

Schadensvorbeugung bei Ortbetonrammpfahlgründungen

Dipl.-Ing. Werner Brieke

FRANKI Grundbau GmbH & Co. KG

Zusammenfassung

Kennzeichnende Merkmale bei der Herstellung von Ortbetonrammpfählen sind zum einen der dynamische Einbringvorgang, der zwangsläufig mit der Erzeugung von Erschütterungen einhergeht, und der Bodenverdrängungseffekt, da es sich um vollverdrängende Pfahlssysteme ohne Bodenförderung handelt. Die hieraus resultierenden Auswirkungen zum einen auf vorhandene bauliche Anlagen und zum anderen auf die Pfahlgründung selbst sind zu bewerten und gegebenenfalls schadensvorbeugende Maßnahmen zu ergreifen.

1 Einleitung

Zur Gruppe der Ortbetonrammpfähle gehören der Simplexpfahl, der mittels Kopframmung und einer verlorenen Fußplatte unter dem Vortreibrohr hergestellt wird, und der Frankipfahl, der durch Innenrohrframmung und einen aufgeweiteten Pfahlfuß gekennzeichnet ist. Den Herstellvorgang zeigen die Bilder 1 und 2. Der dynamische Einbringvorgang und die vollständige Bodenverdrängung führen zu hohen Produktionsraten und hohen Tragfähigkeiten und bieten dadurch technische und wirtschaftliche Vorteile. Dabei dürfen die Auswirkungen bei der Pfahlherstellung auf die Umgebung, bedingt durch den Rammvorgang und den Bodenverdrängungsprozess, nicht übersehen werden. Nachfolgend werden an Hand ausgeführter Bauvorhaben Möglichkeiten und Hinweise aufgezeigt, wie eine aktive Schadensvorbeugung möglich ist und diese Auswirkungen sicher beherrscht werden können.

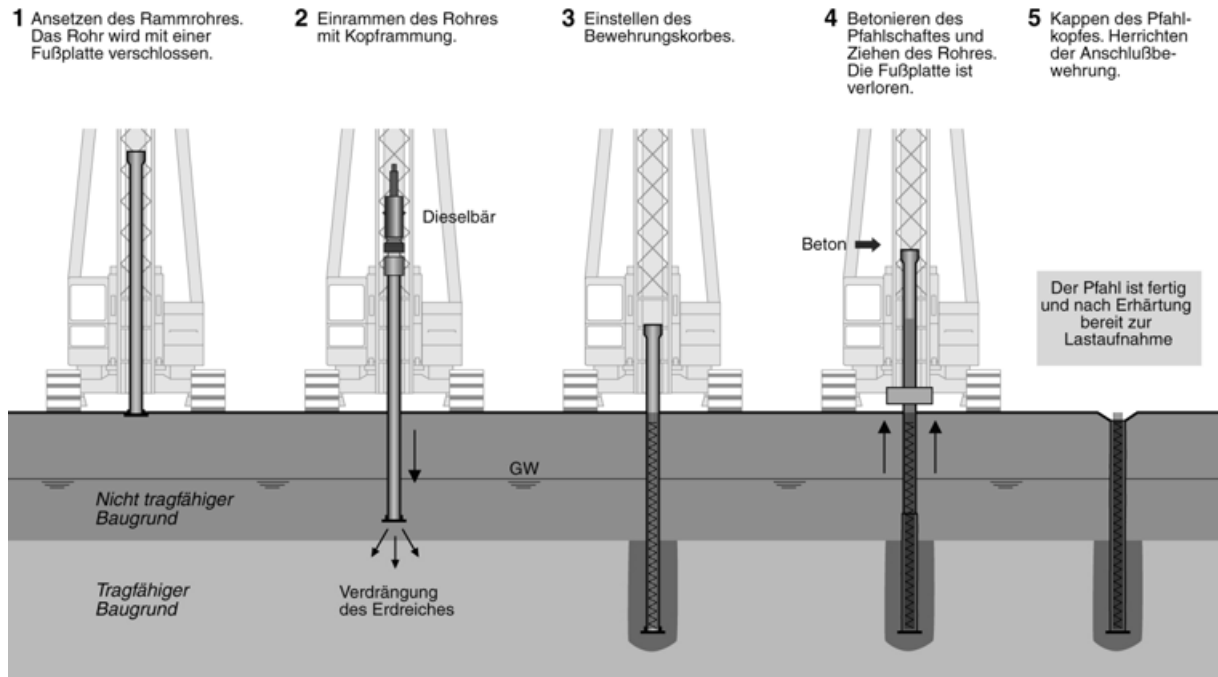


Bild 1: Herstellungsphasen des Simplexpfahles

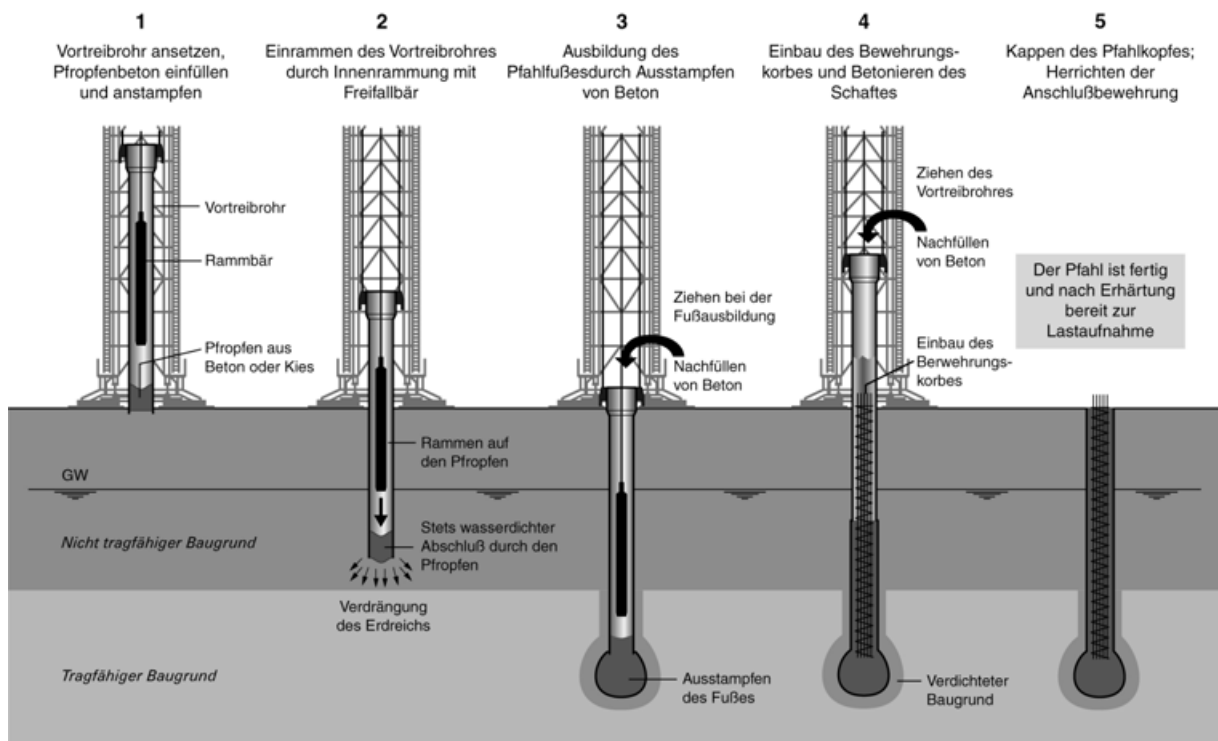


Bild 2: Herstellungsphasen des Frankipfahles

2 Schadensvorbeugung hinsichtlich bestehender baulicher Anlagen

2.1 Auswirkungen von Erschütterungen

Für die Beurteilung der durch den Rammvorgang hervorgerufenen Erschütterungen kommt es darauf an, ob diese Erschütterungen oberhalb oder unterhalb des Niveaus liegen, welches als zulässiger Grenzwert unter den baustellenspezifischen Randbedingungen ermittelt werden kann.

Der die Erschütterungen auslösende Verfahrensschritt ist das Aufschlagen des Rammjärs. Wenn die Schlagfrequenz so begrenzt bleibt, dass die Schwingungen im Boden abgeklungen sind bevor der nächste Rammschlag erfolgt, können keine schädlichen Resonanzeffekte auftreten. Bild 3 verdeutlicht das Abklingen der Schwingungen nach jedem Rammschlag bei der Frankipfahl-Herstellung.

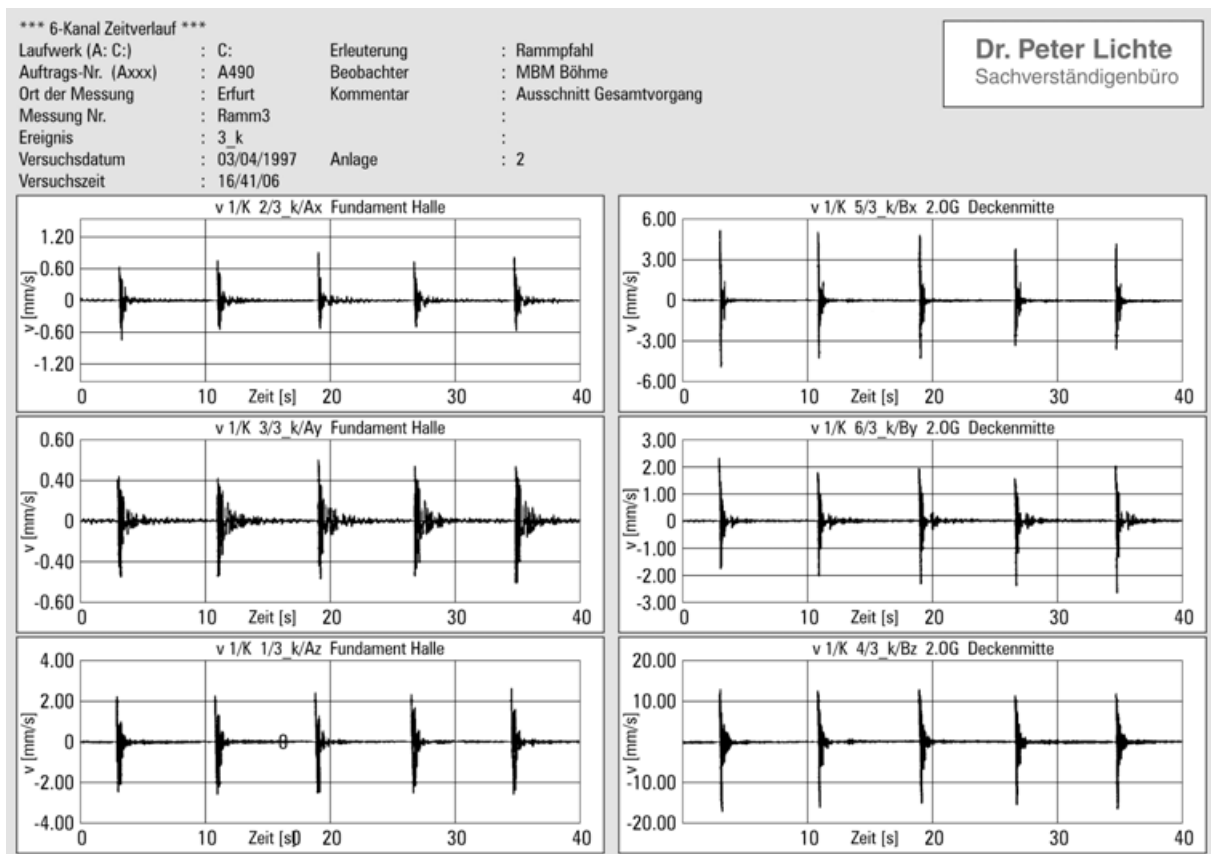


Bild 3: Zeitlicher Verlauf der Schwingungen bei der Frankipfahl-Herstellung

Die Beurteilungskriterien für das zulässige Erschütterungsniveau bei vorhandener Nachbarbebauung hängen ab von der Qualität der Bausubstanz, der Gründungssituation und der Bauwerksnutzung. In DIN 4150, Erschütterungen im Bauwesen, Teile 2 und 3, sind Anhaltswerte zur Beurteilung von Erschütterungen angegeben.

Mögliche negative Auswirkungen von Erschütterungen bei der Pfahlherstellung auf eine vorhandene Nachbarbebauung können sein:

- Schäden an der Bausubstanz infolge zu großer Bauwerksschwingungen
- Verdichtung des Bodens unterhalb der Gründung → Setzungen
- Beeinträchtigung der Nutzung
- Belästigung der Bewohner

Bei Einhaltung der in DIN 4150 genannten Anhaltswerte bzw. der für ein konkretes Bauvorhaben festgelegten Grenzwerte sind die oben genannten Risiken beherrschbar und Schäden ausgeschlossen. Die zu erwartenden Erschütterungen können aus Erfahrungswerten von ausgeführten Projekten mit vergleichbaren Randbedingungen abgeschätzt und durch Proberammungen mit begleitenden Schwingungsmessungen konkretisiert werden.

Einen wesentlichen Einfluss auf die Größe der Bauwerksschwingungen hat naturgemäß die Entfernung zwischen Bauwerk und Rammort. In Bild 4 sind für eine Reihe von Bauvorhaben die an Nachbarbauwerken bei der Herstellung von Frankipfählen gemessenen Schwinggeschwindigkeitswerte in Abhängigkeit von der Entfernung (R) zum Rammort dargestellt.

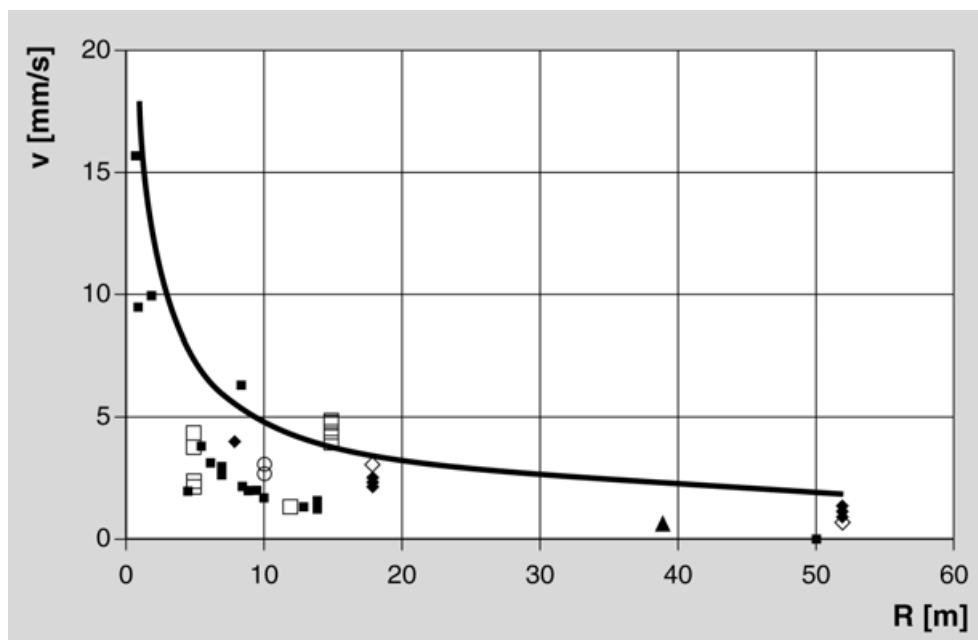


Bild 4: Abhängigkeit der Größe der Schwinggeschwindigkeitsamplituden von der Entfernung R zum Rammort bei der Frankipfahl-Herstellung

2.2 Ausführungsbeispiele

2.2.1 Neubau der Mittellandkanalbrücken Nr. 252/Leinestrombrücke und Nr. 253/Leineflutbrücke bei Hannover

Im Zuge des Ausbaus des Mittellandkanals wurden die Leinestrom- und Leineflutbrücke neben den bestehenden Brücken der „Alten Fahrt“ neu errichtet. Bedingt durch die Baugrundverhältnisse war für beide Brücken eine Tiefgründung auf Pfählen erforderlich. Im Bereich der Leinestrombrücke standen unterhalb einer ca. 2 m mächtigen Schluffschicht mitteldicht gelagerte Sande an.

Bei der Leineflutbrücke folgte nach einer ca. 6 m mächtigen Schicht aus weichem bis steifem Auelehm der „Hannoversche Ton“ in halbfester Konsistenz.

Statt der ausgeschriebenen Bohrpfahlgründung kam in beiden Fällen ein Nebenangebot mit Frankipfählen zur Ausführung. Dabei musste selbstverständlich sichergestellt sein, dass sowohl an den vorhandenen Kanalbrücken als auch an den Übergängen zu den anschließenden Dammbauwerken Schäden und Undichtigkeiten durch Erschütterungseinflüsse ausgeschlossen waren.

Zum Einsatz kamen für beide Bauwerke Frankipfähle mit einem Durchmesser $D = 0,5$ m und einer Gebrauchslast $Q = 1800$ kN. Für das Einrammen des Vortreibrohres wurde ein Rammbar mit einem Gewicht von 42,5 kN eingesetzt.

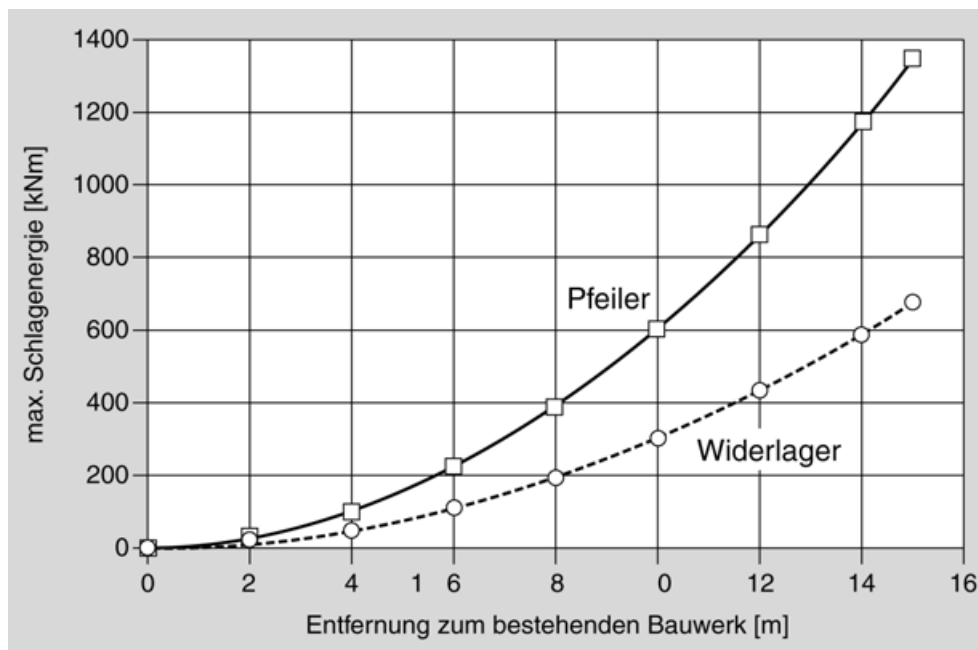


Bild 5: Maximal zulässige Schlagenergie für die Frankipfahl-Herstellung

Die zu erwartende Größe der Rammerschütterungen und deren Verträglichkeit mit den bestehenden Bauwerken wurde vorab vom Curt-Risch-Institut Hannover ermittelt und bewertet. Um Setzungen der bestehenden Bauwerke zu vermeiden, wurde die zulässige resultierende Schwinggeschwindigkeit im

Boden unter den Fundamenten – maßgebend sind die Gründungen im mitteldicht gelagerten Sand – auf $v_R \leq 35$ mm/s für die Widerlager bzw. $v_R \leq 50$ mm/s für die Pfeiler festgelegt.

Der höhere Wert für die Pfeiler ist durch die tiefere Lage der dortigen Fundamente im Vergleich zu denen der Widerlager begründet. Zur Einhaltung dieser Werte durfte die maximale Rammenergie je Schlag bei der Pfahlherstellung in Abhängigkeit von der jeweiligen Entfernung zum Widerlager bzw. Pfeiler die Werte des Bildes 5 nicht überschreiten. Aus der beschriebenen Planung wurden die in Tabelle 1 angegebenen Schwinggeschwindigkeiten für die bestehenden Bauwerke prognostiziert.

Ort der Schwingungen	$V_{x\max}^{1)}$ [mm/s]	$V_{y\max}^{2)}$ [mm/s]	$V_{z\max}^{3)}$ [mm/s]	zul $V_{x,y,z}^{4)}$ [mm/s]
Boden ⁵⁾	40	15	26	---
Widerlager und Pfeiler	12,5	4	9	25
Überbau	19	6	18	25

¹⁾ Horizontale Schwinggeschwindigkeitskomponente senkrecht zur Kanalachse

²⁾ Horizontale Schwinggeschwindigkeitskomponente parallel zur Kanalachse

³⁾ Vertikale Schwinggeschwindigkeitskomponente

⁴⁾ Zulässige Schwinggeschwindigkeit für jede Einzelkomponente nach DIN 4150 Teil 3

⁵⁾ Zulässige resultierende Schwinggeschwindigkeit $v_R = 50$ mm/s

Tabelle 1: Prognostizierte und zulässige Schwinggeschwindigkeitsamplituden

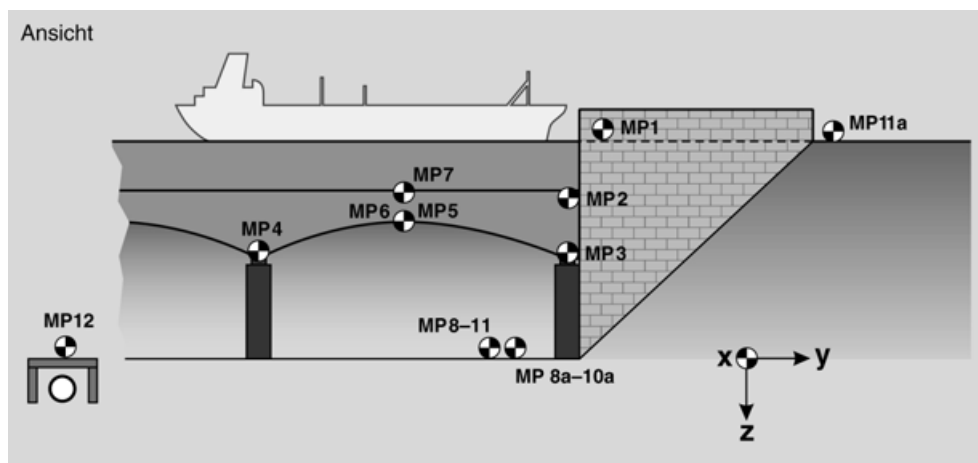


Bild 6: Lage der Messpunkte

Zur Überprüfung der tatsächlich auftretenden Erschütterungen wurden vorab bei Proberammungen umfangreiche Schwingungsmessungen durchgeführt. Während der Versuche wurde die Fallhöhe des Rammbärs variiert. Die Lage der Messpunkte ist in Bild 6 dargestellt, die Ergebnisse der Schwingungsmessungen enthält Tabelle 2. Die darin angegebenen Werte stellen die maximalen

Schwinggeschwindigkeiten an der Brückenkonstruktion dar. Sie traten beim Rammen mit einer Fallhöhe von 10 m auf. Die Entfernung der Rammung zur Brücke betrug 10 m.

MP	Schwinggeschwindigkeit [mm/s]		
	V_x	V_y	V_z
1	5,13	2,73	5,05
2	1,77	1,29	4,15
3	0,78	0,88	4,40
4	2,05	4,24	5,92
5	8,25	2,23	4,86
7	---	---	13,74

Tabelle 2: Maximale Messwerte der Schwinggeschwindigkeiten an der Brückenkonstruktion

Auf der Geländeoberfläche traten resultierende Schwinggeschwindigkeiten bis ca. 50 mm/s auf. Damit lagen die Messwerte, teilweise sogar erheblich, unterhalb der zulässigen Grenzwerte. Die Pfahlgründung konnte wie geplant ausgeführt werden. Bild 7 zeigt die Leineflutbrücke der „Alten Fahrt“ und die fertig gestellte Gründung der neuen Brücke.



Bild 7: Bestehende Leineflutbrücke und im Bau befindliche neue Kanalbrücke

2.2.2 Umbau des Erlwein-Gasbehälters in Dresden

Der 1907/1908 in Stahlbetonbauweise errichtete Gasbehälter mit einem Durchmesser von 66 m und einer Höhe von 63 m wurde saniert, umgebaut und einer neuen Nutzung zugeführt, wobei die unter Denkmalschutz stehende Fassade und der Treppenturm des Gasbehälters erhalten bleiben mussten. Es war geplant, den unteren Bereich des Rundbaus als Musicaltheater, den oberen Bereich als Kino zu nutzen.

Der Baugrund unterhalb des Behälterbodens bestand bis 2 m Tiefe aus Auffüllung und Tallehm, danach schlossen sich bis in 10 m Tiefe Sande und Kiese in mitteldichter Lagerung an. Darunter folgte Mergelstein. Infolge der ursprünglichen Nutzung war der Baugrund bereichsweise kontaminiert. Die Behälteraußenwand und die Treppentürme waren flach im Flusssand/-kies gegründet.

Als wirtschaftlichste Gründungsvariante für die neuen Einbauten innerhalb des Behälters erwies sich eine Tiefgründung mit Frankipfählen. Der geringste Pfahlabstand zur Außenwand betrug 6,5 m. Die Verträglichkeit der beim Rammen auftretenden Erschütterungen wurde vorab vom Ing.-Büro Dr. Lichte aus Leipzig in einem Gutachten bewertet. Bei Einsatz eines Rammrohrdurchmessers von 0,51 m, einem Bärgewicht von 30 kN und einer Fallhöhe von 6,5 m wurde eine maximale Schwinggeschwindigkeit von 10 mm/s im Frequenzbereich unter 10 Hz prognostiziert.

Das Gebäude wurde als nicht besonders erschütterungsempfindlich eingestuft, so dass nach DIN 4150, Teil 3, Tabelle 1, Zeile 1, eine zulässige Fundamentalschwinggeschwindigkeit von 20 mm/s bei Frequenzen unter 10 Hz als zulässig festgelegt wurde. Für die prognostizierten 10 mm/s wurden die in der Außenwand zu erwartenden Schwingungsamplituden auf einen Betrag von weniger als 0,3 mm abgeschätzt.

Da durch die niederfrequente Schlagfolge von 10 Schlägen pro Minute Resonanzeffekte nicht auftreten konnten, waren schädliche Auswirkungen auf die Behälterwand ausgeschlossen.

Zur Überprüfung der Prognosewerte und Überwachung der Pfahlherstellung wurden baubegleitend Erschütterungsmessungen durchgeführt. Um die Einhaltung der vorgegebenen Grenzwerte während der gesamten Pfahlherstellung sicherzustellen, wurde eine Dauermesseinrichtung installiert. Diese war mit einer optischen und akustischen Signaleinrichtung gekoppelt, die bei Erreichen vorgegebener Grenzwerte entsprechende Signale für das Bedienungspersonal anzeigte. Der untere Grenzwert wurde auf 4 mm/s eingestellt und diente als Vorwarnstufe (gelbe Rundumleuchte). Die zweite Warnstufe wurde auf 7 mm/s festgelegt (rot blinkende Leuchte mit akustischem Alarm).

An das Erreichen/Überschreiten dieser Grenzwerte waren jeweils vorher festgelegte Verfahrensmodifikationen geknüpft, um die zulässigen Beanspruchungen keinesfalls zu überschreiten. Die Schwingungsmessungen ergaben jedoch keine Überschreitung der Vorwarnstufe von 4 mm/s. Der Maximalwert der Schwinggeschwindigkeiten betrug 3,8 mm/s. Die Gründung konnte mit

Frankipfählen Durchmesser $D = 0,51$ m, einer Gebrauchslast von 2000 kN und Pfahllängen von 5 m bis 5,5 m planmäßig ausgeführt werden.



Bild 8: Erlwein-Gasbehälter in Dresden (links)

Bild 9: Pfahlherstellung innerhalb des Behälters (rechts)

2.2.3 Wohnturm Deutschherrnufer in Frankfurt am Main

Die Gründung der angrenzenden Tiefgarage im Rahmen des Baukomplexes Wohnturm Deutschherrnufer wurde aufgrund technischer und wirtschaftlicher Überlegungen mit Frankipfählen ausgeführt. Die Besonderheit dieser Baumaßnahme bestand darin, dass zum Zeitpunkt der Pfahlherstellung das unmittelbar neben der Tiefgarage ebenfalls neu errichtete Bauwerk „Oval“ nahezu fertig gestellt war. Das Untergeschoss dieses Bauwerks war als weiße Wanne ausgebildet worden.

Der Baugrund unter der Tiefgarage bestand aus einer ca. 2 m mächtigen Auffüllung, die sich sowohl aus weichen bis steifen Schluffen als auch aus locker gelagerten sandigen Kiesen zusammensetzte. Darunter schloss sich ca. 1 m Auelehme in breiig/weicher Konsistenz an. Unterlagert wurde diese Schicht vom Tertiär, bestehend aus Wechsellagen von tonigen, feinsandigen Schluffen und Kalksteinen. Stellenweise war zwischen Auelehm und tertiär eine geringmächtige Kiessandschicht zwischengelagert.

Zur Kontrolle der Erschütterungen wurden zu Beginn der Baumaßnahme auch hier Proberammungen mit Schwingungsmessungen für unterschiedliche Bärfallhöhen bis maximal 6,5 m ausgeführt. Die Lage der Proberammungen zu den bestehenden Bauwerken enthält Bild 10. Die Untersuchungen

erfolgten unter Einsatz eines Rammrohrdurchmessers von $D = 0,56$ m, einem Bärgewicht von 41 kN und einer Rammtiefe bis zu 12 m.

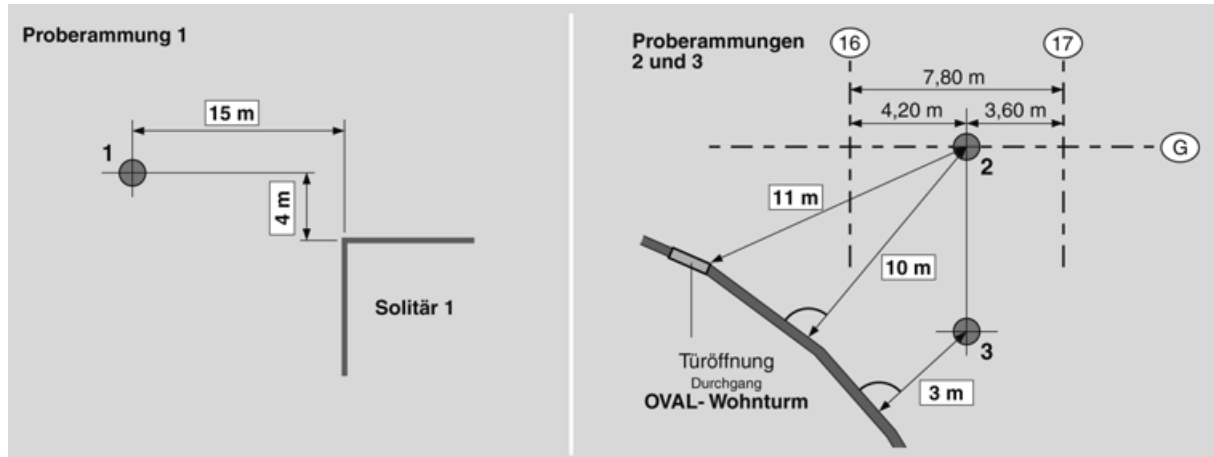


Bild 10: Entfernungen der Proberammungen zu den bestehenden Bauwerken

Zur Festlegung der zulässigen Schwinggeschwindigkeiten wurden die bestehenden Gebäude nach DIN 4150, Teil 3, Zeile 2 als „Wohngebäude und in ihrer Konstruktion und/oder Nutzung gleichartige Bauten“ eingestuft. Danach waren als Anhaltswerte für kurzzeitige Erschütterungen im Obergeschoss maximale Schwinggeschwindigkeiten bis 15 mm/s (horizontal), 20 mm/s (vertikal) und am Fundament zwischen 5 und 15 mm/s (horizontal und vertikal) zulässig. Für die Bodenplatte des Bauwerks „Oval“ wurde der Grenzwert auf der sicheren Seite liegend mit 5 mm/s festgelegt.

Aufgrund der geringen Erschütterungswerte bei der Proberammung Nr. 1 (ca. 15 m Gebäudeabstand) und Nr. 2 (ca. 10 m Entfernung zum Gebäude „Oval“) wurde bei der 3. Proberammung der Abstand sogar auf 3 m reduziert.

Zusammenfassend konnte festgestellt werden, dass bei einem Mindestabstand zwischen Rammort und Gebäude von ca. 15 m die vorgegebenen Grenzwerte deutlich unterschritten wurden. Sogar bei den geringeren Abständen von 10 m bzw. 3 m lagen die Werte in den Obergeschossen unterhalb der zulässigen Grenzen. Lediglich die Schwingungen im Fundamentbereich des „Ovals“ überschritten den vorgegebenen Wert, bei der Rammung in 10 m Entfernung aber nur bei insgesamt 3 Rammschlägen um maximal 7 %.

Für die Herstellung der Bauwerkspfähle wurde konservativ festgelegt, alle Pfähle außerhalb einer 15 m breiten Zone um das „Oval“ als Frankipfähle herzustellen, innerhalb dieser Zone erfolgte die Tiefgründung mit Atlassäulen System Franki, ein völlig erschütterungsfrei arbeitendes Verfahren. Zusätzlich wurde für den Zeitraum der Gründungsarbeiten eine Dauerüberwachungsstation mit

optischen Signalgebern am „Oval“ installiert. Bild 11 zeigt die Gründungsarbeiten vor diesem Bauwerk.



Bild 11: Gründungsarbeiten vor dem Bauwerk „Oval“

Während der gesamten Pfahlherstellung wurden die vorgegebenen Grenzwerte in jeder Phase eingehalten. Die vereinbarte zulässige Überschreitung der Grenzwerte bei 2 % aller Rammschläge brauchte nicht ausgenutzt zu werden. Es wurden keinerlei negative Auswirkungen auf die bestehenden Gebäude festgestellt.

2.3 Auswirkungen der Bodenverdrängung auf vorhandene bauliche Anlagen

Bei der Herstellung von Ortbetonrammpfählen wird das Bodenvolumen, das vom Pfahlkörper eingenommen wird, vollständig in die Pfahlumgebung verdrängt. Dabei kommt es zu Bodenverschiebungen, die in der unmittelbaren Pfahlumgebung am größten sind und mit zunehmendem Abstand ausklingen.

Liegen innerhalb dieses Verformungsbereiches bauliche Anlagen, kann es an diesen zu Schäden kommen. Das gilt sowohl für Anlagen im Boden, wie beispielsweise Gas- oder Abwasserleitungen, als auch für solche auf der Geländeoberfläche wie zum Beispiel Gleisanlagen.

In sandigen oder kiesigen Böden, die in der Regel über ein ausreichendes Verdichtungspotential verfügen, entsteht durch das Einbringen der Pfähle keine nennenswerte Bodenverschiebung außerhalb der unmittelbaren Pfahlumgebung. Der Mindestabstand zu Leitungen im Boden sollte dem dreifachen

Pfahldurchmesser entsprechen. Je nach Qualität der Bausubstanz können größere Mindestabstände erforderlich sein.

Das Risiko schädlicher Bodenverschiebungen besteht mehr bei feinkörnigen, kaum verdichtbaren Böden und wächst bei Massierung der Pfähle.

Als vorbeugende Maßnahmen können Vorbohrungen am Pfahlstandort bis zur relevanten Tiefe durchgeführt werden, so dass der Verdrängungseffekt stark reduziert bzw., wenn ein temporäres Schutzrohr in die Vorbohrung eingestellt wird, ganz ausgeschaltet werden kann. Alternativ können auch Entspannungsbohrungen zwischen den Pfählen angeordnet werden.

In kritischen Fällen empfiehlt es sich immer, die vorhandene bauliche Anlage messtechnisch zu überwachen, so dass mögliche Verschiebungen sofort erkannt und entsprechende Vorbeugemaßnahmen rechtzeitig vorgenommen werden können.

Für die Herstellreihenfolge einer Rammpfahlgründung vor einem bestehenden Bauwerk ist darauf zu achten, dass die Pfahlherstellung vor der Mitte des Gebäudes beginnt und halbkreisförmig nach außen erfolgt.

3 Schadensvorbeugung hinsichtlich der Pfahlgründung selbst

3.1 Auswirkungen von Erschütterungen

Es gab in der Vergangenheit immer wieder mal die Vermutung, dass die beim Rammvorgang erzeugten Schwingungen im Boden sich negativ auf den Abbindeprozess des Betons zuvor hergestellter Ortbetonrammpfähle auswirken könnten. Dieses ist aber nicht der Fall. Das wird unter anderem auch durch die Vielzahl von Integritätsprüfungen an diesen Pfählen belegt, die in verschiedensten Abbindephasen den Rammerschütterungen ausgesetzt waren und keinerlei negative Beeinträchtigungen aufwiesen. Die Auswirkungen von Rammerschütterungen auf bereits hergestellte Pfähle sind in der Regel nicht qualitätsrelevant.

3.2 Auswirkungen der Bodenverdrängung auf die Pfahlgründung selbst

Die in Abschnitt 2.3 beschriebenen Auswirkungen der Bodenverdrängung gelten natürlich auch für die Pfahlgründung selbst. Das bezieht sich zum einen auf bereits eingebrachte Pfähle und zum anderen sind die Auswirkungen der Bodenverdichtung auf die noch nachfolgend herzustellenden Pfähle zu berücksichtigen. Um bereits im Boden befindliche Pfähle nicht zu beschädigen, sind für Ortbetonrammpfähle ohne Fußaufweitung Mindestachsabstände entsprechend dem 3-fachen Schaftdurchmesser, für Ortbetonrammpfähle mit aufgeweitetem Pfahlfuß Mindestachsabstände entsprechend dem 3,5-fachen Schaftdurchmesser einzuhalten.

Die Mindestabstände von frisch hergestellten Ortbetonrammpfählen in weichen Böden müssen in Abhängigkeit von der vorhandenen Bodenfestigkeit gemäß DIN 12699 entsprechend vergrößert werden (Bild 12). Zur Kontrolle, ob der gewählte Abstand ausreichend ist, sollte die Betonoberfläche des zuvor hergestellten Pfahls während des Einrammvorgangs des nachfolgenden Pfahls beobachtet werden. Bei auftretenden Spiegelschwankungen ist der Abstand zu vergrößern.

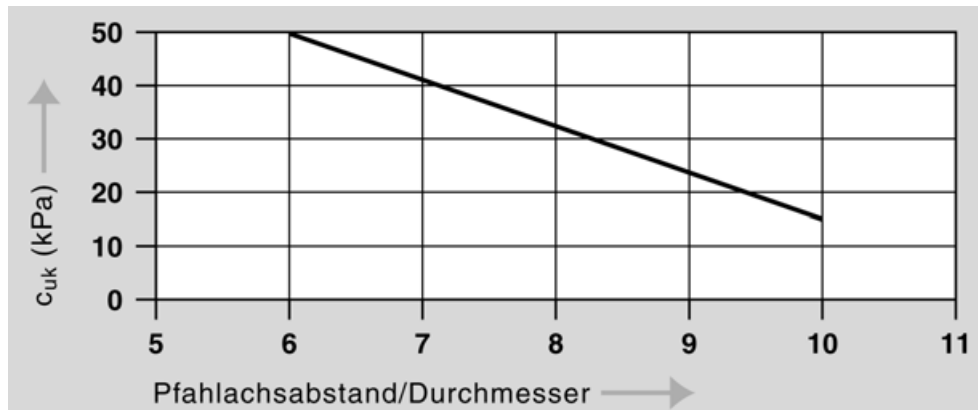


Bild 12: Mindestabstand von frisch hergestellten Ortbetonpfählen ohne bleibende Verrohrung in weichen Böden (nach DIN EN 12699)

Grundsätzlich sollten Ortbetonrammpfähle bis zur Geländeoberfläche betoniert werden zur Vermeidung von Kopfeinschnürungen, der so genannten Flaschenhalsbildung.

Für die Herstellreihenfolge der Pfähle ist wegen der Verdichtungswirkung zu beachten, dass bei größeren Pfahlgruppen von innen nach außen gearbeitet wird, längere Pfähle (Zugpfähle) vor kürzeren hergestellt werden. Bei vorhandenen Böschungen ist zu dieser hin zu arbeiten. Würde dagegen die Pfahlherstellung unmittelbar an der Böschung begonnen, könnte das Einbringen der Pfähle in den folgenden Pfahlreihen zu größeren Bodenverschiebungen in Richtung zur Böschung führen wegen des hier fehlenden Bodenwiderlagers, was zu Schäden der bereits hergestellten Pfähle führen kann.

3.3 Schadensvorbeugung durch eine standfeste Arbeitsebene

Wie ebenfalls bei anderen Pfahlgründungen, so gehört auch bei Ortbetonrammpfählen eine standfeste Arbeitsebene zur grundlegenden Schadensvorbeugung. Dadurch wird die notwendige Standsicherheit des Rammgerätes gewährleistet und ist damit Grundvoraussetzung für die erforderliche Arbeitssicherheit für Mensch und Maschine.

Auch für die Einhaltung der Herstellungstoleranzen ist eine standfeste Arbeitsebene unabdingbar. Und nicht zuletzt hängt von ihr die Produktionsleistung und damit auch die Einhaltung knapper Ausführungsstermine entscheidend ab.

4 Schlussfolgerungen

Ortbetonrammpfähle bieten in vielen Fällen wirtschaftliche Vorteile im Vergleich zu anderen Pfahlssystemen. Diese Vorteile sind uneingeschränkt bei Bauvorhaben auf der „grünen Wiese“ vorhanden. Aber auch bei Gründungsmaßnahmen im Bereich vorhandener baulicher Anlagen kann der Einsatz dieser Pfahlssysteme möglich sein, wie eine Vielzahl erfolgreich ausgeführter Projekte belegt. Voraussetzung dafür ist die genaue Kenntnis der Randbedingungen und eine positive Beurteilung durch die ausführende Fachfirma. Bei entsprechender Planung und Ausführung im Sinne einer effektiven Schadensvorbeugung sind mögliche Risiken sicher beherrschbar.