

## **Nachgründungen und Unterfangungen mit Segment-Presspfählen**

Dipl.-Ing. Henk de Jong, Baesweiler

Dr.-Ing. habil. Kay Hock-Berghaus, Wuppertal

### **1 Einführung**

Nachgründungen und Unterfangungen sind i.d.R. aufwendig, da während ihrer Herstellung bereits Bauwerkslasten auf die bestehende Gründung einwirken, welche während der Bauzeit weiterhin beständig sicher in den Baugrund eingeleitet werden müssen.

Die Erfordernis einer Nachgründung kann sich dabei aus verschiedensten kurz- oder langfristigen Änderungen der Randbedingungen der Gründungsverhältnisse ergeben. Beispielhaft seien genannt:

- Nachgründung aufgrund unzureichender Gründung (langfristige Rissebildungen)
- Nachgründung aufgrund veränderter Gründungssituation (Bodenausspülung bei Rohrbrüchen, Änderungen des Grundwasserhaushalts u.a.)
- Nachgründung aufgrund von Nutzungsänderung (Geschossaufstockung, neuer Maschinenpark u.a.)

Die Erfordernis einer Unterfangung ergibt sich i.d.R. aus der einfachen Forderung der Herstellung eines Aushubes neben dem bestehenden Gebäudes bis unterhalb der vorhandenen Gründungssohle.

Bei beiden Bauaufgaben ist das bestehende Gebäude bereits vorhanden und es gilt, neben der Aufrechterhaltung der Tragfähigkeit, auch mit den geometrischen Randbedingungen des vorhandenen Bauwerkes klarzukommen, wobei häufig größerer Maschineneinsatz nicht mehr möglich ist. Geometrisch sehr flexibel und mit hoher sofortiger Tragfähigkeit können hierbei die folgend näher beschriebenen Segment-Presspfähle eingesetzt werden.

### **2 Die Segment-Presspfähle**

Bei den Segment-Presspfählen handelt es sich um Pfähle, welche direkt unter bestehenden Fundamenten hergestellt werden und damit die i.d.R. überwiegend vertikale Belastung direkt in ihrer Wirkungslinie aufnehmen und in den Baugrund einleiten. Lasten brauchen somit nicht über Hilfskonstruktionen umgeleitet werden, womit sich grundsätzlich eine statisch und in Bezug auf die Systemdeformationen sehr vorteilhafte Lösung anbietet.

In Anlehnung an die DIN 4123 [1,2] werden zunächst Stichgräben von maximal 1,25 m Breite und einer Tiefe von ca. 1 m unter dem Fundament hergestellt. Direkt unterhalb des Fundamentes wird folgend ein Lastverteilungsbalken eingesetzt (Abbildung 1).



Abbildung 1: Pfahlkopfkonstruktion unter Fundament

Hierbei handelt es sich um ein mit vier senkrecht stehenden U-Profilen verstärktes I-Profil (Abbildung 1), welches auf die statischen Erfordernisse aus der aufzubringenden Vorpresslast und der Einhaltung der zulässigen Mauerwerkspressung bemessen wird. Im nächsten Arbeitsschritt werden die Fundamentlasten auf bis in die neue Gründungstiefe reichende Pfähle umgelagert (Abbildung 1, oberstes Pfahlsegment sichtbar). Diese Pfähle bestehen dabei aus Einzelsegmenten, welche mittels eines Nut- und Federsystems zusammengesteckt werden (Abbildung 2). Die Segmente werden als Fertigteile auf die Baustelle angeliefert und wurden zwecks Wahrung stets gleichbleibender Qualität auf dem Bauhof aus stahlfaserbewehrtem Lieferbeton der Festigkeitsklasse B 35 vorab hergestellt. Es wird jeweils ein solches Pfahlsegment mit einer Höhe von i.d.R. 0,5 m auf dem Boden des Stichgrabens platziert und mittels einer hydraulischen Presse gegen den Lastverteilungsbalken vollständig in den Boden gepresst. Dabei besitzt das unterste Segment keine explizite Pfahlspitze. Wie bei Rammpfählen bildet sich während des Einpressvorganges eine natürliche Spitze aus

Abbildung 2: Pfahlsegmente



hochkomprimiertem Boden unterhalb des Pfahlfusses aus, welche den Einpressvorgang ähnlich einer künstlichen Pfahlspitze unterstützt. Aus bodenmechanischer Sicht entspricht der Einpressvorgang einem permanenten kontrollierten Grundbruch, wobei bei der Darstellung der Grundbruchfigur (Abbildung 3) die Pfahlspitze aus natürlichem Material sichtbar wird.

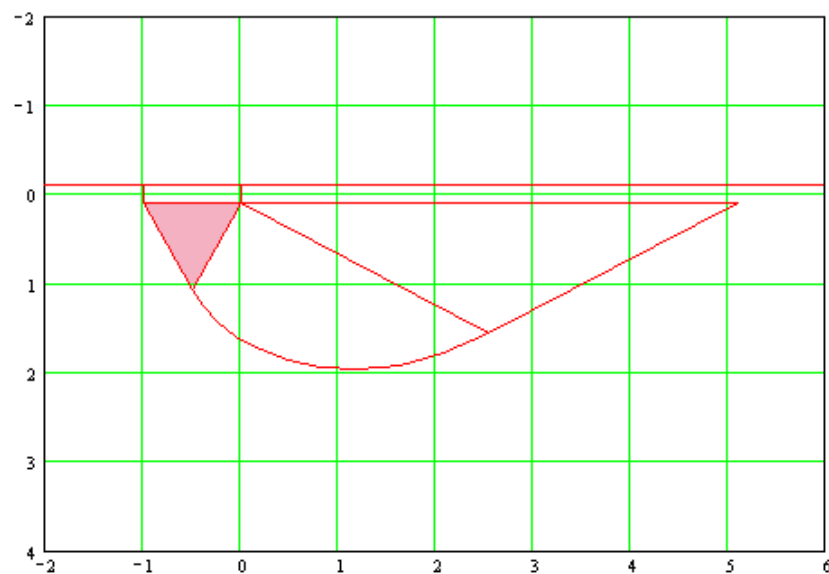


Abbildung 3: Grundbruchfigur mit aktivem Rankine Bereich als natürliche Pfahlspitze

Nachfolgend werden jeweils weitere Segmente aufgesetzt und vorgepresst, so daß der Pfahl bis auf die endgültige neue Gründungstiefe hergestellt wird. Bevor die Pfähle auf die ihnen rechnerisch zugewiesene Last festgelegt werden, müssen sie den auf sie entfallenden Anteil der Gebäudelast beaufschlagt mit einem Sicherheitsbeiwert ( $\gamma = 1,75$ ) sicher aufnehmen. Ist dieses Kriterium erfüllt, wird die hydraulische Presse zunächst auf die ca. 1,2fache rechnerische Gebrauchslast zurückgefahren, durch in der Konstruktion verbleibende Stahlspindeln (Abbildung 1) kraftschlüssig ersetzt und folgend ausgebaut. Mittels dieser Vorgehensweise wird somit die Gebäudelast aktiv in die neue tiefer liegende Gründungsebene umgelagert. Der Stichgraben wird konstruktiv oder statisch erforderlich bewehrt und abschließend vollständig ausbetoniert, wobei mittels Entlüftungsschläuchen, ausreichenden Fließöffnungen im Lastverteilungsträger (Abbildung 1) und einen Betonüberdruck insbesondere der hohlraumfreie Verbund zum Fundament hergestellt wird.

Aufgrund der beliebigen Verlängerbarkeit der Pfähle wird der tragfähige Baugrund in jedem Fall erreicht. Stehen dem Einpressvorgang Hindernisse entgegen, kann mittels einer Hochdruckspülung durch das Innenrohr der Spitzenwiderstand zeitweise abgemindert werden, so daß die Vorpressung weiter fortgesetzt werden kann. Handelt es sich um eine reine Nachgründungsmaßnahme, ist mit dem Festsetzen des Pfahles i. d. R. die Aufgabe bereits erfüllt.

Unerwünschte Hebungen sind zwar theoretisch möglich, lassen sich aber praktisch sehr einfach vermeiden, da der Moment des möglichen Anhebens vorab sehr klar feststellbar ist. Versinkt der Pfahl während der Vorpressung mit gewohnter Geschwindigkeit im Boden, besteht keinerlei Gefahr für das Bauwerk. Erst in dem Moment, wo der Pfahl beginnt sich festzusetzen, besteht die Möglichkeit einer Hebung. Dieser Moment ist klar feststellbar und wird von darauf geschultem Personal sofort erkannt. Es sind zwei Hebungszustände denkbar. Zum einen ergibt sich eine lokale Hebung nur über dem Lastverteilungsbalken, wenn das aufgehende Mauerwerk keine ausreichende Festigkeit aufweist. Derartige Hebungen sind sofort an schmalen horizontalen Haarrissen links und rechts neben der Oberkante des Lastverteilungsträgers erkennbar. Zum anderen besteht die Möglichkeit einer globalen Hebung der Wand, wenn z.B. ein gut lastverteilendes Fundament vorhanden ist. Dieser Zustand wird mittels eines laufenden Nivellementes überprüft. Da der Moment der möglichen Hebung klar erkennbar ist, braucht nicht während der gesamten Pfahlherstellung nivelliert werden, sondern nur zum Zeitpunkt des Anpressens.



Der Vorpressvorgang wird laufend protokolliert. Die Überpressung mit den Sicherheitsfaktoren der DIN 1054, November 1976 [5], stellt für jeden Pfahl eine Abnahmeprüfung dar. Wird die Vorpressung in bindigem Boden durchgeführt, ist es möglich, daß ein Teil der Pfahltragfähigkeit durch lokal erhöhte Porenwasserdrücke nur vorgetäuscht wird. Zur Überprüfung dieser Möglichkeit wird eine sogenannte Setzungsprobe durchgeführt. Hierbei wird in ausreichender Entfernung vom Pfahl ein Stahlrohr als Fixpunkt in den Boden geschlagen und mittels eines Kragarmes eine 1/100-Millimeter-Weguhr über dem Pfahlkopf befestigt (Abbildung 4). Während die Pfahllast konstant gehalten wird, wird eine Messreihe über die Zeit aufgenommen. Aufgrund der Ergebnisse dieses Versuches kann die notwendige Dauer der Aufrechterhaltung der Pfahlvorpresslast bis zur endgültigen Konsolidation festgelegt werden.



Abbildung 4: Setzungsprobe

### 3 Nachgründungen mit Segment-Presspfählen

Prinzipiell besteht eine Nachgründung aus einer Mehrzahl der gerade beschriebenen Segment-Presspfähle. Es sollen die Systemvorteile gegenüber anderen Nachgründungsverfahren dargestellt werden. Die größte Bauteilabmessung des Segment-Presspfahles stellt das Einzelelement an sich dar, welches, wie bereits erwähnt, eine Länge von 50 cm aufweist. Damit lassen sich die Pfähle selbst aus engsten Kellerräumen heraus herstellen. Durch die verwendeten hochfesten Materialien erreichen die Pfähle Gebrauchslasten von ca. 500 kN (Standarddurchmesser 31,5 cm). Andere Durchmesser für höhere/niedrigere Bauwerkslasten oder weniger tragfähige Baugrundverhältnisse sind vorrätig (Abbildung 5). Die Arbeiten können im Gebäudeinneren ausgeführt werden, was einen witterungsunabhängigen Verlauf garantiert. Die Arbeiten brauchen kaum Vorlauf, was insbesondere bei Schadensfällen, wie etwa Rohrleitungsbrüchen in Kombination mit Bodenausspülungen, zu sofortigem Arbeitsbeginn und zügiger Abstellung der Schäden führt.

Da sowieso hydraulische Pressen zum Einsatz kommen, ist eine Anhebung eines abgesackten Bauteiles kein Problem. Muss ein größeres Bauteil auf mehreren Pfählen angehoben werden, werden spezielle Hydraulikpressen zwischen Fundament und Pfählen gesetzt. Über einen computergesteuerten Hydraulikverteiler werden die Hubwege der Pressen untereinander abgestimmt.



Abbildung 5: Verschiedene Segmenttypen für unterschiedliche Einsätze



#### 4 Unterfangungen mit Segment-Presspfählen

In einem Abschnitt wird zunächst entsprechend den Ausführungen in Kapitel 2 ein Segmentpfahl vorgepresst. Neben der Anforderung ausreichender Tragfähigkeit kommt bei Unterfangungen die Anforderung ausreichender Pfahllänge hinzu, da die Pfähle deutlich unter das später geplante Aushubniveau der seitlichen Baugrube reichen müssen. Ist der Segmentpfahl eingebracht und festgelegt, wird der Abschnitt wie eine klassische Unterfangung nach DIN 4123 behandelt. Er wird konstruktiv oder gemäß statischer Berechnung erd- und luftseitig bewehrt. Anschlussbewehrung wird seitlich und nach unten eingeschlagen und abschließend ausbetoniert (Abbildung 6).



Abbildung 6: Bewehrter Abschnitt mit festgelegtem Pfahl

Wie Abbildung 6 zeigt, wird das Erdreich vor einem Abschnitt nach dessen Fertigstellung jeweils wieder angeschüttet und in Anlehnung an DIN 4123 werden zunächst drei Abschnittsbreiten stehen gelassen und der Vorgang bei der vierten Abschnittsbreite wiederholt. Alle folgenden Zwischenabschnitte werden entsprechend der in DIN 4123 angegebenen Reihenfolge hergestellt. So entsteht nach und nach die erste Ebene der Unterfangung, ein Stahlbetonbalken von ca. 1,0 – 1,25 m Tiefe direkt unter dem Fundament. Nun kann der Aushub vor der ersten Ebene bis auf eine verbleibende konstruktive Einbindetiefe vorgenommen werden und durch entsprechendes Vorgehen können weitere Ebenen hergestellt werden. Bislang wurden mit diesem Verfahren freie Unterfangungshöhen von bis zu 7,5 m realisiert.

Ab freien Unterfangungshöhen von ca. 2,0 – 3,0 m ergibt die statische Berechnung nur ausreichende Sicherheiten, wenn die Unterfangung einfach oder auch mehrfach rückverankert wird. Bei relativ geringer Belastung kommen bevorzugt kleine Klapptelleranker zum Einsatz, welche mittels eines doppelten Gestänges im Boden aufgeklappt werden und direkt tragfähig sind. Bei größeren Ankerkräften kommen konventionelle Verpressanker zum Einsatz. Hier spielt aufgrund der abschnittsweisen Herstellung die zeitliche Koordination eine große Rolle. Weiterhin sind die Abbindezeiten der Verpressanker zu beachten. Die Ankerkraftverteilung über die Wandlänge erfolgt über in Höhe der Ankerlagen innerhalb der Unterfangung ausgebildete Stahlbetongurtungen, welche im Einzelfall auch für den Lastfall „Ausfall eines Einzelankers“, DIN 4125, 1990 [4], bemessen werden können.

In der Regel erhält die unterste Ebene eine Einbindetiefe von 0,5 m gegenüber dem Endaushubniveau. Um den Kraftschluss zum Erdreich in der Baugrube zu erhalten, wird der Arbeitsraum vor der untersten Lage bis auf Baugrubensohle ausbetoniert (sog. Druckkeil), wobei die Trennung zwischen Unterfangungsbeton und Druckkeil mittels einer doppelten Papplage erfolgt. Im Endzustand erhält man, bis auf die eingelassenen Ankerköpfe, eine glatte Wand (Abbildung 7), die die maßgeblichen vertikalen Tragelemente, die vorgepressten Pfähle, nicht mehr erkennen lässt.



Abbildung 7: Ansicht einer fertigen Unterfangungswand



Die Vorteile der Unterfangung mit Segment-Presspfählen liegen auf der Hand. Durch die aktive Festlegung der Pfähle auf die ihnen statisch zuzuweisende Belastung aus dem Bauwerk werden die Systemdeformationen bei der Umlagerung der Bauwerkslasten in die neue Gründungsebene zum überwiegenden Teil vorweggenommen. Die Stützung des Bauwerkes erfolgt umgehend durch den Pfahl im Anschluss an die Herstellung des freien Abschnittes. Die Seiten des freien Abschnittes werden von erheblichen Lastanteilen befreit, was nicht nur die Standsicherheit erhöht, sondern vorzüglich geeignet ist, zeitabhängiges Kriechen des Bauwerkes zu minimieren. Als weiterer nicht zu vernachlässigender Vorteil sei erwähnt, daß alle Bauteile offen liegen und einer direkten visuellen Kontrolle unterzogen werden. Dass bei einer Vielzahl von Bauwerken die vorhandene Gründungssituation (Gründungstiefe, Breite des Fundamentes, Plattengründung? u.a.) nicht hinreichend bekannt ist, spielt bei dem vorgestellten Verfahren nur eine untergeordnete Rolle. Die Fundamentsohle und die Gründungssituation wird in jedem Fall aufgefunden und die Vorgaben der Statik und der Ausführungspläne werden erforderlichenfalls einfach angepasst.

## **5 Weitere Einsatzgebiete**

Das beschriebene System ist geeignet, komplette Bauwerke nachträglich gegen Erschütterungen zu isolieren, welche durch angewachsenen Straßen- oder Schienenverkehr oft erst im Laufe der Lebensdauer des Bauwerkes auftreten. Zielsetzung ist es dabei, das gesamte bestehende Gebäude vom schwingenden Baugrund abzukoppeln. Hierzu wird das Gebäude auf elastische Stahlfederelemente, ggf. in Kombination mit Dämpfungselementen, gestellt, welche sowohl zwecks Reduzierung der störenden Einwirkungen während der Umbauzeit als auch gegen langfristige äußere Störungen zweckmäßig unterhalb der bestehenden Fundamente eingesetzt werden. Es erfolgt somit nur ein kleiner temporärer Eingriff in die Bausubstanz, was insbesondere z.B. bei erhaltenswerten historischen Gebäuden äußerst vorteilhaft ist. Als besonders geeignete Auflagerkonstruktion für die Stahlfederelemente dienen die beschriebenen Segment-Presspfähle. Diese gewährleisten die Abtragung der Gebäudelasten in den tragfähigen Baugrund. Die Lagerung auf den Stahlfederelementen ist tief abgestimmt bei Systemeigenfrequenzen von 3 – 5 Hz, so daß nicht nur die Übertragung von Körperschall wirkungsvoll verhindert wird, sondern auch typische Erschütterungen mit Frequenzen zwischen 10 und 20 Hz, wie sie in der Umgebung von Schienenverkehr häufig gemessen werden, erheblich reduziert werden. Es wird damit, abhängig von den Systemeigenschaften, von Bauwerk und Baugrund, eine Reduktion der

Schwingungen in der Größenordnung von 80 – 90 % gegenüber dem ursprünglichen Zustand erreicht.

Nachdem alle Pfähle bis auf den ausreichend tragfähigen Baugrund vorgepresst wurden, wird das Gebäude über hydraulische Pressen auf den Pfahlköpfen um einen endlichen Betrag angehoben (2 – 3 cm), um die komplette Trennung vom Baugrund herzustellen. Im Pfahlkopfbereich werden anschließend die Stahlfederelemente eingesetzt (Abbildung 8) und unter Gebrauchslast festgelegt, so daß sich planmäßig später keine elastischen Deformationen einstellen und sämtliche Dehnwege, sowohl bei den Pfählen als auch bei den Stahlfederelementen, vorweggenommen werden. Zwischenliegende Sohlplattenbereiche sind im Einzelfall entweder a priori freitragend oder werden vom Gebäude getrennt und/oder mit Dämmung unterfüttert. Damit die Schwingungsisolierung voll wirksam wird, muss bei der Planung und Ausführung darauf geachtet werden, daß keine Körperschallbrücken zwischen Baugrund und Gebäude verbleiben.



Abbildung 8: Segment-Presspfahl mit Schwingungsisolator

## 6 Zusammenfassung

Segment-Presspfähle sind vorzugsweise das bewährte und geeignete Element zur Nachgründung oder Unterfangung von bestehenden Gebäuden. Durch die sofortige Tragfähigkeit, die geometrische Flexibilität, die Anpassbarkeit an die vor Ort vorgefundene Gründungssituation und vor allem durch die Vorwegnahme von Setzungen infolge Lastumlagerung auf die neue Gründung stellen sie ein ausgezeichnetes Instrument dar, um vorhandene Bausubstanz zu ertüchtigen und langfristig zu sichern.

### Literatur

- [1] DIN 4123, „Gebäudesicherung im Bereich von Ausschachtungen, Gründungen und Unterfangungen“, Beuth Verlag, Berlin, Mai 1972
- [2] DIN 4123, „Ausschachtungen, Gründungen und Unterfangungen im Bereich bestehender Gebäude“, Beuth Verlag, Berlin, September 2000
- [3] Hilmer, K., „Unterfangungen“, in „Schäden im Gründungsbereich“, Verlag Ernst & Sohn, Berlin, 1991
- [4] DIN 4125, „Kurzzeitanker und Daueranker“, Beuth Verlag, Berlin, November 1990
- [5] DIN 1054, „Zulässige Belastung des Baugrunds“, Beuth Verlag, Berlin, November 1976
- [6] Hock-Berghaus, K., *Unterfangungen, Konstruktion, Statik und Innovation*, Bericht Nr. 17 der Veröffentlichungen aus den Gebieten Grundbau, Bodenmechanik und Unterirdisches Bauen der Bergischen Universität GH Wuppertal, 1997
- [7] Hock-Berghaus, K., *Nachträgliche Schwingungsisolierung von Gebäuden*, Tiefbau Ingenieurbau Strassenbau TIS, Heft 4, 2001



Anschriften der Autoren



Privatdozent Dr.-Ing. habil. Kay Hock-Berghaus  
Ingenieurbüro für Geotechnik  
Kreuzstr. 16  
42277 Wuppertal  
Tel: 0202 – 528 777 0; Fax: 0202 – 528 89 89  
E-Mail: [mailto@geotechnik-online.de](mailto:mailto@geotechnik-online.de)  
[www.geotechnik-online.de](http://www.geotechnik-online.de)



Dipl.-Ing. Henk de Jong  
Fa. Erka Pfahl GmbH  
Hermann-Hollerith-Str. 7  
52499 Baesweiler  
Tel: 02401 - 91 800; Fax: 02401 – 88476  
E-Mail: [info@erkapfahl.de](mailto:info@erkapfahl.de)  
[www.erkapfahl.de](http://www.erkapfahl.de)