



Berner Fachhochschule  
Haute école spécialisée bernoise  
Bern University of Applied Sciences



# Ungespannte Anker: Systemkomponenten, Wirkung, und Einflussfaktoren

M. Schwarz

Zürich, 24.06.18

# Ziele

- ✓ Einführung Begriffe und Komponenten eines Ankers
- ✓ Zusammenhang analysieren zwischen einzelnen Komponenteneigenschaften und gesamtem System
- ✓ Grundlagen für die Interpretation der Prüfergebnisse schaffen
- ✓ Mögliche Erweiterungen diskutieren

# Inhalt

- ✓ Definition und Begriffe
- ✓ Zugglied: Typen und Eigenschaften
- ✓ Zugglied-Mörtel: Interaktion unter Zugbelastungen
- ✓ Mörtel-Boden/Fels Interaktionen: Mantelreibung, Verformung
- ✓ Verhalten von Ankersystemen: Analyse Kraft und Verformung, mobilisierte Mantelreibung entlang des Ankers, statische vs. dynamische Belastungen
- ✓ Interpretation Ausziehversuche und Ankerprüfung

# Ankertypen

Fundationstypen:

- ✓ Grundplatten
- ✓ Beton
- ✓ Anker

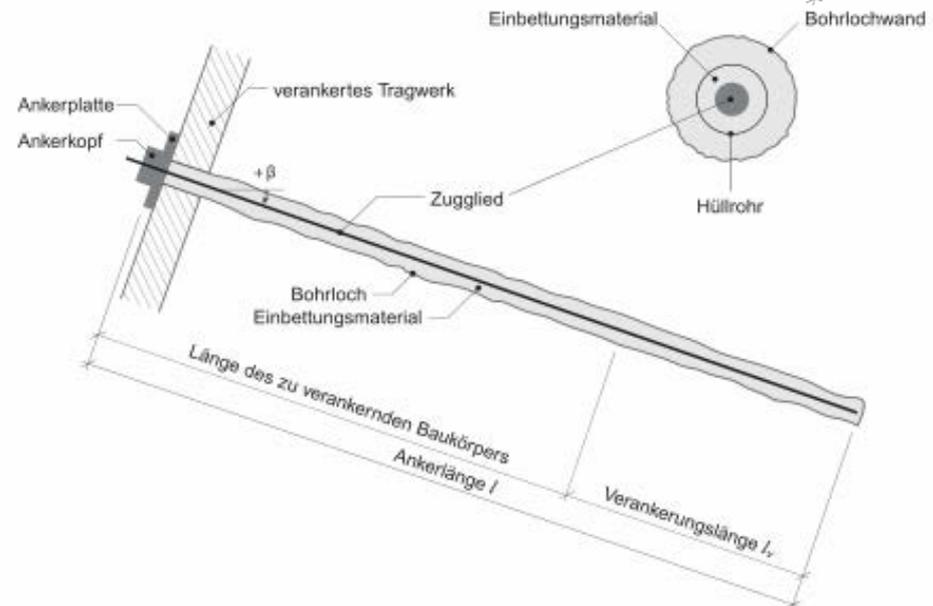
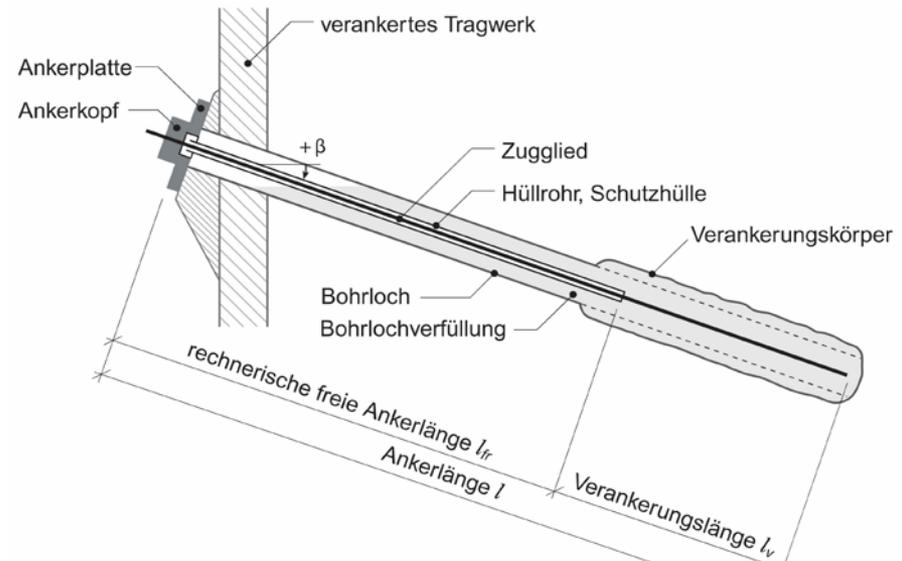
Anker: Bauelement, das über ein Zugglied Kraft in den Baugrund überträgt (SIA-267,2013, Kap. 1.1)



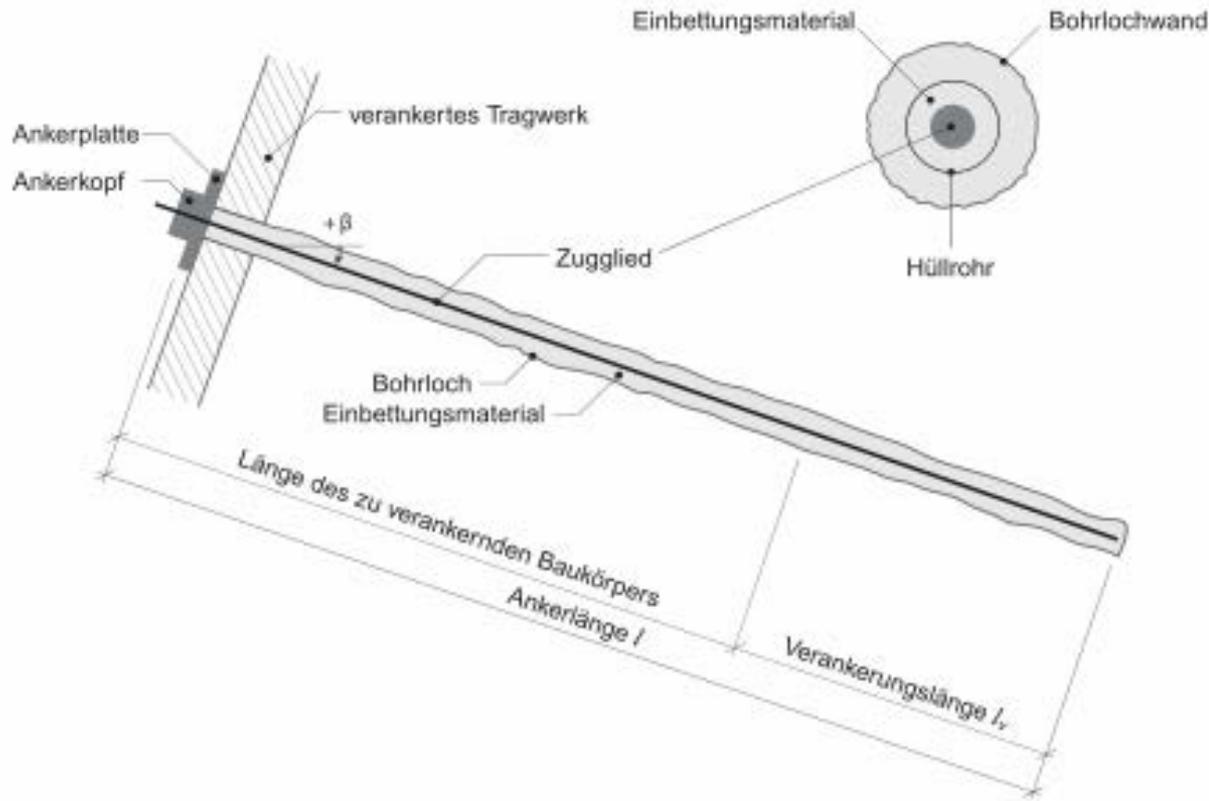
# Ankertypen

Anker je nach Belastung:

- ✓ Druck: **Pfahl**
- ✓ Zug-ungespannt (mit Vollverbund): **Nagel**
- ✓ Zug-vorgespannt: **Anker** (Verpressanker)
- ✓ Querkräfte (Scherung, Biegung, Zug): **Dübel**



# Ungespannte Anker: Nagel



Komponenten:

- ✓ Zugglied
- ✓ Einbettungsmaterial (Mörtel)
- ✓ Ankerkopf
- ✓ (Hüllrohr)
- ✓ Baugrund (Fels oder Boden)

# Ungespannte Anker: Unterschiedliche Bauvarianten

- ✓ **Hüllrohr:** erhöht Stabilität und Korrosionsschutz
- ✓ **Bohrlochstützrohr:** Stabilisierung von Bohrlochwänden
- ✓ **Stabilitätsrohr:** stabilisiert Ankerkopf bei Querbelastungen
- ✓ **Distanzhalter:** dient zur Zentrierung der Zuglieder im Bohrloch
- ✓ **Gewebesack:** vermeidet den Verlust von Einbettungsmaterial



# Sprenganker

(Mengelt, 1986)

a- Bohren

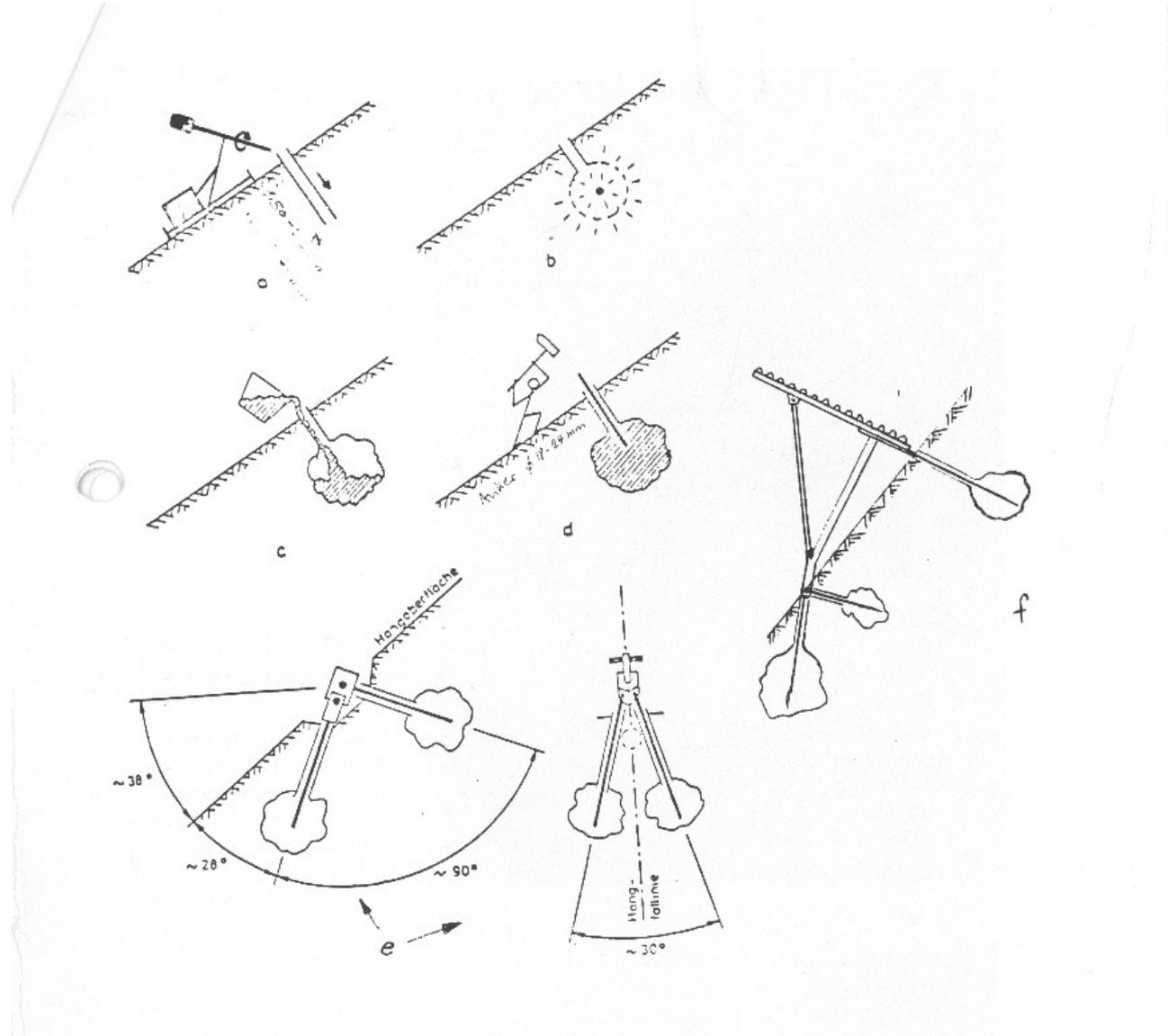
b- Elektrische Sprengung am unteren Bohrende

c- Eingiessen von Mörtel

d- Einschieben der Ankerstangen

e- Anordnung talseitige Anker

d- montierte Stahlschneebrücke



# Zugglied

Zuggliedtypen:

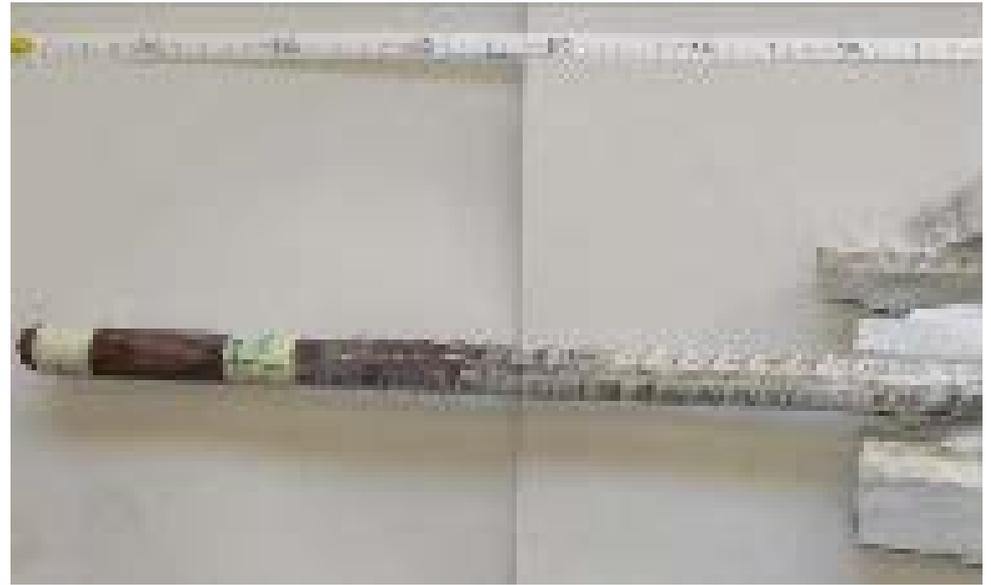
- ✓ Stab
- ✓ Seil

Anzahl Zugglieder:

- ✓ Einstabanker
- ✓ Bündelanker (Litzen)

Material:

- ✓ Stahl
- ✓ GFK (glasfaserverstärkter Kunststoff)

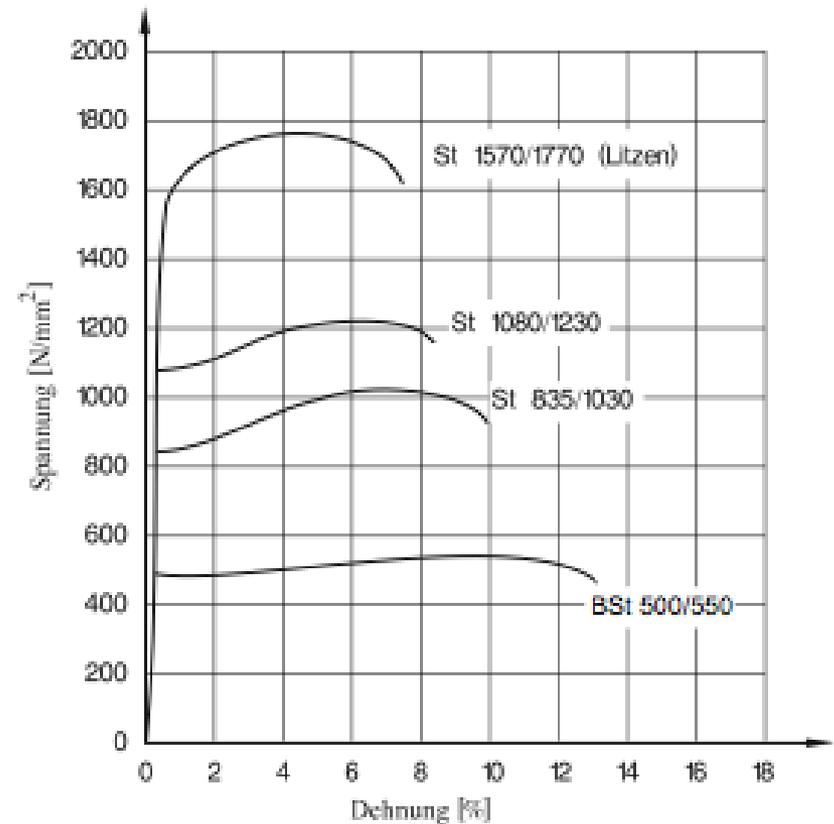


# Zugglied

## Zugfestigkeit:

- ✓ Der charakteristische Wert der Spannung bei 0,2 % bleibender Dehnung wird als  $f_{t,0.2,k}$  bezeichnet.
- ✓ „In der Herstellung unterscheiden sich die vorgenannten Spannstähle in ihrer chemischen Zusammensetzung und in ihrer Nachbehandlung“

Grösse	SWISS GEWI						
Nenndurchmesser [mm]	16	20	25	28	32	40	50
Stahlquerschnitt [mm <sup>2</sup> ]	201	314	491	616	804	1257	1963
Stahlgewicht roh [kg/m]	1.58	2.47	3.85	4.83	6.31	9.87	15.41
Fließgrenze $f_{yk}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	500	500	500	500	500	500	500
Rippendurchmesser [mm]	19	23	29	32	37	45	56
charakt. Wert des inneren Tragwiderstandes (Zug) $R_{t,k}$ [kN] (Vergleichswerte mit Abrostung 4 mm)	101 (57)	157 (101)	245 (173)	308 (226)	402 (308)	628 (509)	982 (831)

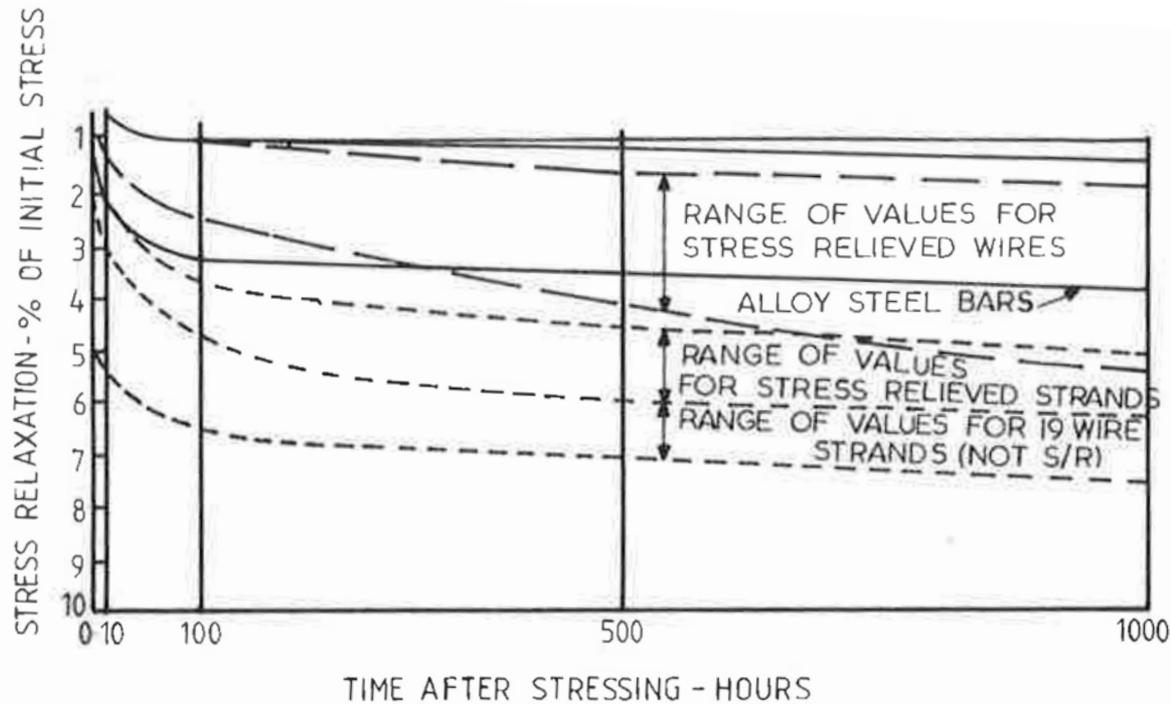


(Schmidt et al., 2014)

# Zugglied

Elastizitätsmodul (E) kann ändern auf Grund:

- ✓ Prüfmethode (z.B. Dimensionen der Probe)
- ✓ Kriech-Effekte (Plastische Verformungen)
- ✓ „Relaxation“-Effekte ~ 1-5%  
Dieser Effekt hängt ab von Zeit, Temperatur und Zuggliedtyp (Stab vs. Seil)



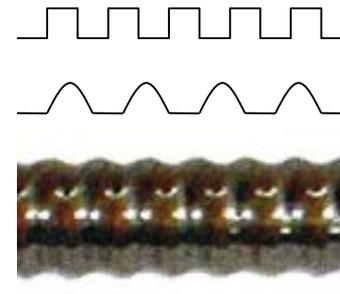
(Littlejohn and Bruce, 1975)

$E \sim 200 \text{ kN/mm}^2$  (170-220)

# Interaktion Zugglied-Einbettungsmaterial

## Hauptfunktionen:

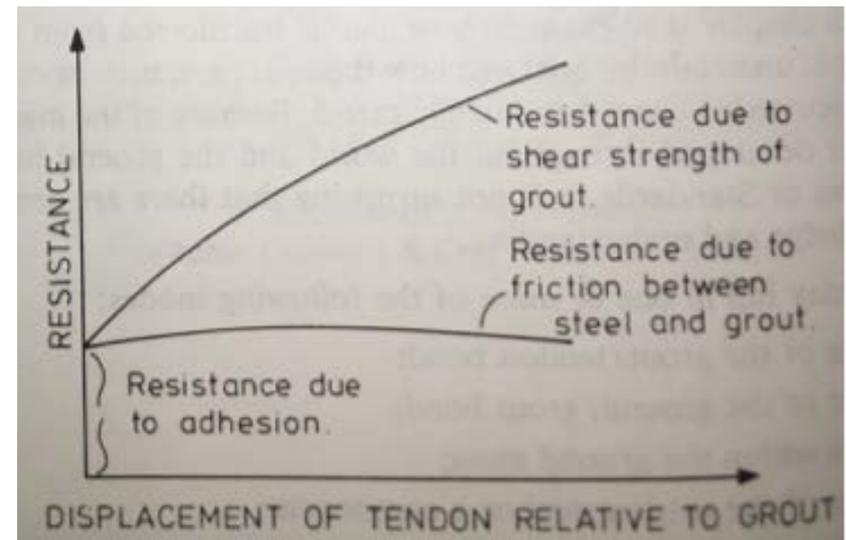
- ✓ Übertragung der Kräfte in den Baugrund
- ✓ Korrosionsschutz



## Eigenschaften:

- ✓ Normalweise übernimmt keine Zugspannungen (-> Rissbildung)
- ✓ Mantelreibung  $\sim 0.7-11 \text{ N/mm}^2$

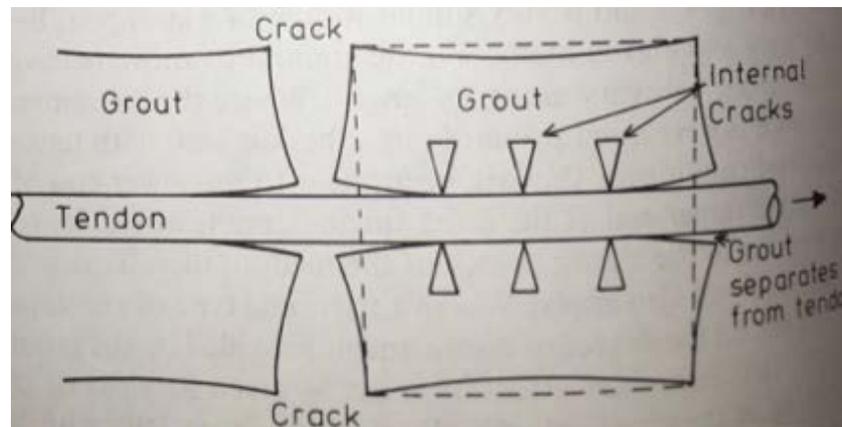
(Hanna, 1982)



# Interaktion Zugglied-Einbettungsmaterial

Hauptfunktionen:

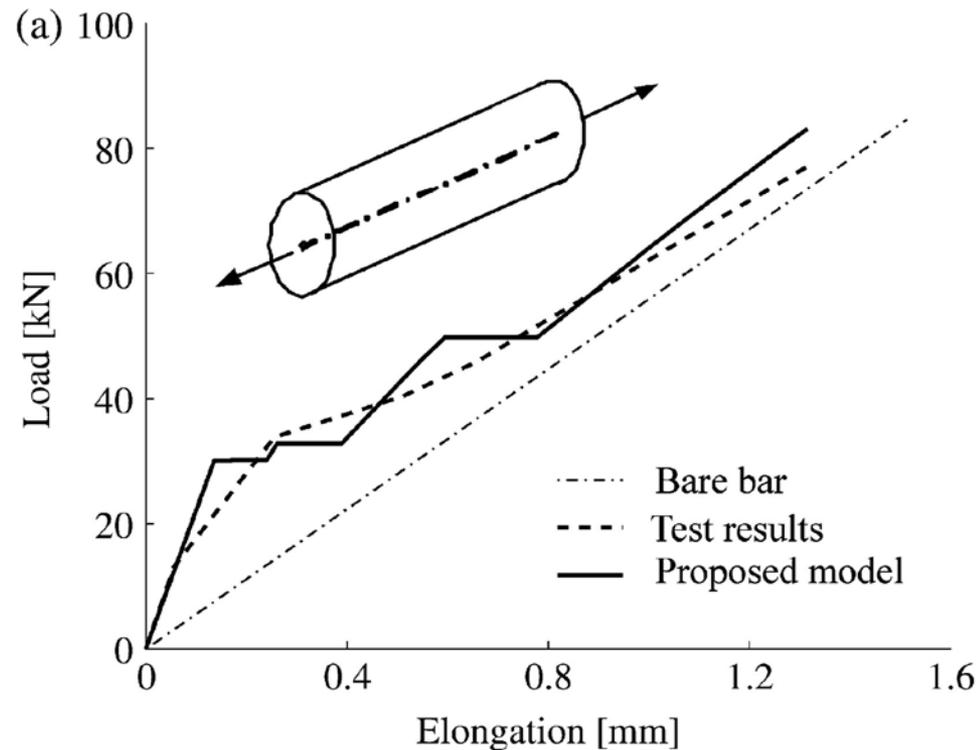
- ✓ Wenn das Einbettungsmaterial (Mörtel) keine Zugkraft aufnehmen kann, entstehen Risse.
- ✓ Je nach Dimensionen des Querschnittes wird die Steifigkeit der Anker beeinflusst



(Hanna, 1982)

# Interaktion Zugglied-Einbettungsmaterial

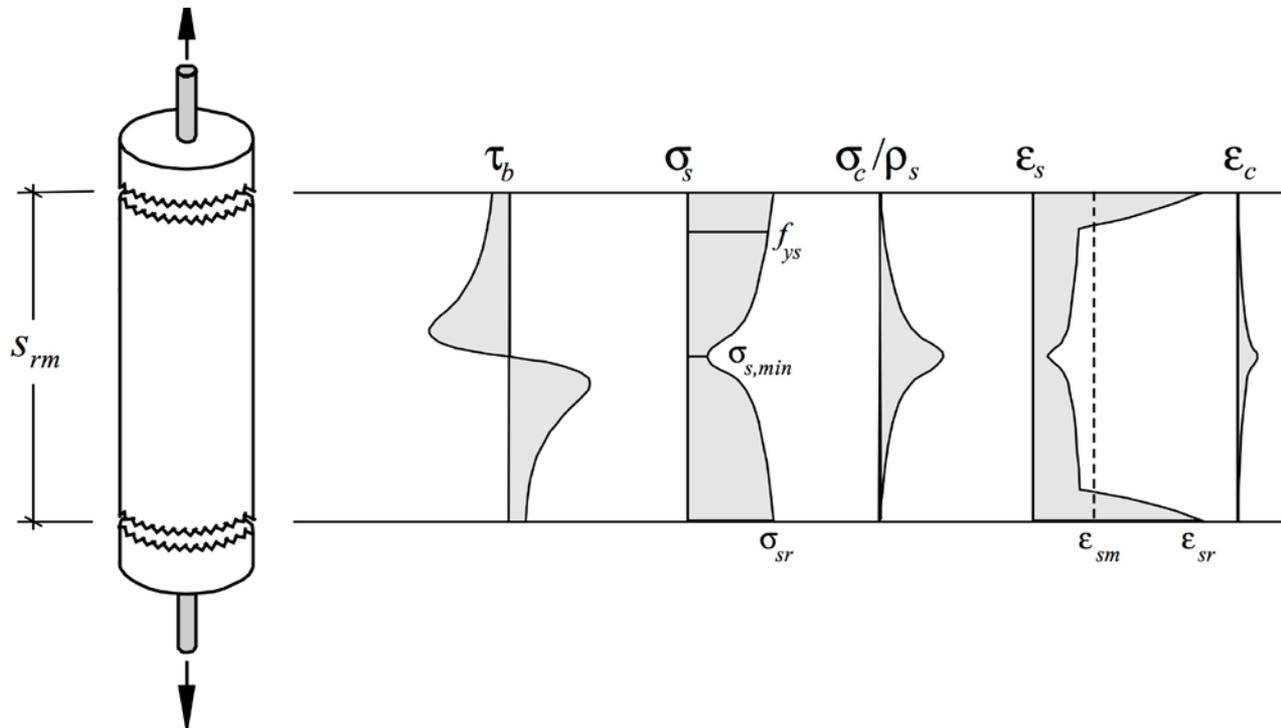
## Zuggurt Modell: progressive Rissbildung im Beton



(Houde and Mirza, 1992)

# Interaktion Zugglied-Einbettungsmaterial

## Versteifendes Verhalten des Stahl-Betons

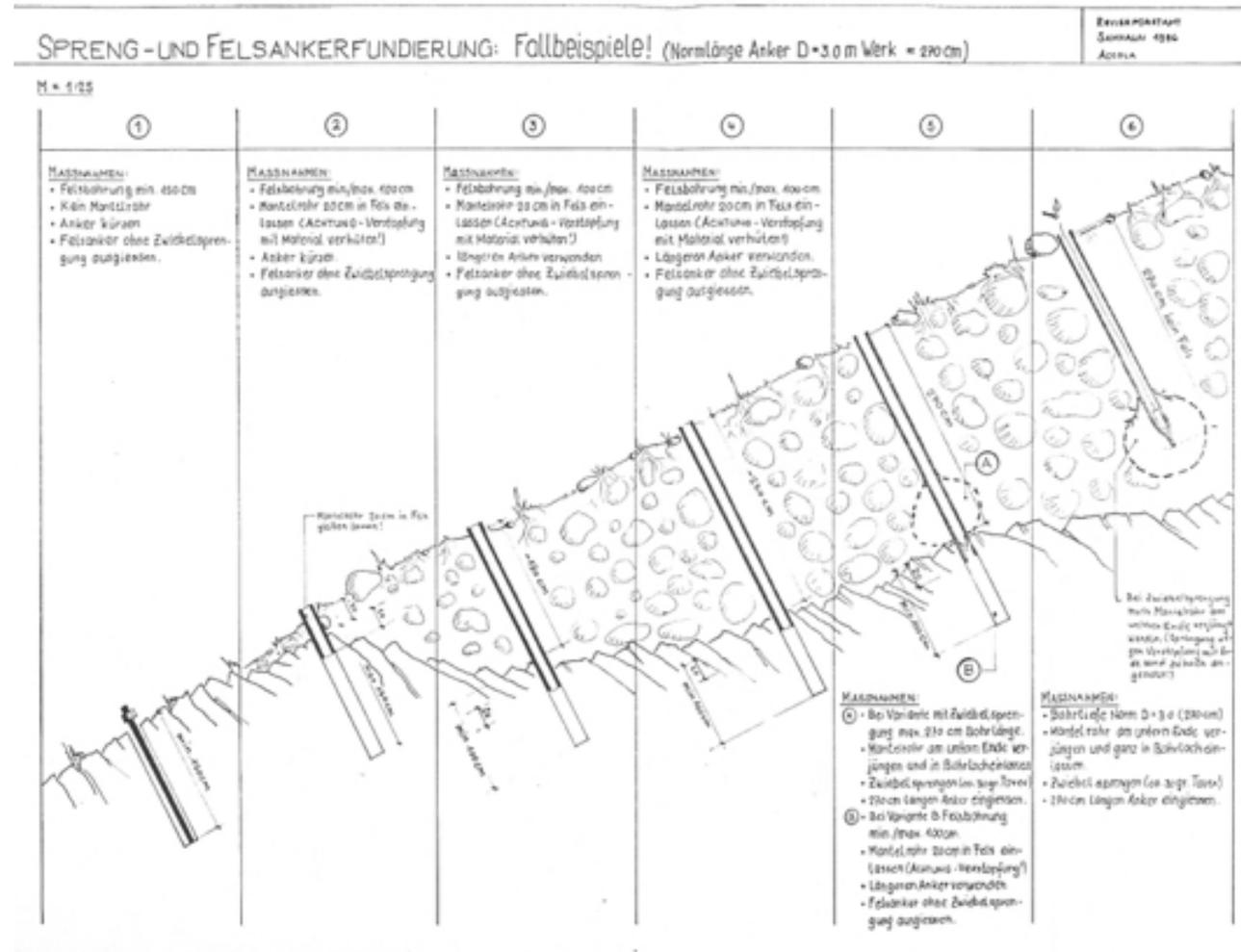


$\tau_b$  Verbundspannung Beton

$\epsilon_s$  Dehnung Stahl

$\sigma_s$  Zugspannung Stahl

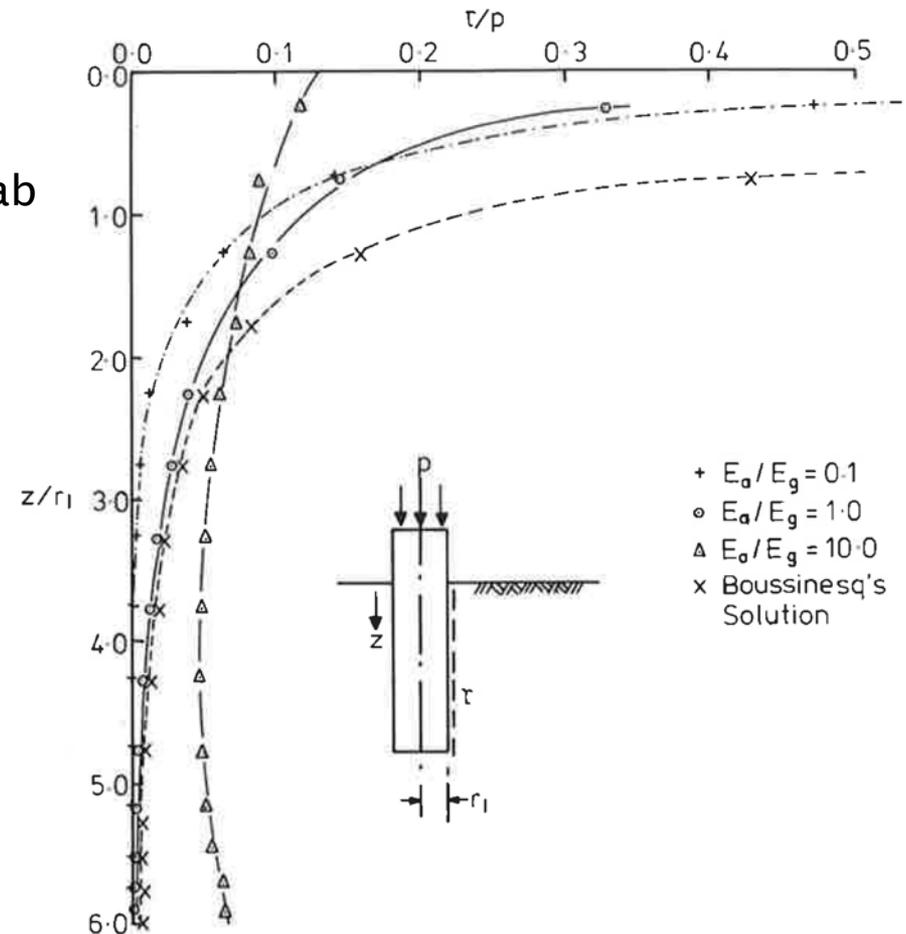
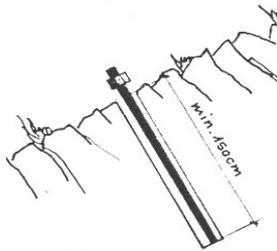
# Interaktion Einbettungsmaterial-Baugrund



# Interaktion Einbettungsmaterial-Baugrund: Fels

## Eigenschaften:

- ✓ Verteilung der Mantelreibung hängt ab von der relativen Steifigkeit zwischen Anker und Baugrund ( $E_a/E_g$ )
- ✓ Mantelreibung  $\sim 0.2 - 6 \text{ N/mm}^2$
- ✓  $R_{a,k} \sim 100-250 \text{ kN/m}$

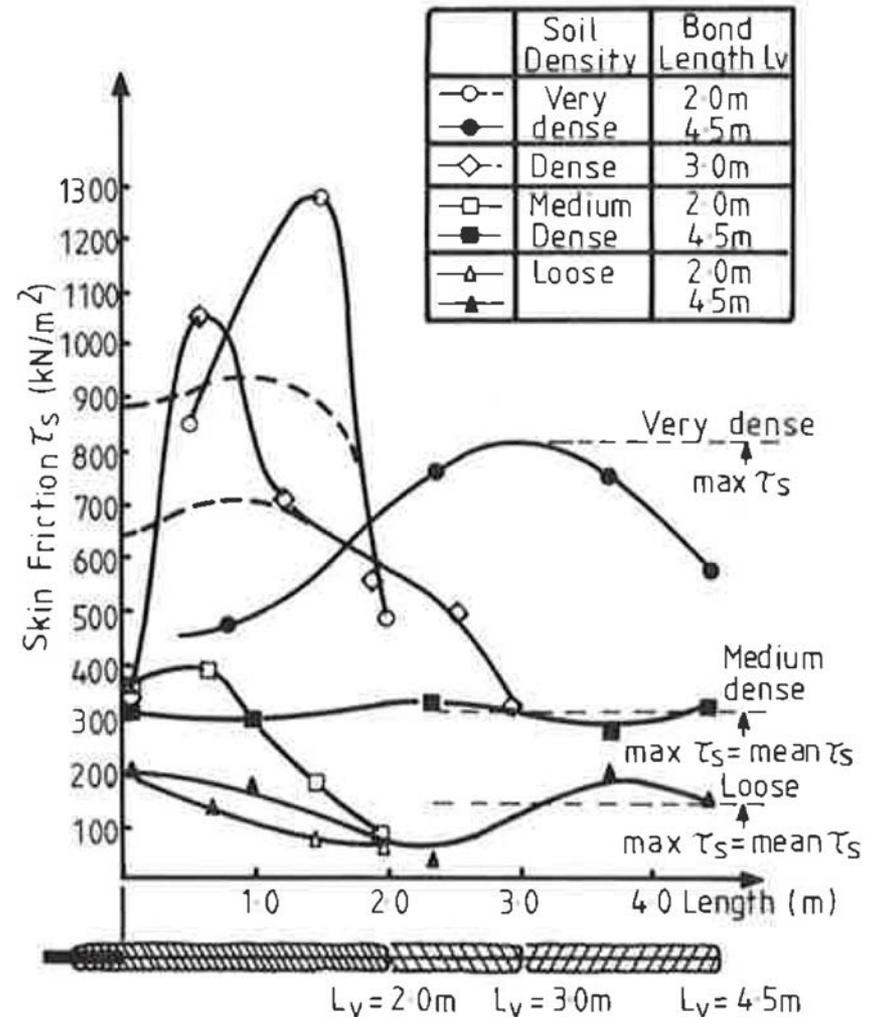
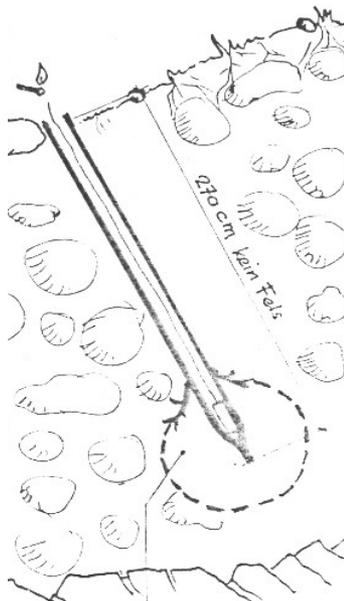


(Hanna, 1982)

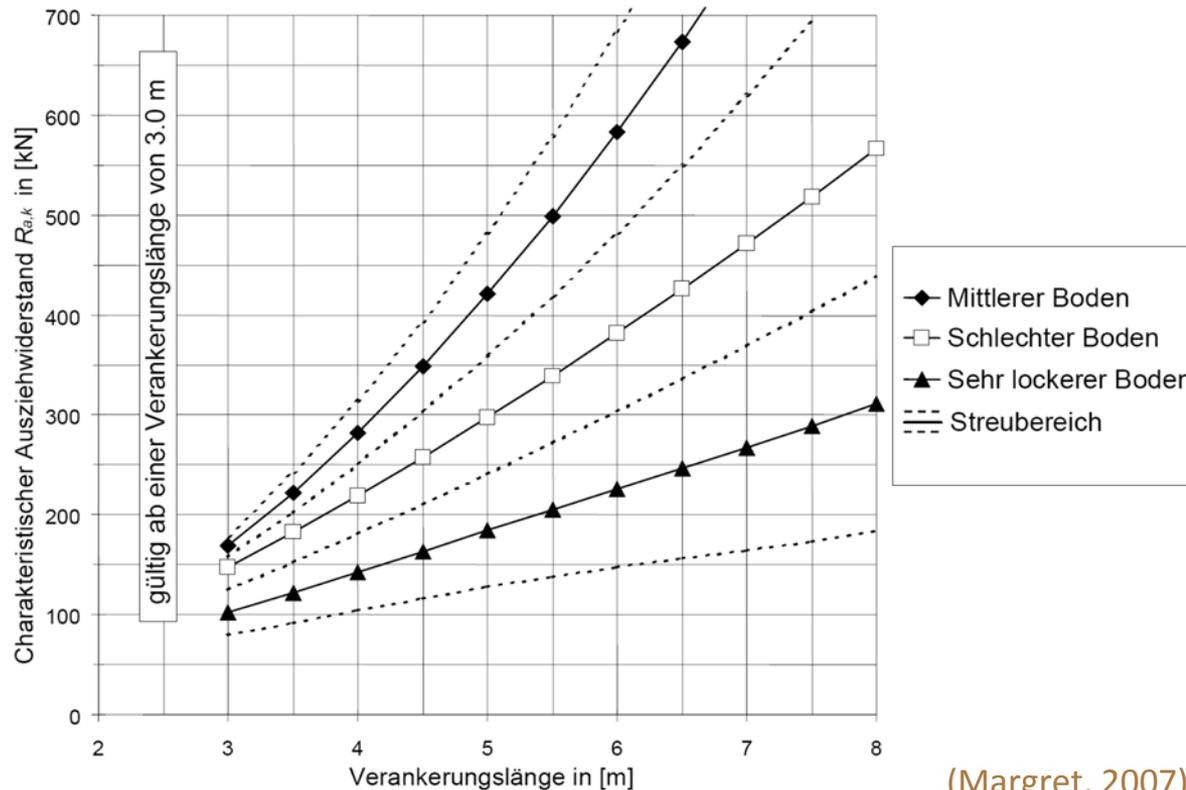
# Interaktion Einbettungsmaterial-Baugrund: Boden

Eigenschaften:

- ✓ Verteilung der Mantelreibung hängt vor allem von Heterogenität des Bodens ab
- ✓ Mantelreibung  $\sim 0.1 - 1.5 \text{ N/mm}^2$
- ✓  $R_{a,k} \sim 10-180 \text{ kN/m}$



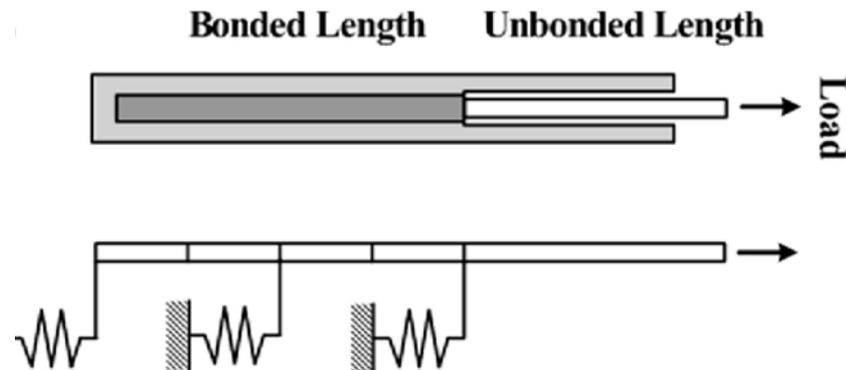
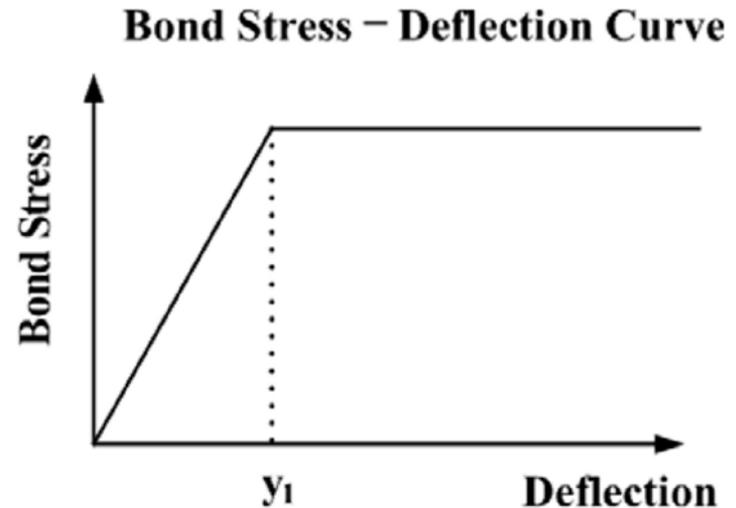
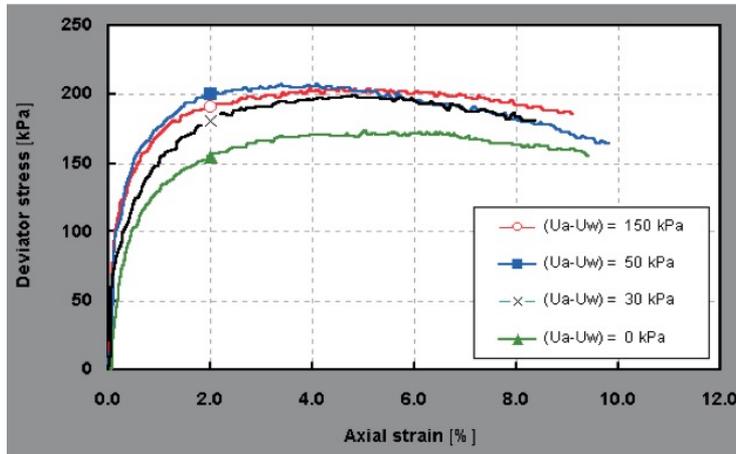
# Interaktion Einbettungsmaterial-Baugrund: Boden



- Mittlerer Boden: Dicht gelagert mit kohäsivem Feinmaterial (z.B. grober Blockschutt mit Anteilen an bindigem Feinmaterial, trockener Kiessand).  
 Schlechter Boden: Locker gelagert, mit kohäsionslosem, nicht bindigem Feinmaterial mit tiefem Reibungswinkel (z.B. feuchte, feinkörnige Verwitterungsprodukte, die nur eine schlechte Verzahnung zwischen Anker und Boden erlauben), Geröllhalden.  
 Sehr lockerer Boden: Sehr locker gelagert, humusartig, mit Hohlräumen.

# Interaktion Einbettungsmaterial-Baugrund: Boden

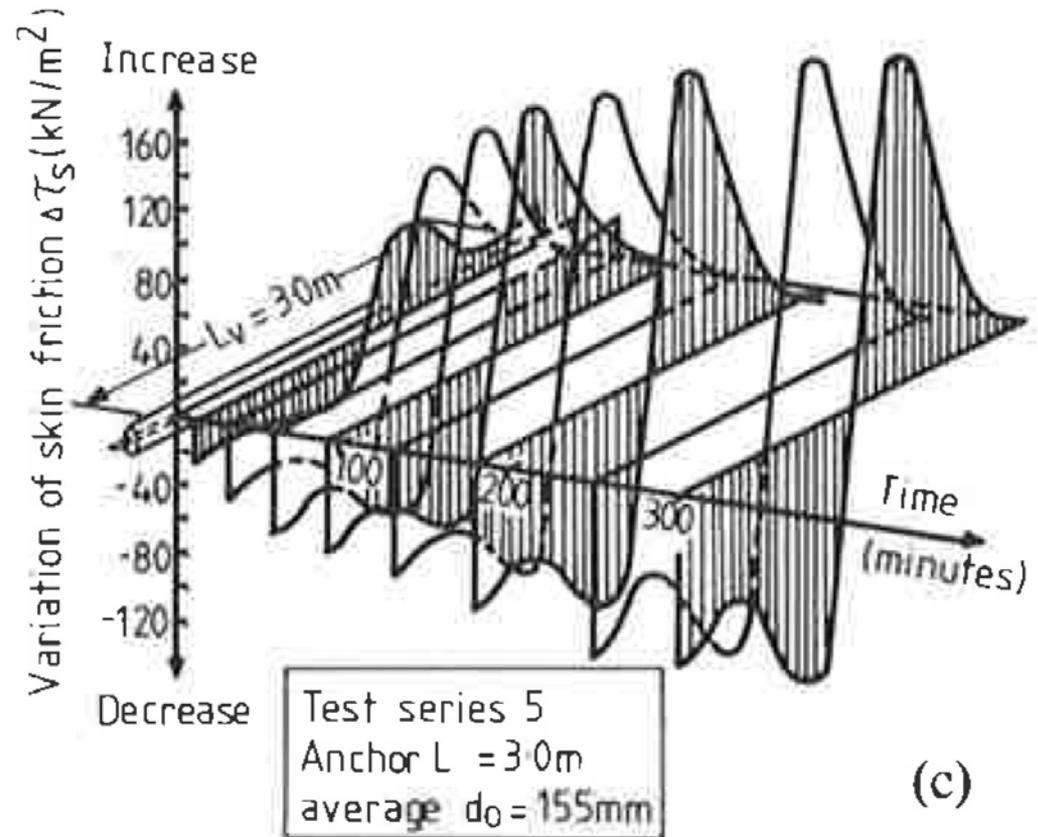
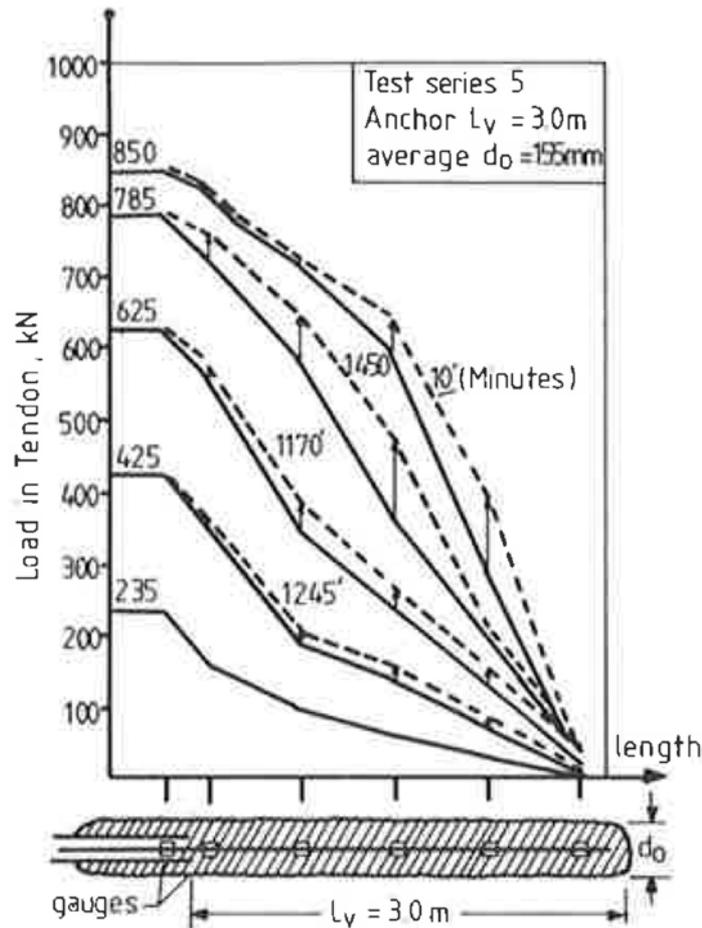
- ✓ Mantelreibung hängt von Dehnung ab



(Kim et al., 2007)

# Interaktion Einbettungsmaterial-Baugrund: Boden

- ✓ Mantelreibung hängt von Belastungsgeschwindigkeit ab  
→ Wirkung auf Kriechen

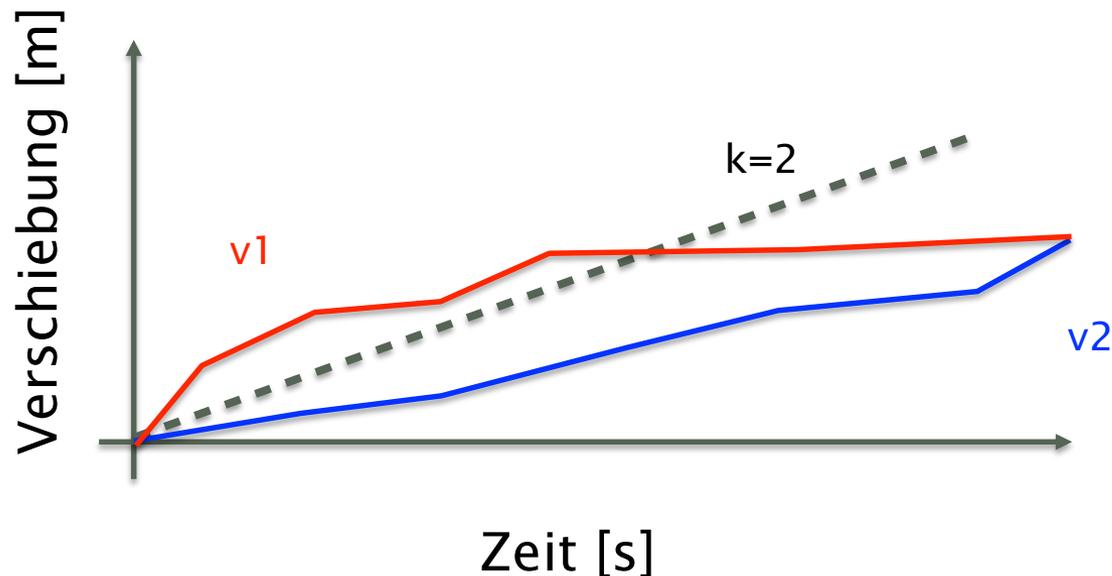


(Ostermayer und Scheele., 1977)

# Interaktion Einbettungsmaterial-Baugrund: Boden

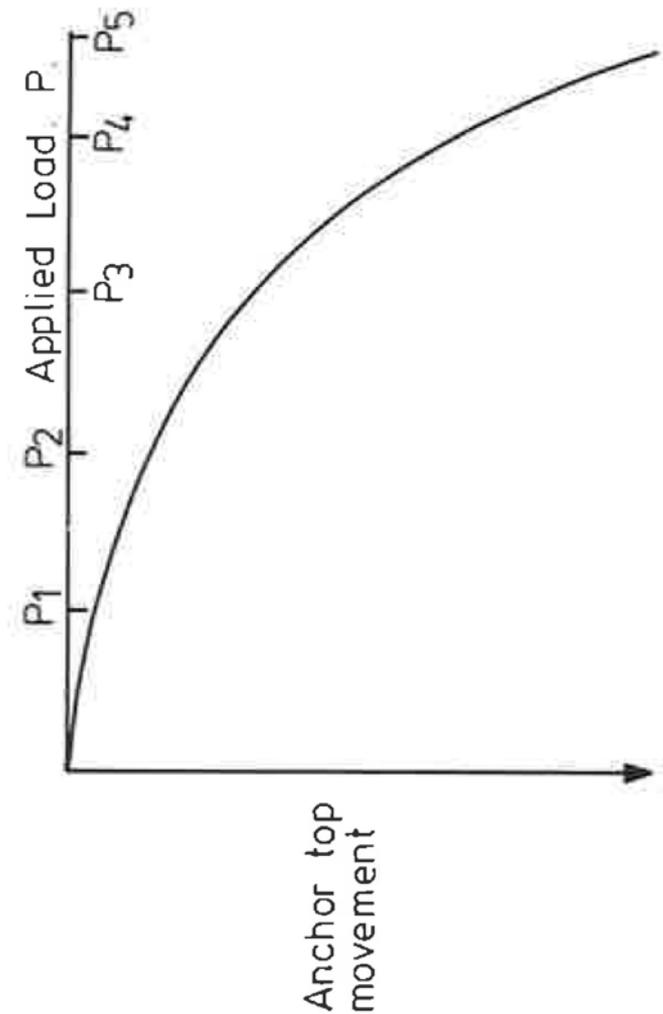
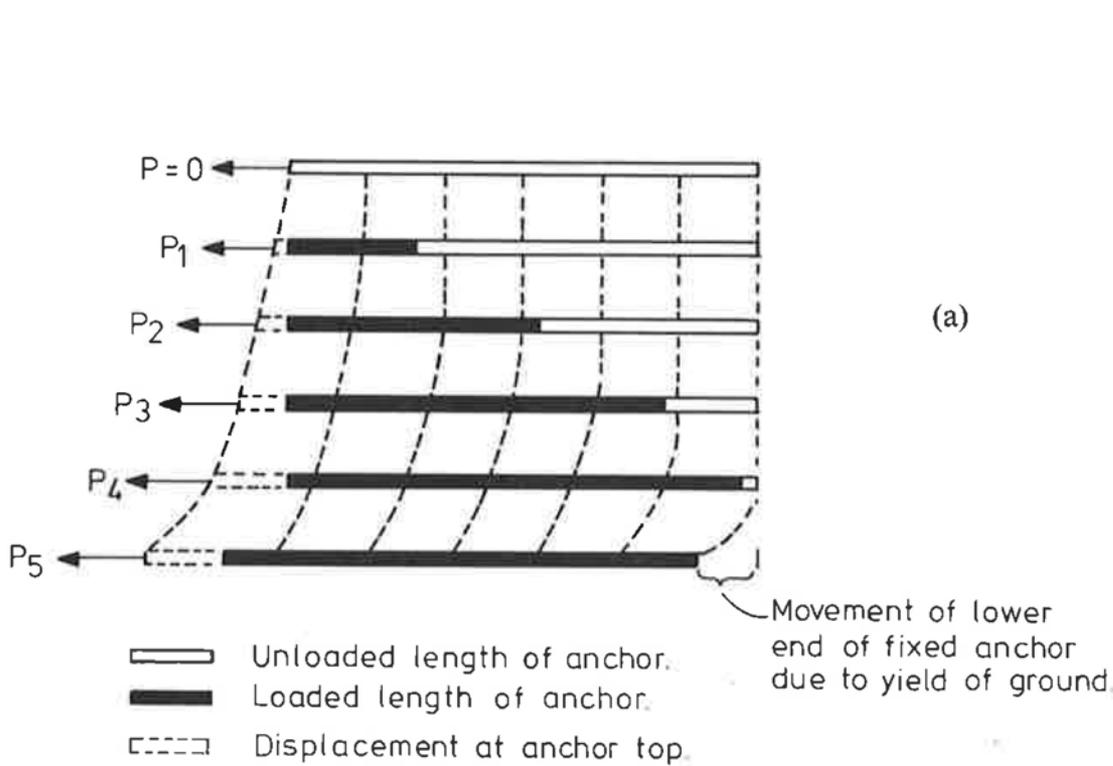
## ✓ Wirkung auf Kriechparameter

Anschliessend wird der Anker auf  $F_p$  gespannt, wobei auf den Zwischenstufen  $F_1$  und  $F_2$  die Verschiebung  $\Delta l$  ohne Wartezeit gemessen wird. Auf der Prüfkraft  $F_p$  wird die Kraft innerhalb der Messgenauigkeit konstant gehalten und die Verschiebungszunahmen des Ankerkopfs werden in folgenden Zeitabständen gemessen:  $t_i = 0, 1, 2, 5, 10, 15$  Minuten. Zum Zeitpunkt der Ableseung ist die Kraft auf  $\pm 1$  kN genau einzustellen.



## ✓ Welchen Effekt hat die Belastungsgeschwindigkeit auf die Berechnung von $k$ ?

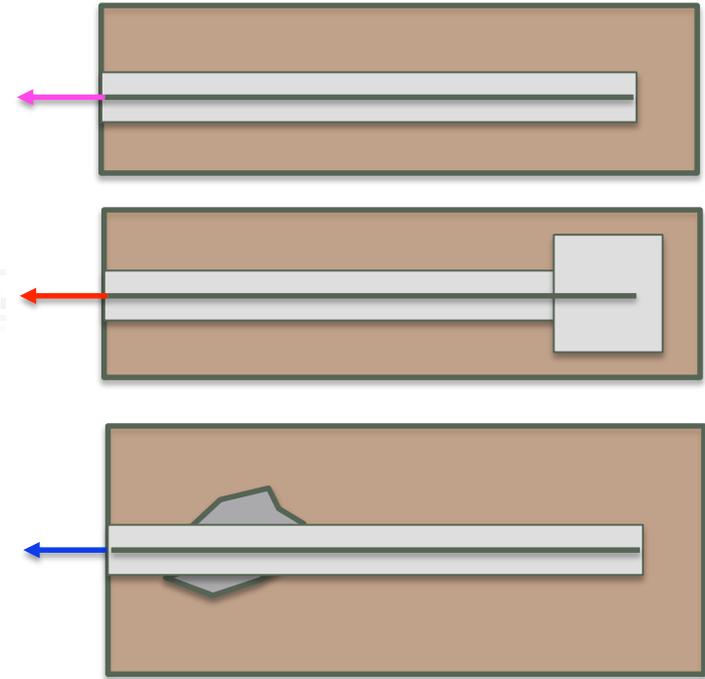
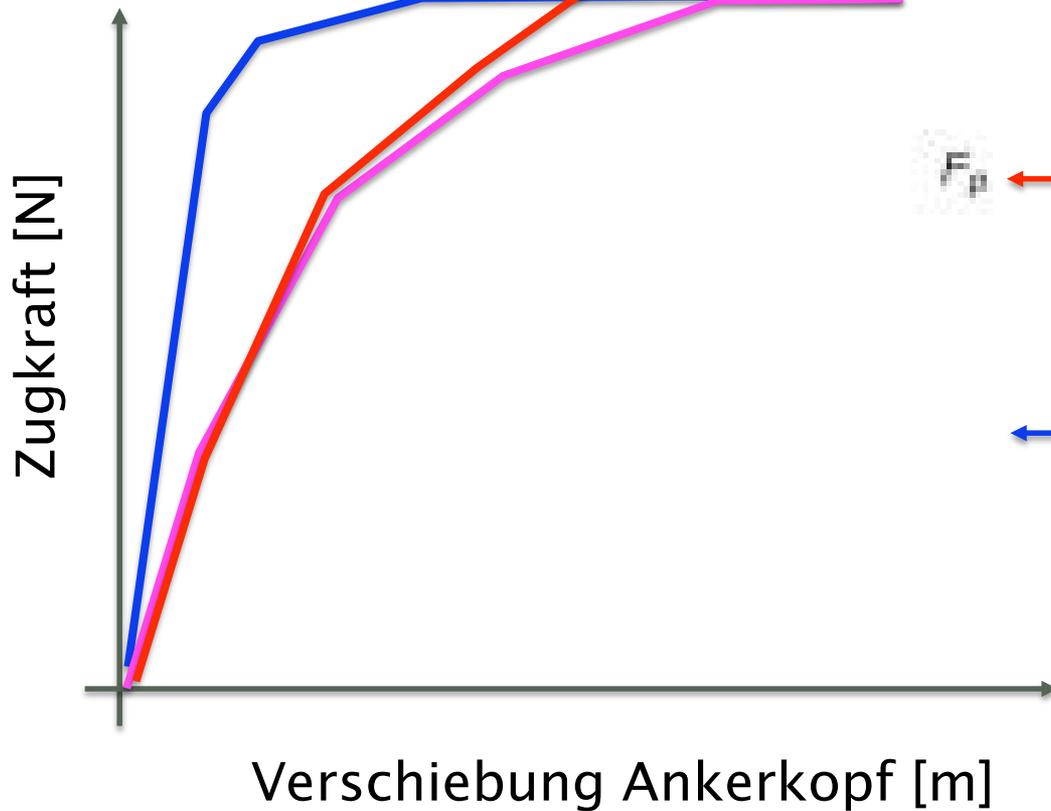
# Verhalten gesamtes System



(Hanna, 1982)

# Verhalten gesamtes System

✓ Beispiel



# Verhalten gesamtes System

## ✓ Bedeutung Verbundlösung

### 7.2.3.3.3 Richtwerte für die Beurteilung der Zugprobe:

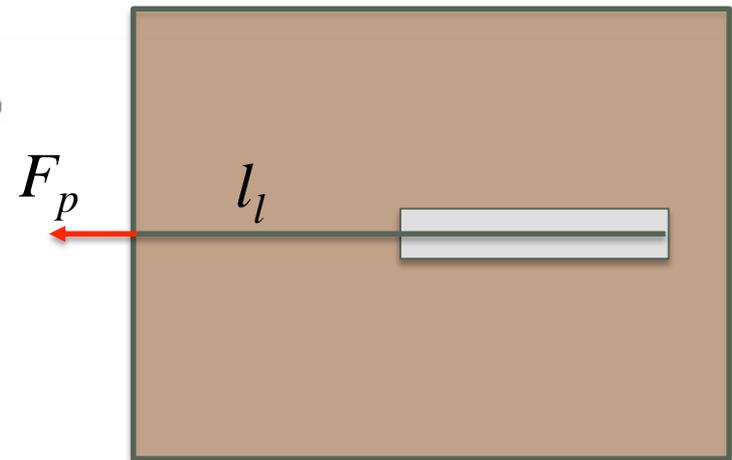
- Verschiebungszunahme  
zwischen 5 und 15 Minuten  $\Delta\Delta l \leq 0,5 \text{ mm}$  (entspricht einem Kriechmass  $k = 1 \text{ mm}$ )
- bleibende Verschiebung  $\Delta l_{\text{bl}}$   $\leq 5 \text{ mm}$
- Verbundlösung bei kurzen Ankern (bis 9 m) in homogenem Baugrund  
Verbundlösung  $l_f - l_a \leq 1,0 \text{ m}$   
Die Verbundlösung in anderen Fällen ist objektbezogen festzulegen. Dabei sollte die Verbundlösung 20 bis 25% der Ankerlänge  $l$  nicht überschreiten

$$l_f(F_p) = \frac{\Delta l_{\text{bl}}}{F_p - F_a} A_s E_s$$

$A_s$  minimale Querschnittsfläche des Zugglieds von ungespannten Ankern

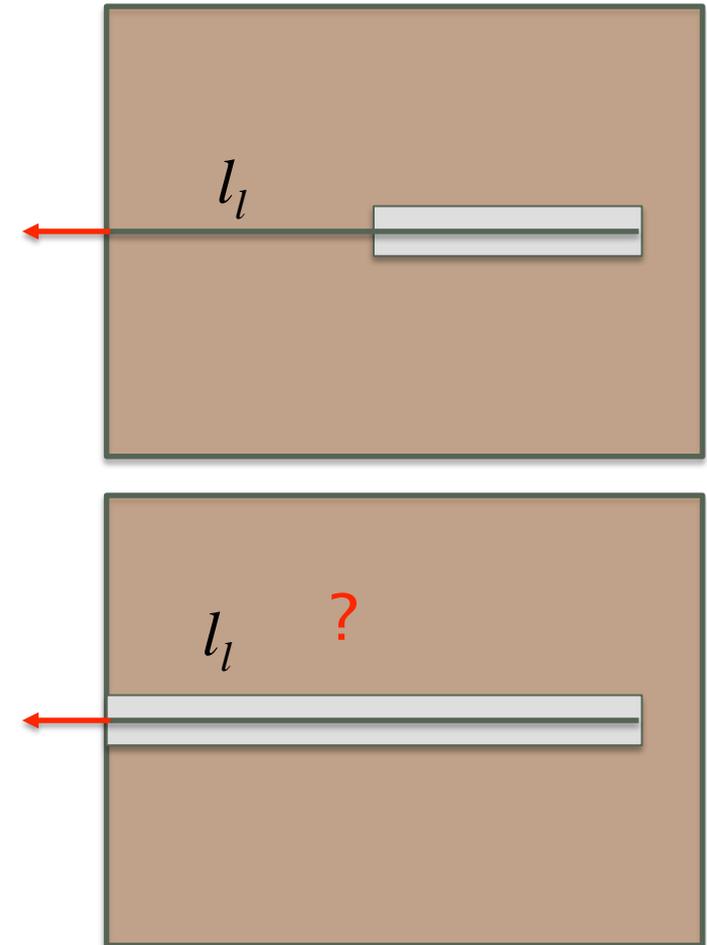
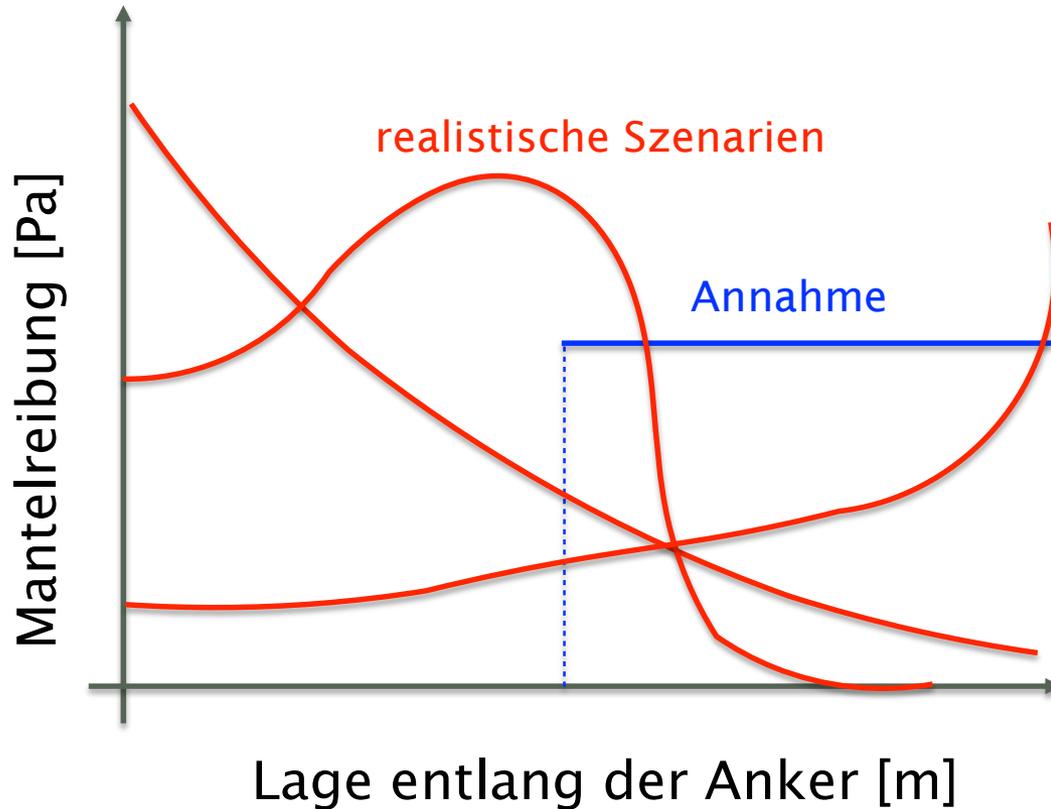
$E_s$  E-Modul des Zugglieds von ungespannten Ankern

$l_f$  wirksame freie Ankerlänge



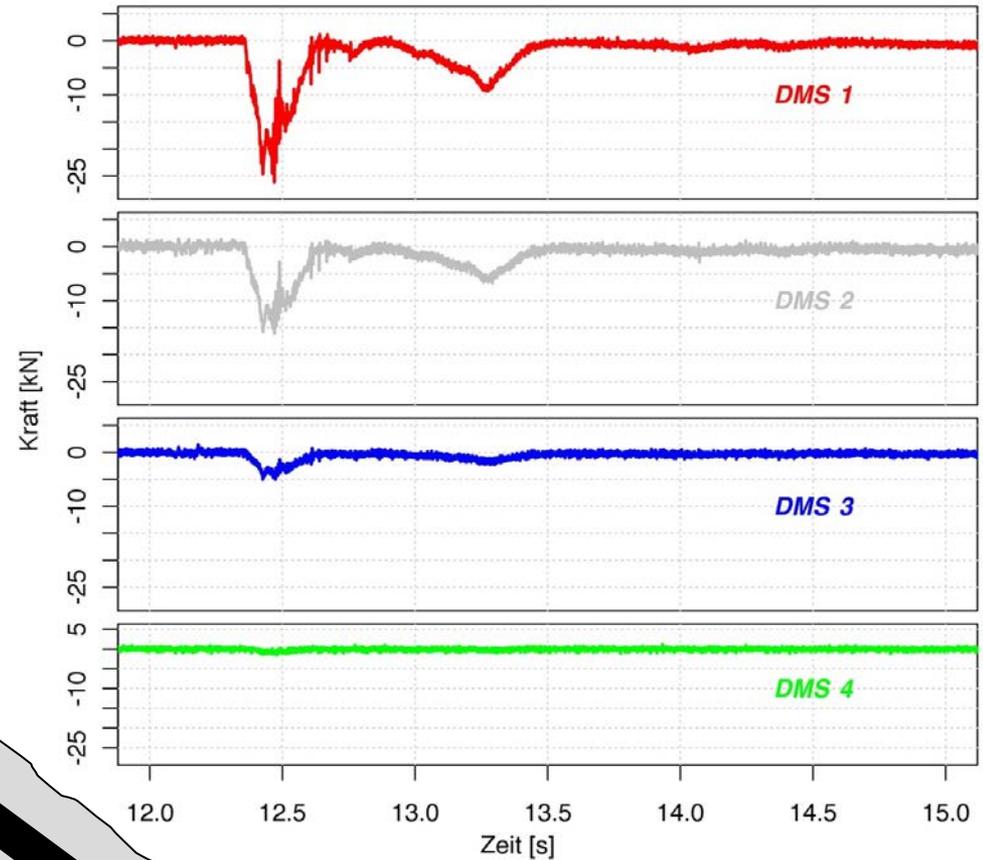
# Verhalten gesamtes System

- ✓ Bedeutung Verbundlösung



# Verhalten gesamtes System

✓ Statisch vs. dynamisch



Dehnmessstreifen Zug

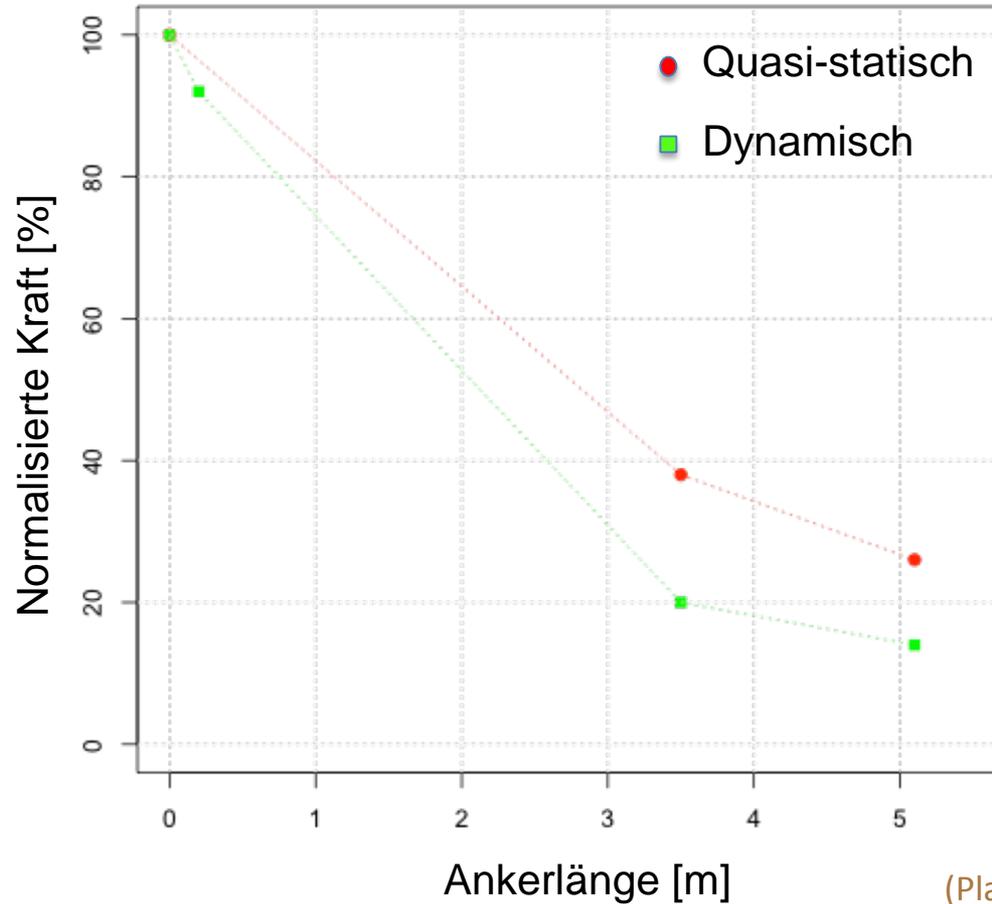
Nagel

45°

(Platzer et al., under review)

# Verhalten gesamtes System

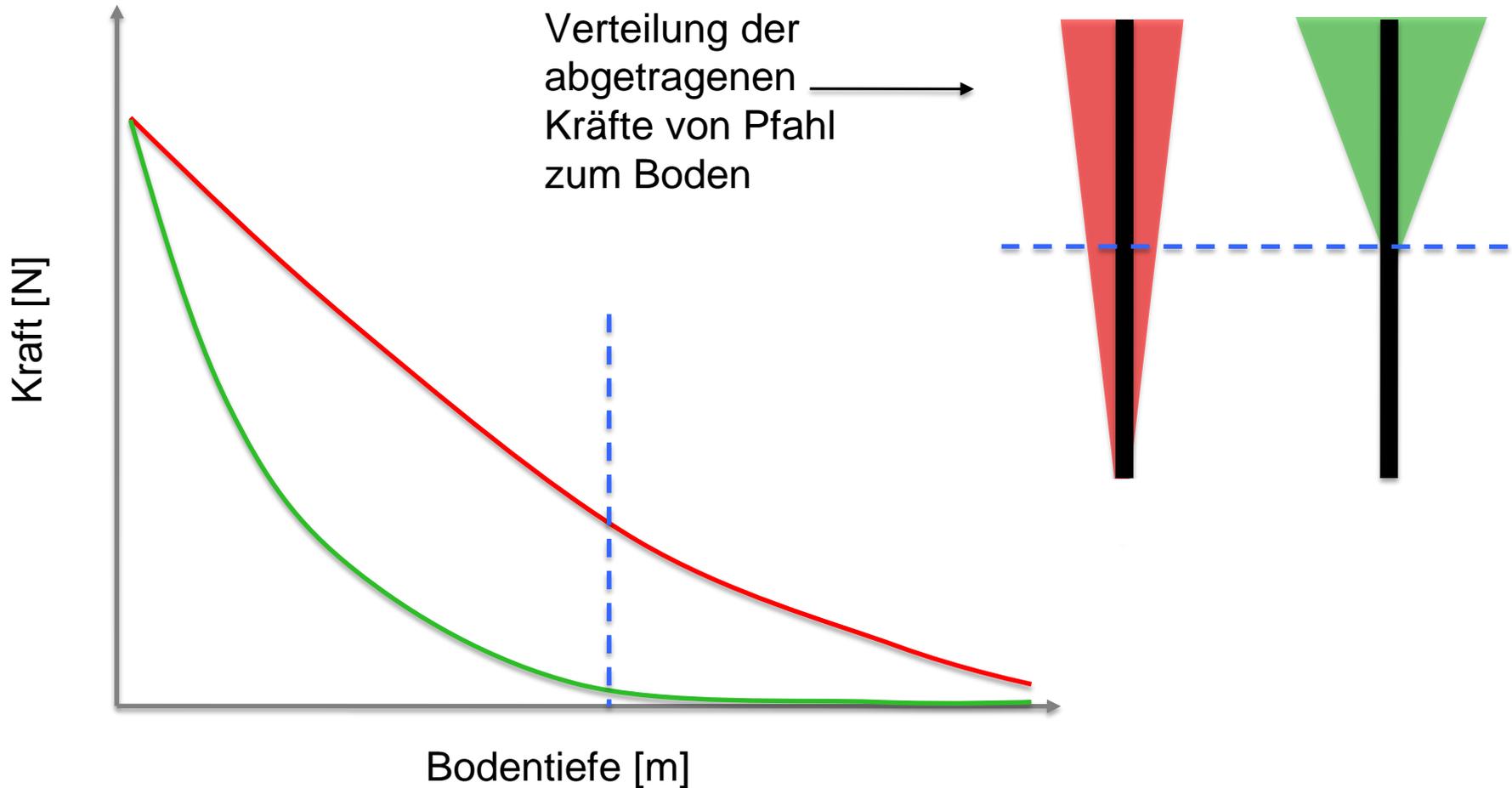
- ✓ Statisch vs. dynamisch



(Platzer et al., under review)

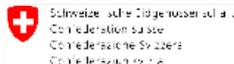
# Verhalten gesamtes System

✓ Statisch vs. dynamisch



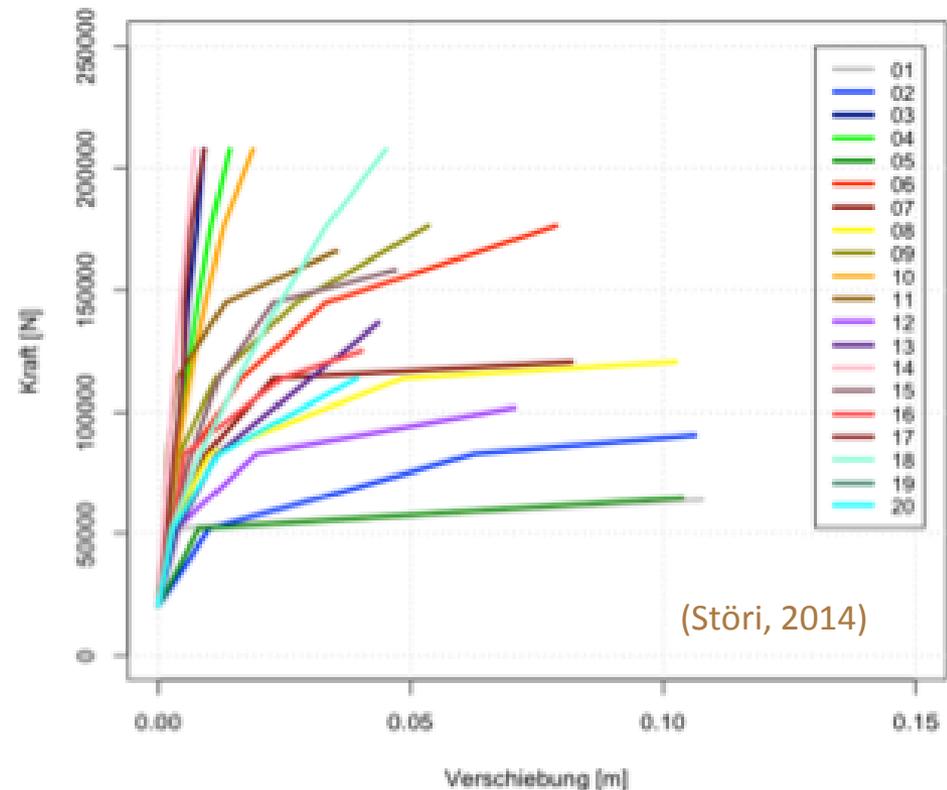
# Analyse Ausziehversuche und Zugprobe

- ✓ Wie heterogen ist der Boden?
- ✓ Wie verteilt sich die Mantelreibung?
- ✓ Kann man indirekt die Mantelreibung quantifizieren (Spannung und Dehnung)?



Eidgenössisches Departement für  
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK  
Bundesamt für Umwelt BAFU  
Abteilung Gefahrenprävention

**Merkblatt zur Anwendung der erweiterten  
Zugprobe im Lawinen- und Steinschlagverbau**

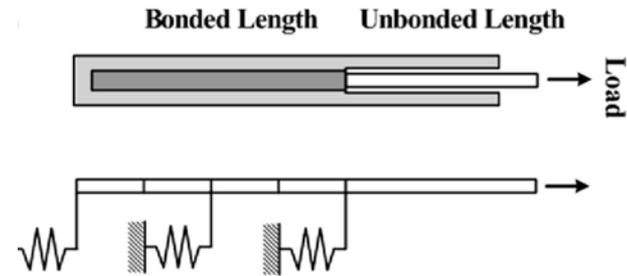


# Analyse Ausziehversuche und Zugprobe

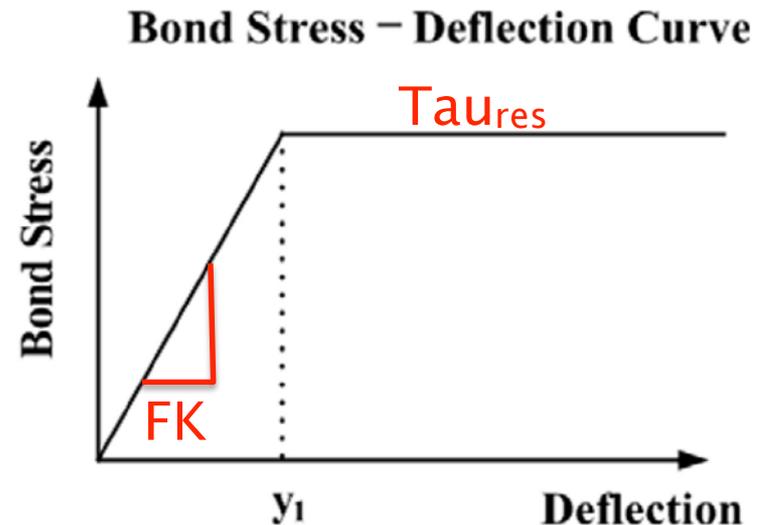
## HAFL Modell:

- ✓ Der Anker ist in Elemente diskretisiert
- ✓ Steifigkeit und Spannung der Mantelreibung werden iterativ optimiert
- ✓ Verteilung der Spannung im Anker werden nachberechnet
- ✓ Das Modell berücksichtigt das Zugglied-Mörtel Verhalten mit dem „Zuggurtmodell“

(Schwarz, 2014; Brosi, 2016)



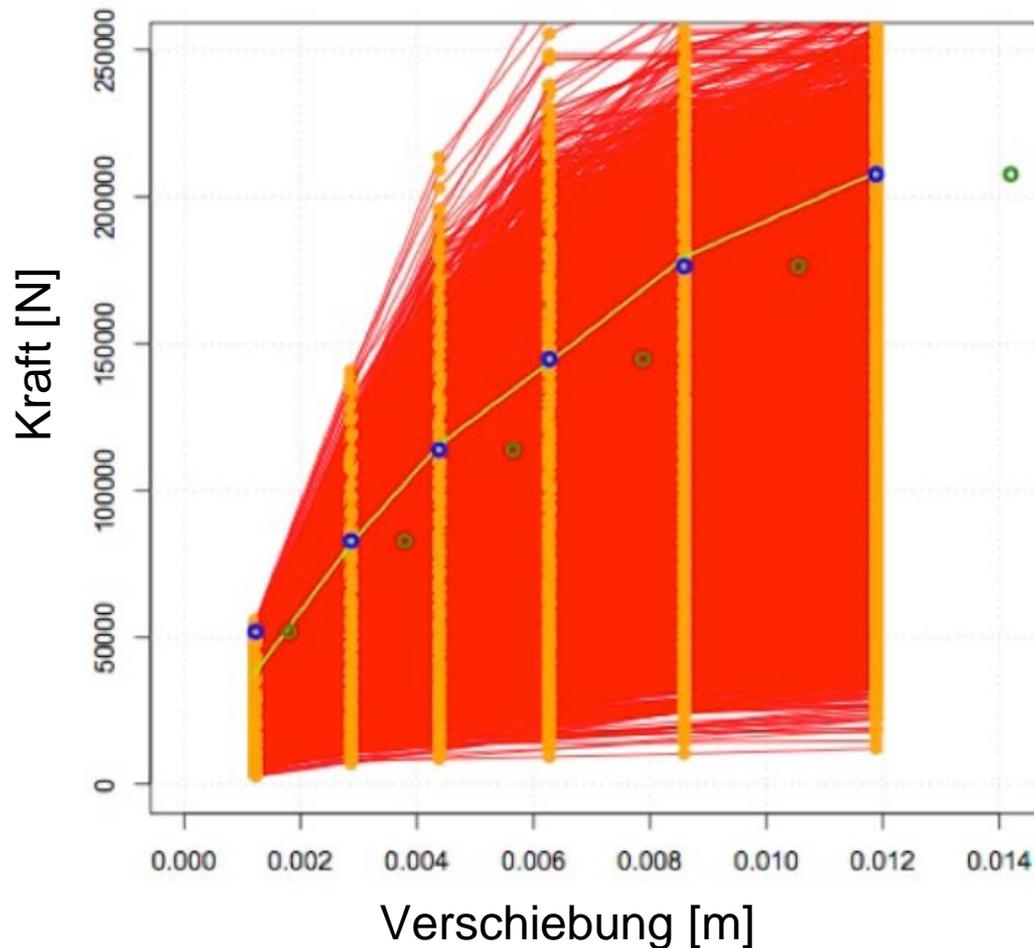
(Kim et al., 2007)



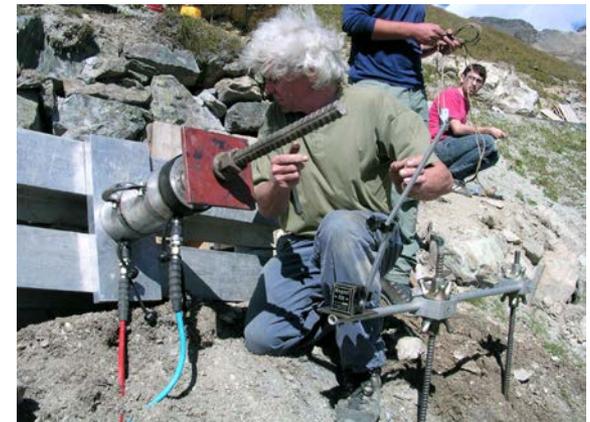
$\tau_{res}$  = residuale Mantelreibung [N/m]  
FK = Federkonstante [N/m<sup>2</sup>]

# Analyse Ausziehversuche und Zugprobe

Beispiel Resultate HAFL Modell:



- Modellierte Resultate
- Best Fit des Modelles
- Daten Ausziehversuch (ohne freie Ankerlänge)



# Analyse Ausziehversuche und Zugprobe: HAFL Modell

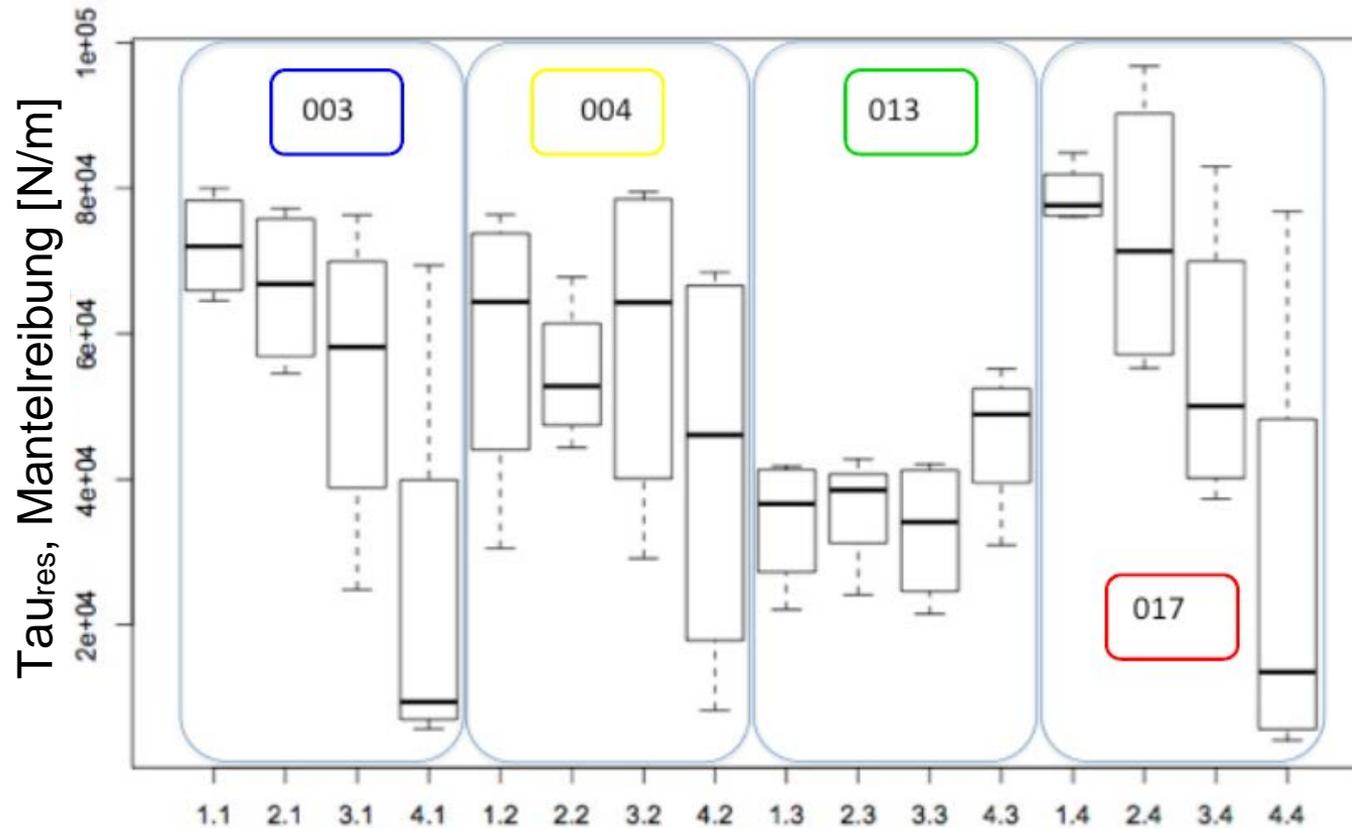
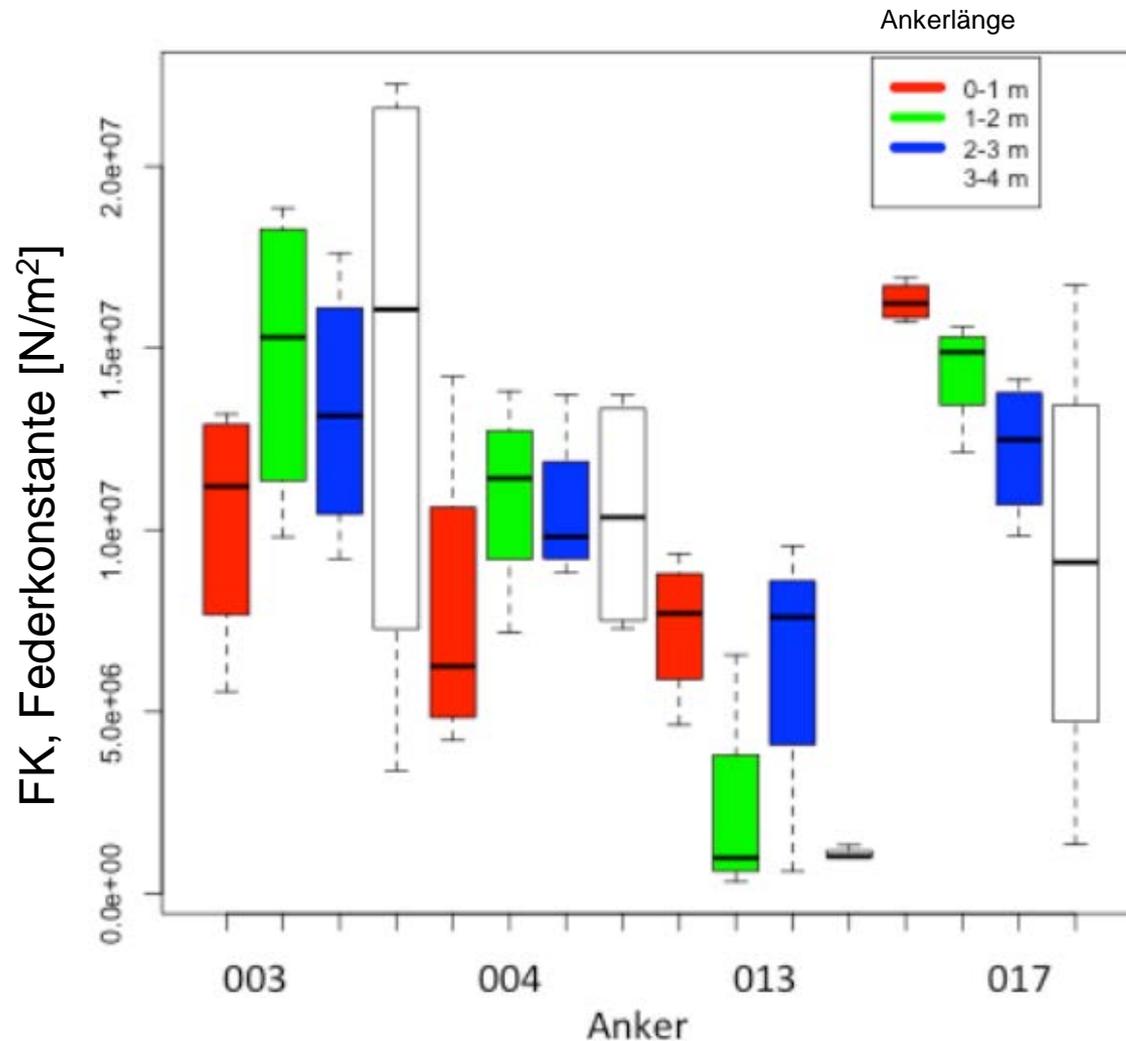


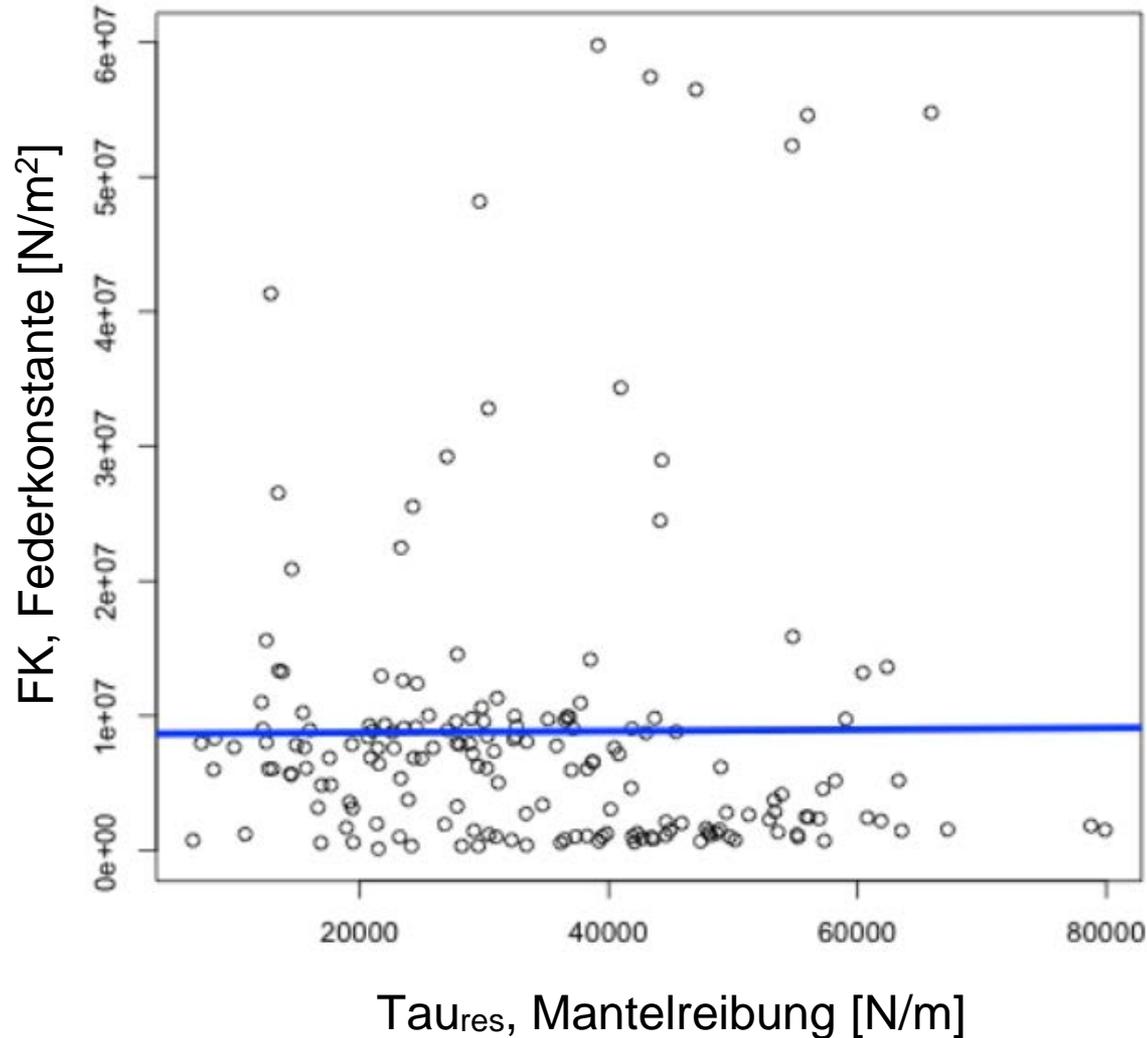
Abb. 12: Boxplot mit der Verteilung der modellierten Tau – Werte der Anker 003, 004, 013 und 017 pro Laufmeter in N

(Brosi, 2016)

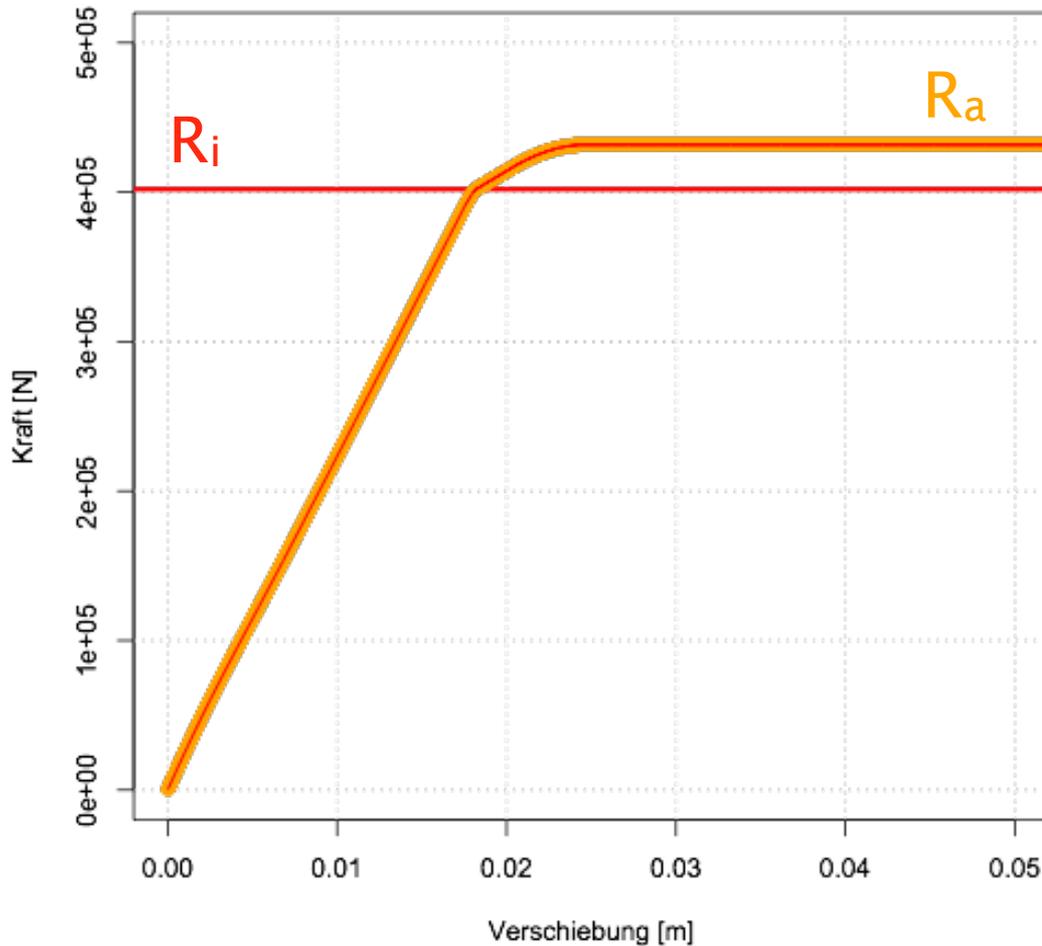
# Analyse Ausziehversuche und Zugprobe



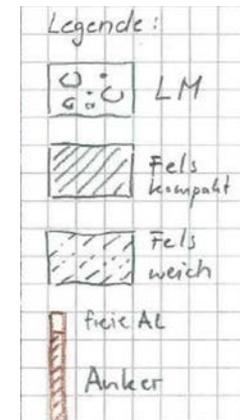
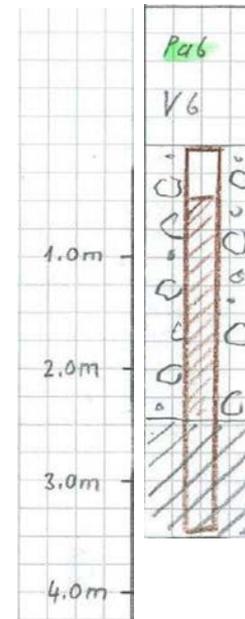
# Analyse Ausziehversuche und Zugprobe



# Analyse Ausziehversuche und Zugprobe

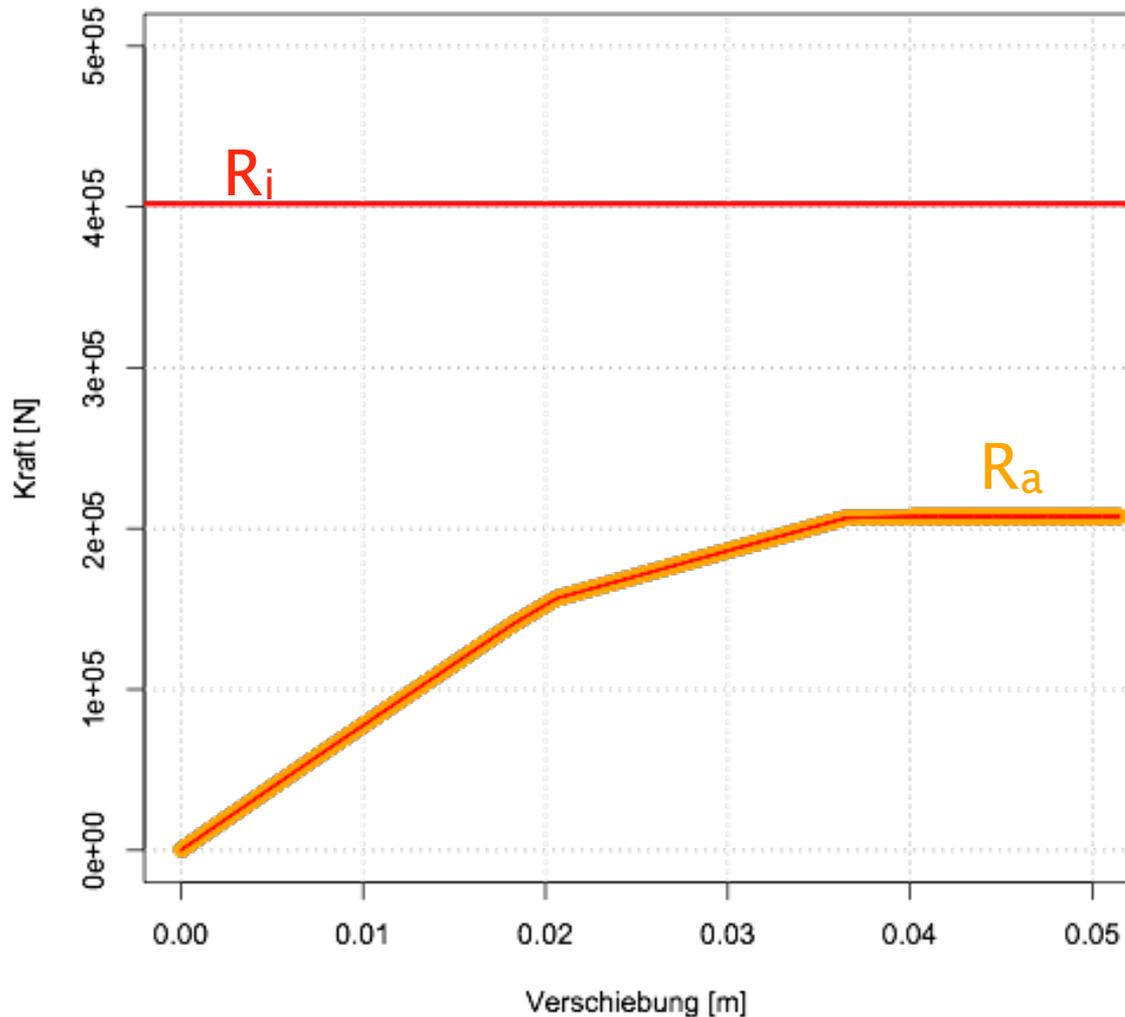


PA6  
Boden-Fels

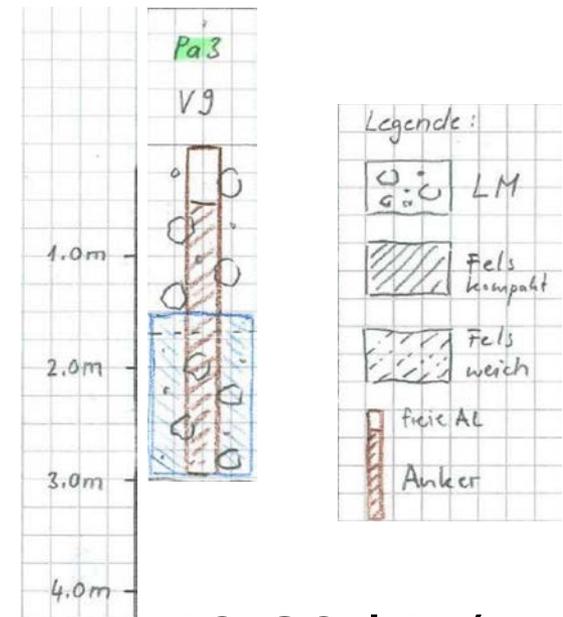


$\tau = 60-250 \text{ kN/m}$   
 $FK = 3-20 \text{ MN/m}^2$

# Analyse Ausziehversuche und Zugprobe

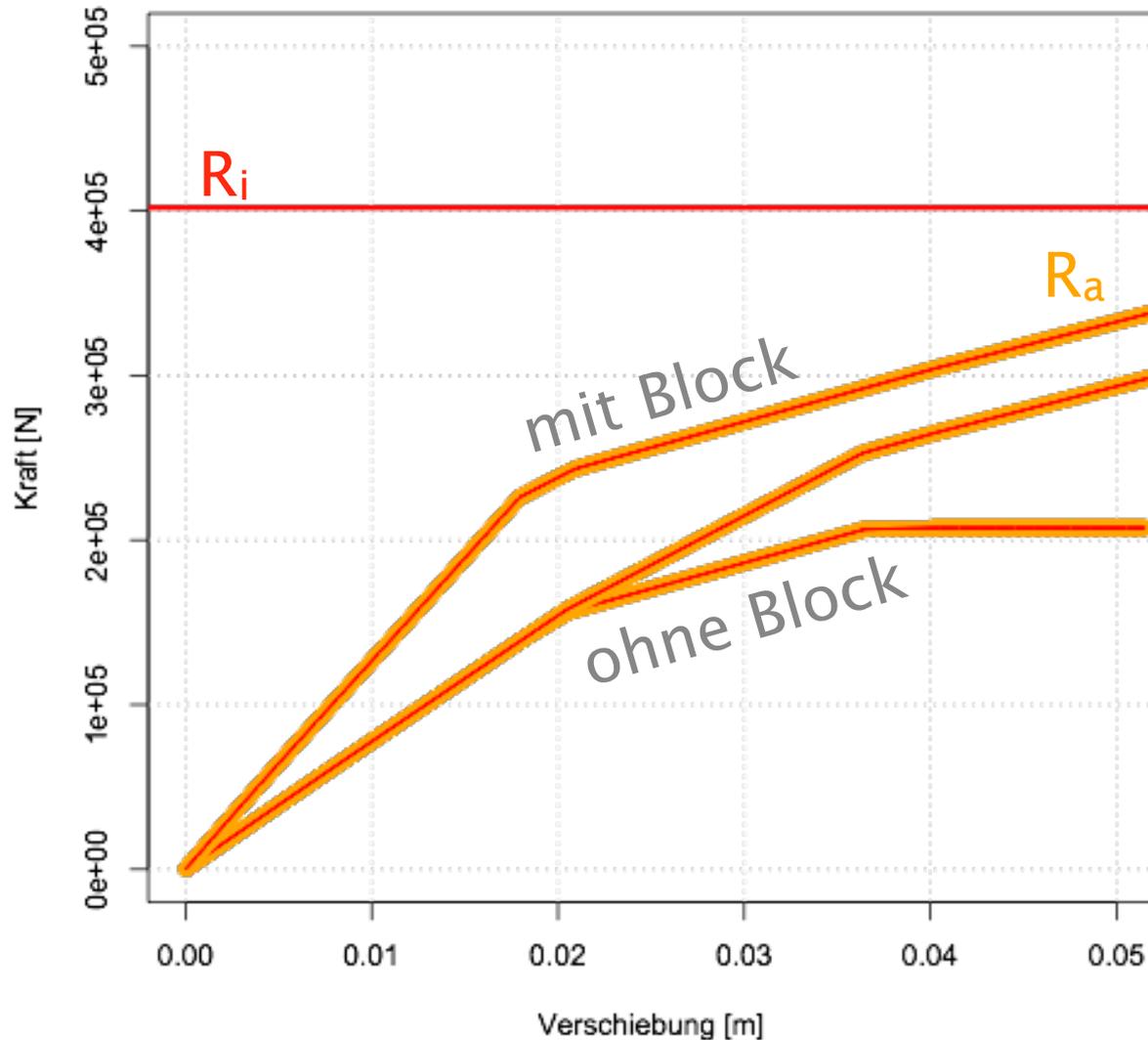


PA3  
Gesättigte und ungesättigte Boden

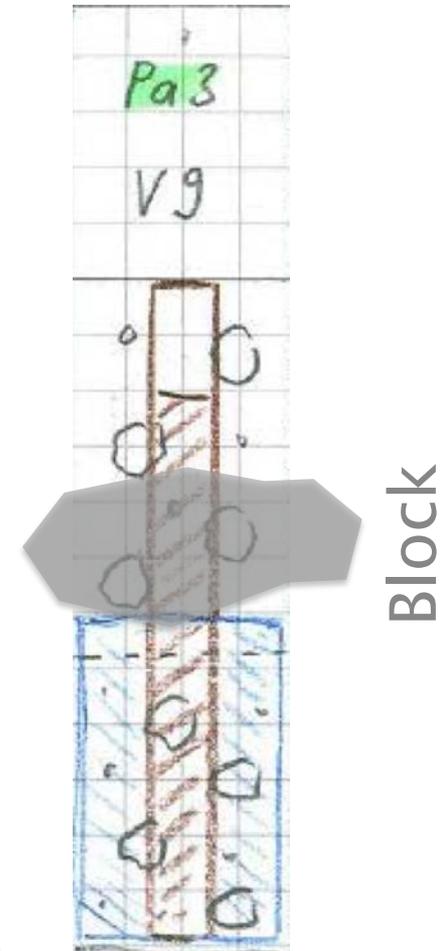


$\tau = 40-80 \text{ kN/m}$   
 $FK = 2-4 \text{ MN/m}^2$

# Analyse Ausziehversuche und Zugprobe

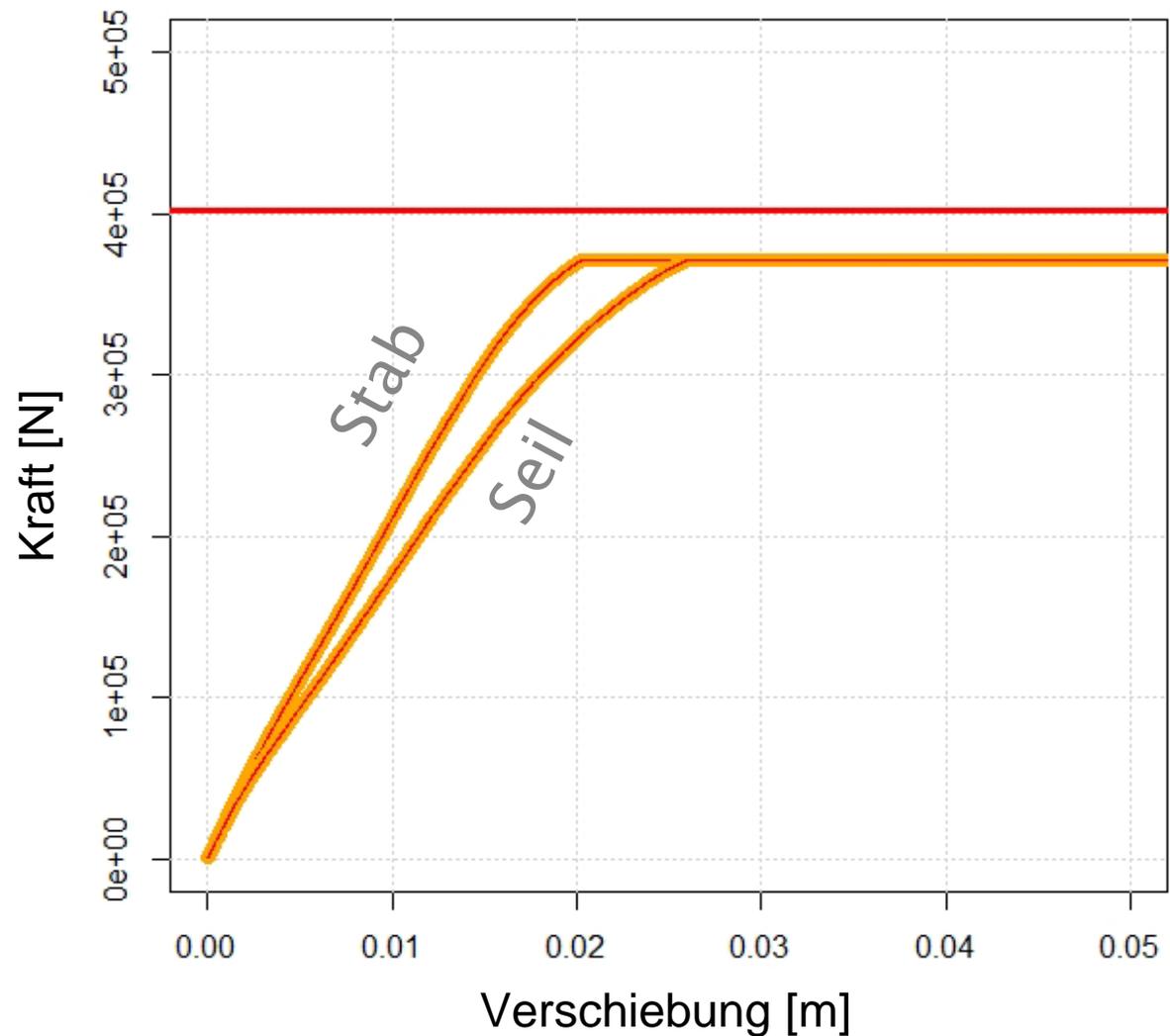


PA3 mit Block



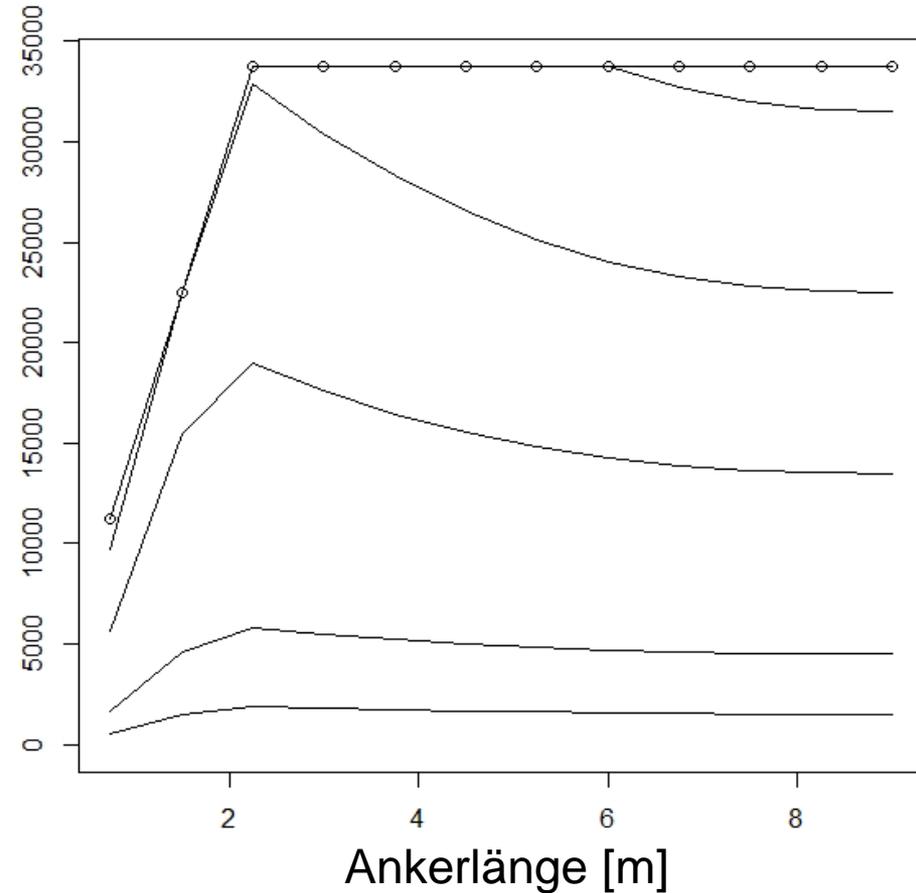
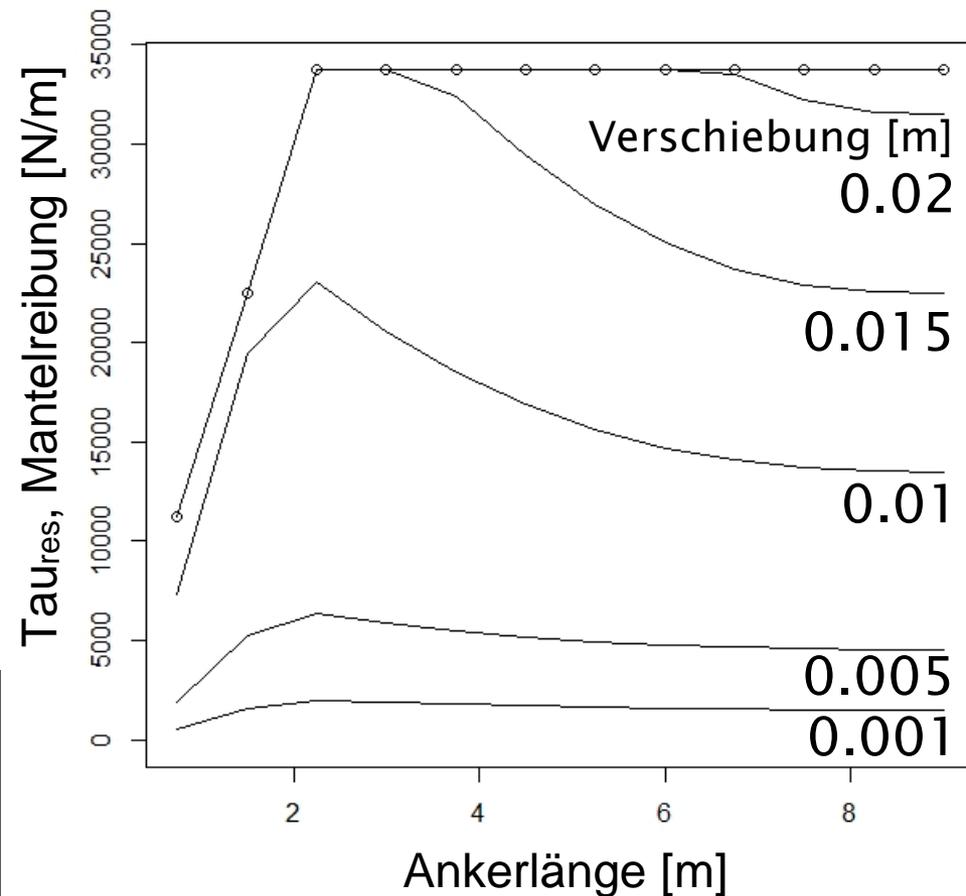
# Analyse Ausziehversuche und Zugprobe

- ✓ Stab vs. Seilanker (in homogener Boden)
- ✓  $\tau = 45 \text{ kN/m}$
- ✓  $FK = 2 \text{ MN/m}^2$



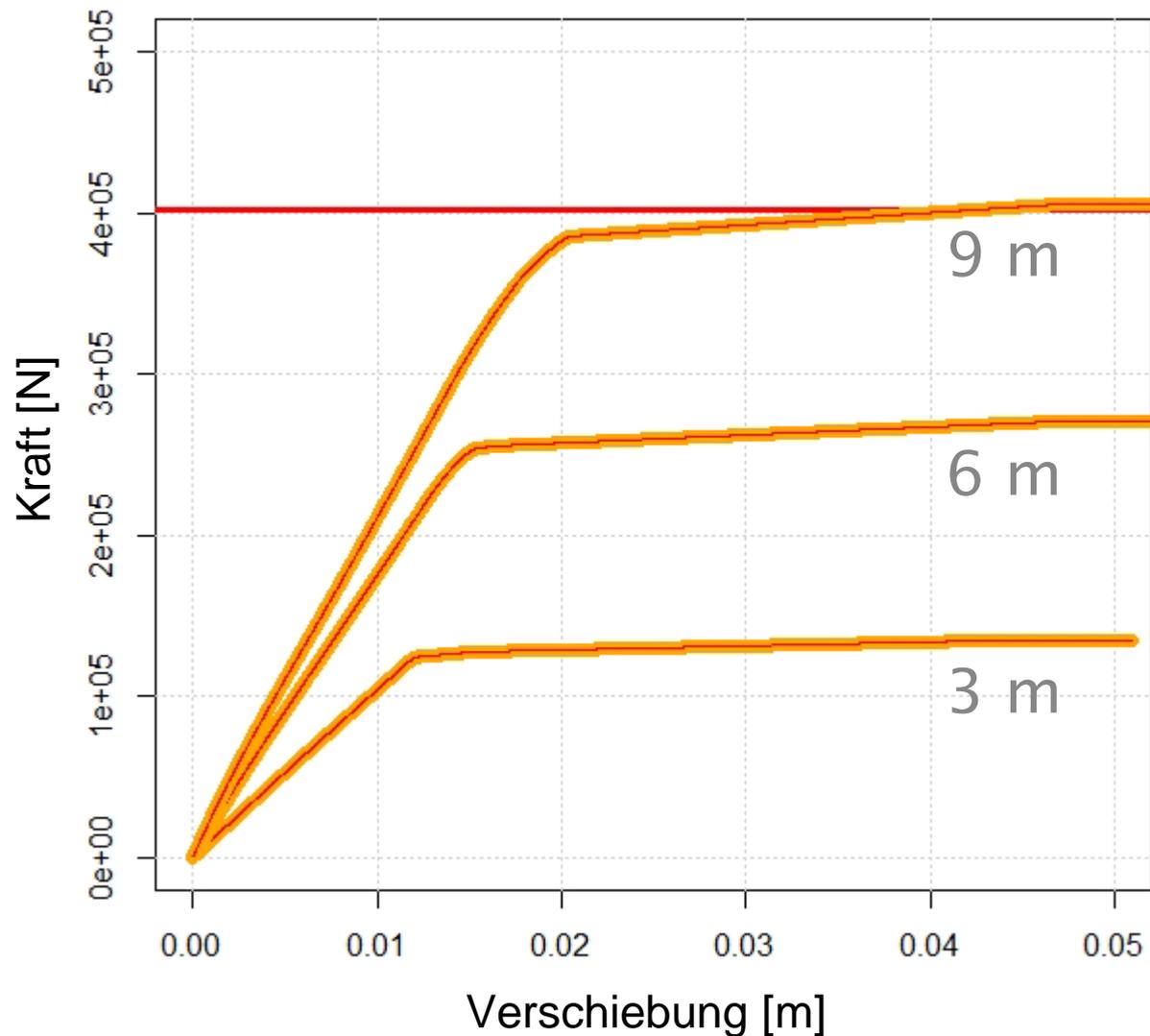
# Analyse Ausziehversuche und Zugprobe

- ✓ Stab vs. Seilanker (in homogener Boden)



# Analyse Ausziehversuche und Zugprobe

- ✓ Einfluss Ankerlänge



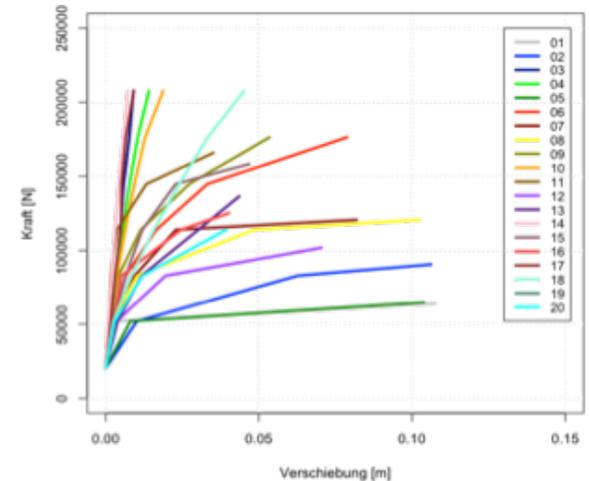
# Zusammenfassung

- ✓ Statische vs. dynamische Belastungen wirken unterschiedlich auf die Verteilung der Spannungen im Anker-Boden System → Prüfverfahren ist auf der sicheren Seite!
- ✓ Bei Steinschlagnetzen sollte man auch die statische Belastung von Schneedruck berücksichtigen (Hersteller)
- ✓ Bei dauernd statischen Belastungen sind Risse im Mörtel zu erwarten, vor allem im Bereich des Ankerkopfes → Korrosionsschutz durch Stabilitätsrohr kann helfen.
- ✓ Die Bestimmung der Verbundlösung ist ein unrealistisches Kriterium für ungespannte Anker → veraltetes Kriterium (siehe BAFU, 2018).

# Zusammenfassung

Erweiterte Zugprobe (EZP):

- ✓ Referenzkurven aus Ausziehversuchen sollten gut analysiert werden und den pessimistischen Fall darstellen
- ✓ Analyse von  $Tau_{res}$  und FK in Zusammenhang mit dem Bohrprotokoll wäre nützlich → Aufbau zentrale Datenbank?
- ✓ Prüflast bis 90% bei Zugproben wäre nützlich → bessere Abbildung des Verhaltens
- ✓ Belastungsgeschwindigkeit bei Ausziehversuchen und Zugprobe sollte standardisiert werden → mögliche Effekte für die Bestimmung des Kriechmasses ( $k$ )
- ✓ Schätzung der Tragreserve kritisch beurteilen! → Steifigkeit ist nicht immer proportional zur Mantelreibung!



Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!