



Pfahlgründungsverfahren

DER RÜTTEL-INJEKTIONSPFAHL (RI-PFAHL)

1. Vorbemerkungen:

Gerammte Pfähle sind ein sehr bewährtes Verfahren zur Gründung von Bauwerken. Bereits im Altertum war die Rammpfahltechnik zur Gründung von Brücken und anderen Bauwerken gebräuchlich.

Bis zur Mitte des 19. Jahrhunderts bestanden die Rammpfahlgründungen aus Holzpfählen aus Nadel- oder Eichenholz entweder in der Naturform von Baumstämmen oder in Kantholzform mit Pfahlspitzen aus Schmiedeeisen.

Mit Beginn der Herstellung von Stahlwalzprofilen und Stahlrohren wurden auch vermehrt Stahlrammpfähle ausgeführt.

Nach der Verbreitung der Stahlbetonbauweise werden weltweit auch erfolgreich vorgefertigte Stahlbetonrammpfähle, die mittlerweile auch gekoppelt werden können sehr erfolgreich und wirtschaftlich vorteilhaft ausgeführt.

Ein spezielles Anwendungsgebiet der Rammpfahltechnik ist der Ramminjektionspfahl und seine spezielle Form des Rüttelinjektionspfahls.

Er vereinigt die Vorteile des Rammpfahls mit der Anwendung der modernen Injektionstechnik von Mörteln zur Verbesserung der Tragfähigkeit und der Erleichterung des Einbringens des Pfahl durch die Injektion von Zementmörtel während des Rammvorgangs.

Bei der Herstellung von klassischen Rammverpresspfählen (unter Verwendung von schlagenden Rammhämmern) treten nicht selten Ramm Schwierigkeiten auf, die sehr oft ihre Ursache in der hohen Lagerungsdichte des anstehenden Baugrundes haben. Vor allem feinsandige und schluffige, dichtgelagerte Böden (die im Rheintal zwischen Basel und Frankfurt Main häufig anzutreffen sind) lassen häufig eine planmäßige klassische Rammung 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 Rammverpresspfahls bei der Rammung überschritten wird und die Zerstörung des Rammguts zur Folge hat.

2. Der Rüttelinjektionspfahl (RI-Pfahl):

Um den genannten Schwierigkeiten beim Einbringen der Pfähle aus dem Weg zu gehen, ist es nur folgerichtig, den Eindringwiderstand solcher Pfähle für die Rammung zu verringern. Dies führte zur Entwicklung des Ramm- bzw. Rüttelinjektionspfahls System HOCHTIEF –Tunnel Forst (RI – Pfahl).

Die zugehörigen Grundsatzversuche wurden von der dort tätigen ARGE Hochtief A.G. – Bilfinger Berger A.G.- Max Früh Bauunternehmung Achern- G.Stumpf Bruchsal unter massgeblicher Beteiligung der Fa. Max FRÜH Bauunternehmung durchgeführt und das System zur Serienreife entwickelt.

Im folgenden wird auf die mittlerweile sehr verbreitete Anwendung dieses Pfahlsystems zur Einleitung von **Zug**kräften in den Baugrund eingegangen.

Dieser Pfahltyp hat sich im Rheintal zwischen Basel und Frankfurt/ Main seit 1970 bis heute als vorteilhaft genutztes Bauelement zur Verankerung von Unterwasserbetonsohlen gegen Auftriebskräfte erwiesen.

Generell können selbstverständlich auch Druckkräfte mit dem RI-Pfahl in den Untergrund eingeleitet werden, diese Einsatzmöglichkeit wird wegen der vielfältigen und preisgünstigen auf dem Markt befindlichen Bohrpfahltypen weniger oft genutzt, ist aber unter bestimmten schwierigen Randbedingungen (z.B. Pfahlgründungen unter Wasser) wirkungsvoll einsetzbar.

2.1 Pfahlkonstruktion:

Ramminjektionspfähle bestehen vorzugsweise aus einem HEB-, HEA-Profil.

Am unteren Ende des Pfahls ist ein umfangvergrößernder Kragen z.B. in Form eines Stahlblechs $d/h = 15 \text{ mm} / 50 \text{ mm}$ aufgeschweißt. (**Bild 1**).

Durch das Aufschweißen der Flachstähle wird also der Verdrängungsquerschnitt des Verankerungspfahls im Gegensatz zur althergebrachten Konstruktion des MV-Pfahls nur geringfügig über die Fläche des HEB-Profiles hinaus vergrößert.

Der Pfahlkopf, über den die Verankerungskräfte 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 gebräuchlich.



An jedem Pfahl sind zwei Injektionsrohre am Übergang zwischen Steg und Flansch befestigt. Sie enden kurz oberhalb des fußseitigen Stahlblechs. Über diese Rohre wird der im Zug des Rammvorgangs einzubringende Verpressmörtel eingepumpt. Um eine gleichmäßige Verteilung des Verpressmörtels über die Fläche des Pfahlschaftes zu erzielen, sind in unmittelbarer Nähe der Enden der Injektionsrohre Löcher im HEB, HEA-Profil angeordnet.

Bild 1

2.2 Herstellungsvorgang:

RI-Pfähle lassen sich in Abhängigkeit der Eigenschaften des Baugrunds in gleicher Weise wie Rammverpresspfähle sowohl mit Schlagrammen als auch mit Vibrationsrammen herstellen. Werden hydraulisch angetriebene Vibrationsbären verwendet, kann bei schwimmender Rammung (**Bild 2**) auf den Einsatz von Rammjungfern verzichtet werden, da der Hydraulik-Vibrationsbär mit entsprechender Ausrüstung auch unter Wasser einsetzbar ist. In diesem Fall ist ein unter den Wasserspiegel hinabreichender Mäkler vorteilhaft, um einen genauen Pfahleinbau zu gewährleisten wo dies (z.B. bei permanenter Verwendung der Zugpfähle) erforderlich ist. (Zwangsführung von Rammgut und Rammgerät).

Bei temporärer Verwendung der RI-Pfähle wird aber in der Regel freireitend einvibriert, da hier eine Genauigkeit im Dezimeterbereich ausreichend ist und oftmals in kleineren Baugruben der Einsatz von grossen Arbeitspontons (für ein Rammgerät mit Mäklerführung) nicht zulassen.



Parallel zum Rammvorgang wird über die Injektionsrohre Verpressmörtel zugegeben, der an der Pfahlspitze austritt. Die Mörtelzugabe erfolgt hierbei zweckmäßigerweise mittels einer automatisch in Abhängigkeit der Vorschubgeschwindigkeit gesteuerten Verpresspumpe; die maximale Vorschubgeschwindigkeit muss mit der Leistung der Mörtelpumpe korrespondieren, ggf. ist die Vorschubgeschwindigkeit entsprechend zu drosseln.

Ist die Solltiefe erreicht, kann je nach den anstehenden Baugrundverhältnissen durch die entsprechenden Verpressrohre eine Nachverpressung zur Verbesserung der Mantelreibung vorgenommen werden.

Die Verpressrohre können am Pfahl verbleiben oder gezogen werden.

Bild 2

2.3. Probelastung:

Zur Prüfung der Tragfähigkeit derartiger Pfähle wurden beim Bauvorhaben „DB-Tunnel Forst“ 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 beeinflusst, wurde vergleichsweise gerammt und gerüttelt.

Der 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 Probelastung hat gezeigt, dass

- die RI-Pfähle sich gut rammen lassen,
- die Mantelverpressung im Vergleich zum nackten Pfahl eine sehr wirkungsvolle Verbesserung der Mantelreibung bewirkt,

- die gerüttelten Pfähle ein besseres Tragverhalten als die eingerammten Pfähle aufweisen.

Zusammenfassend ergibt sich, dass der RI-pfahl in günstiger Weise die Minimierung des Rammwiderstandes mit einer Erhöhung der Mantelreibung nach dem Ramm-Verpresspfahl-Prinzip kombiniert.

Mittlerweile haben sich seit ca. 1985 in vielfacher Weise die Zugpfahlgruppen der RI-Pfähle zur Auftriebssicherung von Unterwasserbetonsohlen sehr gut bewährt.

Es liegen mittlerweile in vielen Bodenarten des Rheintals zwischen Freiburg i. Br. bis Darmstadt Zugversuche vor, die eine gesicherte Aussage über die Wirkungsweise und die Kraftaufnahme de Rüttel-Injektionspfahls zulassen.

Durch Begutachtung von ausgegrabenen RI-Pfählen wurde im allen Fällen die Ausbildung eines gut ausgeformten Verpresskörpers um das eingerammte oder vibrierte Stahlprofil ebenfalls nachgewiesen (s. Bild 4)

(Fassung v. 6/2002-Verfasser Dr.-Ing. Brehm, Ergänzungen: Dipl.-Ing. H.P. Früh 10/04)



Bild 4: Ausgegrabener Rüttel-Injektionspfahl nach Beprobung, Baustelle: Eisenbahnüberführung Leimen-St.Ilgen, 1999, Baugrund: schluffige Kiessande des Rheintals.

Probepfahl der Unterwasserbeton-Sohlverankerung der Anrampungströge der EÜ.
Planung und Ausführung: Fa. Max Früh Bauunternehmung D-77855 Achern,
Bauherrn: Deutsche Bahn A.G., Deutsche Bahn Gruppe Netz, Tiefbauamt d. Stadt
Leimen.
Baugrundgutachten: Büro Dr.-Ing. K. Kärcher, Weingarten.