

Pfahlgründungen

Autor(en): **Müller, A.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **85 (1967)**

Heft 47

PDF erstellt am: **26.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-69583>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Von A. Müller, Kantonsingenieur, Basel

Obwohl die Pfahlgründung eine altbekannte Gründungsmethode darstellt, ist sie in den letzten Jahren mehr denn je zu einer *aktuellen* Methode, insbesondere im städtischen Tiefbau, geworden. Allerdings übersteigen die Anforderungen, denen die Pfähle heute in bezug auf Tragkraft, Setzungsverhalten, Länge, Durchmesser und Herstellungsvorgang zu genügen haben, das Mass des früher üblichen oft bei weitem. Die neueren Erkenntnisse der theoretischen und praktischen Bodenmechanik und der rasche Fortschritt auf dem Erdbau- und Bohrmaschinen-Sektor eröffneten hingegen Möglichkeiten zur Herstellung von Pfählen, welche diese Anforderungen nicht nur zu erfüllen vermögen, sondern die ihrer Wirtschaftlichkeit wegen die Pfahlfundation vermehrt auch dort in den Vordergrund treten lassen, wo früher andere Fundationsarten üblich waren.

Im folgenden sollen in möglichst kurzer und übersichtlicher Form die hauptsächlichsten, derzeit in der Schweiz zur Anwendung gelangenden Pfählungsverfahren dargestellt werden. Das Hauptgewicht wird dabei auf die Beschreibung der wesentlichsten Eigenschaften und Herstellungsmerkmale gelegt, welche das Tragverhalten eines Pfahltyps und seinen praktischen Anwendungsbereich bestimmen. Auf die theoretischen Grundlagen zur Berechnung des Tragverhaltens von Einzelpfählen und ganzen Pfahlgründungen einzutreten, würde den Rahmen dieser Ausführungen sprengen. Es kann diesbezüglich auf die Fachliteratur verwiesen werden, allerdings nicht ohne Hinweis darauf, dass die theoretische Berechnung des Tragverhaltens von Pfahlgründungen in jedem Falle mit Vorsicht zu interpretieren ist.

Herstellungsverfahren, Wirkungsweise, Tragverhalten

Im Gegensatz zur Flachgründung, die in bezug auf ihre Wirkungsweise eindeutig definiert ist und deren Abmessungen und

Ausführungseinzelheiten vom projektierenden Ingenieur in Übereinstimmung mit dem gewünschten Tragverhalten zu bestimmen sind, liegen die Verhältnisse bei Pfahlgründungen wesentlich komplizierter. Ihre Wirkungsweise und ihr Tragverhalten können je nach den vorhandenen Untergrundverhältnissen nicht nur ganz verschieden sein, sondern sie stehen zudem in enger Abhängigkeit von der gewählten Pfahlart und insbesondere auch von deren Herstellungs- und Einbringungsverfahren. Die Begriffe Pfahl bzw. Pfahlgründung sind deshalb nach folgenden grundlegenden Unterscheidungsmerkmalen näher zu bezeichnen (Tabelle 1):

Unterscheidung nach der Tragart oder Wirkungsweise

Hier stehen sich gegenüber der *Spitzpfahl* bzw. die *stehende Pfahlgründung* und der *Reibungspfahl* bzw. die *schwebende Pfahlgründung*. Wie schon der Name sagt, ist es beim Spitzpfahl vorwiegend die Pfahlspitze oder der sog. «Spitzenwiderstand», welcher die Tragkraft des Pfahles bestimmt. Es entspricht dies auch dem weitaus häufigsten Zweck einer Pfahlgründung, nämlich die Übertragung von Bauwerkslasten auf tieferliegende, tragfähigere Bodenschichten oder Fels (Bild 1). Demgegenüber erfolgt beim Reibungspfahl die Lastübertragung längs des Pfahlumfanges oder Mantels in Form von sog. «Mantelreibung» (Bild 2). Diese Gründungsart ist bedeutend heikler als die stehende Pfahlgründung. Sie tritt jedoch dort in den Vordergrund, wo tragende Bodenschichten in wirtschaftlicher Tiefe nicht zu erreichen sind und die Grösse der zu übertragenden Bauwerkslasten eine Flachgründung aus räumlichen oder preislichen Gründen ausschliesst.

Unterscheidung nach Art und Ort der Herstellung des Pfahlschaftes

Dem seit altersher bekannten *Fertigpfahl* aus Holz, Stahl oder Eisenbeton steht hierbei der sog. *Ortspfahl* gegenüber, der gleichzeitig mit dem Einbringen an Ort und Stelle entsteht, d. h. betoniert wird. Ob dieses Einbringen dabei mittels Rammen, Bohren, Spülen oder sonstwie erfolgt, ist für die Bezeichnung unerheblich (Bild 3). In der Schweiz haben Ortspfähle schon sehr früh Eingang gefunden, und es gelangt heute der weitaus

überwiegende Teil der Pfahlgründungen mit dieser Pfahlart zur Ausführung. Ihre Herstellung im einzelnen kann auf die verschiedenste Weise erfolgen. Das gemeinsame und wesentliche Merkmal aller Herstellungsverfahren besteht jedoch in der freien Anpassung der Pfahllängen an die am Herstellungsort angetroffenen Bodenverhältnisse. Damit entfällt die bei Fertigpfählen unumgängliche Notwendigkeit der möglichst exakten Vorausbestimmung der Pfahllängen, welche sich insbesondere bei Vorhandensein heterogener Bodenverhältnisse erschwerend und oft vertuernd auswirkt. Es ist dies sicher eine der wesentlichen Ursachen, weshalb Ortspfähle gerade in unserem Lande die Eisenbeton-Fertigpfähle weitgehend verdrängt haben.

Unterscheidung nach der Art und Weise der Einbringung in den Boden

Diese kommt in der Gegenüberstellung von *Ramppfahl* und *Bohrpfahl* zum Ausdruck. Der entscheidende Unterschied zwischen den beiden Gruppen besteht darin, dass im einen Falle der Boden durch das Einrammen des Pfahles *verdrängt* wird (Bild 4), während er im andern Falle mittels Greifern, Bohren oder durch Spülen *entfernt* und quasi durch den Pfahl ersetzt wird (Bild 5). Beide Typen haben Vor- und Nachteile, insbesondere wenn man deren Herstellungsverfahren und die damit verbundenen Begleiterscheinungen mitberücksichtigt. So führt z. B. die Verdrängungswirkung des Rammpfahles in vielen Fällen eine sehr erwünschte *Verdichtung des Untergrundes* herbei, was sich nicht nur in bezug auf die Tragfähigkeit, sondern insbesondere auch auf das Setzungsverhalten (geringe Anfangssetzungen) günstig auswirken kann. Andererseits bedingen die Verdrängung und Verdichtung des Bodens einen entsprechenden Aufwand an Rammenergie, der mit Rücksicht auf die damit verbundenen Begleiterscheinungen (Erschütterungen, Lärm) nicht beliebig gesteigert werden kann. Dem Pfahldurchmesser und der Durchschlagskraft sind von dieser Seite her deshalb Grenzen gesetzt, welche in unserem Lande — von Ausnahmen abgesehen — bei rd. 50 bis 55 cm Durchmesser, 25 bis 30 m Länge und einer zulässigen Tragkraft von 100 bis 120 t pro Pfahl liegen.

Ganz anders liegen die Verhältnisse beim Bohrpfahl. Hier führt das sukzessive

Tabelle 1. Unterscheidung der Pfahlarten

UNTERSCHIEDUNG NACH	PFAHLARTEN	
TRAGART	SPITZENPFAHL	REIBUNGSPFAHL
ORT DER HERSTELLUNG	ORTSPFAHL	FERTIGPFAHL
ART DER EINBRINGUNG IN DEN BODEN	RAMMPFAHL	BOHRPFAHL

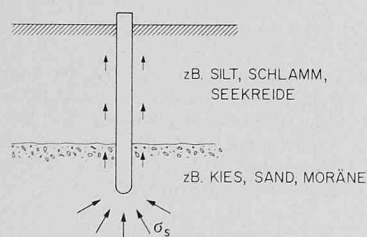


Bild 1. Spitzpfahl (stehende Pfahlgründung), vorwiegend Spitzenwiderstand

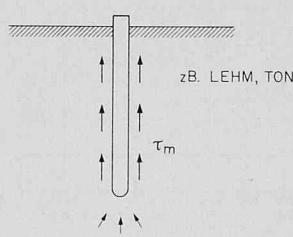


Bild 2. Reibungspfahl (schwebende Pfahlgründung), vorwiegend Mantelreibung

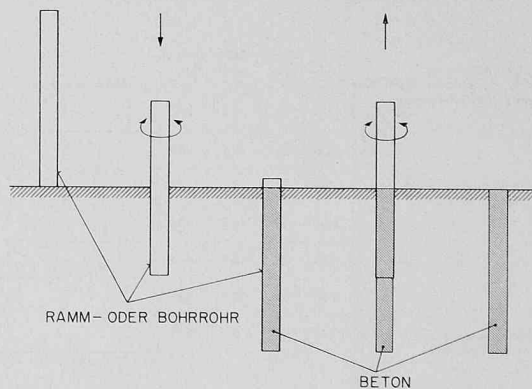


Bild 3. Herstellungsprinzip des Ortspfahls

mit dem Abteufen des Mantelrohres erfolgende Ausheben des in das Rohrinne eintretenden Bodens meist zu einer *Auflöcherung des Untergrundes*. Das Vorhandensein von Grundwasser kann diese Tendenz noch verstärken, indem je nach Bodenart schon eine geringe Absenkung des Wasserspiegels im Rohrinne im Vergleich zum Aussenspiegel, ja oft sogar allein schon die momentane Saugwirkung beim Hochziehen eines Bohrgreifens oder einer Schlammbüchse genügen, um hydraulischen Grundbruch ins Rohrinne hervorzurufen, was natürlich eine zusätzliche Auflöcherung des umgebenden Untergrundes mit allfälligen Konsequenzen auf bereits erstellte Nachbarpfähle bewirkt (negative Mantelreibung, d.h. Belastung der Pfahlschäfte durch den sich setzenden aufgelockerten Boden). Im Gegensatz zum Ramm-pfahl ergibt sich somit aus der Pfahlherstellung keine Verbesserung des umgebenden Untergrundes, sondern bestenfalls keine Verschlechterung. Der Bohrpfahl ist deshalb mehr als der Ramm-pfahl darauf angewiesen, mit seinem Fuss in konsolidierte, tragende Bodenschichten genügend tief eingebunden zu werden.

Der Herstellungsvorgang des Pfahles ermöglicht denn auch, diese Forderung zu erfüllen, indem mittels Greif-, Bohr- und Meisselgeräten Hindernisse jeglicher Art durchfahren werden und der Pfahlfuss in jedem Falle soweit in den tragenden Untergrund oder Fels vorgetrieben werden kann, als dies zur Sicherstellung der gewünschten Tragkraft erforderlich ist. Darüber hinaus – und im Gegensatz zum Ramm-pfahl – ist der Grösse des Pfahldurchmessers nach oben praktisch keine Grenze gesetzt. Ebenfalls liegt die mit vernünftigem technischen Aufwand erreichbare Pfahllänge erheblich über jener von Ramm-pfählen. Es bestehen somit viel weiter gehende Möglichkeiten, den Pfahlquerschnitt und die Pfahllänge in optimaler Weise den gegebenen Bodenverhältnissen anzupassen, sodass in Fällen, wo ausgezeichnet tragfähiger Untergrund oder Fels in erreichbarer Tiefe angetroffen wird, bei entsprechender Wahl des Pfahlquerschnittes hohe und höchste Einzelpfahllasten übertragen werden können. Pfahldurchmesser von 130 cm, Pfahllängen von 40 m und mehr und Einzelpfahllasten von über 600 t sind auch in unserem Lande keine Seltenheit, und es deutet alles darauf hin, dass diese Werte in Zukunft noch überschritten werden.

Maschinelle Ausrüstung

Die Herstellung und das Einbringen von Fertigpfählen hat in den letzten Jahren und Jahrzehnten kaum mehr nennenswerte Änderungen erfahren, mit Ausnahme vielleicht der Einführung von Spannbetonpfählen anstelle der schlaff armierten Betonpfähle und des Aufkommens leistungsfähigerer Rammgeräte.

Im Gegensatz dazu entstanden und entstehen bei den Ortpfählen – meist in Abwandlung des auf Bild 3 dargestellten Grundprinzips – laufend neue Verfahren. Deren Grundtendenz besteht zur Hauptsache in einer immer weitergehenden *Mechanisierung und Beschleunigung des Herstellungsvorganges* durch den Einsatz leistungsfähigerer, die manuelle Arbeit auf ein Minimum beschränkender Maschinen und Geräte. Dass diese

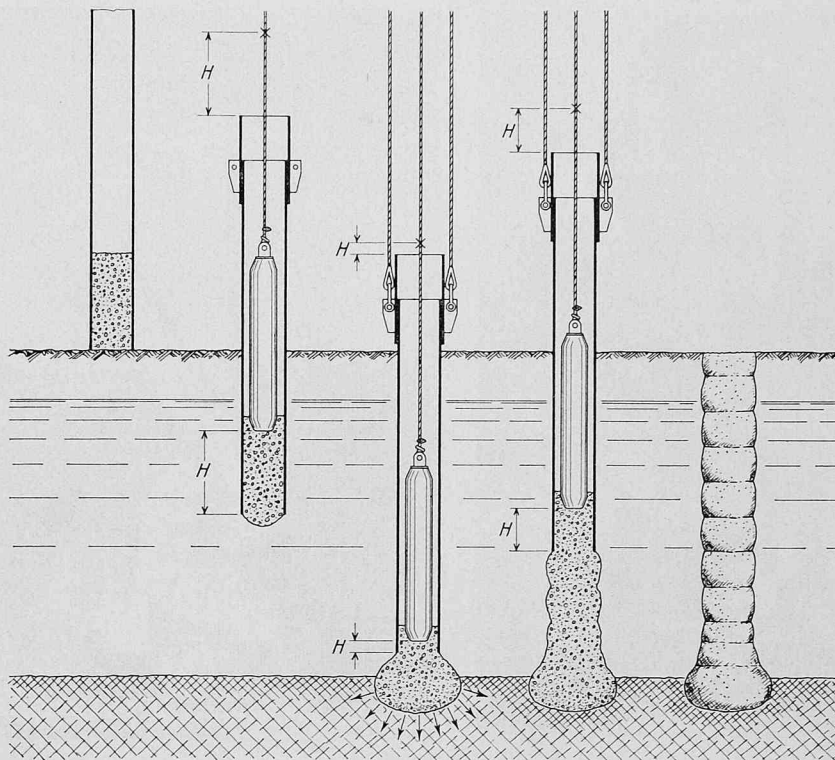


Bild 4. Schema der Herstellung gerammter Franki-Pfähle

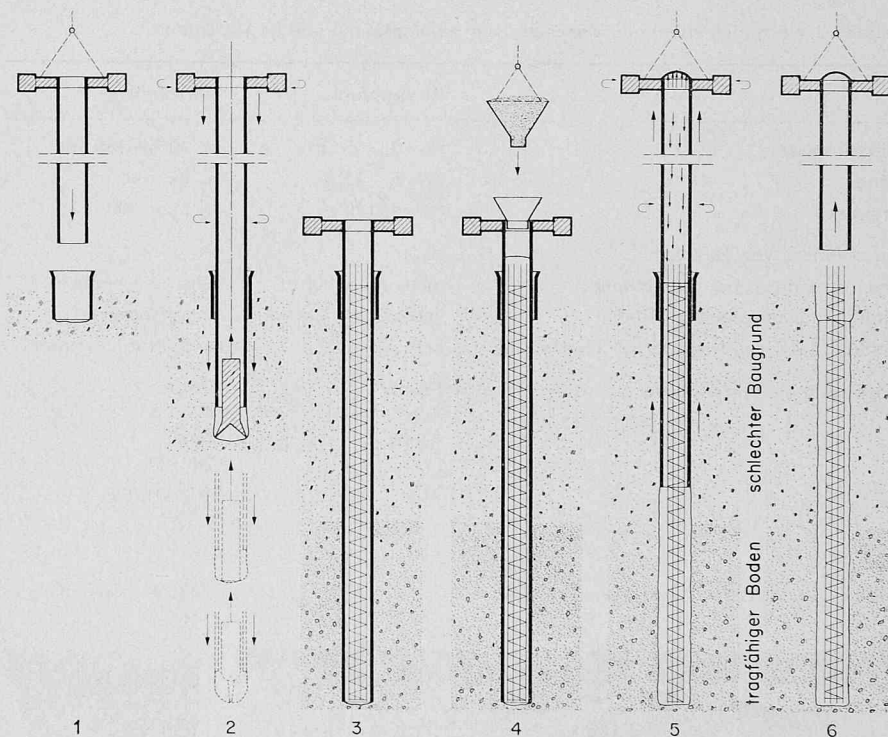


Bild 5. Schema der Herstellung gebohrter HW-Pfähle

dabei immer schwerer und kapitalintensiver werden, liegt auf der Hand. Die Bilder 6, 7 und 8 zeigen in freier Auswahl drei typische Repräsentanten solcher Pfählungsmaschinen. Deren wirtschaftlicher Einsatz setzt naturgemäss eine gewisse Kontinuität des Arbeitsvolumens und einen nicht allzu beschränkten Umfang der einzelnen Arbeiten voraus. Die älteren, arbeitskraftintensiven, dafür aber mit leichten und einfachen maschinellen Mitteln durchführbaren Verfahren haben daher auch

heute ihre wirtschaftliche Bedeutung nicht verloren (Bild 9).

Wahl des geeigneten Pfählungsverfahrens

Tabelle 2, welche die wichtigsten Merkmale der gerammten und gebohrten Ortbetonpfähle vergleichend festhält, erlaubt eine erste Abgrenzung der für bestimmte, gegebene Verhältnisse in Frage kommenden Pfahlart. Ein wesentliches, bei der Wahl des Pfahltyps erfahrungsgemäss oft nur zu sehr ausschlag-

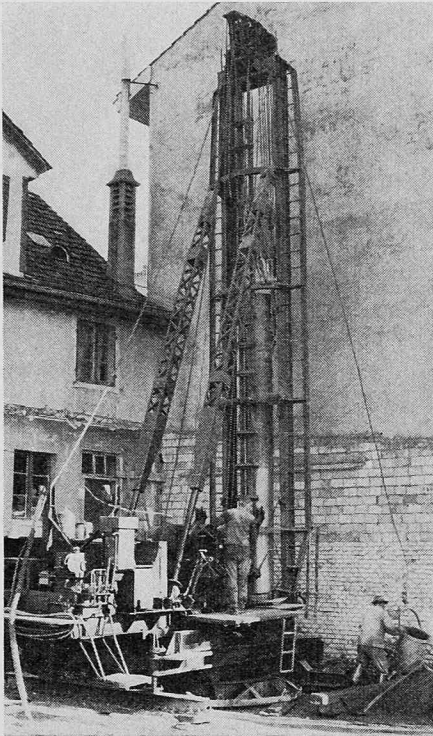


Bild 6. Franki-Ramme

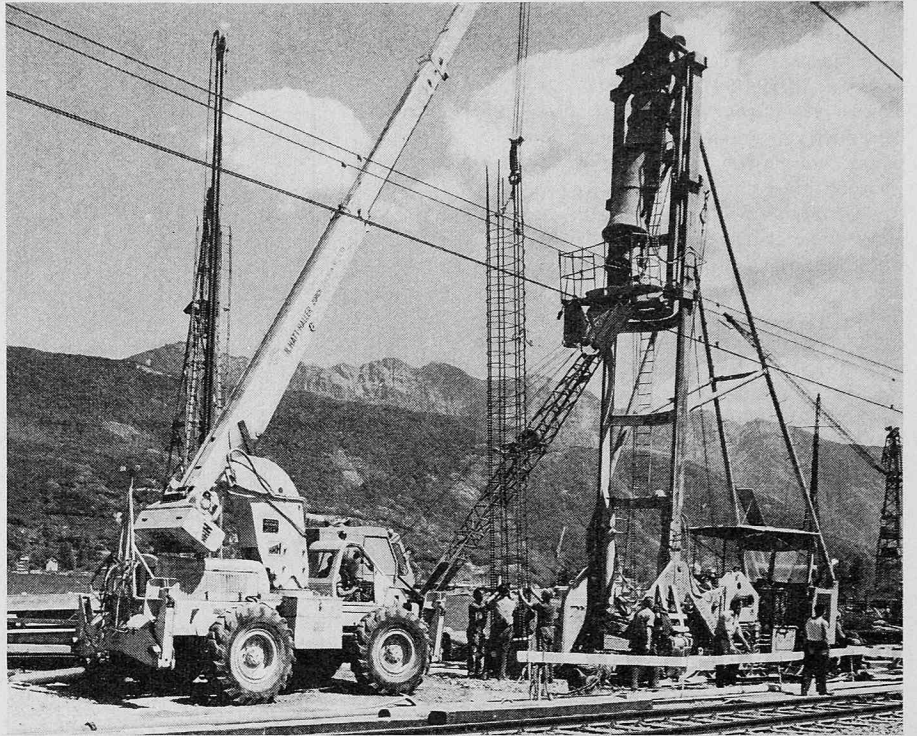


Bild 7. Benoto-Maschine (Schlagbohrverfahren)

Tabelle 2. Vergleich wichtiger Merkmale von Ramppfählen und Bohrpfählen

	Ramppfahl	Bohrpfahl
Durchmesser	bis rd. 55 cm	rd. 40 bis 150 cm
Länge	bis rd. 25 m	bis über 40 m
Tragkraft	bis rd. 120 t	bis über 600 t
Durchfahren von Blöcken	kaum	ja
Erschütterungen bei Herstellung	meist erheblich	meist unerheblich
Einfluss auf umgebenden Boden	verdichtend	ev. auflockernd
Einfluss des Grundwassers auf Herstellung	keiner	ev. hydraul. Grundbr.
Wichtigste Verfahren in der Schweiz	Franki Zeissl Alpha Delta MV	Benoto HW Sigma Calweld Swissboring

gebendes Merkmal fehlt allerdings in der Tabelle: *der Preis*. Zwar würde es keine Schwierigkeiten bereiten, die ungefähren Herstellungskosten bzw. Preise für z. B. 1 m Pfahl eines bestimmten Typs und Durchmessers anzugeben. Diese Angaben hätten jedoch nur einen sehr beschränkten Aussagewert, indem die Gesamtkosten – wie überall im Bauwesen – nicht allein durch die *Einheitspreise*, sondern ebenso sehr durch das *Ausmass* bestimmt werden. Dass dieser Tatsache bei Pfahlgründungen ganz besondere Bedeutung zukommt, ist jedem Ingenieur, der schon mit dieser Gründungsart zu tun hatte, bekannt, sind es doch letztlich immer die tatsächlich angetroffenen Bodenverhältnisse, welche das abzurechnende Ausmass bestimmen. Um deshalb die technisch richtige und gesamthaft betrachtet wirtschaftlichste Pfahl-

Bild 8. Calweld-Gerät (Drehbohrverfahren)

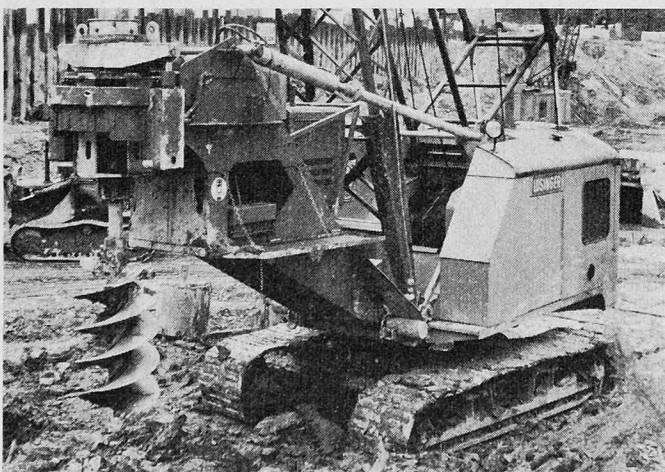
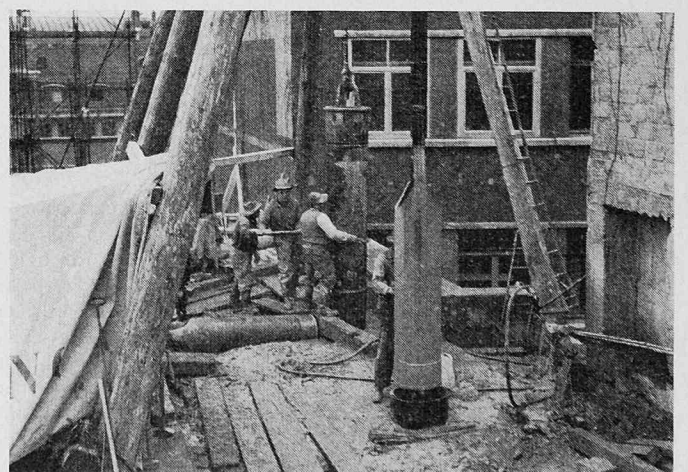


Bild 9. Herstellung von Bohrpfählen mit einfachem Dreibein und Bohrwerkzeug



art oder Gründungsmethode rechtzeitig bestimmen zu können, sind zuverlässige Bodenkennnisse – und zwar nicht nur bis zur Pfahlspitze, sondern bis mindestens 5 m darunter – die Voraussetzung. Nur durch eine zutreffende, vollständige und klare Beschreibung derselben im Pflichtenheft des Unternehmers kann sich der verantwortliche Ingenieur vor sog. Überraschungen schützen. Dass für die Beurteilung der Gesamtwirtschaftlichkeit einer Pfahlgründung neben den Kosten der eigentlichen Pfähle auch jene für das Herrichten und Entwässern eines den betreffenden Herstellungsverfahrens angepassten Arbeitsplans sowie die kostenmässigen Auswirkungen der gewählten Pfahlart und Einzelpfahl-last auf die Fundamentskonstruktion von ausschlaggebender Bedeutung sein können, sei der Vollständigkeit halber erwähnt.

Ausführungsbeispiele

Den bisherigen Ausführungen über die verschiedenen Pfahlarten, ihre Herstellung und ihre besonderen Merkmale, müssten als Ergänzung einige typische, die neuere Entwicklung darstellende Anwendungsbeispiele folgen. Anbetrachts der Tatsache, dass zwei weitere Beiträge dieser Reihe gewisse Verwendungsarten von Bohrpfählen im städtischen Tiefbau besonders behandeln, sollen mit den Bildern 10 und 11 nur zwei Anwendungsbeispiele herausgegriffen werden, welche die spezifischen Eigenschaften zweier Pfahlarten zum Ausdruck bringen.

Schlussbemerkungen und Kritik aus der Erfahrung mit Pfahlgründungen in der Schweiz

Der Zweck jeder Pfahlgründung besteht im wesentlichen darin, bestimmte gegebene Bauwerkslasten auf tiefer gelegene Bodenschichten zu übertragen. Der einzelne Pfahl erfüllt somit eine ähnliche Funktion wie eine Säule oder Stütze im Hochbau. Die *statische Dimensionierung* des Pfahlschaftes kann denn auch in ähnlicher Weise erfolgen, wobei das Knicken im Boden weitgehend ausser acht gelassen werden darf. Zusätzlich ist jedoch eine *grundbauliche Dimensionierung* vorzunehmen, d.h. das Tragverhalten oder Last-Zeit-Setzungsverhalten des Pfahles ist nachzuweisen. Dies ist bedeutend schwieriger, da sowohl die materialtechnischen Eigenschaften des Bodens als auch das Verfahren und die Sorgfalt der Herstellung des Pfahles darauf von Einfluss und nur schwer in Zahlen zu fassen sind. Es können deshalb meist nur *Probebelastungen* an ausgeführten Pfählen genaueren Aufschluss geben über das Tragverhalten und damit die Sicherheiten in bezug auf Grundbruch und zulässiges Setzungs-mass.

Während nun für das einfache Problem der Säule im Hochbau klare, verbindliche Richtlinien bzw. Normen des SIA über die Berechnung, die Materialbeanspruchung und die einzubeziehenden Sicherheiten bestehen, ist es in unserem Lande dem Ingenieur frei überlassen, die Materialbeanspruchungen und erforderlichen Sicherheiten von Pfählen – wie überhaupt von Grundbauten ganz allgemein – nach eigenem Ermessen und Gutdünken festzulegen. Anbetrachts der Vielzahl von Pfahlarten und -typen mit ihren teilweise sehr unterschiedlichen Trageigenschaften ist er dabei zu einem erheblichen Teil auf die entsprechenden Angaben des Pfahlherstellers

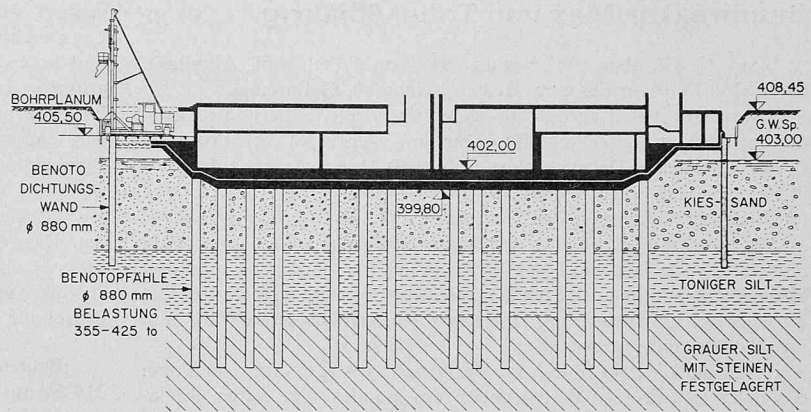


Bild 10. Typisches Anwendungsbeispiel für Bohrpfähle: Uebertragung grosser Gebäudelasten mittels hoch belasteter Bohrpfähle auf tieferliegenden, tragfähigen Untergrund (Hochhaus Palme, Zürich)

angewiesen. Dieser verfügt zwar in der Regel über eine umfangreiche Erfahrung mit dem von ihm praktizierten Pfahlsystem; er hat daneben aber aus verständlichen Gründen auch ein Interesse daran, seine Pfähle zu verkaufen. Für den verantwortlichen Ingenieur ist es deshalb oft sehr schwierig, die tatsächlichen, einer Pfählungsofferte zugrunde liegenden Sicherheiten in bezug auf das Tragverhalten abzuschätzen. Wohl steht ihm das Mittel der Probebelastung von einzelnen Pfählen oder Pfahlgruppen zur Verfügung. Normen oder Richtlinien für deren Durchführung gibt es in unserem Lande aber wiederum keine, obwohl es dem Spezialisten bekannt ist, dass die Art und Weise der Durchführung einer Probebelastung das Endergebnis wesentlich beeinflussen kann. Der Ingenieur ist daher im Zusammenhang mit der Dimensionierung, Ausführung und Beurteilung von Pfahlgründungen in einem Umfange auf sich selbst angewiesen, der ihn überfordern muss, sofern er nicht über ausgesprochene Spezialkenntnisse und eine langjährige Ausführungserfahrung auf diesem Gebiet verfügt.

In der Praxis ist denn auch häufig eine verständliche Unsicherheit festzustellen, die

sich in einer sehr uneinheitlichen, den gesamtwirtschaftlichen Interessen oft widersprechenden Bemessung von Pfählen und Pfahlgründungen bemerkbar macht. Schon nur bei den maximal zugelassenen Beanspruchungen des Pfahlschaftes beobachtet man Differenzen, die sachlich nicht begründbar sind, ganz zu schweigen von den verschiedenen Kriterien und Gesichtspunkten, nach welchen die zulässige Tragkraft von Pfählen festgelegt wird. Wenn ich deshalb diese Beobachtungen und Feststellungen bei Pfahlgründungen abschliessend zum Anlass nehme, um das Bedürfnis nach gewissen verbindlichen Richtlinien im Grundbau ganz allgemein zu dokumentieren, so lasse ich mich von der Überzeugung leiten, dass solche Richtlinien ganz wesentlich zu rationellerer Gestaltung und Ausführung von Grundbauten in der Schweiz beitragen könnten. Darüber hinaus würden sie aber auch eine Lücke im Normenwerk des SIA schliessen, welche anbetrachts der zunehmenden Bedeutung des Grundbaus auch für den Hochbauer kaum mehr länger zu rechtfertigen ist.

Adresse des Verfassers: Alfred Müller, dipl. Ing. ETH, Kantonsingenieur von Basel-Stadt, 4125 Riehen, Unterm Schellenberg 209.

Bild 11. Typisches Anwendungsbeispiel für Reibungspfähle: Verankerung eines Klärbeckens gegen Auftrieb mittels MV-Zugpfählen (Kläranlage Werdhölzli, Zürich)

