

Hochbelastbare, gebohrte Zugpfähle

Dipl.-Ing. Herbert Neidhardt, Hamburg*

1. Veranlassung

Weitergehende technische Anforderungen sowie die Verringerung von Beeinträchtigungen der Umwelt und der vorhandenen Bausubstanz haben im Hamburger Hafen zur Entwicklung eines neuen Pfahltyps entscheidend beigetragen.

Die Vertiefung von Hafenbecken und Wasserwegen erfordern bauliche Verstärkungen und zusätzliche Maßnahmen an bestehenden Uferwänden und Brückenwiderlagern. Hier – wie bei Neubauten – gilt es vermehrt, für die Umwelt schonende Bauweisen bei gleichzeitiger Erhaltung oder gar Verbesserung des Sicherheitsniveaus einzusetzen.

2. Grundlagen

Ein wichtiges Bauelement für die Sicherung von Stützwänden an Gewässern ist der rückwärtig und in der Regel schräg in den Boden einzubringende Zugpfahl. Um Schäden an baulichen Beständen und Lärmbelastigungen weitestgehend zu vermeiden, ist bei der Pfahlherstellung das Einbohren gegenüber dem Einrammen vorzuziehen. Leider ist jedoch die Herstellungsweise von einzubohrenden Schrägpfählen wesentlich aufwendiger und damit erheblich teurer als die der einzurammenden Pfähle. Zusätzlich vertuernd wirkt sich aus, daß bei

Verwendung gleicher Baustoffe ein gebohrter Zugpfahl ohne besondere kostenintensive Maßnahmen geringere Lasten aufnehmen kann als ein gerammter Pfahl mit gleicher Mantelfläche.

3. Entwicklung des Rohrverpreßpfahles

3.1 Pfahlkonstruktion

Aufgrund all dieser Gesichtspunkte ist von der Firma Neidhardt Grundbau GmbH ein einzubohrender Rohrverpreßpfahl entwickelt worden, der hinsichtlich der möglichen Lastaufnahmen den Rammpfählen sehr nahe kommt, jedoch vorteilhafterweise erschütterungsfrei und lärmarm herstellbar ist. Dieser Pfahltyp besteht aus einem Stahlrohr der Stahlgüte St 52 als tragendes Zugelement (Abb. 1).

Die Abmessungen dieses Rohres werden jeweils entsprechend der aufzunehmenden Last gewählt. Für die Aufnahme von 500 bis 1000 KN Zuglast wurden z. B. Rohrabmessungen von 73 mm bis 102 mm äußerem Durchmesser und Wanddicken von 12,5 bis 20 mm verwendet. Zwecks besserer Haftung des Verpreßmörtels am Rohr ist dieses mit einem aufgewalzten Gewinde versehen. Ein ca. 30 bis 50 cm langer Bohrschuh an der Spitze des Pfahles zentriert das Pfahlrohr beim Einbohren und stellt entsprechend seinem größeren Durchmesser als das

* Geschäftsführender Gesellschafter der Fa. Neidhardt Grundbau GmbH

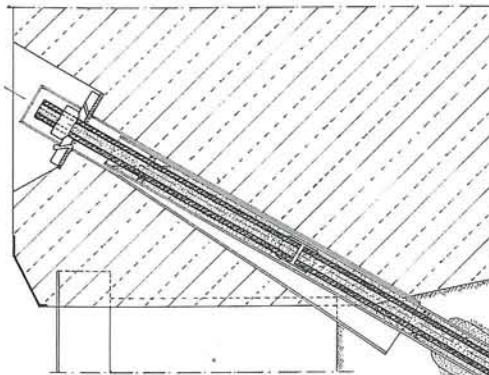


Abb. 1: Rohrverpreßpfahl in Längsschnitt

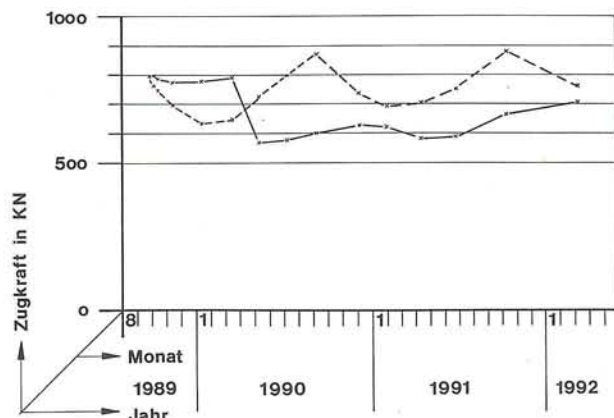


Abb. 2: Ausgegrabener Pfahlfuß eines Pfahles der Grundsatzprüfung

Abb. 4: Verankerung der Kaimauer am 8. Liegeplatz



Abb. 3: Langzeitmessungen an zwei Rohrverpreßpfählen am Auguste Viktoriakai



Pfahlrohr die gewünschte Betonüberdeckung sicher. Der Pfahlkopf besteht aus einer Stahlplatte mit einer mittigen Bohrung zwecks Durchfädung des Pfahlrohres und einer Stahlmutter. Die Abmessungen werden nach statischen Erfordernissen bestimmt. Die ballige Form der Auflagerfläche der Mutter und die pfannenartige Ausbildung der Bohrung in der Platte ermöglichen den gelenkartigen Anschluß des Pfahlkopfes am zu verankernden Bauteil.

Die Pfahlkosten werden vom Stahlrohr über den anhaftenden Zementverpreßmörtel in den anstehenden Boden eingeleitet.

3.2 Einbohrverfahren

Das Einbohren der Pfähle erfolgt üblicherweise mit relativ leichten, ca. 10 t wiegenden Bohrgeräten, die in der Verpreßankerherstellung gebräuchlich sind. Diese Geräte haben eine ca. 6 m lange Bohrlafette. Um die ca. 20 bis 40 m langen Zugpfähle mit dieser kurzen Bohrlafette herstellen zu können, werden die Pfahlrohre in Einzelschüssen von z. B. 3 m Länge eingebohrt und mit aufschraubbaren Stahlmuffen verlängert, bis die Endtiefe erreicht ist. Beim Einbohren wird ständig eine Zementsuspension durch das Pfahlrohr hindurchgepumpt. Diese Suspension tritt an der Pfahlspitze aus und fördert in den vom Pfahlschuh hergestellten Ringraum das Bohrgut zutage. Ein radial an der Bohrspitze mit hohem Druck austretender Spülstrahl vermischt den anstehenden Boden außerdem je nach geologischen Verhältnissen und aufgebrachtem Spüldruck in einem Säulendurchmesser von bis zu 70 cm (Abb. 2). Die hierdurch erreichbare gezielte Vergrößerung des Pfahlfußes ermöglicht die Aufnahme hoher Pfahlkosten.

3.3 Grundsatzprüfung des Rohrverpreßpfahles

Die Brauchbarkeit dieses Pfahlsystems ist im Jahre 1985 durch einen Grundsatzversuch unter Begutachtung der Grundbauingenieure Prof. Dr.-Ing. Steinfeld & Partner mit Erfolg nachgewiesen worden. Neben der geplanten Pfahltragfähigkeit konnte – insbesondere durch das Ausgraben der Zugpfähle – der erzielte Durchmesser des Betonkörpers aufgemessen werden. Ferner war festzustellen, daß die drei Stück Probepfähle in allen Bereichen eine mehr als ausreichende Betonüberdeckung gegenüber dem Stahlrohr aufwiesen.

Die mit Erfolg durchgeführte Grundsatzprüfung ist die Voraussetzung für eine Genehmigung zur Verwendung dieses Pfahltyps als Bauteil. Analog zu den technischen Bestimmungen der DIN 4128 wird die Herstellungsweise des Pfahles vorgenommen.

4. Ausführungsbeispiele

War 1985 die Verankerung von sanierungsbedürftigen Brückenwiderlagern im Hamburger Hafen erstmalig der Anlaß, diesen Pfahltyp mit einer Gebrauchslast von 400 kN einzusetzen, so kamen in der Folgezeit auch kleine Uferwände mit aufnehmbaren Pfahlkosten von bis zu 600 kN hinzu.

4.1 Auguste-Viktoriaikai

Ein wesentlicher Schritt in der Entwicklung war im Jahre 1989 die Sicherung eines abhängigen Kaimauerabschnittes am Auguste-Viktoriaikai (Kaimauer auf Holzpfahlrost). Hier wurden 23 Stück Rohrverpreßpfähle für eine Gebrauchslast von 1000 kN zur rückwärtigen Sicherung eingebracht. Jeder Pfahl wurde mit der 1,5fachen Sicherheit geprüft und anschließend mit der gewünschten Kraft vorgespannt. Laufende Kraftmessungen geben seitdem Aufschlüsse über das Tragverhalten der Pfähle über eine längere Zeit (Abb. 3).

Die Kraftmessungen sind an zwei Pfählen, die auf jeweils einer Seite des Brechpunktes zweier Kaimauerfluchten eingebracht wurden, vorgenommen worden. Hohlräume und Lockerungszonen hinter der Kaimauer haben möglicherweise wegen des nicht ausreichenden Erdwiderstandes unter der Vorspannkraft der Pfähle in Teilbereichen zu einer landseitigen horizontalen Verschiebung der Uferwand und einer damit einhergehenden Abnahme der Pfahlzugkräfte geführt. Während des Meßzeitraumes ausgeführte Bodenverfüllungen und -verdichtungen hinter der Kaimauer im Bereich eines geprüften Pfahles haben zu einer Kraftzunahme geführt.

4.2 Athabaskakai (8. Liegeplatz Burchardkai)

4.2.1 Bauausführung

Die guten Erfahrungen an diesem relativ kleinen Baubjekt ermutigten den Pfahlhersteller und den Bauherrn, an einem weitaus größeren Problemfall im Hamburger Hafen in gleicher Weise tätig zu werden. Die durch Auskolkungen nicht mehr ausreichende Standsicherheit der Kaimauern am 5. und 8. Liegeplatz stellten besondere Anforderungen an die Verstärkungsmaßnahmen. Die zusätzliche Verankerung der Kaimauern mußte möglichst tief angesetzt werden, um die notwendigen zusätzlichen Stützungen der Spundwände im gefährdeten Bereich wirksam werden zu lassen. Pfahlkosten von 1000 kN, Pfahlkopfanschlüsse im Tidebereich von +0,5 m NN und eine Hochdruckinjektion im Fußbereich der Kaimauer des 5. Liegeplatzes waren hier die Lösung. Kürzeste Ausführungsstermine und der laufende Kaimauerumschlagbetrieb waren bei der Baudurchführung zu beachten.

Mehrere an der Kaimauer angehängte horizontal verschiebliche Arbeitsgerüste ermöglichten eine kurze Bauzeit mit parallel arbeitenden Geräten sowie die Durchfahrt der Verladebrücken des Umschlagbetriebes (Abb. 4).

4.2.2 Messungen

Neben der laufenden Überwachung der Pfahlkräfte durch am Pfahlkopf eingebaute Druckmeßringe wurde hier auch erstmalig innerhalb der Rohre von drei Zugpfählen jeweils ein 27 m langer Meßträger

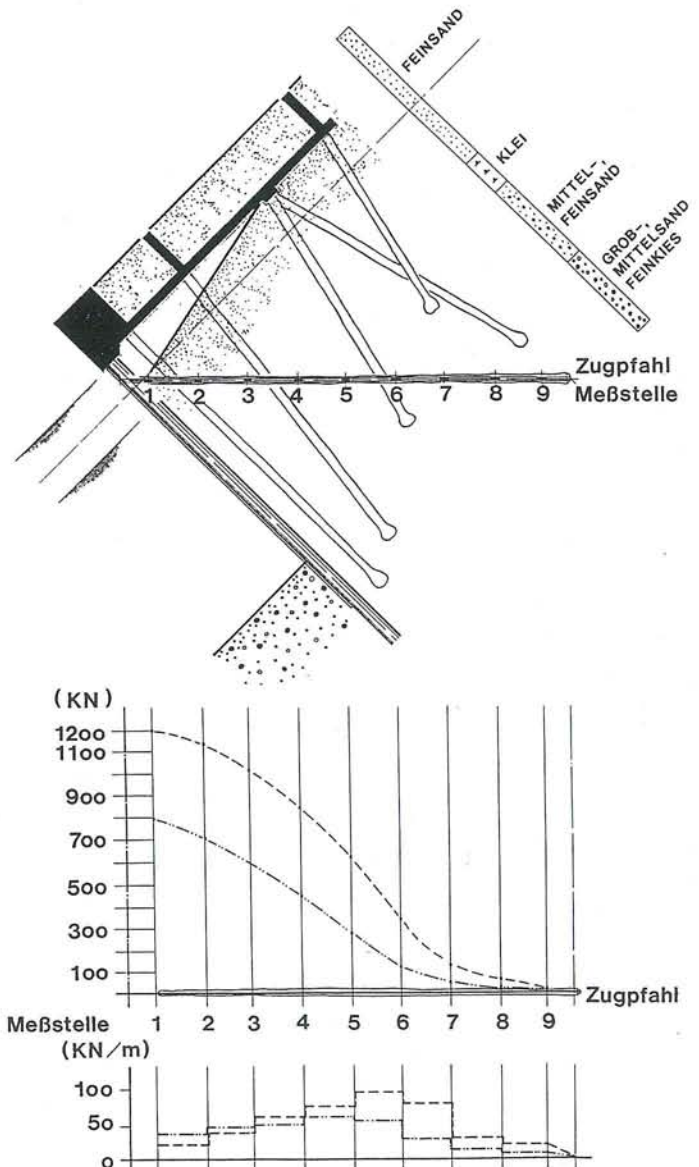


Abb. 5: Zugkraftverlauf bei Pfahl Nr. 101 während der Abnahmeprüfung in zwei ausgewählten Laststufen am 8. Liegeplatz

eingebaut. Die Meßeinrichtung ermöglicht eine Ablesung des Verlaufes der Pfahlzugkräfte auf der gesamten Pfahllänge an neun Meßpunkten in einem Abstand von ca. 3 m untereinander (Abb. 5).

Hierbei ist festzustellen, daß die obersten 20 m der Pfähle von insgesamt 27 m Pfahllänge bereits ca. 90 % der Pfahlkräfte an den Boden abgeben konnten. Dies ermöglichten insbesondere die mitteldicht gelagerten Sande unterhalb der Kleischicht. Die untersten 7 m der Pfähle nehmen die restlichen Lasten auf und stehen darüber hinaus mit großen Tragfähigkeitsreserven der Sicherheit zur Verfügung. Da die Bodenverhältnisse in dieser Tiefe noch besser sind, können weitere Sicherheiten für die Pfahltragfähigkeit angenommen werden.

5. Zusammenfassung und Ausblick

Die bisher festgestellten guten Tragfähigkeiten an über 200 geprüften Zugpfählen dieser Bauart mit einer Gebrauchslast von 1000 KN geben Anlaß, den nächsten Schritt der Entwicklung zu gehen. Am Bauvorhaben O'Swaldkai konnten die ersten beiden gebohrten Zugpfähle für eine Gebrauchslast von 1500 KN mit Erfolg geprüft werden. Nach Abschluß der Baumaßnahme werden Zugversuche an ca. 70 Stück Pfählen einen Aufschluß darüber geben, mit welcher Zuverlässigkeit und Sicherheit derartig hoch belastbare, gebohrte Zugpfähle herzustellen sind.