

# Probekapitel

*Grundbau-Taschenbuch, 7. Auflage*

*Teil 3: Gründungen und geotechnische Bauwerke*

Herausgeber: Karl Josef Witt

Copyright © 2009 Ernst & Sohn, Berlin

ISBN: 978-3-433-01846-0

---

7. Auflage



## GRUNDBAU-TASCHENBUCH

Teil 3: Gründungen und geotechnische Bauwerke

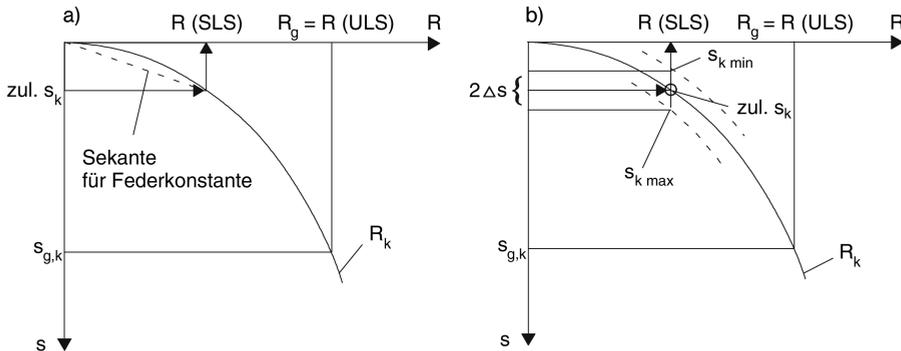
Karl Josef Witt (Hrsg.)

 **Ernst & Sohn**  
A Wiley Company

---

Wilhelm Ernst & Sohn  
Verlag für Architektur und  
technische Wissenschaften  
GmbH & Co. KG  
Rotherstraße 21, 10245 Berlin  
Deutschland  
[www.ernst-und-sohn.de](http://www.ernst-und-sohn.de)

 **Ernst & Sohn**  
A Wiley Company



**Bild 94.** Ableitung der Pfahlwiderstände  $R$ (SLS) im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit abhängig davon, ob geringe oder erhebliche Setzungsunterschiede zu erwarten sind (nach [39]); a) bei zu erwartenden geringen Setzungsunterschieden zwischen den Pfählen oder Pfahlgruppen, b) bei zu erwartenden erheblichen Setzungsunterschieden zwischen den Pfählen oder Pfahlgruppen

abgeschätzt werden. Der Faktor  $\chi$  ist abhängig von der Pfahlherstellung, der Baugrundsichtung und der Stellung der Pfähle innerhalb der Gründung. Ein Anhaltswert könnte für eine erste Abschätzung  $\chi = 0,15$  sein, wenn keine weitergehenden Untersuchungen erfolgen.

Die Ermittlung der Pfahlgruppensetzung im Gebrauchszustand und ergänzende Untersuchungen können nach Abschnitt 8.1 vorgenommen werden. Für die Rückwirkung der Einzelpfähle innerhalb der Gruppe auf die aufgehende Konstruktion empfiehlt es sich, das Setzungsverhalten der Pfähle mit Federkonstanten zu beschreiben, die aus der Sekante für den voraussichtlich maßgebenden Belastungsbereich an der WSL der Einzelpfähle abzuleiten sind (Bild 94 a). Weitergehende Hinweise mit Beispielen finden sich in [39].

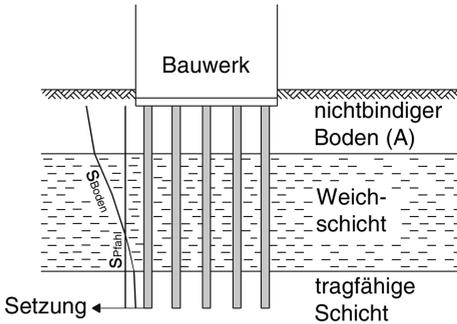
## 6 Einwirkungen auf Pfähle aus dem Baugrund

### 6.1 Negative Mantelreibung

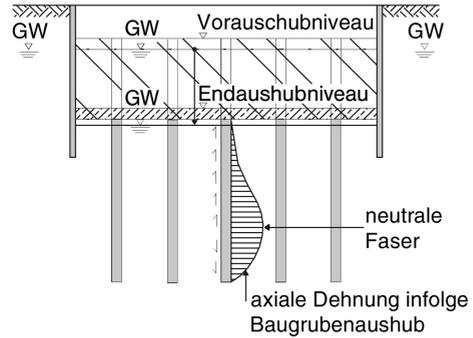
#### 6.1.1 Ursachen und Wirkungsweise

Positive Mantelreibung (s. Abschn. 3) infolge der Relativverschiebung aus größerer Pfahlsetzung gegenüber der Setzung des umgebenden Bodens bewirkt einen Pfahlmantelwiderstand  $R_s$ . Demgegenüber führt eine größere Setzung des Bodens in Relation zur Pfahlsetzung zu einer negativen Mantelreibung  $\tau_n$ , die integriert über die davon betroffene Pfahlmantelfläche eine zusätzliche Längskraftbeanspruchung  $F_n$  aus negativer Mantelreibung auf den Pfahl bewirkt. Negative Mantelreibung tritt bei Pfahlgründungen durch weiche, bindige Schichten auf, insbesondere wenn durch eine nachträgliche Aufschüttung im Gelände oder durch eine Grundwasserabsenkung mit einer Setzung dieser Schichten zu rechnen ist (Bild 95). Nach [45] kann negative Mantelreibung bei sensitiven Tonen auch allein durch die Störung des Bodengefüges beim Rammvorgang und die nachfolgende Rekonsolidierung beim Abbau des Porenwasserüberdruckes verursacht werden.

Negative Mantelreibung kann auch infolge Hebungen des Bodens in der Pfahlumgebung bei Zugpfählen eintreten, z. B. Bild 96.



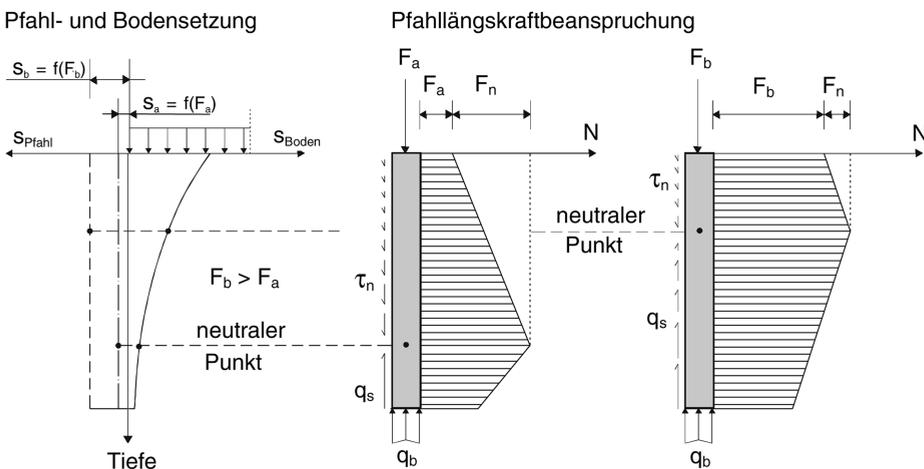
**Bild 95.** Randbedingungen bei der Entwicklung negativer Mantelreibung infolge einer nichtbindigen Auffüllung (A)



**Bild 96.** Beispiel zur Beanspruchung von Pfählen durch Hebungen des Bodens in der Pfahlumgebung, hier infolge nachfolgendem Baugrubenaushub (nach [119])

Die Einwirkungen aus negativer Mantelreibung stehen zusammen mit den Einwirkungen auf die Pfähle aus dem Bauwerk und den Pfahlwiderständen abhängig von den Setzungen im Gleichgewicht. Bild 97 zeigt diesen Zusammenhang für zwei Fälle:

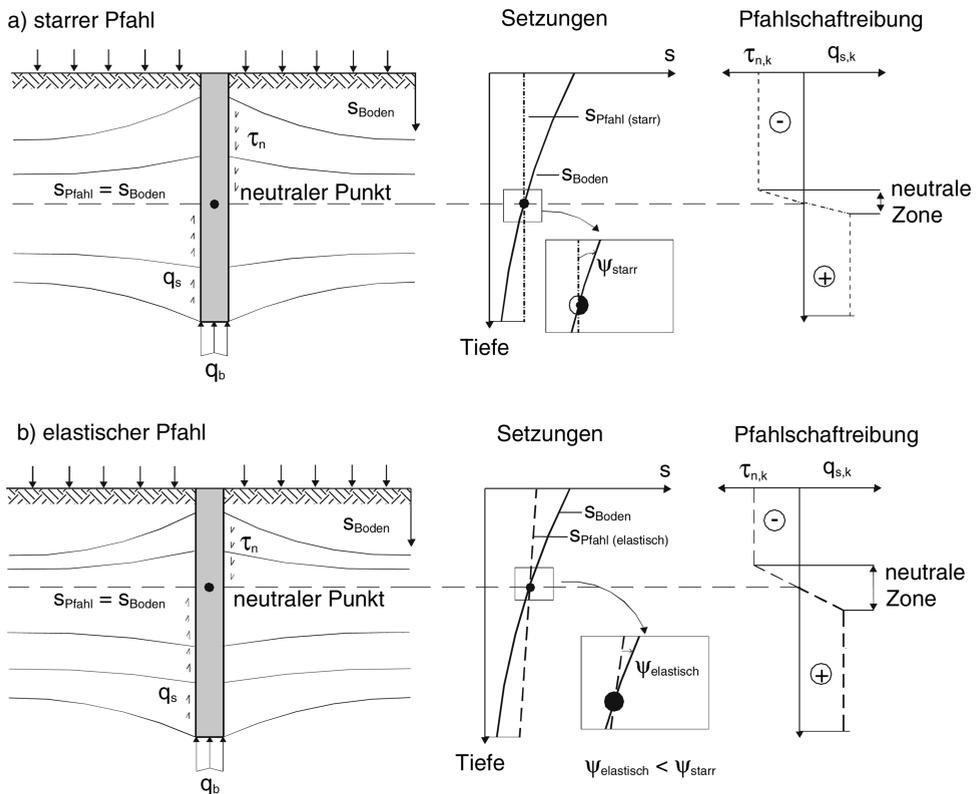
- Bei geringen Beanspruchungen  $F_a$  aus den Bauwerkslasten und damit geringer Pfahlsetzung  $s_a$  und größerem Beanspruchungsanteil  $F_n$  aus negativer Mantelreibung reicht der Einfluss von  $\tau_n$  tief.
- Umgekehrt führt ein großer Beanspruchungsanteil  $F_b$  aus den Bauwerkslasten zu größeren Pfahlsetzungen und damit infolge der Relativverschiebung zwischen Boden und Pfahl bald zur Aktivierung der positiven Mantelreibung  $q_s$ .



**Bild 97.** Qualitative Zusammenhänge zwischen Pfahlwiderständen und Beanspruchungen aus Bauwerkslasten und negativer Mantelreibung bei homogenem Baugrund und Definition des neutralen Punktes. Hinweis: Dargestellt ist die Änderung der axialen Pfahlbeanspruchung (nach [77])

Gemäß Bild 97 wird die Grenze zwischen positiver und negativer Mantelreibung als neutraler Punkt bezeichnet. In [45] wird diese neutrale Ebene als eine Übergangszone von negativer und positiver Mantelreibung aufgefasst, wobei der Wechsel der Scherbeanspruchung als linear angenommen wird. Innerhalb dieser Übergangszone ist demnach die Mantelreibung nicht voll mobilisiert. Die Länge der „Zone der neutralen Ebene“ ist von der Relativverschiebung zwischen Pfahl und Boden, d. h. dem Schnittwinkel zwischen den Setzungskurven von Pfahl und Boden abhängig (Bild 98). Je geringer der Winkel zwischen den sich schneidenden Setzungskurven ist, desto größer ist die Übergangszone von negativer zu positiver Mantelreibung. Der neutrale Punkt liegt bei Spitzendruckpfählen in der Nähe des Pfahlfußes, wo die Setzung des umgebenden Bodens nicht mehr die volle Reibung mobilisieren kann. Für einen langen Reibungspfahl liegt der neutrale Punkt dagegen etwas oberhalb der Pfahlmitte, wo die Setzungen von Boden und Pfahl gleich groß sind.

Der neutrale Punkt spielt beim Tragverhalten des Pfahls und der Pfahlbemessung bei Vorhandensein von negativer Mantelreibung eine zentrale Rolle. Die größte Beanspruchung des Pfahls in axialer Richtung tritt jeweils im neutralen Punkt auf, da hier die Einwirkungen aus Bauwerkslasten durch die ebenfalls nach unten gerichteten Einwirkungen aus negativer Mantelreibung erhöht werden und bis zu diesem Punkt keine Lastabtragung in den Boden



**Bild 98.** Modellvorstellung zur negativen Mantelreibung und Aktivierung der Pfahlschaftreibung in Abhängigkeit des Schnittwinkels  $\psi$  der Setzungskurven bei einem a) starren Pfahl und einem b) elastischen Pfahl (nach [45], aus [78])

stattfindet. Somit kann kein Pfahlwiderstand mobilisiert werden. Weiterhin stimmen die Setzungen des Pfahls mit den Setzungen des umgebenden Bodens im neutralen Punkt überein. Dadurch ist die negative Mantelreibung in erster Linie ein Setzungsproblem. Die Einwirkung aus der negativen Mantelreibung auf den Pfahl erhöht dagegen den äußeren Pfahlwiderstand bei entsprechenden Setzungen. So führt eine zusätzlich auf den Pfahl aufgebrauchte Einwirkung aus Bauwerkslasten zunächst nicht zu einer Erhöhung des Pfahlfußwiderstandes, sondern reduziert die negative Mantelreibung. Umgekehrt bedeutet dies, dass die negative Mantelreibung aufgrund dieser Reduktion eine Tragreserve für den äußeren Pfahlwiderstand darstellt, ähnlich einer Vorspannung des Bodens. Damit sind Einwirkungen aus negativer Mantelreibung überwiegend nur im Gebrauchslastbereich maßgebend (s. Abschn. 6.1.5).

Nach DIN 1054 bzw. EC 7-1 ist die negative Mantelreibung bei Pfahlgründungen eindeutig als eine ständige Einwirkung definiert, die zu einer zusätzlichen Beanspruchungskomponente  $F_n$  auf die Pfähle führt. Eine zutreffende Einschätzung von  $\tau_{n,k}$  am Pfahl erfordert die Angabe von

- den Pfahlsetzungen über die Tiefe,
- den Setzungen der Bodenschichten über die Tiefe,
- den Relativverschiebungen und
- ggf. Mobilisierungsfunktionen von  $\tau_{n,k}$  und  $q_{s,k}$ .

Dabei sind im Wesentlichen zwei Ansätze zur Ableitung der charakteristischen negativen Mantelreibung  $\tau_{n,k}$  zu berücksichtigen:

- Mit effektiven Spannungen für nichtbindige und bindige Böden:

$$\tau_{n,k} = K_0 \cdot \tan \varphi'_k \cdot \sigma'_v = \beta_n \cdot \sigma' \quad (71)$$

mit

$\sigma'_v$  effektive Vertikalspannung

$K_0$  Erdruhedruckbeiwert

$\varphi'_k$  charakteristischer Wert des Reibungswinkels der nichtbindigen und bindigen Schichten

$\beta_n$  Faktor zur Festlegung der Größe der charakteristischen negativen Mantelreibung für nichtbindige und bindige Böden

Zur Größenordnung des Faktors  $\beta_n$  nach Angaben in der Literatur siehe Abschnitt 6.1.2. Häufig wird für nichtbindige Böden  $\beta_n = 0,25$  bis  $0,30$  verwendet.

- Mit totalen Spannungen für bindige Böden:

$$\tau_{n,k} = \alpha_n \cdot c_{u,k} \quad (72)$$

mit

$\alpha_n$  Faktor zur Festlegung der Größe der charakteristischen negativen Mantelreibung für bindige Böden

$c_{u,k}$  charakteristischer Wert der Scherfestigkeit des undränierten Bodens

Zur Größenordnung des Faktors  $\alpha_n$  aus der Literatur siehe Abschnitt 6.1.3, wobei in der DIN 1054 näherungsweise  $\alpha_n = 1$  gesetzt wird und diese Beziehung dort generell für bindige Böden empfohlen wird.

Wenn die Pfähle einer Pfahlgruppe eng stehen, tritt eine Art Gruppenwirkung ein, die die negative Mantelreibung abmindern kann. Hinweise dazu finden sich z. B. in [6, 49].

**Tabelle 37.** Ausgewählte  $\beta_n$ -Werte für die Berechnung der negativen Mantelreibung mit effektiven Spannungen

Bodenart	$\beta_n$	Quelle	Bemerkung
Schluff magerer Ton mittlerer Ton fetter Ton	0,25 0,20 0,15 0,10	[49]	für Einzelpfähle, empirische Ermittlung
gebrochener Fels Sand, Kies Schluff Ton, normalkonsolidiert, $w_L \leq 50\%$ Ton, normalkonsolidiert, $w_L > 50\%$	0,40 0,35 0,30 0,30 0,20	[89]	für einen Einzelpfahl bei Setzungsraten von ca. 10 mm/Jahr
Kaolin	0,18	[158]	aus Modellversuchen an einem vertikalen Einzelpfahl
weicher Ton	0,24–0,29 0,20	[22]	nach Messungen an Stahlpfehl
organische Böden	0,10–0,15 (0,20) 0,15 0,20  0,15		Bohr- (Ramppfähle) Stahlrammpfähle, offen Stahlrammpfahl, geschlossene Spitze Bohrpfahl
bei Pfahlschaftummantelung: – Bitumen – Betonitsuspension	0,02 0,05		

**Tabelle 38.** Ausgewählte  $\alpha_n$ -Werte für die Berechnung der negativen Mantelreibung mit totalen Spannungen

Bodenart	$\alpha_n$	Quelle	Bemerkung
sandiger Schluff	0,50–1,70 0,65–1,60 0,50–1,30	[43]	Spitzendruckpfahl geneigter Spitzendruckpfahl Reibungspfahl
schluffiger Ton	0,27–2,13 0,40–0,50	[104]	Spitzendruckmodellpfahl Feldmessung
Ton	0,17–0,22 0,40–0,61	[134] [45]	Modellpfähle Feldversuch
Londoner Ton	0,65–0,85 0,50–0,60 0,30	[167] [22]	lange/kurze Bohrpfähle Presspfähle Feldversuche
Ton	1,00	[4]	Ramppfähle
weiche Tone ( $c_{u,k} = 50 \text{ kN/m}^2$ )	0,50/0,80/1,00	[19]	Holzpfähle Bohrpfähle Stahlrohrpfähle
Torf	0,42 1,00	[30] [182]	Feldmessung Holzpfähle
–	0,30–1,50	[19]	statistische Auswertung

Führt die negative Mantelreibung zu einer Überbeanspruchung der Pfähle oder wird dadurch eine hohe zusätzliche Pfahlanzahl erforderlich, so kann die negative Mantelreibung auch durch konstruktive Maßnahmen vermindert oder abgeschirmt werden. Im Wesentlichen sind dies die Pfahlschaftbeschichtungen, z. B. durch Bitumen oder die Verwendung von Hülse.

### 6.1.2 Zum Faktor $\beta_n$ aus der Literatur

In der Literatur finden sich umfangreiche Angaben zum Faktor  $\beta_n$  nach Gl. (71) zur Abschätzung der Größe der negativen Mantelreibung mit effektiven Spannungen. Tabelle 37 enthält dazu eine Auswahl.

### 6.1.3 Zum Faktor $\alpha_n$ aus der Literatur

Tabelle 38 enthält eine Auswahl von Literaturangaben zum Faktor  $\alpha_n$  zur Abschätzung der Größe der negativen Mantelreibung mit totalen Spannungen.

### 6.1.4 Ergebnisse von Großversuchen und Bauwerksmessungen

In der Literatur gibt es auch Auswertungen der negativen Mantelreibung aus Großversuchen bzw. Bauwerksmessungen. Nachfolgend ist dazu eine Auswahl in Form der jeweils resultierenden negativen Mantelreibungsspannungen bzw. Mantelreibungskräfte tabellarisch zusammengestellt. Die Versuchsdetails können der genannten Literatur entnommen werden. Die Mantelreibung  $\tau_n$  wurde dabei in der Regel aus der Pfahlkraftmessung gemittelt zurückgerechnet.

**Tabelle 39.** Zusammenstellung von Ergebnissen aus Großversuchen und Bauwerksmessungen

Pfahlart (Bez.) <sup>1)</sup>	Geometrie		Bodenart	$\tau_n$ [kN/m <sup>2</sup> ]	Quelle	Bemerkung
	Länge [m]	Ø [m]				
SRP, SP	50,00	0,42	weicher Ton, Sand	14	[29]	zeitliche Entwicklung der Mantelreibung durch Konsolidation unter Bodenauflast, Auswirkungen einer Bitumenummantelung
SRP, R	40,00	0,42	weicher Ton	14		
BP, SP	57,70	0,32	Schluff, Ton, Sand	20	[45]	Langzeitmessungen; Mantelreibung hervorgerufen durch natürliche Geländesetzung
BP, SP	59,80	0,32		18		
BP, R	30,50	0,48	Ton	12	[4]	Mantelreibung in Abhängigkeit des Grundwasserpegels; Langzeitmessungen über > 4 Jahre
BP, SP	32,00		Ton, Sand	13		
SRP, R	49,00	0,30	mariner Ton	82	[14]	Entwicklung der Mantelreibung hervorgerufen durch große Oberflächensetzungen unter einer Dammschüttung
SRP, SP	43,00	0,61	Schluff, schluffiger Sand, Sand	191	[43]	Mantelreibungsentwicklung durch Geländesetzung, die durch Grundwassergewinnung hervorgerufen wird; Vergleich offener, geschlossener und geneigter Pfähle
SRP, SP	43,00	0,61		139		
SRP, SP	43,00	0,61		97		
SRP, R	31,00	0,61	Schluff, Sand	89		

Tabelle 39. (Fortsetzung)

Pfährlart (Bez.) <sup>1)</sup>	Geometrie		Bodenart	$\tau_n$ [kN/m <sup>2</sup> ]	Quelle	Bemerkung
	Länge [m]	Ø [m]				
HRP, SP	15,52	0,37	Torf, Wiesenkalk, Faulschlamm, Sand	25–32	[182]	Druck- und Zugversuche, Rückrechnung der Mantel- reibung
HRP, R	12,35	0,42		23–27		
HRP, SP	19,54	0,36		28–38		
SRP	5,80	0,61	Sand- auffüllung	37	[165]	Messung an Pfählen in einer Kaianlage, wobei den Pfählen keine Bauwerklast zugewiesen wurden; negative Mantel- reibung durch Geländesetzung hervorgerufen
SRP	15,30	0,61	Sand- auffüllung, Klei, Sand	37		
BP	25,00	0,40	weicher – steifer Ton	17	[67]	Untersuchung der Wirksamkeit einer Bitumenummantelung zur Verringerung der negativen Mantelreibung, die durch Kon- solidation hervorgerufen wurde
BP, Bitumen- umman- telung	25,00	0,40		4		
BP	26,00	0,36	schluffige Tone	28	[101]	u. a. 1,5 Jahre Beobachtung der Zunahme der negativen Mantelreibung mit Abnahme des Porenwasserüberdrucks

<sup>1)</sup> Es bedeuten: SRP = Stahlrammpfahl, SP = Spitzendruckpfahl, HRP = Holzrammpfahl,  
BP = Bohrpfahl, R = Reibungspfahl

### 6.1.5 Berücksichtigung der negativen Mantelreibung bei Trag- und Gebrauchstauglichkeitsnachweisen

Eine nichtbindige Auffüllung über einer Weichschicht kann rechnerisch zu sehr großen Pfahlbeanspruchungen aus negativer Mantelreibung führen, daher sollte die resultierende charakteristische Beanspruchung nicht größer als das Gewicht dieser Schicht angesetzt werden. Diese Regelung ist aber nur sinnvoll für in einer Gruppe eng stehende Pfähle. In der Literatur finden sich weitere Angaben zu Pfahlgruppen, die allerdings wenig einheitlich sind.

DIN 1054 führt aus, dass die negative Mantelreibung  $\tau_{n,k}$  nicht größer zu erwarten ist als eine positive Mantelreibung  $q_{s,k}$  in vergleichbaren Baugrundsichten.

Für die Bestimmung der Tiefenlage des neutralen Punktes im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit und somit der Größe der charakteristischen Einwirkung  $F_{n,k}$ (SLS) wird empfohlen:

- die Verformungen des den Pfahl umgebenden Bodens, in der Regel für den Endzustand, also unter Berücksichtigung von Konsolidations- und Kriechverformungen  $s_n$ , mit charakteristischen Größen zu bestimmen.

Im Grenzzustand der Tragfähigkeit wird folgendes Vorgehen zur Ermittlung des neutralen Punktes und somit der Größe der charakteristischen Einwirkung  $F_{n,k}$ (ULS) empfohlen:

- Festlegung der Setzung  $s_g$  des Pfahls im Grenzzustand der Tragfähigkeit mit  $s_g = 0,10 \cdot D_b$ , sofern nicht genauere Setzungsangaben, z. B. aus Pfahlprobelastungen vorliegen. Bei anderen Pfahlgeometrien im Querschnitt sollte ein Ersatzdurchmesser angesetzt werden.

Ein Verformungsvergleich von  $s(\text{SLS})$  bzw.  $s(\text{ULS}) = s_g$  mit den Setzungen der umgebenden Weichschichten  $s_n$  ergibt die jeweilige Lage des neutralen Punktes. Die abgeschätzten Setzungen der Pfähle im Grenzzustand der Tragfähigkeit treten in Wirklichkeit unter den tatsächlich wirkenden Lasten (charakteristische Einwirkungen) nicht auf. Die Nachweisführung in diesem Grenzzustand erfolgt somit auf Grundlage eines fiktiven Verformungszustandes.

Die Bemessungsgrößen ergeben sich aus Multiplikation der charakteristischen Einwirkung aus negativer Mantelreibung zu

$$F_{n,d} = F_{n,k} \cdot \gamma_G \quad (73)$$

In der Regel können aber Einwirkungen aus negativer Mantelreibung keinen echten äußeren Grenzzustand der Tragfähigkeit hervorrufen.

Für den Materialnachweis des Pfahlbaustoffs (innere Pfahltragfähigkeit) ist die Mantelreibung i. d. R. für die Einwirkungskombination aus dem Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit der Pfähle mit  $F_{n,k}(\text{SLS})$  zu berücksichtigen (ungünstigste Beanspruchung).

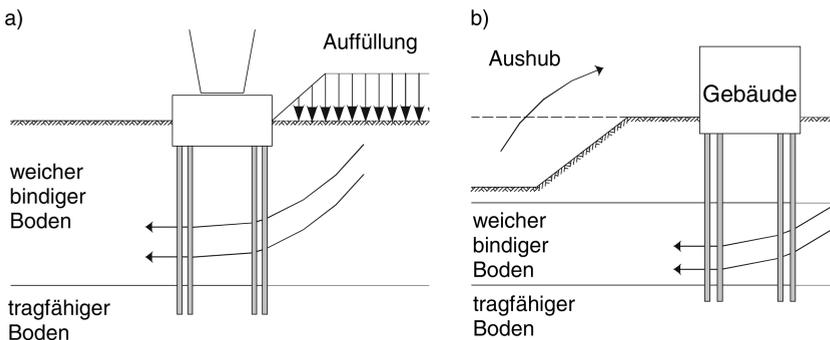
Weitere Hinweise und Berechnungsbeispiele siehe [39].

## 6.2 Seitendruck

Infolge von Bodenbewegungen von weichen Bodenschichten ergeben sich Einwirkungen auf Vertikalpfähle, die durch die waagerechten Bodenbewegungen auf Biegung beansprucht werden. Beispiele für diese Einwirkungsform zeigt Bild 99. Seitendruck auf Pfähle tritt häufig auch bei der Hinterfüllung von Brückenwiderlagern auf Pfählen auf. Die Größe der Einwirkung hängt hierbei u. a. vom Betrag der Bodenbewegung als auch von der Steifigkeit der Pfähle ab.

Unabhängig von der Baugrundsichtung können Seitendruckbeanspruchungen auf die Pfähle vorhanden sein, wenn die Pfähle

- in einer Böschung stehen oder
- einen Geländesprung als Gründungselemente stützen.



**Bild 99.** Beispiele für die Ausbildung von Seitendruck auf Pfähle; a) resultierend aus einer Aufschüttung, b) resultierend aus einem Aushub



**Tabelle 40.** Grenzwerte für den Ausnutzungsgrad des Bemessungswiderstandes  $\mu$  der Standsicherheit nach DIN 4084 (nach [39])

$\mu$	Weiche Bodenschichten, die ggf. einen Seitendruck auf Pfähle bewirken können
0,80	bindige Böden, insbesondere normal- oder leicht überkonsolidiert mit weicher oder noch ungünstigerer Konsistenz
0,75	stark organische Böden mit $V_{gl} > 15\%$ und $w > 75\%$ , z.B. Klei, Torf usw.

Die neue DIN 4084 gibt im Abschnitt „Begrenzung der Verformung von Böschungen und Geländesprüngen“ bei sehr verformungsanfälligen weichen Böden an, dass allgemein ein Ausnutzungsgrad von  $\mu \leq 0,67$  einzuhalten ist, um Verformungen zu begrenzen.

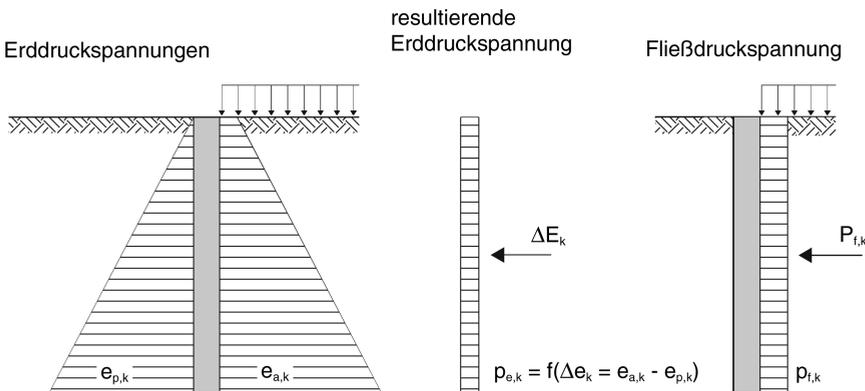
Ist eine Pfahlbemessung auf Seitendruck erforderlich, so sind bei der Ermittlung der Einwirkung durch waagerechte Bodenbewegungen i. Allg. zwei Grenzfälle zu betrachten:

- Der charakteristische Fließdruck  $p_{f,k}$ .
- Der charakteristische resultierende Erddruck  $\Delta e_k$ .

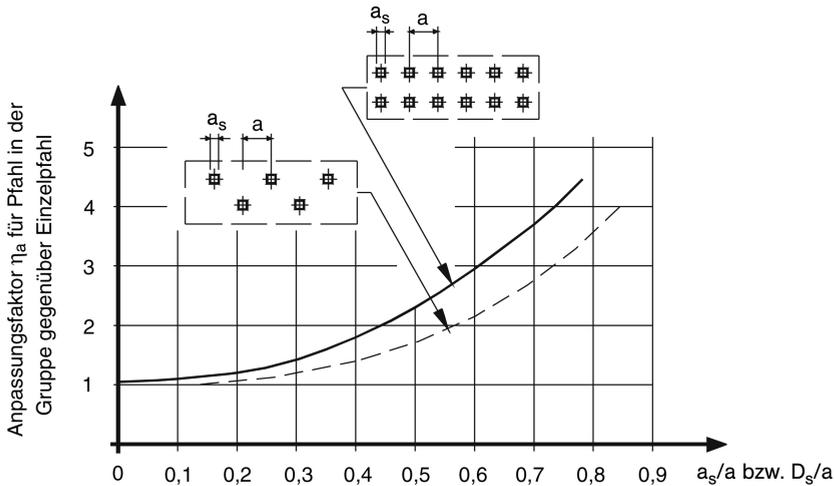
Maßgebend ist der sich ergebende jeweils kleinere Seitendruck auf die Pfähle, wobei die Beanspruchung aus der Fließdrucklast  $P_{f,k}$  und der resultierenden Erddrucklast  $\Delta E_k$  jeweils über die gesamte Einwirkungshöhe zu bestimmen sind (Bild 101). Grundsätzlich ist für jeden Pfahl das Minimum der Gesamteinwirkung als Einwirkungskraft maßgebend, auch wenn einer der im vorherigen Absatz genannten Seitendrucke in Teilabschnitten des Pfahls geringer als der jeweils andere ist.

(a) Ermittlung der charakteristischen Einwirkung aus Fließdruck

Es wird davon ausgegangen, dass die Scherfestigkeit des Bodens ausgeschöpft ist und der plastifizierte Boden den Pfahl umfließt, was näherungsweise bei Verformungswegen von etwa 10% des Pfahldurchmessers angenommen werden kann.



**Bild 101.** Maßgebliche Gesamtbeanspruchung aus resultierendem Erddruck und Fließdruck bei homogenen Baugrund mit  $\varphi_{u,k} = 0$  und  $c_{u,k}$  (Beispiel)



**Bild 102.** Anpassungsfaktor  $\eta_a$  aus dem Verbauverhältnis (nach [183])

Die Größe der charakteristischen Einwirkung aus Fließdruck quer zur Pfahlachse als Linienlast auf den Einzelpfahl beträgt nach [188]:

$$p_{f,k} = \eta_a \cdot 7 \cdot c_{u,k} \cdot a_s \quad \text{bzw.} \quad \eta_a \cdot 7 \cdot c_{u,k} \cdot D_s \quad [\text{kN/m}] \quad (74)$$

mit

$a_s$  Pfahlbreite bei quadratischem Querschnitt bzw.  $D_s$  = Pfahldurchmesser bei rundem Querschnitt senkrecht zur Fließrichtung

$\eta_a$  Anpassungsfaktor für das Verbauverhältnis nach Bild 102

In der Literatur werden anstatt des Faktors 7 auch Werte zwischen 3 und 10 genannt.

Bei Pfahlgruppen ist eine Modifikation des Fließdrucks entsprechend dem Verbauverhältnis nach Bild 102 vorzunehmen.

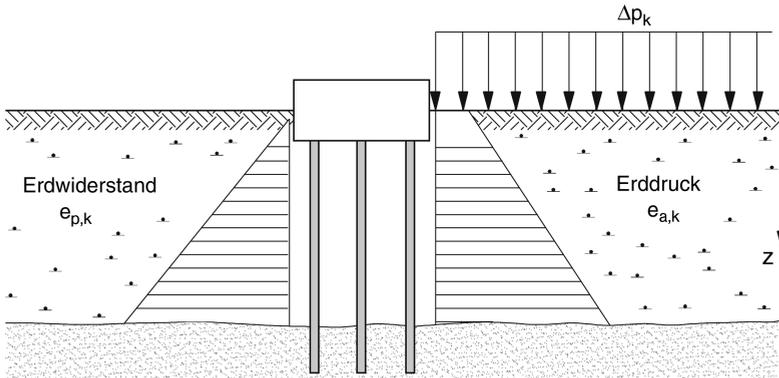
Bei Pfahlgruppen ist der Fließdruck nach Gl. (74) dabei auf jeden Einzelpfahl voll anzusetzen, es sei denn, die Pfähle stehen in Krafrichtung außergewöhnlich dicht hintereinander.

#### (b) Ermittlung der charakteristischen Einwirkung aus dem resultierenden Erddruck

Mit den folgenden Erddruckansätzen wird ein weiterer Grenzwert für die Seitendruckbeanspruchung erfasst, der keinen realen Deformationszustand zur Grundlage hat (Bild 103). Erddruck und Erdwiderstand werden für eine gedachte senkrechte Wand vor und hinter der Pfahlgruppe ermittelt. Dabei ist näherungsweise der Erddruckneigungswinkel  $\delta$  zu null zu setzen. Eine Abminderung der Erddruckbeanspruchung durch Abschirmung, z. B. durch rückwärtige horizontale Sporne oder überstehende Pfahlkopffplatten, ist nicht in Ansatz zu bringen. Die Erddruckanteile sind zunächst als ebener Erddruck zu ermitteln.

Der charakteristische resultierende Erddruck  $\Delta e_k$  errechnet sich aus der Differenz des aktiven Erddrucks  $e_{a,k}$  und des Erdwiderstandes  $e_{p,k}$  auf die fiktive senkrechte Wand.

$$\Delta e_k = e_{a,k} - e_{p,k} \quad (75)$$



**Bild 103.** System und Erddruckansatz

Die Berechnung des charakteristischen aktiven Erddrucks erfolgt entweder

- mit undrained Scherparametern für den Anfangszustand

$$e_{a,k} = \gamma \cdot z + \Delta p_k - 2 \cdot c_{u,k} \quad (76)$$

- mit effektiven Scherparametern für den Endzustand

$$e_{a,k} = (\gamma \cdot z + \Delta p_k) \cdot K_{agh} - 2 \cdot c'_k \cdot \sqrt{K_{agh}} \quad (77)$$

- oder bei teilkonsolidierten Zuständen mit

$$e_{a,k} = (\gamma \cdot z + U_c \cdot \Delta p_k) \cdot K_{agh} + (1 - U_c) \cdot \Delta p_k - 2 \cdot c'_k \cdot \sqrt{K_{agh}} \quad (78)$$

mit

$\Delta p_k$  Spannungen aus Auflast oder sonstigen Fließdruck erzeugenden Einwirkungen

$U_c$  Konsolidierungsgrad in den Weichschichten infolge  $\Delta p_k$

$\gamma$  Wichte des Bodens mit  $\gamma = \gamma_r$  über dem Grundwasserspiegel bei wassergesättigtem Boden und  $\gamma = \gamma'$  unter dem Grundwasserspiegel

Der charakteristische Erdwiderstand wird für alle Konsolidierungszustände näherungsweise zu

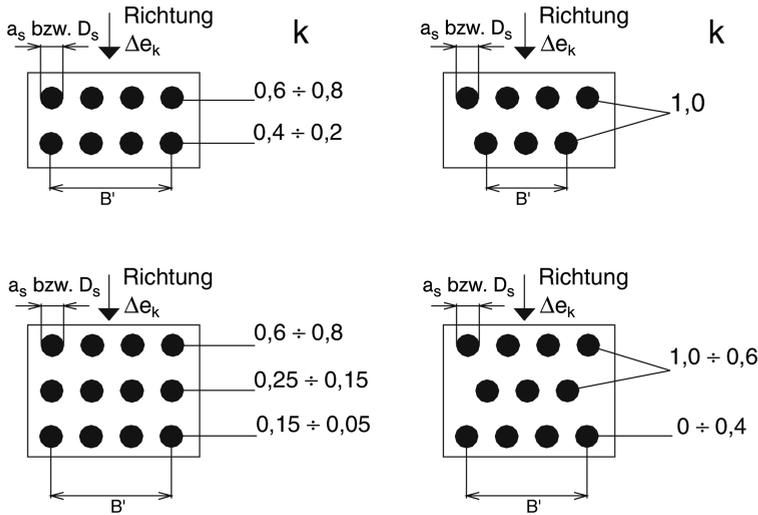
$$e_{p,k} = \gamma \cdot z \cdot K_{pgh} \quad (79)$$

unter Ansatz von  $K_{pgh} = 1,0$  ermittelt, um die Verformungsverträglichkeit zu gewährleisten.

Fällt die Geländeoberfläche auf der Seite des Ansatzes von Gl. (79) ab, so kann eine sinnvoll idealisierte, horizontale Geländeoberfläche bei der Berechnung des Erdwiderstandes angesetzt werden, von der ab die Ordinate  $z$  zählt. Die Größe der charakteristischen Einwirkung quer zur Pfahlachse als Linienlast auf den Einzelpfahl ergibt sich aus dem charakteristischen resultierenden Erddruck  $\Delta e_k$  und der Einflussbreite  $b_s$ .

$$p_{c,k} = b_s \cdot \Delta e_k \quad [\text{kN/m}] \quad (80)$$

Die Einflussbreite  $b_s$  von  $\Delta e_k$  auf den einzelnen Pfahl ist dabei nach [39] zu wählen als das Minimum aus einer der folgenden Bedingungen:



**Bild 104.** Beiwerte  $k$  zur Aufteilung des Seitendrucks auf eine Pfahlgruppe (nach [65])

- dem mittleren Pfahlabstand quer zur Krafrichtung nach Bild 102,
- der dreifachen Pfahlbreite  $a_s$  bzw. dem dreifachen Pfahldurchmesser  $D_s$ ,
- der Dicke der den Seitendruck erzeugenden Schicht,
- der gesamten Breite der Pfahlgruppe dividiert durch die Anzahl aller Pfähle.

Weiterhin sollte nach [65] überprüft werden, ob gegenüber Gl. (80) in einer Pfahlgruppe mit  $n_G$  Pfählen und Pfahlabständen  $< 4 \cdot a_s$  bzw.  $< 4 \cdot D_s$  die Beanspruchung auf den Einzelpfahl mit der Gleichung

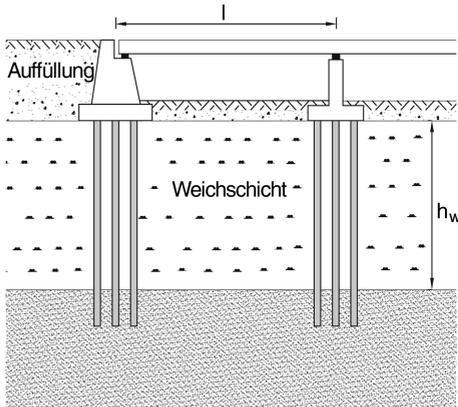
$$p_{e,k} = [(B' + 3 \cdot a_s) \cdot k \cdot \Delta e_k] / n_G \text{ bzw. } [(B' + 3 \cdot D_s) \cdot k \cdot \Delta e_k] / n_G \quad [\text{kN/m}] \quad (81)$$

größere Einwirkungen als nach Gl. (80) ergeben, die dann maßgebend sind. Die Bezeichnungen in Gl. (81) ergeben sich aus Bild 104.

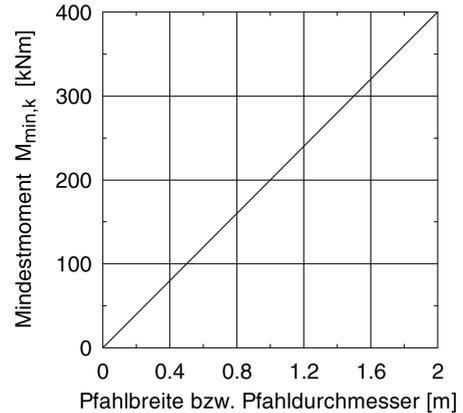
Stehen Pfähle oder eine Pfahlgruppe in einer größeren Entfernung  $l$  von der einen möglichen Seitendruck erzeugenden Einwirkung, z. B. einer Auffüllung nach Bild 105, so ist näherungsweise eine Seitendruckbeanspruchung auf diese Pfähle nach [65] zu berücksichtigen. Bei entfernt stehenden Pfählen darf die charakteristische Seitendruckbeanspruchung entsprechend Tabelle 41 und den Randbedingungen nach Bild 105 reduziert werden. Die Angaben in Tabelle 41 beziehen sich auf die jeweils in Wirkungsrichtung des Seitendrucks liegenden vorderen Pfähle, wobei vorausgesetzt wird, dass die Pfahlachsabstände  $a \leq 4 \cdot a_s$  bzw.  $a \leq 4 \cdot D_s$  sind.

**Tabelle 41.** Entfernungseinfluss auf die Größe der charakteristischen Seitendruckbeanspruchung (nach [65])

Abstand $l$ [m]	10 bis 15		25 bis 40	
Schichtdicke des weichen Bodens $h_w$ [m]	15–30	5–15	15–30	5–15
Reduktion des resultierenden Erddrucks auf %	10–20	5–15	5–15	5



**Bild 105.** Systemangaben zum Entfernungseinfluss



**Bild 106.** Charakteristische Mindestmomentenbeanspruchung (nach [65])

Sofern Seitendruck zu berücksichtigen ist, sollte für alle unmittelbar betroffenen bzw. auch für die entfernt stehenden Pfähle eine charakteristische Mindestmomentenbeanspruchung nach Bild 106 aus Seitendruck bei der Pfahlbemessung berücksichtigt werden.

Die Ermittlung der charakteristischen Beanspruchungen der Pfähle quer zur Pfahlachse aus Seitendruck kann z. B. als punktgelagerte Stäbe oder über das Bettungsmodulverfahren aus den ermittelten Einwirkungen  $p_{e,k}$  bzw.  $p_{f,k}$  erfolgen.

Die Bemessungsbeanspruchungen ergeben sich aus den charakteristischen Beanspruchungen mit dem maßgebenden Teilsicherheitsbeiwert für ständige Einwirkungen.

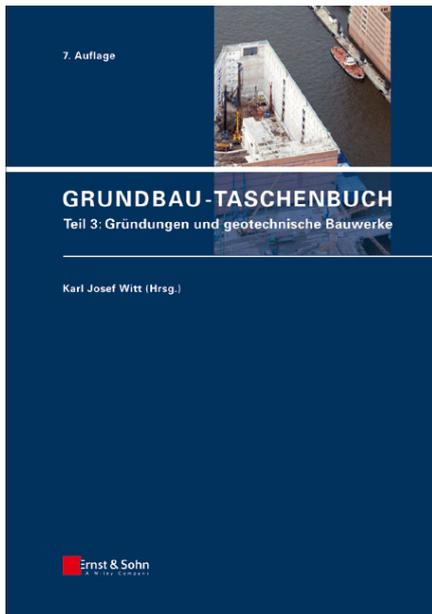
Zur Verminderung des Seitendrucks können folgende Maßnahmen ergriffen werden:

- Austausch oder Verbesserung des Untergrunds,
- Aufschüttungen vor dem Aufbringen der Pfähle,
- Vorbelastungen,
- Verringerung der Höhen der Geländesprünge,
- Gestalten von flachen Böschungen,
- Anordnung von Mantelpfählen, die Bodendeformationen vom eigentlichen Tragpfahl fernhalten.

### 6.3 Zusatzbeanspruchung von Schrägpfählen aus Baugrundverformung

Schrägpfähle, die in Bereichen mit setzungsempfindlichen Schichten erstellt wurden, werden oftmals im Zuge der Bauausführung von Geländeaufhöhungen oder anderen zusätzlichen Auflasten durch die eintretende Baugrundsetzung zwangsverformt. Diese Zwangsverformung bewirkt eine zusätzliche Beanspruchung des Schrägpfahls in Form von setzungsinduzierten Biegebeanspruchungen (Setzungsbiegung).

Setzungsbiegung von Schrägpfählen ist bei den Tragfähigkeitsnachweisen angemessen zu berücksichtigen. Hinweise zur Modellvorstellung und Nachweisführung wird in [88] gegeben.



Witt, K. J. (Hrsg.)

## Grundbau-Taschenbuch

### Teil 3: Gründungen und geotechnische Bauwerke 7., überarb. u. aktualis. Auflage

Das Grundbau -Taschenbuch ist das bekannteste und umfangreichste deutschsprachige Kompendium auf dem Gebiet der Geotechnik. Für die 7. Auflage wurde es unter einem neuen Herausgeber von zahlreichen neuen Autoren überarbeitet.

Der dritte Teil des Grundbau -Taschenbuches behandelt Gründungen und geotechnische Bauwerke. Die einzelnen Beiträge decken Flachgründungen mit ihren Sicherheitsnachweisen, Pfähle, Spundwände, Schlitzwände, Baugruben, Stützbauwerke und Maßnahmen zur Hangsicherung ab. Ebenso vertieft werden Spezialfragen wie Gründung von Bauwerken in Bergbaugebieten, im offenen Wasser sowie Erschütterungsschutz behandelt. (918 Seiten, 691 Abb., 89 Tab.. Gebunden. Erscheint Oktober 2009)

#### Aus dem Inhalt:

- Flachgründungen (U. Smolczyk, N. Vogt)
- Pfahlgründungen (H.-G. Kempfert)
- Spundwände (W. Richwien, H.-U. Kalle, K.-H. Lambert, K. Morgen, H.-W. Vollstedt)
- Gründungen im offenen Wasser (J. G. de Gijt, K. Lesny)
- Baugrubensicherung (A. Hettler, A. Weißenbach)
- Pfahlwände, Schlitzwände, Dichtwände (H.-G. Haugwitz, M. Pulsfort)
- Gründungen in Bergbaugebieten (D. Placzek)
- Erschütterungsschutz (Ch. Vrettos)
- Stützbauwerke und konstruktive Hangsicherungen (H. Brandl)
- Stichwortverzeichnis
- Inserentenverzeichnis

### ☒ Fax-Antwort an +49(0)30 47031 240

Anzahl	Bestell-Nr.	Titel	Einzelpreis
	978-3-433-01846-0	Grundbau-Taschenbuch, Teil 3: Gründungen und geotechnische Bauwerke	€ 179,- / sFr 283,-
	978-3-433-01845-3	Grundbau-Taschenbuch, Teil 2: Geotechnische Verfahren	€ 179,- / sFr 283,-
	978-3-433-01847-7	<b>im Set:</b> Grundbau-Taschenbuch Teile 1 bis 3	<b>zum Sonderpreis</b> € 483,- / sFr 763,-
	905221	Gesamtverzeichnis Verlag Ernst & Sohn	kostenlos
	2091	Probeheft BAUTECHNIK, die Zeitschrift für den gesamten Ingenieurbau	kostenlos

Liefer- und Rechnungsanschrift:

privat

geschäftlich

**Bestell-Code: 100 773**

Firma			
Ansprechpartner			Telefon
UST-ID Nr./VAT-ID No.			Fax
Straße/Nr.			E-Mail
Land	-	PLZ	Ort

Wilhelm Ernst & Sohn  
Verlag für Architektur und  
technische Wissenschaften GmbH & Co. KG  
Rotherstraße 21  
10245 Berlin  
Deutschland  
www.ernst-und-sohn.de

✘

Datum/Unterschrift

 **Ernst & Sohn**  
A Wiley Company

\*€-Preise gelten ausschließlich in Deutschland. Alle Preise enthalten die gesetzliche Mehrwertsteuer. Die Lieferung erfolgt zuzüglich Versandkosten. Es gelten die Lieferungs- und Zahlungsbedingungen des Verlages. Irrtum und Änderungen vorbehalten. Stand: 19.10.09 (homepage\_Leseprobe)