:

$$Q_s(s)_1 = \sigma \times A_f = 1.30 \times 1.13 = 1.47 \text{ [MN]}$$
$$Q_s(s)_2 = \sigma_1 \times A_f = 1.67 \times 1.13 = 1.89 \text{ [MN]}$$
$$Q_s(s)_3 = \sigma_{gr} \times A_f = 3.35 \times 1.13 = 3.79 \text{ [MN]}$$

Die zugehörigen Pfahlkopfsetzungen s sind:

$$s_1 = 0.02D_f = 0.02 \times 1.2 = 0.0024 \text{ [m]} = 2.4 \text{ [cm]}$$
$$s_2 = 0.03D_f = 0.03 \times 1.2 = 0.0036 \text{ [m]} = 3.6 \text{ [cm]}$$
$$s_3 = 0.10D_f = 0.10 \times 1.2 = 0.1200 \text{ [m]} = 12.0 \text{ [cm]}$$

1.7.3.3.2 Berechnung des charakteristischen Pfahlreibungswiderstandes Q_{rg} :

Die Pfahlmantelfläche beträgt:

$$A_m = \pi D_f \times 1.0 = 1.2\pi \times 1.0 = 3.77 \text{ [m}^2\text{/m]}$$

Auffüllung: Sie liefert keinen nennenswerten Anteil und wird vernachlässigt.

Tonschicht: Schichtdicke $L_1 = 5.0$ [m] für $c_{u1} = 0.1$ [MN/m²] ist nach der Tabelle 5 der Norm DIN 4014:

$$\tau_{mf1} = 0.04 \text{ [MN/m}^2\text{]}$$

damit:

$$Q_{rg1} = \tau_{mf1} \times A_m \times L_1 = 0.04 \times 3.77 \times 5.0 = 0.75 \text{ [MN]}$$

Kiesschicht oberhalb der Pfahlsohle: Schichtdicke $L_2 = 9.70$ [m] für $q_{s2} = 14$ [MN/m²] ist nach der Tabelle 4 der Norm DIN 4014:

$$\tau_{mf2} = 0.08 + (0.12 - 0.08) \frac{15 - 14}{15 - 10}$$

$$\tau_{mf2} = 0.112 \text{ [MN/m}^2\text{]}$$

damit:

$$Q_{rg2} = \tau_{mf2} \times A_m \times L_2 = 0.112 \times 3.77 \times 2.7 = 1.12 \text{ [MN]}$$

Summe Reibungskräfte:

$$Q_{rg} = Q_{rg1} + Q_{rg2} = 0.75 + 1.12 = 1.87 \text{ [MN]}$$

Berechnung des charakteristischen Pfahlreibungswiderstandes Q_{rg} ist in der Tabelle 15 aufgelistet.

Tabelle 15 Bruchwert für Pfahlmantelwiderstand

Schichtdicke L_1 [m]	Sondier- Spitzen- widerstand q_s [MN/m ²]	UndrÄnierte KohÄsion des Bodens c_u [MN/m ²]	Mantel- reibung τ_{mf} [MN/m ²]	Reibungsß Kraft Q_{rg} [MN]
5	-	0,1	0,040	0,75
7	14	-	0,112	1,12
Summe Reibungskräfte Q_{rg}				1,87

Damit errechnet sich die Pfahlkopfsetzung s_{rg} zu:

$$s_{rg} = 0.5Q_{rg} \text{ (in [MN])} + 0.5 < 3 \text{ [cm]}$$

$$s_{rg} = 0.5 \times 1.87 + 0.5 = 1.4 \text{ [cm]}$$

Der Pfahlfußwiderstand $Q_s(s)$ bei $s_{rg} = 1.4$ [cm] beträgt:

$$Q_s(s) = \frac{s_{rg}}{s_1} \times Q_s(s)_1$$

$$Q_s(s) = \frac{1.4}{2.4} \times 1.47 = 0.86 \text{ [MN]}$$

Pfahlwiderstand $Q(s)$ in Abhängigkeit von der Pfahlsetzung ist in der Tabelle 16 aufgelistet.

Tabelle 16 Pfahlwiderstand $Q(s)$ in Abhängigkeit von der Pfahlsetzung

Bezogene Setzung $\frac{S}{D_f}$ [-]	Pfahl- kopf- Setzung s [cm]	Spitzen- Widerstand $Q_s(s)$ [MN]	Pfahl- reibungs- widerstand $Q_r(s)$ [MN]	Pfahl- Widerstand $Q(s)$ [MN]
0.012	1.40	0.86	1.87	2.73
0.02	2.40	1.47	1.87	3.34
0.03	3.60	1.89	1.87	3.76
0.10 = S_g	12.00	3.79	1.87	5.66 = Q_g

1.7.3.3 Zulässige Belastung des Pfahles Q_{zul} :

Aus der Tabelle 16 ist die Max. Pfahlwiderstand $Q_g = 5.66$ [MN]. Zulässige Belastung des Pfahles Q_{zul} für eine Sicherheitsfaktor $\eta = 2.0$ ist:

$$Q_{zul} = \frac{Q_g}{\eta}$$

$$Q_{zul} = \frac{5.66}{2.0} = 2.83 \text{ [MN]}$$

1.7.3.3.4 Zulässige Setzung des Pfahles s_{zul} :

Zulässige Setzung des Pfahles s_{zul} für zulässige Belastung des Pfahles $Q_{zul} = 2.83$ [MN] ist:

$$s_{zul} = s(1) + (Q_{zul} - Q(1)) \frac{s(2) - s(1)}{Q(2) - Q(1)}$$

$$s_{zul} = 1.4 + (2.83 - 2.73) \frac{2.4 - 1.4}{3.34 - 2.73}$$

$$s_{zul} = 1.56 \text{ [cm]}$$

Für $s = 2.0$ [cm] ist Pfahlkopflast Q_v

$$Q_v = Q(1) + (Q(2) - Q(1)) \frac{s - s(1)}{Q(2) - Q(1)}$$

$$Q_v = 2.73 + (3.34 - 2.73) \frac{2.0 - 1.4}{2.4 - 1.4}$$

$$Q_v = 3.10 \text{ [MN]} > Q_{zul}$$

Für $Q_v = 3,1$ [MN] ist Sicherheitsfaktor η :

$$\eta = \frac{Q_{zul}}{Q_v} = \frac{2.83}{3.1}$$

$$\eta = 0.9$$

1.7.3.3.5 Computerberechnung

Diese Baugrundwerte werden nun entsprechend den Anweisungen im Abschnitt 1.3 mit dem Programm eingegeben. Auf den nächsten Seiten sind die Ergebnisse wiedergegeben. Es wurden 2 Seiten Daten, Zwischen- und Endergebnisse sowie eine Seite Farbgraphik ausgedruckt. Durch Vergleich erkennt man die weitgehende Übereinstimmung mit der *Simmer* 1999.

Tragfähigkeit und Setzung eines Einzelpfahles oder einer Pfahlwand

GEO Tools
Version 10

Progr.autoren Prof. M. El Gendy/ Dr. A. El Gendy

Auftrag: Bearing capacity of a single pile

Datum: 27/06/2017

Projekt: Simmer (1999), Example 23, Page 300

Datei: Simmer -1999

Tragfähigkeit und Setzung eines Einzelpfahles
nach DIN 4014

Daten:

Pfahldurchmesser	D	[m]	= 1.2
Pfahlfussdurchmesser	Df	[m]	= 1.2
Pfahllänge	Lg	[m]	= 7.7

Zusammenfassung der Ergebnisse

Baugrunddaten unter der Pfahlspitze:

Sondier-Spitzendruck unter dem Pfahlfuß q_s [MN/m²] = 18.5000

Pfahlspitzendruck (Nach DIN 4014 Tabelle 1)

s/Df = 0.02	Sig	[MN/m ²]	= 1.2950
s/Df = 0.03	Sig1	[MN/m ²]	= 1.6650
s/Df = 0.10	SigGR	[MN/m ²]	= 3.3500

Zwischenergebnisse

Mantelreibung:

Schicht-Nr.	Schichtdicke	Sondier-Spitzendruck	Undrännierte Kohäsion des Bodens	Mantelreibung	Reibungskraft
I	L1	q_s	Cu	Tau	Qrg
[-]	[m]	[MN/m ²]	[MN/m ²]	[MN/m ²]	[MN]
1	5.0	-----	0.1000	0.0400	0.7540
2	2.7	14.0000	-----	0.1120	1.1400

Summe Reibungskräfte Q_{rf} [MN] = 1.8940

Pfahlkopflast $Q_{ma}+Q_{sp} = Q_v$ [MN] = 3.1000

Mantelreibungsanteil aus Q_v Q_{ma} [MN] = 1.8940

Spitzendruckanteil aus Q_v Q_{sp} [MN] = 1.2060

Erwartende Setzung sv [cm] = 1.98

Pfahlwiderstand in Abhängigkeit von der Pfahlsetzung:

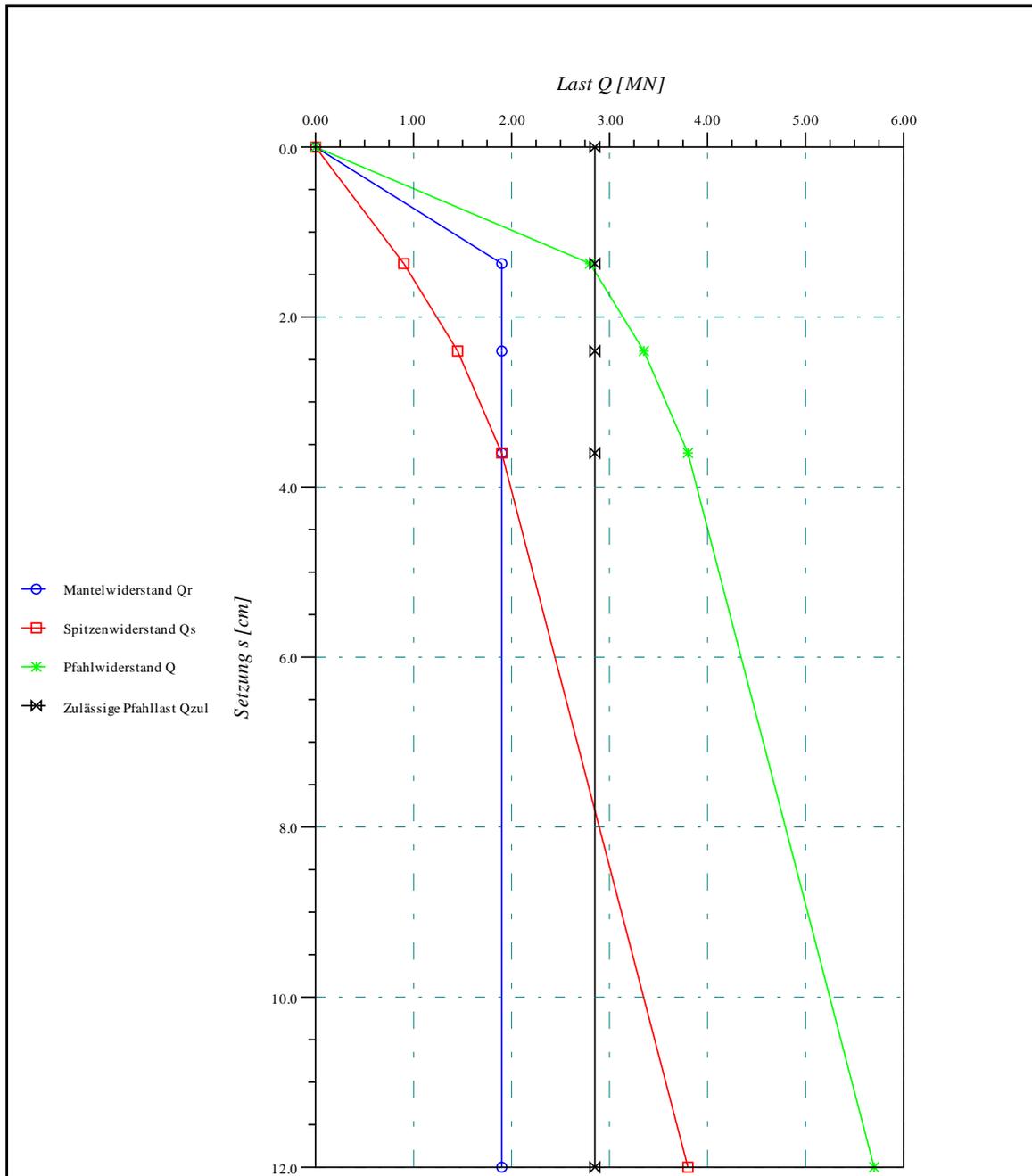
Nr.	Bezogene setzung	Pfahl- kopf- setzung	Pfahl- reibungs- widerstand	Spitzen- widerstand	Pfahl- widerstand
I	s/Df	s	Qr	Qs	Q
[-]	[-]	[cm]	[MN]	[MN]	[MN]
1	0.012	1.45	1.8940	0.8830	2.7770
2	0.020	2.40	1.8940	1.4646	3.3586
3	0.030	3.60	1.8940	1.8831	3.7771
4	0.100	12.00	1.8940	3.7888	5.6828 =

Qg=2*Qzul

Endergebnisse:

Zulässige Setzung	Szul	[cm]	= 1.55
Zulässige Pfahllast	Qr+Qs = Qzul	[MN]	= 2.8414
Mantelreibungsanteil	Qr	[MN]	= 1.8940
Spitzendruckanteil	Qs	[MN]	= 0.9474
Sicherheitsfaktor	Qzul/QV = ETHA	[-]	= 0.917

Tragfähigkeit und Setzung eines Einzelpfahles oder einer Pfahlwand



Lastsetzungslinie der Pfähle nach DIN 4014

Ingenieurgemeinschaft G. Huber / R. Schulze Bachstrasse 12 in D-899 Neutal * Tel. 09262.9999	
Maßstab: 50	Projekt: Simmer (1999), Example 23, Page 300
Datei: Simmer -1999	Datum: 27/06/2017
Blatt Nr.:	Auftrag: Bearing capacity of a single pile

1.7.4 Beispiel 3: Berechnung einer Pfahlwand

1.7.4.1 Aufgabenstellung

Zu der in Bild 2.12 dargestellten Pfahlwand soll die Last-Setzungslinie berechnet und gezeichnet werden. Die Pfahlwand besteht aus 9 Pfählen mit $D = 0.9$ [m] und geht bis in eine Tiefe von $L_1(1) = L_g = 15$ [m]. Die Pfahlwand ist $W_l = 21$ [m] in horizontaler Richtung breit. Die Pfahllast je Pfahl beträgt $Q_v = 0.5$ [MN].

Der Baugrund besteht bis in die Tiefe 18 [m] einheitlich aus Sand. Durch Drucksondierungen wurde im Bereich unter dem Pfahlfuß ein Sondier-Spitzenwiderstand $q_s = 8$ [MN/m²] festgestellt. Die Pfahlmantelreibung wird einheitlich mit $Tau(1) = 0.02$ [MN/m²] angesetzt.

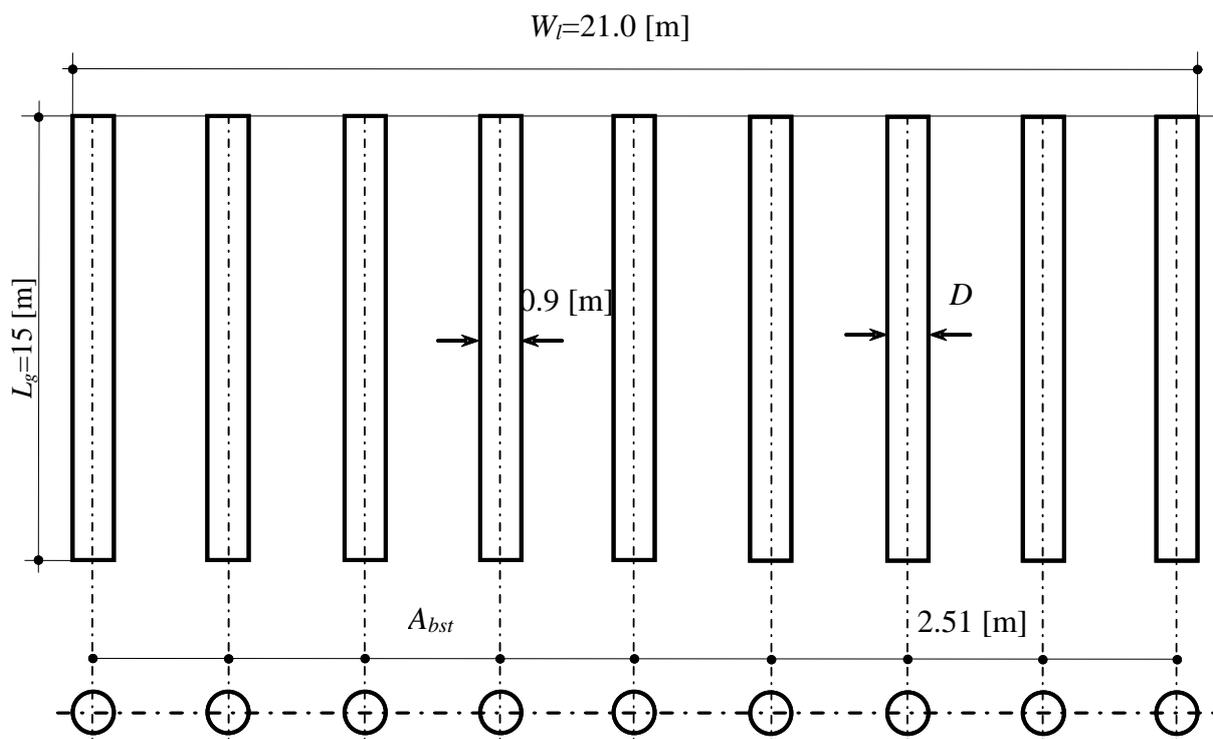


Bild 2.12 Abmessungen und Daten der Pfahlwand

1.7.4.2 Handberechnung

Die Handberechnung wird nach den folgenden Schritten durchgeführt:

1.7.4.2.1 Berechnung der charakteristischen Pfahlfußwiderstände $Q_s(s)$:

Die Pfahlfußfläche beträgt:

$$A_f = \frac{\pi D_f^2}{4} = \frac{\pi (0.9)^2}{4} = 0.636 \text{ [m}^2\text{]}$$

Zur Ermittlung des Pfahlspitzenwiderstandes $\sigma(s)$ ist die Festigkeit des Baugrundes bis zur

Tiefe $\geq 3D$ bzw. 1,5 [m], im Beispiel bis $3 \times 0,9 = 2,7$ [m] unterhalb der Pfahlsohle maßgebend.

Für Sondier-Spitzenwiderstand $q_s = 8$ [MN/m²] erhält man nach der Tabelle 1 der Norm DIN 4014 für die bezogene Pfahlkopfsetzung s/D_f Spitzenwiderstand des Pfahles σ [MN/m²]. Wobei q_s ein mittlerer Sondier-Spitzenwiderstand ist, dürfen zwischenwerte linear interpoliert werden.

Spitzenwiderstand des Pfahles σ [MN/m²] für die auf den Pfahldurchmesser bezogene Pfahlkopfsetzung $s/D_f = 0.02$

$$\begin{aligned}\sigma &= 0.7 \times \frac{8}{10} \\ \sigma &= 0.56 \text{ [MN/m}^2\text{]}\end{aligned}$$

Spitzenwiderstand des Pfahles σ_1 [MN/m²] für die auf den Pfahldurchmesser bezogene Pfahlkopfsetzung $s/D_f = 0.03$

$$\begin{aligned}\sigma_1 &= 0.9 \times \frac{8}{10} \\ \sigma_1 &= 0.72 \text{ [MN/m}^2\text{]}\end{aligned}$$

Spitzenwiderstand des Pfahles σ_{gr} [MN/m²] für die auf den Pfahldurchmesser bezogene Pfahlkopfsetzung $s/D_f = 0.10$

$$\begin{aligned}\sigma_{gr} &= 2.0 \times \frac{8}{10} \\ \sigma_{gr} &= 1.6 \text{ [MN/m}^2\text{]}\end{aligned}$$

1.7.4.2.2 Abminderungsfaktor v

Beim Pfahlspitzenwiderstand für eine Pfahlwand sind die Werte der Tabelle 4 und Tabelle 5 mit den vom Seitenverhältnis abhängigen Abminderungsfaktoren v nach Tabelle 6 abzumindern.

Seitenverhältnis:

$$\frac{W_l}{D_f} = \frac{21}{0.9} = 23.33 [-] > 5$$

Abminderungsfaktor v nach der Tabelle 6 der Norm DIN 4014 ist :

$$v = 0.6 [-]$$

Dann sind die Spitzenwiderstände nach der Abminderung:

$$\sigma = 0.6 \times 0.56 = 0.336 [\text{MN/m}^2]$$

$$\sigma_1 = 0.6 \times 0.72 = 0.432 [\text{MN/m}^2]$$

$$\sigma_{gr} = 0.6 \times 1.6 = 0.96 [\text{MN/m}^2]$$

Die Pfahlfußwiderstände $Q_s(s)$ sind:

$$Q_s(s)_1 = \sigma \times A_f = 0.336 \times 0.636 = 0.214 [\text{MN}]$$

$$Q_s(s)_2 = \sigma_1 \times A_f = 0.432 \times 0.636 = 0.275 [\text{MN}]$$

$$Q_s(s)_3 = \sigma_{gr} \times A_f = 0.96 \times 0.636 = 0.611 [\text{MN}]$$

Die zugehörigen Pfahlkopfsetzungen s sind:

$$s_1 = 0.02D_f = 0.02 \times 0.9 = 0.018 [\text{m}] = 1.80 [\text{cm}]$$

$$s_2 = 0.03D_f = 0.03 \times 0.9 = 0.027 [\text{m}] = 2.70 [\text{cm}]$$

$$s_3 = 0.10D_f = 0.10 \times 0.9 = 0.090 [\text{m}] = 9.00 [\text{cm}]$$

1.7.4.2.3 Berechnung des charakteristischen Pfahlreibungswiderstandes Q_{rg} :

Die Pfahlwandmantelfläche beträgt:

$$u_w = (\pi D_f + (W_l - D_f) \times 2,0) \times 1,0$$

$$u_w = (0,9 \times \pi + (21 - 0,9) \times 2,0) \times 1,0 = 43.027 [\text{m}^2/\text{m}]$$

Die Mantelfläche für einen Pfahl beträgt:

$$A_m = \frac{u_w}{N_{pf}} = \frac{43.027}{9} = 4.781 [\text{m}^2/\text{m}]$$

Pfahlreibungswiderstand Q_{rg} :

$$Q_{rg} = \tau_{mf} \times A_m \times L = 0.02 \times 4.781 \times 15 = 1.4343 [\text{MN}]$$

Berechnung des charakteristischen Pfahlreibungswiderstandes Q_{rg} ist in der Tabelle 17 aufgelistet.

Tabelle 17 Bruchwert für Pfahlmantelwiderstand

Schichtdicke L_1 [m]	Sondier- Spitzen- widerstand q_s [MN/m ²]	UndrÄnierte Kohäsion des Bodens c_u [MN/m ²]	Mantel- reibung τ_{mf} [MN/m ²]	Reibungsß Kraft Q_{rg} [MN]
15	-	-	0,02	1,4343

Damit errechnet sich die Pfahlkopfsetzung s_{rg} zu:

$$s_{rg} = 0.5Q_{rg} \text{ (in [MN])} + 0.5 < 3 \text{ [cm]}$$

$$s_{rg} = 0.5 \times 1.4343 + 0.5 = 1.217 \text{ [cm]}$$

Der Pfahlfußwiderstand $Q_s(s)$ bei $s_{rg} = 1.217 \text{ [cm]}$ beträgt:

$$Q_s(s) = \frac{s_{rg}}{s_1} \times Q_s(s)_1$$

$$Q_s(s) = \frac{1.217}{1.8} \times 0.214 = 0.145 \text{ [MN]}$$

Pfahlwiderstand $Q(s)$ in Abhängigkeit von der Pfahlsetzung ist in der Tabelle 18 aufgelistet.

Tabelle 18 Pfahlwiderstand $Q(s)$ in Abhängigkeit von der Pfahlsetzung

Bezogene Setzung $\frac{S}{D_f}$ [-]	Pfahl- kopf- Setzung s [cm]	Spitzen- Widerstand $Q_s(s)$ [MN]	Pfahl- reibungs- widerstand $Q_r(s)$ [MN]	Pfahl- Widerstand $Q(s)$ [MN]
0.012	1.217	0.145	1.4343	1.5793
0.02	1.80	0.214	1.4343	1.6483
0.03	2.70	0.275	1.4343	1.7093
0.10 = S_g	9.0	0.611	1.4343	2.0453 = Q_g

1.7.4.2.4 Zulässige Belastung des Pfahles Q_{zul} :

Aus der Tabelle 18 ist die Max. Pfahlwiderstand $Q_g = 2.0453$ [MN]. Zulässige Belastung des Pfahles Q_{zul} für eine Sicherheitsfaktor $\eta = 2.0$ ist:

$$Q_{zul} = \frac{Q_g}{\eta}$$

$$Q_{zul} = \frac{2.0453}{2.0} = 1.023 \text{ [MN]}$$

1.7.4.2.5 Zulässige Setzung des Pfahles s_{zul} :

Zulässige Setzung des Pfahles s_{zul} für zulässige Belastung des Pfahles $Q_{zul} = 1.023$ [MN]. ist:

$$s_{zul} = s(1) - \frac{Q(1) - Q_{zul}}{Q(1)} s(1)$$

$$s_{zul} = 1.217 - \frac{1.579 - 1.023}{1.579} \times 1.217$$

$$s_{zul} = 0.788 \text{ [cm]}$$

Für $Q_v = 0,5$ [MN] ist Sicherheitsfaktor η :

$$\eta = \frac{Q_{zul}}{Q_v} = \frac{1.023}{0.5}$$

$$\eta = 2.046$$

1.7.4.2.6 Computerberechnung

Mit den im Abschnitt 1.3 genannten Daten wurde mit dem Programm die Pfahlwand berechnet. Auf den nächsten 2 Seiten sind die Ergebnisse wiedergegeben. Die mit dem Farbdrucker hergestellte Graphik ist auf der dritten Seite wiedergegeben.

Tragfähigkeit und Setzung eines Einzelpfahles oder einer Pfahlwand

GEO Tools
Version 10

Progr.autoren Prof. M. El Gendy/ Dr. A. El Gendy

Auftrag: Bearing capacity of pile wall

Datum: 27/06/2017

Projekt: User's Manual

Datei: PileWall

Tragfähigkeit und Setzung einer Pfahlwand
nach DIN 4014

Daten:

Pfahldurchmesser	D	[m]	= 0.9
Pfahlfussdurchmesser	Df	[m]	= 0.9
Pfahllänge	Lg	[m]	= 15.0
Anzahl der Pfähle	Npf	[-]	= 9
Breite der Wand	Wl	[m]	= 21.0
Pfahlabstand	Abst	[m]	= 2.5

Zusammenfassung der Ergebnisse

Baugrunddaten unter der Pfahlspitze:

Sondier-Spitzendruck unter dem Pfahlfuß q_s [MN/m²] = 8.0000

Pfahlspitzendruck (Nach DIN 4014 Tabelle 1)

Abminderung des Pfahlspitzendrucks auf	SPabmin	[-]	= 0.600
$s/D_f = 0.02$	Sig	[MN/m ²]	= 0.3360
$s/D_f = 0.03$	Sig1	[MN/m ²]	= 0.4320
$s/D_f = 0.10$	SigGR	[MN/m ²]	= 0.9600

Zwischenergebnisse

Mantelreibung:

Schicht-Nr.	Schichtdicke	Sondier-Spitzenwiderstand	UndrÄnierte Kohäsion des Bodens	Mantelreibung	Reibungskraft
I	L1	qs	Cu	Tau	Qrg
[-]	[m]	[MN/m ²]	[MN/m ²]	[MN/m ²]	[MN]
1	15.0	2.50	-----	0.02	1.43
Summe Reibungskräfte			Qrf	[MN] = 1.43	
Pfahlkopflast			Qma+Qsp = Qv	[MN] = 0.50	
Mantelreibungsanteil aus Qv			Qma	[MN] = 0.45	
Spitzendruckanteil aus Qv			Qsp	[MN] = 0.05	
Erwartende Setzung			sv	[cm] = 0.4	

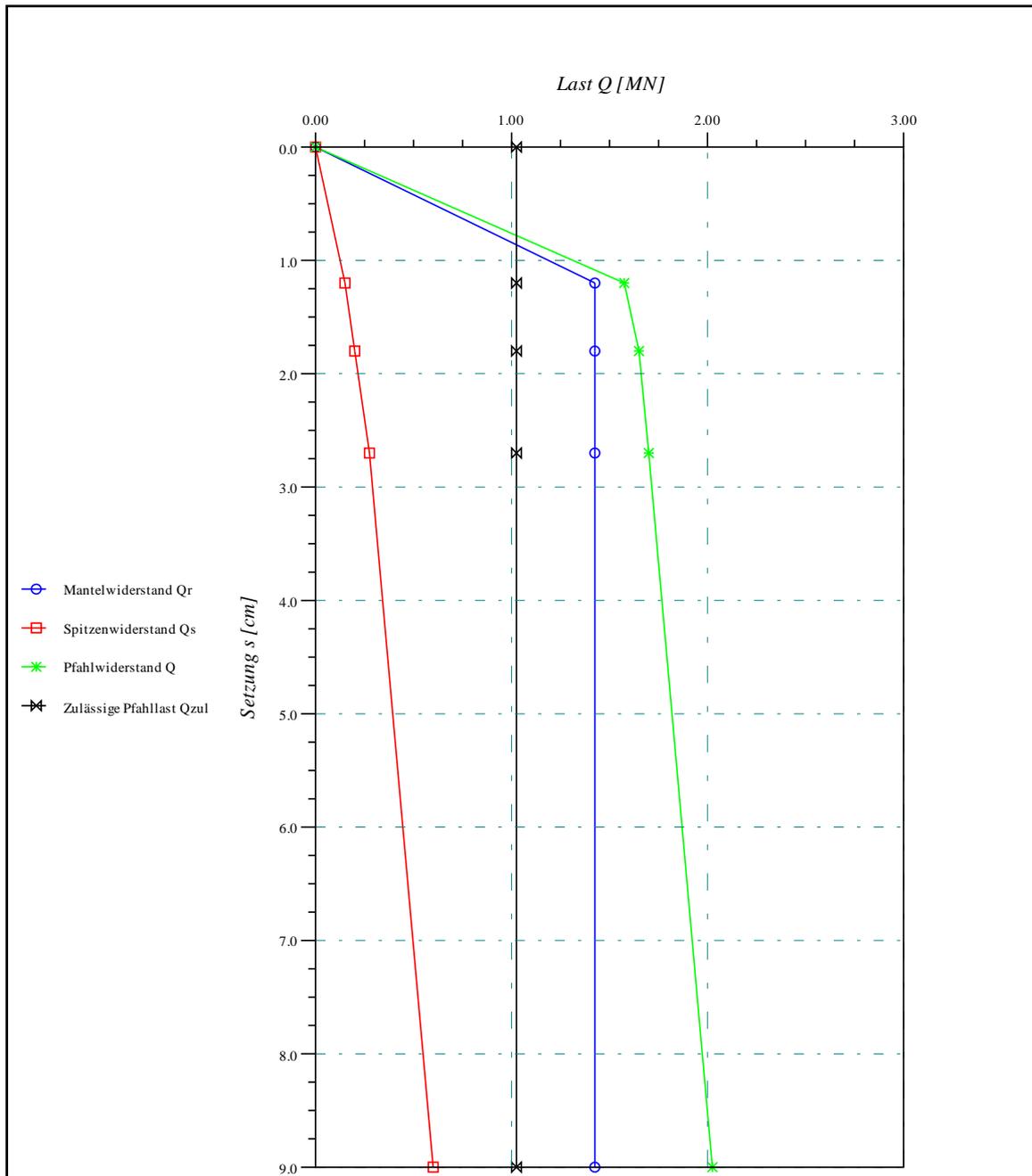
Pfahlwiderstand in Abhängigkeit von der Pfahlsetzung:

Nr.	Bezogene Setzung	Pfahlkopfsatzung	Pfahlreibungs-widerstand	Spitzen-widerstand	Pfahl-widerstand
I	s/Df	s	Qr	Qs	Q
[-]	[-]	[cm]	[MN]	[MN]	[MN]
1	0.014	1.2	1.43	0.14	1.58
2	0.020	1.8	1.43	0.21	1.65
3	0.030	2.7	1.43	0.27	1.71
4	0.100	9.0	1.43	0.61	2.04 =
Qg=2*Qzul					

Endergebnisse:

Zulässige Setzung	Szul	[cm] = 0.8
Zulässige Pfahllast	Qr+Qs = Qzul	[MN] = 1.02
Mantelreibungsanteil	Qr	[MN] = 0.93
Spitzendruckanteil	Qs	[MN] = 0.09
Sicherheitsfaktor	Qzul/QV = ETHA	[-] = 2.045

Tragfähigkeit und Setzung eines Einzelpfahles oder einer Pfahlwand



Lastsetzungslinie der Pfähle nach DIN 4014

Ingenieurgemeinschaft G. Huber / R. Schulze Bachstrasse 12 in D-899 Neutal * Tel. 09262.9999	
Maßstab: 25 Datei: PileWall Blatt Nr.:	Projekt: User's Manual Datum: 27/06/2017 Auftrag: Bearing capacity of pile wall

1.7.5 Beispiel 4: Berechnung eines Einzelfahls (EA-Pfähle)

1.7.5.1 Aufgabenstellung

Mit dem Programm *GEO Tools* soll ein Einzelfahl nach "EA-Pfähle" berechnet werden. Als Beispiel wird der gleiche Pfahl berechnet, der auch in dem Beispiel im Anhang B der Norm DIN 4014 und auch im Anhang B der "EA-Pfähle" zu finden ist. Danach ist das folgende in Bild 2.13 dargestellte Bodenprofil vorgegeben.

In Bild 2.13 (Beispiel aus DIN 4014:1990-03) sind die erforderlichen Informationen über Bodenart, Baugrundfestigkeit und Pfahlgeometrie zur Bestimmung des axialen Pfahlwiderstandes $R_{c,k}(s)$ anhand von Erfahrungswerten zusammengestellt.

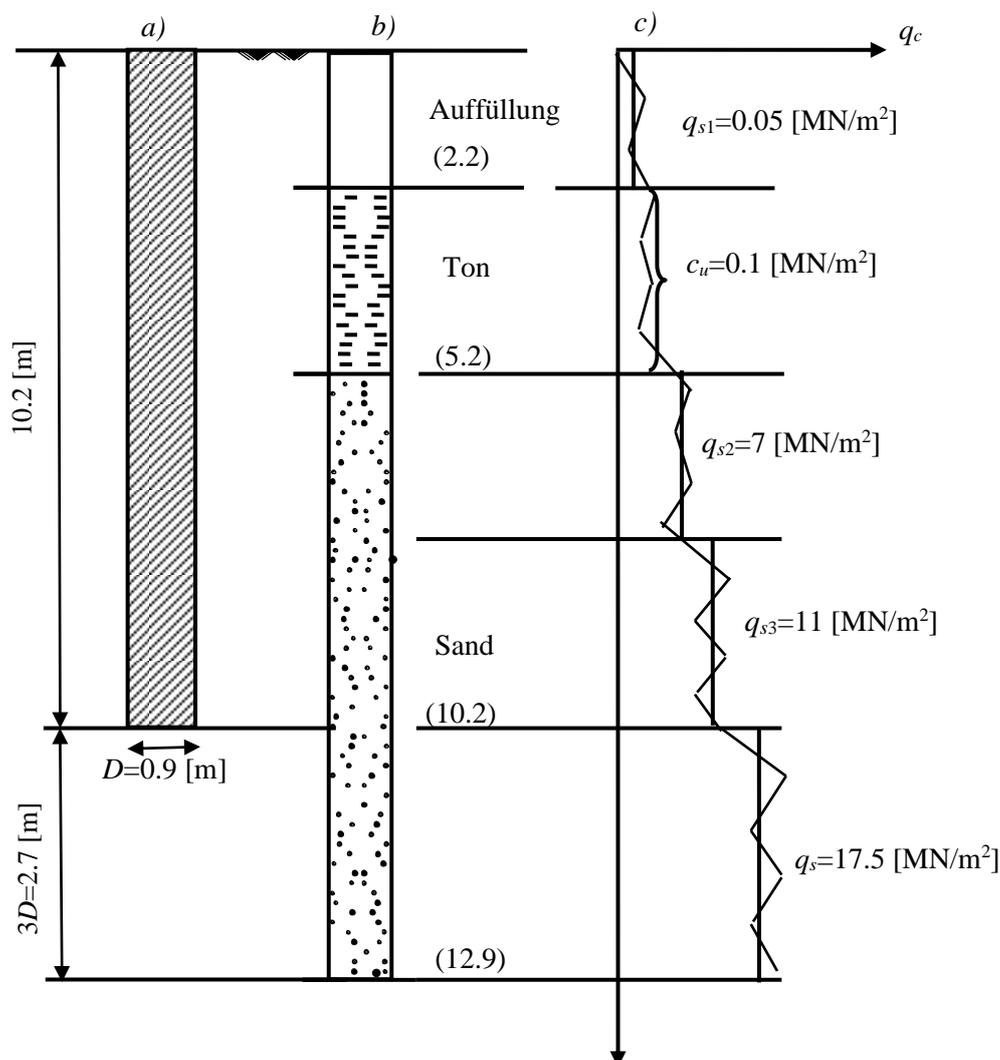


Bild 2.13 Bodenprofil, Sondierdiagramm und Maße für ein Anwendungsbeispiel zur Ermittlung der Widerstands-Setzungs-Linie; $D = 0,9 \text{ [m]}$, $U = 2,83 \text{ [m]}$, $A = 0,64 \text{ [m}^2\text{]}$

Gesucht ist die charakteristische Widerstands-Setzungs-Linie mit den Tabellenwerten nach 5.4.6 der "EA-Pfähle" (Tabellen 5.12 bis 5.15).

1.7.5.2 Berechnung für untere und obere Tabellenwerte

Anmerkung: Auf die Anwendungsgrundlagen und Einschränkungen nach 5.4.3 aus der "EA-Pfähle", insbesondere der oberen Tabellenwerte, wird hingewiesen. Im vorliegenden Beispiel werden vergleichend sowohl die unteren Tabellenwerte als auch die oberen Tabellenwerte beispielhaft (nicht als Regelfall) verwendet.

1.7.5.3 Bestimmung des Pfahlmantelwiderstandes $R_{s,k}$

Aus den Tabellen 5.13 bzw. 5.15 nach 5.4.6.2 der "EA-Pfähle" ergeben sich die Bruchwerte der Mantelreibung im Bereich des Sandes bzw. des Tones und mit den zugehörigen Pfahlumfangsflächen die Bruchwerte für die Pfahlmantelwiderstände $R_{s,k,i}$ nach Tabelle 19.

Aus dem Bruchwert für den Pfahlmantelwiderstand $R_{s,k}$ wird die Setzung für die Mantelreibung s_{sg} in [cm] mit $R_{s,k}$ in [MN] nach folgender Gleichung:

$$s_{sg} = 0,50 \times R_{s,k} + 0,50$$

ermittelt. Mit den Zahlenwerten des Berechnungsbeispiels ergibt sich dann für die Pfahlkopfsetzung

$$s_{sg} = 0,50 \times 1,243 + 0,50 = 1,1 \text{ [cm]} \quad \text{für die unteren Tabellenwerte und}$$

$$s_{sg} = 0,50 \times 1,726 + 0,50 = 1,4 \text{ [cm]} \quad \text{für die oberen Tabellenwerte.}$$

Tabelle 19 Bruchwert für den Pfahlmantelwiderstand für die unteren und oberen Tabellenwerte

Schicht i [m]	$A_{s,i}$ [m ²]	$c_{u,k,i}$ bzw. $q_{c,i}$ [MN/m ²]	$q_{s,k,i}$ [MN/m ²]	$R_{s,k,i}$ [MN]
2,20 bis 5,20	8,48	0,10	0,039–0,051	0,331–0,432
5,20 bis 7,70	7,07	7,00	0,051–0,075 ^{a)}	0,361–0,530
7,70 bis 10,20	7,07	11,00	0,078–0,108	0,551–0,764
^{a)} Werte extrapoliert				$R_{s,k} = 1,243–1,726$ [MN]

1.7.5.4 Bestimmung des Pfahlfußwiderstandes $R_{b,k}$

Zur Ermittlung von $R_{b,k}$ wird in einem Bereich von $1 \times D$ (0,9 m) über und $3 \times D$ ($3 \times D = 2,70$ m) unter dem Pfahlfuß eine mittlere Bodenfestigkeit angesetzt. Aus dem Sondierdiagramm im Bild 2.13 erhält man für diesen Bereich einen mittleren Sondierspitzenwiderstand von $q_{c,m} = 17,5$ [MN/m²].

Unter Verwendung der in Tabelle 5.12 nach 5.4.6.2 der "EA-Pfähle" angegebenen Zahlenwerte und unter Berücksichtigung des zuvor ermittelten Wertes von $q_{c,m}$ kann der Pfahlspitzendruck errechnet werden. Die Tabelle 20 enthält die so errechneten Zahlenwerte.

Tabelle 20 Pfahlfußwiderstand für die unteren und oberen Tabellenwerte

Bezogene Setzung s/D	$q_{b,k}$ [MN/m ²]	$R_{b,k(s)}$ [MN]
0,02	1,225–1,625	0,784–1,040
0,03	1,575–2,088	1,008–1,336
0,10	3,250–4,325	2,080–2,768

1.7.5.5 Charakteristische Widerstands-Setzungs-Linie

In Tabelle 21 und Tabelle 22 ist der aus Pfahlfuß- und Pfahlmantelwiderstand errechnete Pfahlwiderstand in Abhängigkeit von der Pfahlkopfsetzung für die unteren und oberen Werte angegeben. Aus der charakteristischen Widerstands-Setzungs-Linie nach Bild 2.14 und Bild 2.15 ergibt sich zu jedem Pfahlwiderstand $R_{c,k}$ die zugehörige Setzung des Pfahlkopfs.

Tabelle 21 Pfahlwiderstand in Abhängigkeit von der Pfahlkopfsetzung (untere Werte)

Bezogene Setzung s/D	Pfahlkopfsetzung [cm]	$R_{s,k(s)}$ [MN]	$R_{b,k(s)}$ [MN]	$R_{c,k(s)}$ [MN]
s_{sg}	1,1	1,243	0,479	1,722
0,02	1,8	1,243	0,784	2,027
0,03	2,7	1,243	1,008	2,251
0,10	9,0	1,243	2,080	3,323

Tabelle 22 Pfahlwiderstand in Abhängigkeit von der Pfahlkopfsetzung (obere Werte)

Bezogene Setzung s/D	Pfahlkopfsetzung [cm]	$R_{s,k(s)}$ [MN]	$R_{b,k(s)}$ [MN]	$R_{c,k(s)}$ [MN]
s_{sg}	1,4	1,726	0,809	2,535
0,02	1,8	1,726	1,040	2,766
0,03	2,7	1,726	1,336	3,062
0,10	9,0	1,726	2,768	4,494

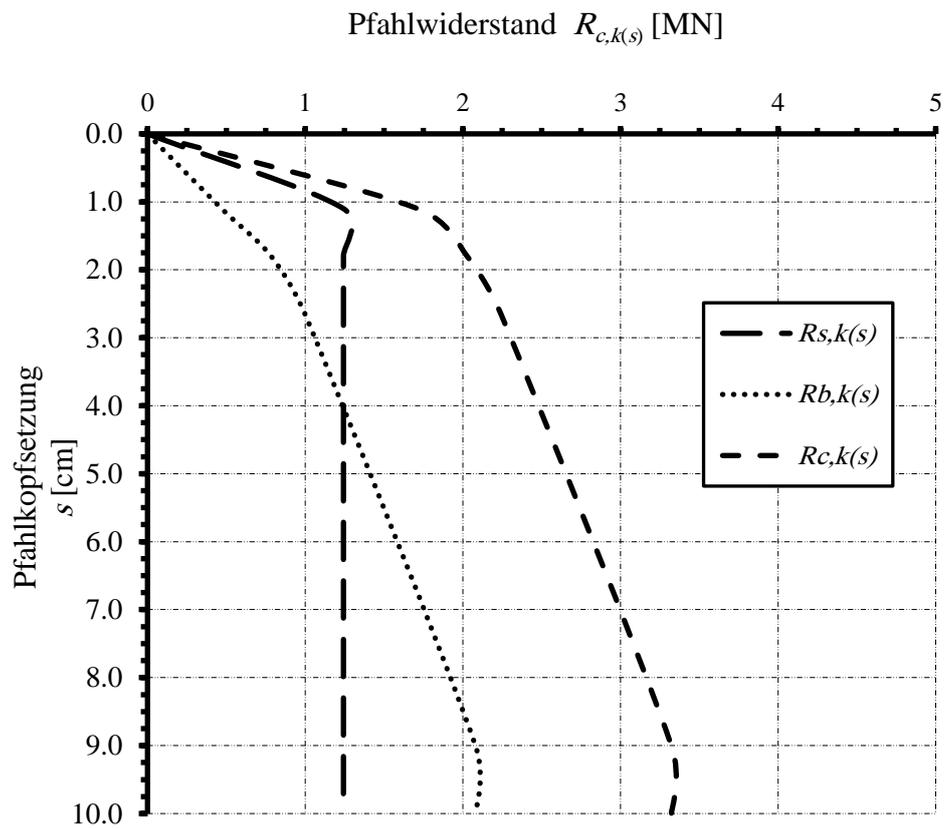


Bild 2.14 Widerstands-Setzungs-Linie (untere Werte) nach "EA-Pfähle"

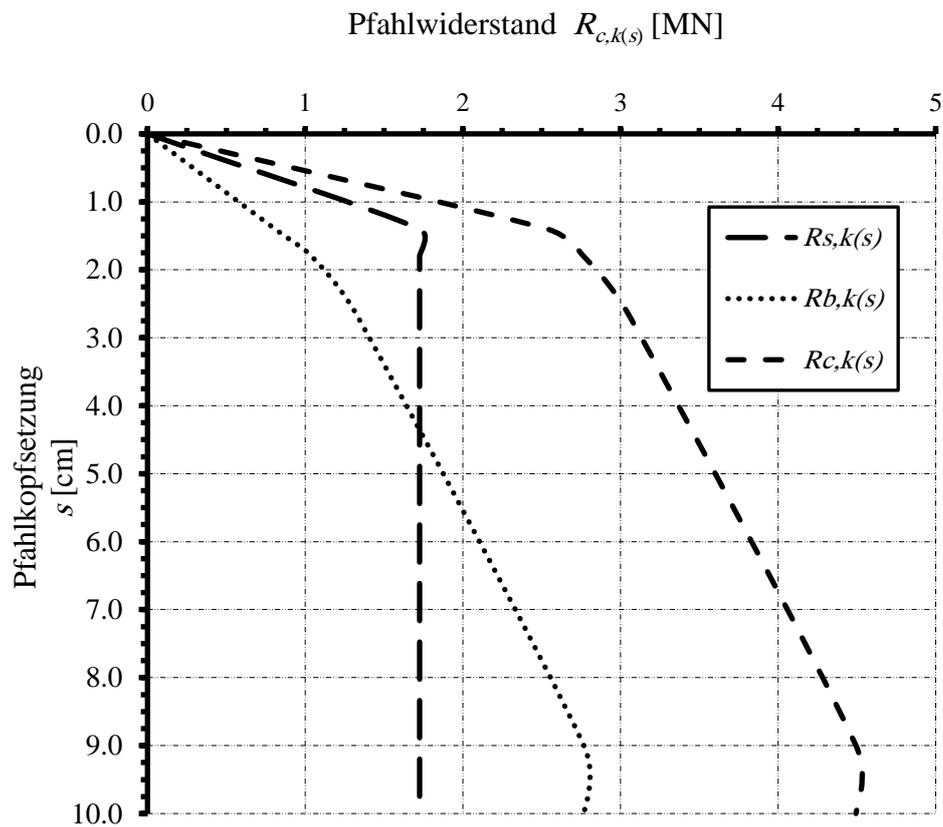


Bild 2.15 Widerstands-Setzungs-Linie (obere Werte) nach "EA-Pfähle"

1.7.5.5.1 Computerberechnung

Auf den nächsten Seiten sind die Ergebnisse wiedergegeben. Es wurden 4 Seiten Daten, Zwischen- und Endergebnisse sowie zwei Seiten Farbgraphik ausgedruckt. Durch Vergleich erkennt man die weitgehende Übereinstimmung mit der "EA-Pfähle".

Tragfähigkeit und Setzung eines Einzelpfahles oder einer Pfahlwand

GEO Tools
Version 10

Progr.autoren Prof. M. El Gendy/ Dr. A. El Gendy

Auftrag: Bearing capacity and settlement of a single pile

Datum: 11_06_2015

Projekt: Example in Appendix B of DIN 4014 after EA-Piles

Datei: EA-Piles

Tragfähigkeit und Setzung eines Einzelpfahles

Lastsetzungslinie des Pfahles nach EA-Pfähle für untere Tabellenwerte

Daten:

Pfahldurchmesser	D	[m]	= 0.9
Pfahlfussdurchmesser	Df	[m]	= 0.9
Pfahllänge	Lg	[m]	= 8.0
Pfahlbezeichnung	Pz	[-]	= P1
Pfahl Nr.	Ipf=	[-]	= 1

Zusammenfassung der Ergebnisse

Baugrunddaten unter der Pfahlspitze:

Sondier-Spitzendruck unter dem Pfahlfuß qs [MN/m²] = 17.50

Pfahlspitzendruck (Nach EA-Pfähle Tabelle 5.12)

s/Df = 0.02 Sig [MN/m²] = 1.23

s/Df = 0.03 Sig1 [MN/m²] = 1.58

s/Df = 0.10 SigGR [MN/m²] = 3.25

Zwischenergebnisse

Mantelreibung:

Schicht-Nr.	Schichtdicke	Sondier Spitzenwiderstand	Undränierte Kohision des Bodens	Mantel- reibung	Reibungs- kraft
I [-]	L1 [m]	qs [MN/m ²]	Cu [MN/m ²]	Tau [MN/m ²]	Qrg [MN]
1	3.00	----	0.100	0.04	0.330
2	2.50	7.00	-----	0.05	0.363
3	2.50	11.00	-----	0.08	0.554
Summe Reibungskräfte		Qrf	[MN] = 1.246		
Pfahlkopflast		Qma+Qsp = Qv	[MN] = 0.800		
Mantelreibungsanteil aus Qv		Qma	[MN] = 0.575		
Spitzendruckanteil aus Qv		Qsp	[MN] = 0.225		
Erwartende Setzung		sv	[cm] = 0.52		

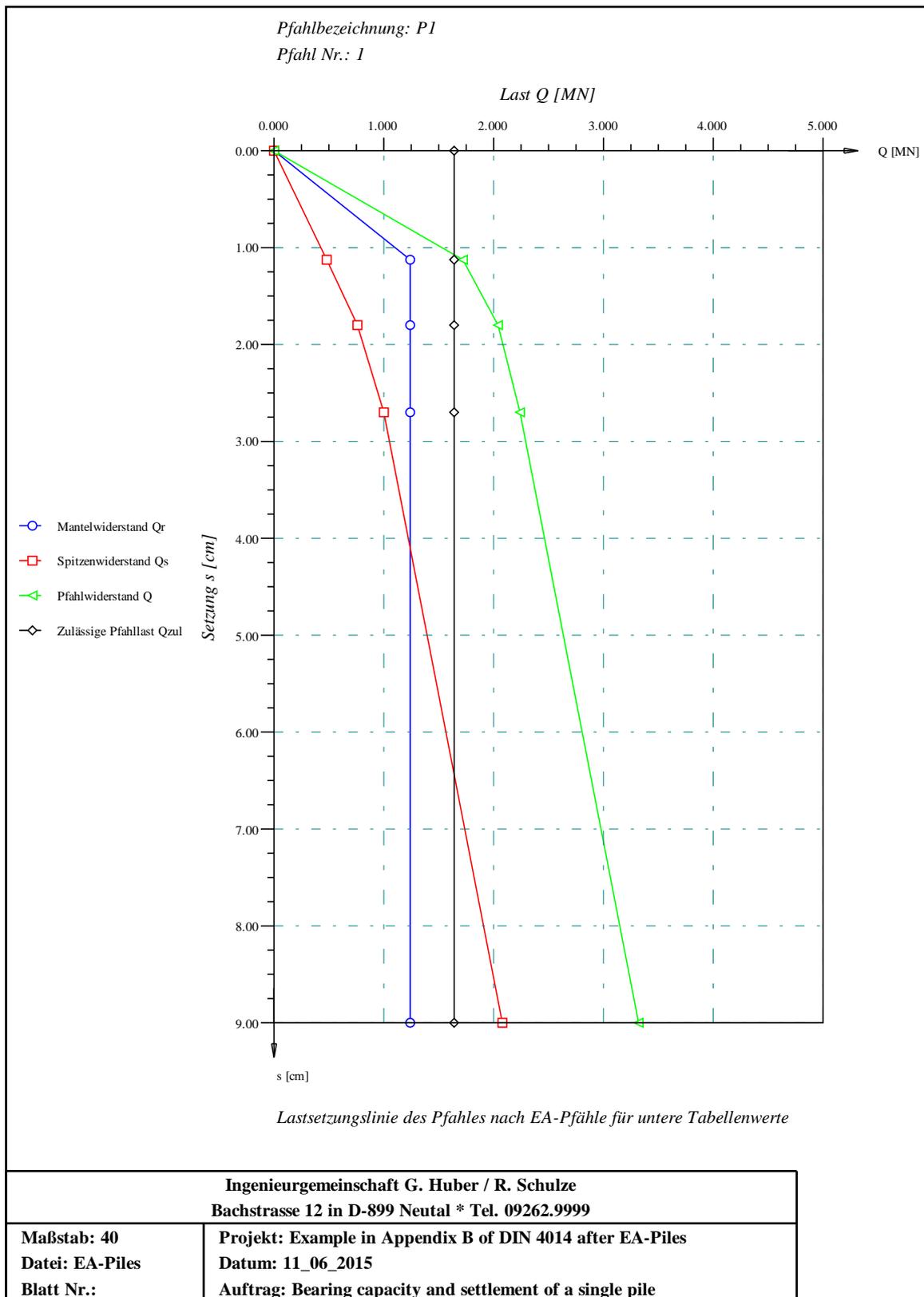
Pfahlwiderstand in Abhängigkeit von der Pfahlsetzung:

Nr.	Bezogene Setzung	Pfahl- kopf- setzung	Pfahl- reibungs- widerstand	Spitzen- widerstand	Pfahl- widerstand
I [-]	s/Df [-]	s [cm]	Qr [MN]	Qs [MN]	Q [MN]
1	0.01	1.12	1.246	0.486	1.733
2	0.02	1.80	1.246	0.779	2.026
3	0.03	2.70	1.246	1.002	2.248
4	0.10	9.00	1.246	2.068	3.314 = Qg=2*Qzul

Endergebnisse:

Zulässige Setzung	Szul	[cm] = 1.07
Zulässige Pfahllast	Qr+Qs = Qzul	[MN] = 1.657
Mantelreibungsanteil	Qr	[MN] = 1.192
Spitzendruckanteil	Qs	[MN] = 0.465
Sicherheitsfaktor	Qzul/QV = ETHA	[-] = 2.07

Tragfähigkeit und Setzung eines Einzelpfahles oder einer Pfahlwand



GEO Tools
Version 10

Progr.autoren Prof. M. El Gendy/ Dr. A. El Gendy

Auftrag: Bearing capacity and settlement of a single pile
 Datum: 11_06_2015
 Projekt: Example in Appendix B of DIN 4014 after EA-Piles
 Datei: EA-Piles

Tragfähigkeit und Setzung eines Einzelpfahles
 Lastsetzungslinie des Pfahles nach EA-Pfähle für obere Tabellenwerte

Daten:

Pfahldurchmesser	D	[m]	= 0.90
Pfahlfussdurchmesser	Df	[m]	= 0.90
Pfahllänge	Lg	[m]	= 8.00
Pfahlbezeichnung	Pz	[-]	= P1
Pfahl Nr.	Ipf=	[-]	= 1

Zusammenfassung der Ergebnisse

Baugrunddaten unter der Pfahlspitze:

Sondier-Spitzendruck unter dem Pfahlfuß qs [MN/m²] = 17.50

Pfahlspitzendruck (Nach EA-Pfähle Tabelle 5.12)

s/Df = 0.02	Sig	[MN/m ²]	= 1.63
s/Df = 0.03	Sig1	[MN/m ²]	= 2.09
s/Df = 0.10	SigGR	[MN/m ²]	= 4.33

Tragfähigkeit und Setzung eines Einzelpfahles oder einer Pfahlwand

Zwischenergebnisse

Mantelreibung:

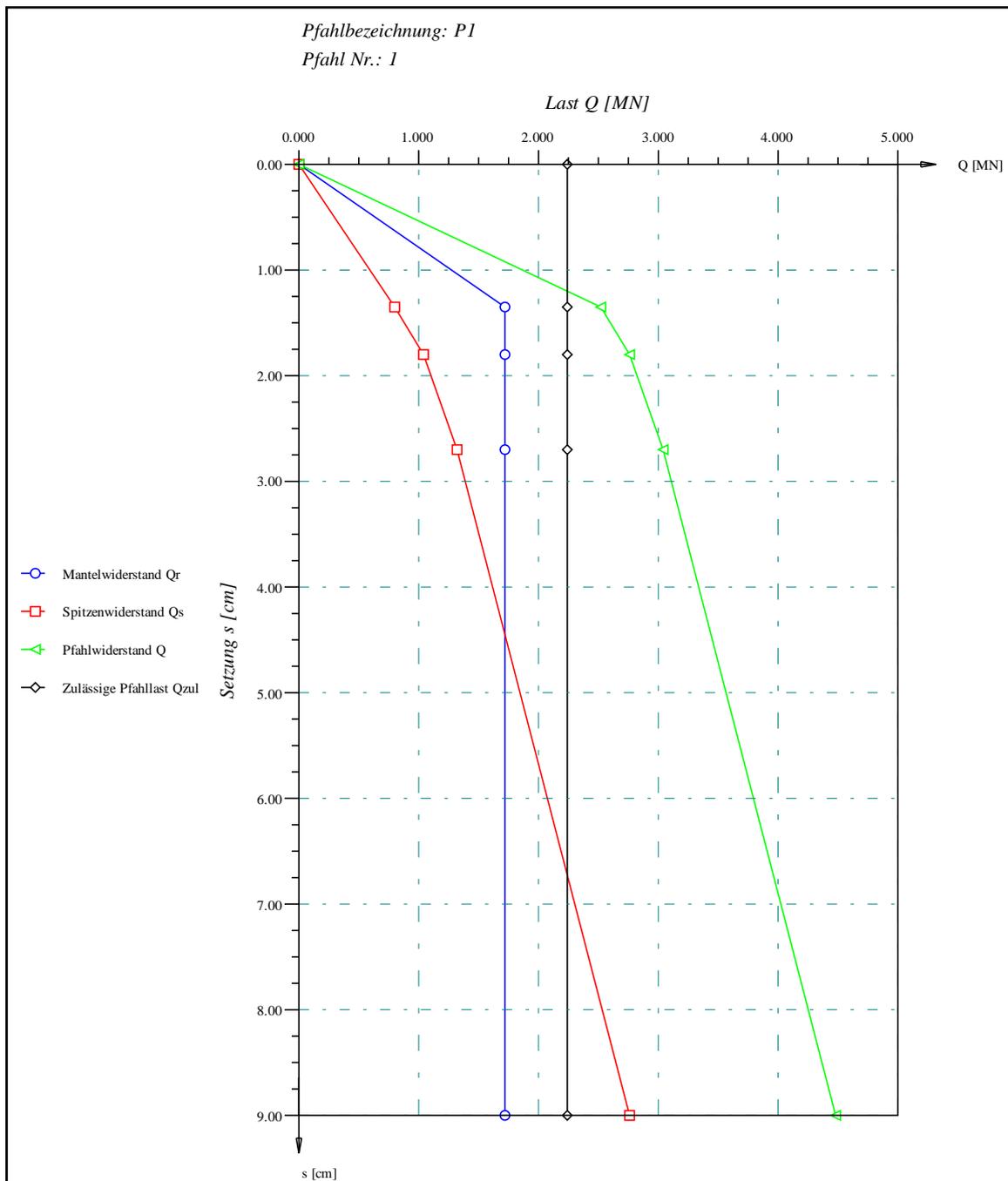
Schicht-Nr.	Schichtdicke L1 [m]	Sondier Spitzenwiderstand qs [MN/m ²]	Undrännierte Kohäsion des Bodens Cu [MN/m ²]	Mantel- reibung Tau [MN/m ²]	Reibungs- kraft Qrg [MN]	
I [-]						
1	3.00	----	0.100	0.05	0.434	
2	2.50	7.00	-----	0.07	0.528	
3	2.50	11.00	-----	0.11	0.763	
Summe Reibungskräfte		Qrf	[MN] = 1.725			
Pfahlkopflast		Qma+Qsp = Qv	[MN] = 0.800			
Mantelreibungsanteil aus Qv		Qma	[MN] = 0.550			
Spitzendruckanteil aus Qv		Qsp	[MN] = 0.250			
Erwartende Setzung		sv	[cm] = 0.43			

Pfahlwiderstand in Abhängigkeit von der Pfahlsetzung:

Nr.	Bezogene Setzung I [-]	Pfahl- kopf- setzung s [cm]	Pfahl- reibungs- widerstand Qr [MN]	Spitzen- widerstand Qs [MN]	Pfahl- widerstand Q [MN]
1	0.02	1.36	1.725	0.782	2.507
2	0.02	1.80	1.725	1.034	2.759
3	0.03	2.70	1.725	1.328	3.053
4	0.10	9.00	1.725	2.751	4.476 = Qg=2*Qzul

Endergebnisse:

Zulässige Setzung	Szul	[cm] = 1.22
Zulässige Pfahllast	Qr+Qs = Qzul	[MN] = 2.238
Mantelreibungsanteil	Qr	[MN] = 1.540
Spitzendruckanteil	Qs	[MN] = 0.698
Sicherheitsfaktor	Qzul/QV = ETHA	[-] = 2.80



Lastsetzungslinie des Pfahles nach EA-Pfähle für obere Tabellenwerte

Ingenieurgesellschaft G. Huber / R. Schulze Bachstrasse 12 in D-899 Neutal * Tel. 09262.9999	
Maßstab: 40 Datei: EA-Piles Blatt Nr.:	Projekt: Example in Appendix B of DIN 4014 after EA-Piles Datum: 11_06_2015 Auftrag: Bearing capacity and settlement of a single pile

1.7.6 Beispiel 6: Berechnung eines Einzelpfahls (ECP)

1.7.6.1 Aufgabenstellung

Es ist erforderlich, einen Einzelpfahl, der verwendet wird, um eine Pfahlplatte einer Brücke zu stützen. Die Berechnung des Einzelpfahls wurde mit dem Programm *GEO Tools* durchgeführt, um den passenden Pfahldurchmesser zu wählen, indem das Last-Setzungsverhalten des Pfahles ausgewertet wurde. Die Last-Setzungsbeziehung wird nach ECP 197 (1995) für Pfähle mit einem Durchmesser von mehr als 60 [cm] bestimmt.

1.7.6.2 Bodeneigenschaften

Der Untergrund an der Lage der Brücke besteht aus variablen Schichten von Sand und Ton mit verschiedenen Eigenschaften bis zu einer Tiefe von 25 [m] unter dem Meeresbodenebene. Hauptbodendaten, die aus Bohrungen erhalten wurden, die sich in der Lage der Pfähle befinden, sind in der Tabelle 23 dargestellt.

Tabelle 23 Bodeneigenschaften

Schicht Nr.	Tiefe der Schicht unter dem Meeresbodenebene [m]	Bodenart	Nr. der Schläge des SPT je 30 [cm]	Winkel der inneren Reibung Φ [°]	Undränierete Kohäsion des Bodens c_u [kN/m ²]
1	0.0-3.0	CL-ML	1	-	50
2	3.0-7.5	SM	30	35	-
3	7.5-12.0	GM	>100	38	-
4	12.0-15.0	SM	28	35	-
5	15.0-18.0	CL	38	-	150
6	18.0-22.5	SC-SM	48	31	-
7	22.5-25.0	CL	>100	-	250

1.7.6.3 Auswahl von Pfahldurchmesser und Bemessungslast

Die Bemessungslast des Einzelpfahls für den betrachteten Durchmesser wird gewählt, um eine max. Setzung von 1,0 [cm] zu erreichen. Es wird auch berücksichtigt, dass ein breiterer Pfahl im Durchmesser verwendet wird, um Lagerbelastungen in weniger Anzahl von Pfählen zu entwickeln. Dementsprechend wird ein Pfahl mit einem Durchmesser von 1,4 [m] und einer Länge von 28 [m] gewählt. Die Bemessungslast für den gewählten Pfahl beträgt etwa 2.5 [MN]. Aufgrund der Gruppenaktion wird erwartet, dass die Setzung des ausgewählten Pfahles in der Pfahlgruppe höher ist als die aus der Berechnung von Einzelpfahl erhalten wurde.

1.7.6.4 Bestimmung des Pfahlmantelwiderstandes

Die Berechnung des Reibungswiderstandes nach *ECP* erfolgt mit Bodendaten *SPT* für nichtbindige Böden oder mit Undrännierten Kohäsion des Bodens c_u für bindige Böden. Die Berechnung der Reibungswiderstände für nichtbindige Böden ist in der Tabelle 24 dargestellt, während die für bindige Böden in der Tabelle 25 dargestellt ist.

Tabelle 24 Bestimmung des Pfahlmantelwiderstandes in nichtbindigen Böden

Schicht Nr.	Bodenart	Tiefe der Schicht unter SBL [m]	Nr. der Schläge des SPT je 30 [cm]	Werte nach ECP (1995)		
				Tiefe m	<i>SPT</i>	Mantelreibung τ [kN/m ²]
2	SM	3.0-7.5	30	2.0-7.5	20.0-30.0	45
3	GM	7.5-12.0	>100	2.0-10.0	>30.0	60
4	SM	12.0-15.0	28	>7.5	20.0-30.0	75
6	SC-SM	18.0-22.5	48	>10.0	>30.0	100

Tabelle 25 Bestimmung des Pfahlmantelwiderstandes in bindigen Böden

Schicht Nr.	Bodenart	Tiefe der Schicht unter SBL [m]	Undrännierte Kohäsion des Bodens c_u [kN/m ²]	Werte nach ECP (1995)	
				Undrännierte Kohäsion des Bodens c_u [kN/m ²]	Mantelreibung τ [kN/m ²]
1	CL-ML	0.0-3.0	50	50	35
5	CL	15.0-18.0	150	150	45
7	CL	22.5-25.0	250	250	50

1.7.6.5 Ergebnisse

Zusammenfassung der Ergebnisse sind in der Tabelle 26 aufgelistet. Die Eingabe Daten und Ergebnisse von *Quick ELPL* werden in den nächsten beiden Seiten neben einem Diagramm für Last-Setzungsbeziehung dargestellt.

Tabelle 26 Pfahllast und Setzung

Pfahldurchmesser	Pfahllänge	Zulässige Pfahllast	Zulässige Setzung	Pfahlkopflast	Erwartende Setzung
d [m]	L_p [m]	Q_{all} [MN]	S_{all} [cm]	Q_v [MN]	S_e [cm]
1.4	28	4.58	1.69	2.5	0.87

Tragfähigkeit und Setzung eines Einzelpfahles oder einer Pfahlwand

GEO Tools
Version 10

Progr.autoren Prof. M. El Gendy/ Dr. A. El Gendy

Auftrag: Bearing capacity and settlement of a single pile

Datum: 25/09/2010

Projekt: Example carried out by ECP

Datei: ECP

Tragfähigkeit und Setzung eines Einzelpfahles

Lastsetzungslinie des Pfahles wird vom Benutzer eingegeben

Daten:

Pfahldurchmesser	D	[m]	= 1.40
Pfahlfussdurchmesser	Df	[m]	= 1.40
Pfahllänge	Lg	[m]	= 28.00
Pfahlbezeichnung	Pz	[-]	= P1
Pfahl Nr.	Ipf=	[-]	= 1

Zusammenfassung der Ergebnisse

Pfahlspitzendruck (Eingabe)

s/Df = 0.02	Sig	[MN/m ²]	= 0.50
s/Df = 0.03	Sig1	[MN/m ²]	= 0.70
s/Df = 0.10	SigGR	[MN/m ²]	= 1.20

Zwischenergebnisse

Mantelreibung:

Schicht- Nr.	Schicht- dicke	Sondier Spitzenwiderstand	Undrännierte Kohäsion des Bodens	Mantel- reibung	Reibungs- kraft
I	L1	qs	Cu	Tau	Qrg
[-]	[m]	[MN/m ²]	[MN/m ²]	[MN/m ²]	[MN]
1	3.00	----	-----	0.04	0.462
2	4.50	----	-----	0.05	0.891
3	4.50	----	-----	0.06	1.188
4	3.00	----	-----	0.08	0.990
5	3.00	----	-----	0.05	0.594
6	4.50	----	-----	0.10	1.979
7	5.50	----	-----	0.05	1.210

Summe Reibungskräfte Qrf [MN] = 7.312

Pfahlkopflast	Qma+Qsp = Qv	[MN]	= 2.500
Mantelreibungsanteil aus Qv	Qma	[MN]	= 2.262
Spitzendruckanteil aus Qv	Qsp	[MN]	= 0.238
Erwartende Setzung	sv	[cm]	= 0.87

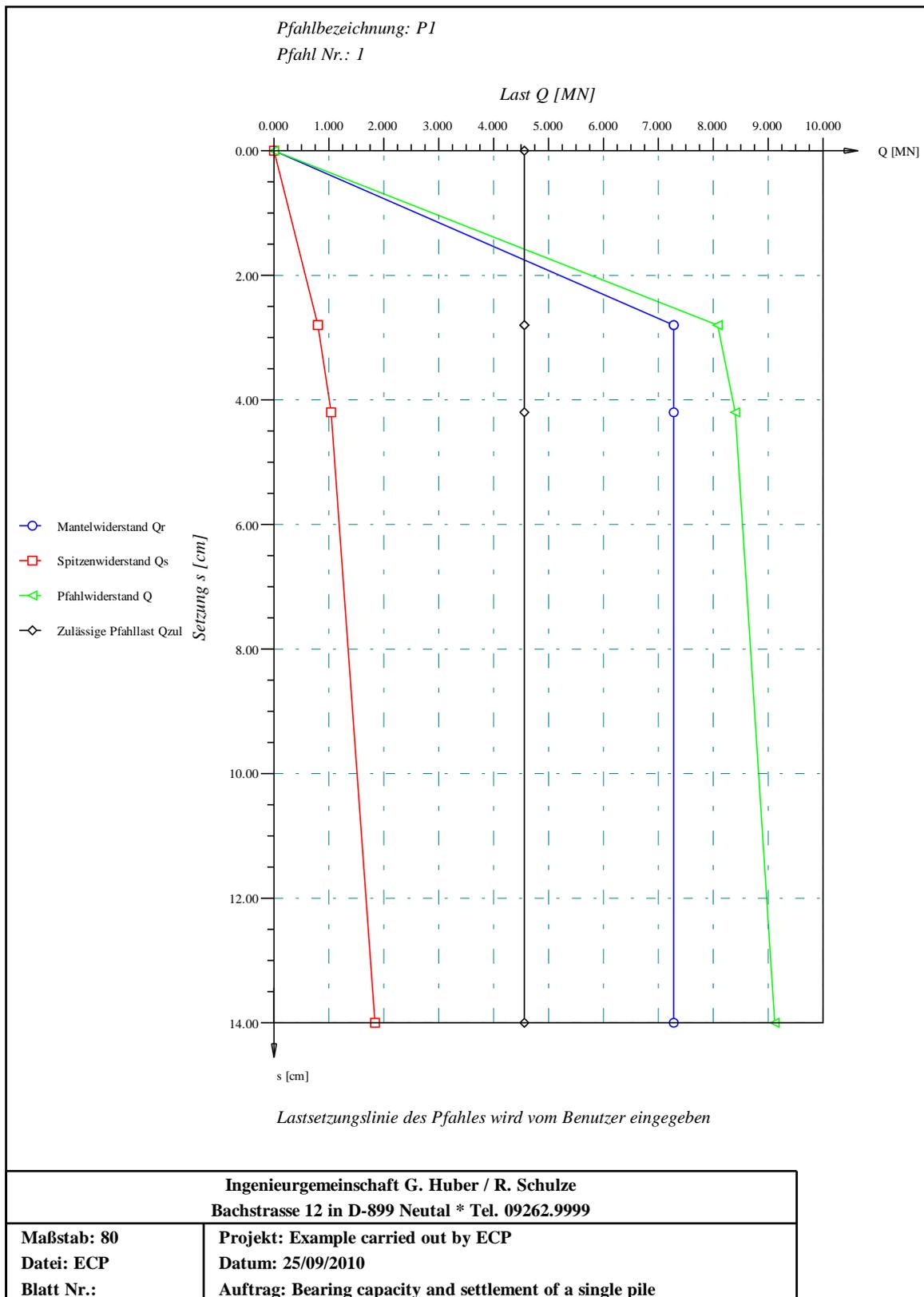
Pfahlwiderstand in Abhängigkeit von der Pfahlsetzung:

Nr.	Bezogene Setzung	Pfahl- kopf- setzung	Pfahl- reibung- widerstand	Spitzen- widerstand	Pfahl- widerstand
I	s/Df	s	Qr	Qs	Q
[-]	[-]	[cm]	[MN]	[MN]	[MN]
1	0.02	2.80	7.312	0.770	8.082
2	0.02	2.80	7.312	0.770	8.082
3	0.03	4.20	7.312	1.078	8.390
4	0.10	14.00	7.312	1.847	9.159 = $Q_g=2 \cdot Q_{zul}$

Endergebnisse:

Zulässige Setzung	Szul	[cm]	= 1.59
Zulässige Pfahllast	Qr+Qs = Qzul	[MN]	= 4.580
Mantelreibungsanteil	Qr	[MN]	= 4.143
Spitzendruckanteil	Qs	[MN]	= 0.436
Sicherheitsfaktor	Qzul/QV = ETHA	[-]	= 1.83

Tragfähigkeit und Setzung eines Einzelpfahles oder einer Pfahlwand



1.8 Literatur

- [1] *DIN 4014* (1990): Bohrpfähle - Herstellung, Bemessung und Tragfähigkeit, Ausgabe März, Deutsches Institut für Normung, Berlin.
- [2] *Simmer*, K. (1999): Grundbau, Teil 2 Baugruben und Gründungen. B. G. Teubner Stuttgart, Leipzig.
- [3] *EA-Pfähle* (2007): Empfehlungen des Arbeitskreises "Pfähle" EA-Pfähle; Arbeitskreis Pfähle (AK 2,1) der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e.V., 1. Auflage, Ernst & Sohn, Berlin.
- [4] Elborg, E.-A.: Verbesserung der Vorhersagbarkeit des Last-Setzungsverhaltens von Bohrpfählen auf empirischer Grundlage, Dissertation: Technische Hochschule Darmstadt, D 17, 1993.
- [5] *ECP 197* (1995): Egyptian Code for Soil Mechanics - Design and Construction of Foundations, Part 4, Deep Foundations (in Arabic).