

## Nachgründungen

*Karl Josef Witt*

### 1 Einführung

Bei älteren Bauwerken treten häufig Risse in den Wänden und Decken auf, die auf einen Verlust der Gebrauchstauglichkeit oder gar der Tragfähigkeit der Gründung zurückzuführen sind. Die Ursachen können vielfältiger Natur sein. Kriechsetzungen, Setzungen infolge Lasterhöhung, Setzungen durch zyklische oder dynamische Einwirkungen, Versagen von alten Holzpfählen, Untergrundsetzungen infolge Grundwasserabsenkungen, Einsturz von Hohlräumen bei Bergsenkungen, Auslaugungen oder Ausspülungen im Baugrund, Aufweichen bindiger Böden bei Wasserzutritt aus defekten Kanälen und Fallrohren wie auch Schrumpfen von bindigen Böden bei Wasserentzug kommen in Frage. Zur Ertüchtigung stehen zahlreiche Verfahren des Spezialtiefbaus zur Verfügung, die sich im Umfang des Eingriffs, in der Zuverlässigkeit aber auch in den Kosten erheblich unterscheiden. Der Beitrag zielt auf die Sanierung von häufig vorkommenden Setzungsschäden und behandelt die Möglichkeiten und die Einsatzgrenzen der einzelnen Verfahren. Sinngemäß gelten die Aussagen zu den Verfahren aber auch bei der Verstärkung von Gründungen, also zur Prävention solcher Schäden.

### 2 Schadensanalyse

Voraussetzung jeder Planung von Maßnahmen zur Ertüchtigung von Gründungen ist eine sorgfältige Aufnahme und Analyse der Schäden und die Ermittlung der Schadensursache bzw. die Feststellung der Standsicherheitsdefizite. Häufig vorkommende Ursachen wie auch Hinweise zum Vorgehen bei der Ertüchtigung alter und historischer Bauwerke sind in [1] und [2] beschrieben. Die vorlaufende Bearbeitungsphase, vergleichbar mit Anamnese und Diagnose der Heilkunde [3] betrifft drei Themenbereiche:

- Erkundung des Baugrundes mit seinen bodenmechanischen Eigenschaften
- Erfassung der Tragstruktur und der Gründung des Gebäudes,
- Beurteilung der äußeren Einwirkungen auf das Bauwerk und auf dessen Gründung.

Daraus ergeben sich die folgenden Bearbeitungsschritte der Schadensanalyse:

- Analyse des Rissverlaufes und der zeitlichen Entwicklung von erkennbaren Verformungen
- Beschaffung und Auswertung von Bestandsunterlagen des Gebäudes (Fundamentpläne, Lastenpläne, Besonderheiten bei der Ausführung, ggf. Bestandsvermessung)
- Ermittlung besonderer Einwirkungen wie An- oder Umbauten, Umnutzungen, Erschütterungen, geohydraulische Eingriffe (Dränagen, Brunnen, Grundwasserabsenkungen, Kanalisation)
- Begehung des Umfeldes und Erhebung vergleichbarer Schäden in der Region, Prüfung großräumiger Verformungen des Untergrundes (Erdfälle, Rutschungen, Hangkriechen)
- Beurteilung der Frosteinwirkung auf die Gründung
- Beurteilung der Einwirkung von Bewuchs der angrenzenden Freifläche
- Freilegen der Gründung durch lokale Ausschachtungen, Abgleich der vorgefundenen Verhältnisse mit den Bestandsunterlagen
- Erkundung des Baugrundes durch Schürfe, Bohrungen und Rammsondierungen, Entnahme von Bodenproben
- Feld- und Laborversuche zur Bestimmung der relevanten Bodenkennwerte
- Klassifikation des Baugrundes und der hydrogeologischen Verhältnisse (Grundwasser, Schichtwasser, Sickerwasser, lokale Vernässungen)

- Ermittlung der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit der Gründungskonstruktion

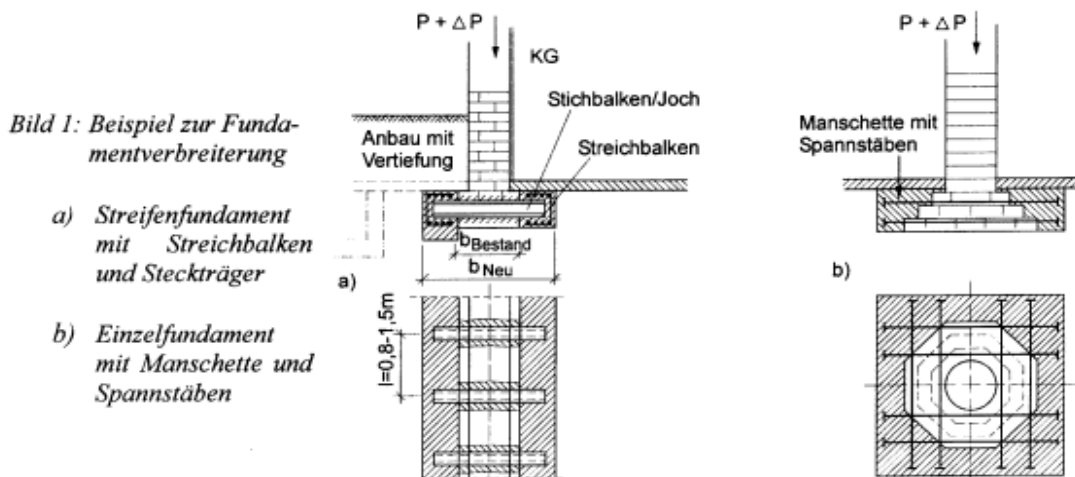
Aus geotechnischer Sicht ist die Vorgehensweise zur Erkundung der Gründungsstruktur und des Baugrundes besonders hervorzuheben. Im Gegensatz zu einer Neubebauung sind bei der Erkundung des Bestandes die Art und Abmessungen der Tragstrukturen nicht vorgegeben, sondern bei der Erkundung zu ermitteln oder zumindest zu verifizieren. Die Erkundung wird durch schwierige Zugänglichkeit, unvermeidbare Flurschäden oder durch Arbeiten in beengten Kellerräumen erschwert. Auf Schürfe, die eine visuelle Beurteilung der Gründung und die Entnahme von ungestörten Bodenproben in der Lastzone der Gründung ermöglichen, sollte keinesfalls verzichtet werden. Einen Überblick über die Tragfähigkeit des Baugrundes lässt sich am einfachsten durch Rammsondierungen gewinnen. Darüber hinaus sind Bohrungen zur Feststellung der Schichtenfolge und zur Gewinnung von Bodenproben erforderlich. Bei den bodenmechanischen Versuchen sind neben der Klassifikation insbesondere die Festigkeitskennwerte und das Kompressionsverhalten von Bedeutung. Bei der Interpretation der im Labor ermittelten Kennwerte und bei der Festlegung von charakteristischen Werten für weitere Nachweise ist zu beachten, dass der Boden durch die Gründung und die bisherigen Einwirkungen vorbelastet ist.

Mit den oben aufgeführten Erhebungen, Untersuchungen und Interpretationen lassen sich in einfachen Fällen die Schadensursache und der Schadensmechanismus klar identifizieren, so dass eine Prognose über die weitere Schadensentwicklung und darauf aufbauend die wirtschaftliche Planung einer Sanierung möglich ist. Häufig überlagern sich aber verschiedene Einwirkungen zu komplexen Schäden. Die Planung einer zweckmäßigen Nachgründung setzt dann nicht nur einen erhöhten Aufwand für die Erkundung sondern auch einen intensiven Dialog zwischen Bausachverständigen, Geotechniker, Tragwerksplaner, Bauphysiker und ggf. Bauhistoriker voraus. Die Schadensanalyse muss in jedem Fall zu einem schlüssigen Modell führen, das die Ursachen der Verformungen, den Mechanismus des Schadens, widerspruchsfrei beschreibt, damit mit den Maßnahmen zur Nachgründung nicht nur die Symptome behandelt, sondern die Gebrauchstauglichkeit der Gründung nachhaltig erhöht wird.

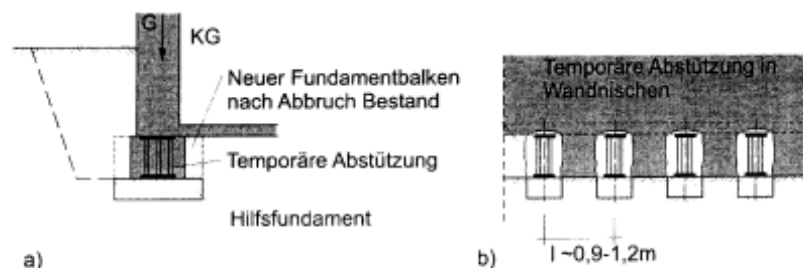
### **3 Maßnahmen zur Nachgründung**

#### **3.1 Verbreiterung der Fundamente**

Bei Umbauten und bei der Umnutzung von Gebäuden werden häufig die Verkehrslasten erhöht oder Lastkonzentrationen durch das Umsetzen von Wänden erzeugt. Zur Reduzierung von Zusatzsetzungen und zur Erhöhung der Grundbruchsicherheit reicht bei tragfähigem Baugrund eine Verbreiterung der Fundamente oder eine Tieferlegung der Gründungssohle aus. Zur Tieferlegung von Streifenfundamente werden konventionelle Unterfangungen nach DIN 4123 ausgeführt [4]. Streifen- und Einzelfundamente können durch beidseitige Streichbalken bzw. durch umlaufende Manschetten verbreitert werden, wie dies in Bild 1 dargestellt ist. Wegen der Grundbruchgefahr ist auch hier sinngemäß, wie in DIN 4123 beschrieben, abschnittsweise vorzugehen. Der Kraftschluß wird durch eine Verzahnung, besser durch Joche oder durch eine Verspannung mit Ankerstäben, erreicht. Bei Natursteinfundamenten kann auch zusätzlich eine Stabilisierung des Gründungskörpers durch Verpressen oder eine Vernadelung erforderlich werden.



Bei der Umnutzung historischer Bauwerke ist gelegentlich die nachträgliche Gründung auf einem Stahlbetonbalken erforderlich. Hierzu werden die Wände mit Stahlspindeln zunächst auf Hilfsfundamenten abgesetzt. Der so entlastete Gründungkörper kann dann ausgeräumt und durch einen Stahlbetonbalken mit durchgehender Bewehrung ersetzt werden. Die Stahlspindeln der Hilfsgründung werden dabei in das neue Fundament eingegossen. Gegenüber der abschnittswisen Unterfangung hat dies den Vorteil, dass eine durchgehende Bewehrung hergestellt werden kann. Die Vorgehensweise ist in Bild 2 skizziert. Weitere Details zu dieser Technik sind [5] zu entnehmen. Hauptanwendungsgebiet solcher Nachgründungen ist das Verschieben ganzer Bauwerke, wie dies z. B. in [6] beschrieben ist.



**Bild 2: Nachträgliche Herstellung eines Stahlbetonbalkens mit durchgehender Bewehrung**  
 a) Systemschnitt, Einbau von punktuellen Abstützungen in Wandnischen  
 b) Ansicht der Hilfsabstützung einer Außenwand

### 3.2 Verpressungen und Vermörtelungen

Mit den Verfahren zur Verpressung und Vermörtelung lässt sich die Tragfähigkeit des Baugrundes verbessern und damit die Gebrauchstauglichkeit bestehender Gründungen erhöhen. Die Anwendungen reichen von der Poreinjektion zur Verfestigung nichtbindiger Böden bis zum Düsenstrahlverfahren, bei dem durch Vermörtelung des Bodens unter bestehenden Fundamenten ein neuer Tragkörper hergestellt wird. Die einzelnen Verfahren, die Ausführungstechniken und Beispiele der Anwendungen sind ausführlich in [7] und [8] beschrieben. Durch Poreinjektionen mit Zementsuspensionen lassen sich nur in grobkörnigen, homogenen Böden definierte Verfestigungskörper herstellen. In solchen Böden sind aber wegen der guten Tragfähigkeit nur selten Nachgründungen erforderlich. In bindigen Böden wie auch in den üblicherweise gemischtkörnigen Auffüllungen kann damit kein zuverlässiger Verfestigungskörper hergestellt werden. Da das Düsenstrahlverfahren in nahezu allen Bodenarten einsetzbar ist und gegenüber Inhomogenitäten eine deutlich größere Toleranz aufweist, hat es in den letzten Jahren die Poreinjektionen bei Nachgründungen bis auf wenige Ausnahmen verdrängt.

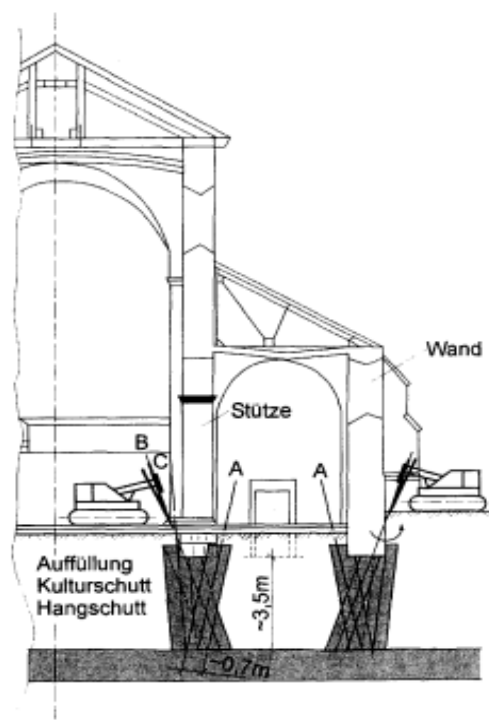
Mit dem unter jet-grouting, Rodinjet, Soilcrete und Hochdruckinjektion von den Firmen des Spezialtiefbaus angebotenen Düsenstrahlverfahren nach DIN prEN 12 716 werden im Baugrund säulenartige Elemente hergestellt, so dass unter dem Fundament in der Summe ein geschlossener Verfestigungskörper mit kraftschlüssigem Verbund entsteht. Von einem mindestens 0,8 m über dem Fundament liegenden Arbeitsplanum aus werden nach einem definierten Fächer Bohrungen mit einem Spezialgestänge niedergebracht. Beim Ziehen des Gestänges wird mit dem sog. 1-Phasenverfahren durch einen energiereichen Schneidstrahl aus Zementsuspension der Boden aufgeschnitten, erodiert und dabei mit Suspension vermengt. Zur Erhöhung der Schneidwirkung wird beim 2-Phasenverfahren der Schneidstrahl mit Druckluft unterstützt, beim 3-Phasenverfahren wird mit Wasser geschnitten und bei geringerem Druck Zementsuspension nachgeführt. Durch gleichzeitiges Drehen, Ziehen und Düsen entstehen säulenartige Elemente aus vermörteltem Boden, die etwa einem unbewehrten Bohrpfahl minderer Betonqualität entsprechen. Die einaxialen Druckfestigkeiten (DIN 18136) liegen in sandig-kiesigen Böden bei 10-15 MPa, beim Düsen bindiger Böden werden 5-10 MPa erreicht. Die Säulen werden für Nachgründungen mit Durchmessern von 0,6 m (bindige Böden) bis 1,8 m (Kies) eingestellt. Ein Teil des Boden-Zement-Gemisches wird über den Ringraum der Bohrung, eventuell auch über gesonderte Entlastungsbohrungen zum Arbeitsplanum gefördert, dort aufgenommen und entsorgt bzw. nach Aushärten verwertet. In nichtbindigen Böden bestimmen die Lagerungsdichte, der Überlagerungsdruck und die Korngrößenverteilung den Schneidwiderstand. In bindigen Böden sind dies die Kohäsion, Konsistenz und Plastizität.

Über Erfahrungen und Fehleranfälligkeiten des Verfahrens wird in [9] und [10] berichtet.

Mit dem Düsenstrahlverfahren können nahezu alle Schäden saniert werden, die auf eine zu geringe Tragfähigkeit des Baugrundes unmittelbar unterhalb der Fundamente zurückzuführen sind. Insbesondere zur Verstärkungen von Gründungsstrukturen und zur Erhöhung der Tragfähigkeit weicher Böden eignet sich das Verfahren. Bild 3 zeigt als Beispiel die Anordnung der Säulen bei der Nachgründung von Wänden und Stützpfälern einer Kirche. Das Niederbringen der außenliegenden

Bohrungen dieser Maßnahme ist in Bild 4 zu erkennen. Die Anwendungsgrenzen werden in nichtbindigen Böden bei steinigen Einlagerungen erreicht. Ab Korngrößen von ca. 60 mm sind die Durchmischung (Schattenbildung) und der Rückfluss behindert. Bei der Sanierung historischer Bausubstanz ergeben sich die Anwendungsgrenzen oft durch Relikte früherer Fundamente und durch

unterirdische Hohlräume, deren Lage oft nicht bekannt ist. Weiche bindige wie auch organische Böden lassen sich zwar vermörteln, die erforderliche Druckfestigkeit lässt sich aber nur mit zusätzlichen Maßnahmen erreichen.



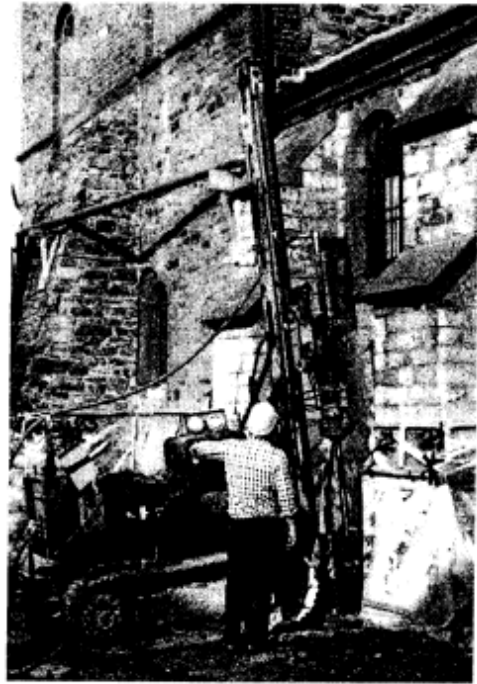
*Bild 3: Nachgründung einer Kirche mit dem Düsenstrahlverfahren*

Herstellungsrisiken einer Nachgründung mit dem Düsenstrahlverfahren ergeben sich aus Bohrlochabweichungen, Abweichungen in Länge und Durchmesser der Säulen und aus zu hohen oder zu geringen Festigkeiten. Bei der Ausführung lassen sich solche Fehler durch eine möglichst genaue Kenntnis von Gründung und Baugrund, durch eine Bohrlochvermessung, durch mechanisches Abtasten des frischen Säulendurchmessers, durch die Überwachung der Suspension und des Rückflusses sowie durch die Steuerung von Dreh- und Ziehgeschwindigkeit begegnen.

Während bei der Poreninjektion der Baugrund unter den Fundamenten nicht entlastet wird, wird der Boden beim Düsenstrahlverfahren zunächst lokal verflüssigt und erhält erst beim Aushärten eine höhere Festigkeit. Ein Teil der Fundamentlast muss ähnlich wie bei der konventionellen Unterfangung durch Gewölbewirkung auf benachbarte Bodenabschnitte oder auf bereits angehärtete Säulen abgetragen werden. Wenn benachbarte Säulen in zu rascher Abfolge hergestellt werden, kann dies zu Setzungen des Fundamentes oder zu Schubrisse in der aufgehenden Wand führen. Bei der Festlegung des Säulenfächers und der Abfolge der Herstellung sind daher die möglichen Spannungsumlagerungen sowie die Tragfähigkeit für das Fundament und das Bauwerk zu beachten. Insbesondere bei der Nachgründung von Einzelfundamenten können zeitweise erhebliche Exzentrizitäten entstehen. Schäden durch Hebungen können bei nicht geregelter Rückfluss der Überschussmassen auftreten. Dies betrifft nicht nur die Fundamente, gefährlicher sind Aufbrüche der weit weniger belasteten Kellersohle mit der Folge von typischen Grundbrucherscheinungen. Diesen Gefährdungen wird durch eine laufende Beobachtung der Herstellung (Drücke, Mengen, Geschwindigkeiten) des Rückflusses (Menge, Wichte, Bodenanteil) sowie durch eine ggf. automatische geodätische Überwachung des Gebäudes begegnet.

Die relativ große Baustelleneinrichtung mit Silo für Bindemittel, Mischzentrale, Hochdruckpumpe und Energieversorgung wie auch der Raumbedarf hierfür machen das ansonsten flexible Verfahren bei kleineren Nachgründungen, wie sie bei den typischen Schäden an Wohngebäuden vorkommen, unwirtschaftlich. Nach der Erfahrung des Verfassers bringt das Verfahren gegenüber den in Abschnitt 3.3 beschriebenen Pfahlösungen erst ab Unterfangungsflächen von ca. 200 m<sup>2</sup> wirtschaftliche Vorteile.

Als Sonderanwendung der Injektionstechnik werden zur Sanierung von Gründungen bei Setzungsschäden sog. Aufbrechinjektionen durchgeführt [7]. In Natursteinfundamenten lassen sich mit dieser Technik Hohlräume füllen oder brüchige Bereiche verfestigen. Bei Aufbrechinjektionen im Boden liegt der Verpressdruck im Gegensatz zur Poreninjektion deutlich oberhalb des Aufbrechdruckes, so dass im Umfeld des verpressten Ventils eines Manschettenrohres eine räumliche Struktur aus Zementscheiben entsteht. Durch mehrmaliges Verpressen begrenzter Mengen wird gezielt eine Verspannung und Hebung des Baugrundes erzeugt. Einsatzgebiete sind daher neben der Verstärkung von Gründungsstrukturen, das Verpressen von Hohlräumen und Rissen im Baugrund bei Schrumpferformungen, Auslaugungen und dgl. sowie das Rückstellen von Setzungen, also das gezielte Heben von Schiefstellungen an Bauwerken [11]. Das Prinzip dieser Spezialanwendung ist in Bild 5 dargestellt. Zunehmend wird dieses Injektionsverfahren auch zur Vorspannung des Baugrundes und zur Vorhebung von Gebäuden bei Unterfahrungen eingesetzt [12],[13]



*Bild 4: Herstellung der HDI-Säulen unter der Außenwand nach Bild 3  
(Werksfoto Bauer, Schrobenhausen)*

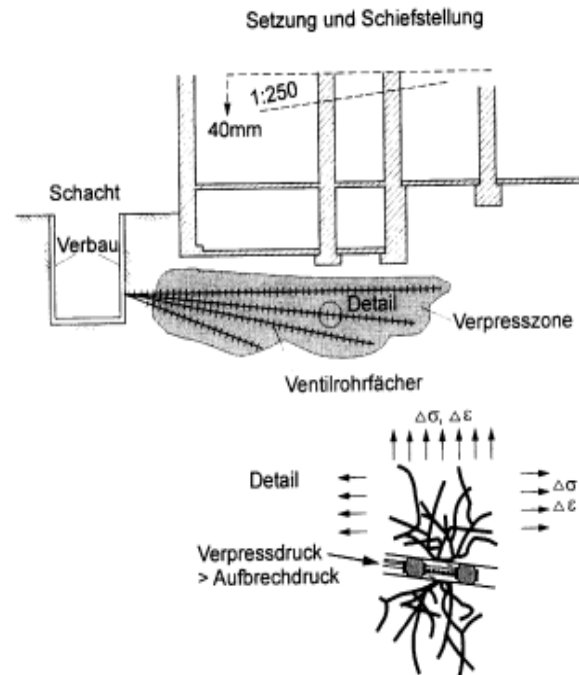
In einer vereinfachten Form wird die Baugrundverpressung in jüngster Zeit von Fachfirmen der Bauwerkssanierung als Allheilmittel bei Setzungsschäden angeboten. Um aus der Erhöhung des Spannungsniveaus unter der Gründung die gewünschte Rückstellung von Setzungen zu erreichen, ist jedoch ein hohes Maß an Erfahrung bei der Planung und der Ausführung erforderlich. Daher sollte dieses Verfahren den einschlägigen Firmen des Spezialtiefbaus vorbehalten bleiben. Darüber hinaus ist zu beachten, dass damit Setzungen lediglich kompensiert oder Setzungsgeschwindigkeiten verlangsamt werden

können. Die Ursachen werden dadurch meist nicht beseitigt. So eignet sich das Verfahren besonders dann, wenn die Setzungen bereits abgeklungen sind z. B. bei Bergsenkungen, Untergrunderosionen oder zur Kompensation von abgeschlossen Schumpfverformungen. Zur Sanierung von infolge Wasserzutritt aufgeweichten Böden, anhaltender Auslaugung, Kriechsetzungen, bei Setzungen durch dynamische

Einwirkungen oder bei Erhöhung der Fundamentlasten ist das Verfahren nur bedingt geeignet. Zur Erzeugung großflächiger Hebungen und Baugrundverbesserungen gelten hinsichtlich Kosten und Baustelleneinrichtungen obige Aussagen. Da der Zusammenhang zwischen Verpressmenge und Hebung im Voraus nicht bekannt sind, lassen sich die Sanierungskosten vorab nur sehr unscharf kalkulieren.

### 3.3 Pfahlkonstruktionen

Pfahlkonstruktionen eignen sich zur Nachgründung von Einzel- und Streifenfundamenten, wenn der Baugrund in der Lastzone keine ausreichende Tragfähigkeit besitzt, so dass zur Sanierung überschaubare Lasten tiefer gegründet werden müssen. Typische Anwendungsfelder sind verrottete Holzpfahlgründungen historischer Bauwerke, die Verstärkung tiefgegründeter Fundamente, aber auch die nachträgliche Tiefgründung punktueller Fundamentbereiche bei Verlust der Tragfähigkeit infolge Vernässung. Ebenso werden Pfahlkonstruktionen als temporäre Abfangung bei Unterfangungen, Umlastungen und bei dem nachträglich Bau von Tiefgeschossen unter oder neben dem Bestand eingesetzt. Beispiele hierzu werden in [4] und [14] ausgiebig behandelt. Wegen der speziellen Anforderungen, die sich aus Zugänglichkeit, begrenzter Arbeitshöhe und Tragverhalten ergeben, haben sich verschiedene Pfahlsysteme durchgesetzt, die sich in Kleinbohrpfähle (Ortbeton- und Verbundpfähle) und in Segmentpfähle (Presspfähle) gliedern.



*Bild 5: Hebungsinjektion, Erhöhung der Boden-spannung und Hebung durch mehrmaliges Verpressen von Zementsuspension oberhalb des Aufbrechdruckes*

Die Ortbeton- und Verbundpfähle mit Durchmessern 100 bis 300 mm sind unter dem Begriff "Verpreßpfähle mit kleinem Durchmesser" in DIN 4128 genormt. Diese Kleinbohrpfähle, auch Wurzelpfähle, Gewi-Pfähle oder Stabverpresspfähle genannt, können mit kompakten Bohrgeräten unter beengten Verhältnissen, z.B. in Kellerräumen mit Arbeitshöhen ab ca.2 m, hergestellt werden. Die Pfähle werden verrohrt gebohrt, vereinzelt auch gerüttelt oder gerammt. In die Verrohrung wird als Tragglied ein Vollstab, Profilstahl (Gewi), ein Stahlrohr oder ein kleiner Bewehrungskorb eingestellt. Zur Herstellung des Schaftes wird beim Ziehen der Verrohrung Beton oder Zementmörtel verpresst (siehe DIN 4128, 7.2). Die Lasten werden über Mantelreibung abgetragen, Erfahrungswerte sind in DIN 4128 und in DIN 1054-100, Anhang F angegeben. Zur Nachgründung von Fundamenten werden die Pfähle üblicherweise auf eine axiale Gebrauchslast von 250 kN (bindige Böden) bis 450 kN (nichtbindige Böden, Fels) ausgelegt.

Mit Verpresspfählen lassen sich Wände und Einzelstützen sicher und setzungsarm nachgründen. Entwurfskriterien sind neben der Wirtschaftlichkeit der verfügbare Arbeitsraum (einseitig, beidseitig, Arbeitshöhe), der Zustand, die Belastung und der Kraftfluß in der Konstruktion sowie die Verträglichkeit von Verformungen bei Zwischenbauzuständen. Hinsichtlich Herstellungstechnik und statischer Wirkung unterscheiden sich die Anwendungen im wesentlichen in der räumlichen Anordnung und in der Kraftübertragung vom Gründungskörper auf die Pfahlkonstruktion. Eine systematische Zusammenstellung und Anwendungsbeispiele werden in [ 1 ], [41 und in [ 14 bis 19] behandelt.

Soweit in der Wand oder im Fundament ausreichend Schubverbund mobilisierbar ist ( $\tau_0 < \tau_{011}$ , DIN 1045) können die Pfähle zur Nachgründung paarweise geneigt angeordnet werden (Bild 6).

Bei zu kurzer Verankerungslänge oder nicht ausreichender Festigkeit des Bestandes können auch zusätzlich Pfahlköpfe in Wandnischen hergestellt werden. Hierzu gibt es auch patentierte Pfahlkopfvarianten einzelner Anbieter [20].

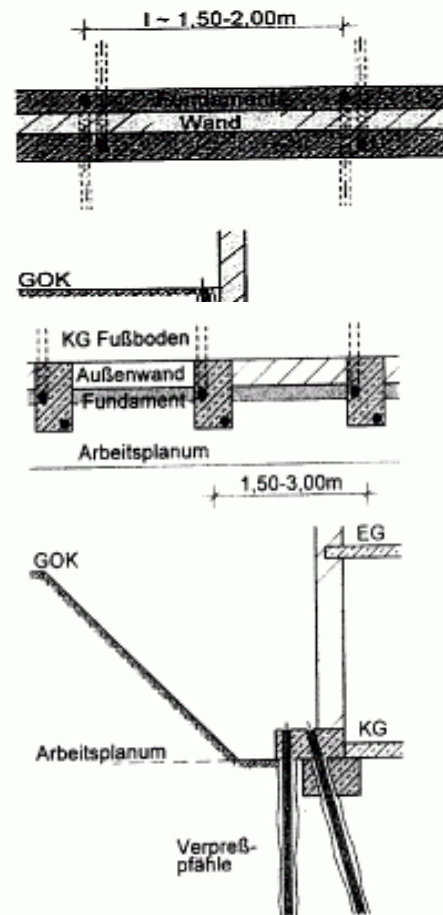


Bild 7: Nachgründung mit kurzem Fundamentbalken, Anordnung außen

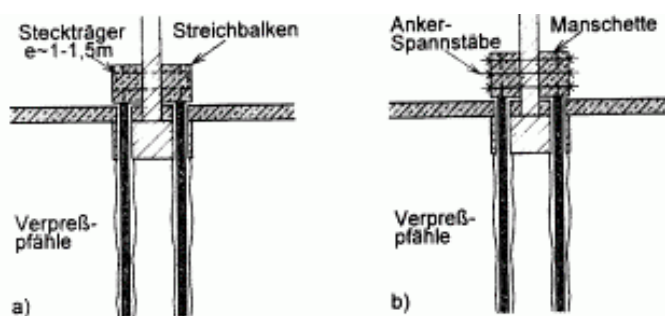


Bild 8: Nachgründung mit beidseitig vertikalen Pfählen  
a) Streichbalken mit Steckträger  
b) Manschette und Spannstäbe

Für Nachgründungen von Einzelfundamenten kommen Pfahlbockkonstruktionen nach dem gleichen Prinzip in Frage. Bild 8 zeigt eine statisch klare Lösung mit beidseitigen Kleinbohrpfählen zur Nachgründung von überwiegenden vertikal belasteten Wänden oder Stützen. Wie bei der Verbreiterung von Fundamenten nach Bild 1 GOK können die Lasten über beidseitige Streichbalken und Steckträger (Joche) oder über verankerte bzw. über vorgespannte Manschetten auf die Pfähle übertragen werden. Diese Variante hat den Vorteil, dass die Pfähle nicht in einem festen Raster sondern an den leicht zugänglichen Stellen angeordnet werden können. Allerdings stellen die Streichbalken bei bleibenden Maßnahmen oft eine Behinderung dar. Ist nur eine Wandseite zugänglich, kommen einhüftige Konstruktionen zur Ausführung. Die Exzentrizitäten werden entweder mit Schrägpfählen oder mit vertikalen Zug- und Druckpfählen kompensiert. Die Bilder 7 u. 9 zeigen Beispiele solcher Lösungen. Anstatt einzelner Jochbalken ist auch ein durchgehender Balken oder eine Platte zur Lastverteilung möglich.

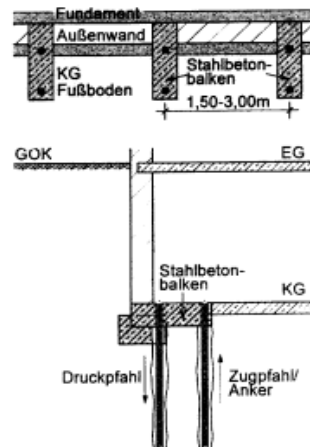


Bild 9: Nachgründung mit Abfangbalken Druck- und Zugpfähle

Preß- oder Segmentpfähle (Jack-down piles) sind Sonderverfahren, die speziell für vibrationsfreie und geräuscharme Nachgründungen unter sehr beengten Verhältnissen entwickelt wurden. Unmittelbar neben oder zentrisch unter der zu unterfangenden Wand werden Stahlrohrschüsse oder zylindrische Stahlbetonsegmente in den Baugrund gepreßt. Der Boden wird dabei vollständig verdrängt. Als Widerlager dienen Verankerungen, Abstützungen an der Decke oder das Fundament selbst. Ist der vorab festgelegte Pfahlwiderstand erreicht, wird die Presse durch Stahlspindeln ersetzt und der Pfahlkopf betoniert. Zur Sanierung von Gründungen haben sich zwei Systeme durchgesetzt, Stahlrohrsegmente (System FRANKI, Bild 10) und Betonsegmente unter dem Fundament (System ERKA, Bild 11). Die erzielbaren Tragfähigkeiten und Pfahlabstände sind den oben beschriebenen Verfahren vergleichbar.

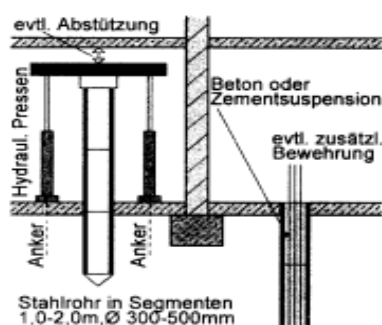
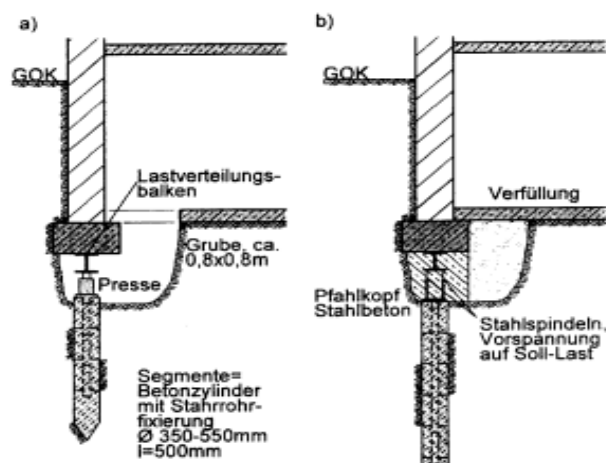


Bild 10, oben: Preßpfahl mit Stahlrohrschüssen, System Franki



Anwendungsgebiet der Preßpfähle ist schwerpunktmäßig die Sanierung von Gründungen bei Verlust der Tragwirkung in der Lastzone und die Nachgründung bei Lasterhöhungen im Zuge der



Umnutzung von Gebäuden. Bei überwiegend axialer Belastung sind diese Verfahren wegen der einfachen Handhabung und der großen Flexibilität kostengünstiger und schneller realisierbar als Pfahlgründungen mit Kleinbohrpfählen. Da jeder Pfahl etwa bis zur 1,5fachen Gebrauchslast vorgepresst und dann bei der Festlegelast fertiggestellt wird, liegt für alle Pfähle ein Test vor. Die gegen die Fundamentunterkante gepressten Segmentpfähle haben darüber hinaus den Vorteil, daß in geringem Umfang Setzungen zurückgestellt oder Risse überdrückt werden können.

Der Vorteil aller hier aufgeführten Pfahllösungen liegt darin, dass man damit sehr individuell und spezifisch auf das Bauwerk, die Lasten, den Baugrund und auf den verfügbaren Arbeitsraum reagieren kann. Beim Entwurf sollten einfache, möglichst statisch bestimmte Tragstrukturen mit klarem Kraftfluß und überschaubarem Verformungsverhalten gewählt werden. Insbesondere bei Nachgründungen von geringem Umfang sind mit Pfahlkonstruktionen wirtschaftliche Lösungen möglich. Im Gegensatz zu den in Abschnitt 3.2 behandelten Verfahren lassen sich mit Pfahlkonstruktionen Fundamente ganz entlasten, so dass eine Gründung ganz rückgebaut und eine Stütze oder eine Wand auf einer neu errichteten Gründung abgesetzt werden kann. Diese Anforderung stellt sich gelegentlich bei nachträglichen Unterkellerungen und bei der Unterfahrungen von Gebäuden [20].

#### 4 Beispiel

Bild 12 zeigt die Ansicht eines Wohnhauses, bei dem sich nach ca. 50 Jahren zunehmend Risse zeigten. Über einen Zeitraum von etwa 30 Jahren wurde versucht, die Bewegung durch kleinere Reparaturen und Verstärkungen im Fundamentbereich zum Stillstand zu bringen. Schließlich wurde eine allgemeine Schiefstellung von 4 cm und ein Abkippen des Eingangsbereiches sowie des Treppenhauses festgestellt. Eine Gebäudeecke löste sich auf Höhe der massiven Kellerdecke vollkommen aus dem Mauerwerksverband. Die Bewegungen sind in Bild 12 angedeutet. Die Erkundung des regionalen Umfeldes ergab, dass sich im Wohngebiet früher Travertinsteinbrüche befanden und mehrere Häuser vergleichbare Schäden zeigten. Bei der Detailerkundung mit maschinellen Kernbohrungen, Schürfen und Rammsondierungen wurde eine Auffüllung aus bindigen, stark steinigen Bodengemischen festgestellt, offensichtlich wurden die Überlagerungsböden aus den Steinbrüchen rückverfüllt (siehe Bild 12). Das Haus war zu etwa einem Drittel auf solch einem rückverfüllten Steinbruch gegründet.

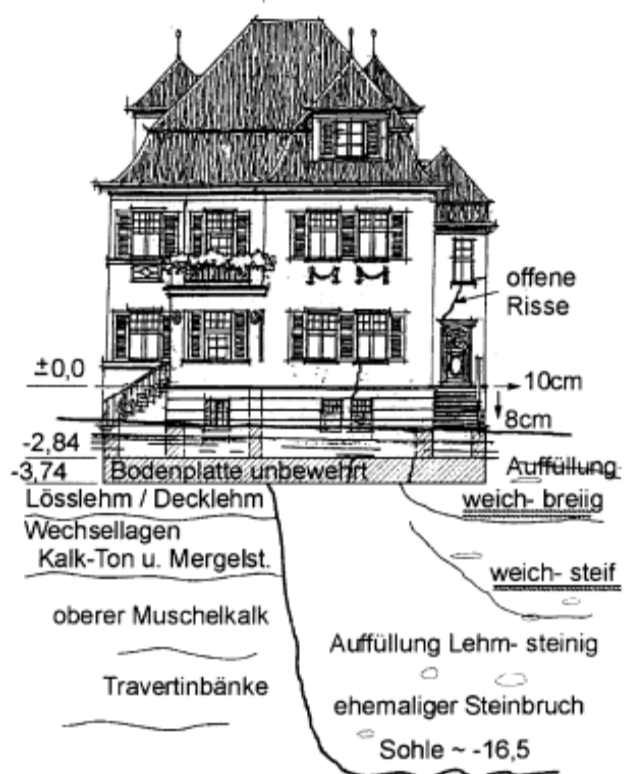


Bild 12: Beispiel einer Nachgründung, Bauwerk und Baugrundsituation

Die abgesackte Gebäudeecke befand sich über dem Tiefpunkt, die Steinbruchsohle lag dort ca. 14 m unter Gelände. Beim Bau hatte man die Problematik erkannt und eine ca. 90 cm starke, unbewehrte Bodenplatte ausgeführt. Als Schadensursache wurde zunächst ein defektes Fallrohr der

Dachentwässerung unmittelbar an der abgesackten Gebäudeecke vermutet.

Die Schadensanalyse ergab eine Kombination von Ursachen. Die gesamte Dachentwässerung verlief entlang der Außenwände etwa auf Gründungsniveau in teils brüchigen Tonröhren und endete an der Grundstücksgrenze ohne Anschluss an die Kanalisation. Das Wasser versickerte über Jahre in der bindigen Auffüllung, was zu massiven Aufweichungen und Ausspülungen führte. Im Bereich der abgebrochenen Ecke befanden sich zusätzlich Reste einer ehemaligen Klärgrube, die eingebrochen war.

Bei der Sanierungsplanung wurden zunächst die Varianten Düsenstrahlverfahren, vertikale Kleinbohrpfähle mit Streichbalken und Restpfähle, System ERKA, betrachtet. Aus Gründen der Wirtschaftlichkeit und wegen der Absicht, einen Teil der Verkippung zurückzustellen, wurde eine Nachgründung mit Presspfählen  $\varnothing$  31,5 cm, System ERKA, gewählt. Nach der Lastermittlung, Berücksichtigung des Rissverlaufs und der Zugänglichkeit wurden vom Keller aus insgesamt 10 Pfähle mit Längen von 3,15 bis 14,2 m in den Baugrund gepresst. Zusätzlich wurde ein Aussteifungsbalken in die Kellersohle eingebaut.

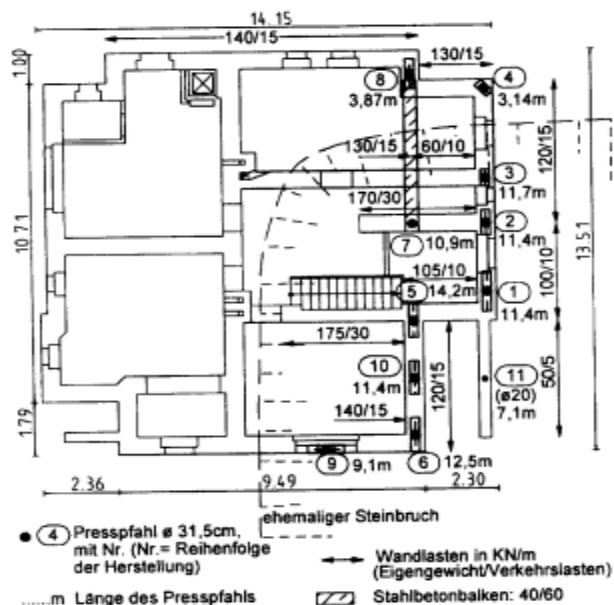


Bild 13: Grundriss mit Anordnung der Segmentpfähle, System Erka



Bild 14: Abteufen eines Segmentpfahles

Bild 13 zeigt die Anordnung der Stützstellen. Durch Handschachtung wurden jeweils Gruben mit den Abmessungen 0,8x0,8x1,0 m ausgehoben, die Fundamentunterkante wurde freigelegt. Die Pfahlsegmente wurden über einen Lastverteilungsbalken direkt gegen die Bruchsteinwände gepresst (Bild 4). Der Vorpresswiderstand lag in der weichen Auffüllung bei 100 bis 200 kN und stieg mit Erreichen der Steinbruchsohle deutlich über 500 kN an. Die Festgelasten betragen 500 bis 700 kN. Mit dem Verfahren konnte ein Teil der Verformung rückgestellt werden. Größere Risse wurden ausgemauert, kleinere verpresst. Die abgebrochene Ecke wurde anschließend zwischen Pfahlkopf und Kellerdecke neu aufgemauert.

Gegenüber den Varianten Düsenstrahlverfahren und Kleinbohrpfähle ergab sich durch die gewählte Sanierungstechnik ein Kostenvorteil von ca. 40 %, der sich aus den reinen Kosten für die Pfähle, aber auch aus dem Entfall von Öffnungen und Versetzen von Wänden, Abbruch der Eingangstreppe u. dgl. ergab. Die Nachgründung mit insgesamt ca. 90 m Presspfähle wurde innerhalb von 10 Arbeitstagen fertiggestellt. Der Kosten- und Zeitvorteil dieses überwiegend händischen Verfahrens hat sich bei zahlreichen kleineren Nachgründungen von genutzten

Wohngebäuden bestätigt. Als Nachteil ist aufzuführen, dass die Segmentpfähle dieser Art nahezu keine Biegebelastung oder Horizontalkräfte aufnehmen können. Bei einem größeren Umfang von Nachgründungsarbeiten, insbesondere bei Baumaßnahmen, bei denen im Zuge des Umbaus ohnehin entkernt wird, so daß in stärkerem Umfang Maschinenteknik einsetzbar ist, entfällt der Kostenvorteil des geringen Eingriffes. In solchen Fällen sind i. A. Pfahllösungen und das Düsenstrahlverfahren überlegen.

## Literatur:

- [1] Steiner, J. Einschätzung der Tragfähigkeit vorhandener Gründungen und ihre Ertüchtigung, in Hettler (Hrsg.): Gründungen von Hochbauten, S. 349-371, Ernst & Sohn, Berlin, 2000
- [2] Goldscheider, M. Historische Gründungen - Bauweise, Beurteilung, Erhaltung u. Instandsetzung. Geotechnik, 1993, Heft 4, S. 178-192
- [3] Pieper, K. Sicherung historischer Bauten. Ernst & Sohn, 1983
- [4] Smoltczyk, U. Witt, K. J. **Unterfangungen und Unterfahrungen, Grundbau-Taschenbuch, Teil 2, 6. Auflage, Ernst & Sohn, 2001**
- [5] Pryke, J. F. S. The Pyriford underpinning method. In Thorburn, S. and Littlejohn, G. S. (Ed): Underpinning and Retention, 2<sup>nd</sup> edition, Blackie Academic & Professional, an imprint of Chapman & Hall, Glasgow, UK, 1993, S. 157-197
- [6] Brandt, T., Sänger, C., Werner, J. Die Verschiebung des Kaisersaals. Die Bautechnik 79, 1996, S.421-428
- [7] Kutzner, C. Injektionen im Baugrund. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart, 1991
- [8] Semprich, S. Injektionsverfahren. In Smoltczyk, U. (Hrsg.): Grundbau-Taschenbuch, 6. Auflage Teil 2, Kapitel 2
- [9] Kluckert, K. D. 20 Jahre HDI - von den Fehlerquellen über Schäden zur Qualitätssicherung, Baugrundtagung 1996, Berlin, 1996, S. 235 - 258
- [10] Schrank, M. Stand der Soilcrete-Technik. In Riedmüller et al. (Hrsg.)-Beiträge zum 15. Christian Veder Kolloquium, Gruppe Geotechnik, Graz, Heft 7, 2000, S. 1-14
- [11] Raabe, E. W., Esters, K. Injektionstechniken zur Stillsetzung und zum Rückstellen von Bauwerkssetzungen. Vorträge zur Baugrundtagung Hamburg, 1986, DGGT, S.337-366
- [12] Foste, T., Cartus, M. Sicherung eines Hochregallagers vor und während des Tunnelvortriebs mittels Baugrundinjektionen im Soilfrac@-Verfahren. Vorträge zur Baugrundtagung 2000 in Hannover, DGGT, S.217-226
- [13] Boeck, T., Scheller, P. 4. Röhre Elbtunnel- Sicherung der Bebauung am Nordhang der Elbe. Vorträge zur Baugrundtagung 2000 in Hannover, DGGT, S.207-214
- [14] Klawa, N. Gebaudeunterfahrungen und -unterfangungen, Methoden - Kosten - Beispiele. Forschung + Praxis, Heft 25, Studiengesellschaft für unterirdische Verkehrsanlagen e.V. -STUVA- Köln (Hrsg.), Alba Buchverlag GmbH + Co. KG Düsseldorf, 1981

- [15] Frank, A., Kauer, H. Anwendung von Verpreßpfählen mit kleinem Durchmesser im Hochbaubereich. Der Bauingenieur 54 (1979), S. 465 - 469
- [16] Lizzi, F. Pali radice" structures. In Thorburn, S. and Littlejohn, G. S. (ed.): Under Pinning and Rentention, 2 nd edition, Blackie Academic & Professional, an Imprint of Chapman & Hall, Glasgow, UK, 1993, S. 84-156
- [17] Bradbury, H. The Bullivant systems. In Thorburn, S. and Littlejohn, G. S. (ed.): Underpinning and Rentention, 2 nd edition, Blackie Academic & Professional, an imprint of Chapman & Hall, Glasgow, UK, 1993, S. 421-428
- [18] Baldauf, H., Timm, U. Betonkonstruktionen im Tiefbau, Ernst& Sohn, 1988
- [19] Bayersdorfer, A. Die durchgehende Bodenplatte eine sichere Gründung? In Semprich, S.: Beiträge zum 13. Ch.Veder Kolloquium, Schadensfälle in der Geotechnik, Inst. F. Bodenmech. u. Grundbau, TU Graz, 1998, S. 99-107
- [20] Heitzer, K. Bauen im Bestand, Palais Bernheimer-München, Seminar"Bauen im Bestand", Ingenieur-Akademie Bayern, 1993

#### **Normen:**

- DIN 18 136: Baugrund- Untersuchung von Bodenproben- Einaxialer Druckversuch, Beuth Verlag, Berlin, 1996
- DIN 41 23: Ausschachtungen, Gründungen und Unterfangungen im Bereich bestehender Gebäude, 2000
- DIN 41 28: Verpreßpfähle ( Ortbeton- und Verbundpfähle) mit kleinem Durchmesser; Herstellung, Bemessung und zulässige Belastung, Beuth Verlag, Berlin, 1983
- DIN prEN 12 715: Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau) Injektionen, 1999
- DIN prEN 12 716: Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau) Düsenstrahlverfahren, 1999