

Zum Stand der vertikalen Tragfähigkeit von Spundwandprofilen aus Erfahrungswerten

Dipl.-Ing. Patrick Becker und Professor Dr.-Ing. Hans-Georg Kempfert, Institut für Geotechnik und Geohydraulik an der Universität Kassel



Die EAU (2004), E 33 bezieht sich bei der Anwendung von Spitzendruck $q_{b,k}$ und Mantelreibung $q_{s,k}$ aus Erfahrungswerten auf DIN 1054:2005-01. Die DIN 1054:2005-01 macht jedoch explizit keine Angaben zu Spitzendruck und Mantelreibung von Spundwandprofilen aus Erfahrungswerten. Bei der folgenden Vergleichsberechnung wird daher davon ausgegangen, dass die Anwendung der Erfahrungswerte von geramnten Verdrängungspfählen aus Stahlbeton im Grenzzustand GZ 1B zulässig ist. Als Bezugsfläche für den Spitzenwiderstand von wellenförmigen Profilen wird eine n-fach vergrößerte Stahlquerschnittsfläche $A_{b,S}$ gemäß Gleichung [2] empfohlen.

$$A_b = n \cdot A_{b,S} = (6 \text{ bis } 8) \cdot A_{b,S} \dots\dots\dots [2]$$

Die Berücksichtigung der Mantelreibung wird etwas differenzierter betrachtet. Generell wird ein Mantelwiderstand $R_{s,k}$, wie er bei Pfählen angesetzt wird, nur unterhalb der theoretisch erforderlichen

Zur Ableitung der Tragfähigkeit vertikal belasteter Spundwände werden in den Empfehlungen der Arbeitskreise „Ufereinfassungen“ (EAU) und „Baugruben“ (EAB) empirische Berechnungsverfahren angegeben, die nicht immer zu einheitlichen Ergebnissen führen. Aus diesem Grund wurden statische und dynamische Probelastungsversuche an Spundwandprofilen mit statistischen Methoden ausgewertet und die charakteristischen Pfahlwiderstände in Anlehnung an die Vorgehensweise des Arbeitskreises „Pfähle“ (EA-Pfähle) überprüft. Die untersuchten Probelastungen wurden in Norddeutschland durchgeführt, so dass die resultierenden Pfahlwiderstände für Spundwandprofile zunächst als Zwischenstand für norddeutsche Baugrundverhältnisse präsentiert und den derzeitigen empirischen Berechnungsverfahren gegenübergestellt werden. Weitere Untersuchungen zur vertikalen Tragfähigkeit von Spundwandprofilen, besonders die Berücksichtigung von tragfähigkeitserhöhenden Verspannungseffekten in Abhängigkeit des Profilquerschnitts, werden derzeit an der Universität Kassel durchgeführt.

In diesem Beitrag werden die empirischen Berechnungsverfahren zur Ermittlung der vertikalen Tragfähigkeit von Spundwandprofilen untersucht und den neuen Erkenntnissen aus einer statistischen Auswertung von Pfahlversuchen an Spundwandprofilen gegenübergestellt. Es werden vorläufige empirische Erfahrungswerte der Tragfähigkeit mitgeteilt, die sich an den Erfahrungswerten der EA-Pfähle (2007) orientieren und auf Probebelastungen aus dem Hamburger Hafenbereich basieren. Die verwendeten statistischen Methoden und Grundlagen der Ableitung von axialen Pfahlwiderständen aus Erfahrungswerten werden ausführlich in KEMPFFERT/BECKER (2007) erläutert.

Vertikale Tragfähigkeit von Spundwandprofilen aus Erfahrungswerten

Allgemeines

Bei der Berechnung der vertikalen Tragfähigkeit von Spundwandprofilen werden sowohl in den Empfehlungen für Ufereinfassungen (EAU, 2004) wie auch Baugruben (EAB, 2006) Pfahlwiderstände aus Erfahrungswerten verwendet. Diese sind allerdings auf unterschiedliche Aufstandsflächen und Mantelflächen der Spundwandprofile anzuwenden. Die Unterschiede der Berechnungsverfahren werden im Folgenden kurz wiedergegeben.

Vorgehensweise nach den Empfehlungen des Arbeitsausschusses „Ufereinfassungen“

In dem von der EAU (2004) empfohlenen Berechnungsverfahren wird aufgrund der überwiegenden Biegebeanspruchung der Spundwände die vertikale Tragfähigkeit R_k nach Gleichung [1] ermittelt, wobei im Bereich der statisch erforderlichen Wandlänge ein mobilisierter Wandreibungswiderstand und kein Mantelwiderstand angesetzt wird. Ein Mantelwiderstand wird bei den Spundwandkonstruktionen im Gegensatz zu Pfählen lediglich in einem Bereich unterhalb der rechnerisch erforderlichen Wandlänge berücksichtigt.

$$R_k = R_{b,k} + R_{s,k} + R_{Bv,k} + R_{Cv,k} \dots\dots\dots [1]$$

mit:

- $R_{b,k}$ Charakteristischer Fußwiderstand, mit $R_{b,k} = q_{b,k} \cdot A_b$
- $R_{s,k}$ Charakteristischer Mantelwiderstand, mit $R_{s,k} = \sum_{i=1}^n (q_{s,k,i} \cdot A_{s,i})$
- $R_{Bv,k}$ Charakteristischer Wandreibungswiderstand infolge des mobilisierten Bodenauf-lagers B_k .
- $R_{Cv,k}$ Charakteristischer Wandreibungswiderstand infolge der Ersatzkraft C_k .

Spundwandlänge berücksichtigt. Oberhalb der theoretisch erforderlichen Wandunterkante werden für den Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit die aus der Ermittlung der Einbindtiefe resultierenden Komponenten der Bodenreaktionskraft $B_{v,k}$ und der Ersatzkraft $C_{v,k}$ infolge einer Einspannung als Wandreibungswiderstände angesetzt. Die aus dem aktiven Erddruck resultierende Vertikalkomponente wird bei positivem Erddruckneigungswinkel als zusätzliche Einwirkung berücksichtigt. Sofern für den aktiven Erddruck in Abhängigkeit der Relativverschiebung zwischen Spundwand und Baugrund ein negativer Erddruckneigungswinkel vorhanden ist, muss die resultierende Vertikalkomponente mit 1,0-facher Sicherheit als günstig wirkende Einwirkung von den übrigen Bemessungswerten der Vertikalbeanspruchungen subtrahiert werden.

Vorgehensweise nach den Empfehlungen des Arbeitskreises „Baugruben“

In EAB (2006), EB 85 wird die charakteristische vertikale Tragfähigkeit von Spundwandprofilen R_k für den Nachweis der Abtragung von Vertikalkräften bei Baugrubenkonstruktionen in den Untergrund im Grenzzustand der Tragfähigkeit

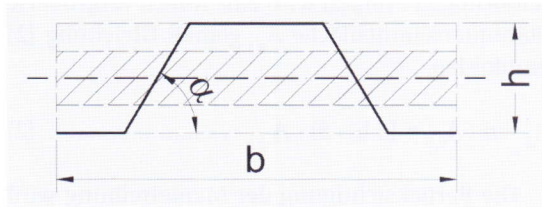


Bild 1. Wirksame Aufstandsfläche und Mantelfläche bei geramnten Spundwandprofilen nach EAB (2006).

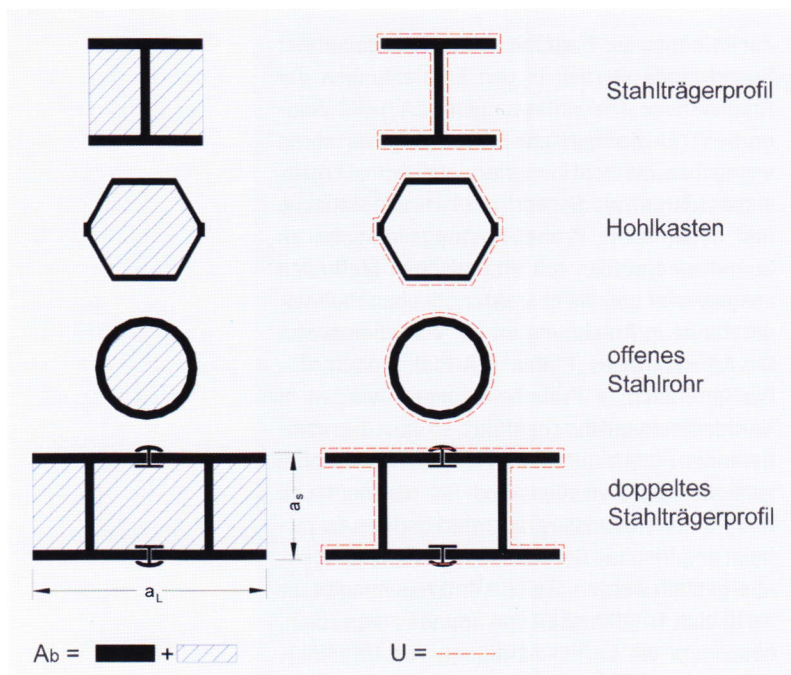


Bild 2. Nennflächen der Pfahlfußflächen und Pfahlmantelflächen bei Stahlprofilpfählen nach EA-Pfähle (2007).

nach Gleichung [3] ermittelt. In Abhängigkeit der Abmessungen und der Einbindtiefe setzt sich die vertikale Tragfähigkeit R_k aus dem Fußwiderstand $R_{b,k}$ und dem Mantelwiderstand zusammen, wobei die Widerstände ebenfalls aus empirischen, aber anderen Erfahrungswerten abgeleitet sind.

$$R_k = R_{b,k} + R_{s,k} = q_{b,k} \cdot A_b + \sum_{i=1}^n (q_{s,k,i} \cdot A_{s,i}) \dots\dots\dots [3]$$

Nach Untersuchungen (RADOMSKI, 1968) wird in Abhängigkeit der Spundwandgeometrie im Grundriss die umhüllende Fußfläche mit einem Faktor κ reduziert (Bild 1).

$$A_b = \kappa \cdot h \dots\dots\dots [4]$$

- mit:
- κ Anpassungsfaktor (RADOMSKI, 1968), $\kappa = f(\alpha)$.
- h Höhe des Spundwandprofils.

Das Berechnungsverfahren nach EAB (2006) sieht bei Baugrubenkonstruktionen neben dem Fußwiderstand den Ansatz einer Mantelreibung mit $q_{s,k} = 60,0 \text{ kN/m}^2$ bei einem ausreichend tragfähigen Baugrund vor. Es wird empfohlen, die Mantelreibung lediglich auf der Baugrubenseite zu berücksichtigen.

Die vertikale Tragfähigkeit von Spundwandkonstruktionen ergibt sich mit einem tiefenabhängigen Fußwiderstand (WEISSENBACH, 1977)

$$R_{l,k} = A_b \cdot q_{bl,k} + A_s \cdot q_{s1,k}$$

$$= A_b \cdot (600,0 + 120,0 \cdot (t_g - 0,5)) + A_s \cdot 60,0 \dots [5]$$

- mit:
- t_g Tatsächliche Einbindtiefe der Wand unterhalb Baugrubensohle.

Die Tragfähigkeit nach Gleichung [5] setzt eine Festigkeit des nichtbindigen Baugrunds mit einem Sondierwiderstand $q_c \geq 10 \text{ MN/m}^2$ voraus. Bei besonders tragfähigen Böden mit $q_c \geq 15 \text{ MN/m}^2$ kann die Tragfähigkeit um 25 % erhöht werden.

Empirische Auswertung von Spundwandversuchen

Datengrundlage und Vorgehensweise

Die Datengrundlage für die Ableitung der Erfahrungswerte für Spundwandprofile besteht aus 34 überwiegend dynamischen Pfahlversuchen an Doppelbohlen aus Norddeutschland, die über hinreichende Baugrundaufschlüsse verfügen und somit eine zuverlässige Korrelation zwischen der Baugrundfestigkeit und den Pfahlwiderständen ermöglichen (KEMPfERT/BECKER, 2005). Die statistische Auswertung erfolgt in Anlehnung an die Vorgehensweise des Arbeitskreises „Pfähle“ (EA-Pfähle, 2007) zur Ermittlung axialer Pfahlwiderstände aus Erfahrungswerten (KEMPfERT/BECKER, 2007). Die Probelastungen werden in Bezug gesetzt zu den für Fertigrammpfähle aus

Stahlbeton und Spannbeton ermittelten Spitzen- und Mantelreibungswerten (EA-Pfähle, 2007). Um diese auf die untersuchten Spundwandprofile anzuwenden, werden empirische Anpassungsfaktoren η für die Pfahlwiderstände abgeleitet.

Bei Spundwandprofilen entstehen in Abhängigkeit der Profilhöhe und des Stegwinkels Verspannungseffekte, die zu einer Traglaststeigerung führen. Allerdings existiert bislang keine zuverlässige Modellvorstellung zur Berücksichtigung dieser Verspannungseffekte (WITZEL, 2004). Aufgrund dieser Diskrepanz stellt die beschriebene Ableitung der Erfahrungswerte für Spundwandprofile ein Zwischenergebnis dar, welches zunächst das vertikale Tragverhalten der Spundwandprofile an die zwischenzeitlich vorliegenden Erfahrungswerte der EA-Pfähle (2007) anbinden soll. Derzeit werden dazu an der Universität Kassel weitere Forschungsarbeiten durchgeführt.

Pfahlwiderstände von Fertigrampfpfählen aus Erfahrungswerten nach EA-Pfähle

Die Ableitung der Pfahltragfähigkeiten von Fertigrampfpfählen aus Erfahrungswerten basiert auf einer statistischen Analyse von Pfahlprobelastungsergebnissen verschiedener Pfahlsysteme. Hierbei ermöglicht die umfassende Bewertung der verschiedenen Pfahlsysteme eine einheitliche Beurteilung des Tragverhaltens in einem logisch aufeinander abgestimmten System, welches Herstellungseinflüsse und Materialeigenschaften der Pfahlsysteme einbezieht.

Die Erfahrungswerte für Fertigrampfpfähle nach EA-Pfähle (2007) beziehen sich auf Vollquerschnitte aus Stahlbeton und Spannbeton. Die Anwendung der Erfahrungswerte auf Stahlprofile nach Bild 2 erfordert zur Berücksichtigung der unterschiedlichen Materialeigenschaften und der Geometrie des jeweiligen Pfahltyps eine Reduktion der Pfahlwiderstände mit den Anpassungsfaktoren nach Tabelle 1. Die charakteristische Gesamttragfähigkeit für Fertigrampfpfähle ergibt sich daher zu

$$R_k(s) = R_{b,k}(s) + R_{s,k}(s) = \eta_b \cdot q_{b,k} \cdot A_b + \eta_s \cdot \sum_{i=1}^n (q_{s,k,i} \cdot A_{s,i}) \dots\dots\dots [6]$$

mit:
 η_b Anpassungsfaktor des Spitzendrucks, nach Tabelle 1.
 η_s Anpassungsfaktor der Pfahlmantelreibung, nach Tabelle 1.

Für den Grenzzustand der Tragfähigkeit werden in den Tabellen 2 und 3 die Erfahrungswerte für Fertigrampfpfähle in nichtbindigen Böden mit dem 10-%- und 50-%-Fraktile angegeben. Das 10-%-Fraktile entspricht hierbei den unteren Erfahrungswerten und dem Regelfall für die Anwendung. Über die Anwendung der über die unteren Erfahrungswerte (Kleinstwerte) hinausgehenden Pfahlwiderstände,

Tabelle 1. Anpassungsfaktoren für Fertigrampfpfähle (EA-Pfähle, 2007).

Pfahltyp	η_b	η_s
Stahlbeton und Spannbeton	1,00	1,00
Stahlträgerprofil ¹ ($h \leq 0,50$ m und $h/b_f \leq 1,5$)	$s = 0,035 \cdot D_{eq}$ $s = 0,10 \cdot D_{eq}$	$0,61 - 0,3 \cdot h/b_f$ $0,78 - 0,3 \cdot h/b_f$
Doppeltes Stahlträgerprofil	0,25	0,80
Offenes Stahlrohr und Hohlkasten ($D_b \leq 0,80$ m)	0,65	0,80
Geschlossenes Stahlrohr ($D_b \leq 0,80$ m)	0,80	0,80

¹ h = Höhe des Stahlträgerprofils, b_f = Flanschbreite des Stahlträgerprofils, D_{eq} = äquivalenter Pfahldurchmesser

Tabelle 2. Erfahrungswerte für Pfahlspitzen- und Spitzendruck $q_{b1,k}$ von Fertigrampfpfählen in nichtbindigen Böden.

$s/D_{eq} = 0,1$	Pfahlspitzen- und Spitzendruck $q_{b1,k}$ 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
50-%-Fraktile	6 000	10 200	11 500

Tabelle 3. Erfahrungswerte für Bruchmantelreibung $q_{s1,k}$ von Fertigrampfpfählen in nichtbindigen Böden.

$s_{sg} = s_g = 0,1 D_{eq}$	Bruchmantelreibung $q_{s1,k}$ 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
50-%-Fraktile	60	125	160

abgestuft in Richtung der oberen Erfahrungswerte (Mittelwerte), sind in der EA-Pfähle (2007) detaillierte Hinweise gegeben.

Ergebnisse der empirischen Auswertung

Die maßgebenden geometrischen Nennflächen für Mantelreibung und Spitzendruck der in der empirischen Auswertung untersuchten Spundwandprofile beziehen sich auf den tatsächlichen Stahlquerschnitt (Bild 3). Für den Spitzendruck wird die reine Stahlquerschnittsfläche angesetzt und für die Mantelreibung die volle Umfangsfläche berücksichtigt.

Aus der statistischen Auswertung resultieren für die Spundwandprofile Anpassungsfaktoren $\eta_b = 1,3$ für den Spitzendruck und $\eta_s = 0,45$ für die Mantelreibung. Hieraus ergibt sich ein Aufteilungsverhältnis der vertikalen Tragfähigkeit für die untersuchten Spundwandprofile unter Berücksichtigung der abgeleiteten Erfahrungswerte und Anpassungsfaktoren im Grenzzustand der Tragfähigkeit von rund 87 % Mantelwiderstand und 13 % Fußwiderstand. Der Anteil des Mantelwiderstands der überwiegt

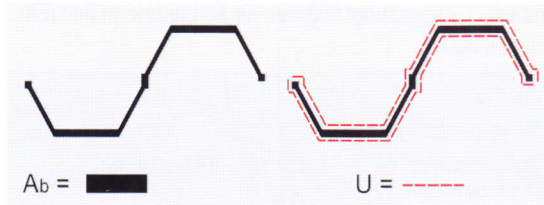


Bild 3. Bezugsflächen für Spitzenwiderstand und Mantelreibung bei Spundwandprofilen.

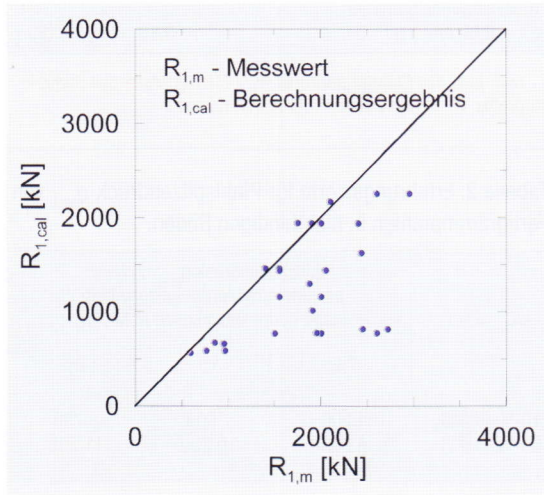


Bild 4. Streudiagramm für die unteren Erfahrungswerte (10 %-Fraktile) bei Spundwandprofilen.

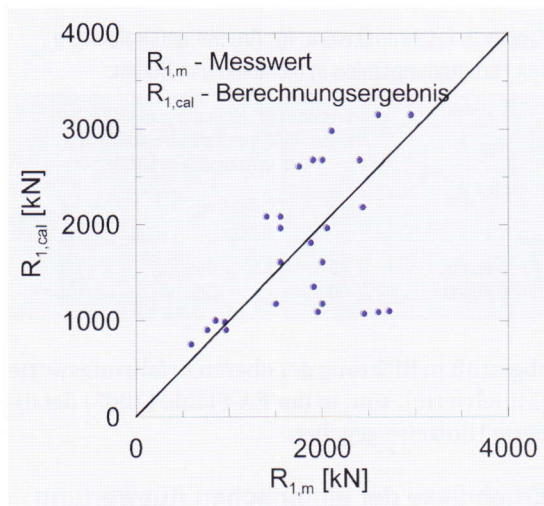


Bild 5. Streudiagramm für die oberen Erfahrungswerte (50 %-Fraktile) bei Spundwandprofilen.

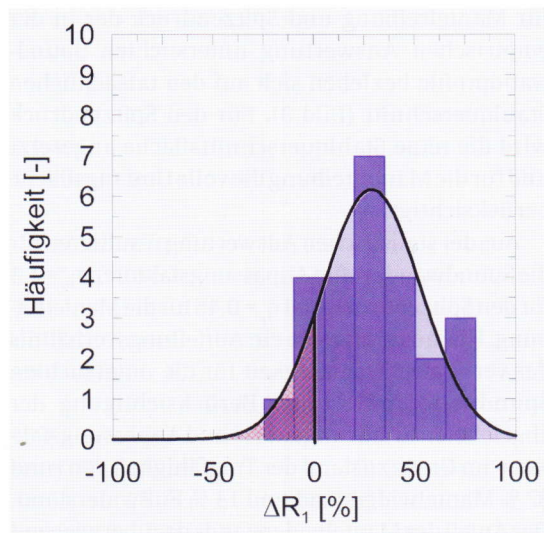


Bild 6. Histogramm für die unteren Erfahrungswerte (10 %-Fraktile).

Tabelle 4. Aufteilungsverhältnisse der vertikalen Tragfähigkeit von Spundwandprofilen.

	R_s/R_1 [%]	R_b/R_1 [%]
Versuchsergebnisse der Probelastungen	80	20
Empirische Auswertung ($\eta_b = 1,3$ und $\eta_s = 0,45$)	87	13

Tabelle 5. Statistische Ergebnisse der Spundwandprofile mit $\eta_b = 1,3$ und $\eta_s = 0,45$.

	ΔR_1 [%]	s [%]	r
10 %-Fraktile	-2,5	24,3	0,49
20 %-Fraktile	-3,8	27,8	0,47
50 %-Fraktile	-0,6	33,6	0,46

dynamischen Probelastungsergebnisse beträgt rund $R_s/R_1 = 80\%$, (Tabelle 4).

Die resultierenden statistischen Ergebnisse werden in den Bildern 4 bis 7 zusammengefasst. Die Standardabweichung der abgeleiteten Erfahrungswerte beträgt rund 24 bis 34 % und die Auswertung beschreibt mit $r = 0,5$ eine mittlere Korrelation (Tabelle 5).

Aus den Erfahrungswerten für Fertigrampfpfähle nach EA-Pfähle (2007) und den statistisch abgeleiteten Anpassungsfaktoren für die Spundwände resultieren die in den Bildern 8 und 9 dargestellten empirischen Pfahlwiderstände. Hierbei werden für Spitzendruck und Mantelreibung die Spannen der Erfahrungswerte, das heißt der Bereich von den unteren bis zu den oberen Erfahrungswerten, für Fertigrampfpfähle nach EA-Pfähle (2007) und für Spundwandprofile auf der Grundlage der dargestellten statistischen Auswertung angegeben. Die Erfahrungswerte der Spundwandprofile ergeben sich aus der Multiplikation der Pfahlwiderstände von Fertigrampfpfählen nach EA-Pfähle (2007) mit den Anpassungsfaktoren nach Gleichung [6]. Für die Spundwandprofile ist die reine Stahlfläche sowohl für Spitzenwiderstand als auch für Mantelreibung maßgebend. Für den Vergleich der abgeleiteten Widerstände sind die Erfahrungswerte für Fertigrampfpfähle nach DIN 1054:2005-01 angegeben. Das Bild 8 enthält darüber hinaus den resultierenden Spitzenwiderstand für Spundwandprofile in Anlehnung an EAU (2004) mit Bezug auf die reine Stahlquerschnittsfläche als wirksame Aufstandsfläche unter Berücksichtigung einer n-fachen Erhöhung und Anwendung der Erfahrungswerte nach DIN 1054:2005-01.

In KEMPfERT/BECKER (2005) wurde für den Ansatz der Mantelreibung zunächst nur eine Seite des Spundwandprofils zu 100 % und die andere Seite mit einem Anteil von 10 % berücksichtigt, wozu weitere Untersuchungen an der Universität Kassel durchgeführt werden. Aus Vergleichsgründen zu EAU (2004) in Verbindung mit den Erfahrungs-

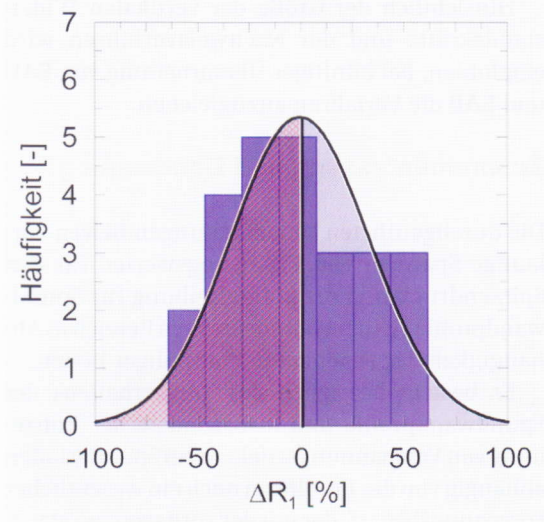


Bild 7. Histogramm für die oberen Erfahrungswerte (50 %-Fraktile).

werten der DIN 1054:2005-01 und EAB (2006) wird hier die Mantelreibung aber auf beide Seiten des Spundwandprofils bezogen, woraus niedrigere Mantelreibungswerte resultieren.

Vergleich der Angaben für vertikale Tragfähigkeit aus Erfahrungswerten von Spundwandprofilen

Für den Vergleich der vertikalen Tragfähigkeit von Spundwandprofilen aus Erfahrungswerten werden die Ergebnisse der statistischen Auswertung der Pfahlversuche den bisherigen empirischen Berechnungsverfahren der EAU (2004) in Verbindung mit den Erfahrungswerten der DIN 1054:2005-01 und EAB (2006) gegenübergestellt. Am Beispiel von zwei ausgewählten Spundwandprofilen – Profile Hoesch 1200 und Larssen 703K (Tabelle 6), die den überwiegenden Anteil der untersuchten Spundwandprofile repräsentieren – und einem idealisierten homogenen Baugrund werden die charakteristischen vertikalen Tragfähigkeiten in Abhängigkeit der Einbindetiefe ermittelt. Die Berechnungen erfolgen sowohl für einen ausreichend tragfähigen Baugrund mit einem über die Einbindetiefe konstanten Sondierwiderstand der Drucksonde $q_c = 10 \text{ MN/m}^2$ als auch für einen besonders tragfähigen Boden mit $q_c = 15 \text{ MN/m}^2$. Die Ergebnisse der statischen und dynamischen Spundwandprobelastungen werden dargestellt, wobei für den Vergleich mit den empirischen Berechnungsverfahren der Sondierwiderstand über die Einbindelänge gemittelt wird. Für die untersuchten Hoesch 1200 Profile (Bild 10) entspricht der mittlere Sondierwiderstand $q_c = 14 \text{ MN/m}^2$ und bei den Larssen 703K Profilen $q_c = 15 \text{ MN/m}^2$ (Bild 11).

Beispielhaft werden in Bild 12 für das Profil Larssen 703K die jeweils wirksamen Aufstandsflächen dargestellt. Bezogen auf die Profilhöhe ergibt die

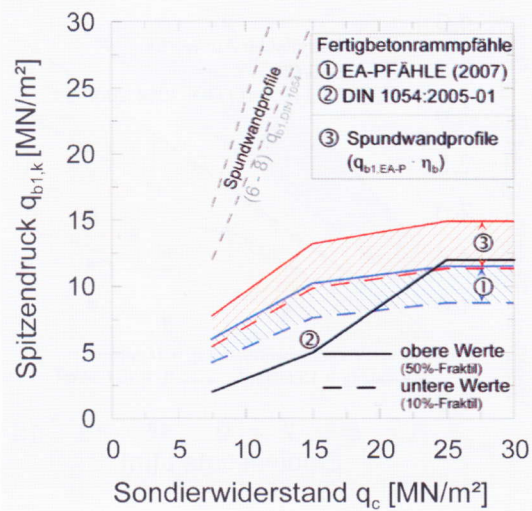


Bild 8. Charakteristische Erfahrungswerte für Spitzendruck $q_{b1,k}$ von Spundwandprofilen in nichtbindigen Böden.

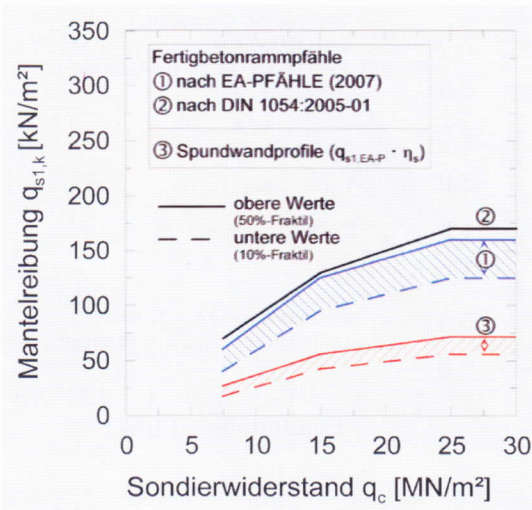


Bild 9. Charakteristische Erfahrungswerte für Mantelreibung $q_{s1,k}$ von Spundwandprofilen in nichtbindigen Böden.

Tabelle 6. Querschnittswerte der Spundwandprofile (Doppelbohlen).

Profil	b [m]	h [m]	$A_{b,S}$ [m²]	U [m]	α [°]	κ
Hoesch 1200	1,15	0,26	0,016	2,98	50	0,40
Larssen 703K	1,40	0,40	0,018	3,51	46	0,34

reine Stahlquerschnittsfläche unter Berücksichtigung des Anpassungsfaktors $\eta_b = 1,3$ einen Ausnutzungsgrad der umrissenen Fußfläche von $\kappa = 0,04$, das heißt die maßgebende Höhe beträgt in etwa $h^* = \kappa \cdot h = 1,7 \text{ cm}$. Nach EAU (2004) ergibt sich unter Berücksichtigung einer sechsfach erhöhten Stahlquerschnittsfläche ein Ausnutzungsgrad von $\kappa = 0,25$ mit einer maßgebenden Höhe $h^* = 10,2 \text{ cm}$. Eine Erhöhung der Stahlquerschnittsfläche um den Faktor 8 führt bei diesem Profil sogar zum gleichen Ausnutzungsgrad mit $\kappa = 0,34$, wie nach EAB (2006) unter Berücksichtigung des Stegwinkels α .

Für die Vergleichsberechnung werden keine Auswirkungen von horizontalen Beanspruchungen berücksichtigt, sodass die vertikale Beanspruchung und entsprechende Relativverschiebungen für die

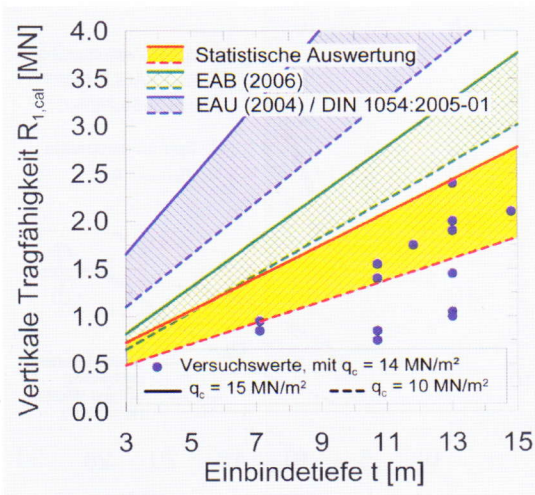


Bild 10. Vertikale Tragfähigkeit von Spundwandprofilen (Hoesch 1200).

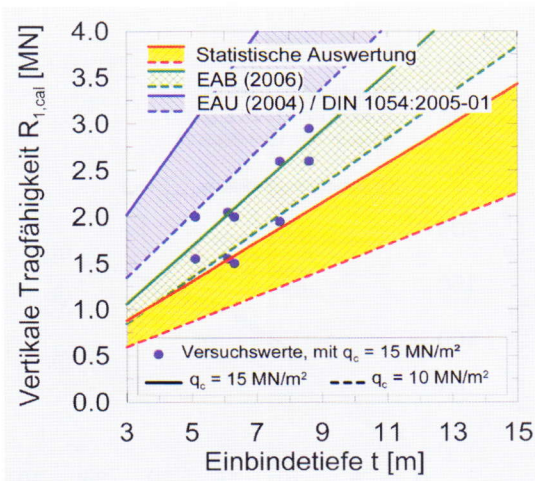


Bild 11. Vertikale Tragfähigkeit von Spundwandprofilen (Larssen 703K).

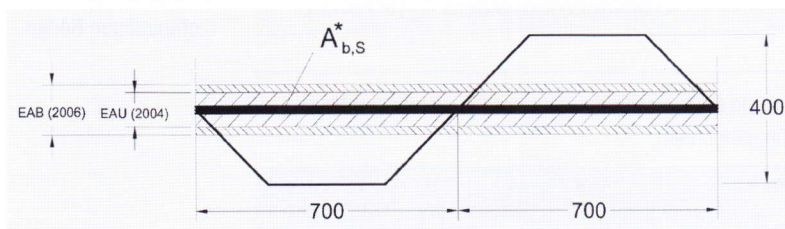


Bild 12. Wirksame Aufstandsflächen für das Profil Larssen 703K.

Ermittlung der vertikalen Tragfähigkeit aus Erfahrungswerten maßgebend sind. Daher wird die Mantelreibung idealerweise auf beiden Profilsteiten analog zu einer Pfahlgründung über die gesamte Einbindetiefe angesetzt.

Die Berechnung der Tragfähigkeit mit dem empirischen Berechnungsverfahren nach EAU (2004) in Verbindung mit den Erfahrungswerten nach DIN 1054:2005-01 liefert im Vergleich zu den statistisch abgeleiteten und den Werten nach EAB (2006) die größten Abweichungen zu den Messergebnissen.

Die empirisch abgeleiteten vertikalen Tragfähigkeiten von Spundwandprofilen aus Erfahrungswerten, die für die Vergleichsberechnung auf der Grundlage eines homogenen Bodens ermittelt wurden, weisen für das 50%-Fraktile im direkten Vergleich mit den Ergebnissen der Probelastungen unter Berücksichtigung eines gemittelten Sondierwiderstands gute Übereinstimmungen auf.

Hinsichtlich der Größe der vertikalen Widerstandskräfte und der Nachweisverfahren wird empfohlen, bei künftiger Überarbeitung von EAU und EAB die Verfahren anzugleichen.

Zusammenfassung und Danksagung

Die durchgeführten Untersuchungen liefern vorläufige Spannen von Erfahrungswerten für den Spitzendruck und die Mantelreibung für Spundwandprofile aus dem norddeutschen Bereich in Abhängigkeit der Festigkeit nichtbindiger Böden.

Es besteht bezüglich des Tragverhaltens der Spundwandprofile und insbesondere der Entstehung von Verspannungseffekten bei Spundwänden abhängig von der Profilform noch ein wesentlicher Forschungsbedarf, der mit der vorliegenden statistischen Analyse von überwiegend dynamischen Probelastungen zunächst nicht abzudecken ist. Dazu werden derzeit weitere Untersuchungen durchgeführt. Die Autoren bitten die Fachwelt, ihnen vorliegende Probelastungsergebnisse an Spundwänden zur Verfügung zu stellen. Insofern wird empfohlen, die hier abgeleiteten Tragfähigkeitswerte zunächst nur als eine von mehreren Möglichkeiten vergleichend anzuwenden und damit weitere Erfahrungen zu sammeln.

Die Verfasser bedanken sich bei der Hamburg Port Authority für die zur Verfügung gestellten Probelastungsergebnisse und die finanzielle Unterstützung.

Quellennachweis

EAB (2006): *Empfehlungen des Arbeitskreises „Baugruben“ EAB*. Ernst & Sohn Verlag, Berlin, 4. Auflage.

EA-PFÄHLE (2007): *Empfehlungen des Arbeitskreises „Pfähle“ EA-Pfähle*. Ernst & Sohn Verlag, Berlin.

EAU (2004): *Empfehlungen des Arbeitskreises „Ufer-einfassungen“ Häfen und Wasserstraßen*. Ernst & Sohn Verlag, Berlin, 10. Auflage.

KEMPFERT, H.-G.; BECKER, P. (2005): *Ableitung von Spitzenwiderstand und Mantelreibung vertikal belasteter Spundwände und Großrohrpfähle für die Anwendung im Hafengebiet*. Forschungsbericht im Auftrag der Hamburg Port Authority, Hamburg, unveröffentlicht.

KEMPFERT, H.-G.; BECKER, P. (2007): *Grundlagen und Ergebnisse der Ableitung von axialen Pfahlwiderständen aus Erfahrungswerten für die EA-Pfähle*. Bautechnik 84, Heft 7, S. 441-449.

RADOMSKI, H. (1968): *Untersuchungen über den Einfluss der Querschnittsform wellenförmiger Spundwände auf die statischen und rammtechnischen Eigenschaften*. Mitteilungen des Instituts für Wasserwirtschaft, Grundbau und Wasserbau der Universität Stuttgart, Heft 10.

WEIßENBACH, A. (1977): *Baugruben, Teil III: Berechnungsverfahren*. Ernst & Sohn Verlag, Berlin.

WITZEL, M. (2004): *Zur Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit von vorgefertigten Verdrängungspfählen in bindigen und nichtbindigen Böden*. Schriftenreihe Geotechnik, Universität Kassel, Heft 15.