

EA-Pfähle & Pfahlforschung

Recommendations on piles & pile research

H.-G. Kempfert & P. Becker

Institut für Geotechnik und Geohydraulik, Universität Kassel

1 EA-Pfähle

1.1 Überblick

Die EA-Pfähle [1] liegt inzwischen als 1. Auflage auf der Grundlage des Teilsicherheitskonzeptes vor. In Tabelle 1 wird mit einem Auszug aus dem Inhaltsverzeichnis der EA-Pfähle ein Überblick der Empfehlungen für Pfähle und Pfahlgründungen gegeben.

Tabelle 1: Auszug aus dem Inhaltsverzeichnis der EA-Pfähle [1]

Table 1: Overview of the contents of EA-Pfähle [1]

Kapitel	Thema
1	Einleitung und Anwendungsgrundlagen der Empfehlungen
2	Pfahlsysteme
3	Grundsätze zu Entwurf und Berechnung von Pfahlgründungen
4	Einwirkungen und Beanspruchungen
5	Tragverhalten und Widerstände von Einzelpfählen
6	Stand sicherheitsnachweise
7	Berechnung von Pfahlrosten
8	Berechnung und Nachweise von Pfahlgruppen
9	Statische Pfahlprobebelastungen
10	Dynamische Pfahlprobebelastungen
11	Qualitätssicherung bei der Bauausführung
12	Pfahl-Integritätsprüfungen
Anhang A	Begriffe, Teilsicherheitsbeiwerte und Berechnungsgrundlagen
Anhang B	Berechnungsbeispiele Pfahlwiderstände und Nachweise
Anhang C	Beispiele zur dynamischen Pfahlprobebelastung und Integritätsprüfung

1.2 Allgemeines zu den axialen Pfahlwiderständen aus Erfahrungswerten

Am Fachgebiet Geotechnik der Universität Kassel wurden Datenbanken mit Ergebnissen von axialen Pfahlprobelastungen an unterschiedlichen Pfahlsystemen erstellt und diese vergleichend statistisch ausgewertet, siehe Tabelle 2. Ziel war dabei, für die vom Arbeitskreis AK 2.1 „Pfähle“ der DGGT bearbeiteten neue Empfehlung EA-Pfähle [1] für möglichst viele Pfahlarten vergleichende Spannen der Erfahrungswerte für Pfahlspitzenwiderstand und Mantelreibung empirisch abgesichert angeben zu können. Damit sollte ein maßgeblicher Beitrag für eine sichere und wirtschaftliche Beurteilung der Tragfähigkeit von derzeit überwiegend in der Baupraxis zur Ausführung kommenden Pfahlsystemen erreicht werden.

Die durchgeführten Untersuchungen liefern Spannen von Erfahrungswerten für den Pfahlspitzenwiderstand q_b und die Pfahlmantelreibung q_s in Abhängigkeit der Baugrundverhältnisse in Form des Spitzenwiderstandes der Drucksonde q_c für die Festigkeiten nichtbindiger Böden und der charakteristischen undrännierten Scherfestigkeit $c_{u,k}$ bei bindigen Böden.

Tabelle 2: Übersicht zu den verwendeten Probelastungen verschiedener Pfahlsysteme

Table 2: Overview of pile load tests of the different pile systems

Pfahlsysteme		Anzahl
Fertig- rammpfähle	Stahlbeton und Spannbeton	121
	Stahlträgerprofil ($h \leq 0,50$ m und $h/b_F \leq 1,5$)	55
	doppeltes Stahlträgerprofil	9
	offenes Stahlrohr und Hohlkasten ($D_b \leq 0,80$ m)	13
	geschlossenes Stahlrohr ($D_b \leq 0,80$ m)	4
Ortbeton- rammpfähle	Simplexpfahl	70
	Frankipfahl	300
Schraub- pfähle	Atlaspfahl	124
	Fundexpfahl	52
Verpresste Verdrän- gungspfähle	Verpressmörtelpfahl	22
	Rüttelinjektionspfahl	7
Mikropfähle ¹⁾	Verbundpfahl	9
¹⁾ Es lagen wesentlich mehr Ergebnisse vor, allerdings i.d.R. mit unvollständigen Baugrundunterlagen; bei der Auswertung wurde sich auch mit an Verpressankern orientiert.		

1.3 Spannen der abgeleiteten Erfahrungswerte und Anwendungsgrenzen

Gemäß DIN 1054 und DIN 4020 streuen Bodenkenngößen auf Grund entstehungsbedingter geologischer Randbedingungen erheblich. Dies gilt auch in besonderem Maße für das Pfahltragverhalten, weil zu den baugrundbedingten Streuungen noch erhebliche herstellungsbedingte Einflüsse hinzukommen können. Aus diesem Grunde wurden die Streuungen des Pfahltragverhaltens bei der statistischen Auswertung durch eine Spanne des Fraktilbereiches berücksichtigt, wie in Bild 1 für den Grenzzustand der Tragfähigkeit dargestellt ist.

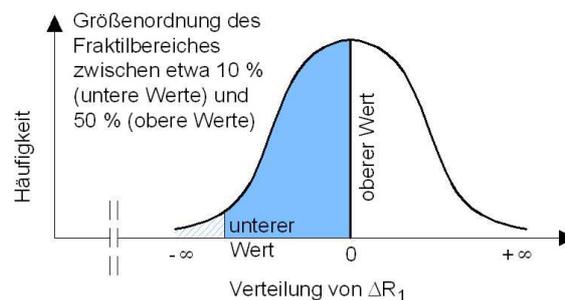


Bild 1: Verteilung und Fraktilbereich der erzielten Ergebnisse für Pfahlwiderstände aus Erfahrungswerten im Vergleich zu Probelastungsergebnissen

Fig. 1: Range of empirical values of pile resistances

In der vorliegenden Untersuchung wurden von den Verfassern Pfahlwiderstände aus Erfahrungswerten für das 10%-, 20%- und 50%-Fraktile abgeleitet. Für die Anwendung der Erfahrungswerte des 10%-Fraktils bedeutet dies, dass in 90% der Fälle die mit den Erfahrungswerten ermittelte Tragfähigkeit auf der sicheren Seite liegt bzw. die vorhandene Tragfähigkeit nicht überschreitet. Dem gegenüber werden bei der Festlegung von charakteristischen Bodenkenngößen bekanntlich i.d.R. „vorsichtige Mittelwerte“ im Bereich des 50%-Fraktils gewählt. Aufgrund der hier dargestellten Vorgehensweise werden nach EA-Pfähle [1] die Begriffe unterer und oberer Wert für die 10% und 50% Fraktile verwendet. Der angegebene Fraktilbereich, der in Bild 1 grafisch dargestellt ist, kann je nach Probelastungen und lokalen Randbedingungen kleiner oder auch größer ausfallen und bietet zunächst nur eine Orientierung. Weitere Anwendungshinweise finden sich in [1].

1.4 Ableitung der Pfahltragfähigkeit von Fertigrampfpfählen

1.4.1 Allgemeines

Am Beispiel der Fertigrampfpfähle wird die Ableitung der Pfahltragfähigkeiten auf empirischer Grundlage dargestellt. Hierbei werden zunächst Fertigrampfpfähle aus Stahlbeton und Spannbeton berücksichtigt. Die Anwendungsgrundlagen der Erfahrungswerte sind [1] zu entnehmen.

1.4.2 Tragverhalten und Aufteilung der Gesamttragfähigkeit von Fertigrampfpfählen

In [2] wird ein Auswerteverfahren für Fertigrampfpfähle vorgeschlagen, das zur Konstruktion der Widerstand-Setzungs-Linie einen setzungsabhängigen Spitzenwiderstand bei $s/D = s/D_{eq} = 0,035$ und den Bruchzustand der Mantelreibung berücksichtigt, welches hier für die Auswertung zu

$$s_{sg} = 0,5 \cdot R_{s1} \leq 1,0 \text{ cm} \quad (1)$$

modifiziert wurde. Darüber hinaus ist für den Fertigrampfpfahl zwischen dem Bruchzustand der Pfahlmantelreibung $R_{s(g)}$ bei $s = s_g = s_{sg}$ und einem ergänzend eingeführten und hier verwendeten Zustand der Mobilisierung der Bruchmantelreibung $R_{s(g^*)}$ bei $s = s_{sg^*}$ zu unterscheiden. Durch die Berücksichtigung eines setzungsabhängigen Mantelreibungsverlauf ergibt sich für Fertigrampfpfähle die Widerstand-Setzungslinie nach Bild 2.

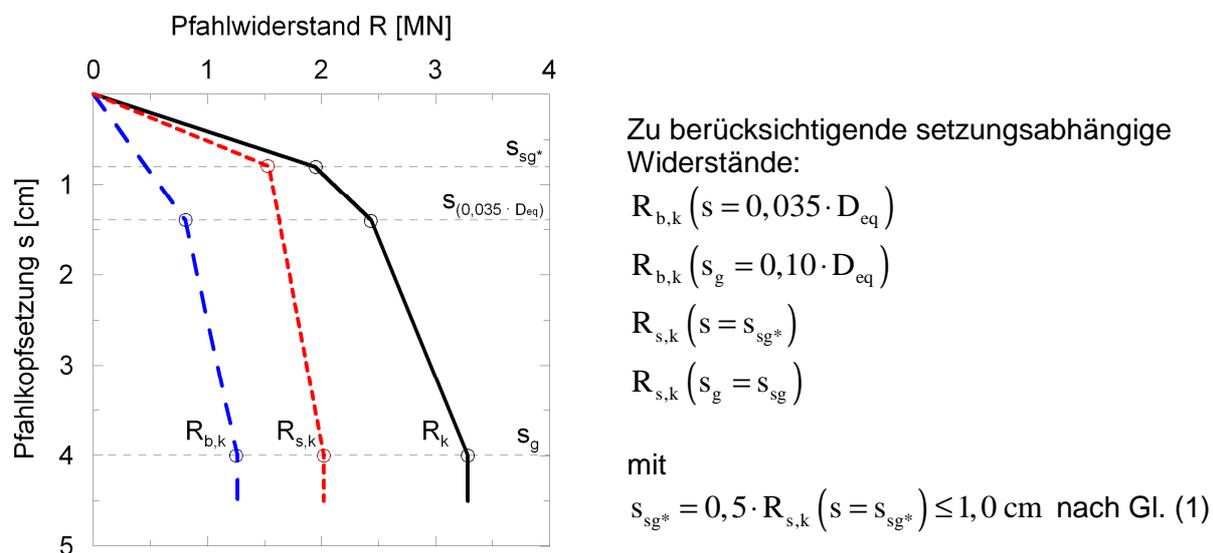


Bild 2: Idealisierte Widerstand-Setzungs-Linie für Fertigrampfpfähle nach Gl. (2)

Fig. 2: Idealized load-settlement-curve for driven precast piles according to eq. (2)

Die charakteristische Gesamttragfähigkeit für Fertigrampfpfähle ergibt sich demnach aus

$$R_k(s) = R_{b,k}(s) + R_{s,k}(s) = \eta_b \cdot q_{b,k} \cdot A_b + \eta_s \cdot \sum_{i=1}^n (q_{s,k,i} \cdot A_{s,i}) \quad (2)$$

mit η_b Anpassungsfaktor des Spitzenwiderstandes, hier $\eta_b = 1,0$;

η_s Anpassungsfaktor der Pfahlmantelreibung, hier $\eta_s = 1,0$.

Damit wurde gegenüber gebohrten Pfahlsystemen hier zusätzlich die Annahme getroffen, dass die Pfahlmantelreibung nach einer ersten Mobilisierungsgröße bei s_{sg^*} im Gebrauchszustand mit Annäherung an den Bruch bei s_{sg} weiter ansteigt, was zu homogeneren statistischen Ergebnissen bei der Auswertung geführt hat.

1.4.3 Beispiele zur statistischen Analyse der Probelastungsergebnisse

Die Ergebnisse für die in die EA-Pfähle [1] eingeführten unteren und oberen Erfahrungswerte im Grenzzustand der Tragfähigkeit sind in Bild 3 dargestellt.

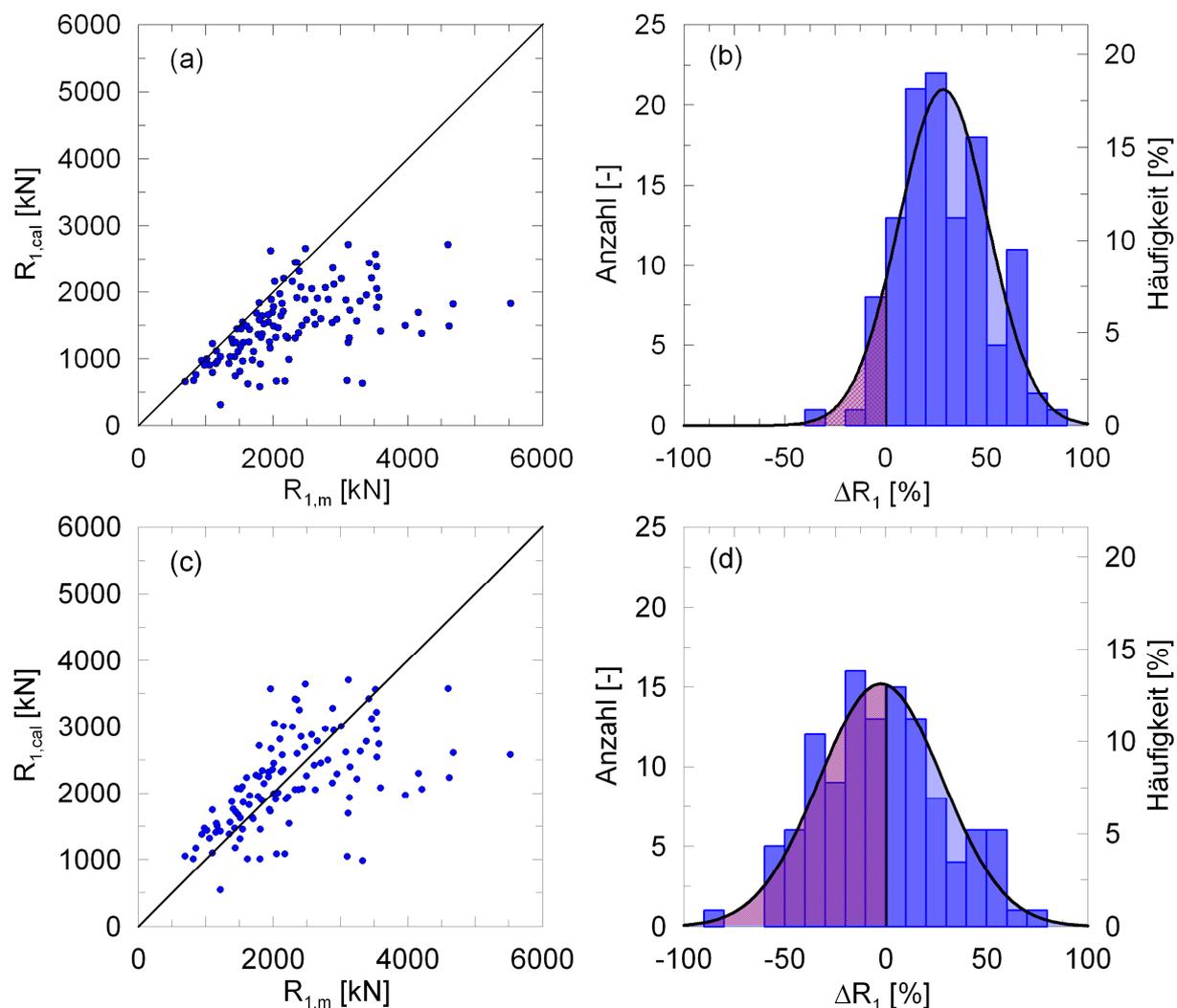


Bild 3. a) Streudiagramm und b) Histogramm für untere Erfahrungswerte von Fertigrampfpfählen in nichtbindigen Böden im GZ 1; c) und d) für obere Erfahrungswerte

Fig. 3. a) Scatter plot and b) Histogramm of lower empirical values of driven precast piles in noncohesive soils in ULS; c) and d) upper empirical values

Die aus den dargestellten Auswertungen in [1] eingeflossenen Spannen der Erfahrungswerte und zusätzlich das 20%-Fraktile für Fertigrampfpfähle sind für den Grenzzustand der Tragfähigkeit GZ 1 in den Tabellen 3 bis 6 beispielhaft angegeben. Für die zur Konstruktion der Widerstand-Setzungs-Linie notwendigen setzungsabhängigen Widerstände und die Anwendungsgrundlagen der Erfahrungswerte wird auf EA-Pfähle [1] verwiesen.

Tabelle 3: Erfahrungswerte für den charakteristischen Pfahlspitzenwiderstand $q_{b1,k}$ für Fertigrampfpfähle aus Stahlbeton und Spannbeton in nichtbindigen Böden für den Grenzzustand der Tragfähigkeit

Table 3: Empirical values of characteristic base resistances $q_{b1,k}$ for driven precast piles in noncohesive soils in ULS

$s/D_{eq} = 0,1$	Pfahlspitzenwiderstand $q_{b1,k}$ in kN/m ²		
	bei einem mittleren Spitzenwiderstand q_c der Drucksonde in MN/m ²		
	7,5	15	25
10%-Fraktile	4.200	7.600	8.750
20%-Fraktile	4.500	8.300	9.500
50%-Fraktile	6.000	10.200	11.500

Tabelle 4: Erfahrungswerte für die charakteristische Pfahlmantelreibung $q_{s1,k}$ für Fertigrampfpfähle aus Stahlbeton und Spannbeton in nichtbindigen Böden für den Grenzzustand der Tragfähigkeit

Table 4: Empirical values of characteristic skin friction $q_{s1,k}$ for driven precast piles in noncohesive soils in ULS

$s_{sg} = s_g = 0,1 \cdot D_{eq}$	Pfahlmantelreibung $q_{s1,k}$ in kN/m ²		
	bei einem mittleren Spitzenwiderstand q_c der Drucksonde in MN/m ²		
	7,5	15	25
10%-Fraktile	40	95	125
20%-Fraktile	45	105	140
50%-Fraktile	60	125	160

Tabelle 5: Erfahrungswerte für den charakteristischen Pfahlspitzenwiderstand $q_{b1,k}$ für Fertigrampfpfähle aus Stahlbeton und Spannbeton in bindigen Böden für den Grenzzustand der Tragfähigkeit

Table 5: Empirical values of characteristic base resistances $q_{b1,k}$ for driven precast piles in cohesive soils in ULS

$s/D_{eq} = 0,1$	Pfahlspitzenwiderstand $q_{b1,k}$ in kN/m ²		
	Scherfestigkeit $c_{u,k}$ des undränerten Bodens in kN/m ²		
	100	150	250
10%-Fraktile	600	850	1.150
20%-Fraktile	650	950	1.250
50%-Fraktile	750	1.100	1.500

Tabelle 6: Erfahrungswerte für die charakteristische Pfahlmantelreibung $q_{s1,k}$ für Fertigrampfpfähle aus Stahlbeton und Spannbeton in bindigen Böden für den Grenzzustand der Tragfähigkeit

Table 6: Empirical values of characteristic skin friction $q_{s1,k}$ for driven precast piles in cohesive soils in ULS

$s_{sg} = s_g = 0,1 \cdot D_{eq}$	Pfahlmantelreibung $q_{s1,k}$ in kN/m ²		
	Scherfestigkeit $c_{u,k}$ des undränierten Bodens in kN/m ²		
	60	150	250
10%-Fraktil	20	40	55
20%-Fraktil	25	50	65
50%-Fraktil	35	60	80

Diese Art der vergleichenden statistischen Auswertung von Probelastungen an verschiedenen Pfahlsystemen stellt gegenüber den bisherigen Angaben nach Auffassung der Verfasser einen Fortschritt dar, da bei den verschiedenen Pfahlsystemen jeweils ein vergleichbares statistisches Niveau zugrunde gelegt wurde. Demgegenüber sind die Tragfähigkeitsangaben der DIN 4014 für Bohrpfähle nach [3] in der Nähe der 10%-Fraktile einzuordnen, das sog. S-Verfahren [4] was tendenziell informativ in DIN 1054:2005-01 für Betonfertigrampfpfähle eingegangen ist, orientiert sich eher an den Mittelwerten (50%-Fraktile).

1.5 Ableitung des Pfahlspitzenwiderstandes in Geschiebemergel

Aufgrund der Vielzahl an Probelastungsergebnissen können für bestimmte Pfahlsysteme Erfahrungswerte für den Pfahlspitzenwiderstand im norddeutschen Geschiebemergel angegeben werden. Die Auswertung erfolgt in gleicher Weise wie zuvor beschrieben, wobei für die Pfahlmantelreibung die Erfahrungswerte für bindige Böden angesetzt werden. Bild 4 enthält für Simplexpfähle, Atlaspfähle und Fundexpfähle beispielhaft die Erfahrungswerte für den Spitzenwiderstand q_{b1} in Geschiebemergel für die verschiedenen Fraktilwerte, siehe auch Tabelle 7.

Tabelle 7: Spannen der Erfahrungswerte für den charakteristischen Pfahlspitzenwiderstand $q_{b1,k}$ für den Grenzzustand der Tragfähigkeit GZ 1 in Geschiebemergel

Table 7: Empirical values of characteristic base resistances $q_{b1,k}$ in boulder clay in ULS

$s/D_{eq} = 0,1$	Pfahlspitzenwiderstand $q_{b1,k}$ in kN/m ²		
	Scherfestigkeit $c_{u,k}$ des undränierten Bodens in kN/m ²		
	100	150	250
Simplexpfahl	3.400 – 3.700	5.400 – 5.700	6.600 – 7.000
Atlaspfahl	1.500 – 2.700	2.250 – 3.500	3.000 – 4.250
Fundexpfahl	2.600 – 4.000	4.200 – 5.500	5.300 – 6.500

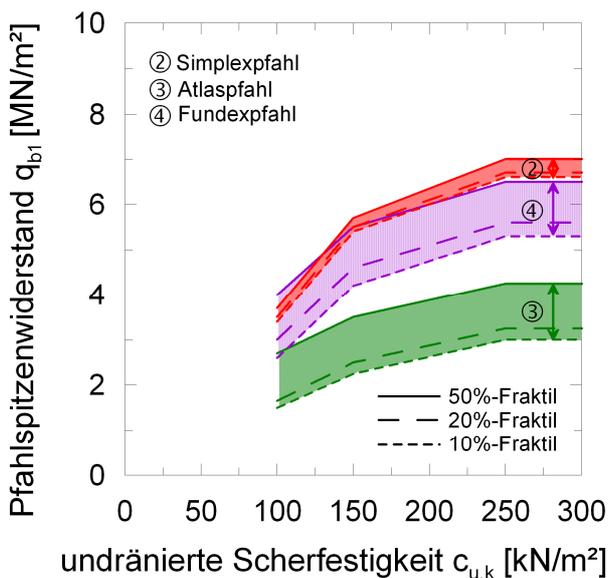


Bild 4: Pfahlspitzenwiderstand in Geschiebemergel
 Fig. 4: Pile base resistance in boulder clay

1.6 Vergleichende Bewertung der ermittelten Pfahltragfähigkeiten

Nachfolgend sind einige Kriterien aus den empirischen Untersuchungen vergleichend bewertet. Zur Verdeutlichung werden in Bild 5 die zusammengefassten Ergebnisse der ausgewerteten Probelastungen ($R_{1,m}$) und die aus den statistischen Untersuchungen abgeleiteten Erfahrungswerte ($R_{1,cal}$) der verschiedenen Pfahlsysteme gegenübergestellt.

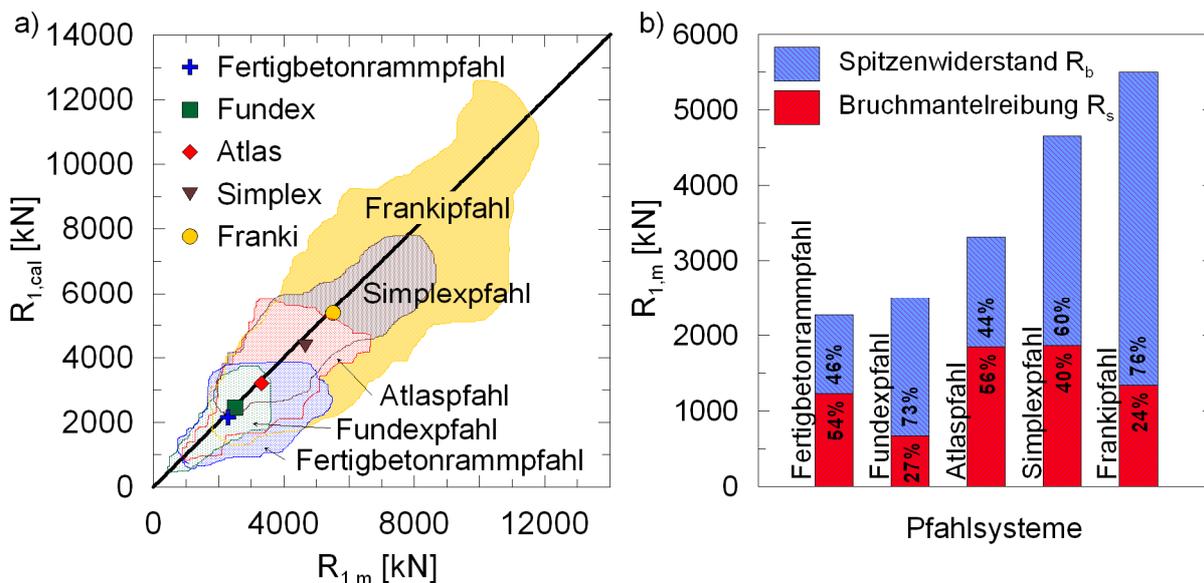


Bild 5: a) Vergleich der Gesamttragfähigkeiten (Symbole = Mittelwerte) und b) mittlere Aufteilungsverhältnisse der verschiedenen Pfahlsysteme aus den untersuchten Pfahlprobelastungen

Fig. 5: a) Comparison of the total load capacities (symbols = average values) and b) the mean proportion of the base and shaft resistances for the different pile systems

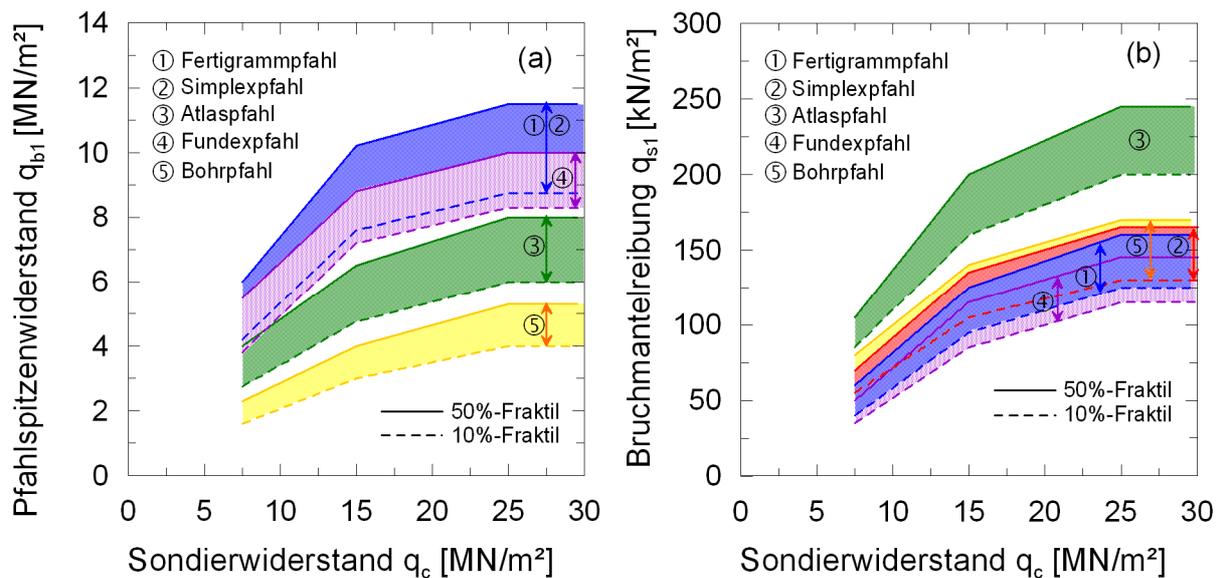


Bild 6: Obere und untere Erfahrungswerte für a) Pfahlspitzenwiderstand und b) Bruchmantelreibung in nichtbindigen Böden

Fig. 6: Upper and lower empirical values of different piles in noncohesive soils for a) base resistance and b) skin friction

Vergleicht man die Spitzenwiderstände der einzelnen Pfahlsysteme aus Bild 6a untereinander, so lässt sich ein Zusammenhang zwischen der Art der Pfahlherstellung und der Systeme sowie deren Tragfähigkeiten erkennen. Rampfpfähle haben im Allgemeinen einen größeren Spitzenwiderstand, da infolge des Einrammens in den Baugrund eine Verdrängung und Verdichtung des Bodens unterhalb der Pfahlspitze erfolgt. In nichtbindigen Böden können für Fertigrampfpfähle und Simplexpfähle infolge des vergleichbaren Herstellungsverfahrens beider Pfahlsysteme einheitliche Erfahrungswerte angegeben werden. Demgegenüber weisen die Rampfpfähle im Unterschied zu anderen Pfahlsystemen eine geringere Bruchmantelreibung auf, siehe Bild 6b und Bild 7.

Der Verdrängungs- und Verdichtungseffekt des Herstellungsverfahrens von Fundexpfählen, die durch eine drehende und drückende Bewegung abgeteuft werden, führt im Vergleich zu den gerammten Simplexpfählen zu etwas geringeren Erfahrungswerten des Pfahlspitzenwiderstandes. Beide Pfahlsysteme verfügen über eine Pfahlspitze mit Überstand, die nach dem Abteufen als verlorene Spitze im Boden verbleibt. Der Überstand der Pfahlspitze verursacht beim Herstellungsvorgang eine anfängliche Auflockerung des Baugrundes im Pfahlschaftbereich und führt zu einer Reduzierung der Pfahlmantelreibung.

Der Schneidkopf des Atlaspfahls wird als Schraubpfahl analog zu dem Fundexpfahl mit einer drehenden und drückenden Bewegung in den Boden eingebracht. Durch die schraubenförmige Ausbildung des Pfahlschaftes können höhere Erfahrungswerte der Mantelreibung erzielt werden.

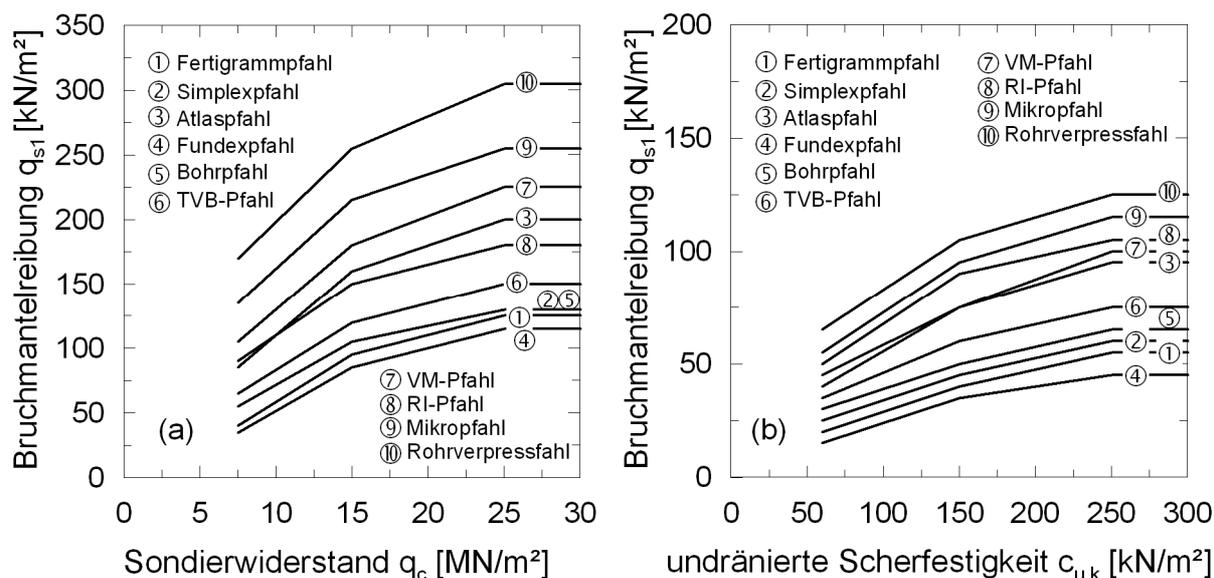


Bild 7: Untere Erfahrungswerte der Bruchmantelreibung in a) nichtbindigen Böden und b) bindigen Böden

Fig. 7: Lower empirical values of skin friction for different piles in a) noncohesive soils and b) cohesive soils

Bohrpfähle und Teilverdrängungsbohrpfähle weisen auf Grund des Bohrvorgangs und der damit verbundenen Entspannung des Bodens im Pfahlfußbereiches im Unterschied zu den übrigen Pfahlsystemen einen geringeren Pfahlspitzenwiderstand auf.

Die vollständigen Angaben der Tabellen für alle ausgewerteten Systeme finden sich in [1].

1.7 Zusammenfassung und Danksagung

Die durchgeführten Untersuchungen liefern empirisch weitgehend abgesicherte Spannen von Erfahrungswerten für den Pfahlspitzenwiderstand und die Pfahlmantelreibung in Abhängigkeit der Baugrundverhältnisse für die derzeit überwiegend in der Baupraxis zur Ausführung kommenden Pfahlsysteme. Die vergleichende statistische Auswertung von Probelastungen ermöglicht eine einheitliche Beurteilung des Tragverhaltens der verschiedenen Pfahlsysteme und somit eine sichere und je nach Aufwand für die geotechnischen Voruntersuchungen auch wirtschaftliche Ableitung der Pfahltragfähigkeiten. Dabei wird allerdings die Unsicherheit größer, je stärker die Herstellungseinflüsse auf die Tragfähigkeit sind, z.B. verpresste Mikropfähle.

Die vorliegenden Ergebnisse und die beschriebenen Grundlagen der empirischen Ableitung von axialen Pfahlwiderständen sind in die vom Arbeitskreis AK 2.1 „Pfähle“ der DGGT bearbeiteten neuen Empfehlung EA-Pfähle eingeflossen.

Für bestimmte Pfahlssysteme werden Erfahrungswerte für den Pfahlspitzenwiderstand in Geschiebemergel angegeben.

Die Verfasser bedanken sich bei allen Firmen und Institutionen, die Ergebnisse von Pfahlprobebelastungen für die Auswertung zur Verfügung gestellt haben. Dies waren besonders Franki Grundbau GmbH & Co KG, Hamburg Port Authority, Centrum Pfähle GmbH, Grundbauingenieure Steinfeld und Partner GbR und BSU-Prüfstelle für Baustatik, Hamburg.

Abschließend sei nochmals darauf hingewiesen, dass die in EA-Pfähle aufgeführten Bedingungen für die Anwendung der Spannen der Erfahrungswerte der Pfahltragfähigkeiten sorgfältig eingehalten werden sollten und regionale Erfahrungen mit zu berücksichtigen sind. Dazu empfiehlt sich i.d.R. immer die Einschaltung eines Sachverständigen für Geotechnik, was auch die DIN 1054 sinngemäß fordert.

2 Pfahlforschung

Ein Überblick der aktuellen Forschung auf dem Gebiet der Pfähle und Pfahlgründungen deutschsprachiger Universitätsinstitute wird anhand der Rückmeldungen einer diesbezüglich durchgeführten Umfrage in Tabelle 8 zusammengestellt.

Tabelle 8. Zusammenstellung der laufenden und kürzlich abgeschlossenen Forschungsarbeiten zum Thema Pfähle und Pfahlgründungen deutschsprachiger Universitätsinstitute

Table 8. Overview of pile research projects at german speaking universities

Thema	Institut
<ul style="list-style-type: none"> • „Numerische Modellierung der Herstellung von Rüttelinjektionspfählen“ • „Anwendungsorientiertes Bemessungs- und Überwachungsmodell für Gründungskonstruktionen von Offshore-Windenergieanlagen unter zyklischer Belastung“ • „Arbitrary Lagrangian-Eulerian (ALE) Formulierung für Finite Elemente zur Simulation von Eindringvorgängen in Sandböden“ • „Untersuchung der Gruppenwirkung von Zugpfählen auf der Grundlage von Probebelastungen und numerischen Simulationen“ 	TU Berlin Prof. Dr.-Ing. S. Savidis
<ul style="list-style-type: none"> • „Untersuchungen von mit Pfählen gesicherten Rutschhängen mit der Diskreten Elementmethode“ • „Numerische Studien zum Verformungsverhalten von horizontal und vertikal belasteten Pfählen“ • „Einfluss der Interfaceeigenschaften auf das Setzungsverhalten von Pfählen“ 	TU Graz Prof. Dipl.- Ing. Dr.techn. S. Semprich

Fortsetzung Tabelle 8

continued

<ul style="list-style-type: none"> • „Untersuchung der Interaktionsbeziehungen für kombiniert belastete Pfähle in bindigen und nichtbindigen Böden“ • „Numerische Berechnung der Verformungsakkumulation zyklisch horizontal belasteter Pfähle“ • „Modellierung des Tragverhaltens von Offshore-Rammpfählen“ 	Uni Hannover Prof. Dr.-Ing. M. Achmus
<ul style="list-style-type: none"> • „Zeitabhängiges Tragverhalten von Verdrängerpfählen“ • „Einfluss von Aufweitungen auf überwiegend horizontal beanspruchte Pfähle“ • „Untersuchungen zur Interaktion der Pfahlherstellung auf kreuzende Pfähle“ • „Untersuchungen zur Pfropfenbildung in offenen Profilen“ • „Untersuchungen zur Erddruckabschirmung durch Pfahlreihen“ • „Sorptionsgestützte Klimatisierung bei Nutzung der oberflächennahen Geothermie (Energiepfähle)“ 	TU Hamburg Prof. Dr.-Ing. J. Grabe
<ul style="list-style-type: none"> • Zur stabilisierenden Wirkung von "schwimmenden" Verpresspfählen in wassergesättigten See- und Beckentonen • Untersuchung zum Pfahltragverhalten unter zyklisch axialer Belastung in nichtbindigen und bindigen Böden • Ableitung von Streuungsfaktoren und Teilsicherheitsbeiwerten für Pfahlwiderstände aus Ergebnissen von Probelastungen und Erfahrungswerten nach Eurocode EC 7-1: Kalibrierung am bisherigen deutschen Sicherheitsstandard • Tragverhalten von offenen Fertigrammpfählen und Spundwandprofilen unter Berücksichtigung der Pfropfenbildung (Land Hessen) • Zur Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit von Verdrängungspfählen in bindigen und nichtbindigen Böden • Beanspruchungen und Verformungen von Gründungskonstruktionen auf Pfahlrosten und Pfahlgruppen unter Berücksichtigung des Teilsicherheitskonzeptes • Untersuchungen zum axialen Tragverhalten verschiedener Pfahlsysteme und empirische Ableitung von Pfahlwiderständen für die EA-Pfähle der DGGT 	Uni Kassel Prof. Dr.-Ing. H.-G. Kempfert
<ul style="list-style-type: none"> • „Tragverhalten von Mikroverpresspfählen unter axial zyklischer Belastung in bindigen Böden“ • „Einfluss der Viskosität weicher Böden auf stabilitätsgefährdete Gründungssysteme“ • „Knicken von Pfählen mit kleinem Durchmesser in breiigen Böden“ 	TU München Prof. Dr.-Ing. N. Vogt
<ul style="list-style-type: none"> • „Trag-Verformungsverhalten von Tiefgründungen unter den besonderen Standortbedingungen der Vereinigten Arabischen Emirate“ 	Uni Weimar Prof. Dr.-Ing. K. J. Witt
Anmerkung: Die Zusammenstellung erfolgt auf der Grundlage der Rückmeldungen aus einer Umfrage	

Soweit die Forschungs- und Untersuchungsergebnisse eine gewisse Anwendungsreife und Absicherung in der Baupraxis erreicht haben, sollen sie in Folgeausgaben der EA-Pfähle eingearbeitet werden.

Des Weiteren wurde in Fachzeitschriften dazu aufgerufen Erfahrungen mit der EA-Pfähle mitzuteilen, um diese ebenfalls für die Zukunft zu berücksichtigen.

Literatur

- [1] *EA-Pfähle*: Empfehlungen des Arbeitskreises „Pfähle“. Deutsche Gesellschaft für Geotechnik (DGGT), Arbeitskreis 2.1. Berlin: Ernst & Sohn, 2007.
- [2] *Witzel, M.*: Zur Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit von vorgefertigten Verdrängungspfählen in bindigen und nichtbindigen Böden. Universität Kassel, Schriftenreihe Geotechnik, Heft 15, 2004.
- [3] *Elborg, E.-A.*: Verbesserung der Vorhersagbarkeit des Last-Setzungsverhaltens von Bohrpfählen auf empirischer Grundlage. Technische Hochschule Darmstadt, D 17, 1993.
- [4] *Schröder, E.*: S-Verfahren: Zur Abschätzung der äußeren Tragfähigkeit (Grenzlast) von geramnten Betonfertigpfählen in nichtbindigen Böden. Hamburg, 1996 - unveröffentlicht.