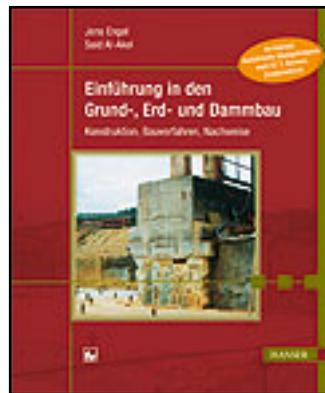


HANSER



Leseprobe

Jens Engel, Said Al-Akel

Einführung in den Grund-, Erd- und Dammbau

Konstruktion, Bauverfahren, Nachweise

ISBN (Buch): 978-3-446-41460-0

ISBN (E-Book): 978-3-446-43147-8

Weitere Informationen oder Bestellungen unter

<http://www.hanser-fachbuch.de/978-3-446-41460-0>

sowie im Buchhandel.

4 Pfahlgründungen

4.1 Funktion, Tragwerk

4.1.1 Anwendungsgebiete

Eine Flachgründung ist wirtschaftlich nur dann sinnvoll, wenn der ausreichend tragfähige Boden in geringem Abstand unterhalb des Bauwerks ansteht oder wenn die Tragfähigkeit des Baugrunds durch Spezialverfahren verbessert werden kann. Als Alternative kommt die Tiefgründung in Betracht. Pfahlgründungen sind die am häufigsten eingesetzten Varianten der Tiefgründung. Sie kommen auch zur Anwendung, wenn sehr große Einzellasten in der Gründung aufzunehmen sind.

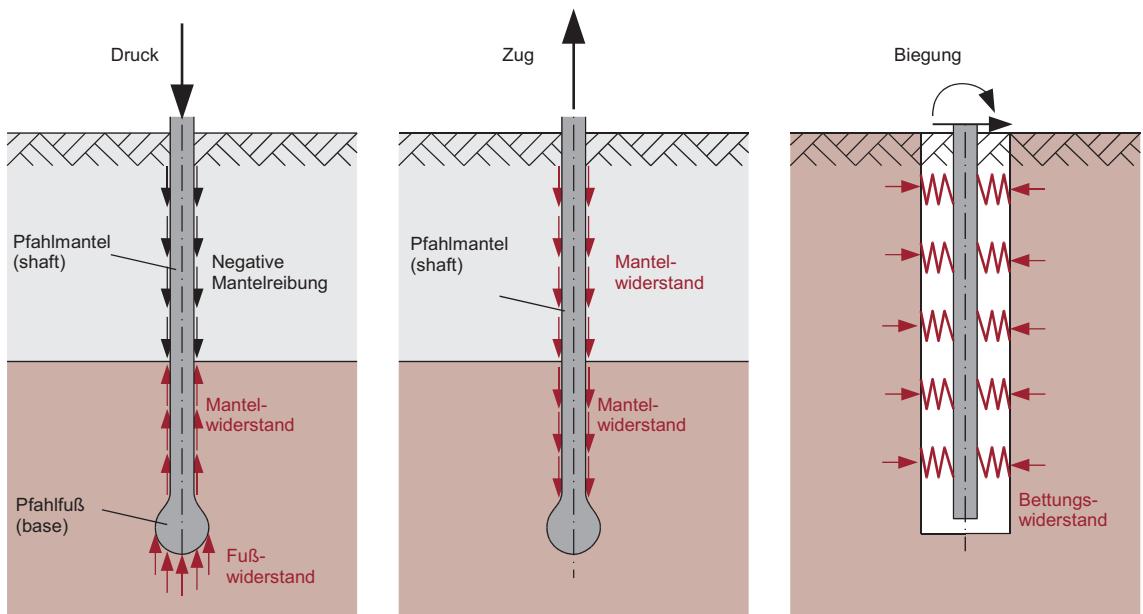


Bild 4.1: Druckpfähle (links), Zugpfähle (Mitte) und horizontal belastete Pfähle (rechts), Beanspruchungen und Widerstände

Bei axial belasteten Pfählen, die überwiegend Druckkräfte aufnehmen müssen, erfolgt die Lastabtragung über den Mantelwiderstand im Bereich des Pfahlschafts der auch als „Mantelreibung“ bezeichnet wird und über den Spitzenwiderstand im Bereich des Pfahlfußes. Wird der Widerstand im Pfahlfußbereich nicht zur Lastabtragung herangezogen, spricht

man bei Druckpfählen von einer „schwimmenden Gründung“. Dies ist immer dann der Fall, wenn keine tragfähige Schicht erreicht wird oder eine bestimmte Nachgiebigkeit der Pfähle für das gesamte Tragverhalten erforderlich ist. Für die Herstellung der Pfahlgründung steht eine breite Palette unterschiedlicher Verfahren zur Verfügung, aus denen das für die vorgesehene Baumaßnahme optimale Verfahren auszuwählen ist. Der Einbau der Pfähle soll so erfolgen, dass die Pfahlwiderstände möglichst groß sind. Im Pfahlmantelbereich ist eine große Horizontalspannung und eine raue Pfahloberfläche und im Pfahlfußbereich eine Aufweitung der Querschnittsfläche vorteilhaft.

Pfahlgründungen kommen mittlerweile auch dort zum Einsatz, wo früher teilweise Flächengründungen gewählt worden sind. Insbesondere für konzentrierte Lasten kann eine Pfahlgründung wirtschaftliche Vorteile im Vergleich zu Flächengründungen bieten. Es lassen sich dadurch aufwendige Baugrubensicherungen und große Fundamentmassen vermeiden.

Pfähle können als axial oder auch als horizontal beanspruchte Gründungselemente genutzt werden. Horizontal beanspruchte Pfähle leiten die Beanspruchung durch die Bettung im Pfahlmantelbereich in den Untergrund ab. Sie werden eingesetzt als Gründung, als Teil von Stützwänden oder zur Sicherung (Verdübelung) von Hängen.

Eine besondere Form der Bohrpfähle sind die so genannten **Barrettes**. Die Bezeichnung Barrettes stammt aus Frankreich und wird auch in angelsächsischen Ländern für Bohrpfähle mit nicht kreisförmigem Querschnitt verwendet, z. B. Schlitzwandlamellen.

Die große Bedeutung von Pfahlgründungen für den konstruktiven Ingenieurbau, den Hoch- und Industriebau sowie den Verkehrs-, Tief- und Wasserbau zeigt sich nicht zuletzt in der Vielzahl der am Markt angebotenen Pfahlsysteme. Jedes Pfahlsystem stellt spezielle Anforderungen an die Baustelleneinrichtung sowie die erforderliche Gerätetechnik und ist nur für bestimmte Anwendungsfälle geeignet. Meist sind mehrere unterschiedliche Pfahltypen für die Erfüllung der konstruktiven Anforderungen geeignet. Für die Wahl der optimalen Variante sind deshalb neben den konstruktiven Vorgaben auch die wirtschaftlichen Aspekte zu beachten.

In zunehmendem Maße kommen auch bei der Gründung von Bauwerken Verfahren zum Einsatz, die die Nachhaltigkeit und die Energieeffizienz verbessern helfen. Durch den Einsatz von Energiepfählen (siehe [78] und [84]) ist die geothermische Nutzung des Untergrunds bzw. des Grundwassers möglich. Neben der Lastabtragung kommt bei Energiepfählen die Nutzung als geothermischer Wärmeüberträger hinzu. Dabei darf seine Tragfähigkeit nicht beeinträchtigt werden, z. B. durch Frostbildung oder die Schwächung des Querschnitts durch Wärmetauscher-

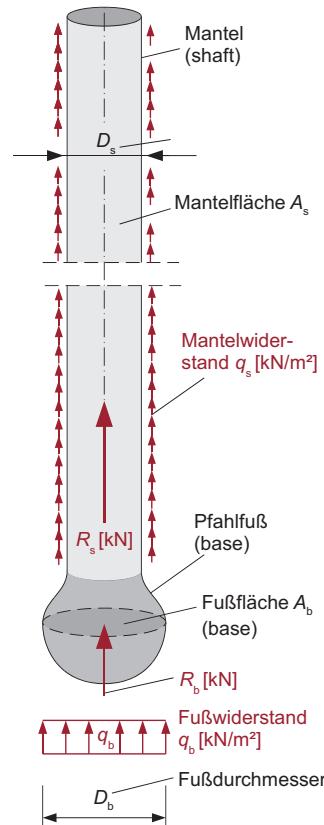


Bild 4.2: Bezeichnungen und geometrische Verhältnisse bei Pfählen

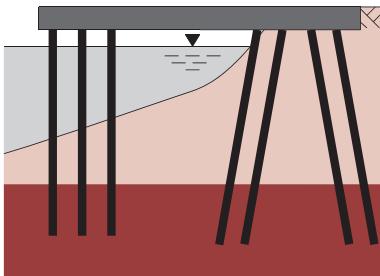


Bild 4.3: Hochliegender Pfahlrost

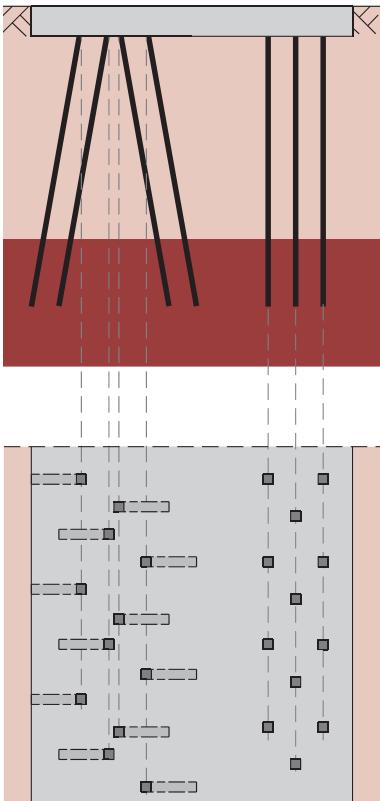


Bild 4.4: Tiefliegender Pfahlrost

rohre. Pfähle werden durch den Einbau von Rohren zu Energiepfählen erweitert. Ein Wärmeträger, z. B. Wasser, zirkuliert zum Temperaturaustausch zwischen dem Erdspeicher und dem Bauwerk. Einzelheiten zur Nutzung des oberflächennahen Untergrunds sind in der VDI-Richtlinie 4640 (Blatt 2) zusammengestellt.

4.1.2 Tragwerke für Gründungen mit Pfählen

Pfahlrost

Bei einem Pfahlrost werden die Beanspruchungen aus der aufgehenden Konstruktion komplett von den Pfählen abgetragen. Die Pfahlrostplatte dient lediglich der Lastverteilung auf die Pfahlköpfe. Sie überträgt keine Belastung in den Baugrund.

Früher verstand man unter Pfahlrost eng gestellte Holzpfähle, deren Köpfe durch hölzerne Verbände zimmermannsmäßig zu geschlossenen Rosten verbunden waren. Nach dem Abstand der Pfahlrostplatte zum Untergrund wird unterschieden in „hohen“ und „tiefen“ Pfahlrost.

Die Pfähle sollten möglichst im Bereich der Angriffspunkte der Kräfte angeordnet werden. Bei Einzellasten werden deshalb die Pfähle zu Gruppen zusammengefasst und unter Flächenlasten gleichmäßig verteilt. Häufig binden die Pfähle unmittelbar in die Fundamente der Bauwerke ein. Die konstruktive Ausbildung der Anbindung der Pfähle an die Gründung muss so ausgebildet werden, dass die Kräfte schadensfrei in die Pfähle eingeleitet werden können. Auf Druck beanspruchte Pfähle belasten die Fundamente im Einbindebereich i. d. R. auf Durchstanzen nach oben während bei Zugpfählen das Herausreißen der Pfähle nach unten durch die Ankopplung verhindert werden muss.

Nach der Lage der Pfahlrostplatte zum Untergrund unterscheidet man tiefliegende und hochliegende Pfahlroste. Bei tiefliegenden oder tiefen Pfahlrosten liegt die Rostplatte auf dem Untergrund auf und die Pfähle sind auf ihrer ganzen Länge im Untergrund eingebunden. Ragen die Pfähle über den Untergrund hinaus, z. B. bei Gründungen im Wasser, in aufgefüllten, nicht tragfähigen Materialien oder wenn die Pfähle als Stützen bis über das Gelände geführt werden, dann handelt es sich um einen hohen oder hochliegenden Pfahlrost.

Kombinierte Pfahl-Plattengründung KPP

Als kombinierte Pfahl-Plattengründung (KPP) wird die Verbundkonstruktion Fundamentplatte und Gründungspfähle bezeichnet. Die Fundamentplatte verteilt in Abhängigkeit von ihrer Biegesteifigkeit die aus der

aufgehenden Konstruktion resultierenden Einwirkungen $\sum F_{i;k}$ und p als charakteristische Beanspruchung E_k direkt über die Sohlnormalspannung $\sigma_0(x, y)$ auf den Untergrund sowie über die Pfahlkräfte auf die Gründungspfähle $R_{i;k}$. Über die Gründungsfläche integriert ergibt sich aus der Sohlnormalspannung der Widerstand der Fundamentplatte $R_{slf;k}$. Der Anteil der Pfähle wird durch den summarischen Pfahlwiderstand $\sum R_{pli;k}$ erfasst. Der Gesamtwiderstand R_k der KPP ergibt sich demnach zu:

$$R_k = \sum_{i=1}^n R_{pli;k} + R_{slf;k} \geq E_k$$

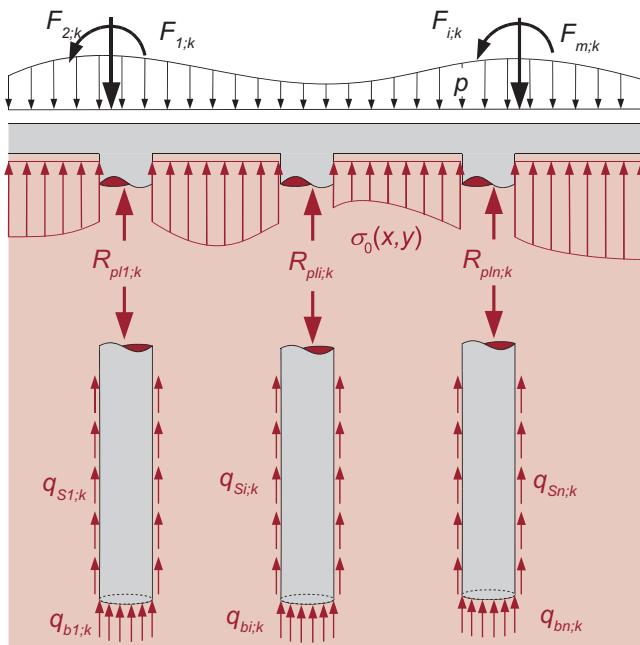


Bild 4.5: Lastabtragung bei kombinierten Pfahl-Platten-Gründungen (KPP)

Kombinierte Pfahl-Plattengründungen erlauben die konzentrierte Einleitung großer Lasten und tragen wesentlich zur Verringerung der Bauwerksverformungen bei. Es handelt sich um eine geotechnische Verbundkonstruktion aus Fundamentplatte, Pfählen und dem Baugrund, bei dem das Verhalten der einzelnen Komponenten so aufeinander abgestimmt ist, dass durch die Wechselwirkung eine gemeinsame Lastabtragung erfolgt.

In Abhängigkeit von den örtlichen Gegebenheiten werden zwei Grenzfälle unterschieden:

- Die Pfähle dienen ausschließlich der Reduzierung der Setzungen. Dazu wird die Tragfähigkeit der Pfähle gezielt vollständig ausgenutzt. Wegen der vollständigen Mobilisierung der Pfahlwiderstände ist die auf die einzelnen Pfähle entfallende Kraft unabhängig von der weiteren Setzung der Platte. Die Pfahlkräfte können als Einzellasten angesetzt werden und beeinflussen den Momentenverlauf der Platte günstig.
- Die Tragfähigkeit der Pfähle wird nur bis zum Grenzzustand der Tragfähigkeit ULS oder der Gebrauchstauglichkeit ausgenutzt. Das Widerstands-Setzungs-Verhalten des Pfahls kann in diesem Bereich durch eine Federkonstante angenähert werden. Die Sohlspannung unter der Fundamentplatte lässt sich z. B. mit dem Bettungsmodulverfahren ermitteln.

Das Konzept der ersten Variante ist u. a. für die Gründung von Hochhäusern in Frankfurt a. M. eingesetzt worden. Ein Beispiel dafür ist der 60-geschossige, 256 m hohe Messeturm [80]. Das Gebäude weist eine 6 m dicke Fundamentplatte auf, die auf Pfählen aufliegt, die ca. 27-35 m tief in den Frankfurter Ton einbinden. Durch die Anwendung der kombinierten Pfahl-Plattengründung konnte die Setzung im Vergleich zu einer reinen Plattengründung von ca. 40 cm auf 15-20 cm reduziert werden.

Unterscheidungskriterien:

- **nach Lastabtragung:** in axial und horizontal belastete Pfähle,
- **für Nachweise:** nach DIN EN 1997-1 in Verdrängungs-, Bohr- und verpresste Mikropfähle,
- **nach der Herstellungsart:** in Fertig- und Ortpfähle,
- **nach der Einbringung:** in Ramm-, Bohr-, Schneckenbohr- oder Ortbetonrammpfähle.

Herstellungsnormen:

- | | |
|---------------|--|
| DIN EN 1536 | Bohrpfähle [15] |
| DIN EN 12 699 | Verdrängungspfähle [9] |
| DIN EN 14 199 | Pfähle mit kleinen Durchmessern (Mikropfähle) [12] |
| DIN EN 12 794 | Vorgefertigte Gründungspfähle aus Beton [10] |

4.2 Bauweisen, Entwurf und Vorbemessung

In Deutschland gilt der Grundsatz, dass die Bemessung von Pfählen auf Grundlage von Pfahlprobebelastungen bzw. daraus abgeleiteten Erfahrungswerten erfolgen soll. Für die systematische Sammlung und Auswertung der Ergebnisse von Pfahlprobebelastungen ist die Unterscheidung der Pfahlarten eine grundlegende Voraussetzung. Die Pfahlart ist daher ein für die Bemessung der Pfahlgründung mit Erfahrungswerten entscheidendes Merkmal. Man unterteilt die Pfahlarten nach der Art der Lastabtragung, der Art der Herstellung sowie nach dem für die Lastabtragung und die Nachweisführung kennzeichnenden Einbringungsverfahren.

In den Empfehlungen des Arbeitskreises „Pfähle“ EA-Pfähle der DGQT [41] sind die Grundlagen für die Planung von Pfahlgründung umfassend beschrieben. Die Herstellung ist in den Normen über die Ausführung spezieller geotechnischer Arbeiten (Spezialtiefbau) geregelt. Die Entscheidung für den Einsatz von **Ortpfählen** oder von **Fertigpfählen** hängt vor allem von den Baugrundverhältnissen vor Ort ab.

Ortpfähle werden auf der Baustelle durch Einbau von Beton in einen Hohlraum im Untergrund hergestellt. Die Herstellung des Hohlraums kann durch Verdrängung des umgebenden Bodens mittels Einrammen oder Eindrehen von Rohren oder durch Ausbohren des Bodens (Bohr-

pfähle), ggf. mit Aussteifung der Bohrlochwandung durch ein Bohrrohr oder stützende Tonsuspension, erfolgen. Vorteilhaft ist der Einsatz von Ortpfählen bei stark wechselnden Bodeneigenschaften, bei großen Pfahldurchmessern und großen Längen.

Fertigpfähle werden in den Untergrund eingerammt, eingedrückt oder eingedreht. Als Materialien kommen z. B. Holz, Stahl und Stahlbeton in Betracht. Je größer die Verdrängung ist, desto größer ist die Tragfähigkeit, desto größer wird aber auch der Rammwiderstand.

Eine Pfahlgründung besteht i. d. R. aus mehreren Pfählen. Bei einem Pfahlrost werden die Beanspruchungen vollständig durch die Pfähle als axiale Lasten aufgenommen. Die Verteilung der Pfähle im Grundriss richtet sich nach der Lasteintragung durch die aufgehende Konstruktion. Unter Einzellasten werden meist Pfahlgruppen angeordnet, während bei Flächenlasten die gleichmäßige Verteilung der Pfähle zu bevorzugen ist. Entsprechend sollten unter Streifenlasten die Pfähle in Reihen angeordnet werden.

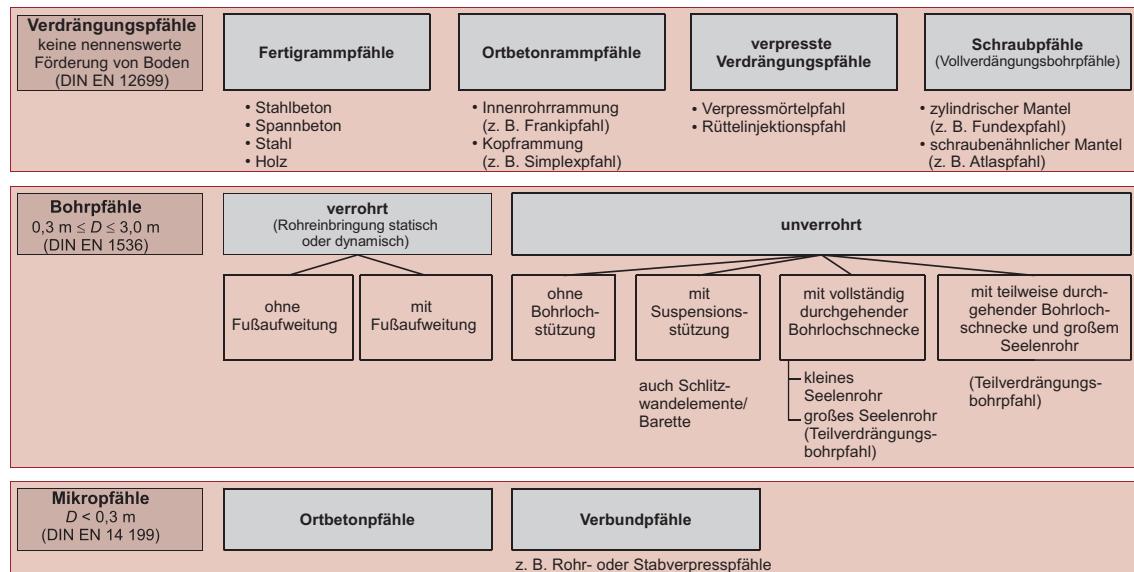


Bild 4.6: Übersicht über genormte Pfahlarten

4.2.1 Verdrängungspfähle

Verdrängungspfähle werden überwiegend als axial beanspruchte Pfähle eingesetzt. In DIN EN 12699 sind die Grundlagen der Herstellung zusammengestellt. DIN EN 12794 regelt die Herstellung von vorgefertigten Gründungspfählen aus Beton.

Die Bodenverdrängung kann durch den Pfahl selbst oder durch ein Ramm- oder Bohrrohr erfolgen. Fertigteilrammpfähle sind in der Regel sofort belastbar. Bei nichtbindigen Böden ist mit der Verdichtung in der unmittelbaren Umgebung des Pfahls, bei wassergesättigten, bindigen Böden mit der Entstehung von Porenwasserüberdruck zu rechnen.

- **Fertigrammpfahl:** vorgefertigte Pfahlelemente aus Stahlbeton (übliche Abmessungen 0,20 x 0,20 m bis 0,45 x 0,45 m, im Gebrauchszustand ca. 0,5 bis 2,0 MN.), Stahl (ca. 0,5 bis 2,0 MN) oder Holz (im Gebrauchszustand ca. 0,1 bis 0,6 MN).
- **Ortbetonrammpfahl:** „Simplex-Pfahl“; Einrammen eines unten mit einer Fußplatte verschlossenen Rohrs – Außenrammung (im Gebrauchszustand ca. 0,5 bis 2,5 MN), Fußplatte verbleibt im Baugrund, „Frankipfahl“ Einrammen mit Freifallrammung im Rohr – Innenrammung – durch Rammschläge auf einen Ppropfen aus trockenem Beton oder Sand-Kies-Gemisch, Austreiben des Ppropfens nach Erreichen der Endtiefen durch Fixieren des Rohrs, Einbau von Bewehrung möglich, Rohr wird mit fortlaufendem Betoniervorgang gezogen, im Gebrauchszustand ca. 1,0 bis 4,0 MN.
- **Verpresster Verdrängungspfahl:** Verpressmörtelpfahl (VM-Pfahl) – Stahlrammpfahl, gleichzeitiges Einbringen des Betons beim Rammen, im Gebrauchszustand ca. 1,0 bis 2,5 MN, Rüttelinjektionspfahl (RI-Pfahl) – Pfahlfuß leicht vergrößert, Herstellung ähnlich VM-Pfahl, aber geringerer Eindringwiderstand, im Gebrauchszustand ca. 0,5 bis 1,5 MN.

4.2.1.1 Fertigrammpfähle

Fertigteilrammpfähle können z. B. als Holz-, Stahl-, Beton- oder Stahlbetonpfähle hergestellt werden.

Holzpfähle sind die älteste Pfahlart. Sie sind leicht handhabbar, relativ preiswert und besitzen unter Wasser eine nahezu unbegrenzte Lebensdauer. Nachteilig ist der schnelle Fäulnisbeginn bei Luftzutritt und die Empfindlichkeit der Pfähle beim Rammen. Deshalb sollten Holzpfähle nur dort eingesetzt werden, wo die Voraussetzungen für einen ständig ausreichend hohen Wasserstand erfüllt sind. Die Pfahlköpfe müssen komplett unterhalb des Wasserspiegels liegen.

Die maximalen Längen von Holzpfählen liegen im Bereich bis 20 m. Der mittlere Durchmesser ist von der Pfahllänge abhängig und beträgt bei Pfählen von 4 bis 6 m Länge etwa 25 bis 30 cm. Bei größeren Längen lässt sich der Durchmesser nach der Faustformel

$$d \approx 0,2 \text{ m} + 0,01l$$

abschätzen, wobei die Pfahllänge l in m einzusetzen ist. Der Pfahlfuß von Holzpfählen wird durch Behauen als vierseitige Spitze ausgebildet und in manchen Fällen mit einer Stahlkappe verstärkt. Zur Vermeidung von Rammschäden sollte der Pfahlkopf ebenfalls verstärkt werden. Beim unbemerkten Auftreffen auf Hindernisse sind Schäden bis zur völligen Zerstörung möglich. Die Anwendung von Holzpfählen ist deshalb auf gut bzw. mindestens normal rammbaren Baugrund beschränkt. Holzpfähle werden für untergeordnete Bauwerke oder als Bauhilfsmaßnahmen (Gerüst, Krangründung) eingesetzt. Es sind Tragfähigkeiten von 100 bis 600 kN erreichbar.

Stahlpfähle unterteilt man nach ihrem Querschnitt in Kasten-, Rohr- und Trägerpfähle. **Kastenpfähle** bestehen aus mehreren Spundwandbohlen, die zu einem Kasten zusammengeschweißt sind. Für **Trägerprofile** werden Doppel-T-Breitflanschträger oder ähnliche Spezialprofile verwendet.

Kasten- und Rohrpfähle können unten offen, ohne Pfahlspitze eingebracht werden. Durch das Anschweißen von Stahlblechen oder Stahlprofilen in Längen ab ca. 2,50 m lässt sich die Mantel- und Fußoberfläche vergrößern und dadurch die Tragfähigkeit erhöhen. Man bezeichnet diese Pfähle auch als **Stahlflügelpfähle**.

Stahlpfähle lassen sich leicht verlängern und verursachen vergleichsweise geringe Erschütterungen beim Rammen. Sie können mit Neigungen bis 1:1 hergestellt werden. Die maximale Länge wird nur durch den zunehmenden Rammwiderstand begrenzt. Der Pfahl muss aber wegen des Transports in einzelnen Pfahlabschnitten mit maximalen Längen von ca. 20-30 m angeliefert werden. Die Verlängerung erfolgt i. Allg. durch Schweißverbindungen. Dadurch verfügen die Stöße über eine hohe Druck-, Zug- und Biegezugfestigkeit.

Im Vergleich mit anderen Pfahlarten sind die relativ hohen Kosten, die Korrosionsanfälligkeit, der Einfluss von Sandschliff und das um eine Achse geringere Trägheitsmoment in manchen Fällen nachteilig. Es sind Belastungen im Gebrauchszustand von 500 bis 2000 kN mit Fertigrammpfählen aus Stahl erreichbar.

Stahlbetonfertigpfähle haben i. Allg. quadratische Querschnitte mit Seitenlängen zwischen 20 und 45 cm. Durch spezielle Kupplungselemente ist die Verlängerung der Pfähle möglich. Stahlbetonfertigpfähle sind verhältnismäßig schwer und erfordern oft den Einsatz schwerer Rammgeräte.

Bei der Bemessung sind die Lastfälle Lagerung und Aufrichten zu beachten, bei denen im Gegensatz zur späteren Nutzung eine Beanspruchung durch Biegung aufgenommen werden muss. Für die Aufnahme dieser Beanspruchungen sowie der Bauwerkslasten und der Einwirkungen infolge der Rammung müssen die Pfähle standardmäßig eine entsprechend dimensionierte schlaffe oder vorgespannte Bewehrung aufweisen. Im Gebrauchszustand kann mit Belastungen von 500 bis 2000 kN gerechnet werden.

Vorbemessung von Fertigrammpfählen

Für den Entwurf von Pfahlgründungen mit Verdrängungspfählen können die im Folgenden zusammengestellten Faustformeln und Erfahrungswerte angewendet werden, wenn der Untergrund im Bereich der Lastabtragung durch die Pfähle von ausreichend tragfähigem, nichtbindigem Boden gebildet wird, bei dem ein Spitzenwiderstand der Drucksondierung von $q_c \geq 10 \text{ MN/m}^2$ zu erwarten ist oder wenn der Untergrund aus annähernd halbfestem, bindigem Boden mit $I_C \geq 1,0$ bzw. $c_u \geq 150 \text{ kN/m}^2$ besteht.

Vorbemessung – Voraussetzungen:

- Mindesteinbindetiefe in den tragfähigen Baugrund 3 m
- Mächtigkeit der tragfähigen Schicht unterhalb des Pfahls
Einzelpfahl: $\geq 4 D_b$ oder $\geq 1,5 \text{ m}$
Pfahlgruppe: $\geq 2 b$ (b äußerer Abstand der Randpfähle)
- Mindestabstände benachbarter Pfähle: $a \geq 3 D_b \geq 1,0 \text{ m} + D_b$

Faustformeln

$\text{zul } F = 10D_X - k \text{ [kN]}$; D_X in cm

Holzrammpfahl:

$$D_X = D_{\text{mittel}}; k = 0$$

Stahlbetonrammpfahl:

$$D_X = D_s; k = 10D_S - 250 \text{ für } D_s \geq 25 \text{ cm}$$

D_s Pfahldurchmesser

D_b Pfahlfußdurchmesser

Tabelle 4.1: Erfahrungswerte der axialen Tragkraft von Rammpfählen in kN für Vorbemessungen

Einbindetiefe in den tragfähigen Boden in m	Holz D_b in cm					Stahl- und Spannbeton Seitenlänge a_s in cm					
	15	20	25	30	35	20	25	30	35	40	
	3	100	150	200	300	400	200	250	350	450	550
4	150	200	300	400	500	250	350	450	600	700	
5	—	300	400	500	600	—	400	550	700	850	
6	—	—	—	—	—	—	—	650	800	1000	
Einbindetiefe in den tragfähigen Boden in m	Stahlträgerprofile ¹⁾ Breite oder Höhe in cm					Stahlrohr- ²⁾ und Stahlkastenprofile ³⁾ D bzw. a in cm					
	30		35		35 bzw. 30		40 bzw. 35		45 bzw. 40		
	3	—	—	—	350	—	450	—	550	—	
4	—	—	—	—	450	—	600	—	700	—	
5	450	—	550	—	550	—	700	—	850	—	
6	550	—	650	—	650	—	800	—	1000	—	
7	600	—	750	—	700	—	900	—	1100	—	
8	700	—	850	—	800	—	1000	—	1200	—	

Zwischenwerte geradlinig (linear) interpolieren

- 1) Breite I-Träger mit Breite zu Höhe ca. 1:1, z. B. HEB-Profile
- 2) Werte für Pfähle mit geschlossener Spitze. Für offene Pfähle 90 % des Tabellenwerts ansetzen, wenn fester Bodenpropfen innerhalb des Pfahls mit Sicherheit vorhanden ist.
- 3) D äußerer Durchmesser des Stahlrohrpfahls oder mittlerer Durchmesser eines zusammengesetzten, radialsymmetrischen Pfahls, a_s mittlere Seitenlänge von annähernd quadratischen oder flächeninhaltsgleichen rechteckigen Kastenpfählen

Fertigteilrammpfähle sollten mindestens 3 m in den tragfähigen Baugrund einbinden. Unterhalb der Pfähle muss der tragfähige Bereich bei Einzelpfählen bis zu einem Abstand von $\geq 4 D_b$ oder $\geq 1,5$ m und bei Pfahlgruppen bis $\geq 2 b$ vorhanden sein, wobei b den äußeren Abstand der Randpfähle bezeichnet. Dies ist bereits bei der Erkundung des Untergrunds zu berücksichtigen. Zwischen benachbarten Pfählen sollte der Abstand a nicht kleiner sein als $a \geq 3 D_b \geq 1,0$ m + D_b , wobei der Pfahlfußdurchmesser in m einzusetzen ist.

Wenn nichtbindiger Boden mit $q_c \geq 15$ MN/m² oder halbfester bindiger Boden mit $I_C \geq 1,0$ bzw. $c_u \geq 200$ kN/m² zu erwarten ist, darf mit einer um 25 % höheren Gebrauchslast der Pfähle gerechnet werden. Bei gerammten Fertigteilverdrängungspfählen aus Stahl- oder Spannbeton liegen die Pfahlkopfsetzungen i. d. R. unter 1,5 cm.