

Fachveranstaltung „Baugrund-Bauwerk-Interaktion“
Dienstag, 13. November 2012
Swissôtel, Zürich-Oerlikon

Schottersäulen als wirtschaftliche Alternative zur Pfahlgründung? Verfahren, Bemessung und Einsatzmöglichkeiten

Dr. Thomas M. Weber, Studer Engineering GmbH, Thurgauerstr. 56, Zürich



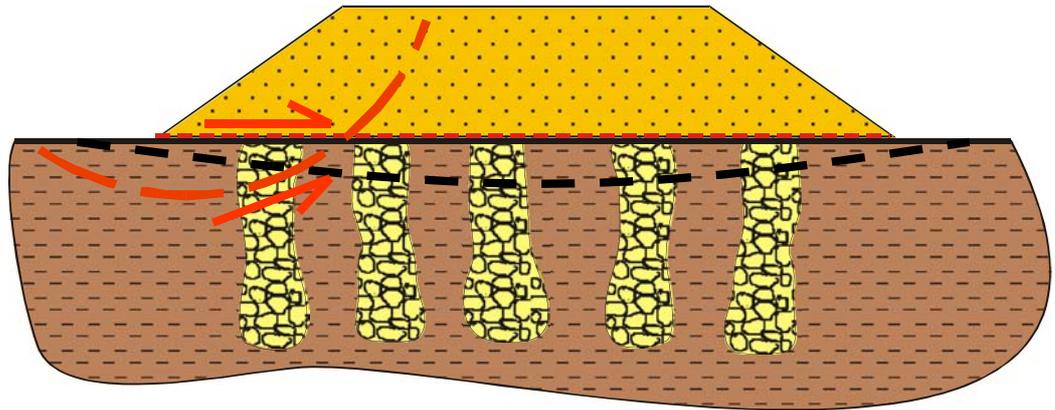
Gliederung

- **grundsätzliche Anwendung**
- **Herstellungsverfahren**
- **Mechanische Funktionsweise – Tragverhalten**
- **Berechnungsmethode nach Priebe**
- **Vorteile und Grenzen**

- **Berechnungsbeispiel**

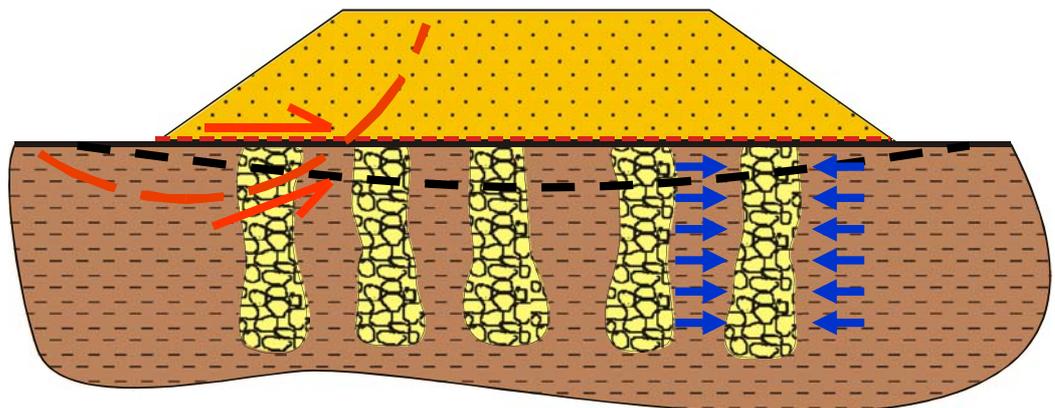
Baugrundverbesserung mit Schottersäulen

- **Problem: ungünstige Baugrundverhältnisse**
 - weicher wenig tragfähiger Baugrund
 - tonig, siltige Bodenschichten
 - Torf
 - lockere Verfüllungen
- **standartmässige Gründungswahl – Flachfundation – nicht ohne weiteres ausführbar**

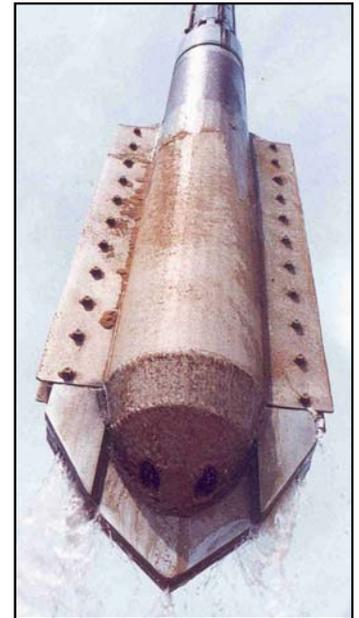
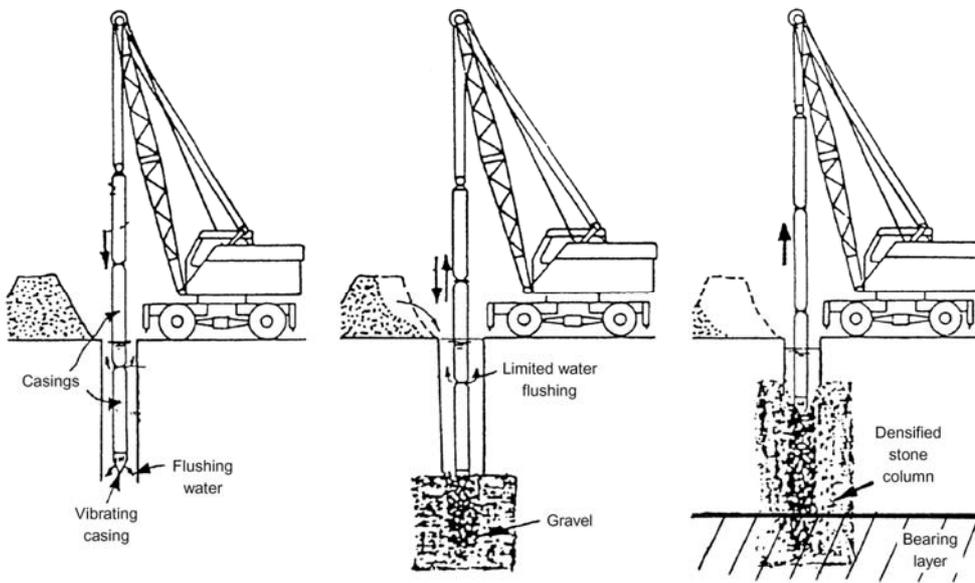


Baugrundverbesserung mit Schottersäulen

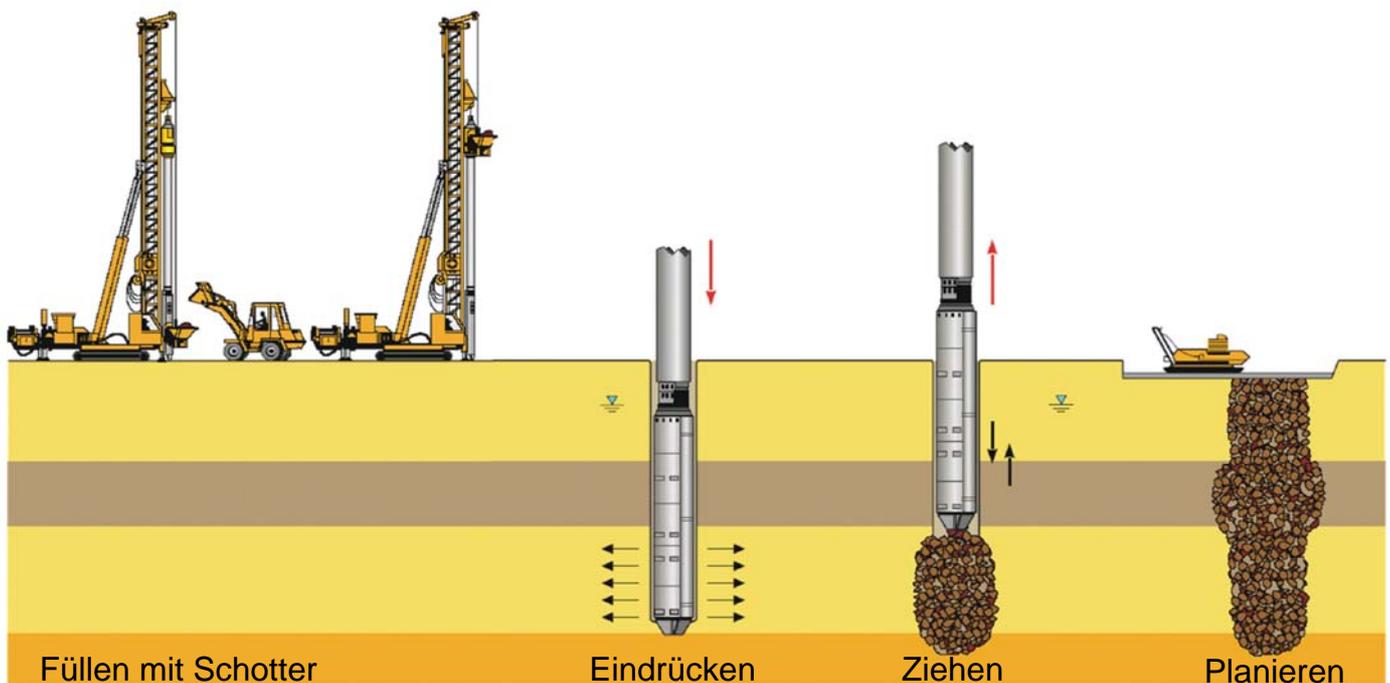
- **granulare Säule im Boden aus grobkörnigem Material ohne Bindemittel**
 - **Erhöhung der Steifigkeit → Setzungsreduktion**
 - Erhöhung der Festigkeit
 - Beschleunigung der Konsolidationszeit - Drainage
 - Homogenisierung
- **Verbessern des Untergrundes zur Ausführung einer Bodenplatte / Flachfundation**



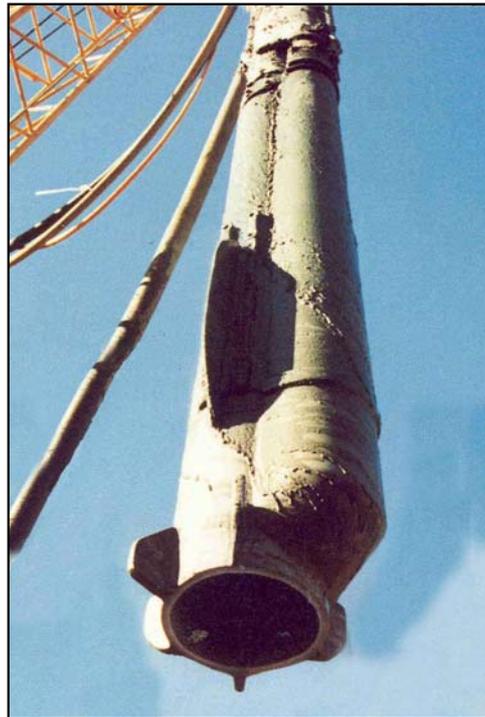
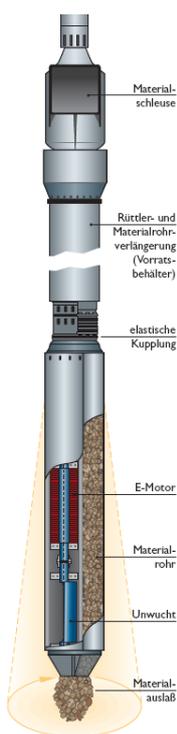
Rüttelstopfsäulen – System Vibroflotation



Rüttelstopfverdichtung – System Keller

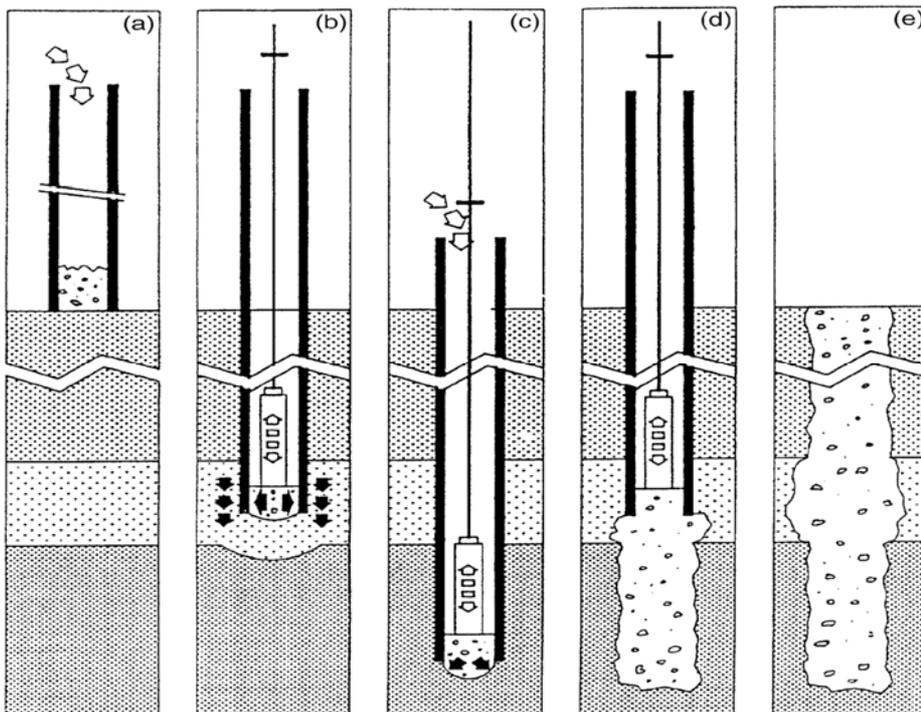


Rüttelstopfverdichtung – System Keller – Schleusenrüttler

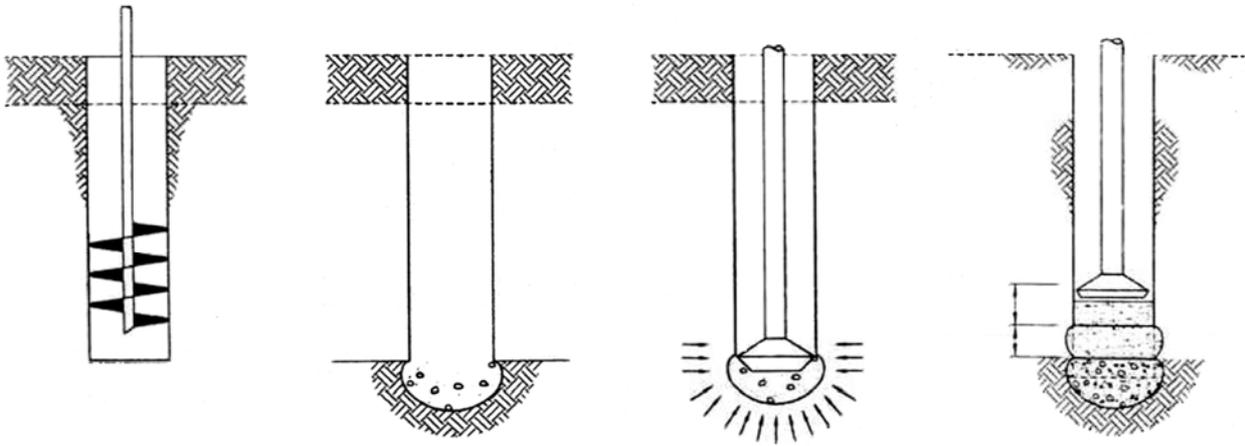


Qualitätskontrolle bei Herstellung durch Überwachung der Energieaufnahme des Rüttlers

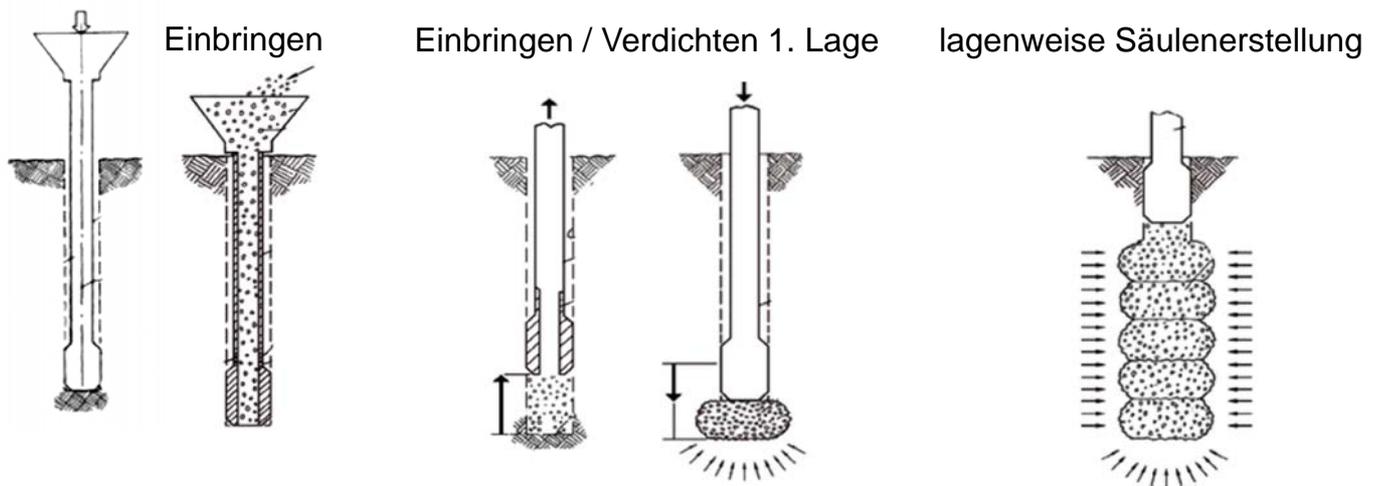
Rammschottersäulen – System Franki



Rammschottersäulen – System Geopier



Rammsäulen – System Geopier Impact

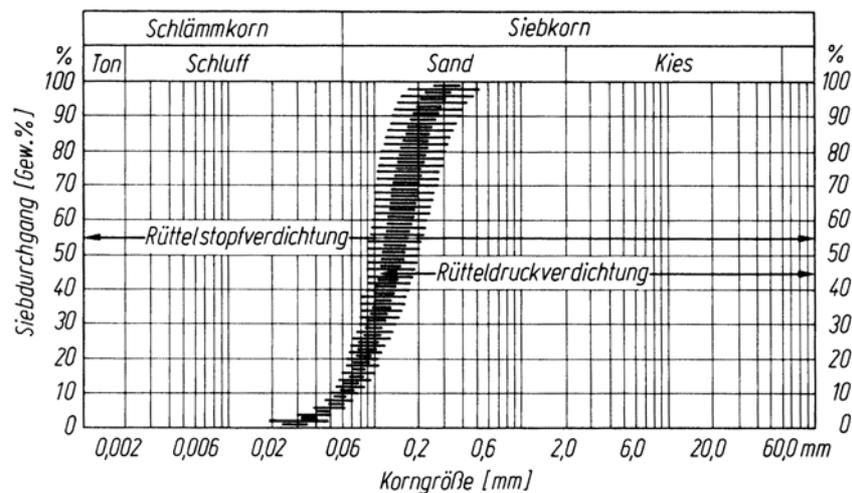


Vergleich der Verfahren

	Vibroflotation	Rüttelstopfverdichtung	System Franki	Geopier Impact
Methode	Bodenaustausch Vibration	Bodenverdrängung Vibration	Bodenverdrängung Gerammt	Bodenverdrängung Gerammt
Porenwasserdruck	kaum Zunahme	Zunahme	Zunahme	Zunahme
Steifigkeit	mittel	mittel	hoch	hoch
freies Grundwasser	problematisch	problemlos	problemlos	problemlos
Zeit pro Säule	10 – 20 min	10 – 20 min	10 – 20 min	20 – 30 min

Anwendungsbereich

- **Korngrößenverteilung des Untergrundes:**

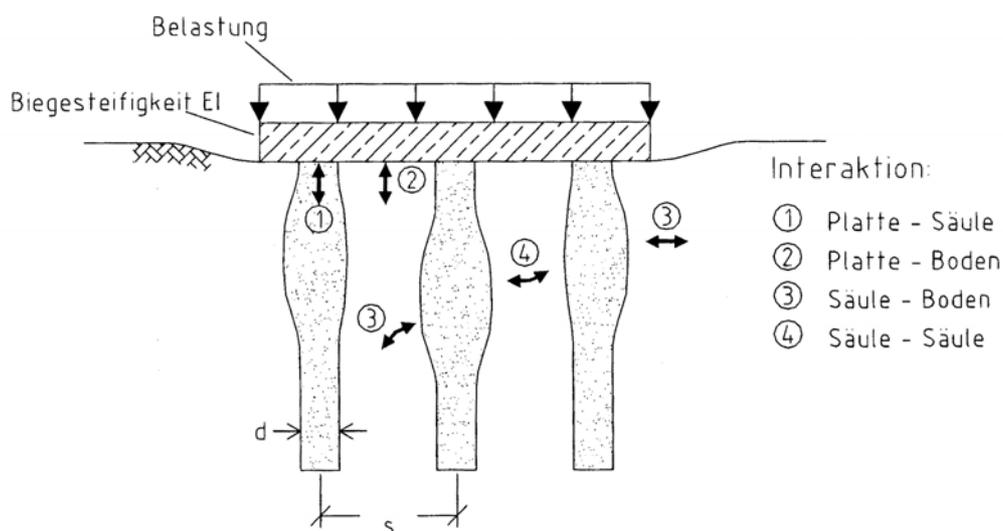


- **Undrainierte Scherfestigkeit des Untergrundes: > ca. 5 kPa**
– erforderlich für die Integrität der Säule

Allgemeine Charakteristik von Schottersäulen

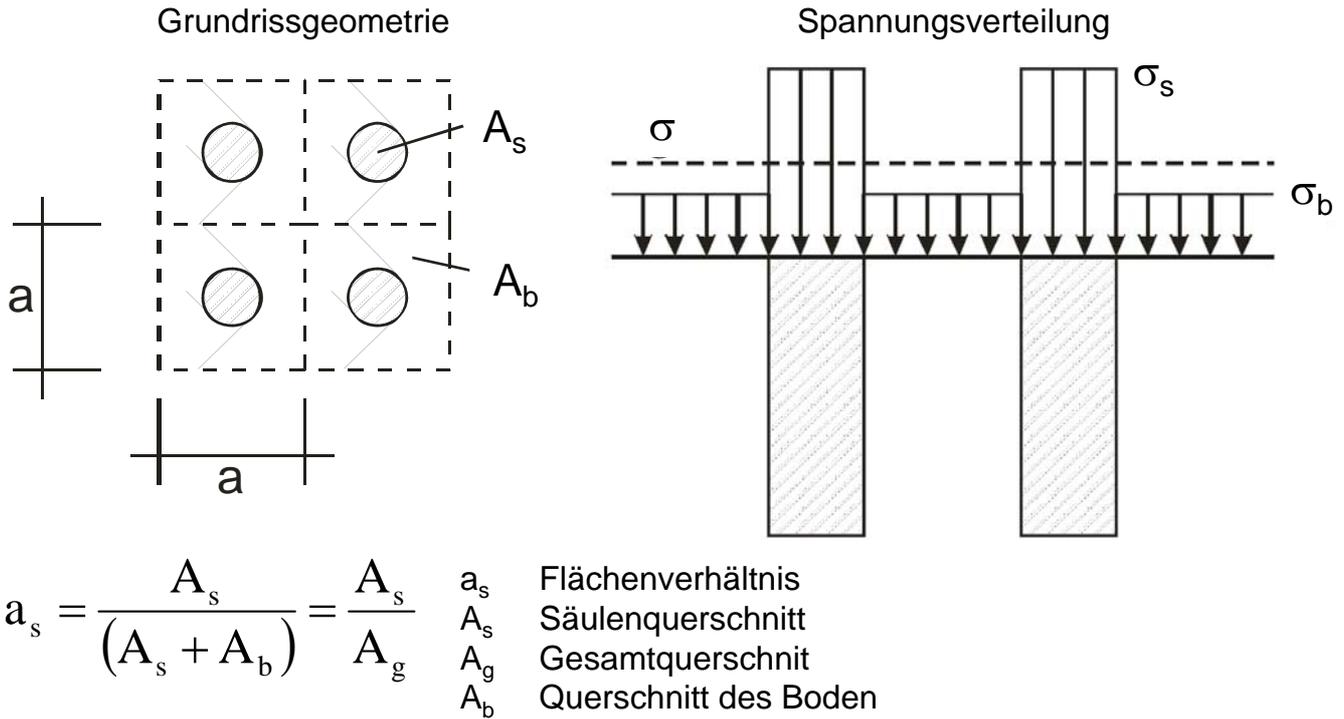
- Einbaulängen: 6 bis 20 m – gängig bis ca. 10 m
 - abhängig vom Gerät
- Säulendurchmesser: 0.5 bis 1.0 m
 - abhängig vom Verfahren und vom Untergrund
- Rasterabstände: ca. 1.5 bis 2.5 m
- Schottermaterialien:
 - Korngrösse 10 bis 40 mm üblich

Tragverhalten - Interaktion

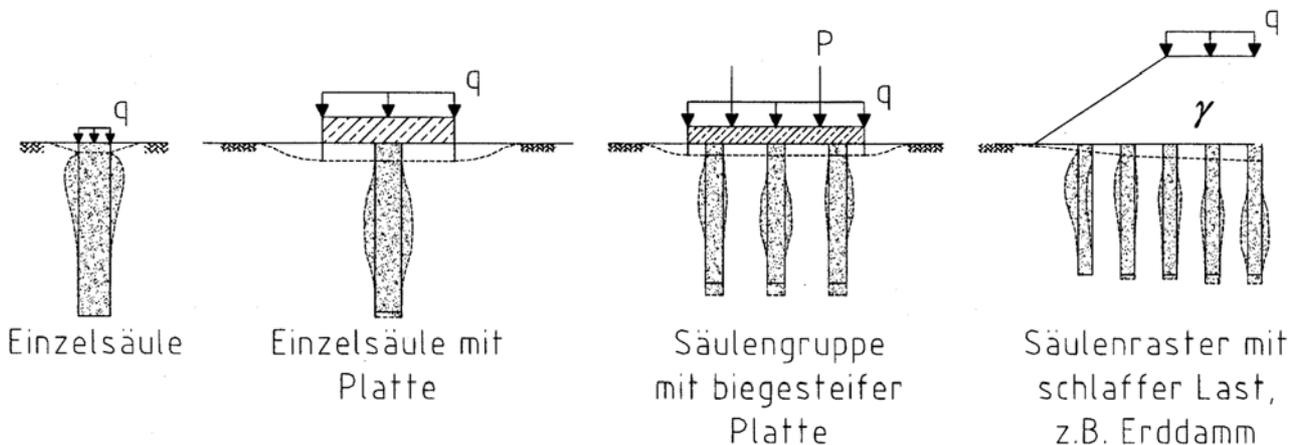


Tragverhalten nicht wie beim Pfahl,
keine ausgeprägte Mantelreibung und Spitzendruck

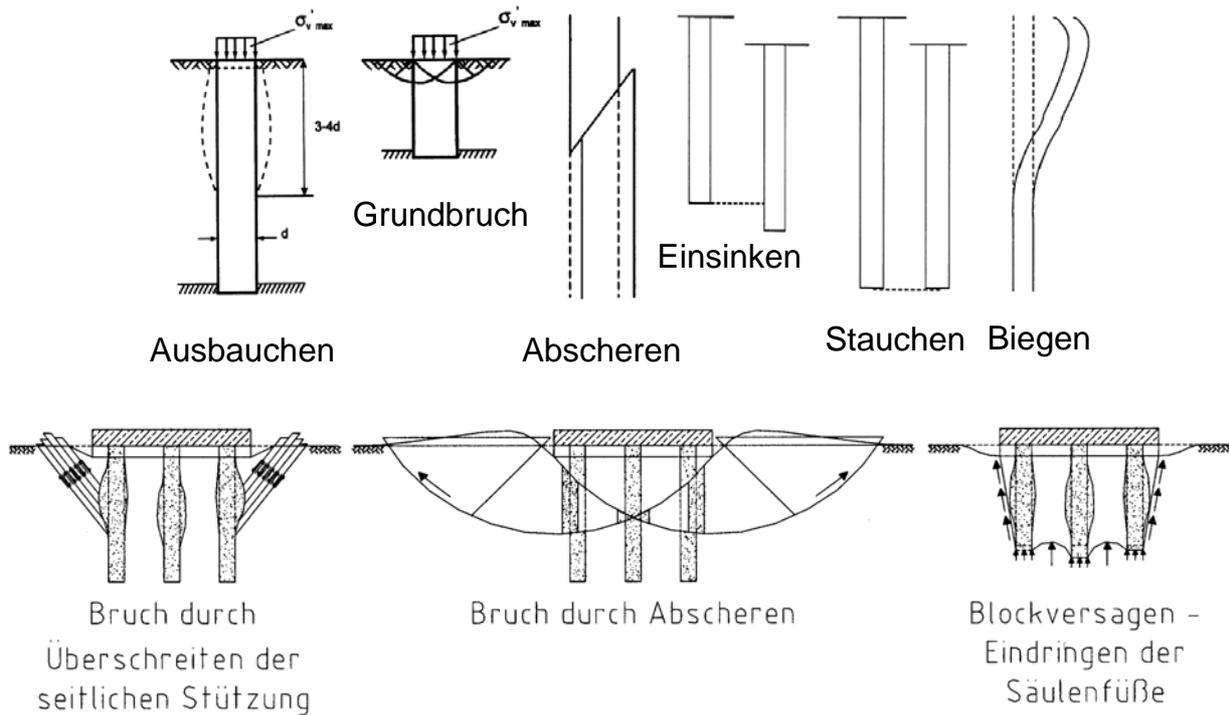
Spannungsverhalten



Belastungssituationen



Unterschiedliche Grenzzustände



Analyse der Setzungsreduktion – Verfahren Priebe (1995)

- viele verschiedene Berechnungsverfahren entwickelt mit unterschiedlichen Modellannahmen
- Im deutschsprachigen Raum verbreitet – Verfahren nach Priebe (1995), entwickelt für Rüttelstopfsäulen mit Schleusenrüttler System Keller
- Annahmen des Berechnungsmodells
 - Berechnungsmodell über Hohraumexpansionstheorie
 - Schotterstütze steht auf festem Untergrund
 - Schotterstütze befindet sich im aktiven Versagenszustand
 - unendliches Rasterfeld
 - isotroper Spannungszustand im Boden

Formelübersicht der Methode Priebe (1995) (Auswahl)

- Erforderliche Eingangswerte
 - Geometrie der Säulen und des Rasters
 - Reibungswinkel des Säulenschotters φ'_s
 - Zusammendrückungsmodul der Schottersäulen $M_{E,s}$
 - Zusammendrückungsmodul des unverbesserten Baugrunds $M_{E,b}$
 - Belastung / Sohlpressung
- Berechnung des Grundwertes der Baugrundverbesserung n_0

$$n_0 = 1 + a_s \left[\frac{\frac{1}{2} + f(v', a_s)}{K_{a,s} \cdot f(v', a_s)} - 1 \right]$$

$$f(v', a_s) = \left[\frac{1 - v'^2}{1 - v' - 2v'^2} \right] \left[\frac{(1 - 2v')(1 - a_s)}{1 - 2v' + a_s} \right]$$

$$K_{a,s} = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi'_s}{2} \right)$$

n_0 Grundwert der Baugrundverbesserung
 v' Querdehnzahl
 a_s Flächenverhältnis der Schottersäulen
 φ'_s Reibungswinkel des Schotters

Formelübersicht der Methode Priebe (1995) (Auswahl)

- Berücksichtigen Zusammendrückbarkeit des Säulenmaterials und Berechnung des Faktors der Baugrundverbesserung n_1 (Formel nicht angegeben)
- Berücksichtigen der Tiefenwirkung und des Überlagerungsdrucks durch Berechnung des Faktors der Baugrundverbesserung n_2

$$n_2 = n_1 \cdot f_t$$

$$f_t = \frac{1}{1 + \frac{K_{0,s} - 1}{K_{0,s}} \cdot \frac{\gamma_b \cdot t}{q_s}}$$

f_t Tiefenfaktor
 $K_{0,s}$ Erdruhedruckbeiwert der Säule
 q_s Flächenlast der Schottersäulen an der Geländeoberfläche
 γ_b Raumgewicht des Bodens

- q_s muss separat berechnet werden, hängt vom Verhältnis $M_{E,s} / M_{E,b}$ ab

Formelübersicht der Methode Priebe (1995) (Auswahl)

- Berechnung der Setzung

$$s_v = \frac{q_0}{n_2} \cdot \frac{H}{M_{E,b}}$$

q_0 mittlere Auflast auf Geländeoberfläche
 $M_{E,b}$ Zusammendrückungsmodul des Bodens
 H Dicke der verbesserten Bodenschicht

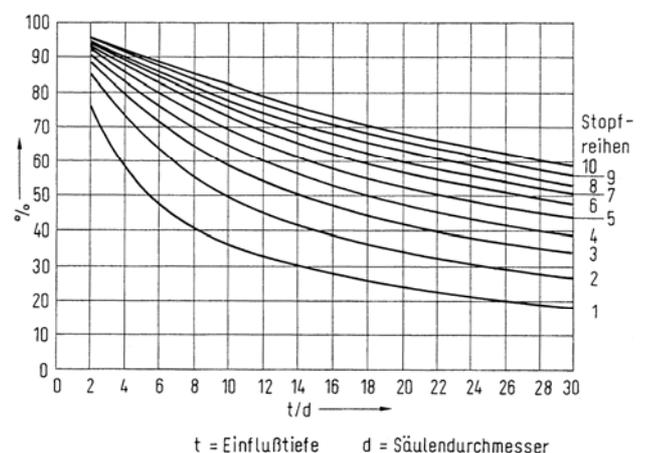
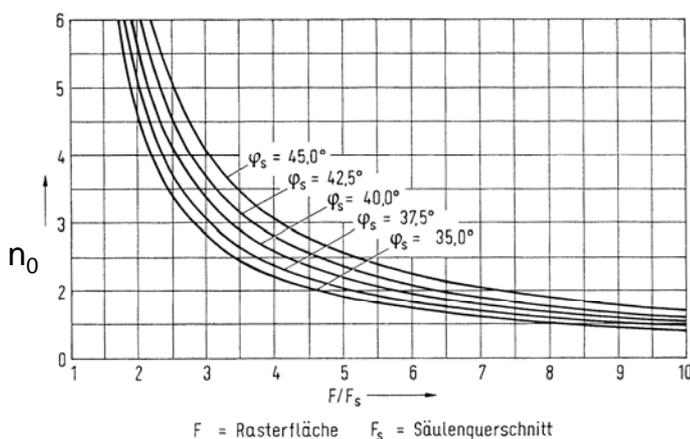
- Zusammendrückungsmodul des verbesserten Bodens

$$M_{E,\text{verbessert}} = n_2 \cdot M_{E,b}$$

→ Der verbesserte Boden wird als homogenes Erdmaterial betrachtet. Die Säulen werden bei der Setzungsberechnung nicht als Einzelelemente berücksichtigt.

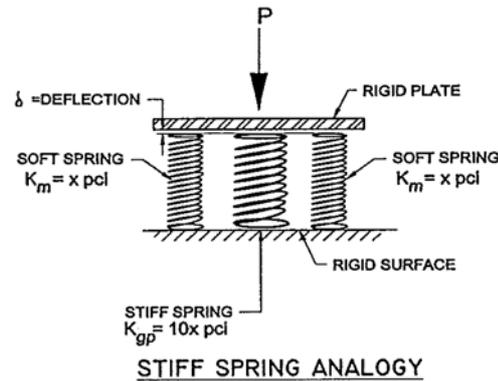
Methode Priebe (1988, 1995)

- Diagramme zur vereinfachten Bestimmung des Faktors der Baugrundverbesserung
- Berücksichtigen räumlich begrenzter Baugrundverbesserung



Alternative Berechnungsmethoden - Geopier Impact

- **Federmodell:**



- **Steife Federn für die Säulen und weiche Federn für den Boden**
- **Berechnung über Ansatz des Bettungsmoduls**
- **Bettungsmodul des Bodens – Abschätzung aus SPT**
- **Bettungsmodul der Schottersäulen – Abschätzung aufgrund Erfahrungswerten und Versuchen**

Erwartungen an Schottersäulen

- **Methode der Baugrundverbesserung**
Schottersäulen keine einzelne Tragelemente
→ der verbesserte Boden wird als homogen betrachtet (Verfahren Priebe)
- **Schottersäulen sind genügsam und verhalten sich duktil** →
selbstregulierendes System
→ kaum Schadensfälle bei Baugrundverbesserung bekannt
- **Realistische Faktoren der Baugrundverbesserung $n_2 \approx 2$ bis 4**
→ realistische Setzungsreduktion um Faktor 2 bis 4
grössere Werte nur mit erhöhtem Aufwand erreichbar
- **Verbesserung des Bodens zur Vorbereitung für Flachfundation – Bodenplatte oder Einzelfundament mit moderaten Lasten**
Reduktion differentieller Setzungen durch Homogenisierung des Bodens

Erwartungen an Schottersäulen

- **Grenzen bzw. Nachteile**
 - begrenzte praktikable Säulentiefe → Verbesserung nur begrenzter Schichtmächtigkeiten
 - begrenzte Setzungsreduktion
 - nicht anwendbar bei strukturempfindlichen Böden
 - nicht geeignet bei sehr grossen Einzellasten
- **Finanzieller Vorteil**
 - Eine genaue Kostenanalyse für Schottersäulen und Pfahlgründungen wurde leider noch nicht durchgeführt, komplexe Fragstellung → fallbezogen

Überlegung

- **bei problematischen Bodenverhältnissen begrenzter Schichtdicke**
 - weicher wenig tragfähiger Baugrund
 - tonig, siltige Bodenschichten
 - Torf
 - lockere Verfüllungen
 - **bei Bauvorhaben mit Flachgründung und moderater Belastung**
- Baugrundverbesserung mit Schottersäulen als mögliche Alternative in Erwägung ziehen?