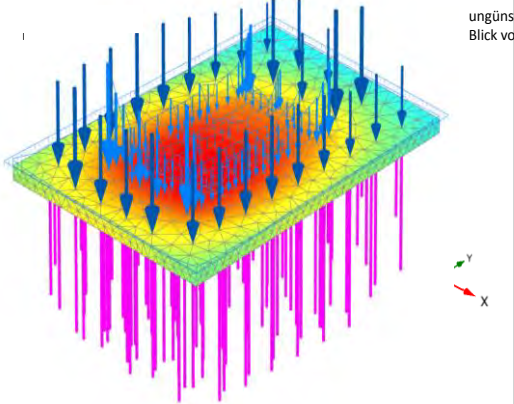


Berneer Hochschule

# Kombinierte Pfahl-Plattenfundationen in der Praxis


Laurent Pitteloud, Jörg Meier  
Gruner AG, Basel

ungünstige Geologie, Blick von oben



ungünstige Geologie, Blick von unten

Kombinierte Pfahl-Plattenfundationen in der Praxis


1

**Die Kombinierte Pfahl-Plattenfundation (KPP)** stellt eine interessante **Alternative** zur klassischen Pfahlfundation dar.

Dank KPP ist es möglich,

- **Bauzeit** und
  - **Baukosten**
- einzusparen.

Der Nachteil der KPP ist ein erhöhter Aufwand für die Planung und Berechnung.

In der Präsentation werden Möglichkeiten aufgezeigt, den erhöhten Aufwand zu reduzieren:

- durch vereinfachte Berechnungsverfahren
- durch Erfahrungswerte
- durch Einsatz der Automatisierung im Iterationsprozess

Im Weiteren werden Erkenntnisse aus der Planung und Ausführung von KPP in den letzten 20 Jahren aufgezeigt.



## Anwendungsbereich

Sind Bauwerke vorgesehen, die hohe Lasten auf einer kleinen Grundrissfläche aufbringen (wie z.B. hohe Gebäude oder Brückenpfeiler), kann der Einsatz einer KPP Vorteile bringen.

Die realistische Simulation des Tragverhaltens einer KPP bleibt trotz umfangreicher Literatur, Richtlinien und Analysen von instrumentierten KPP komplex.

**WISSEN**

**Kombinierte Pfahl-Plattenfundation (KPP) - Definition**

Baugrund-Tragwerk-Interaktion:

- ① Pfahl-Boden      ③ Platte-Boden
- ② Pfahl-Pfahl      ④ Pfahl-Platte

Quelle: KPP-Richtlinie


Kombinierte Pfahl-Plattenfundationen in der Praxis

gruner 3

### Definition der kombinierten Pfahl-Plattenfundation

Verbundkonstruktion, die unter Inanspruchnahme der Baugrund-Tragwerk-Interaktion die gemeinsame Tragwirkung der Fundamentelemente Fundamentplatte und Pfähle bei der Einleitung von Bauwerkslasten in den Baugrund erfasst.

(angepasst nach KPP-Richtlinie)

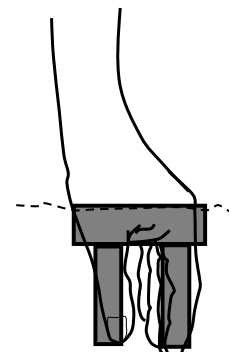


## Kombinierte Pfahl-Plattenfundation - Vorteile

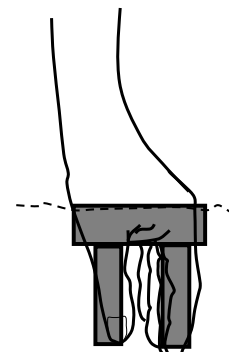
Faust  
Offene Hand

- Pfahl als Setzungsbremse ⇨
  - Pfähle bis zum **Bruch** nutzen ⇨
  - Sicherheitsfaktor auf Pfahl ( $R_{ak}$ ) kann auf **1.0** reduziert werden (sofern Gebrauchstauglichkeit erfüllt) ⇨ **Boden**
  - **Einsparung** Baukosten und Bauzeit


Flachgründung



KPP



Kombinierte Pfahl-Plattenfundationen in der Praxis


4

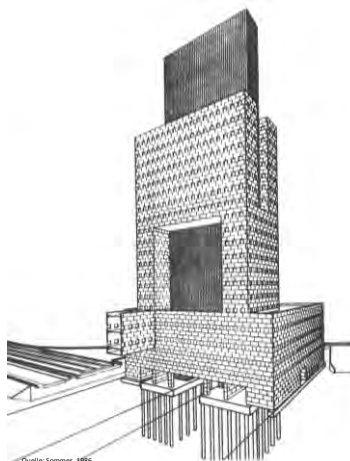
### Ein paar Vorteile der KPP

(u.a. aus Sommer, Entwicklung der Hochhausgründungen in Frankfurt/Main, 1989):

1. Einleiten eines Teils der Bauwerkslast über die Fundationspfähle in den tieferen, weniger setzungsempfindlichen Baugrund und damit Reduktion der Bauwerkssetzungen
2. Belastung der Fundationspfähle bis zu ihrem äusseren Bruchwiderstand (Sicherheit 1.0)
3. Mitwirkung der Fundamentplatte am Lastabtrag
4. Verminderung der Beanspruchung der Fundamentplatte durch optimale Anordnung der Pfähle

## Kombinierte Pfahl-Plattenfundation - Entwicklung

### Torhaus



Kombinierte Pfahl-Plattenfundationen in der Praxis

gruner > 5

### Rückblick

Die Erkenntnisse aus 2 lehrreichen Beispielen von KPP werden auf den nächsten Folien aufgezeigt.

Die Fundation für das Hochhaus Torhaus wurde als erste KPP in Frankfurt konzipiert. Die Planung der Fundation war damals eine Pionierarbeit. Es gab nur wenige Erfahrungen mit KPP. Die bei diesem Projekt gesammelten Messergebnisse haben einen wichtigen Beitrag zum besseren Verständnis des Tragverhaltens von KPP geliefert.

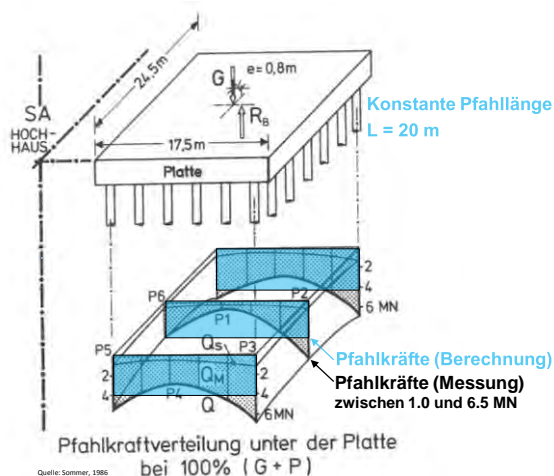
### Torhaus

Das Gebäude ist ca. 130 m hoch und wurde 1985 eröffnet.

Das Bauwerk ist auf 2 unabhängigen kombinierten Pfahl-Plattenfundationen fundiert. Die Pfähle haben einen Durchmesser von 0.9 m und eine gleichmässige Länge von 20 m. Die Pfahlanzahl beträgt 42 pro Fundationskörper, d.h. gesamthaft 84.

## Kombinierte Pfahl-Plattenfundation - Entwicklung

### Torhaus



### Bemessung

Für das Torhaus wurden mehrere Bemessungsansätze für die Platte und für die Pfähle gewählt.

In Bemessungsszenario 1 wurde angenommen, dass die Pfähle im weichen Frankfurter Ton ihre volle äussere Tragfähigkeit nach DIN 4014 ( $R_{ak} = 4.15 \text{ MN}$ ) erreichen.

### Messung

Die Messergebnisse der 6 instrumentierten Pfähle zeigten, dass die Rand- und insbesondere die Eckpfähle sehr stark beansprucht wurden. Die Pfahllasten lagen deutlich oberhalb der erwarteten Pfahllast.

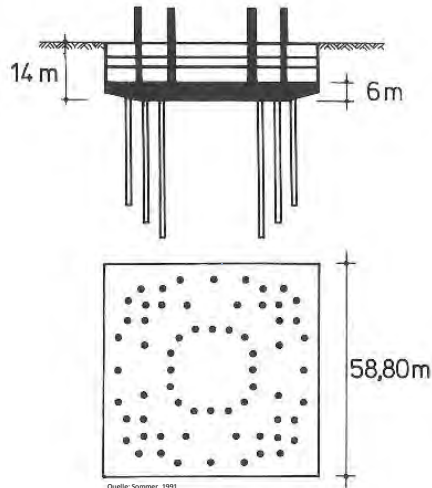
Dagegen wurden die Innenpfähle infolge der starken Baugrund-Tragwerk-Interaktion weit weniger aktiviert.

Als Folge der gemessenen Pfahlkräfte sind deutlich höhere Schnittgrössen in der Fundamentplatte zu erwarten.

Die Setzungen betragen 4 Jahre nach Rohbauende maximal ca. 14 cm (Reul, 2000).

Dass die Pfahllast standortabhängig sehr unterschiedlich sein kann und in der Planung berücksichtigt werden muss, war eine wichtige Erkenntnis bei diesem Projekt und bei der weiteren Entwicklung der KPP-Berechnungsmethoden.

## Kombinierte Pfahl-Plattenfundation - Entwicklung



Kombinierte Pfahl-Plattenfundationen in der Praxis

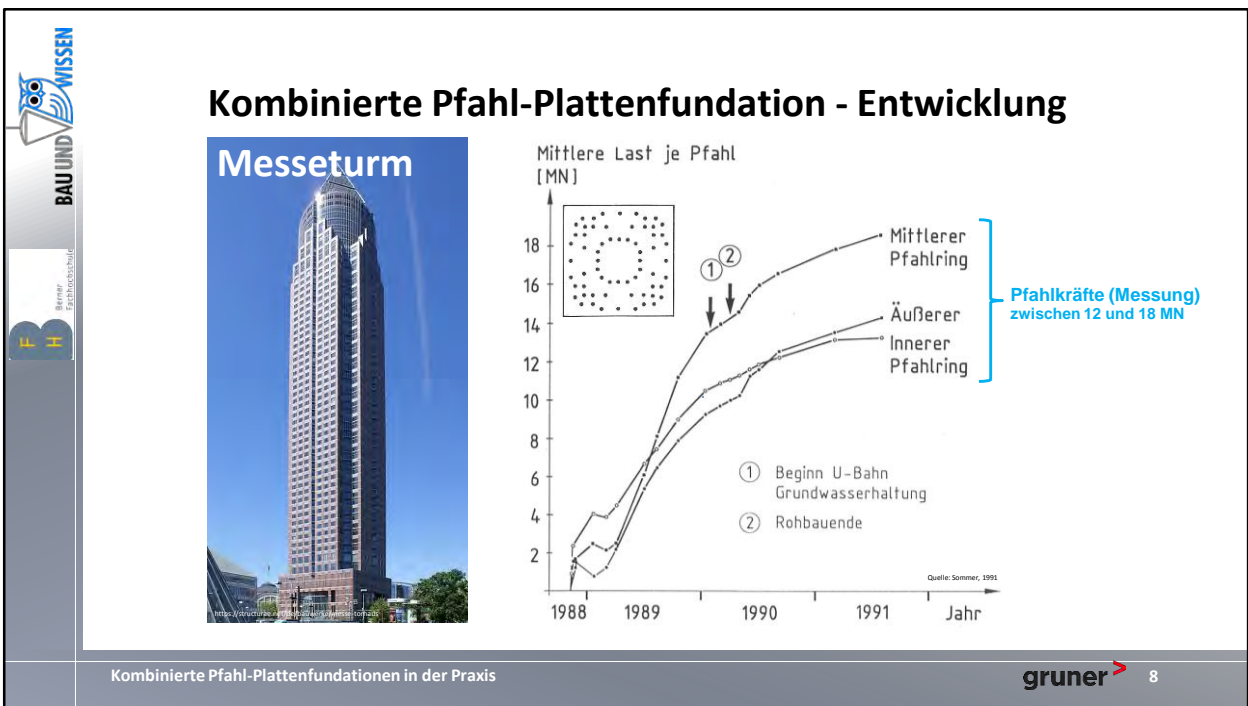
### Messeturm

Der Messeturm ist das 2. auf einer KPP fundierte Hochhaus in Frankfurt. Die Erfahrungen im Zusammenhang mit der Torhaus-Fundation sind in den Fundationsentwurf eingeflossen.

Das Gebäude ist ca. 257 m hoch und wurde 1990 eröffnet.

Die Pfähle haben einen Durchmesser von 1.3 m und eine variable Länge von 27 m bis 35 m. Die Pfahlanzahl beträgt 64.





## Messergebnisse

Für den Messturm wurde eine möglichst gleichmäßige Belastung der Pfähle angestrebt, um eine optimale Baukosteninvestition zu erreichen.

Aus den Erfahrungen beim Torhaus wurden die Pfähle in 3 Ringen mit nach innen zunehmenden Pfahllängen angeordnet. Dadurch wirkten die inneren Pfähle deutlich steifer als beim Torhaus und aktivierten deutlich höhere Lasten.

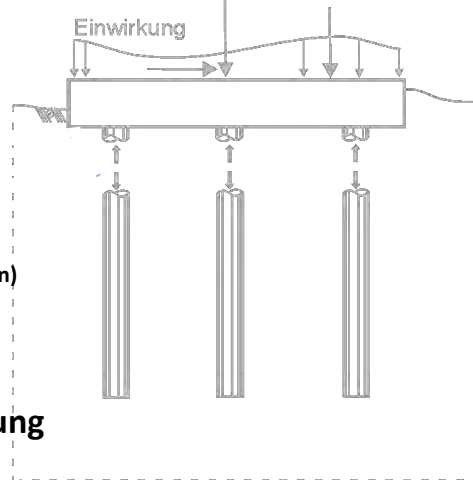
Die Messergebnisse der 12 instrumentierten Pfähle bestätigten die Berechnungsannahmen.

Die Setzungen betragen maximal ca. 14.4 cm.

Im Vergleich dazu wurden bei den flachfundierten Frankfurter Hochhäusern der ersten Generation Setzungen von bis zu 30 cm gemessen.

## Nachweis- und Sicherheitskonzept KPP

- **Ermittlung**
  - Bettungsmodul  $k_s$
  - Pfahlfedersteifigkeit  $C_i$
  - max Pfahlkraft  $N_i$  (Durchstanzen)
- **Bemessung Bodenplatte und Pfähle**
- **Messtechnische Überwachung**



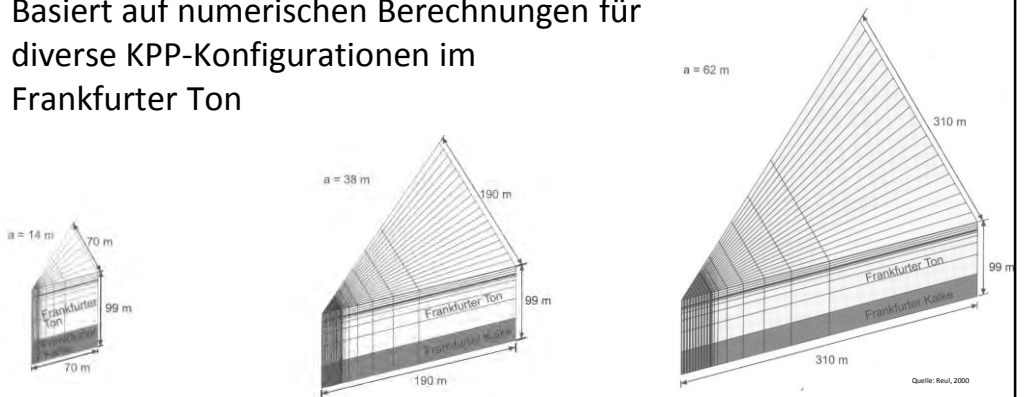
### Nachweiskonzept KPP

Der Ablauf für die Planung und Berechnung einer KPP erfolgt gemäss der dargestellten Aufgaben.

Eine Überwachung ist gemäss KPP-Richtlinie Bestandteil des Nachweiskonzeptes.

## Vereinfachtes Berechnungsverfahren nach Reul, 2000

- Basiert auf numerischen Berechnungen für diverse KPP-Konfigurationen im Frankfurter Ton

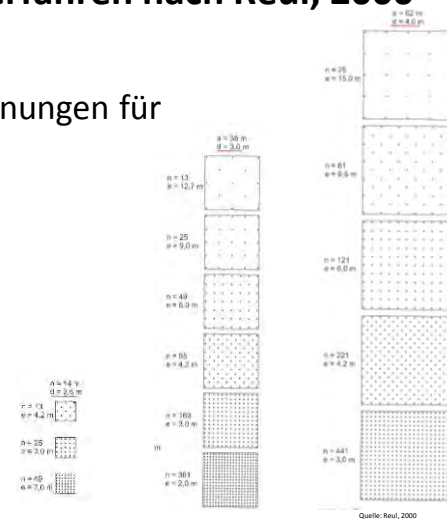


### FEM mit umfangreicher Parametervariation

Um den Planungs- und Berechnungsaufwand einer KPP zu reduzieren, bietet sich z.B. das Verfahren nach Reul (2000) an.

## Vereinfachtes Berechnungsverfahren nach Reul, 2000

- Basiert auf numerischen Berechnungen für diverse KPP-Konfigurationen im Frankfurter Ton



### Parameter

Zahlreiche Parameter wurden in der Studie von Reul variiert:

- Fundamentplattengröße
- Pfahllänge
- Pfahldurchmesser
- Pfahlanzahl
- Lastniveau
- Steifigkeit der Fundamentplatte
- Mächtigkeit des Frankfurter Tons

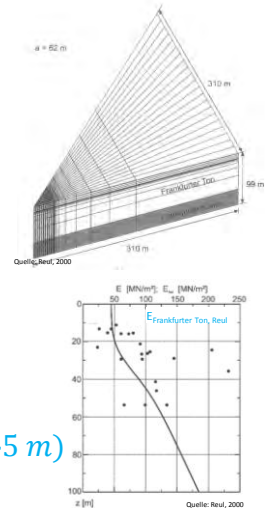
## Vereinfachtes Berechnungsverfahren nach Reul, 2000

- Übertragung auf andere Böden:  
 linearer Ansatz für vergleichbare  
 Baugrundsteifigkeiten

$$f = E_{\text{Projekt}} / E_{\text{Frankfurter Ton}}$$

$$C_{\text{Projekt}} = C_{\text{Reul}} \cdot f$$

$$E_{\text{Frankfurter Ton, Reul}} = 45 \dots 100 \text{ MPa } (z = 0 \dots 45 \text{ m})$$

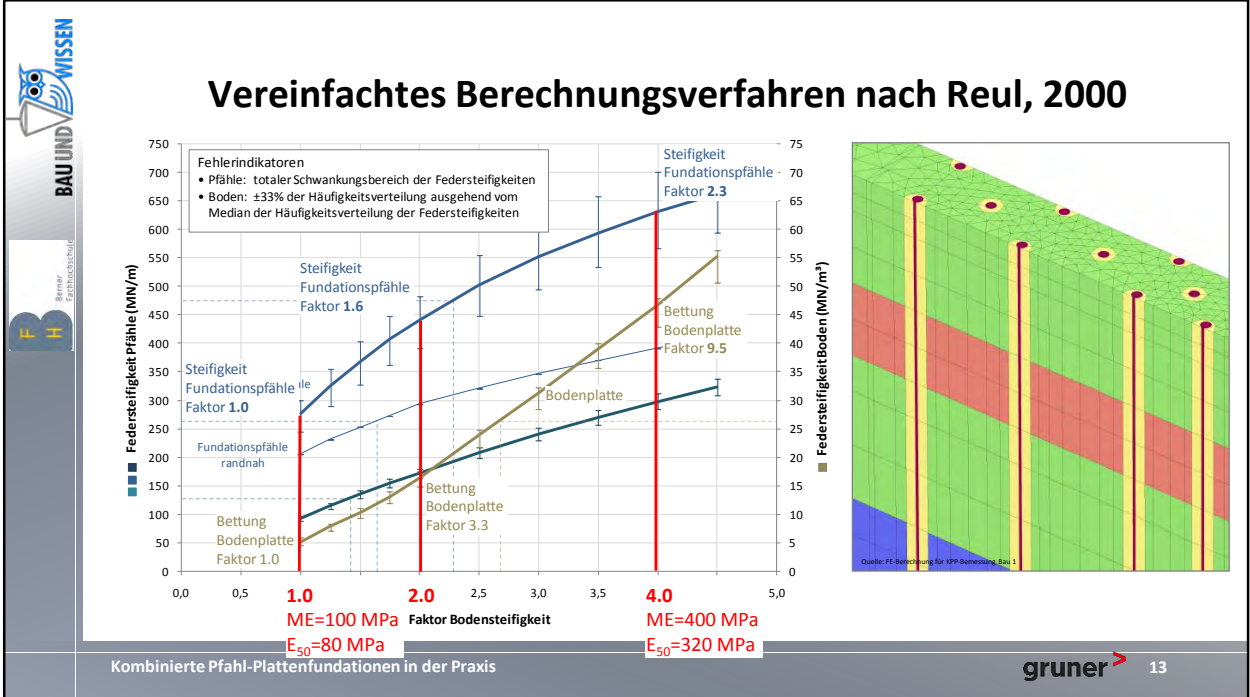


### Reul'sches Verfahren für andere Böden

Das Verfahren von Reul kann nach unserer Einschätzung auf andere Böden mit folgenden Einschränkungen übertragen werden:

- Wenn die Baugrundsteifigkeit mit der Steifigkeit des Frankfurter Tons vergleichbar ist, kann eine lineare Abhängigkeit zwischen E-Modul, Bettungsmodul und Pfahlfedersteifigkeit angenommen werden.
- Wenn die Baugrundsteifigkeit deutlich von der Steifigkeit des Frankfurter Tons abweicht, muss berücksichtigt werden, dass die Bettung überproportional und die Pfahlfedersteifigkeit unterproportional mit dem Baugrundsteifigkeit zunehmen. Ein Beispiel dieser nichtlinearen Abhängigkeit ist für das Projekt Roche Bau 1 (Basler Molasse) auf der nächsten Seite angegeben.

Zum angesetzten E-Modul für den Frankfurter Ton im Berechnungsverfahren siehe Reul (2000), Gleichung 4.6 (tiefenabhängig, z-Kote: Tiefe unter Oberkante Tertiär)




### Reul'sches Verfahren für andere Böden

Das Bild zeigt die nichtlineare Abhängigkeit zwischen

- Bodensteifigkeit
- Bettungsmodul
- Pfahlfedersteifigkeit

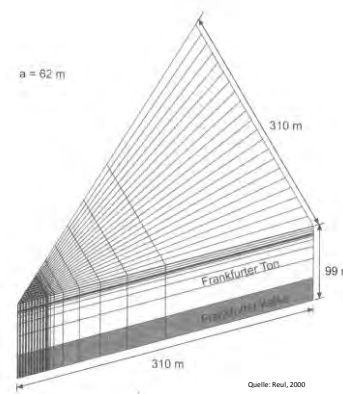
für die KPP von Roche Bau 1 in Basel.

Für die Übertragung auf andere Projekte muss die relativ hohe Pfahldichte infolge des massgebenden Erdbeben-Lastfalls (Erdbeben mit Wiederkehrperiode von 2000 Jahren) berücksichtigt werden.




## Vereinfachtes Berechnungsverfahren nach Reul, 2000

- Geeignet für Vorprojekt oder für einfache Projekte
  
- Empfehlung: Sensitivitätsanalyse mit
  - Unterem Grenzwert der Bodensteifigkeit
  - Erwartungswert der Bodensteifigkeit
  - Oberem Grenzwert der Bodensteifigkeit



Kombinierte Pfahl-Plattenfundationen in der Praxis

 14

### Hintergrund zur Sensitivitätsanalyse-Empfehlung

Wir durften einige KPP begleiten. Diese Erfahrungen und die vielen instrumentierten und dokumentierten KPP zeigen, dass trotz höchster Genauigkeit bei der

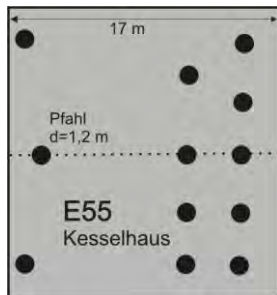
- Parameterbestimmung,
- Planung,
- Berechnung und
- Ausführung von KPP

die Prognose aus diversen Gründen nie ganz bestätigt wird. Deswegen ist es sinnvoll, wie auch in den übrigen Bereichen der Geotechnik, die Berechnungen mit Sensitivitätsanalysen zu ergänzen.

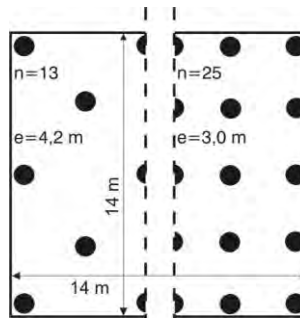
So sollten z.B. 3 Szenarios für den Baugrund abgebildet werden: ungünstige Verhältnisse, Erwartungswert, günstige Verhältnisse.

## Vereinfachtes Berechnungsverfahren nach Reul, 2000

- Beispiel Industriebau im sandigen Baugrund



Projekt, Grundriss KPP



Vereinfachung für Anwendung Tabellenverfahren Reul

### Beispiel für Anwendung des Verfahrens von Reul

Wahl von 2 KPP-Konfigurationen zur Abbildung der Gründung des Kesselhauses

Nähere Infos: Pitteloud et al. (2004)



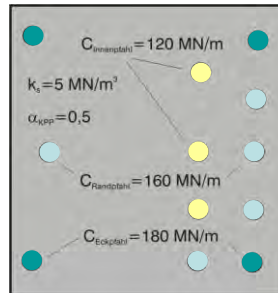
## Vereinfachtes Berechnungsverfahren nach Reul, 2000

- Beispiel Industriebau im sandigen Baugrund

Tabellenwerte für folgende Parameter:

- \* Pfahlänge = 10 m
- \* Pfahldurchmesser  $\phi = 1,0$  bzw. 1,5 m  
 $\Rightarrow$  Mittelwert gewählt für  $\phi = 1,2$  m
- \* Frankfurter Ton  
 $\Rightarrow$  Erhöhung der Tabellenwerte um das Bodensteifigverhältnis
- \* Belastung  $q = 424,2 \text{ kN/m}^2$

Vereinfachung



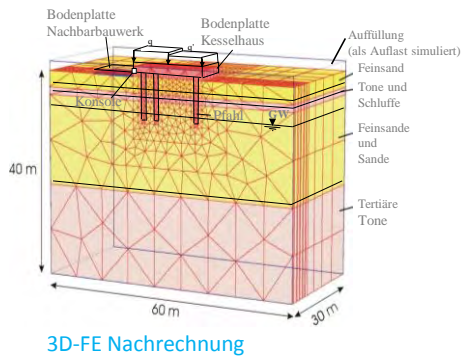
Ergebnis Abschätzung

### Beispiel für Anwendung des Verfahrens von Reul

Abschätzung der Pfahlfedersteifigkeiten für das Kesselhaus ausgehend von Tabellenwerten aus Reul (2000) zur geotechnischen Prüfung.

## Vereinfachtes Berechnungsverfahren nach Reul, 2000

- Beispiel Industriebau im sandigen Baugrund



Vereinfachtes  
Verfahren durch  
unabhängige  
FE-Berechnungen  
bestätigt

Validierung Verfahren mit eigener FE-Berechnung am Beispiel Industriebau

## Weitere vereinfachte Verfahren

- KPP-Last-Setzungs-Verfahren nach Lutz, El-Mossallamy, Richter (2006)
- Verfahren nach Randolph & Wroth (1979) gut zu implementieren in Tabellenkalkulationsprogramm (z.B. EXCEL)
  - linear-elastisches Verfahren, d.h. kein Plastifizieren

Messturm Vergleich Messungen - Computersimulation Wiederholung = 2. Einbaufahrung					
Objektname: ...					
<b>Planformdaten</b>	<b>Pfahlformdaten</b>	<b>Stützlasten</b>			
L: 10.00 m	Ø: 1.00 m	...			
B: 10.00 m	h: 1.00 m	...			
<b>Einbaufahrung</b>	<b>Einbaufahrung</b>	<b>Einbaufahrung</b>	<b>Einbaufahrung</b>	<b>Einbaufahrung</b>	<b>Einbaufahrung</b>
...	...	...	...	...	...
<b>Ergebnisse</b>	<b>Werten</b>	<b>Erw.</b>	<b>Stützlast</b>	<b>Stützlast</b>	<b>Stützlast</b>
Setzung: 10.00 mm	10.00 mm	10.00 mm	10.00 mm	10.00 mm	10.00 mm
...	...	...	...	...	...
<b>Pfahlfedersteifigkeit</b>	<b>Werten</b>	<b>Erw.</b>	<b>Stützlast</b>	<b>Stützlast</b>	<b>Stützlast</b>
...	...	...	...	...	...

### Vereinfachtes Verfahren nach Lutz, El-Mossallamy, Richter

Vor allem zur Ermittlung der erwarteten Setzungen bzw. des Last-Setzungs-Verhaltens der KPP. Keine Ermittlung der Pfahlfedersteifigkeit.

### Vereinfachtes analytisches Verfahren nach Randolph & Wroth

Bildet die Baugrund-Tragwerk-Interaktion zwischen Pfählen und Bodenplatte vereinfachend ab. Ermittlung der Bettung und der Pfahlfedersteifigkeit.

Beide Verfahren sind für einfache Projekte oder Vorstudie ausreichend.

## Weitere vereinfachte Verfahren

Erfahrungswerte aus Messungen und Rückrechnungen

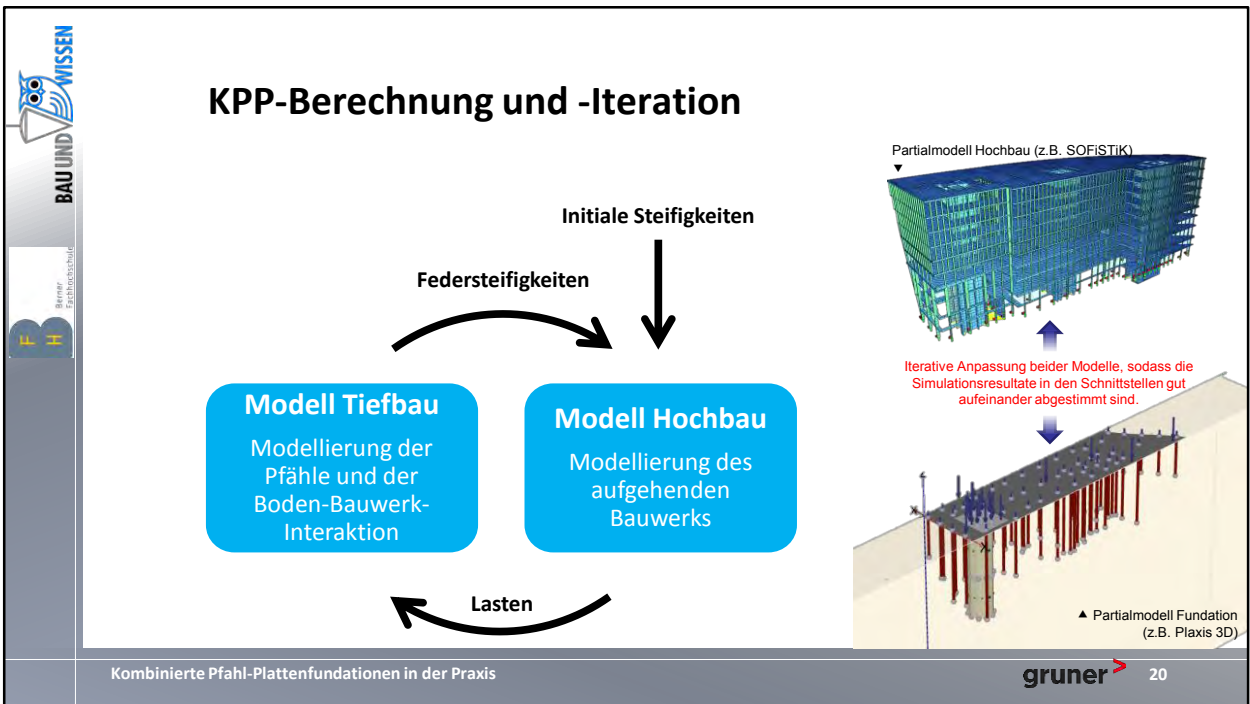
- Literatur: z.B. Ton: Reul (2000), Sand: Pitteloud et al. (2004), ...
- Re-Interpretation der Daten nötig

Projekt	Boden	Gründungsgeometrie					Pfählfedersteifigkeit		Bettung		Quelle
		$\frac{D_{\text{Pfund}}}{d}$ [-]	$\frac{e/d}{[-]}$	$A_{\text{Boden}}$ oder [m <sup>2</sup> ]	$d_{\text{Pfund}}$ [m]	$L_{\text{Pfund}}$ [m]	C [MN/m]		$k_s$ [MN/m <sup>3</sup> ]		
Treptowers Berlin	Sand mitteldicht bis dicht	54	2,8 - 9,2	1380 m <sup>2</sup>	0,9 m	12,5 – 16 m	155 MN/m (Innenpfähle)	170 MN/m (Randpfähle)	3 – 6 MN/m <sup>3</sup>		[3], [4]
Sony-Center Berlin	Sand + 2-5 m Mergel oben	44	2,8 - 5,2	2600 m <sup>2</sup>	1,5 m	15 – 25 m	210 MN/m		3 – 5 MN/m <sup>3</sup>		[3], [4]
Sigma Frankfurt- Niederrad	Sand mitteldicht bis dicht	82	3,0 - 8,0	4550 m <sup>2</sup>	0,9 m	12 – 15 m	130 – 420 l.M.: 270 MN/m e/d=3 ⇒ 130 – 200 MN/m e/d=6 ⇒ 280 – 350 MN/m		Mitte: 0,5 - 2,0	Rand: 4,0 - 8,0	[5]
Kesselhaus Merck Darmstadt	Feinsand und Sand mitteldicht bis dicht	12	2,6 - 8,0	276 m <sup>2</sup>	1,2 m	8,5 m	4 Bemessungsansätze: 1a. 150 MN/m <sup>II</sup> 1b. 200 MN/m <sup>II</sup> Eck Rand Innen 2a. 150 112 90 2b. 200 150 120		Mitte: 3 – 6	Rand: 8 – 10	[6]

Quelle: Pitteloud et al. (2004)

## Erfahrungswerte

Messtechnisch gut dokumentierte Projekte und die daraus abgeleiteten Erfahrungswerte stellen wichtige Referenzwerte dar, die für weitere Projekte wiederverwendet werden können.




## Iteration

Da die Verteilung der Auflagerkräfte (Bettungsspannung, Pfahlkräfte) im Hochbaumodell steifigkeitsabhängig ist, und da die Steifigkeiten im Tiefbaumodell lastverteilungsabhängig sind, müssen zwischen beiden Modellen iterativ Lasten (Auflagerkräfte) und Federsteifigkeiten abgestimmt werden

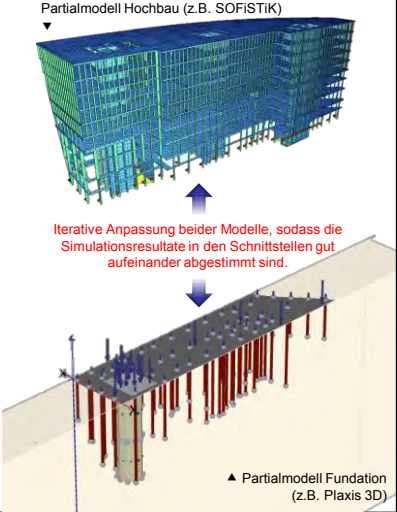
*Hintergrund: Ein Gesamtmodell bestehend aus Tiefbau- und Hochbau-Modellen ist in der Regel nicht zielführend (diverse Nachteile: Eignung Software sowohl für Hochbau- wie Tiefbaumodelle nur beschränkt gegeben (z.B. Stoffgesetze, Lastkombination), Rechenzeit, Komplexität, Nichtlinearität, Wegfall Superpositionsprinzip, Anzahl Lastfälle,...).*

Die manuelle Iteration zwischen Hochbau- und Tiefbaumodellen ist sehr aufwendig.



## Weitere vereinfachende Verfahren - Automatisierung


- Erzeugung Modell Tiefbau
- Koppelung von 2 FE-Modellen (Hochbau- und Tiefbaumodell)
- Automatische Iteration



Partialmodell Hochbau (z.B. SOFISTIK)

▲ Partialmodell Fundation (z.B. Plaxis 3D)

Kombinierte Pfahl-Plattenfundationen in der Praxis


21

### Automatisierung

Durch die Automatisierung der Prozesse des Ein- und Auslesens der Daten bzw. Berechnungsergebnisse kann die Iterationsdauer wesentlich verkürzt werden und der Ingenieuraufwand deutlich reduziert werden.

Der iterative Prozess der Abstimmung der Federsteifigkeiten zwischen Hochbau- und Tiefbau-Modell wird vollkommen automatisiert:

- 1- das Tiefbaumodell wird auf der Grundlage des Hochbau-Modells generiert
- 2- die Lasten werden dem Tiefbau-Modell übergeben
- 3- die Berechnung des Tiefbau-Modells wird durchgeführt
- 4- die Ergebnisse der Tiefbau-Modellberechnung (u.a. Federsteifigkeiten) werden dem Hochbaumodell übergeben
- 5- das Hochbau-Modell wird berechnet und ausgewertet
- 6- Prüfung, ob eine Konvergenz der Iteration erreicht wurde, sonst weiter mit Punkt 2.

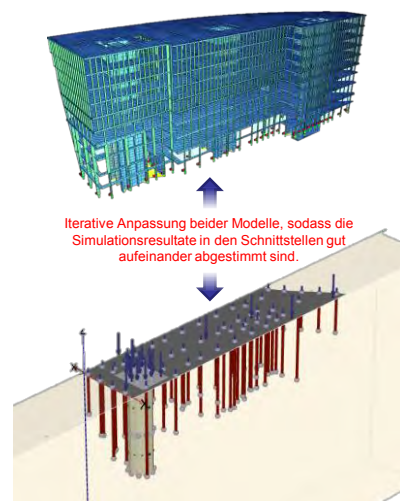
Während einer Iterations-Sequenz bleiben beide Modelle unverändert (Ausnahme sind Lasten und Steifigkeiten).

## Automatisierung

Sinnvoll für:

- komplexe Modelle
- Baukostensparnis  
(ohne Iteration Ungenauigkeit der Federsteifigkeit ca. 10-20%)

Aber hohe Investition (Programmierung)  
für die automatische Koppelung von  
2 FE-Modellen



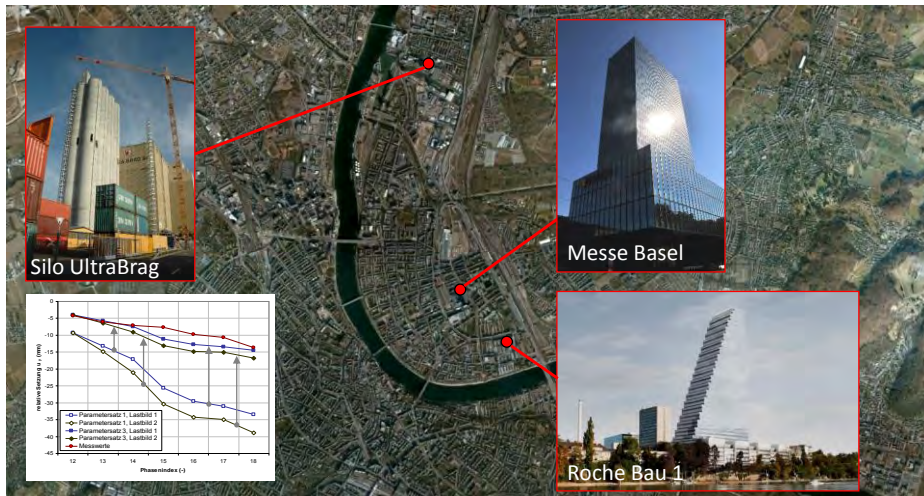
### Einsatzmöglichkeiten

Die automatisierte Iteration ist nur sinnvoll, falls die Lastverteilung steifigkeitsabhängig ist, was in der Regel bei grossen Tragstrukturen der Fall ist.

### KPP-Automatisierung

Die automatisierte iterative Steuerung und Koppelung von 2 FE-Modellen inkl. Pre- und Postprocessing steht auf Anfrage zur Verfügung.

## Weitere Hinweise für KPP - Rückrechnung



Kombinierte Pfahl-Plattenfundationen in der Praxis

gruner 23

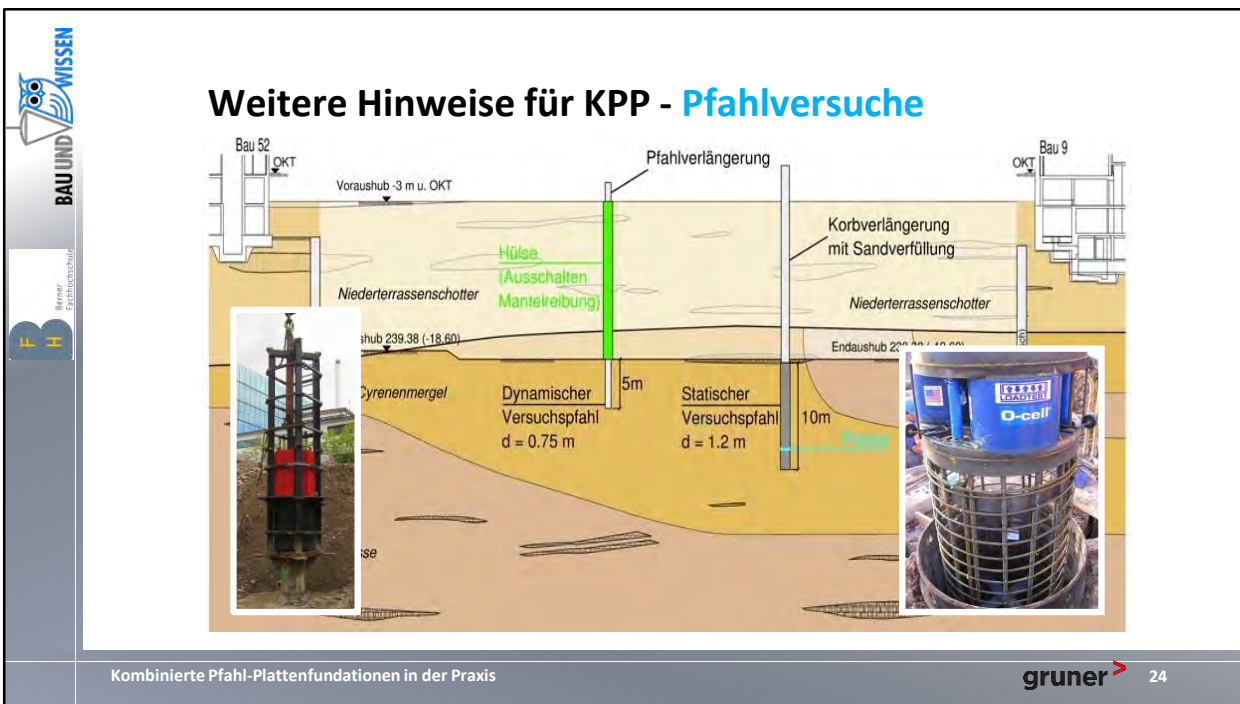
### Kalibrierung

Rückrechnungen erlauben, die Baugrundparameter genau zu kalibrieren.

Am besten sind vergleichbare Bauwerke mit ähnlichen Fundamenttypen.

Rückrechnungen ergeben zum Teil günstigere Baugrundparameter (z.B. Bau 1), da sie "versteckte Sicherheiten" ausweisen.





## Rechtzeitig Pfahlversuche durchführen und Ergebnisse in die Planung einfließen lassen

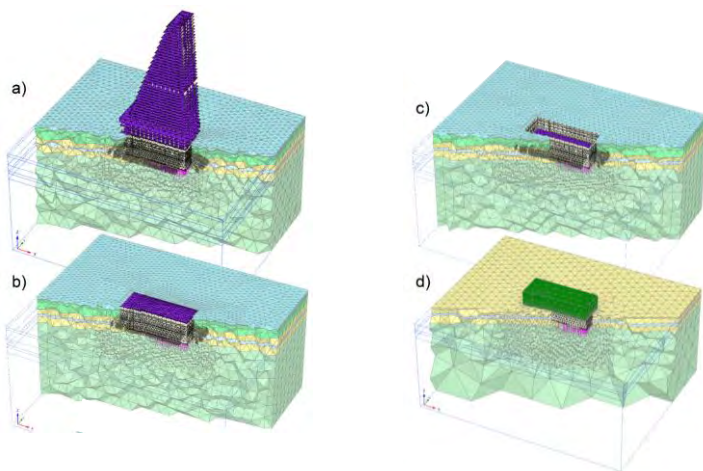
Dynamische und statische Pfahlversuche sind für die Planung von KPP zu empfehlen. Sie ermöglichen eine Kalibrierung des Rechenmodells und erlauben i.d.R. eine Optimierung der Fundation.

Die Versuche müssen frühzeitig ausgeführt werden, so dass die Erkenntnisse rechtzeitig in die Planung einfließen können. Die Anzahl der Versuche muss ausreichend sein.

Der beste Zeitpunkt für die Ausführung der Versuchspfähle ist der Beginn der Spezialtiefbauarbeiten, was folgende Vorteile bietet:

- selber Spezialtiefbauunternehmer für Versuchspfähle wie für Bauwerkspfähle
- Über die restliche Baugrubenherstellung bleibt (knapp) genügend Zeit, um die Versuche durchzuführen, auszuwerten und in der Planung zu berücksichtigen.

## Weitere Hinweise für KPP – FE-Modell



Kombinierte Pfahl-Plattenfundationen in der Praxis

gruner 25

### Diskretisierung

Eigene Untersuchungen zeigen, dass ein FE-Modell Tiefbau (d) mit Fundamentplatte (inkl. Einfluss der versteifenden Wände), Pfählen sowie Baugrund unterhalb der Fundamentplatte (mit Berücksichtigung des nicht modellierten Baugrunds mittels Ersatzlasten) ausreichend ist.


Eine Abbildung der Baugrube (c), des Kellerkastens (b) oder des kompletten Tragwerks (a) ist für übliche Anwendungen nicht nötig.

Eine numerische Simulation eines Teilmodells ist zeitsparend und generell zu empfehlen (Streifenmodell siehe Folie 13 (Bau 1), Viertel- bzw. Achtelmodell siehe Folie 10 (Modell Reul) oder axialsymmetrisch). Nachteilig ist dabei u.a., dass horizontale Lastwirkungen nicht realitätsnah abgebildet werden können.

Die Diskretisierung zwischen den Fundationspfählen muss ausreichend fein sein: sie sollte mindestens 3 Elemente (10 knotige Tetraederelemente) zwischen den jeweiligen Pfählen aufweisen.

Ein mehrfach erprobtes, geeignetes und weit verbreitetes Stoffgesetz ist "Hardening Soil Small Strain".

Weitere Infos siehe Pitteloud & Meier (2018)

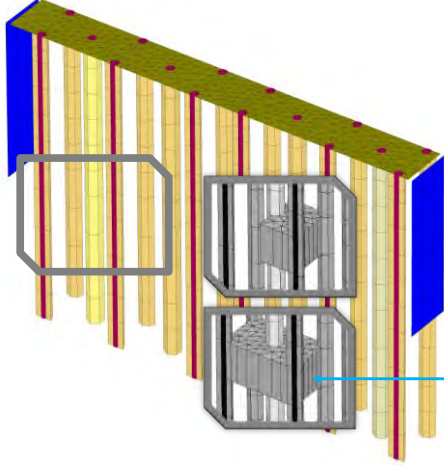


BAU UND WISSEN

Berner Fachhochschule


F H

## Weitere Hinweise für KPP – Durchstanzen



Ermittlung der maximalen Pfahllast (Durchstanzlast) durch Modellierung von Sandsteinbänken in der Molasse (Roche Bau 1, Basel)

Kombinierte Pfahl-Plattenfundationen in der Praxis


26

### Abschätzung Durchstanzlast

Für die Bemessung der Fundamentplatte ist die Definition einer Durchstanzlast erforderlich.

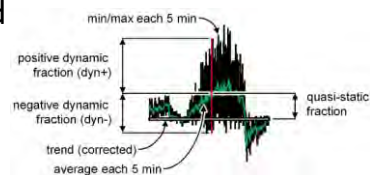
Entweder wird die Durchstanzlast aufgrund eines vorsichtigen oberen Werts der Pfahl-Grenztragfähigkeiten abgeschätzt.

Oder sie wird auf der Grundlage von gesonderten FE-Modellen (siehe oben) mit lokaler Versteifung des Baugrunds bestimmt (zur Berücksichtigung von allfälligen lokalen Kalkstein-, Siltstein- oder Sandsteinbänken).

## Weitere Hinweise für KPP – statisch oder dynamisch?

Erkenntnisse aus windinduzierten Pfahlkräften (Roche Bau 1, Basel):

- ca. 40 % quasi statisch
  - ➔ statischer E-Modul Baugrund
- ca. 60 % dynamisch
  - ➔ dynamischer E-Modul Baugrund



### Windeinwirkungen

Für die numerische Simulation von KPP stellt sich die Frage, ob bei Windeinwirkungen der statische oder dynamische E-Modul eingesetzt werden soll.

Die Auswertung einer instrumentierten KPP über eine 5 Jahres-Periode hat gezeigt, dass Starkwindereignisse sowohl eine

- pseudo-statische wie auch
- eine dynamische Komponente aufweisen.

Da die Starkwindereignisse nur ca. 1 Tag dauern, ist diese Erkenntnis vor allem wichtig für Projekte in nichtbindigen Böden (Sofortsetzungen), wo ein dynamisches Baugrundmodul für die dynamische Komponente der Windeinwirkung eingesetzt werden soll.

Bei bindigen Böden sind die Windeinwirkungen zu kurz und müssen zu 100% mit dem dynamischen E-Modul in der Simulation berücksichtigt werden (analog Erdbeben).

Diese Erkenntnisse wurden im Raum Basel gewonnen.

## Weitere Hinweise für KPP – Messeinrichtung



### Überwachung

Die KPP-Richtlinie empfiehlt, das Tragverhalten der KPP durch Messeinrichtungen zu verifizieren.

Zu üblichen Messeinrichtungen zählen:

- Pfahlkraftmessdosen, Sohldruckgeber, Porenwasserdruckgeber, Setzungsbolzen

Weniger üblich sind:

- Extensometer, Dehnmessgeber im Pfahl (IME, Glasfaser o. ä.), Pfahlfussmessdose

Beim Einbau der Pfahlkraftmessdosen und der Sohldruckgeber ist besondere Vorsicht geboten. Dem Unternehmer müssen klare Anweisungen gegeben werden und die Ausführung muss überwacht werden.

Die Verkabelung der Einrichtung erfolgt in schmalen Kabelkanälen in der Sauberkeitsschicht. Nach der Verfüllung werden die Kabeltrassen sowie alle Messeinrichtungen mit Farbe gekennzeichnet, so dass eine Beschädigung durch nachfolgende Arbeiten möglichst vermieden wird. Im Anschluss kann mit dem Bewehren der Bodenplatte begonnen werden. Die Kabel werden im Zwickel der Bohrpfahlwand in einem gut geschützten Sammelhüllrohr bis zum künftigen Messraum geführt.

Bildlegende zum Einbau einer Pfahlkraftmessdose:

- 1 – Setzen der doppelten Stahl-Hülse mit Fettzwischenicht
- 2 – Betonieren des Pfahlkopfes
- 3 – Mörtelbett und Setzen der Pfahlkraftmessdose, Schutz mit Stahlplatte
- 4 – Verfüllung mit Tonpellets und mit EPS (Vermeidung von Lastbrücken)
- 5 – Verschliessen der Sauberkeitsschicht
- 6 – Markierung der Kabel auf der Sauberkeitsschicht

## Fazit

- KPP – komplexes Tragwerk
- Hilfsmittel Tragverhalten:
  - Tabelle Reul
  - Vereinfachte Verfahren
  - Erfahrungswerte
  - Automatisierte Iteration



## KPP

Interessant für Bauherr (Baukosten, Bauzeit, geringere Setzungen).

Anspruchsvoll und herausfordernd für den Planer.

Einige vereinfachende Verfahren stehen zur Verfügung.



Danke



Quelle: Roche (2019)

## Links


- Literatur: [www.gruner.ch/lnk/geotechlit](http://www.gruner.ch/lnk/geotechlit)



- Referenzen: [www.gruner.ch/lnk/geotech](http://www.gruner.ch/lnk/geotech)




## Links zu Literatur



## Literatur

**Literaturverzeichnis >>> bitte unten im Notizenfeld eingeben**

- **Schnell mit "Ansicht > Notizen" klicken oder**
- **Umfassend mit Formatierung Fett Aufzählung und dergleichen "Ansicht > Notizenseite"**



Kombinierte Pfahl-Plattenfundationen in der Praxis
32

## Literatur


- Lutz, B.; El-Mossallamy, Y.; Richter, Th. (2006): Ein einfaches, für die Handrechnung geeignetes Berechnungsverfahren zur Abschätzung des globalen Last-Setzungsverhaltens von Kombinierten Pfahl-Plattengründungen (HA) 61, Bauingenieur 81, S. 61-66
- Katzenbach, R. et al. (2000) Richtlinie für den Entwurf, die Bemessung und den Bau von Kombinierten Pfahl-Plattengründungen (KPP), Fraunhofer IRB Verlag, T 2907
- Pitteloud L., J. Meier (2017), Statische und dynamische Versuche an Bohrpfähle in der Molasse in Raum Basel, Burgdorfer Geotechniktag, Bau und Wissen
- Pitteloud, L. (2012): Baugrube und Foundation des höchsten Hauses der Schweiz (Roche Bau 1), Herbsttagung der Geotechnik Schweiz, Basel.
- Pitteloud (2012): Pfahlbemessung nach SIA 267 – Erfahrungen aus der Praxis, Frühjahrstagung der Geotechnik Schweiz, Olten.
- Pitteloud, L. (2014): Basels neues Hochhaus auf festem Grund, TEC 21.
- Pitteloud, L., Frössl B., Gündling N. (2004) Tragverhalten einer kombinierten Pfahl-Plattengründung im sandigen Baugrund. Technische Akademie Esslingen
- Randolph M. F., Wroth C. P. (1979) An Analysis of the vertical deformation of pile groups, Géotechnique 29, No. 4, 423-439
- Reul, O. (2000), In-situ-Messungen und numerische Studien zum Tragverhalten der kombinierten Pfahl-Plattengründung, Dissertation, TU Darmstadt, Institut für

Geotechnik, Darmstadt.

Sommer, H. (1986), Kombinierte Pfahl-Plattengründung eines Hochhauses im Ton, Baugrundtagung, Nürnberg

Sommer, H., Katzenbach R., DeBenedittis Ch. (1990), Last-Verformungsverhalten des Messeturms Frankfurt/Main, Baugrundtagung, Karlsruhe

Sommer, H., Hofmann H. (1991), Last-Verformungsverhalten der Gründung des Messeturms Frankfurt/Main, Festkolloquium Grundbauinstitut Prof. Dr.-Ing. Sommer und Partner



## Kurz-CV

**Titel Vorname Name**  
 Kurz-CV bitte unten auf Notizenseite eingeben

- Schnell mit "Ansicht > Notizen" klicken oder
- Umfassend mit Formatierung Fett Aufzählung und dergleichen  
 "Ansicht > Notizenseite"

Kombinierte Pfahl-Plattenfundationen in der Praxis

gruner 33

### Kurz-CV

#### dipl.-Bauing. (ETH) Laurent Pitteloud

1996            Abschluss an der EPFL **Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne**  
 1996 – 2005 **Krebs und Kiefer Beratende Ingenieure für das Bauwesen GmbH**,  
 Darmstadt/Berlin: Projektingenieur/-leiter Abteilung Geotechnik  
 2005 – 2008 **Gruner AG**, Abteilung Geotechnik, Projektleiter, ab 2008 Senior  
 Projektleiter  
 seit 2009        **Gruner AG**, Abteilung Geotechnik, Abteilungsleiter

#### Dr.-Ing. Jörg Meier

2003            Abschluss an der **Technischen Universität Bergakademie Freiberg**  
 2003 – 2008 **Bauhaus-Universität Weimar** und **Universität Erlangen-Nürnberg**,  
 Promotion  
 seit 2008        **Gruner AG**, Abteilung Geotechnik, Projektleiter, ab 2014 Senior  
 Projektleiter