

Ramppfahlgründungen nach DIN 4026

unter Einsatz von Spülhilfe

Verfasser: Dipl.-Ing. H.P. Früh e-mail: hp.frueh@max-frueh.de

1. Vorbemerkungen:

Die Verwendung und Herstellung von Rammpfählen ist in der Bundesrepublik Deutschland in der DIN 4026 mit Erläuterungen im Beiblatt zu vorgenannter Norm geregelt.

Rammpfähle sind nach der DIN 4026 Pfähle aus Holz, Stahlbeton, Spannbeton oder Stahl, die in ihrer ganzen Länge oder in Abschnitten vorgefertigt oder zugerichtet werden und so in den Untergrund gerammt werden.

Das Rammen kann durch Spülen oder Rütteln unterstützt werden.

Bei der Herstellung von Rammpfählen treten nicht selten Rammschwierigkeiten auf, die ihre Ursache in der Lagerungsdichte des anstehenden Baugrundes haben. Vor allem feinsandige und schluffige, dichtgelagerte Böden lassen häufig eine Rammung ohne Beschädigung des Pfahls, meistens des Pfahlkopfs nicht zu.

In derartigen Fällen führt auch eine Erhöhung der Rammenergie durch Wahl eines leistungsstärkeren Rammgerätes (Schlagramme oder Vibrationsramme) nicht zum Ziel, da die Festigkeit des Rammpfahls bei der Rammung überschritten wird.

2. Der Rammpfahl mit Spülhilfe:

Um diese genannten Schwierigkeiten zu überwinden, ist es nur folgerichtig, den Eindringwiderstand solcher Pfähle für die Rammung zu verringern. Dies führte zur Entwicklung des Rammpfahls mit Zementmörtelspülhilfe.

Generell können sowohl Zugkräfte aber auch Druckkräfte mit dem Rammpfahl in den Untergrund eingeleitet werden, die Einsatzmöglichkeit zur Aufnahme von Zugkräften ist weitverbreitet.

Die Druckkraftaufnahme von Rammpfählen, die früher hauptsächlich im Vordergrund stand, ist jedoch wegen der vielfältigen Großbohrpfahltypen etwas zurückgegangen. Sie bleibt aber nach wie vor bei vielen Bauprojekten (z.B. Ausführung unter Brücken mit eingeschränkter Höhe u.ä.) sinnvoll und sehr wirtschaftlich.

2.1 Pfahlkonstruktion:

Stahlrammpfähle bestehen vorzugsweise aus einem HEB-Profil (HEA, HEB 100 – 400). Beim Einsatz von Zementmörtelspülung wird am unteren Ende des Stahlprofilpfahls ein Kragen in Form eines Stahlblechs $d/h = 15 \text{ mm} / 50 \text{ mm}$ aufgeschweißt.

Durch das Aufschweißen der Flachstähe wird also der Verdrängungsquerschnitt des Verankerungspfahls im Gegensatz zur üblichen Konstruktion nur geringfügig über die Fläche des HEB-Profiles hinaus vergrößert. Der Pfahlkopf, über den die aufzunehmenden Kräfte in das angrenzende Bauteil eingeleitet werden, wird mit einem Kragen versehen, dessen Ausbildung sich nach statischer Erfordernis unter Beachtung des Einbauvorgangs ergibt. Hier sind verschiedene bekannte und erprobte Ausführungsarten denkbar.

Zum Einbringen der Zementmörtelspülung werden an jedem Pfahl zwei Injektionsrohre am Übergang zwischen Steg und Flansch befestigt. Sie enden kurz oberhalb des fußseitigen Stahlblechs des HEB-Profiles. Über diese Rohre wird der im Zug des Rammvorgangs einzubringende Spül- und Verpressmörtel eingepumpt. Um eine gleichmäßige Verteilung und Umströmung des Verpressmörtels über die Fläche des Pfahlschaftes zu erzielen, sind in unmittelbarer Nähe der Enden der Injektionsrohre geeignete Perforationen im Flansch des HEB-Profil angeordnet.

2.2 Herstellungsvorgang:

Rammpfähle mit Zementmörtelspülung lassen sich in Abhängigkeit der Eigenschaften des Baugrunds in gleicher Weise wie Rammpfähle ohne Spülhilfe sowohl mit Schlagrammen aller Art (pneumatische Schnellschlagbären, Hydraulikhämmern, langsam schlagende Dieselsbären) als auch mit Vibrationsrammen herstellen. Werden Vibrationsbären verwendet, kann bei schwimmender Rammung auf den Einsatz von Rammjungfern verzichtet werden, da der hydraulisch angetriebene Vibrationsbär auch unter Wasser einsetzbar ist. In diesem Fall ist ein unter den Wasserspiegel hinabreichender Mäkler empfehlenswert, um einen genauen Pfahleinbau zu gewährleisten. (Zwangsführung von Rammgut und Rammgerät).

Parallel zum Rammvorgang wird über die Rohre am Profil in geeigneter Menge und Druck Zement-Verpressmörtel zugegeben, der an der Pfahlspitze austritt. Die Mörtelzugabe erfolgt hierbei zweckmäßigerweise mittels einer automatisch in Abhängigkeit der Vorschubgeschwindigkeit gesteuerten Verpresspumpe.

Die Verpressrohre für die Zementsuspension verbleiben in der Regel am Pfahl. In Sonderfällen können diese aber auch gezogen werden.

2.3. Probelastung:

Zur Prüfung der Tragfähigkeit derartiger eingebrachter Rammpfähle wurden Zugprobelastungen an 5 Verankerungspfählen HEB 200 durchgeführt. Die Überwachung der Probelastungen erfolgte durch die Versuchsanstalt für Bodenmechanik und Grundbau der TH Darmstadt, die Beurteilung der Ergebnisse durch Herrn Prof. Dr.-Ing. Franke. Bei dem anstehenden Baugrund handelt es sich um mitteldicht bis dicht gelagerte Sand- und Kiesablagerungen quartären Ursprungs.

Alle 5 Verankerungspfähle bestehen aus Stahlprofilen HEB 200 St52. Pfahl 1 wurde ohne Fußverbreiterung hergestellt, die übrigen Pfähle erhielten eine Fußverbreiterung wie in **Abschnitt 2.1.** beschrieben. Da neuerdings festgestellt werden konnte, dass auch das Einbringverfahren die Tragfähigkeit verbessern kann, wurde vergleichsweise gerammt und gerüttelt. Der Spülhilfe-Verpressmörtel bestand aus einem Wasser-Zement-Gemisch mit geringer Zugabe von Bentonit. Die Versuchsdaten und Grenzlaster sind in **Tabelle 1** zusammengefasst:

Pfahl Nr.	1	2	3	4	5
Einbauverfahren	gerammt D 22	gerammt D 22	gerammt D 22	gerüttelt ICE 815	gerüttelt ICE 815
Pfahllänge [m]	10	10	10	10	10
Pfahlart	Nicht verpresst	verpresst	verpresst	verpresst	verpresst
Verpressmörtel Verbrauch V_M [l]	-	186	186	175	175
theoret. Hohlraum V_T [l]		177	177	177	177
Verbrauchsfaktor V_M/V_T		1,05	1,05	0,99	0,99
Grenzlaster [kN]	800	2.200	2.500	2.700	2.700

Tabelle 1 - Probelastung

3. Zusammenfassung:

Die Ausführung und die Auswertung Probelastung hat gezeigt, dass

- die Rammpfähle sich bei Schonung des Gefüges des umgebenden Baugrunds und dadurch auch (durch die Zugabe der Spülung) erschüttersarm gut rammen lassen,
- die Mantelverpressung der Zementmörtelspülung nach Erhärtung im Vergleich zum nackten Pfahl eine sehr wirkungsvolle Verbesserung der Mantelreibung bewirkt,

- die vibrationsgerammten Pfähle ein besseres Tragverhalten als die eingeschlagenen Pfähle aufweisen.

Zusammenfassend ergibt sich, dass der Rammpfahl mit Zementmörtel-Spülhilfe in günstiger Weise die Erleichterung des Rammwiderstandes mit einer deutlichen Erhöhung der Mantelreibung kombiniert.

Als zusätzlicher Vorteil zeigt sich die erhebliche Verringerung der Erschütterungen durch den Rammvorgang auf die Umgebung des Rammpfahls. Diese Verminderung der Erschütterung ist bedingt durch die thixotrope Flüssigkeit des Verpressmörtels, der das Rammprofil umfließt und die Erschütterungsenergie aufnimmt und eine wirksame Trennschicht zum umgebenden Baugrund bildet.

Alle Vorgaben und Bestimmungen der DIN 4026 werden eingehalten und eine Qualitätsverbesserung des Baugrundes durch die Festigkeit des eingebrachten Spülmörtels gegenüber einer Spülung nur mit Wasser erreicht.

Der Rammpfahl selbst bleibt in seiner Qualität und Unversehrtheit durch den Einsatz der Spülhilfe nach Ziff. 2 der DIN 4026 besser geschützt (da der Pfahl beim Einbringen durch die Umhüllung der spülenden Flüssigkeit geschont wird) als ohne deren Einsatz.

Die seit 1970 in Tausenden von ausgeführten Ramm- und Vibrationsfählen nach dieser Verfahrensweise gemachten Erfahrungen und Probelastungen bestätigen die signifikante Qualitätsverbesserung durch die Zementmörtel-Spülhilfe gegenüber einer einfachen –nicht Zementmörtel gespülten Ausführung des Rammpfahls, der häufig Deformationen durch die Schlagenergie aufweist.

Als Referenz sei hier das Projekt „Tunnel Forst“ (Unterquerung der DB-Neubaustrecke unter der Autobahn BAB A 5 bei Bruchsal) genannt.

Revision 3/2004-HPF