



3. Deutscher Geotechnik-Konvent • 26.-27. Januar 2017

Verstärkungsmaßnahmen an Gründungen bei Überschreitung der Tragreserven



Prof. Dr.-Ing. Rolf Katzenbach

Institut und Versuchsanstalt für Geotechnik · TU Darmstadt

Öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Geotechnik

Dipl.-Ing. Anke Werner

Projektleiterin in der Ingenieursozietät Professor Dr.-Ing. Katzenbach GmbH

Ingenieursozietät Professor Dr.-Ing. Katzenbach GmbH

Vereidigte Sachverständige für Geotechnik

Robert-Bosch-Straße 9

64293 Darmstadt

Telefon: +49 (0) 6151 – 1301362

Telefax: +49 (0) 6151 – 1301320

E-Mail: katzenbach@katzenbach-ingenieure.de

Wie kann es zur Überschreitung von Tragreserven kommen?

1. Änderung der Grundwasserverhältnisse

- Grundwasserabsenkung/ Grundwasserspiegelschwankungen
- Schrumpfung der Böden infolge Wasserentzug durch Baumbestand
- Bodenentzug, z. B. Ausspülung infolge defekter Abwasserkanäle, Wasserleitungen oder Wasserhaltungen
- Frostschäden

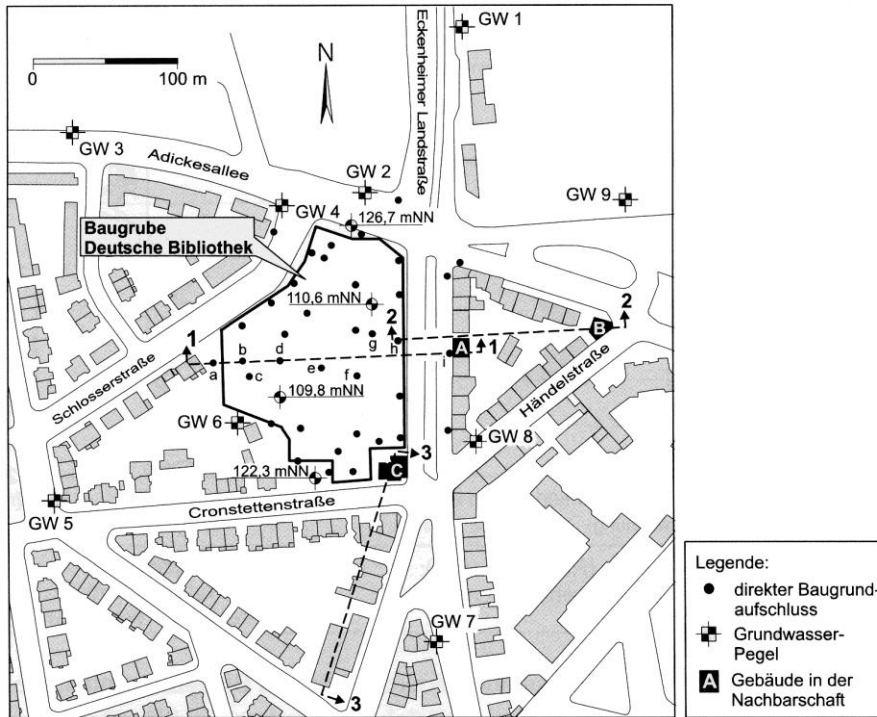


Bodenentzug, z. B. Ausspülung infolge defekter Abwasserkanäle, Wasserleitungen oder Wasserhaltungen

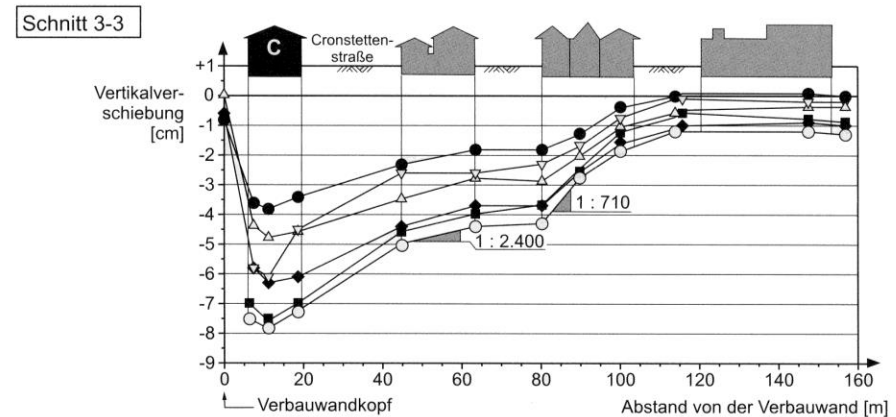
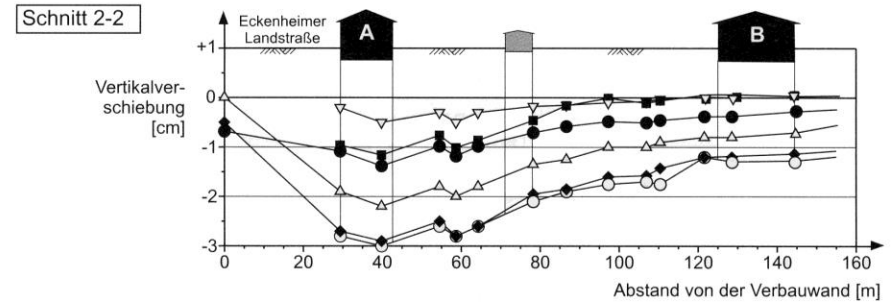
Fallbeispiel für Änderung der Grundwasserverhältnisse

Deutsche Bibliothek in Frankfurt am Main

Lageplan



Setzungen und Verkantungen in Abhängigkeit der Grundwasserspiegelabsenkung



Nullmessung: 9.6.'92

- | | |
|---|---|
| ● 4 Monate nach Beginn Wasserhaltung (16.10.'92) | ○ 24 Monate nach Beginn Wasserhaltung (15.07.'94) |
| △ 7 Monate nach Beginn Wasserhaltung (04.02.'93) | ■ 1 Monat nach Ende Wasserhaltung (26.10.'95) |
| ◆ 12 Monate nach Beginn Wasserhaltung (28.06.'93) | ▽ 10 Monate nach Ende Wasserhaltung (23.07.'96) |



Wie kann es zur Überschreitung von Tragreserven kommen?

2. Änderung des Spannungszustandes im Untergrund

- Horizontalbelastung Wand / klaffende Fuge
- Horizontalbelastung Stützwand
- Horizontalbelastung Pfähle durch Aufschüttung
- Setzung bei Lasterhöhung / Umnutzungen
- Mitnahmesetzungen durch Bauwerke/ Aufschüttungen
- Hebungen durch Baugrundentlastungen infolge Aushub
- Herstellung eines neuen Bauwerks unter Nutzung der Altfundamentierungen
- Verformungen durch benachbarte Baugrube
- Konsolidierungsvorgänge

3. Alterung (Holzpfähle/ Holzrost) und Korrosionserscheinungen

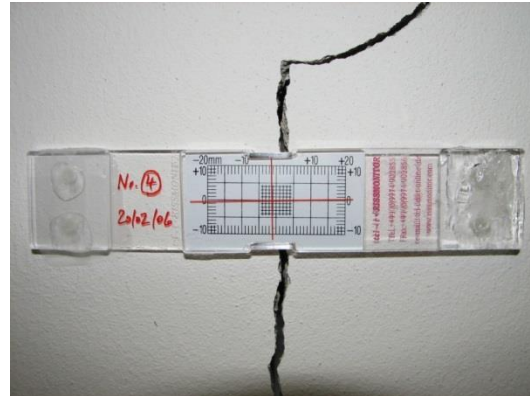
4. Gering tragfähige Baugrundsichten

- Zusammendrückung des Untergrundes bei Wechselschichten/Torf

Wie werden diese sichtbar?

Bauliche Schäden in Form von Rissbildungen und bauphysikalischen Mängeln

↪ Rissüberwachung



Rissmonitor



vom Untergrund abgelöste
Gipsmarke



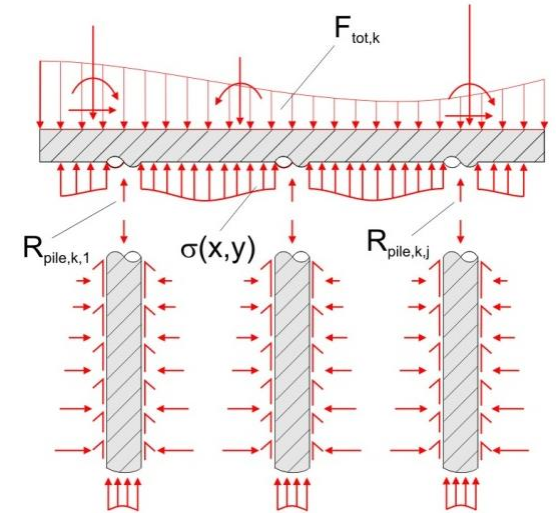
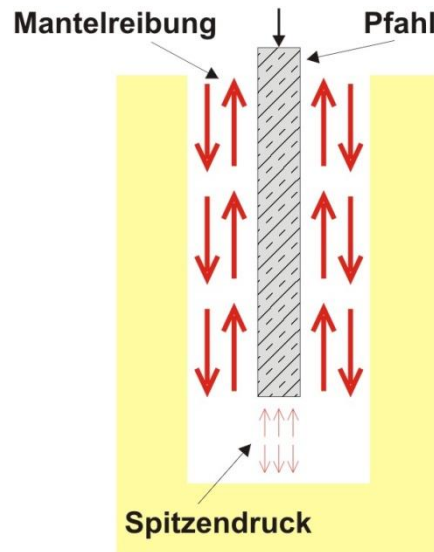
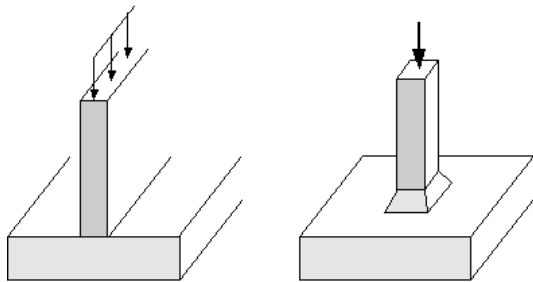
Was ist das Ziel einer Nachgründung bzw. Verstärkungsmaßnahme (Ertüchtigung)?

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.

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. 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.

Eine **Fundamentertüchtigung** kann durch eine drucklose Verfüllung der Hohlräume mit einer Zement-, einer Bentonitsuspension oder mit Dämmen erfolgen bzw. durch eine Verdichtung des Untergrundes mit Expansionsharz (System Uretex) oder auch durch Verdichtungsinjektionen.

Welche Arten von Gründungen gibt es?



Nachweise bei Flach- und Flächengründungen

Nachweise im Grenzzustand der ...

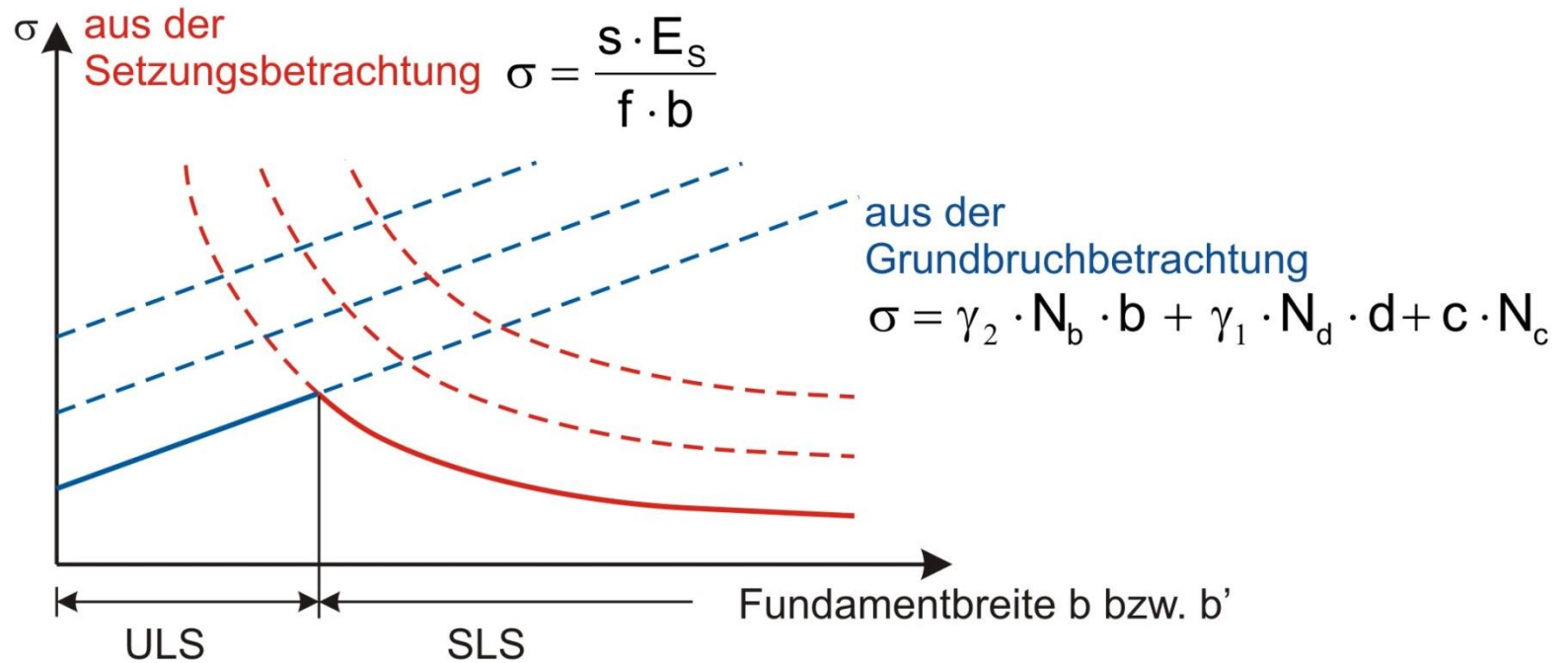
Tragfähigkeit ULS

EQU:	Kippen
UPL:	Aufschwimmen
GEO-2:	Gleiten Grundbruch
GEO-3:	Verlust der Gesamt- standsicherheit

Gebrauchstauglichkeit SLS

- Fundamentverdrehung und Begrenzung einer klaffenden Fuge
- Verschiebungen in der Sohlfläche
- Setzungen
- Hebung
- Schwingungsberechnung

Sohldrücke





Aufnehmbare Sohldrücke / Bemessungswert des Sohlwiderstandes von nichtbindigen Böden (bei Begrenzung der Setzung)

DIN 1054:2010

Kleinste Einbindetiefe des Fundamentes [m]	Bemessungswert des Sohlwiderstandes $\sigma_{R,d}$ [kN/m ²] in Abhängigkeit der Fundamentbreite b bzw. b'					
	0,50 m	1,00 m	1,50 m	2,00 m	2,50 m	3,00 m
0,50	280	420	460	390	350	310
1,00	380	520	500	430	380	340
1,50	480	620	550	480	410	360
2,00	560	700	590	500	430	390
Bei Bauwerken mit Einbindetiefen $0,30 \text{ m} \leq d \leq 0,50 \text{ m}$ und mit Fundamentbreiten b bzw. $b' \geq 0,30 \text{ m}$	210					

Erforderliche Untersuchungen für die Planung

Allgemein:

- Schichtenverlauf
- Bodenmechanische Kennwerte
- Grundwasserstände und Grundwasserschwankungsbereich

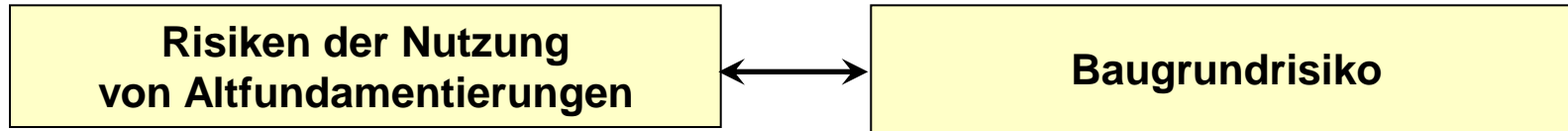
Verfahrensbezogen:

- Korngrößenverteilungen
- Anteil an organischen Stoffen und gelösten organischen Stoffen (DOC)
- bauchemische Untersuchungen
- Wasserdurchlässigkeitsbeiwert
- Last-Setzungsverhalten
- Zustand des (Alt-)fundamentes (Lage unterhalb des Bestands, Geometrie, Integrität)

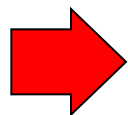


Eine Baugrunderkundung ist stets erforderlich!

Prüfung und Erkundung



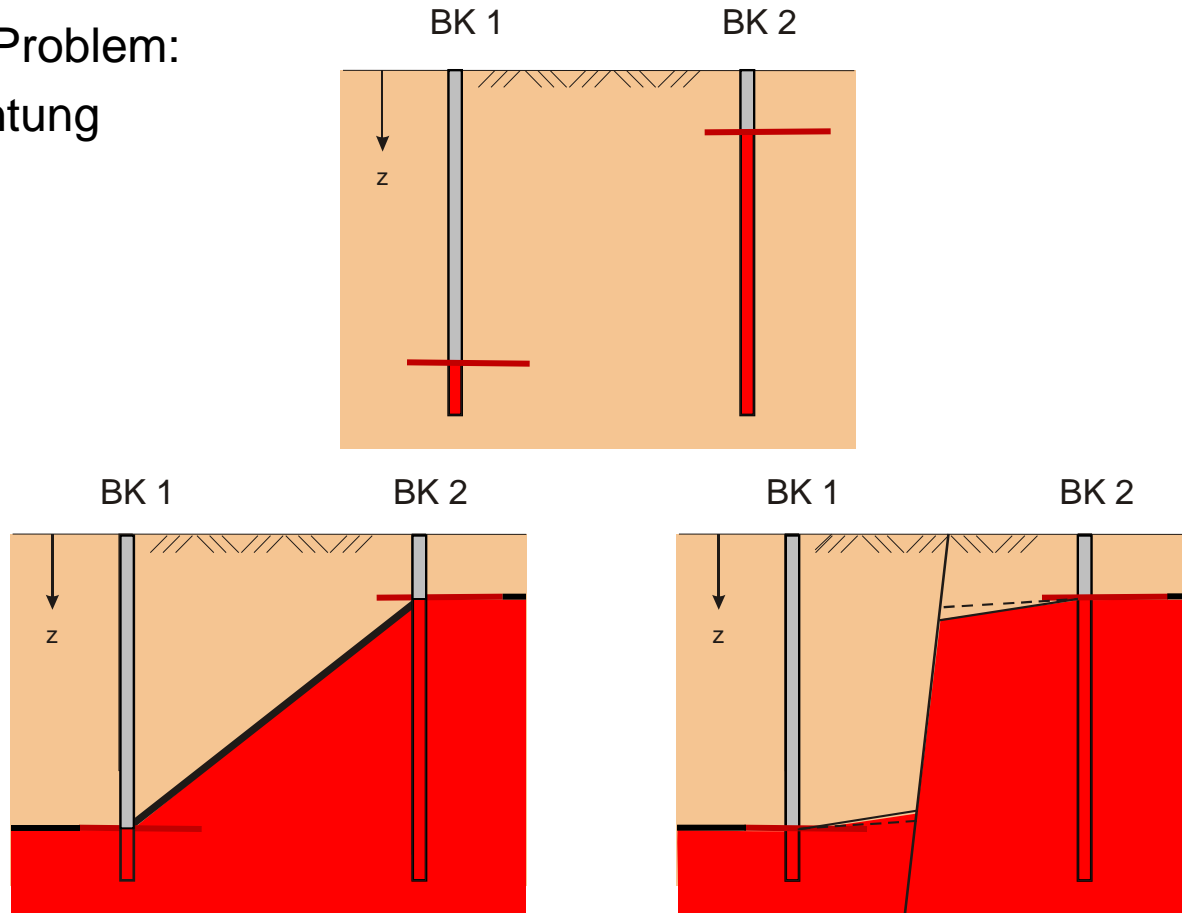
- **Unsicherheit bezüglich des nicht Sicht- bzw. Erreichbaren**
- **geeignete Untersuchungen im Vorfeld der Baumaßnahme**
- **fortgeführte Kontrollen während des Bauablaufs**
- **eventuell Änderung der ursprünglichen Planung**



**Geotechnische Untersuchungen für
bautechnische Zwecke (DIN 4020)**

Anforderungen an die Baugrunderkundung / Erkundungsproblematik

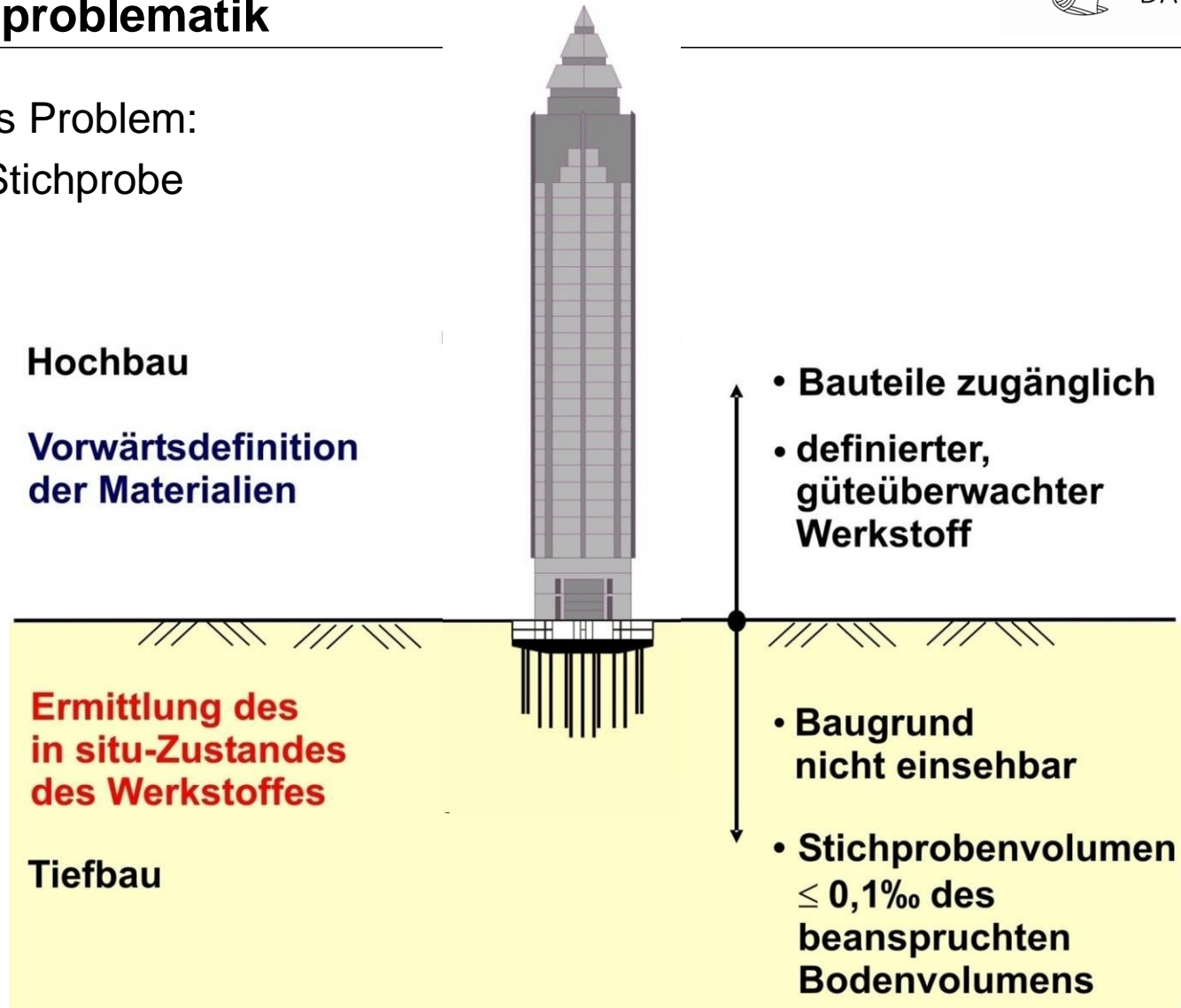
geometrisches Problem:
Baugrundsichtung



**Subjektive Interpretation der Ergebnisse der Baugrunderkundung bei der
Festlegung des dreidimensionalen Bodenprofils (Interpolation der Schichtgrenzen)**

Anforderungen an die Baugrunderkundung / Erkundungsproblematik

volumetrisches Problem:
Kleinheit der Stichprobe



Geotechnische Untersuchungen für bautechnische Zwecke – DIN 4020



Geotechnische Kategorien

regeln die „*Mindestanforderungen an Umfang und Qualität geotechnischer Untersuchungen, Berechnungen und Überwachungsmaßnahmen*“ (DIN 1054:2003, Absatz 4.2 (1))

- **Geotechnische Kategorie GK 1**
Baumaßnahmen mit geringem Schwierigkeitsgrad
- **Geotechnische Kategorie GK 2**
Baumaßnahmen mit normalem Schwierigkeitsgrad
- **Geotechnische Kategorie GK 3**
Baumaßnahmen mit hohem Schwierigkeitsgrad



Zunahme
des
Schwierig-
keits-
grads

Geotechnische Untersuchungen für bautechnische Zwecke – DIN 4020

Geotechnische Kategorie 3

- **Unterfangungen**
- Tiefe Baugruben
- Ausgedehnte Plattengründungen auf Boden mit unterschiedlichen Steifigkeitsverhältnissen im Grundriss
- Gründungen neben bestehenden Gebäuden, wenn die Voraussetzungen der DIN 4123 nicht zutreffen
- Teils als Flach- oder Flächengründung, teils als Tiefgründung ausgeführte Gründung
- Kombinierte Pfahl-Plattengründung (KPP)

Bauprojekte der Geotechnischen Kategorie GK 3 sollten grundsätzlich nach dem **4-Augen-Prinzip** bauaufsichtlich unter Beiziehung eines **Prüfingenieurs** und eines staatlich anerkannten Prüfsachverständigen für Erd- und Grundbau nach Bauordnungsrecht geprüft und abgenommen werden.

Beobachtungsmethode

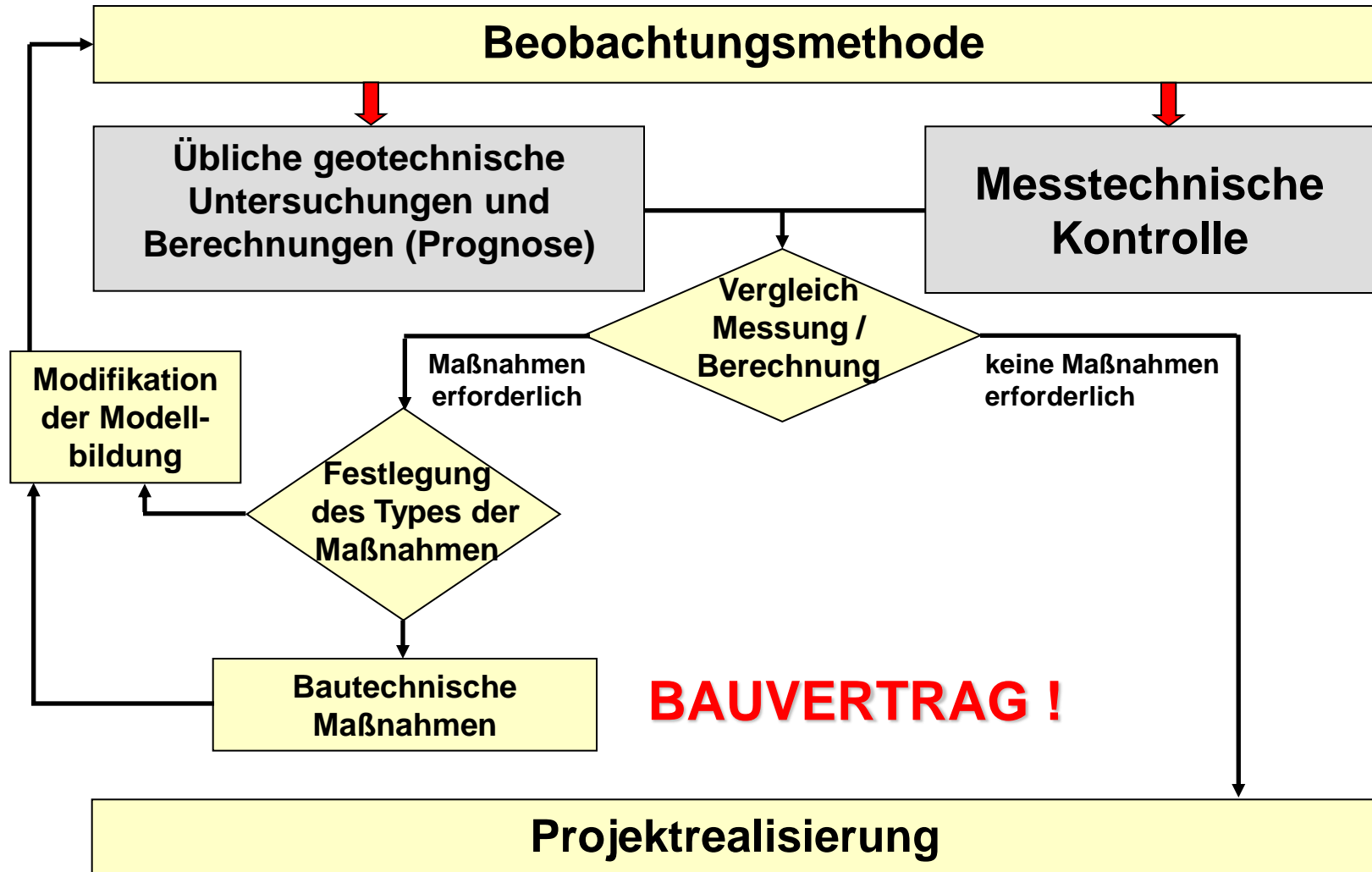
Die Beobachtungsmethode ist eine **Kombination**

- der üblichen geotechnischen Untersuchungen und Berechnungen (Prognosen)
- mit der laufenden messtechnischen Kontrolle des Bauwerkes während dessen Herstellung und ggf. auch während dessen Nutzung,

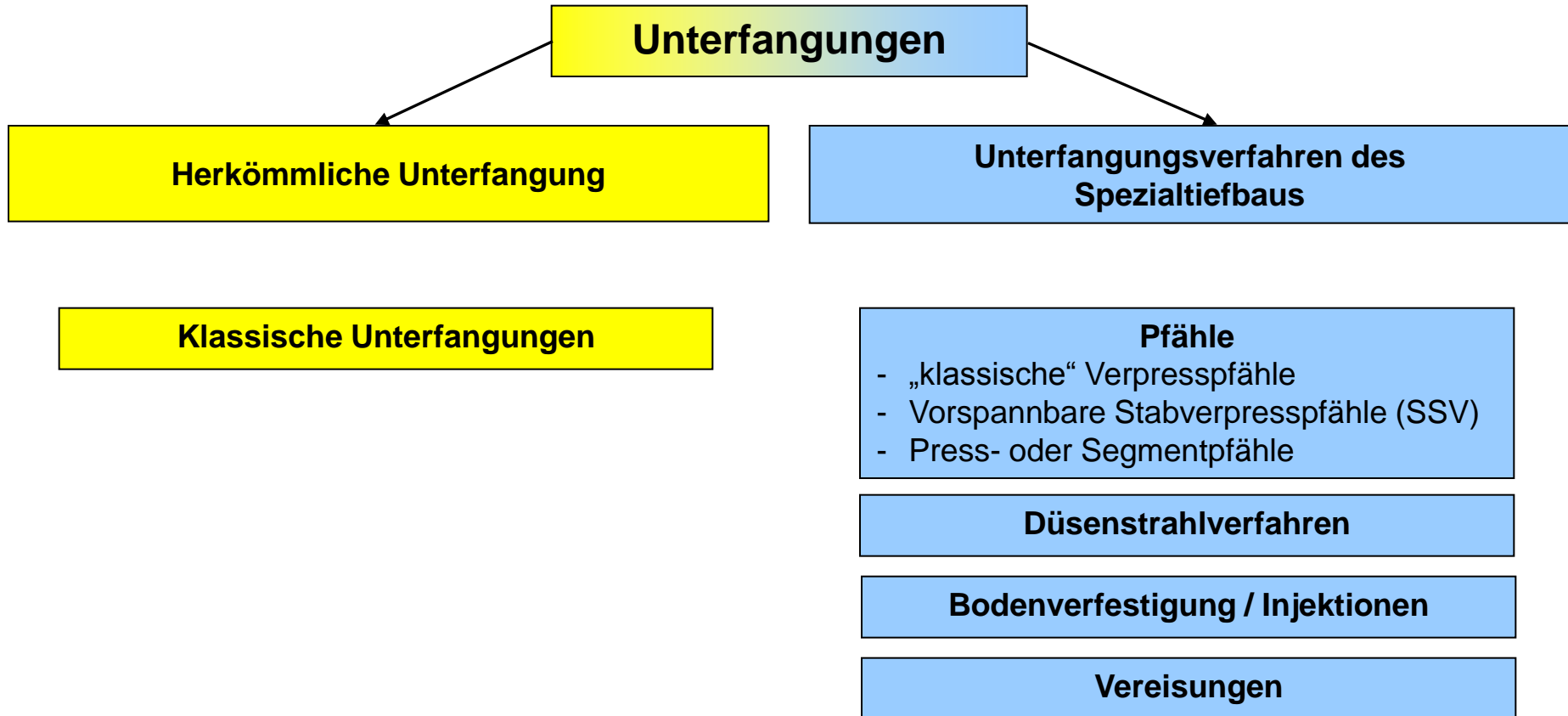
wobei **kritische Situationen** durch die Anwendung **geeigneter technischer Maßnahmen** beherrscht werden müssen.

Die Beobachtungsmethode ist Bestandteil des Sicherheitskonzepts.

Beobachtungsmethode



Techniken zur Verstärkung / Nachgründung





Einflussfaktoren für die Wahl des Verfahrens:

Baugrundaufbau

- Verlauf der Bodenschichten
- Tragfähigkeit
- Neigung zu Gleitflächenbildung
- Beschaffenheit vorhandener Auffüllungen

Bestehende bauliche Anlagen

- statische Ausbildung
- Art, Abmessung und Zustand der im Einflußbereich der Baugrube bestehenden Wände und Fundamente
- Gründungstiefe des zu unterfangenden Gebäudes
- Lage von Versorgungs- und Abwasserleitungen

Grundwasser

- Grundwasserstand
- Schichtwasser- verhältnisse

Baugrund

- Zulässige Bodenpressungen
- Bodenmechanische Kennwerte

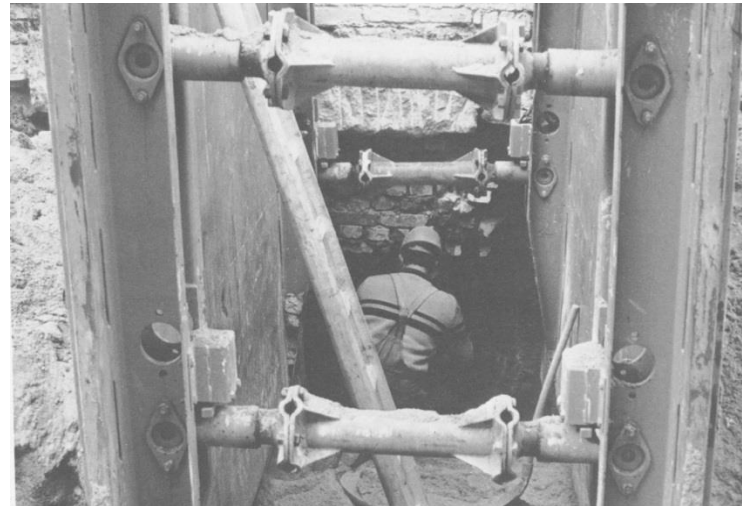
Zumutbare Belästigung der Bewohner/Nutzer

- Lärm
- Erschütterungen
- Nutzungseinschränkung des Gebäudes

Kosten

- Fixkosten (BE)
- Variable Kosten (Lohn/Material)

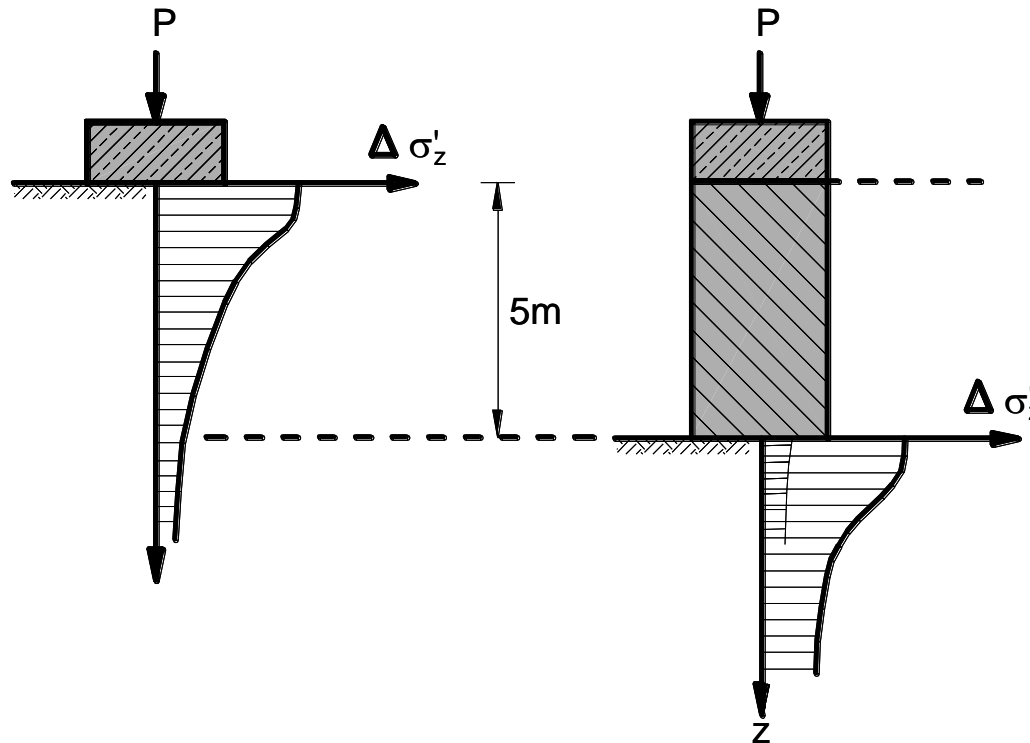
Klassische Unterfangungen



- **Stichgräben:**
Grundbruch, Biegung und Querkraft des Fundaments, Nachweis der Verbauwände
- **Abschnittsweise Fundamentherstellung:**
Verbaumaßnahmen mit Nachweisen
- **Unterfangungsabschnitte:**
Stand sicherheitsnachweise, Anker-Nachweise

Klassische Unterfangungen

Lastumlagerung in den tieferen Baugrund im Zuge einer Unterfangungsmaßnahme

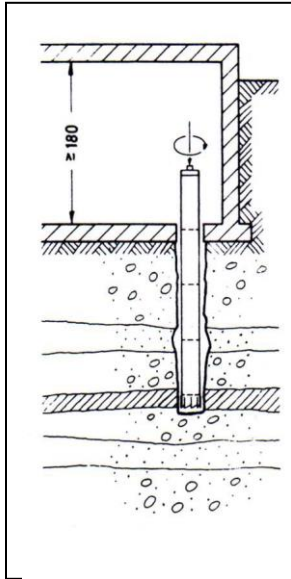


Klassische Unterfangungen

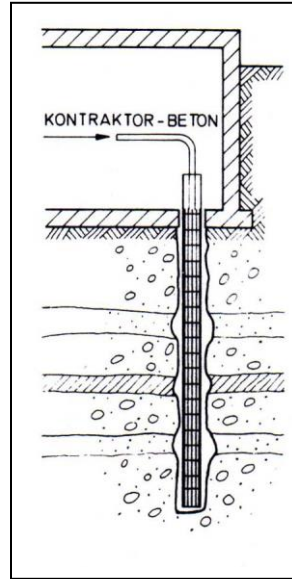
Vorteile	Nachteile
hohe geometrische Flexibilität	nicht deformationsarm
keine Baustelleneinrichtung	hohe Lohnkosten
hohe Homogenität des Unterfangungskörpers	zeitaufwendig
ausreichende Materialfestigkeit des Unterfangungskörpers	mehrfache Lastumlagerung erforderlich
geringe Emissionen	duktiler Bauwerk erforderlich
	nur geringe Unterfangungshöhen

Unterfangungen mit Pfählen

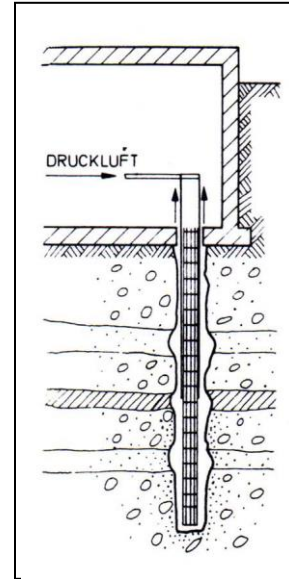
„klassische Verpresspfähle“ (Kleinbohrverpresspfähle, Mikropfähle)



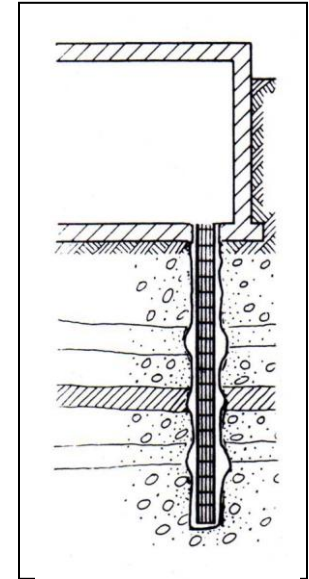
bohren



betonieren



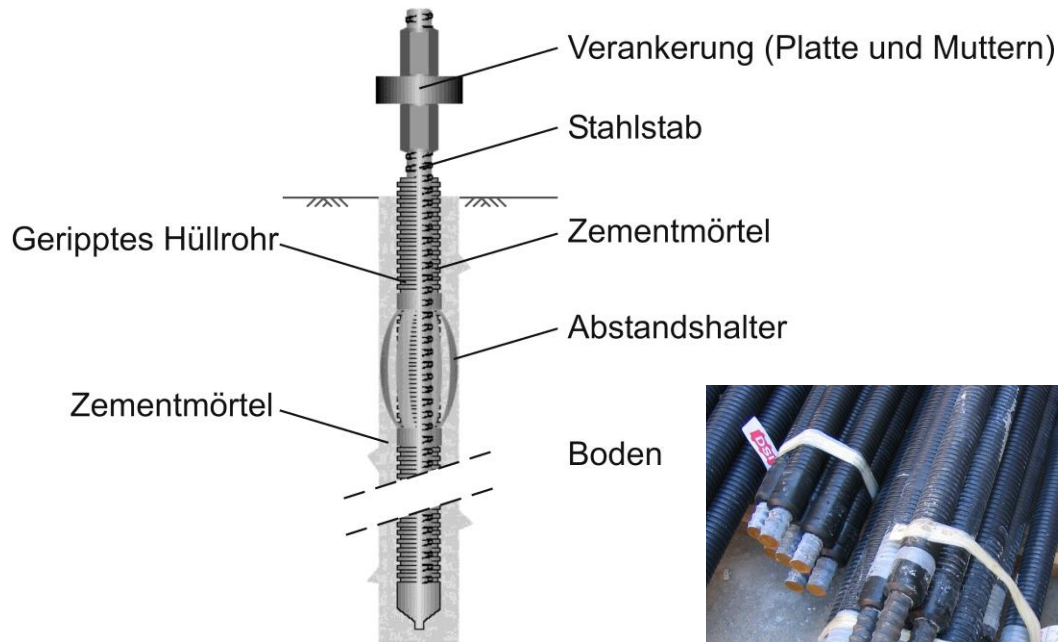
verpressen



anschießen

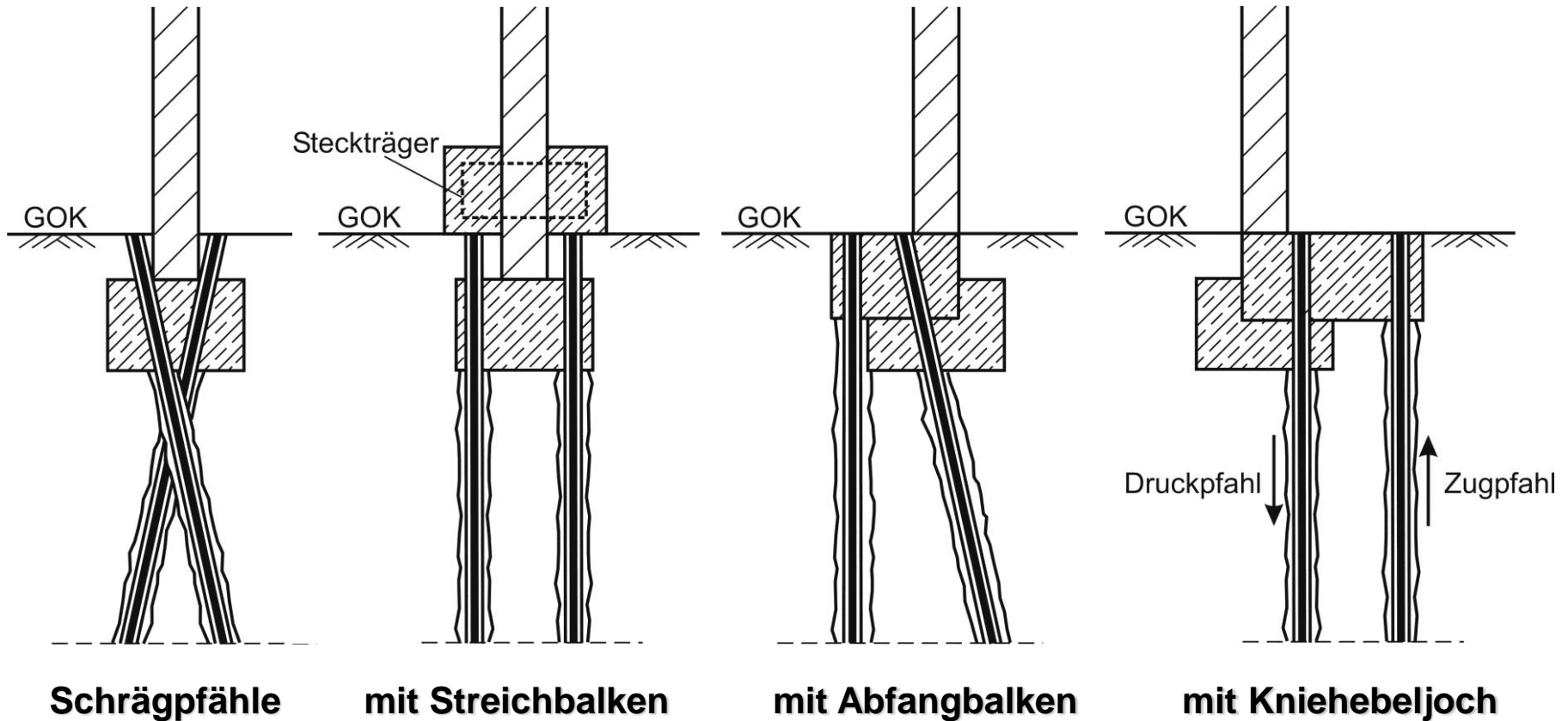
Verfahren zur Verstärkung von Altfundamentierungen

Verpresspfähle (Ortbeton- und Verbundpfähle) mit kleinem Durchmesser nach DIN 4128



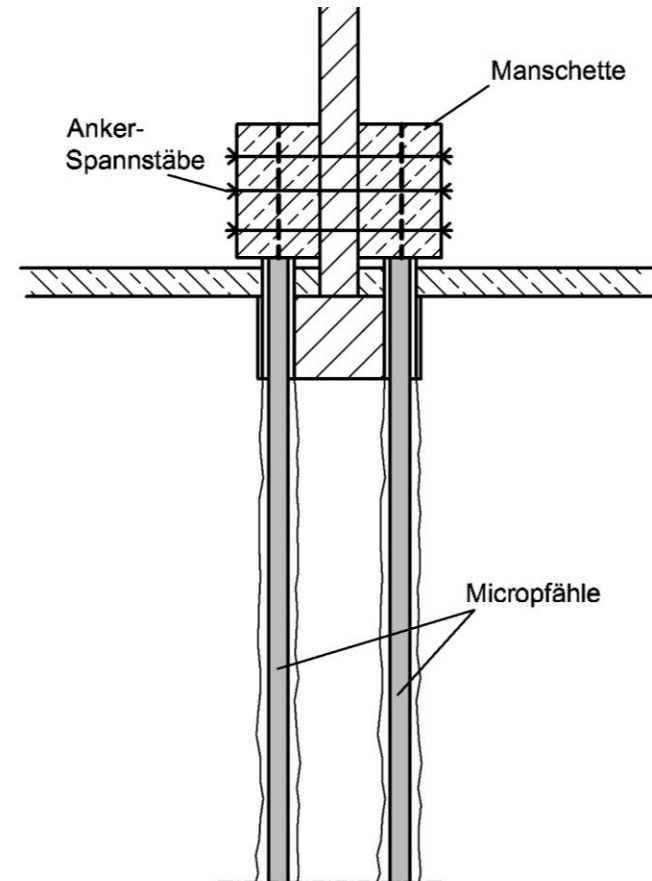
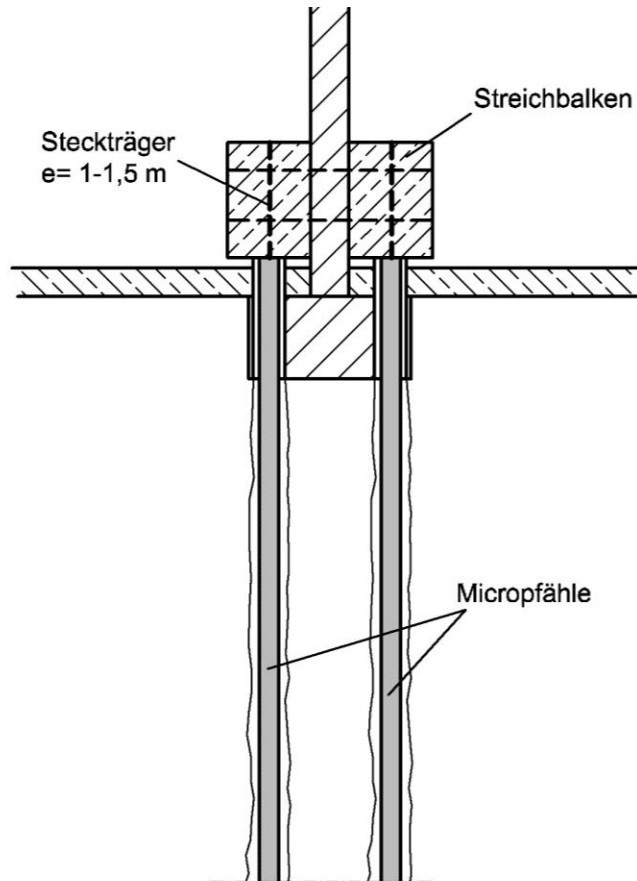
Verfahren zur Verstärkung von Altfundamentierungen

Verpresspfähle (Ortbeton- und Verbundpfähle) mit kleinem Durchmesser nach DIN 4128



Unterfangungen mit Pfählen

„klassische Verpresspfähle“ (Kleinbohrverpresspfähle, Mikropfähle)



Kopfanschlüsse



Unterfangungen mit Pfählen

„klassische Verpresspfähle“ (Kleinbohrverpresspfähle, Mikropfähle)



Einbau eines
Kleinbohrverpresspfahles

Unterfangungen mit Pfählen

„klassische Verpresspfähle“ (Kleinbohrverpresspfähle, Mikropfähle)



**Streichbalken mit
Ankerspannstählen**



Unterfangungen mit Pfählen

„klassische Verpresspfähle“ (Kleinbohrverpresspfähle, Mikropfähle)



Freigelegte Unterfangung



Unterfangungen mit Pfählen

„klassische“ Verpresspfähle (Kleinbohrverpresspfähle, Mikropfähle)

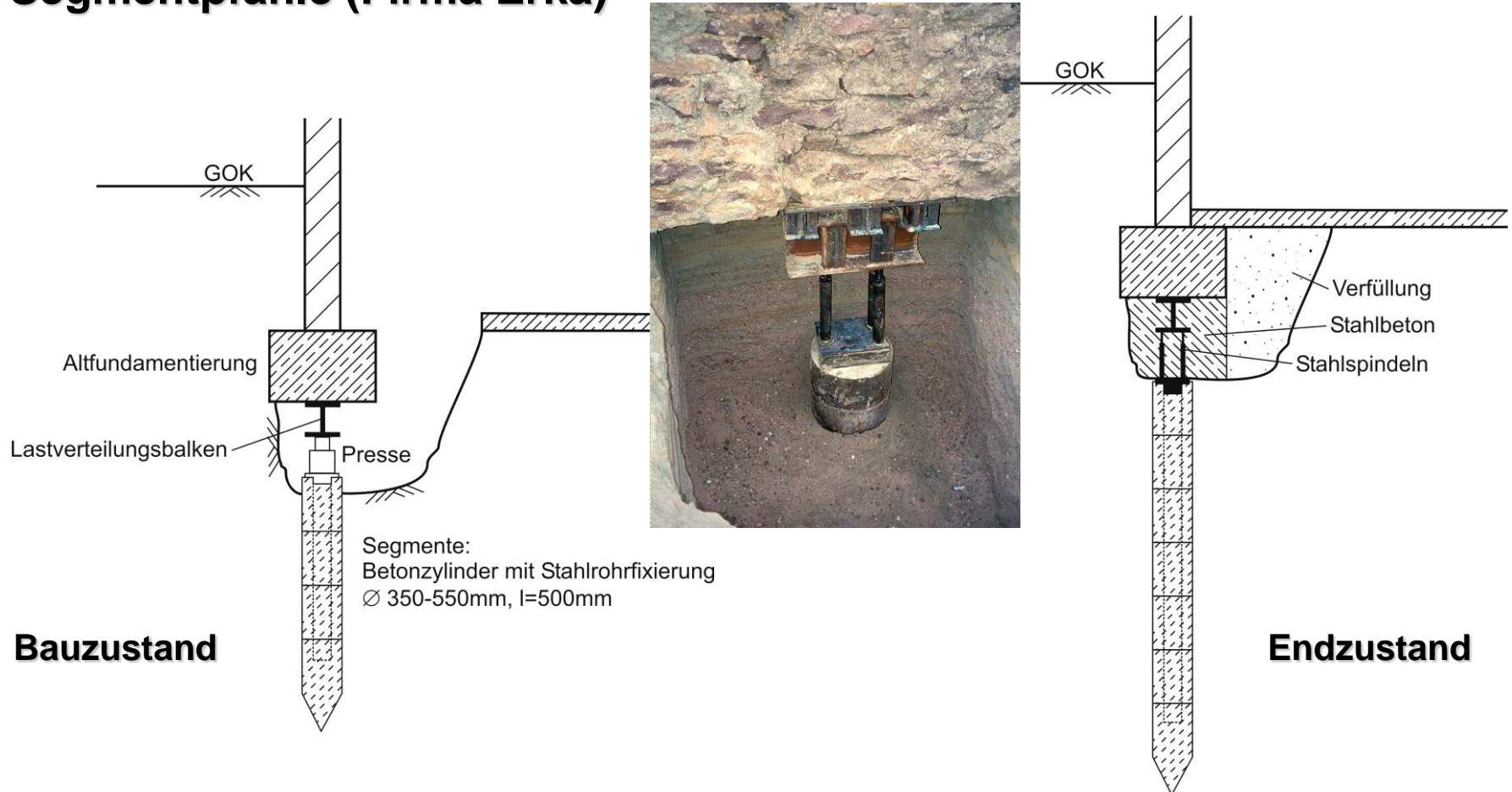


Unterfangung mit Mikropfählen, Berlin

Unterfangung und Verstärkung mit Pfählen

Segmentpfähle und Horizontalelemente

Segmentpfähle (Firma Erka)

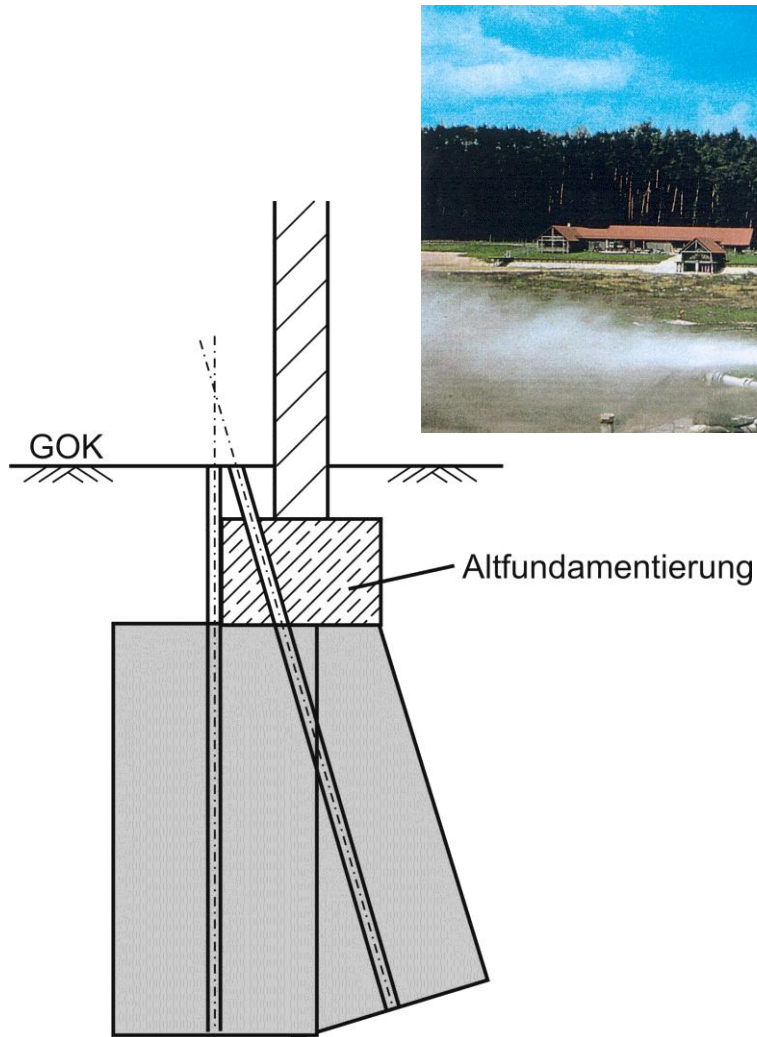


Unterfangung mit Pfählen

Segmentpfähle

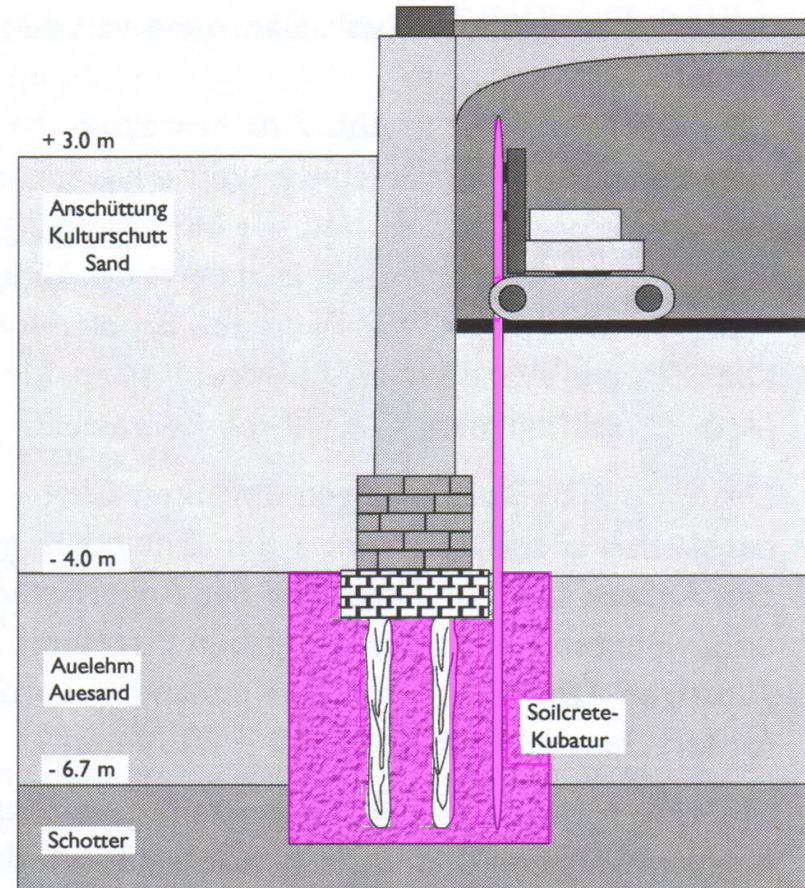
Vorteile	Nachteile
deformationsarm	hohe Lohnkosten
hohe geometrische Flexibilität	zeitaufwendig
kaum Baustelleneinrichtung	
hohe Homogenität des Unterfangungskörpers	
ausreichende Materialfestigkeit des Unterfangungskörpers	
geringe Emissionen	

Unterfangung und Verstärkung von Altfundamentierungen im Düsenstrahlverfahren



Unterfangung im Düsenstrahlverfahren

Kirche St. Gertrud in Düsseldorf-Eller



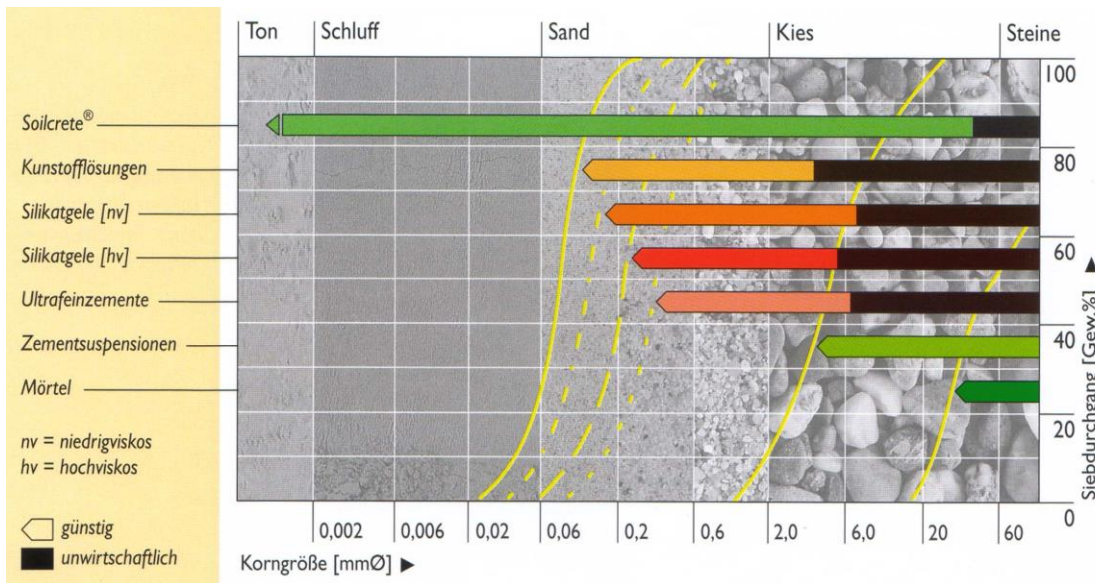
Unterfangung im Düsenstrahlverfahren

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

Unterfangungen mit Bodenverfestigungen / Injektionen

Ausführungsarten:

- verfestigter Erdkörper wirkt als Schwergewichtsmauer \Rightarrow Ableitung vertikaler und horizontaler Lasten
- verfestigter Erdkörper überträgt nur vertikale Lasten, horiz. Lasten (Erddruck) wird durch Aussteifungen und Verankerungen übernommen



Anwendungsbereich:

- Mangelhafte Gebäudegründung bzw. schlechter baulicher Zustand des Gebäudes
- Einsatz z.T. auch in Grundwasser möglich

Unterfangungen mit Bodenverfestigungen / Injektionen

Kombinierte Zement-Chemikalieninjektion



Ausgemauerte Öffnungen

Injektionsröhrchen

Unterfangung mit Injektionen

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

Expansionsharz:

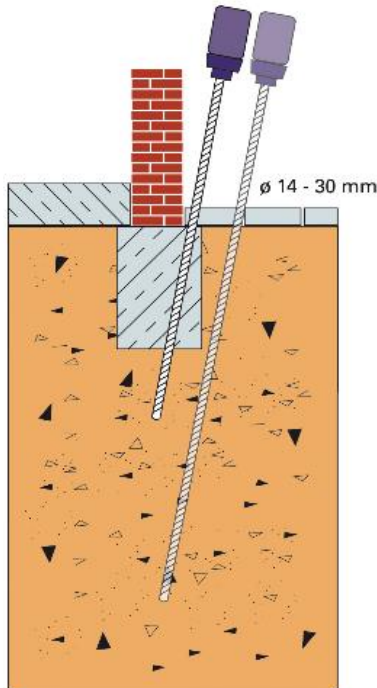
Eine Verdichtung des Untergrundes und ein ggf. vollständiges Wiederaufheben eines Gebäudes mit Setzungsschäden ist mit dem Einsatz von Expansionsharz, z. B. mit dem Verfahren URETEK DeepInjection, möglich. Beim Einsatz von Expansionsharz kann durch eine entsprechende Steuerung des Injektionsvorgangs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

Unterfangungen mit der DeepInjection-Methode (UDI) nach dem System Uretek

Anheben / Vorspannen der Gründung mittels Expansionsharz

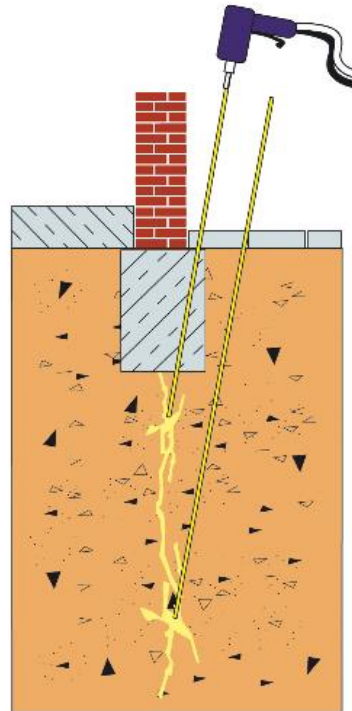
1
Bohren

Anlegen der Bohrlöcher
und Einführen des
Injektionslanzen



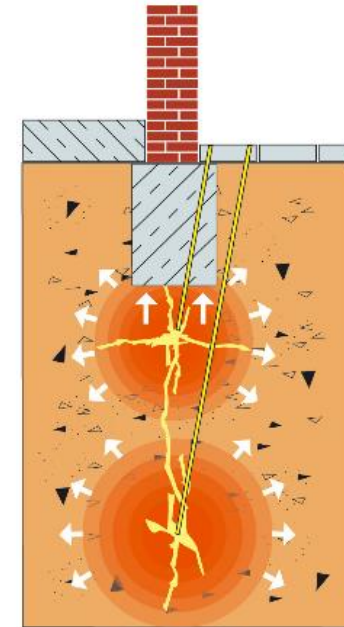
2
Injizieren

Injektion des
Zweikomponenten
Expansionsharzes



3
Expandieren

Das Expansionsharz
reagiert innerhalb von
15 - 20 Sekunden



Unterfangung mit Injektionskörpern/ Verdichtung- bzw. Hebungsinjektionen

Vorteile	Nachteile
meist kostengünstig	(nicht deformationsfrei)
keine Lastumlagerung während der Injektionsphase	Baustelleneinrichtung erforderlich
hohe Homogenität des Unterfangungskörpers	Einsatz im Grundwasser möglich
geometrische Flexibilität	(beschränkte Materialfestigkeit)
große Tagesleistung möglich	z.T.: beschränkter Anwendungsbereich infolge des erforderlichen Korngrößenbereiches



Qualitätssicherung

- **Fachgerechte Planung, Prüfung und Ausschreibung**
- **Güteprüfung der Baustoffe**
- **Fachbauleitung**
- **Fachbauüberwachung**
- **Kontrolle der zulässigen Aushubgrenzen**
- **Dokumentation der Herstellung / Herstellparameter**
- **Baubegleitende geodätische Kontrollen**
- **Geotechnische Überwachung z.B. Inklinometer/Extensometer**
- **Steuerung und Dokumentation von Gebäudehebungen**
- **Herstellprotokolle z.B. bei Pfählen, Düsenstrahlkörpern etc.**

