

Gründungen und Unterfangungen im Bereich bestehender Gebäude – Schadensanalysen und Verfahren zur Sanierung

Dr.-Ing. Matthias Vogler,
Öffentlich bestellter und Vereidigter Sachverständiger für Grundbau, Boden- und Felsmechanik,
Prüfsachverständiger für Erd- und Grundbau nach Bauordnungsrecht
Ingenieursozietät Prof. Dr.-Ing. Katzenbach GmbH,
Frankfurt am Main, Darmstadt, Weinheim, Kiew

1 Einführung

Risseschäden an Gebäuden können zu unterschiedlichen Zeitpunkten während der Lebensdauer eines Bauwerks auftreten. Neben Risseschäden, die auf bauphysikalischen und thermischen Vorgängen beruhen sind vertikale und horizontale Verschiebungen des Baugrundes bzw. der Bauwerksgründung eine der häufigsten Ursachen für Risseschäden an Gebäuden. Bei der Ermittlung der Ursachen von Gebäudeschäden ist zunächst eine Bestandsaufnahme durchzuführen, bei der die möglichen bauphysikalischen, thermischen, statischen und geotechnischen Einflüsse identifiziert und gegeneinander abgewogen werden. Auf der Grundlage dieser Bestandsaufnahme sind dann die möglichen und erforderlichen Sanierungsmaßnahmen festzulegen und fachtechnisch zu planen.

Ein häufiger Fall für Streitigkeiten im Zusammenhang mit Risseschäden ist das Bauen im innerstädtischen Bereich. Soll neben einem bestehenden Bauwerk ein neues Bauwerk errichtet werden, so darf das bestehende Bauwerk im Zuge der Baugrubenherstellung nicht ohne ausreichende Sicherungsmaßnahmen bis zu seiner Unterkante oder tiefer ausgeschachtet werden. Liegt die Gründungsebene des neuen Bauwerks tiefer als die des bestehenden Bauwerks, so sind die vorhandenen Fundamentkörper des bestehenden Bauwerks zu unterfangen.

Bei Verschiebungen im Baugrund oder in der Gründung eines Bauwerks bzw. bei der Unterfangung von Gebäuden treten innerhalb der Tragstruktur des Gebäudes nicht vermeidbare Lastumlagerungen ein, die bis zu einem gewissen Grade schadensfrei vom Bauwerk aufgenommen werden können. Sobald die aus den Lastumlagerungen resultierenden Spannungen die Grenze der Tragfähigkeit der eingesetzten Baumaterialien überschreiten entstehen Risse, die zu einer weiteren Lastumlagerung und ggf. zu weiteren Rissen führen.

Da die Sanierung von Gebäudeschäden häufig erhebliche Kosten verursacht, ist im Hinblick auf die Zuordnung der Verantwortlichkeit für die Gebäudeschäden und im Hinblick auf eine wirtschaftliche und sichere Sanierung des Schadens die eindeutige Ermittlung der Schadensursache erforderlich.

2 Ursachen für Gründungsschäden

Die Ursache von Gründungsschäden kann aus einer Vielzahl von unterschiedlichen Einflüssen und Veränderungen der Baugrund- und Grundwasserverhältnisse resultieren. Die häufigsten Ursachen für Gründungsschäden sind nachfolgend im Hinblick auf die Schadensursachen zusammengestellt:

- 1) Schäden infolge Änderungen bei den Wasserverhältnissen:
 - Schäden infolge Grundwasserabsenkung / Grundwasserspiegelschwankungen
 - Schäden infolge Schrumpfung der Böden infolge Wasserentzug durch Baumbestand
 - Bodenentzug, z. B. Ausspülung infolge defekter Abwasserkanäle, Wasserleitungen oder Wasserhaltungen
 - Frostschäden
- 2) Schäden infolge einer Änderung des Spannungszustandes im Untergrund
 - Horizontalbelastung Wand/klaffende Fuge
 - Horizontalbelastung Stützwand
 - Horizontalbelastung Pfähle durch Aufschüttung
 - Setzung bei Lasterhöhung / Umnutzung
 - Mitnahmesetzungen durch Bauwerke / Aufschüttungen
 - Hebungen durch Baugrundentlastung infolge Baugrubenaushub
 - Verformungen durch benachbarte Baugrube
 - Konsolidierungsvorgänge
- 3) Schäden durch gering tragfähige Baugrundsichten
 - Schäden infolge Zusammendrückung des Untergrundes bei Weichschichten / Torf
 - Zu hohe Ausnutzung der Bodenpressung
- 4) Schäden durch Unterfangungsmaßnahmen
 - Lastumlagerungen bei Unterfangungen
 - Hebungen infolge fehlender Druckentlastung beim Düsenstrahlverfahren
- 5) Schäden durch Alterung (Holzpfähle / Holzrost) und Korrosionserscheinungen
- 6) Schäden infolge von Erschütterungen

Während ein Teil der Schäden durch benachbarte Baumaßnahmen verursacht werden können, können Gründungsschäden jedoch auch prinzipiell unabhängig von benachbarten Baumaßnahmen sein.

3 Untersuchungsverfahren zur Schadensanalyse

Im Hinblick auf die Feststellung der Ursache der Risseschäden ist im Hinblick auf den für die Schadensanalyse erforderlichen Zeit- und Kostenaufwand ein gestuftes Vorgehen sinnvoll. Kann die Schadensursache durch eine der Maßnahmen direkt identifiziert werden, sind die weiteren Maßnahmen nicht mehr erforderlich.

Zur Einschätzung der Situation ist die Durchführung eines Ortstermins zwingend erforderlich, damit eine sachgerechte Einschätzung des Schadens ermöglicht wird und ggf. vorhandene Einflüsse, die auf der Grundlage von Text- oder Fotodokumentationen nicht erkennbar sind, erkannt werden können. Auf der Grundlage dieses Ortstermins können dann die erforderlichen Maßnahmen festgelegt werden.

Im Zuge eines Ortstermins kann auch häufig, z. B. mit Hilfe einer Risslupe, direkt festgestellt werden, ob ein vorhandenes Rissbild auf Spannungsänderungen im Bauwerk zurückzuführen ist oder

ob es sich um putzgrundbedingte Risse, d. h. um Risse die auf einen Materialwechsel im Putzuntergrund zurückzuführen sind oder um putzbedingte Risse handelt [4].

Ursachen für putzgrundbedingte Risse sind Materialwechsel z. B. in das Mauerwerk eingebundene Stahlbetonstützen oder -unterzüge, Stahlstützen oder –unterzüge, oder Mauersteine mit höheren Festigkeitsklassen im Auflagerbereich von Unterzügen. Auch an der Außenseite von Stahlbetondecken zur Vermeidung von Wärmebrücken eingelegte Dämmungen oder Rolladenkästen können die Ursache für putzgrundbedingte Risse sein. Die unterschiedlichen Materialien auf denen der Putz aufgebracht wird führen aufgrund der unterschiedlichen Materialausdehnungskoeffizienten zu einem unterschiedlichen Verformungsverhalten des Putzuntergrundes, die dann zu Rissen führen können. Lässt das Rissbild auf einen Materialwechsel im Untergrund schließen, kann durch die Freilegung des Putzuntergrundes die Ursache eines Risse mit einfachen Mitteln geklärt werden.

Putzbedingte Risse sind zunächst an ihrer uneinheitlichen Struktur von Rissen aufgrund anderer Ursachen zu unterscheiden. Unebenheiten des Putzgrundes können zu sprunghaften Putzdickenänderungen führen, die dann ggf. Risse im Putz nach sich ziehen können. Nicht ausreichend vermörtelte breite Fugen im Mauerwerk, abgebrochene Steinecken oder nicht fluchtgerecht eingesetzte Steine stellen typische Ursachen für derartige Unebenheiten des Putzgrundes dar. Wenn Risse lediglich auf der Außenseite des Putzes vorhanden sind und nicht bis zum Putzgrund durchgehen, so sind dies typische Merkmale für putzbedingte Risse.

Sofern beim Ortstermin das Schadensbild nicht bereits auf putzgrundbedingte oder putzbedingte Ursachen zurückgeführt werden kann, sind zur Erkundung der Schadensursache die Durchführung von fallbezogenen Baugrunduntersuchungen zur Erkundung der Baugrund- und Grundwasserverhältnisse mittels Bohrungen bzw. Sondierbohrungen und ggf. die Herstellung von Grundwassermessstellen erforderlich.

Hierbei sind besonders die Materialzusammensetzung, die Wassergehalte, die Plastizität des Bodens und die Lagerungsdichten tiefenorientiert zu ermitteln.

Häufig werden zur Ursachenermittlung auch zusätzliche Maßnahmen erforderlich. Hierzu zählen:

- Anbringen und Einmessen von Rissmonitoren oder Messuhren an ausgewählten Rissen (Bilder 1 und 2). Der Einsatz von Rissmonitoren ist gegenüber dem Anbringen von Gipsmarken im Allgemeinen zu bevorzugen, da mithilfe der Rissmonitore ein zeitabhängiges Verhalten der Rissufer zueinander und eine qualitative Bestimmung der Horizontal- und Vertikalverschiebungen möglich ist. Des Weiteren lösen sich die Gipsmarken insbesondere bei nicht fachgerechter Herstellung mit einer „Knochenform“, d. h. mit einer dünneren Sollbruchstelle im Bereich des Risses, leicht vom Untergrund ab und erlauben keine eindeutige Zuordnung der Änderung des Risses (Bild 3),
- Anbringen und Einmessen von Höhenbolzen an den von den Schäden betroffenen Bauteilen und Einmessung von Referenzpunkten in der Nachbarschaft,
- TV-Kamerabefahrung der Abwassergrundleitungen mit besonderem Augenmerk auf etwaige Leckagestellen oder offene Muffenstöße, aus denen Abwasser in den Untergrund fließen kann und die zu Bodenentzug bzw. einer Aufweichung des Bodens unterhalb der Gründungsebene führen können.

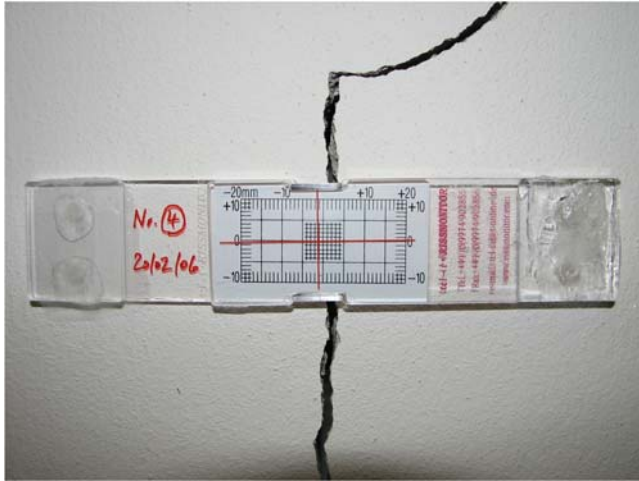


Bild 1: Rissmonitor



Bild 2: Rissmessuhr



Bild 3: vom Untergrund abgelöste Gipsmarke

Damit die Schadensanalyse im Streitfall auch gerichtsverwertbare Ergebnisse liefert, wird empfohlen, für die Schadensanalyse einen öffentlich bestellten und vereidigten Sachverständigen aus dem Gebiet der Geotechnik einzuschalten.

4 Sanierungsverfahren

Die Sanierung einer schadhafte Gründung kann zum Einen durch eine Nachgründung des Gebäudebestandes und zum Anderen durch die Ertüchtigung des unterhalb der Gründungsebene vorhandenen Baugrundes erfolgen.

4.1 Nachgründungen

Bei einer Gründungssanierung durch Nachgründungen wird die Fundamentlast eines flach gegründeten Bauwerks von der bisherigen Gründungsebene auf eine neue Gründung in einer tieferen Gründungsebene umgesetzt, wodurch in den tieferen Baugrund neue Lasten eingetragen werden, die zwangsläufig zu Setzungen im Baugrund und somit zu unvermeidbaren Verformungen im Bauwerk führen (Bild 4). Hierbei kann die Tieferführung der Fundamentlasten in Abhängigkeit der projektspezifischen Randbedingungen als Flachgründung (z.B. als Streifenfundament) oder als Tiefgründung (z.B. mittels Verpresspfählen, Düsenstrahlsäulen oder Presspfähle) erfolgen.

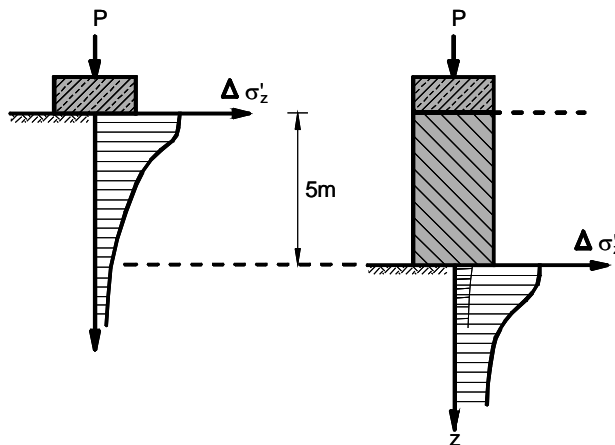


Bild 4: Lastumlagerung in den tieferen Baugrund im Zuge einer Unterfangungsmaßnahme

Gründungssanierungen können vom Grundsatz her in die zwei im Bild 5 dargestellten grundsätzlichen Verfahrensvarianten unterteilt werden:

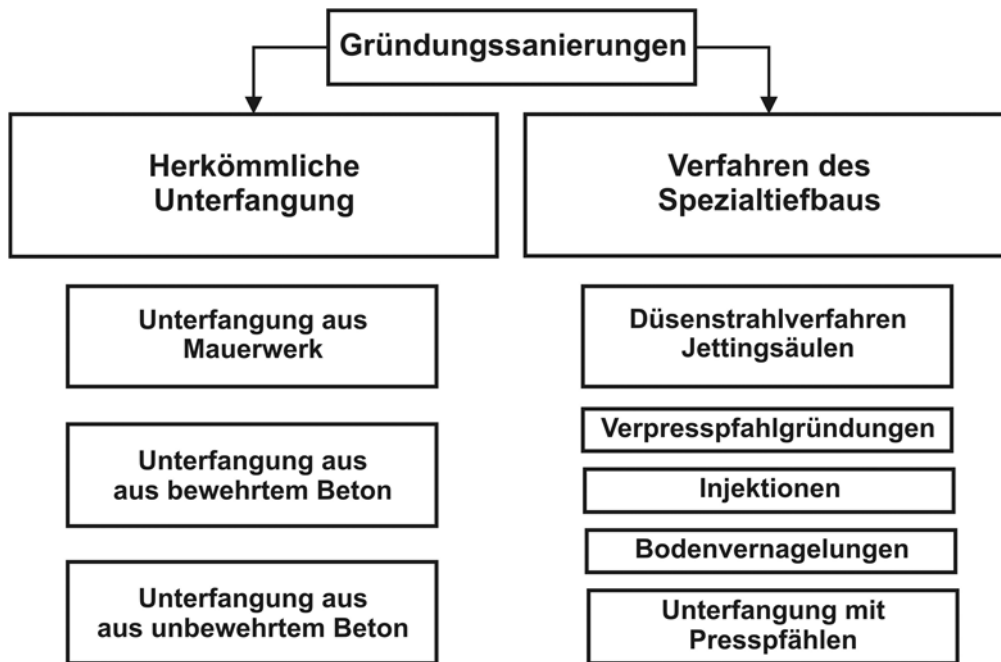


Bild 5: Ausführungsvarianten für Gründungssanierungen

Die herkömmlichen, klassischen Unterfangungen werden im Allgemeinen aus Mauerwerk bzw. bewehrtem oder unbewehrtem Beton hergestellt. Die im Allgemeinen einzuhaltenden Ausschachtungsgrenzen sind im Bild 6 dargestellt.

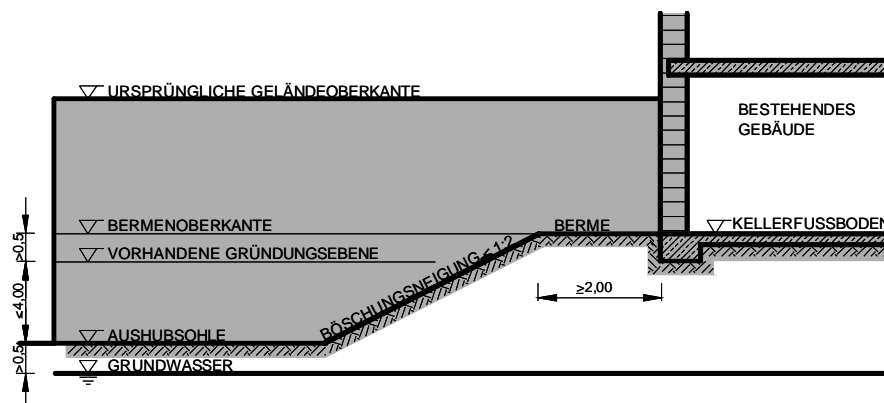


Bild 6: Aushubgrenzen bei Ausschachtung neben bestehenden Bauwerken

Neben diesen Ausschachtungsgrenzen senkrecht zum zu unterfangenden Bauwerk ist bei allen Unterfangungsarbeiten von grundlegender Bedeutung, dass die zu unterfangenden Wände jeweils nur abschnittsweise mit einer Abschnittsbreite $\leq 1,25$ m in einer zuvor festgelegten Reihenfolge unterfangen werden dürfen, damit sich innerhalb der zu unterfangenden Wand ein Traggewölbe ausbilden kann, das die Herstellung eines Schlitzes unterhalb des bestehenden Fundaments ermöglicht. Die vorherige Planung und Festlegung der Ausführungsreihenfolge bei diesem abschnittswisen Vorgehen ist von grundlegender Bedeutung für die Lastumlagerung und die Verformungen im Bauwerk und im Untergrund.

Von den Sanierungsverfahren des Spezialtiefbaus werden nachfolgend die Sanierungsverfahren, die die Bauwerklasten über Pfähle oder pfahlartige Tragelemente in den tieferen Untergrund abtragen exemplarisch dargestellt.

4.1.1 Unterfangungen mit Verpresspfählen

Verpresspfähle, auch als Mikropfähle bezeichnet, werden bei Unterfangungsmaßnahmen aufgrund der Erschütterungsproblematik bei der Herstellung von Injektionsrammpfählen im Allgemeinen verrohrt als Kleinbohrpfähle hergestellt. Kleinbohrpfähle können mit kompakten Bohrgeräten auch unter beengten Verhältnissen, z. B. aus Kellerräumen heraus hergestellt werden, wobei die Arbeitshöhen nur ca. 2 m betragen muss. In die Verrohrung wird als Tragglied ein Vollstab, GEWI-Stab oder ein kleiner Bewehrungskorb eingestellt. Während des Ziehens der Verrohrung wird Beton- oder Zementmörtel in den Untergrund mittels Druckluft eingepresst (Bild 7).

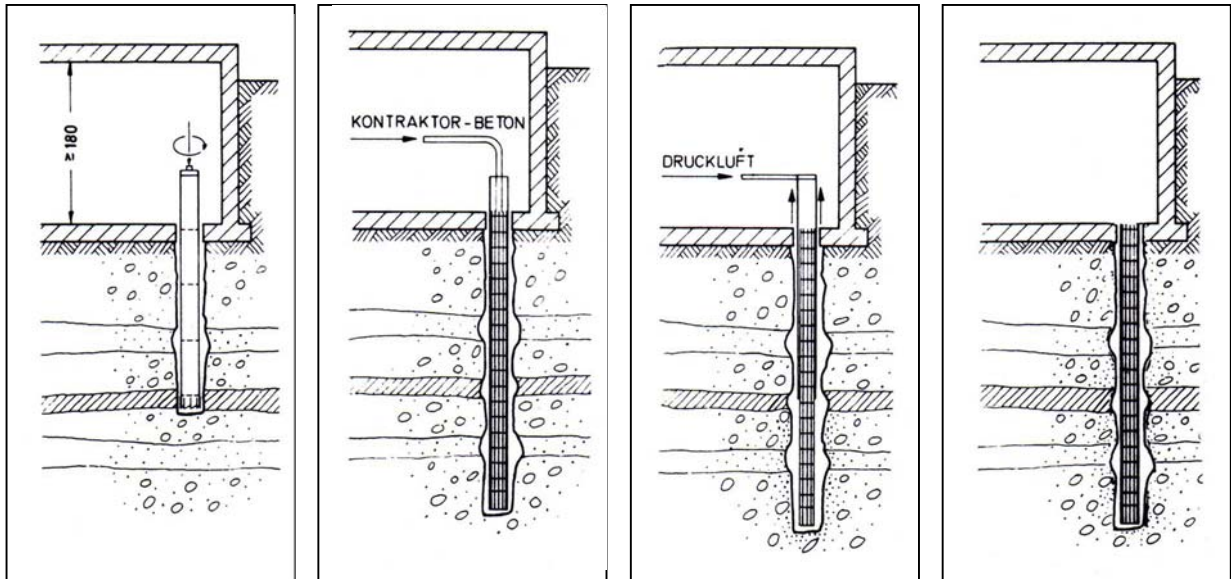


Bild 7: Herstellung von Verpresspfählen

Die Bauwerkslasten werden bei Verpresspfählen über die Mantelreibung in den tieferen Baugrund abgetragen. Die Bauwerkslasten werden von der zu unterfangenden Wand über Steckträger oder Ankerspannstäbe in oberhalb der Pfahlköpfe der Verpresspfähle angeordnete Streichbalken eingeleitet (Bild 8).

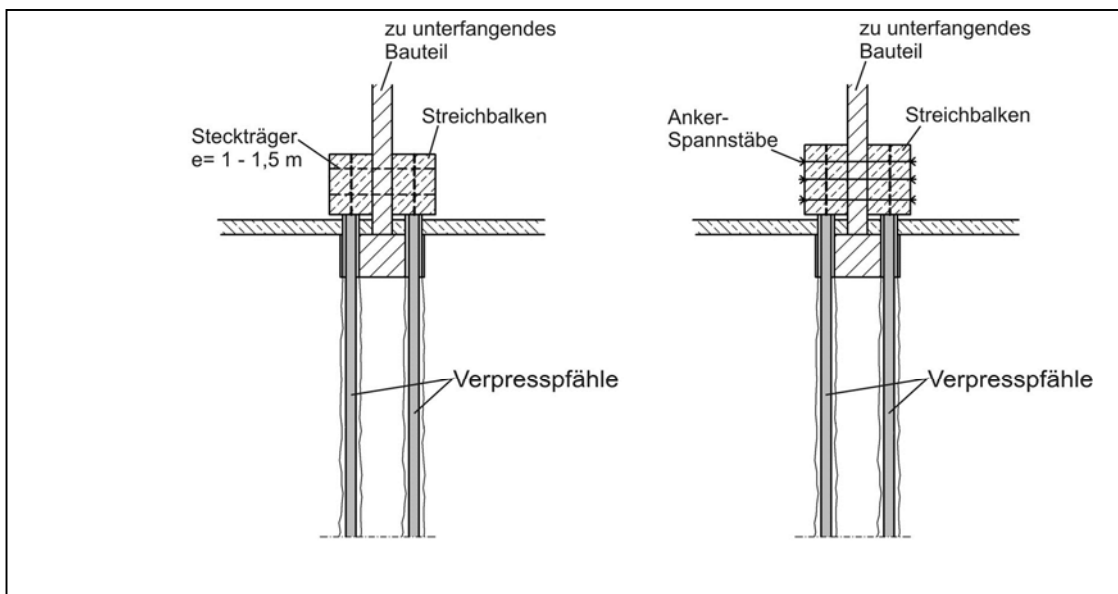


Bild 8: Anschluss der Verpresspfähle an die zu unterfangenden Bauteile

Mit Verpresspfählen können sowohl Wände als auch Einzelstützen unterfangen werden (Bild 9). Entscheidendes Entwurfskriterium ist neben der über die Pfähle abzutragende Gebrauchslast, die in Abhängigkeit des anstehenden Bodens und des verwendeten Traggliedes 500 bis 1000 kN betragen kann, das Verhalten des Verpresspfahls nach dem Tieferschachten. Hier ist insbesondere das Ausknicken der schlanken Druckglieder zu untersuchen. Gegebenenfalls sind im Zuge des Aushubs zusätzliche Knickaussteifungen einzubauen.



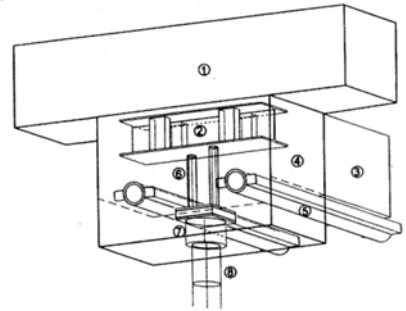
Bild 9: Unterfangung mit Verpresspfählen

4.1.2 Unterfangungen mit Presspfählen (Segmentpfählen)

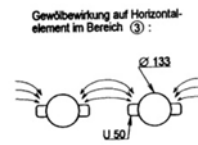
Unterfangung mit Presspfählen können im Allgemeinen auch unter sehr beengten räumlichen Verhältnissen hergestellt werden. Vor dem zu unterfangenden Fundament wird eine ca. 1,2 m x 1,2 m große Montagegrube ausgehoben und das Fundament auf einer Breite von ca. 1 m und einer Tiefe von ca. 0,8 m freigelegt (Bild 10). Anschließend werden vorgefertigte Pfahlsegmente aus Stahlbeton mit einem mittig angeordneten Stahlrohr in den Untergrund gepresst. Nachfolgend werden weitere Pfahlsegmente, die über das in der Mitte gelegene Stahlrohr nach dem Nut- und Federprinzip zentriert werden, in den Untergrund eingepresst bis der vorab festgelegte Pfahlwiderstand erreicht wird. Als Widerlager für diesen Pressvorgang wirkt das Eigengewicht der zu unterfangenden Bauwerksteile (Bild 11). Aufgrund der geometrischen Flexibilität, z. B. der Möglichkeit des Einbaus von zusätzlichen Pfahlsegmenten bis zum Erreichen des festgelegten Pfahlwiderstandes, kann somit die in den Untergrund abzuleitende Last für jeden einzelnen Pfahl nachgewiesen werden.



a)



- ① bestehendes Fundament
- ② ausgeteilter Lastverteilungsbalken
- ③ Boden auf Horizontalelementen
- ④ UF-Beton
- ⑤ Horizontalelemente
- ⑥ Spindel
- ⑦ Pfahlkonsolle
- ⑧ Pfahlsegment



b)

Bild 10: a) Montagegrube zum Einpressen von Presspfählen
b) Darstellung der Pfahlkopfkonstruktion System Erkapfahl

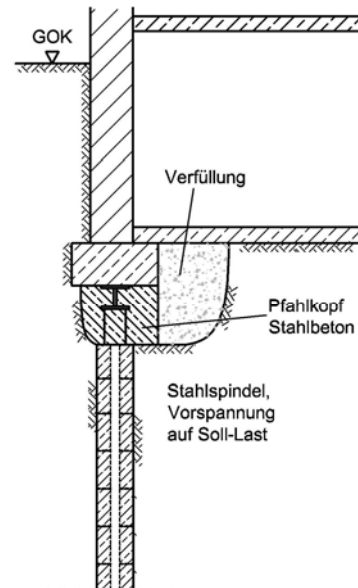
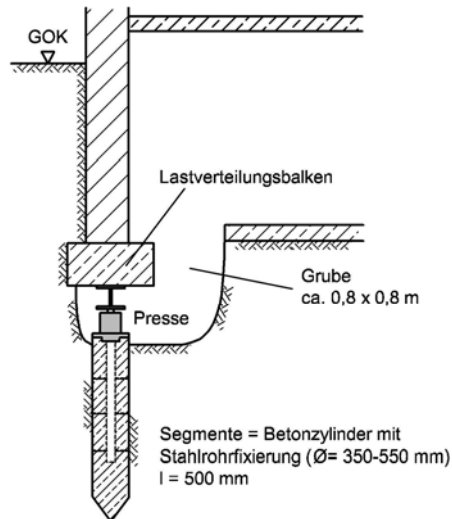


Bild 11: Herstellungsprinzip

Die Vor- und Nachteile von Nachgründung mit Presspfählen sind in der Tabelle 1 gegenübergestellt.

Vorteile	Nachteile
deformationsarm	hohe Lohnkosten
hohe geometrische Flexibilität	zeitaufwendig
kaum Baustelleneinrichtung	
hohe Homogenität des Unterfangungskörpers	
ausreichende Materialfestigkeit des Unterfangungskörpers	
geringe Emissionen	

Tabelle 1: Vor- und Nachteile bei Nachgründung mit Presspfählen

4.1.3 Unterfangungen im Düsenstrahlverfahren

Die Baugrundverfestigung mit dem Düsenstrahlverfahren (DSV) ist ein Verfahren, das auch unter den Bezeichnungen Jet-Grouting, Soilcrete und Hochdruckinjektion (HDI) bekannt ist.

Beim Düsenstrahlverfahren wird mittels eines energiereichen Schneidstrahls aus Wasser und/oder Zementsuspension mit Austrittsgeschwindigkeiten > 100 m/s und Flüssigkeitsdrücken von mehreren hundert bar, der im Bereich um das Bohrloch anstehende Boden aufgeschnitten und erodiert. Verfahrenabhängig wird der Schneidstrahl ggf. auch mit Luft ummantelt. Der erodierte Boden wird umgelagert und mit Zementsuspension vermischt, so dass in Abhängigkeit des im Untergrund vorhandenen Bodenmaterials ein verfestigter Bodenkörper entsteht (Bild 12).

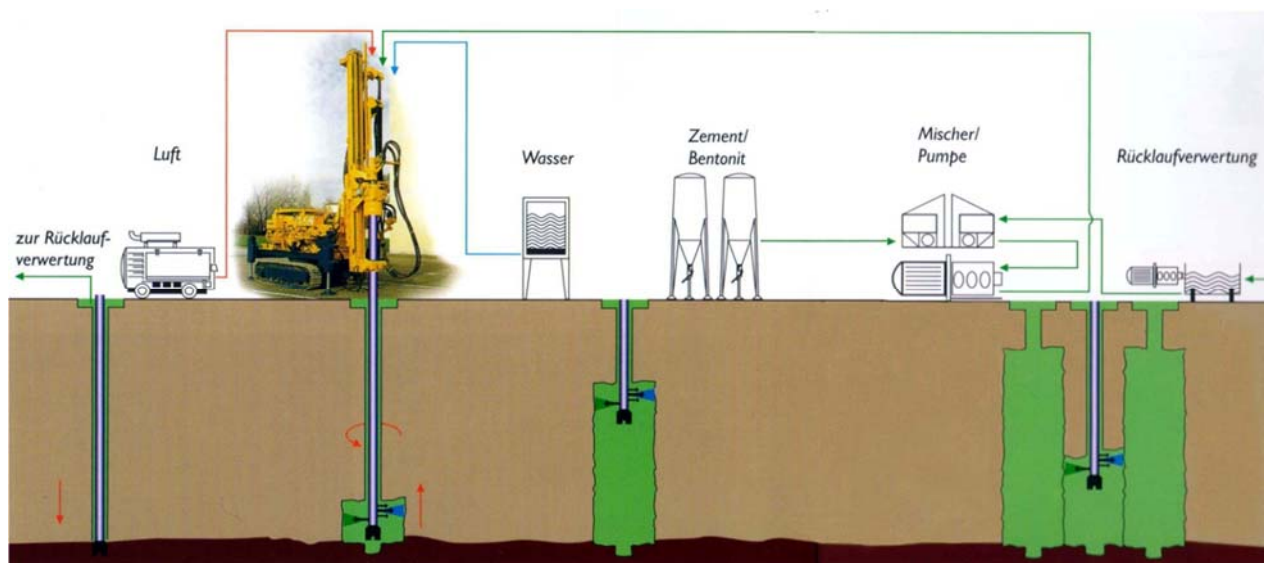


Bild 12: Verfahrensverlauf des Düsenstrahlverfahrens nach [5]

Die Erosionsweite des Düsenstrahls im Baugrund liegt je nach Bodenart und Verfahrensart bei bis zu 2,5 m, wobei jedoch im Allgemeinen Säulen mit Durchmessern zwischen 1,0 – 1,5 m hergestellt werden. Die erzielbaren Druckfestigkeiten liegen in der Bandbreite von 2 – 25 N/mm² (Bild 13).

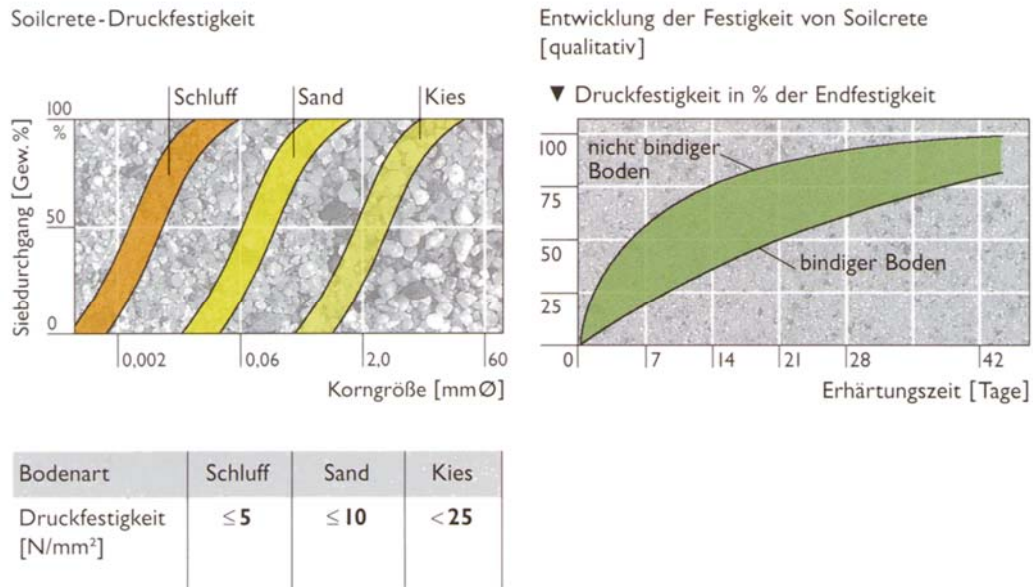


Bild 13: Festigkeitseigenschaften von Düsenstrahlkörpern nach [5]

Die Vor- und Nachteile des Düsenstrahlverfahrens sind in der Tabelle 2 gegenübergestellt.

Vorteile	Nachteile
kostengünstig bei größeren Unterfangungsmaßnahmen	Baustelleneinrichtung erforderlich
deformationsarm	mehrfache Lastumlagerung erforderlich
hohe Tagesleistung möglich	hohe Fixkosten
hohe Materialfestigkeiten des Unterfangungskörpers möglich	duktiler Bauwerk erforderlich
großer Einsatzbereich im Hinblick auf Korngrößenverteilung und Einsatzmöglichkeiten	Lärm- und Körperschallemissionen

Tabelle 2: Vor- und Nachteile des Düsenstrahlverfahrens

Unterfangungen im Düsenstrahlverfahren können ggf. auch in Kombination mit anderen Verfahren, z. B. der in den Bildern 14-16 dargestellten Kombination von Düsenstrahlkörpern mit einer rückverankerten Bohrpfehlwand ausgeführt werden.



Bild 14: Abschnittsweises Herstellen der DSV-Säulen



Bild 15: Abfräsen des Vorwuchses der DSV-Säulen

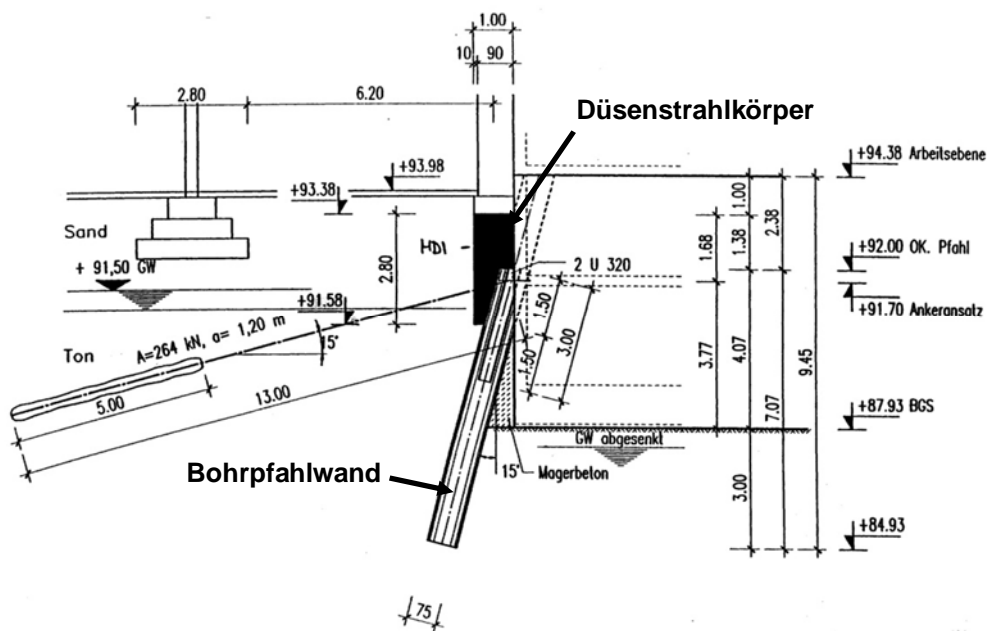


Bild 16: Systemschnitt, Düsenstrahlsäulen in Kombination mit einer Bohrpfahlwand

4.2 Ertüchtigung des unterhalb der Gründungsebene vorhandenen Baugrundes

4.2.1 Hohlraumverfüllung

Sofern im Untergrund Hohlräume, z. B. infolge von Ausspülungen von Boden infolge von Strömungsvorgängen oder bei künstlich hergestellten Hohlräumen aus alten, bisher unbekanntem Gebäudeteilen unterhalb der Gründungsebene oder durch Altbergbau verursachte Hohlräume vor-

handen sind, kann der Baugrund durch eine drucklose Verfüllung der Hohlräume mit einer Zement-, einer Bentonitsuspension oder mit Dämmertüchtig werden. Hierbei sollten die Materialeigenschaften des zur Verfüllung eingesetzten Materials auf die Steifigkeit des anstehenden Bodenmaterials abgestimmt werden.

Die Hohlraumverfüllung dient der Herstellung eines einheitlich tragfähigen Untergrundes und ist nicht geeignet bereits eingetretene Gründungsschäden zu beseitigen. Die weitere Schädigung einer Gründung kann jedoch mit diesem Verfahren verhindert werden.

4.2.2 Expansionsharz

Eine Verdichtung des Untergrundes und ein ggf. vollständiges Wiederaufheben eines Gebäudes mit Setzungsschäden ist mit dem Einsatz von Expansionsharz, z. B. mit dem Verfahren URETEK DeepInjection, möglich. Beim Einsatz von Expansionsharz kann durch eine entsprechende Steuerung des Injektionsvorgangs neben der Verdichtung des Untergrundes und der Verfüllung von Hohlräumen ein Anheben eines verkippten Gebäudes erfolgen.

Beim Einsatz einer Gründungertüchtigung mittels Expansionsharz ist zu berücksichtigen, dass die Sanierung vom zeitlichen Setzungsverhalten des Untergrundes abhängig ist. Sofern z. B. Setzungsvorgänge noch andauern, ist der Einsatz des Verfahrens unter Berücksichtigung der noch zu erwartenden Setzungsbeträge zu planen. Ggf. müssen die Injektionsmaßnahmen zu einem späteren Zeitpunkt wiederholt werden. Dies kann z. B. im Zusammenhang mit der Zersetzung von im Untergrund unterhalb der Gründungsebene vorhandener Torfschichten erforderlich sein. In diesem Falle ist eine sorgfältige Abwägung zwischen einer Sanierung mittels Expansionsharz und einer „echten“ Tiefergründung des Bauwerks mit den im Abschnitt 4.1 beschriebenen Verfahren durchzuführen.

4.2.3 Soilfracing

Beim Soilfrac-Verfahren, das von der Firma Keller Grundbau entwickelt wurde, werden zunächst Ventilrohre in den zu behandelnden Bodenbereich eingebaut. Anschließend kann ein Packer, der sich am Ende einer flexiblen Injektionsleitung befindet, gezielt bis zu einem gewünschten Einzelventil in das Ventilrohr eingebaut und ein vorgegebenes Injektionsvolumen über dieses Ventil verpresst werden. Dieser Vorgang wird in mehreren Injektionsphasen wiederholt, so dass nach Abschluss einer Vorinjektion und Verspannung des Bodens jederzeit gezielte Hebungen ausgeführt werden können. Bei diesem Verfahren werden im Boden Fließwege geöffnet (Fracs) in die das Injektionsgut eindringt und erhärtet. Durch mehrmalige Einwirkung kann jeder Boden verbessert und Hebungen eingeleitet werden. Zur Gründungssanierung wird das Soilfrac-Verfahren dort eingesetzt, wo Setzungen zum Stillstand gebracht werden sollen oder wo natürliche oder durch den Menschen verursachte Bodenverformungen stattfanden. Mit dem Verfahren ist durch die gezielte Steuerung des Injektionsvorganges eine Rückstellung von Gebäudeschiefstellungen möglich. Das Verfahren wird auch planmäßig im Tunnelbau eingesetzt um Setzungen, die aus dem Tunnelausbruch resultieren, durch vorhergehende Hebungen des Gebäudes zu kompensieren.

4.2.4 Verdichtungsinjektion/Compaction Grouting

Bei Verdichtungsinjektionen wird in der Regel ein steifer bis plastischer Injektionsmörtel unter Druck in den Boden eingepresst. Er breitet sich im Baugrund als relativ homogene Masse aus und bildet dabei annähernd kugelförmige Injektionskörper.

Der umgebende Boden wird am Injektionsort lokal verdrängt und dabei verdichtet. Im Gegensatz zu anderen Injektionsverfahren dringt der Mörtel weder - wie bei der klassischen Injektion - in die Poren des anstehenden Bodens ein, noch bilden sich - wie beim Soilfrac-Verfahren - lokale Risse im Boden aus.

Während der Verdichtungsinjektion werden Druck und Menge des Injektionsgutes sowie gegebenenfalls Verformungen an der Geländeoberfläche bzw. an den Gebäuden aufgezeichnet. Je nach Bauaufgabe wird die Verdichtungsinjektion bei Erreichen eines maximalen Druckes, eines maximalen Volumens, beim Auftreten eines gewünschten Hebungsmaßes oder dem Austreten von Material an der Geländeoberfläche beendet. Die Ausführung der Verdichtungsinjektion ist auf europäischer Ebene im Rahmen der Norm EN 12 715 geregelt. Verdichtungsinjektionen können zur Verbesserung rolliger Böden insbesondere dann eingesetzt werden, wenn diese locker bis mitteldicht gelagert sind. Auch im Bereich feinkörniger Böden kann das Verfahren angewandt werden, um Elemente mit höherer Festigkeit und Tragfähigkeit in wenig tragfähigem Baugrund anzuordnen und somit dessen Tragverhalten zu verbessern.

Bei Einsatz des Verfahrens im Bereich wassergesättigter, toniger Böden ist ein vorübergehender Anstieg des Porenwasserdruckes zu beachten. Infolge einer zeitlich verzögerten Umlagerung des Porenwasserdruckes in wirksame Spannungen (Konsolidierung) kann der zunächst erreichte Verdichtungseffekt teilweise wieder verloren gehen.

4.3 Grundsätze für die Planung und Bemessung von Nachgründungen

Die Hauptelemente bei der Planung von Nachgründungsmaßnahmen sind die zutreffende Ermittlung der geotechnischen Daten zum Baugrundaufbau und der geometrischen Daten der zu unterfangenden Bauwerksteile sowie die zutreffende Einschätzung/Ermittlung der Last und des Kraftflusses innerhalb der zu unterfangenden Bauteile (Bild 17). Hierbei ist insbesondere auf das Vorhandensein von eventuell die Tragwirkung bestimmenden, im Bauwerk ggf. auch verdeckt vorhandenen Stützen, Gewölben, etc. zu achten.

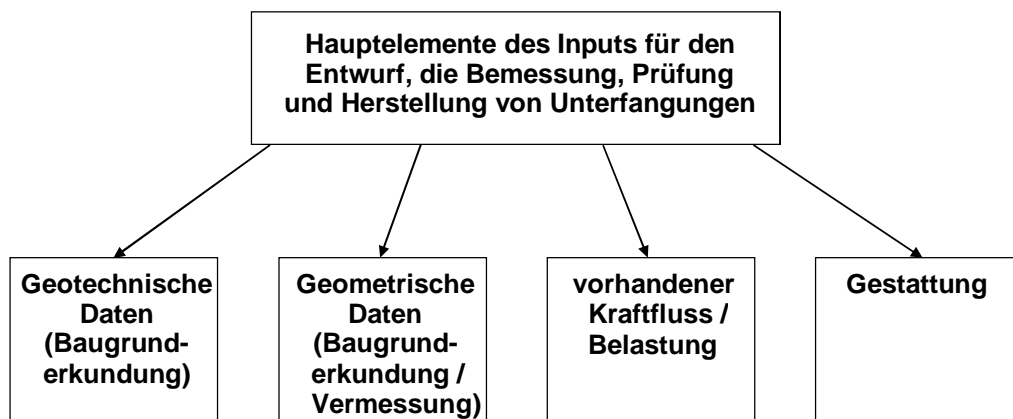


Bild 17 : Hauptelemente der Planung von Nachgründungsmaßnahmen

Als Mindestvoraussetzung für die Planung, Bemessung und Ausführung müssen die nachfolgenden Daten im Zuge der Baugrunderkundung ermittelt werden:

allgemein:

- Schichtenverlauf
- Bodenmechanische Kennwerte
- Grundwasserstände und Grundwasserschwankungsbereich

verfahrensbezogen:

- Korngrößenverteilungen
- Anteil an organischen Stoffen und gelösten organischen Stoffen (DOC)
- bauchemische Untersuchungen
- Wasserdurchlässigkeitsbeiwert
- Last-Setzungsverhalten

Gegebenenfalls ist das zu unterfangende Bauwerk mittels den nachfolgend aufgeführten Ertüchtigungsmaßnahmen zu sichern, bevor die Unterfangungsarbeiten ausgeführt werden:

- Ausmauern von Fenstern, Türen und Gewölben
- Aufnahme von Horizontallasten über Zugglieder
- Schrägabstützung von Gebäudewänden
- Abstützung über die Baugrube gegen vorhandene Bebauung
- äußeres Vorspannen des gesamten Gebäudes
- Verbessern der Gründungselemente und der Tragkonstruktion durch Mauerwerksinjektionen / Rissverpressung
- Anbringen von Streichbalken zwecks Verbesserung der räumlichen Tragwirkung

Zur Untersuchung, ob ein Bauwerk unterfangen werden kann, sind die nachfolgenden Fragestellungen zu untersuchen:

1. Ist die Tragkonstruktion des Bauwerks unterfangungsfähig ?
 - Besteht ein Verbund der Giebelwand mit den traufseitigen und innenliegenden Längswänden?
 - Besteht ein konstruktiver Verbund mit querverteilenden Decken ?
 - Spannt ein Gewölbe auf den zu unterfangenden Giebel ?
 - Wirkt die Giebelwand aufgrund ihrer Beschaffenheit oder zusätzlicher Sicherungsmaßnahmen als Wandscheibe ?
2. Ist die Gründung des Bauwerks unterfangungsfähig ?
 - Handelt es sich nachweislich um ein Streifenfundament oder eine biegesteife Stahlbetonplatte?
 - Kann das Fundament aufgrund seiner Beschaffenheit einen Abschnitt von 1,25 m Breite vorübergehend ungestützt überbrücken ?
 - Ist das Fundament ausreichend grundbruchsicher ?
3. Lassen die Baugrundverhältnisse eine herkömmliche Unterfangung zu ?
 - Stehen in den für die Unterfangung relevanten Tiefen mindestens mitteldicht gelagerte nichtbindige Böden, mit ausreichender Standfestigkeit oder mindestens steife bindige Böden an ?
 - Steht Grundwasser in den für die Unterfangung relevanten Tiefen an ?

Die Bemessung von Unterfangungen mit Mikropfählen und mit Presspfählen kann entsprechend der DIN 1054 erfolgen, wobei die Tragsicherheit und die Gebrauchstauglichkeit nachzuweisen sind. Beim Nachweis der äußeren Tragsicherheit des Pfahls ergibt sich bei Presspfählen der Sonderfall, dass durch das Einpressen und jeweilige Verlängern der einzelnen Pfahlsegmente über den Einpressdruck direkt die Grenzlast des Pfahles eingestellt werden kann. Bei der Ausführung von Presspfählen können die infolge der Unterfangungsmaßnahme auftretenden Verformungen durch eine planmäßige Anhebung der Konstruktion kompensiert und somit die Gebrauchstaug-

lichkeit sichergestellt werden. Bei Mikropfählen sollte zur Berechnung des inneren Tragwiderstandes $R_{mat,d}$ in der Regel nur der Stahlquerschnitt bzw. der vom Stahl ummantelte Betonquerschnitt berücksichtigt werden.

Bei der Bemessung von Düsenstrahlkörpern kann der verfestigte Baukörper als massives Bauteil mit den in Abhängigkeit der vorliegenden Bodenverhältnisse erzielbaren Druckfestigkeiten berechnet werden. Die Berechnung kann dann als Stützbauwerk erfolgen. Die maßgebenden Einwirkungen sind im Bild 18 zusammengestellt.

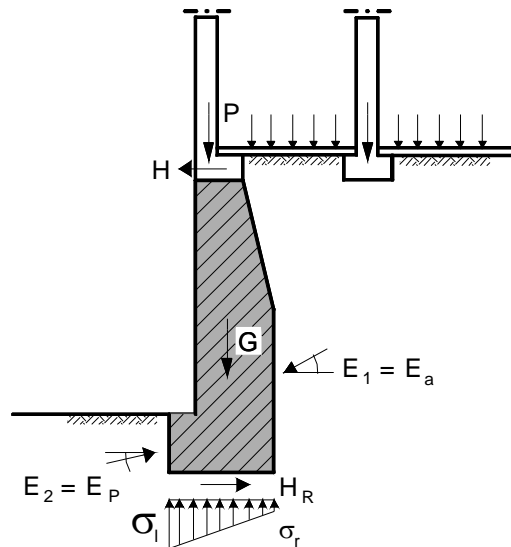


Bild 18 : Einwirkungen auf massive Bauteile aus Düsenstrahlkörpern

Bei der Bemessung sind somit die Nachweise zum inneren Tragwiderstand des Tragwerks, zum Tragwiderstand der ggf. vorhandenen Abstützungen, zum lokalen oder globalen Baugrundwiderstand (Geländebruch) und zur Erschöpfung der Bodenstützung infolge hydraulischem Grundbruch, innerer Erosion oder Bodenverflüssigung sowie der Nachweis des Grenzwiderstandes des Gleichgewichts (Kippen), der Grundbruchnachweis und der Gleitnachweis zu führen.

4.4 Fachbauüberwachung, Qualitätssicherung und Dokumentation

Im Hinblick auf die Kontrolle der Tragfähigkeit und zur Überprüfung der bei den Berechnungen angesetzten Randbedingungen und Annahmen ist neben der Fachbauleitung des ausführenden Unternehmers auch eine qualifizierte geotechnische Fachbauüberwachung, die bei besonderen Sanierungsmaßnahmen ggf. auch kontinuierlich vor Ort sein muss, erforderlich.

Die wesentlichen Bestandteile der zwingend erforderlichen Qualitätssicherung und Dokumentation sind:

- eine fachgerechte Planung, Prüfung und Ausschreibung,
- die Güteprüfung der Baustoffe,
- die Fachbauüberwachung,
- die Kontrolle der zulässigen Aushubgrenzen,
- die Dokumentation der Herstellung / Herstellparameter,
- baubegleitende geodätische Verformungskontrollen,
- eine geotechnische Überwachung z.B. mit Inklinometern/Extensometern,
- die Steuerung und Dokumentation von Gebäudehebungen und Setzungen sowie
- das Anfertigen von Herstellprotokollen z.B. bei Pfählen, Düsenstrahlkörpern etc.

Die Dokumentation ist auch im Hinblick auf die nachbarschaftliche Beweissicherung von besonderer Bedeutung.

5 Literatur

- [1] Smolczyk, Ulrich: Unterfangungen und Unterfahrungen, Grundbautaschenbuch, Fünfte Auflage Teil 2, Seiten 85 – 107, (1996)
- [2] Vogler, Matthias: Unterfangungen und aktuelle Gründungsfragen, Seminarband zum Darmstädter Fortbildungsseminar Kombinierte Pfahl- Plattengründung (KPP), Unterfangungen und aktuelle Gründungsfragen, Blatt 1 bis 36, (2001)
- [3] Witt, Karl Josef: Nachgründungen, Schriftenreihe Geotechnik der Bauhaus-Universität Weimar, Heft 3, (2000)
- [4] Drisch, Leo; Schürken, Johannes: Bewertung von Bergschäden und Setzungsschäden an Gebäuden, Theodor Oppermann Verlag, (1995)
- [5] Keller Grundbau GmbH, Firmenprospekt Soilcrete-Verfahren