

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

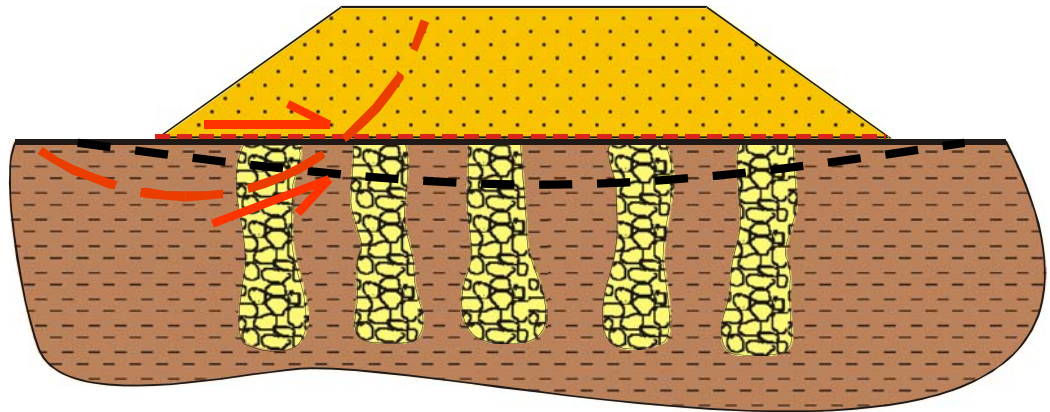


## **Gliederung**

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

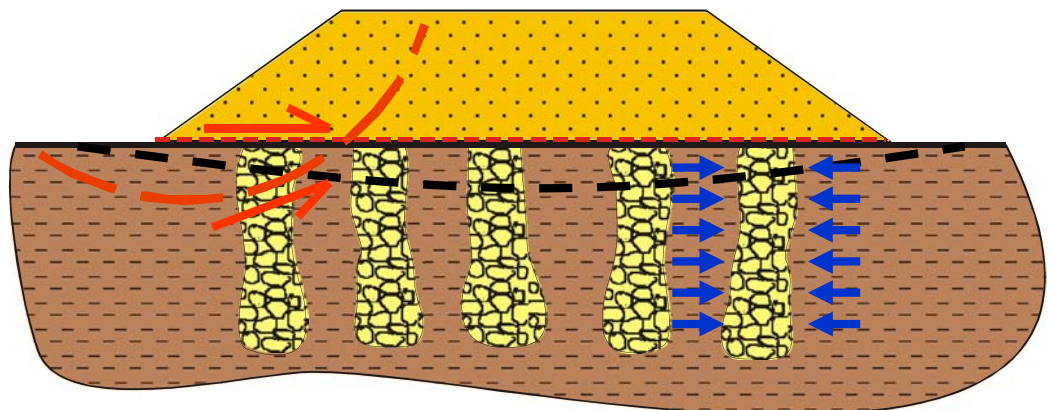
## Baugrundverbesserung mit Schottersäulen

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

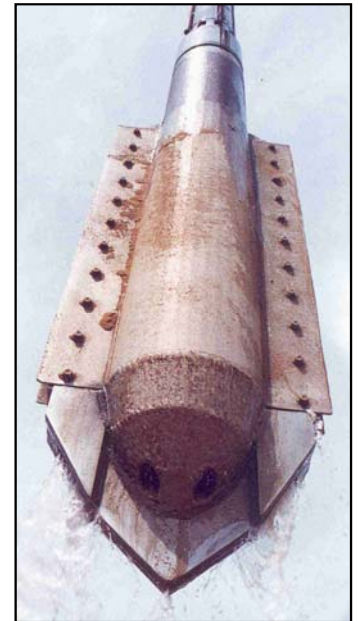
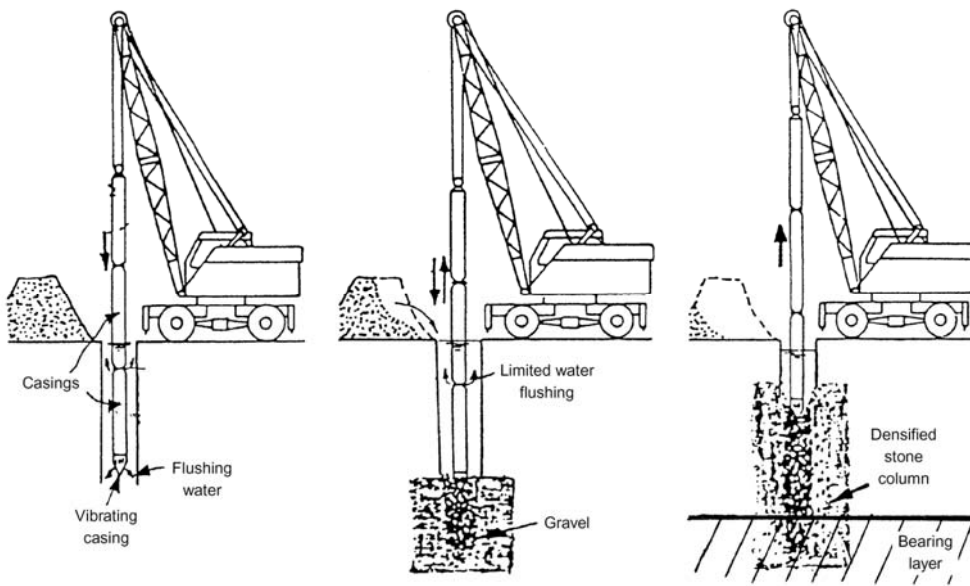


## Baugrundverbesserung mit Schottersäulen

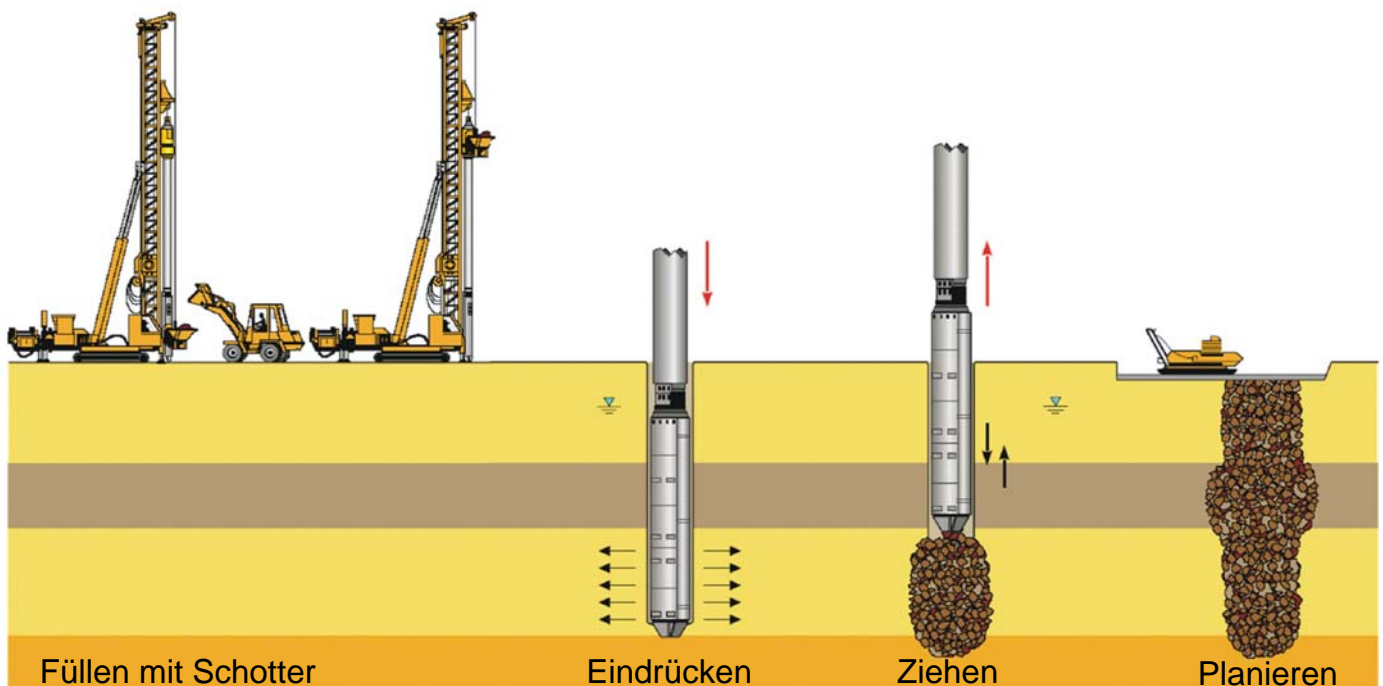
- **granulare Säule im Boden aus grobkörnigem Material ohne Bindemittel**
  - **Erhöhung der Steifigkeit → Setzungsreduktion**
  - Erhöhung der Festigkeit
  - Beschleunigung der Konsolidationszeit - Drainage
  - Homogenisierung
- **Verbessern des Untergrundes zur Ausführung einer Bodenplatte / Flachfundation**



## Rüttelstopfsäulen – System Vibroflotation

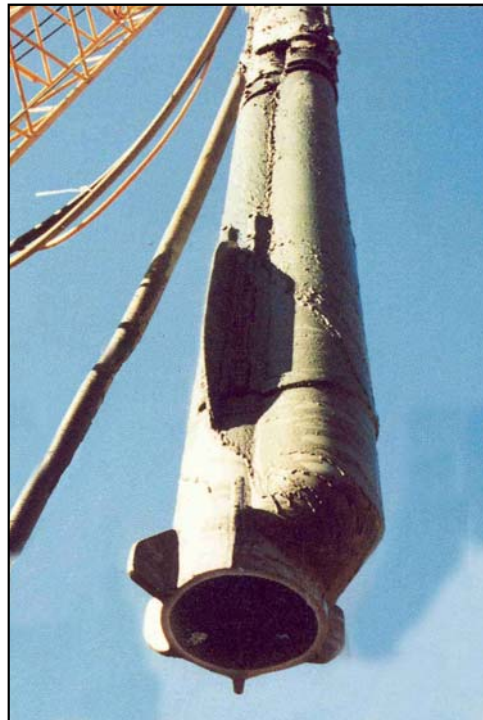
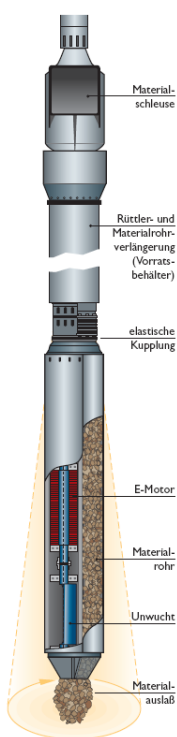


## Rüttelstopfverdichtung – System Keller



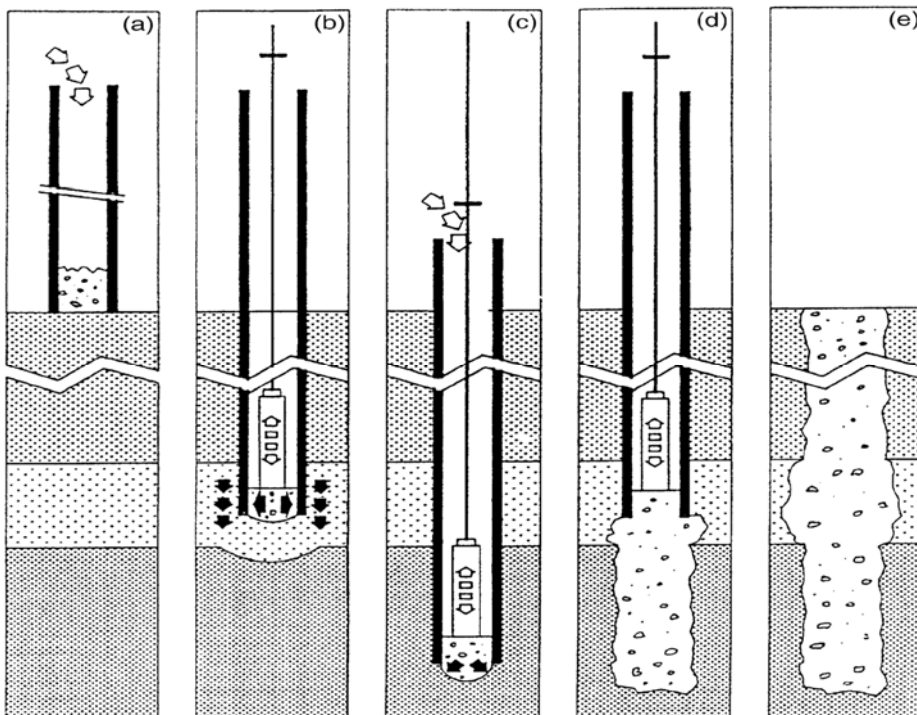


# Rüttelstopfverdichtung – System Keller – Schleusenrüttler

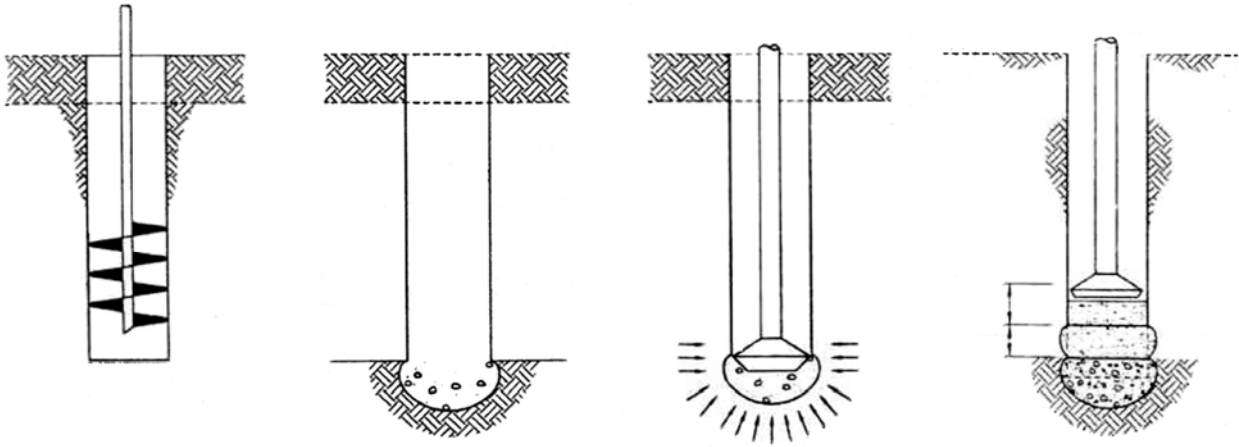


Qualitätskontrolle bei Herstellung durch Überwachung der Energieaufnahme des Rüttlers

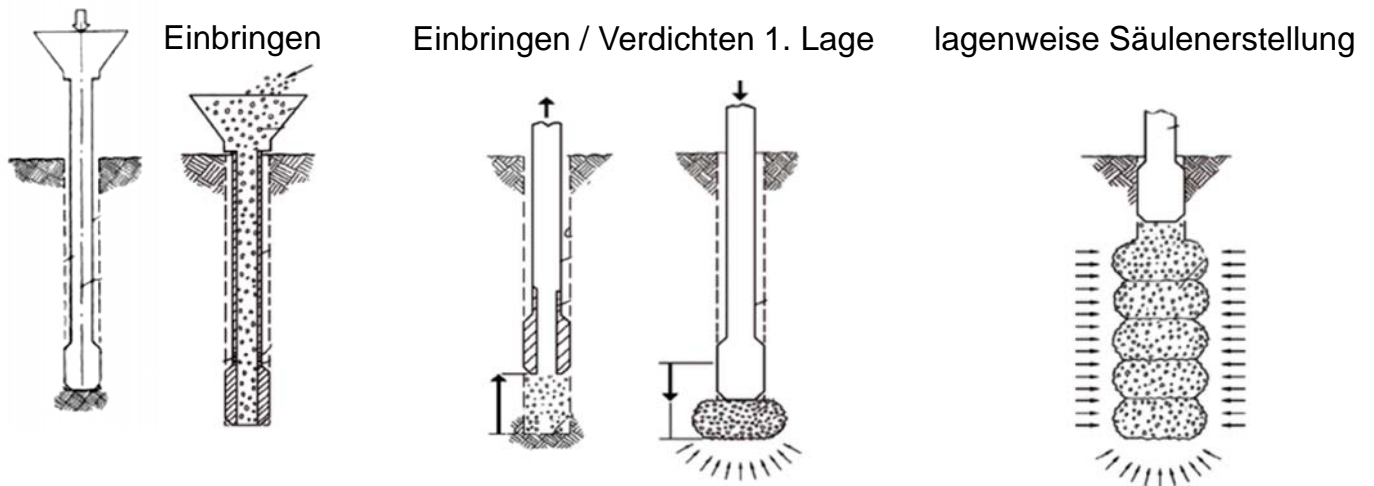
# Rammschottersäulen – System Franki



# Rammschottersäulen – System Geopier



# Rammsäulen – System Geopier Impact

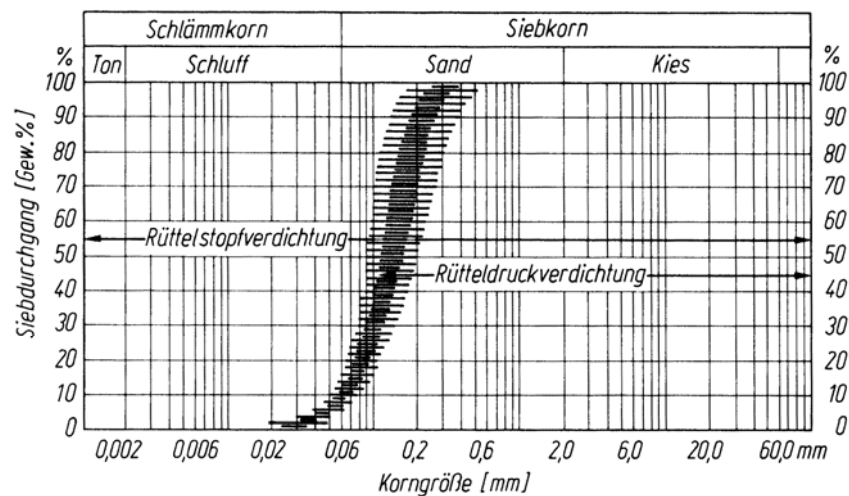


## Vergleich der Verfahren

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

## Anwendungsbereich

- **Korngrößenverteilung des Untergrundes:**

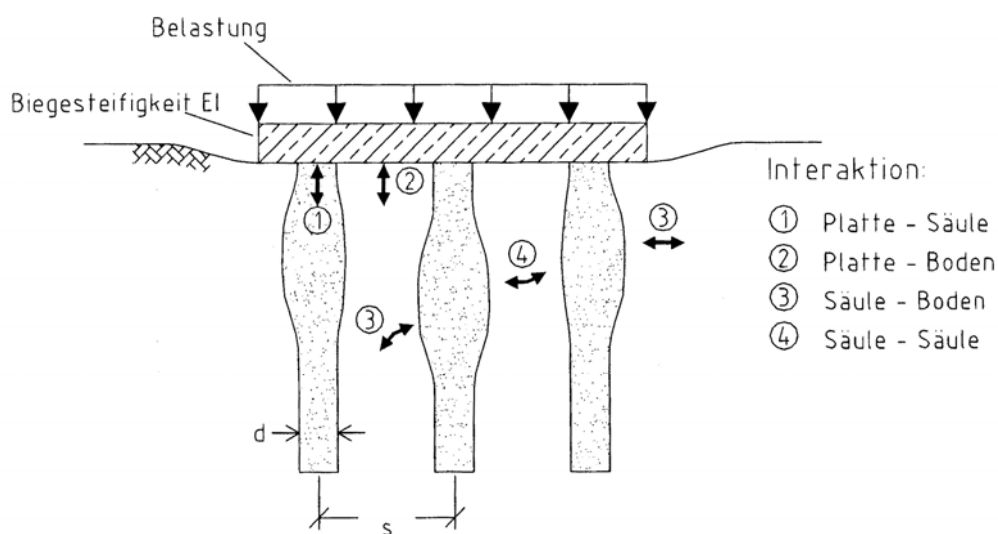


- **Undrainierte Scherfestigkeit des Untergrundes: > ca. 5 kPa**  
– erforderlich für die Integrität der Säule

## Allgemeine Charakteristik von Schotterssäulen

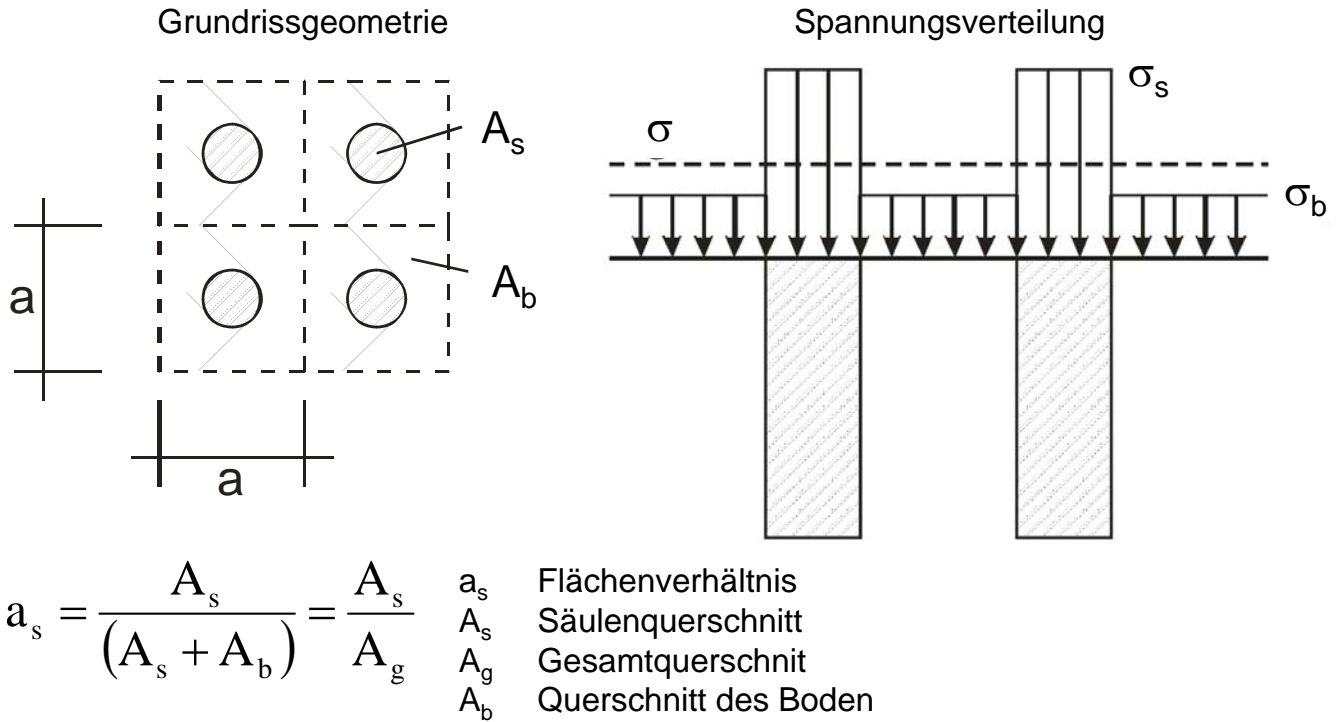
- Einbaulängen: 6 bis 20 m – gängig bis ca. 10 m
  - abhängig vom Gerät
- Säulendurchmesser: 0.5 bis 1.0 m
  - abhängig vom Verfahren und vom Untergrund
- Rasterabstände: ca. 1.5 bis 2.5 m
- Schottermaterialien:
  - Korngrösse 10 bis 40 mm üblich

## Tragverhalten - Interaktion

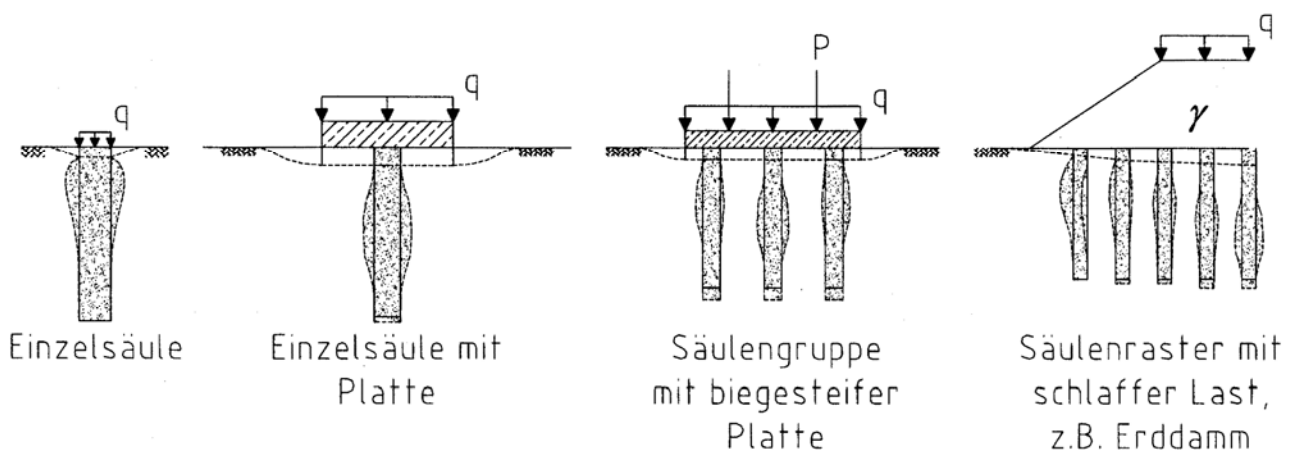


Tragverhalten nicht wie beim Pfahl,  
keine ausgeprägte Mantelreibung und Spitzendruck

# Spannungsverhalten

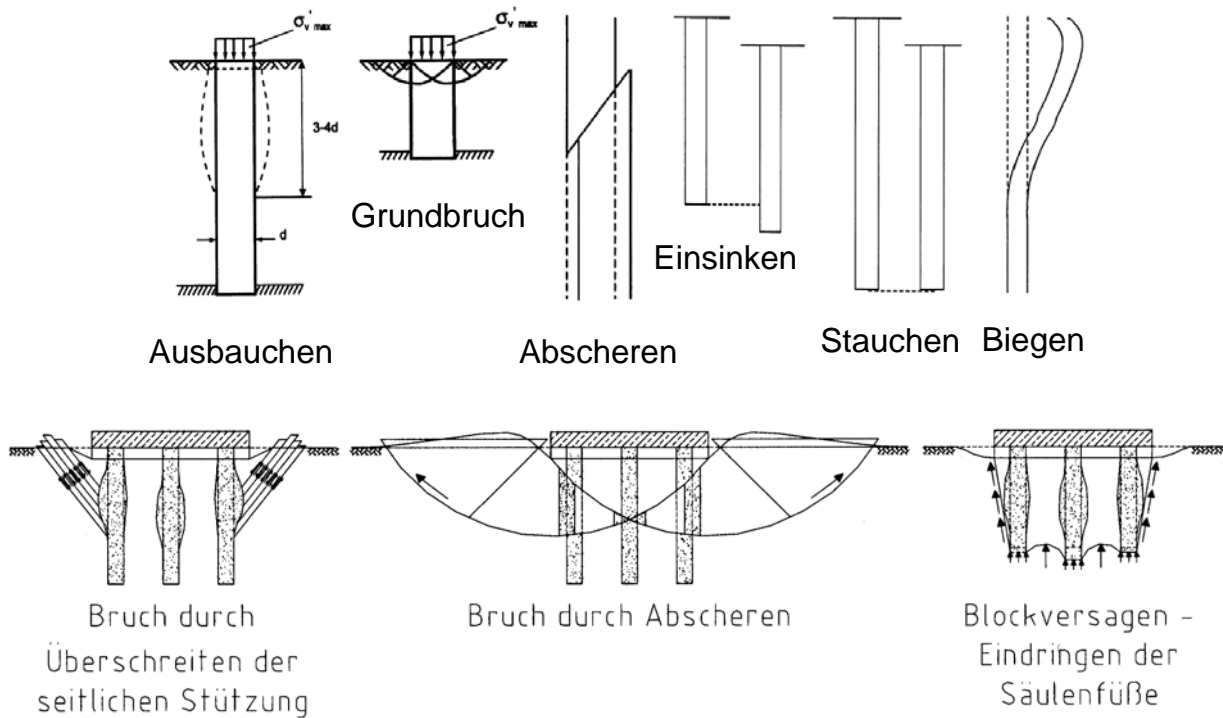


# Belastungssituationen





## 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  $\varphi'_s$
  - 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  
 $\varphi'_s$  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  
 $\gamma_b$  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

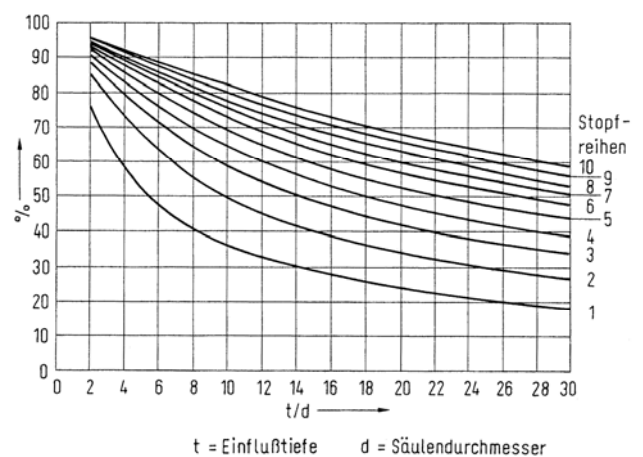
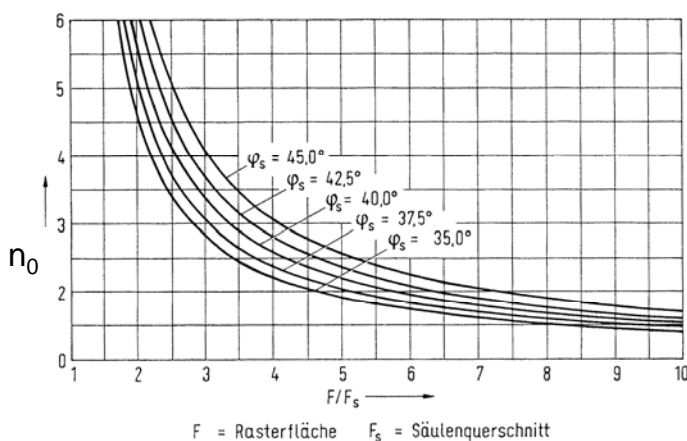
- Zusammendrückungsmodul des verbesserten Bodens

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

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

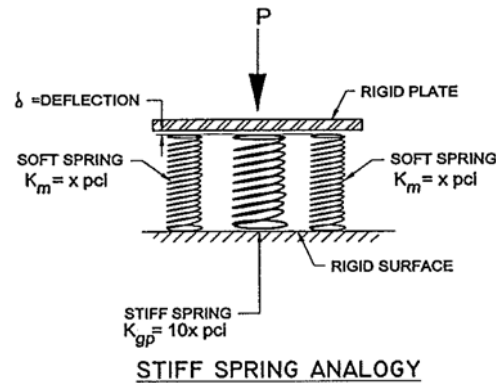
## Methode Priebe (1988, 1995)

- 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?**