



Berner Fachhochschule  
Haute école spécialisée bernoise  
Bern University of Applied Sciences



# Ungespannte Anker: Systemkomponenten, Wirkung, und Einflussfaktoren

M. Schwarz

Zürich, 24.06.18

✓ WWI, HAFL

# 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

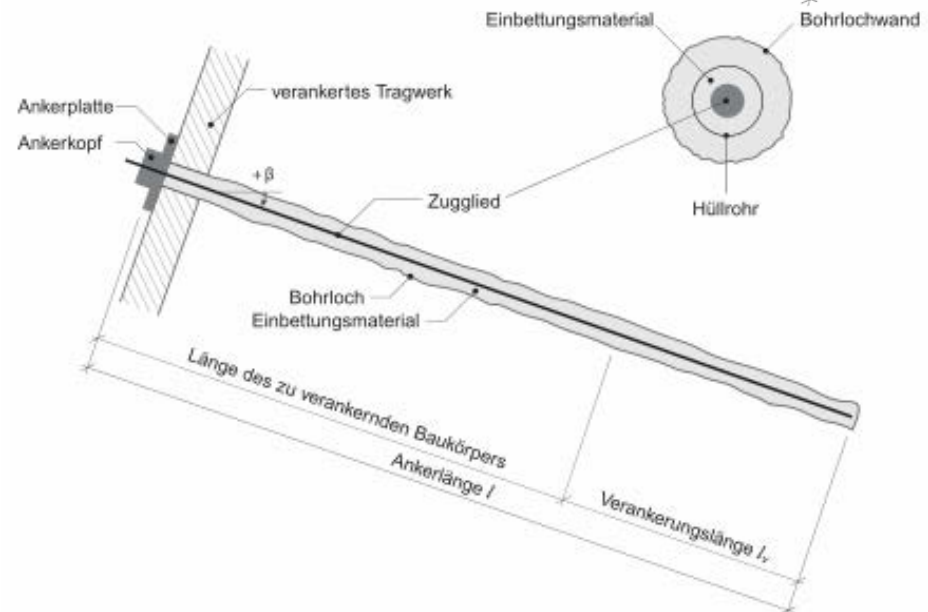
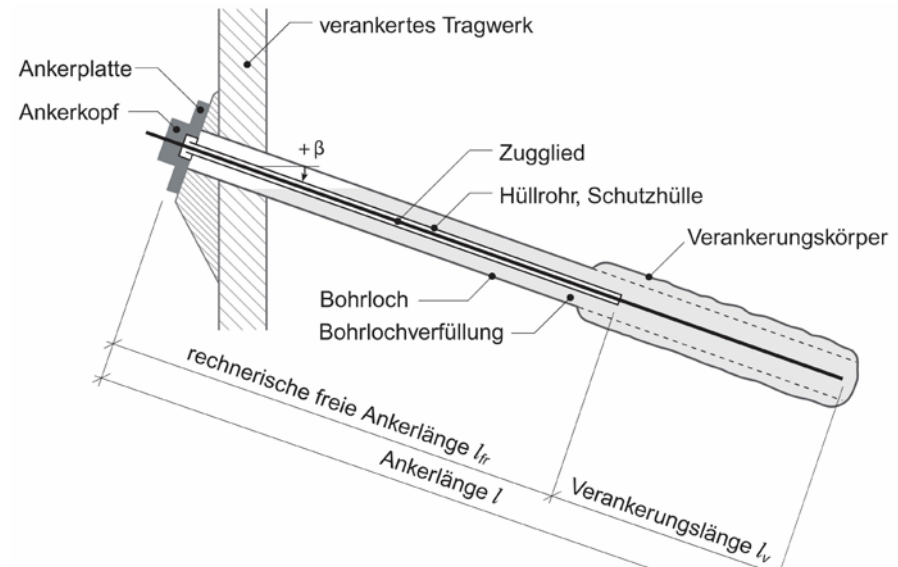
Anker: Bauelement, das über ein Zugglied Kraft in den Baugrund überträgt (SIA-267,2013, Kap. 1.1)



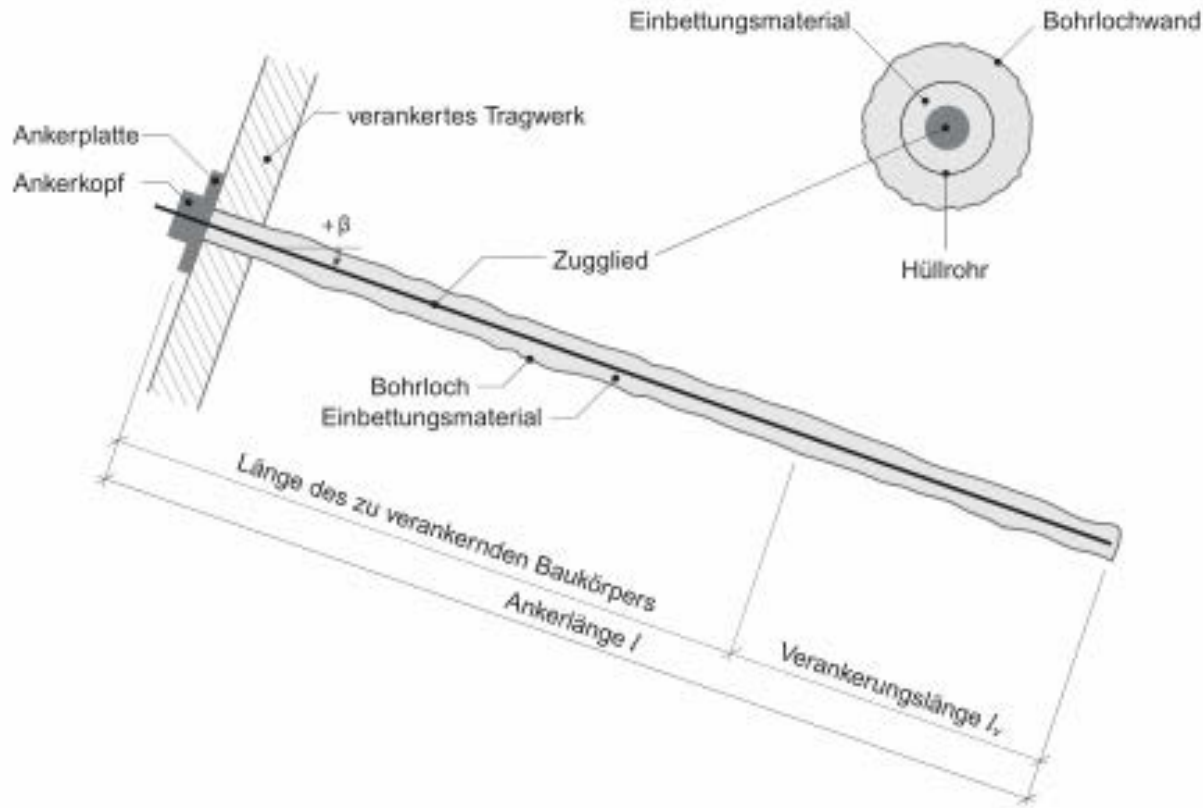
# Ankertypen

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

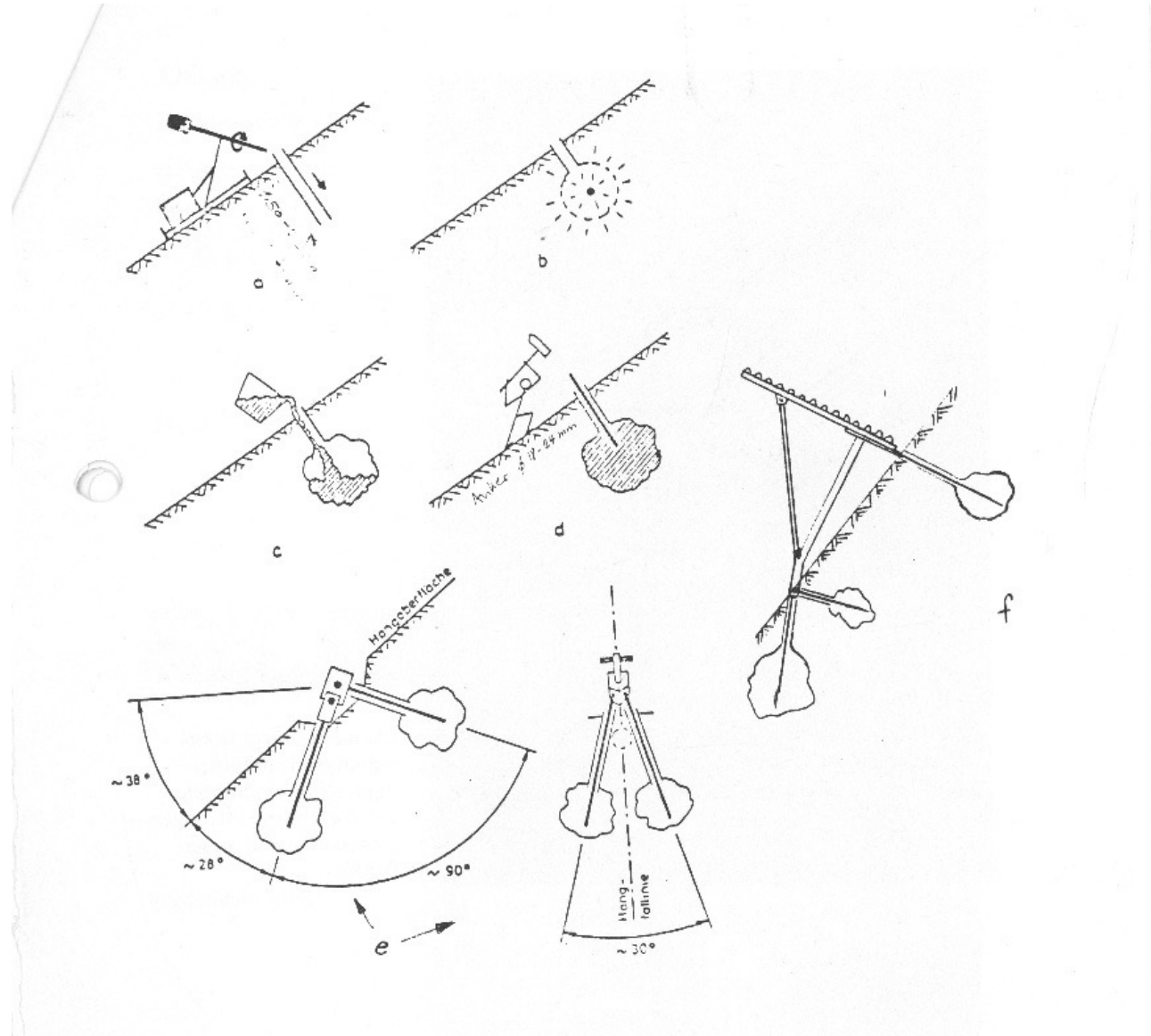
b- Elektrische Sprengung am unteren Bohrende

c- Eingiessen von Mörtel

d- Einschieben der Ankerstangen

e- Anordnung talseitige Anker

d- montierte Stahlschneebrücke





# Zugglied

Zuggliedtypen:

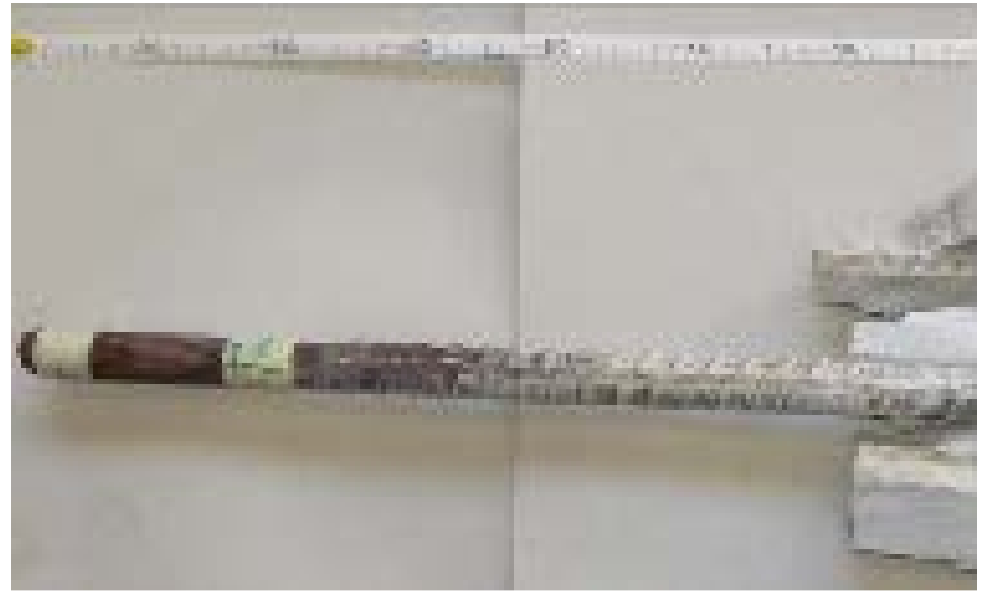
- ✓ Stab
- ✓ Seil

Anzahl Zugglieder:

- ✓ Einstabanker
- ✓ Bündelanker (Litzen)

Material:

- ✓ Stahl
- ✓ GFK (glasfaserverstärkter Kunststoff)

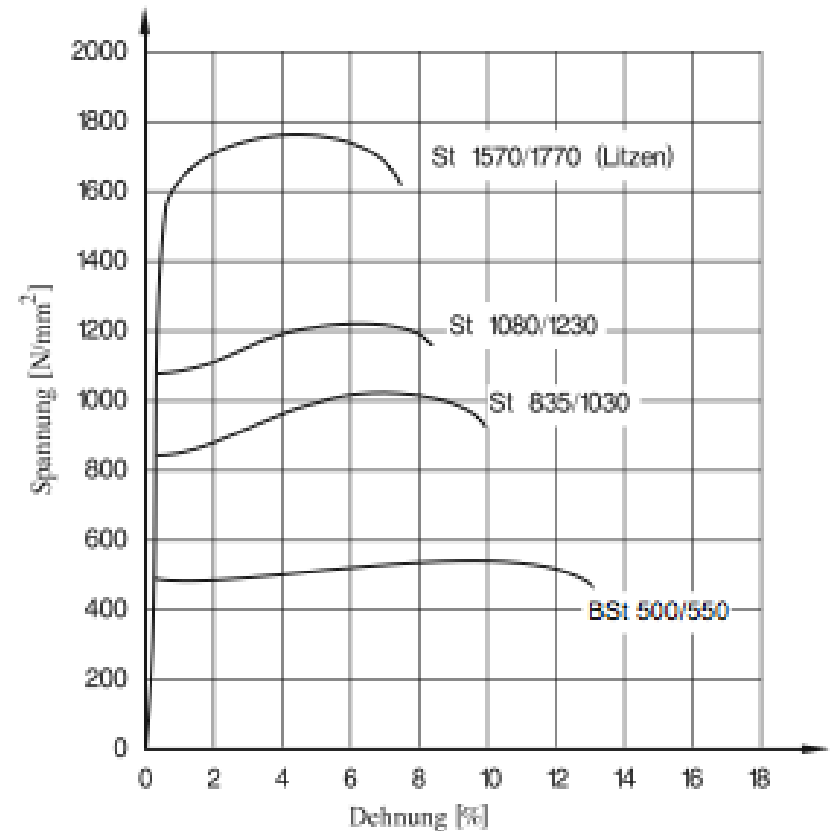


# Zugglied

## 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	SWISS GEWI	SWISS GEWI	SWISS GEWI	SWISS GEWI	SWISS GEWI	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)

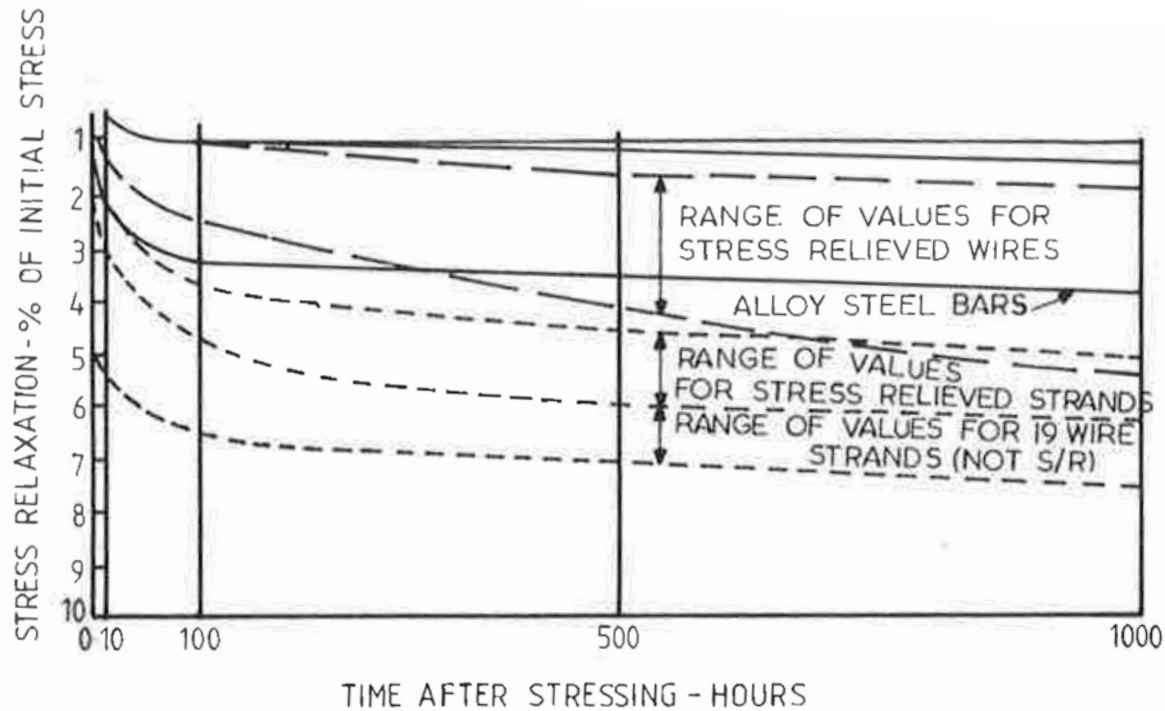


(Schmidt et al., 2014)

# 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)



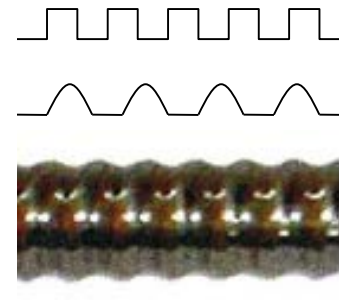
(Littlejohn and Bruce, 1975)

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

# Interaktion Zugglied-Einbettungsmaterial

## Hauptfunktionen:

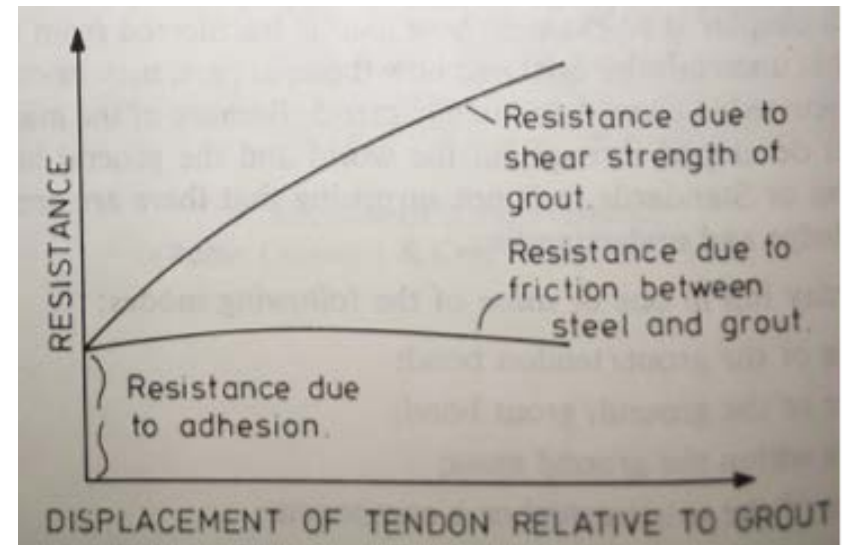
- ✓ Übertragung der Kräfte in den Baugrund
- ✓ Korrosionsschutz



## Eigenschaften:

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

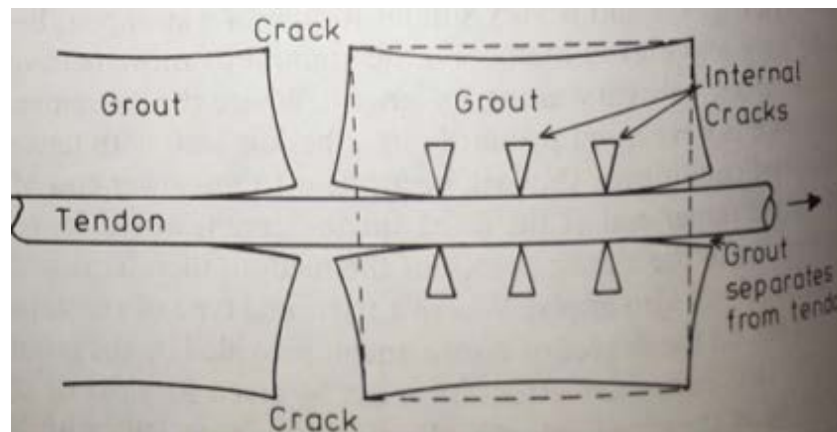
(Hanna, 1982)



# 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

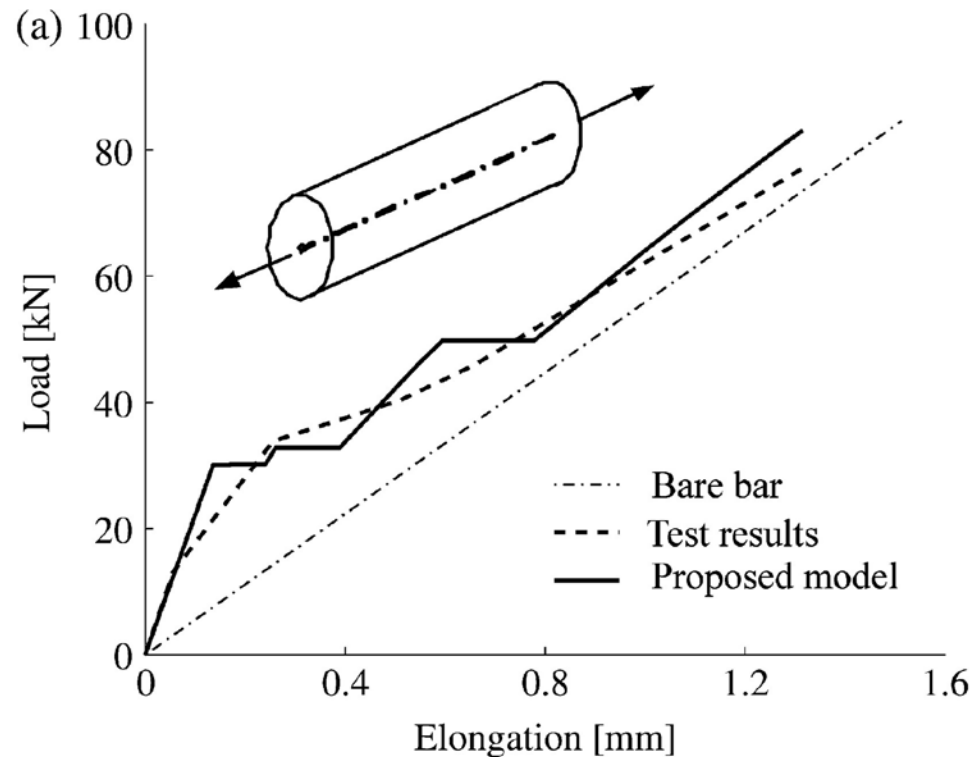


(Hanna, 1982)



# Interaktion Zugglied-Einbettungsmaterial

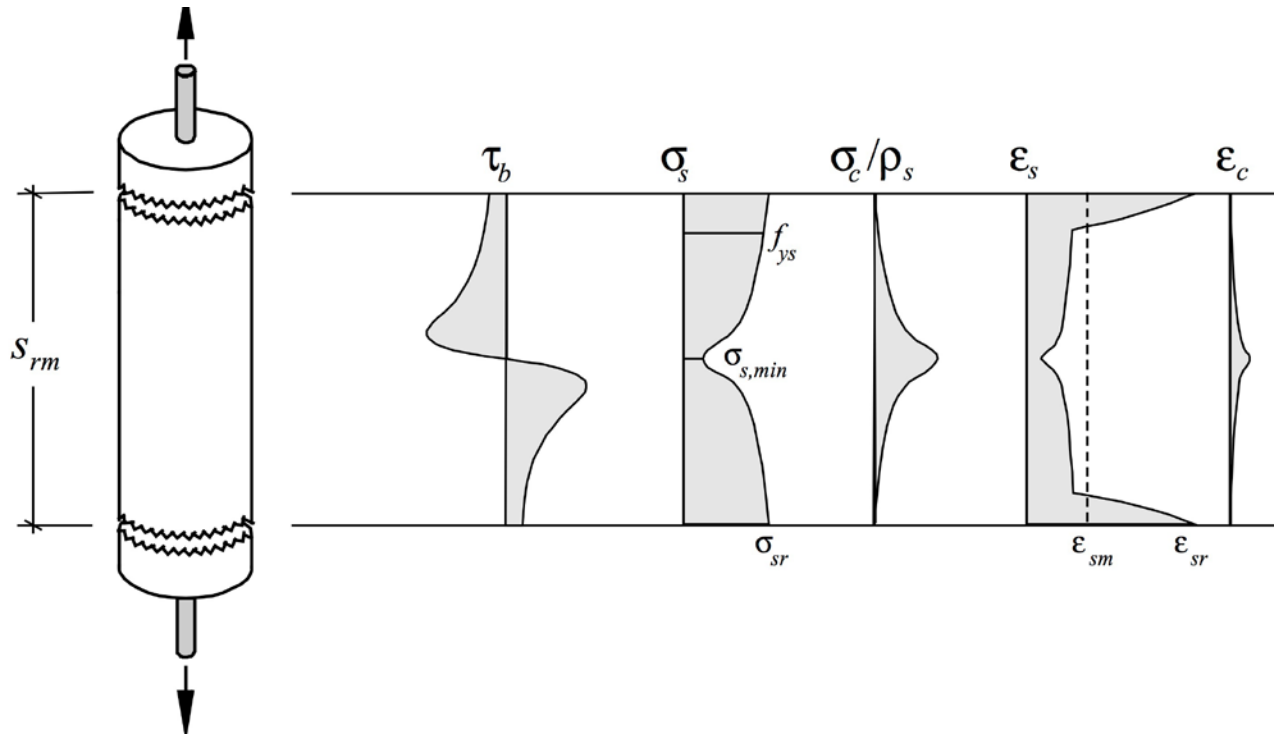
## Zuggurt Modell: progressive Rissbildung im Beton



(Houde and Mirza, 1992)

# Interaktion Zugglied-Einbettungsmaterial

## Versteifendes Verhalten des Stahl-Betons

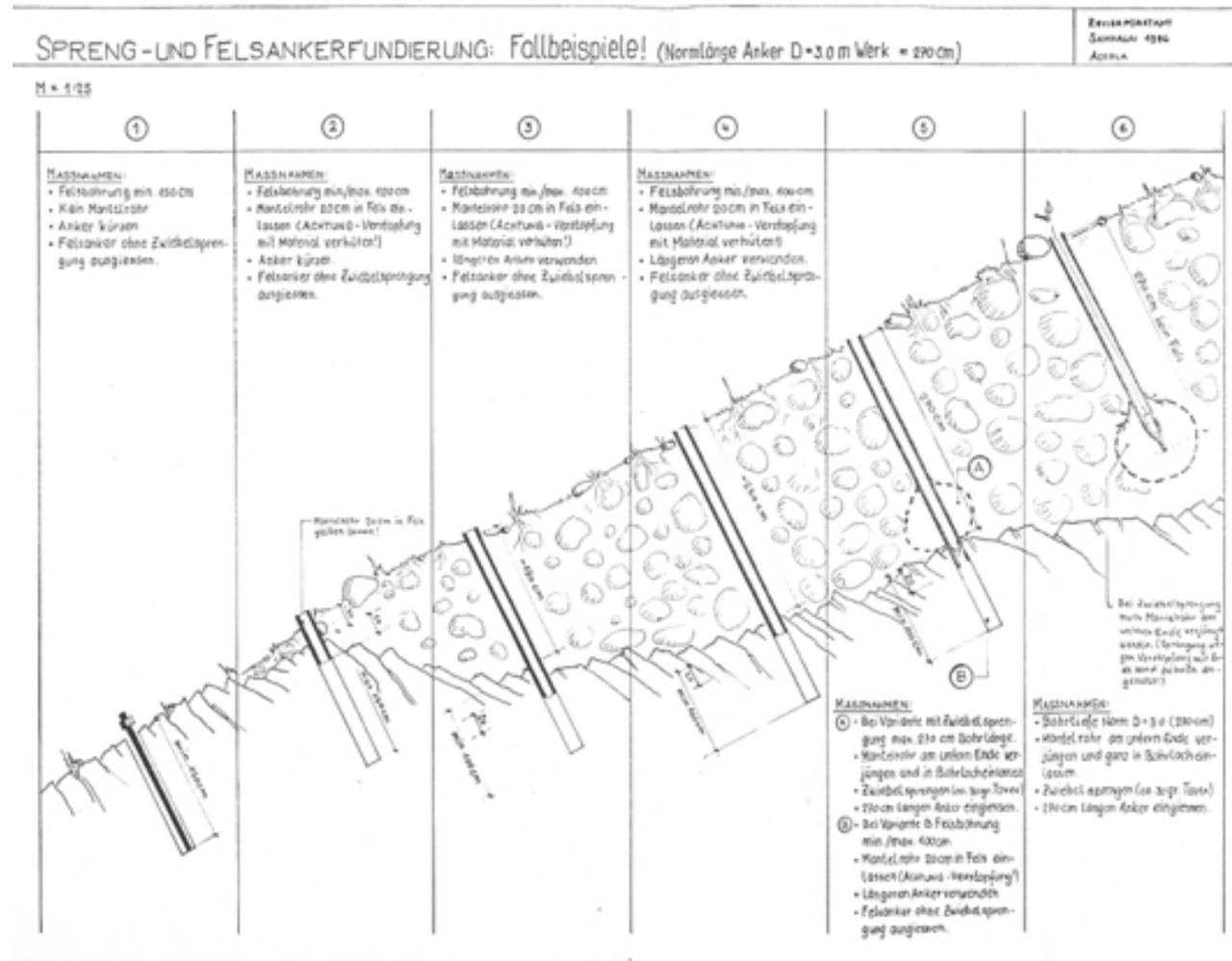


$\tau_b$  Verbundspannung Beton

$\epsilon_s$  Dehnung Stahl

$\sigma_s$  Zugspannung Stahl

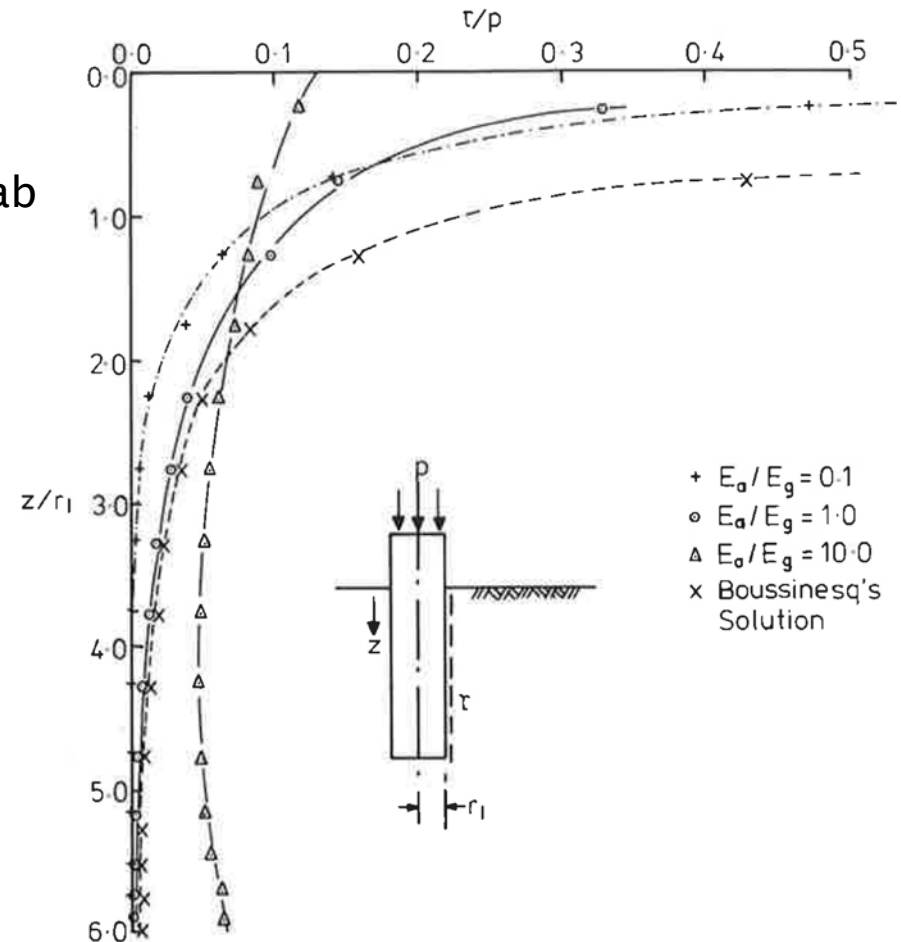
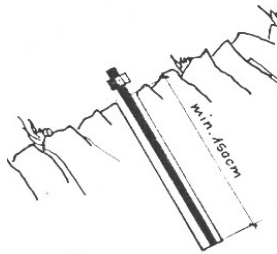
# Interaktion Einbettungsmaterial-Baugrund



# Interaktion Einbettungsmaterial-Baugrund: Fels

## Eigenschaften:

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

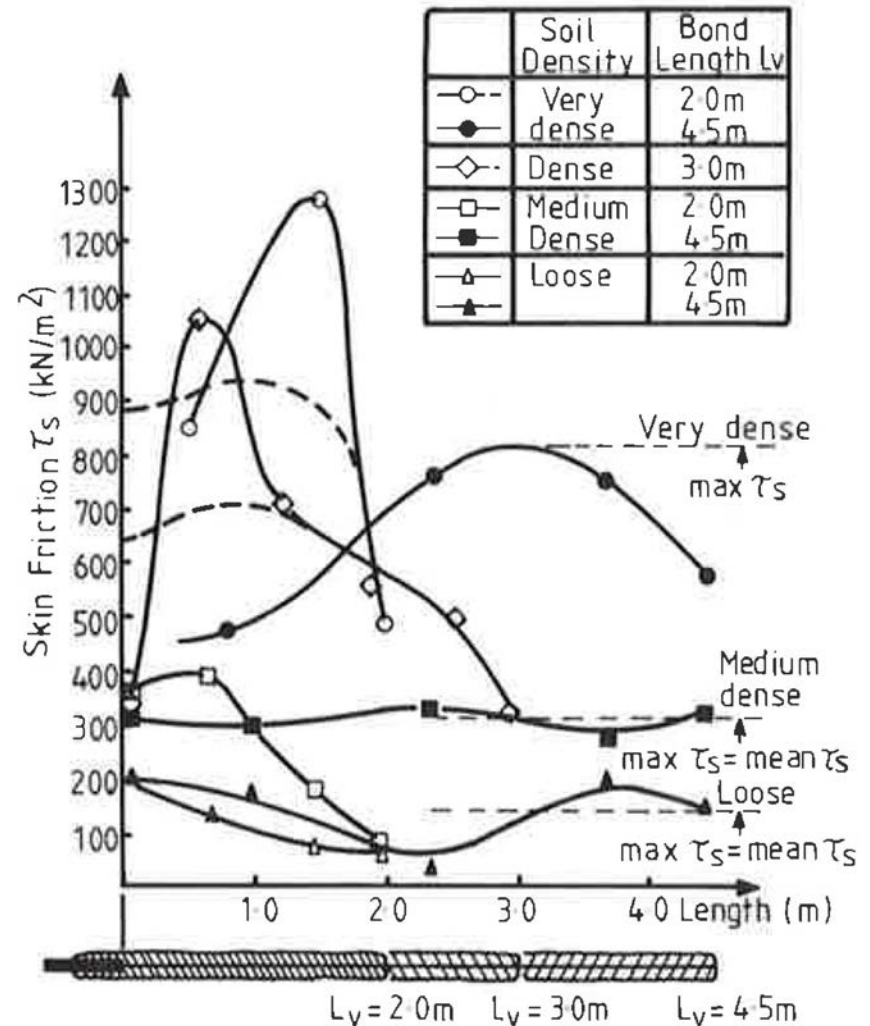
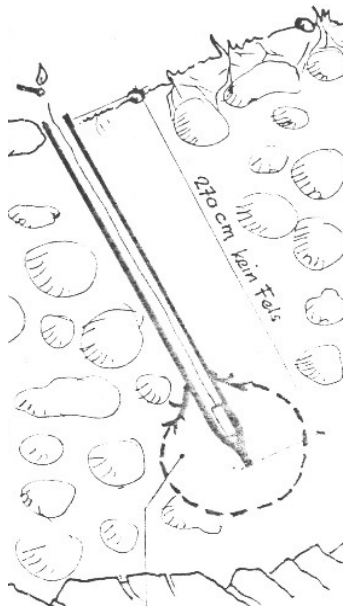


(Hanna, 1982)

# Interaktion Einbettungsmaterial-Baugrund: Boden

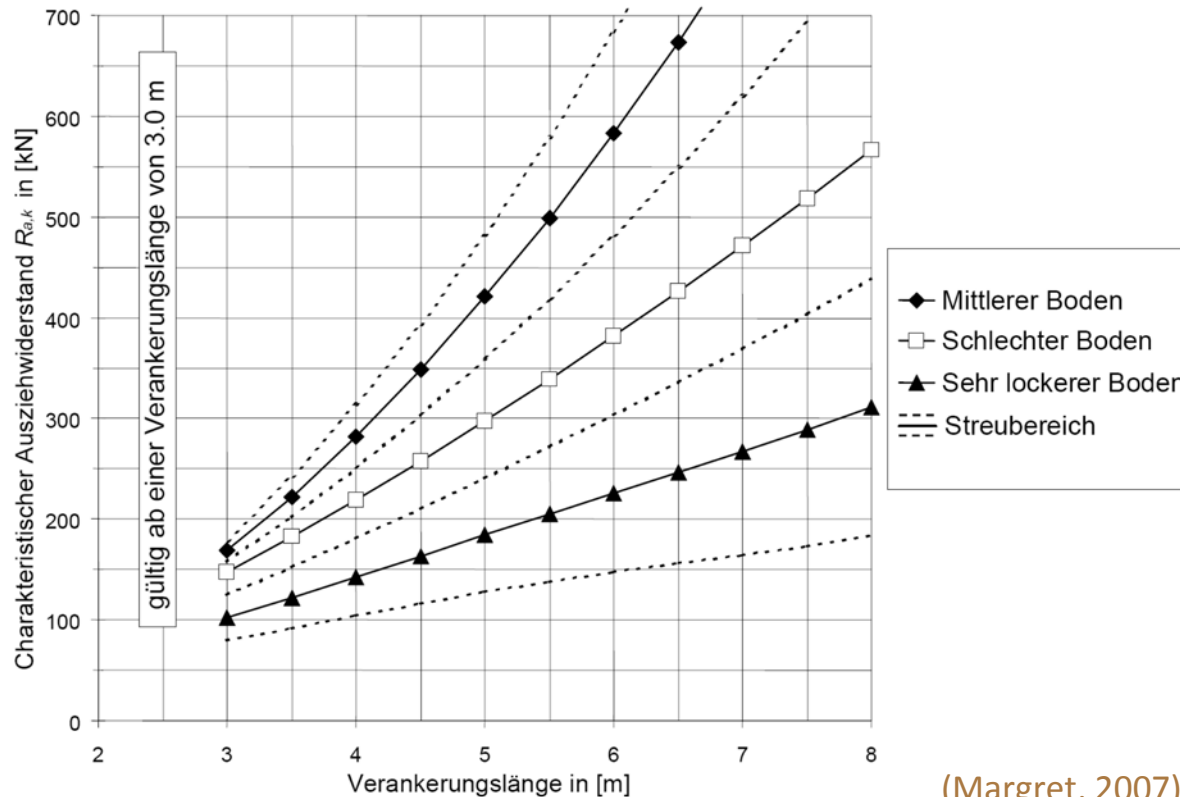
Eigenschaften:

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





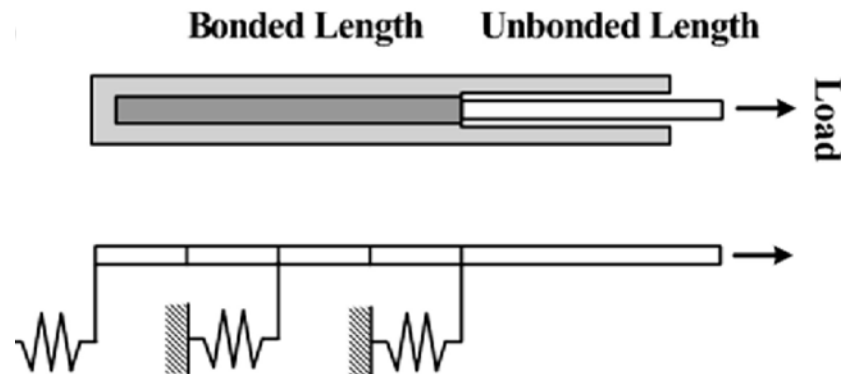
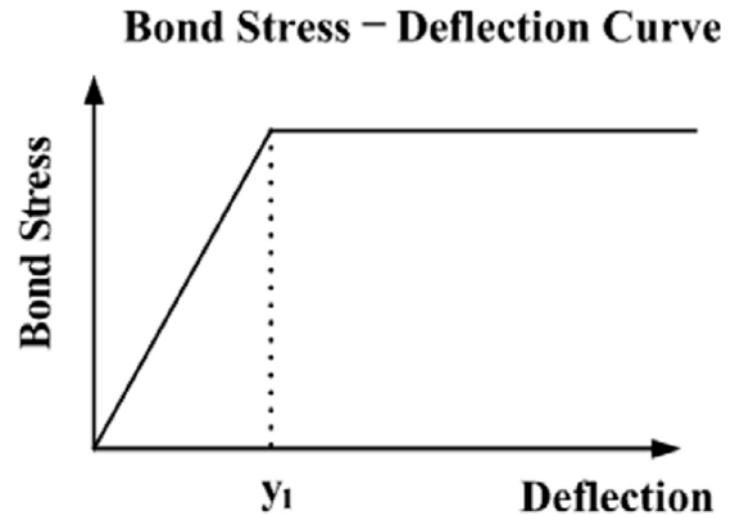
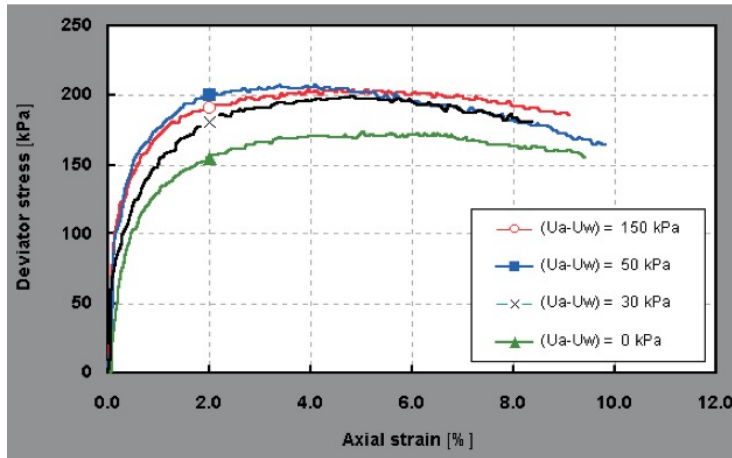
# Interaktion Einbettungsmaterial-Baugrund: Boden



- 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

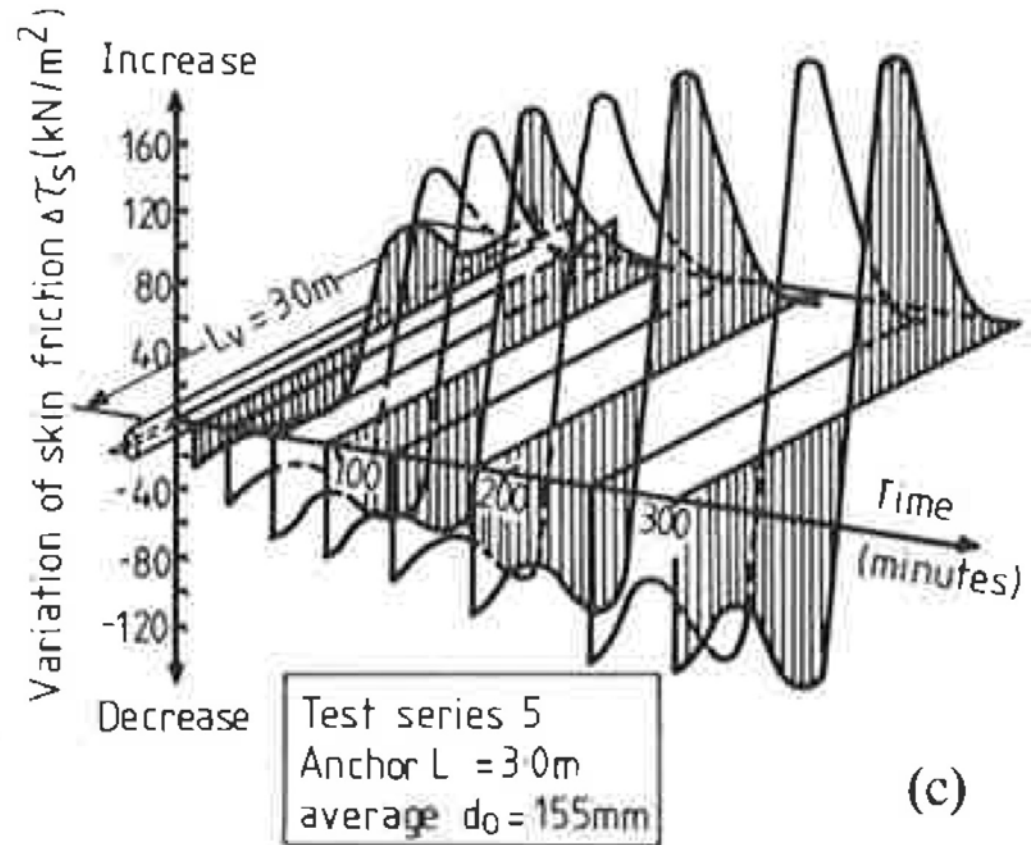
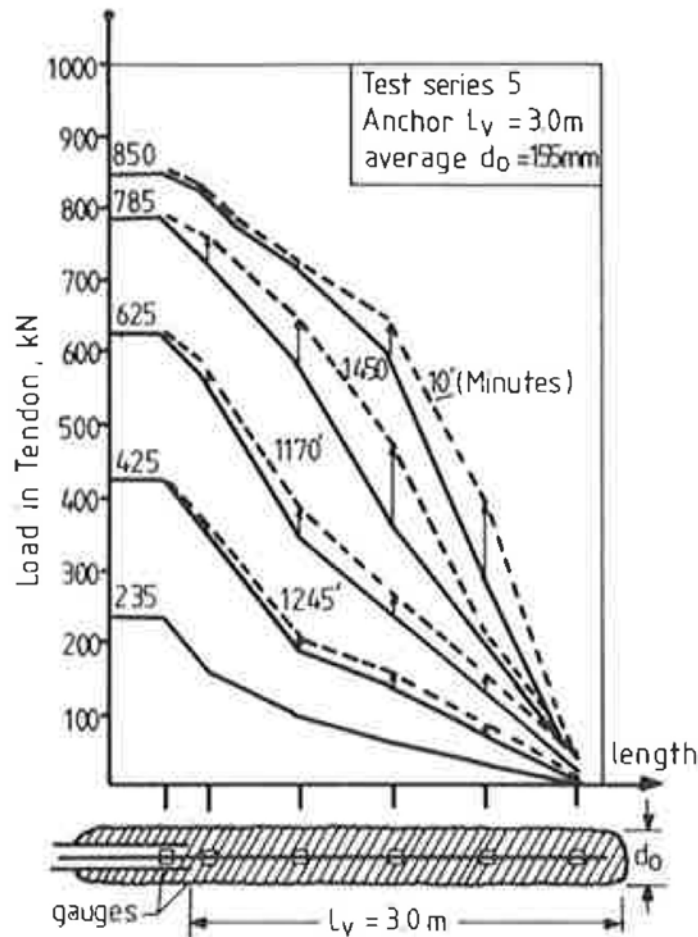
- ✓ Mantelreibung hängt von Dehnung ab



(Kim et al., 2007)

# Interaktion Einbettungsmaterial-Baugrund: Boden

- ✓ Mantelreibung hängt von Belastungsgeschwindigkeit ab  
→ Wirkung auf Kriechen

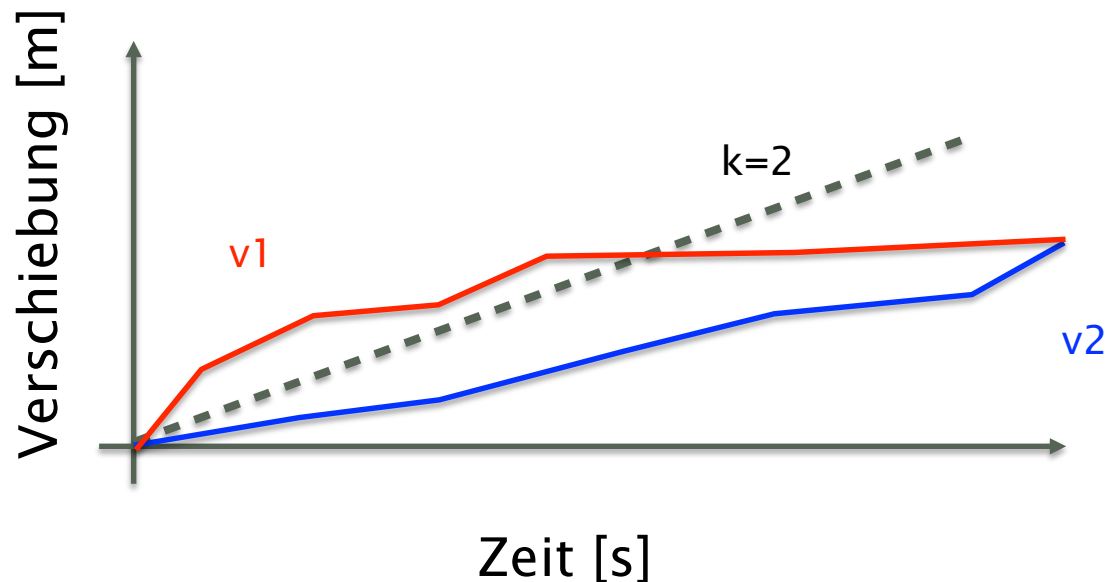


(Ostermayer und Scheele., 1977)

# Interaktion Einbettungsmaterial-Baugrund: Boden

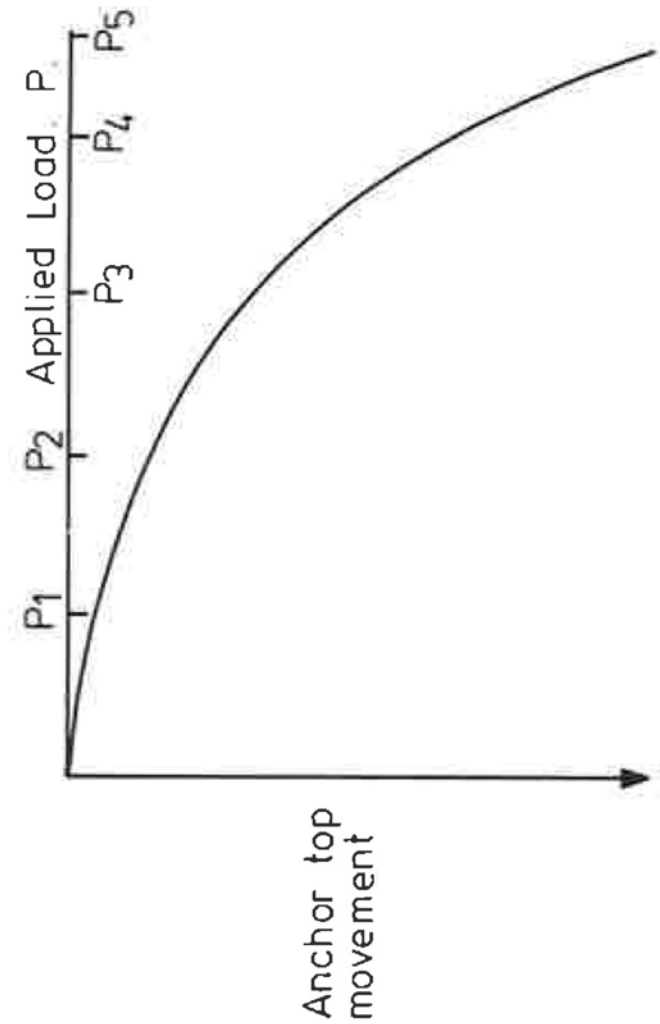
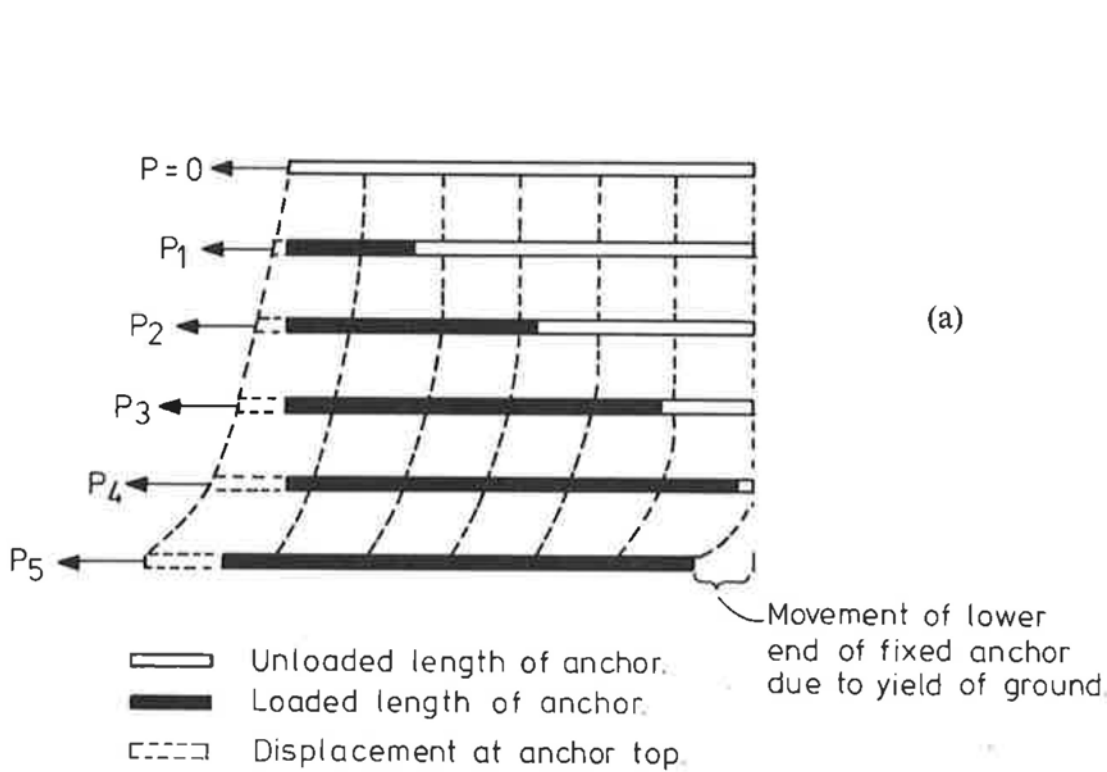
## ✓ Wirkung auf Kriechparameter

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 relativen 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

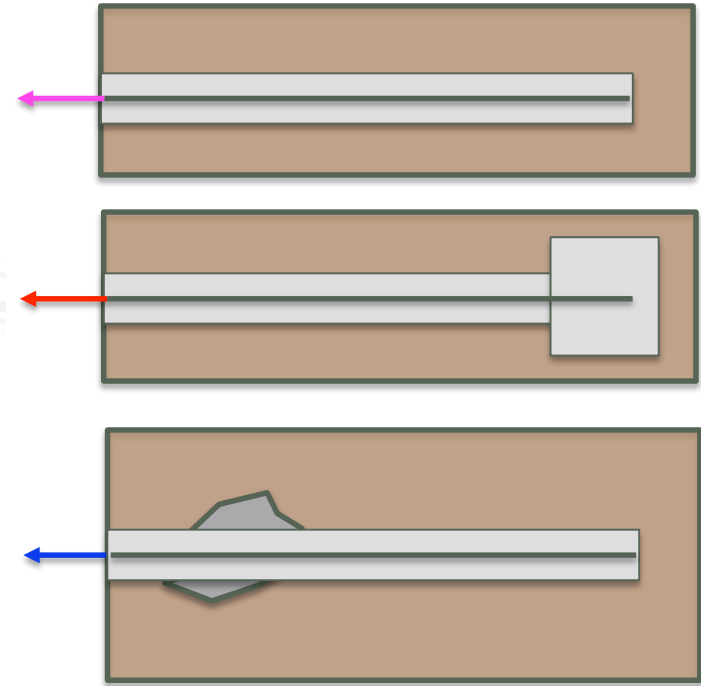
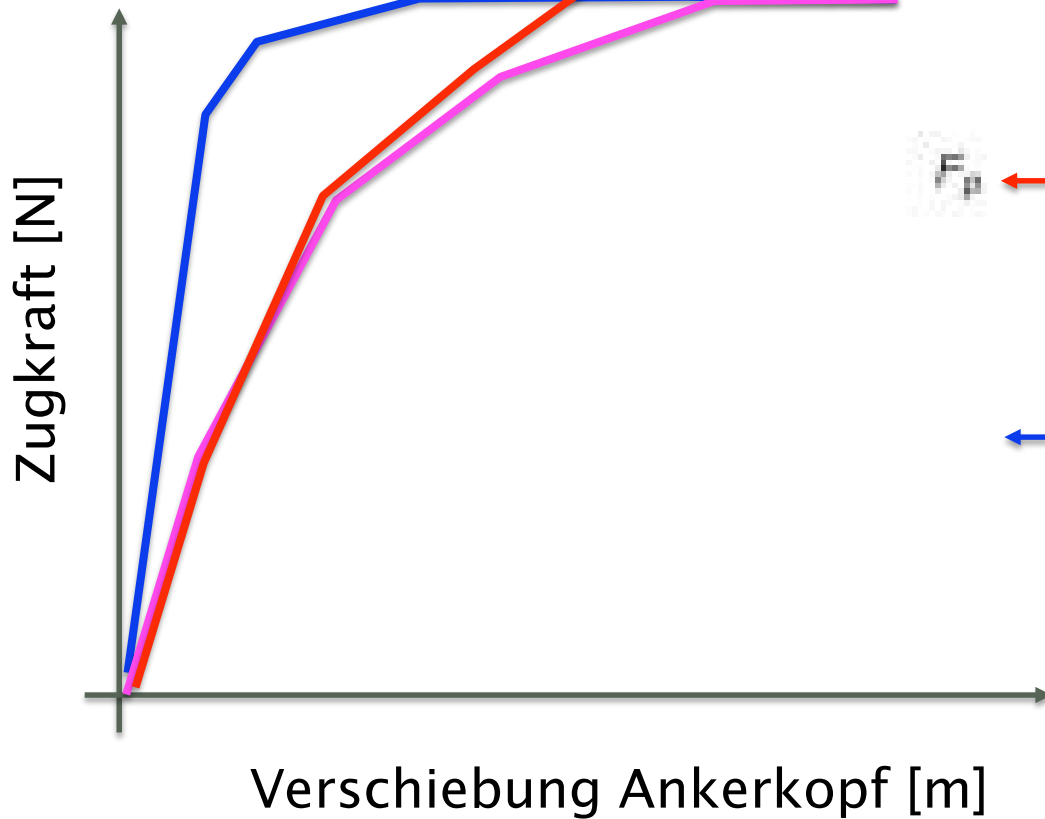


(Hanna, 1982)



# Verhalten gesamtes System

✓ Beispiel



# Verhalten gesamtes System

## ✓ Bedeutung Verbundlösung

### 7.2.3.3.3 Richtwerte für die Beurteilung der Zugprobe:

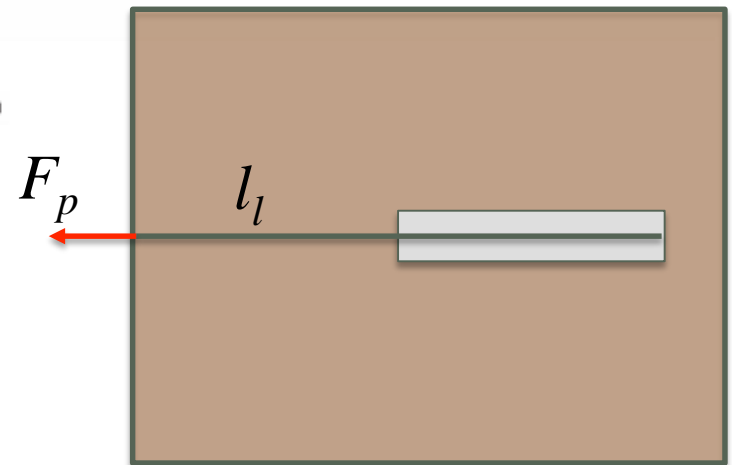
- Verschiebungszunahme  
zwischen 5 und 15 Minuten  $\Delta\Delta l \leq 0,5 \text{ mm}$  (entspricht einem Kriechmass  $k = 1 \text{ mm}$ )
- bleibende Verschiebung  $\Delta l_{\text{bl}}$   $\leq 5 \text{ mm}$
- Verbundlösung bei kurzen Ankern (bis 9 m) in homogenem Baugrund  
Verbundlösung  $l_f -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

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

$A_s$  minimale Querschnittsfläche des Zugglieds von ungespannten Ankern

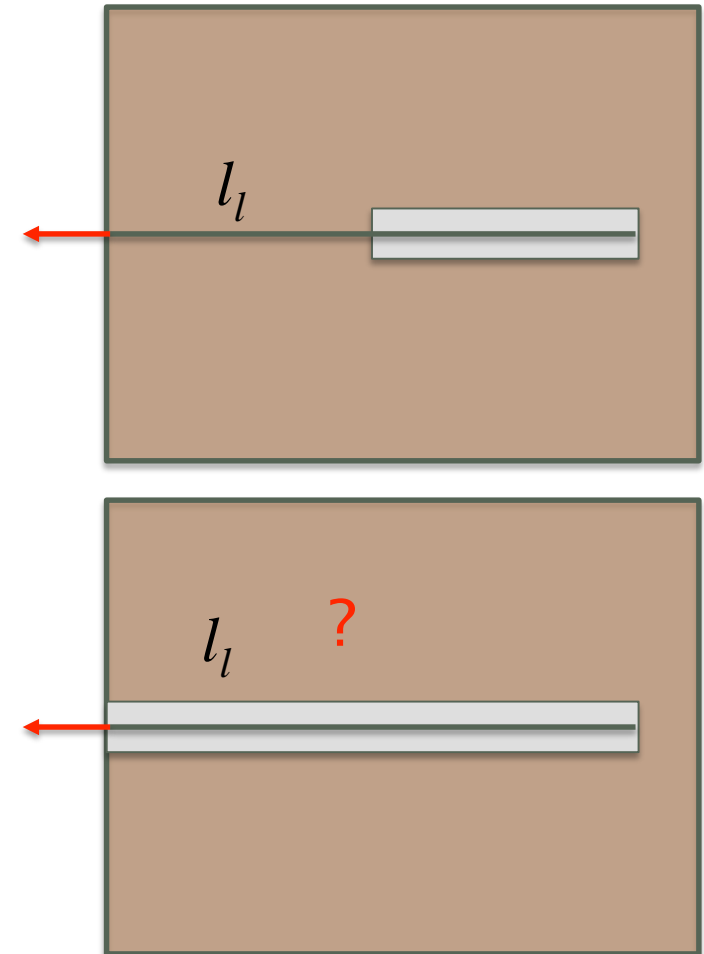
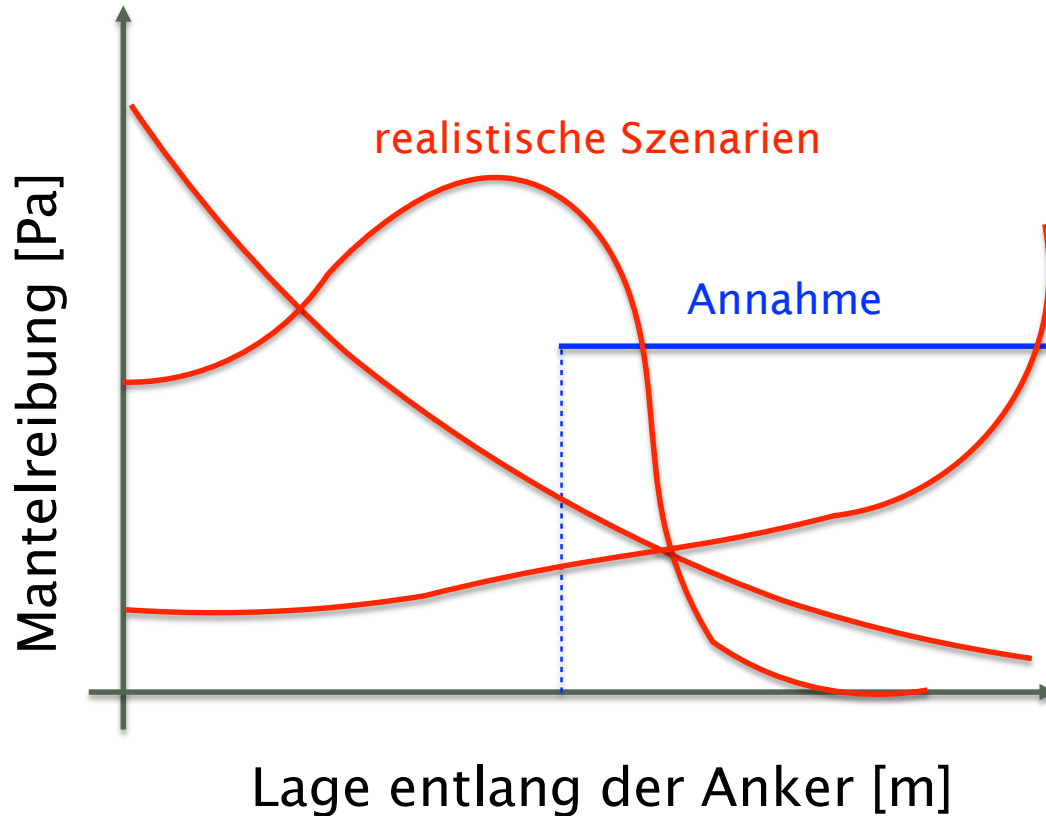
$E_s$  E-Modul des Zugglieds von ungespannten Ankern

$l_f$  wirksame freie Ankerlänge



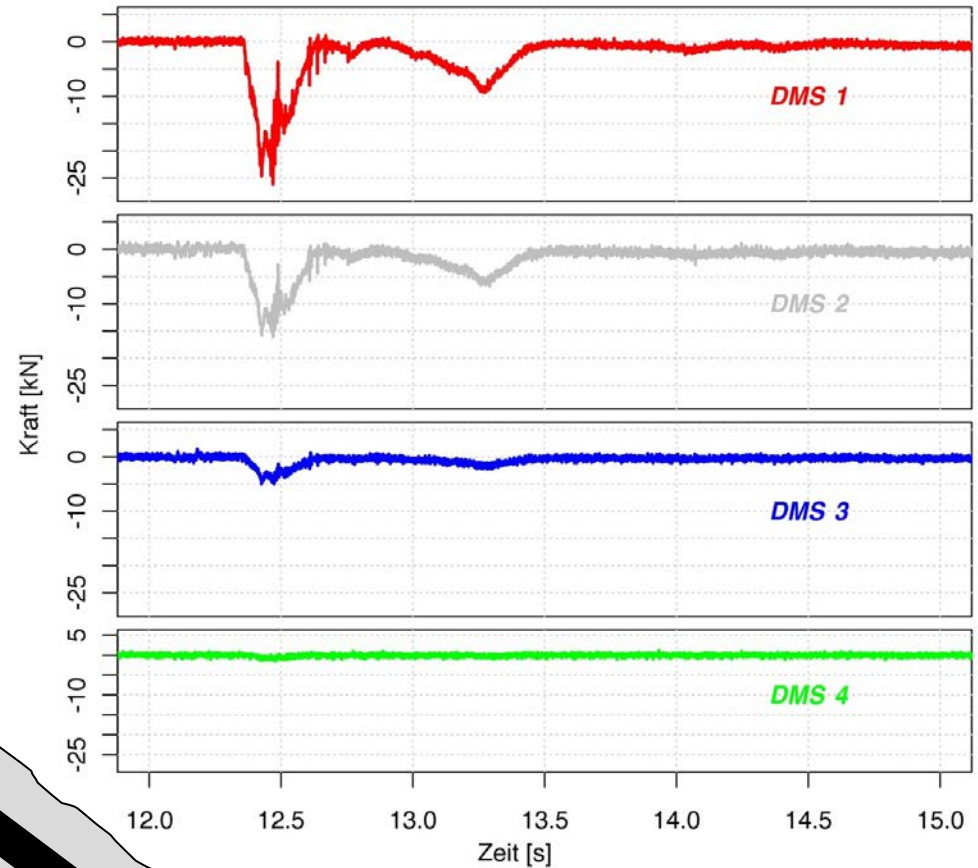
# Verhalten gesamtes System

- ✓ Bedeutung Verbundlösung



# Verhalten gesamtes System

✓ Statisch vs. dynamisch



**Dehnmessstreifen Zug**

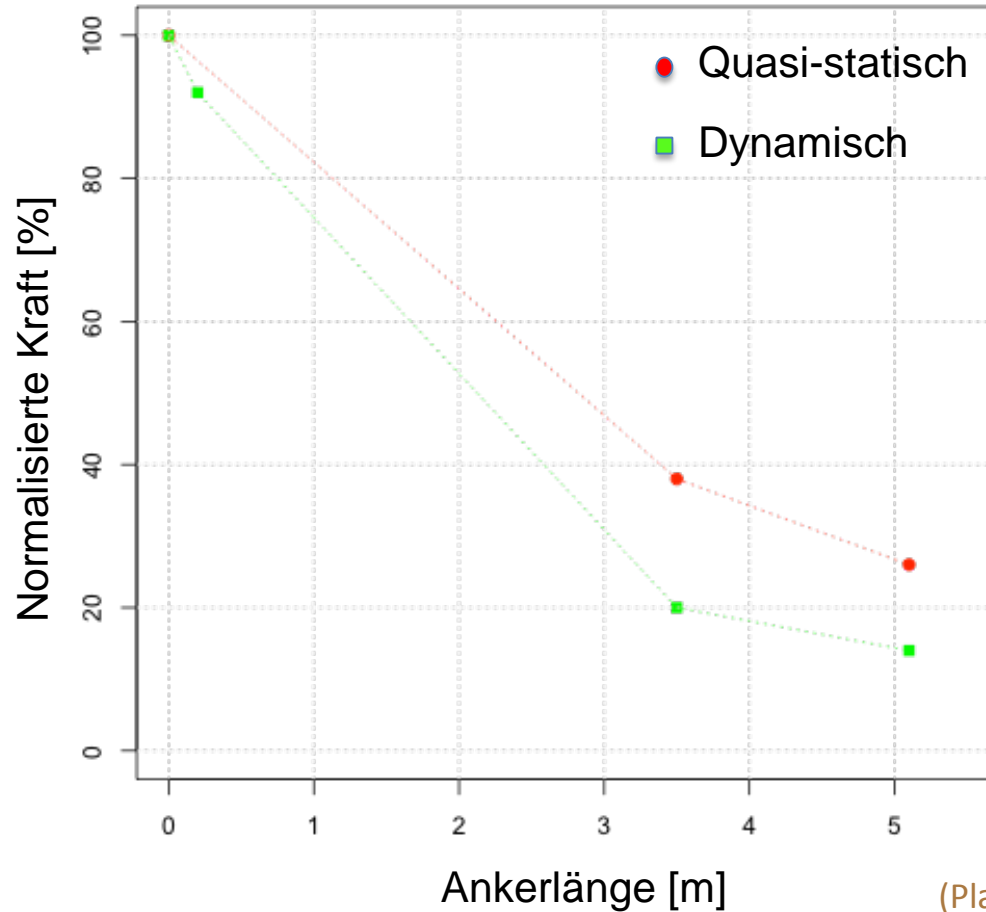
**Nagel**

**45°**

(Platzer et al., under review)

# Verhalten gesamtes System

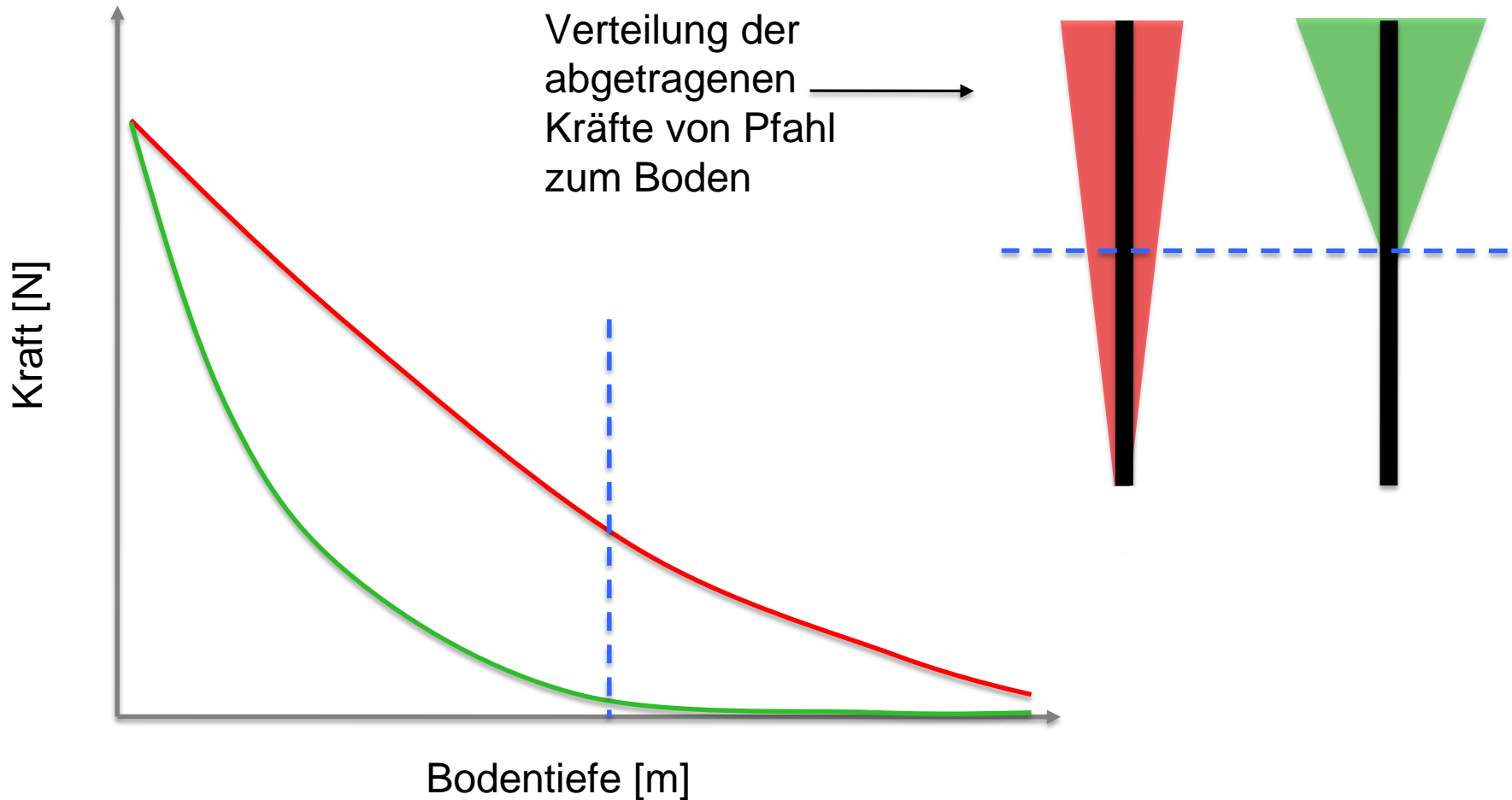
- ✓ Statisch vs. dynamisch



(Platzer et al., under review)

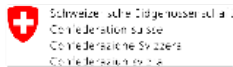
# Verhalten gesamtes System

✓ Statisch vs. dynamisch



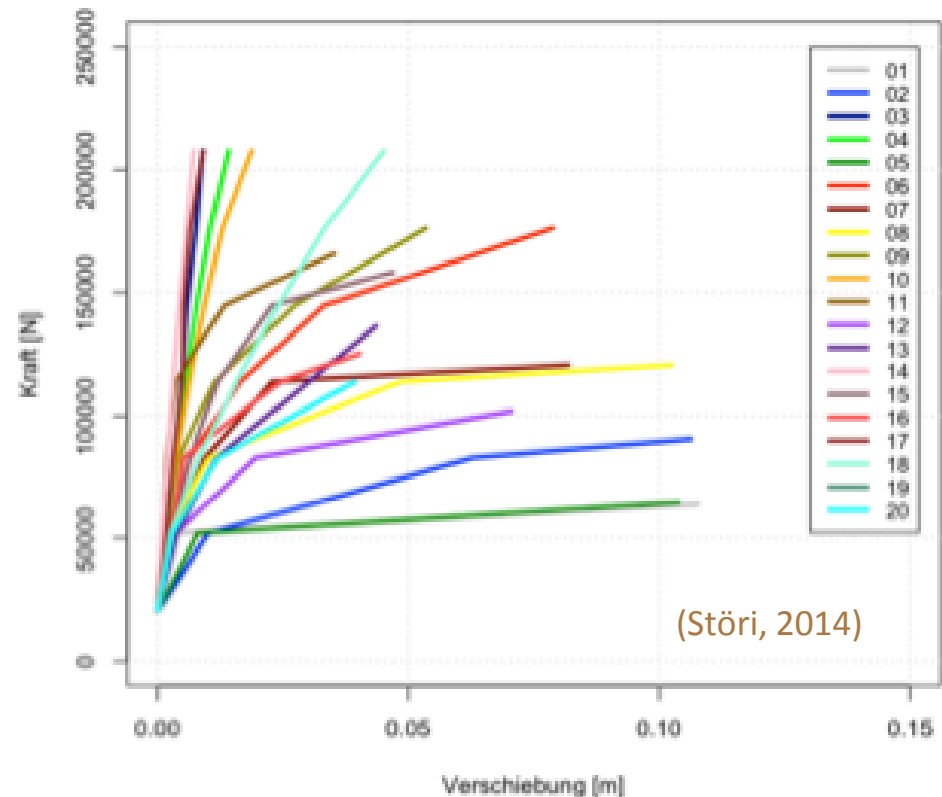
# Analyse Ausziehversuche und Zugprobe

- ✓ 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**



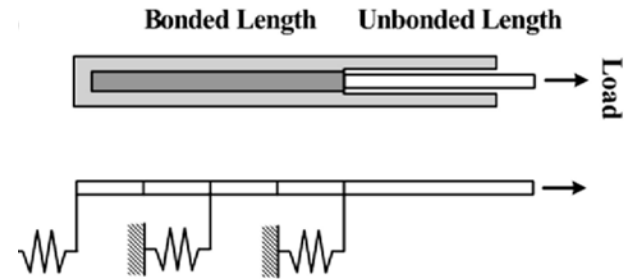


# Analyse Ausziehversuche und Zugprobe

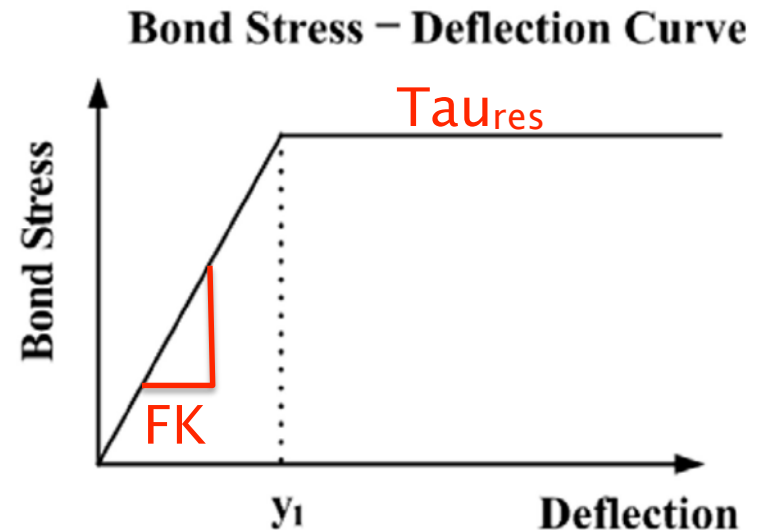
## HAFL Modell:

- ✓ 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)



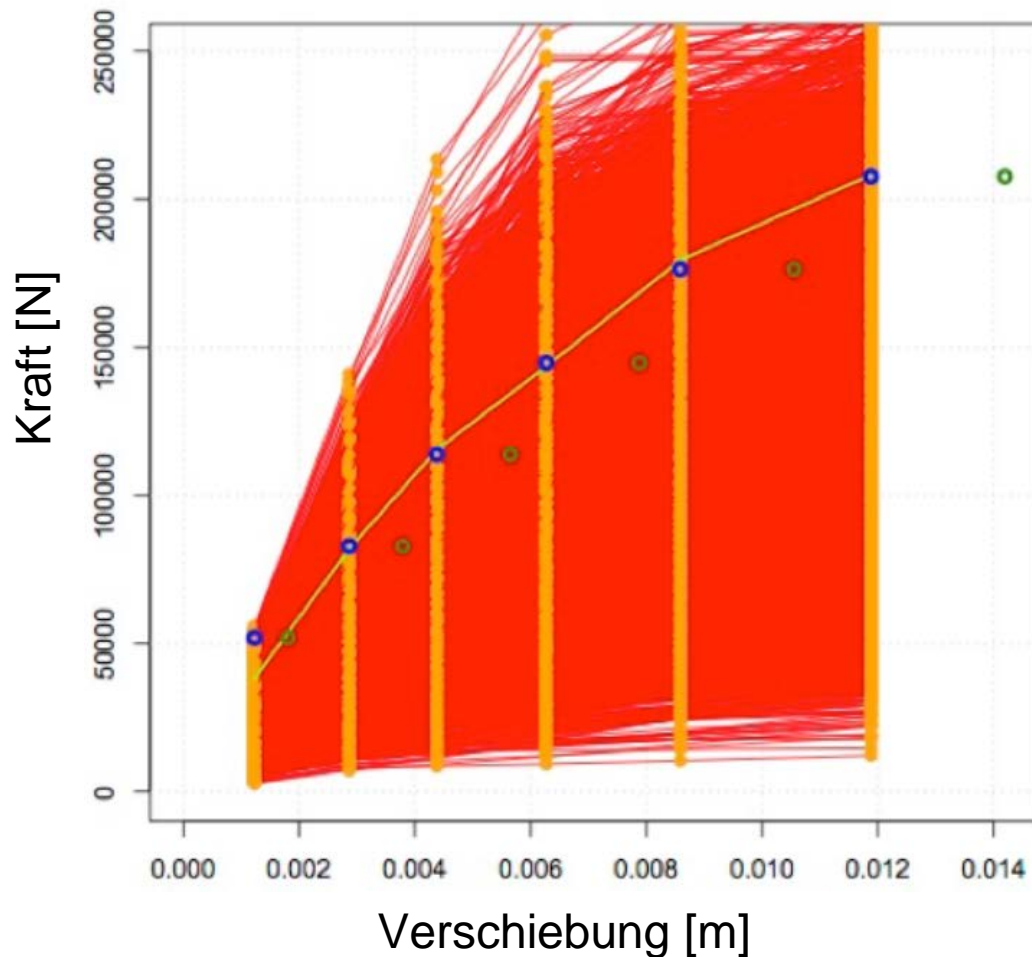
(Kim et al., 2007)



$\tau_{res}$  = 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

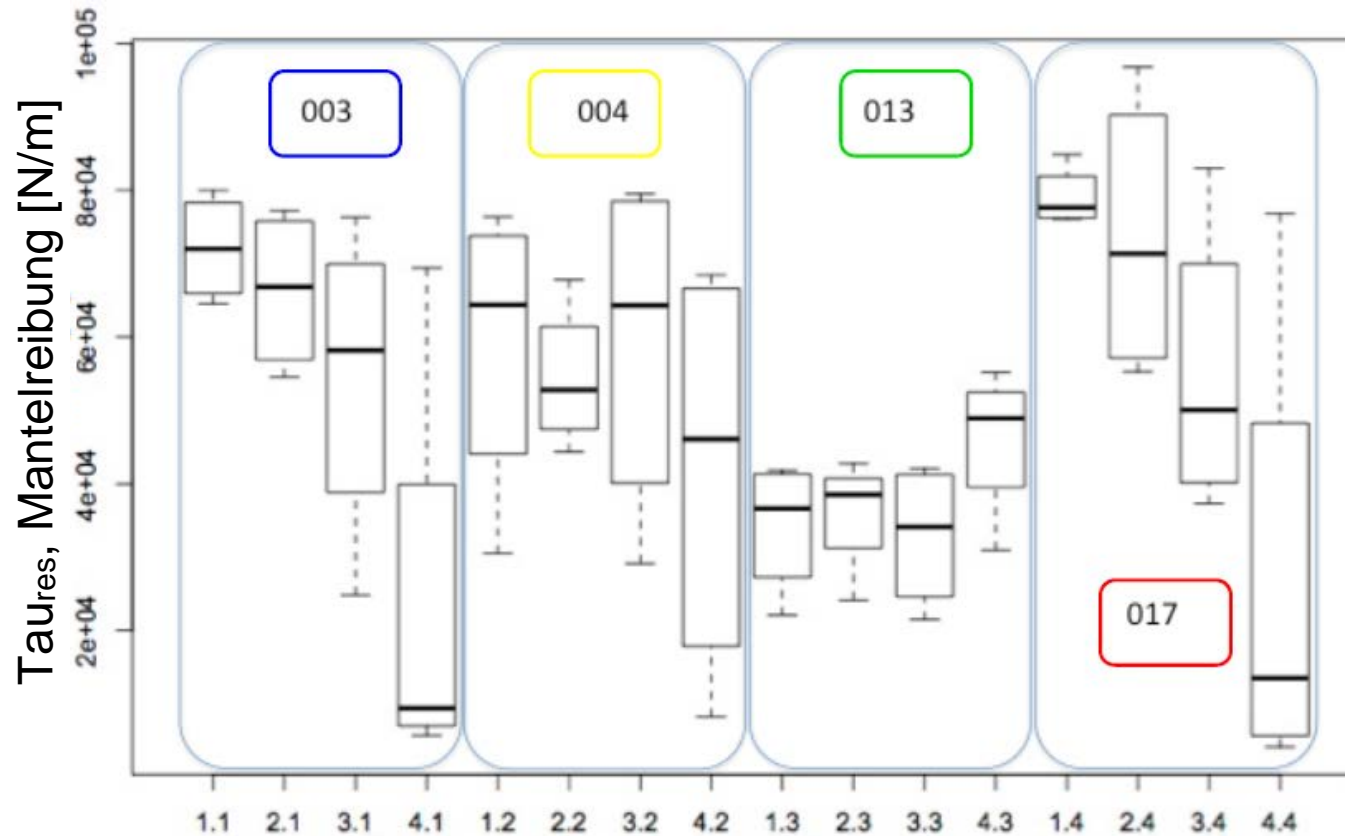
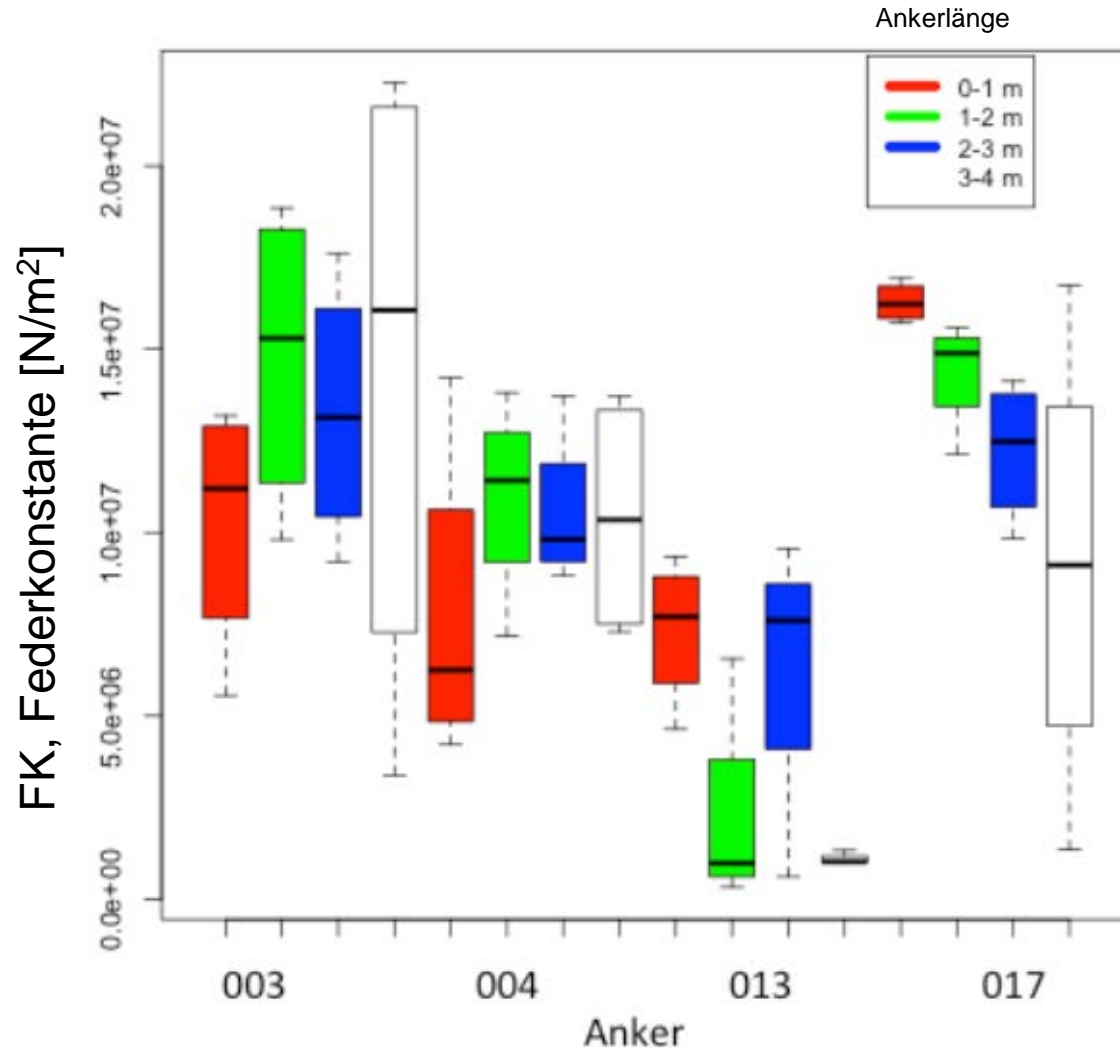


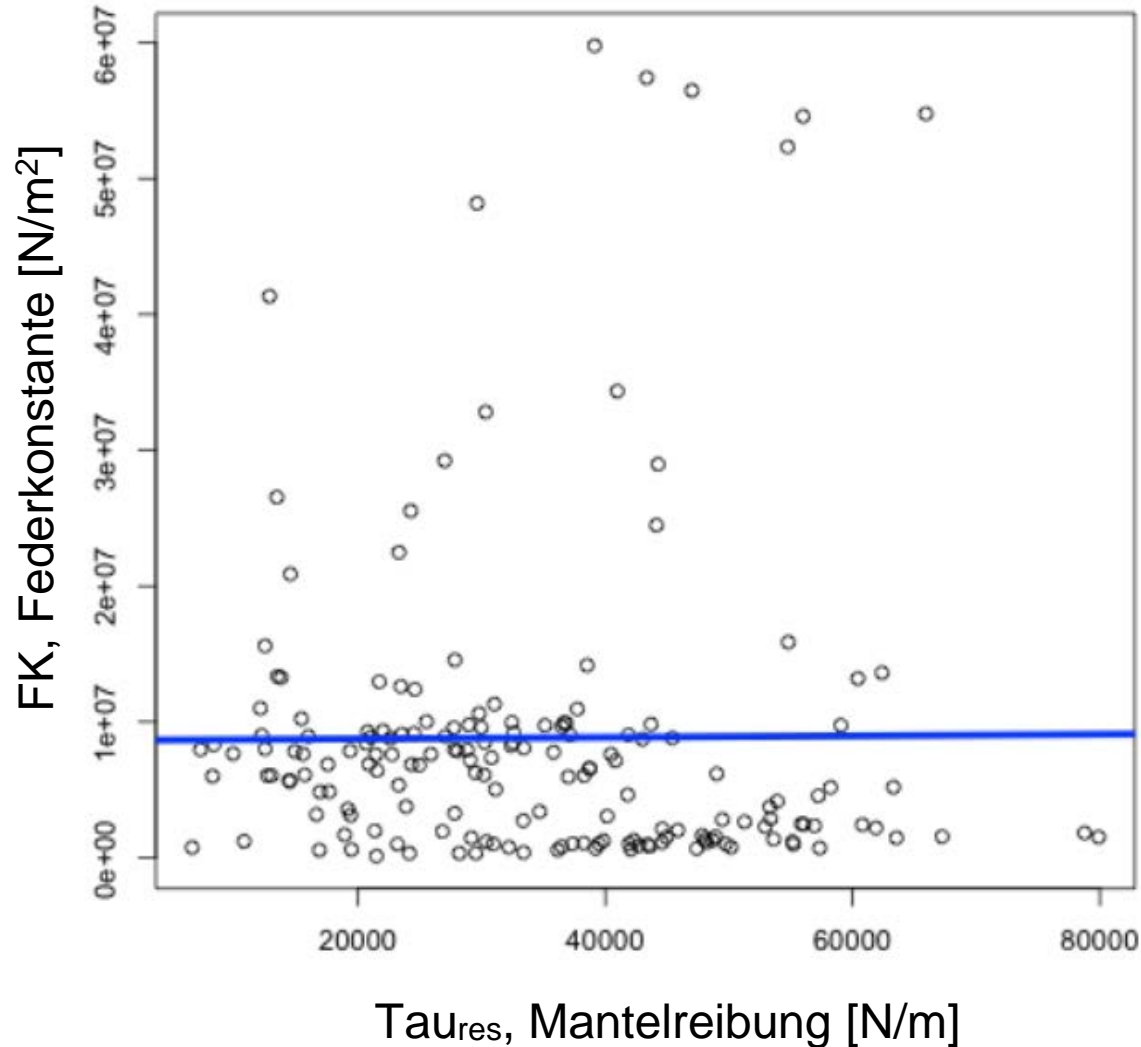
Abb. 12: Boxplot mit der Verteilung der modellierten Tau – Werte der Anker 003, 004, 013 und 017 pro Laufmeter in N

(Brosi, 2016)

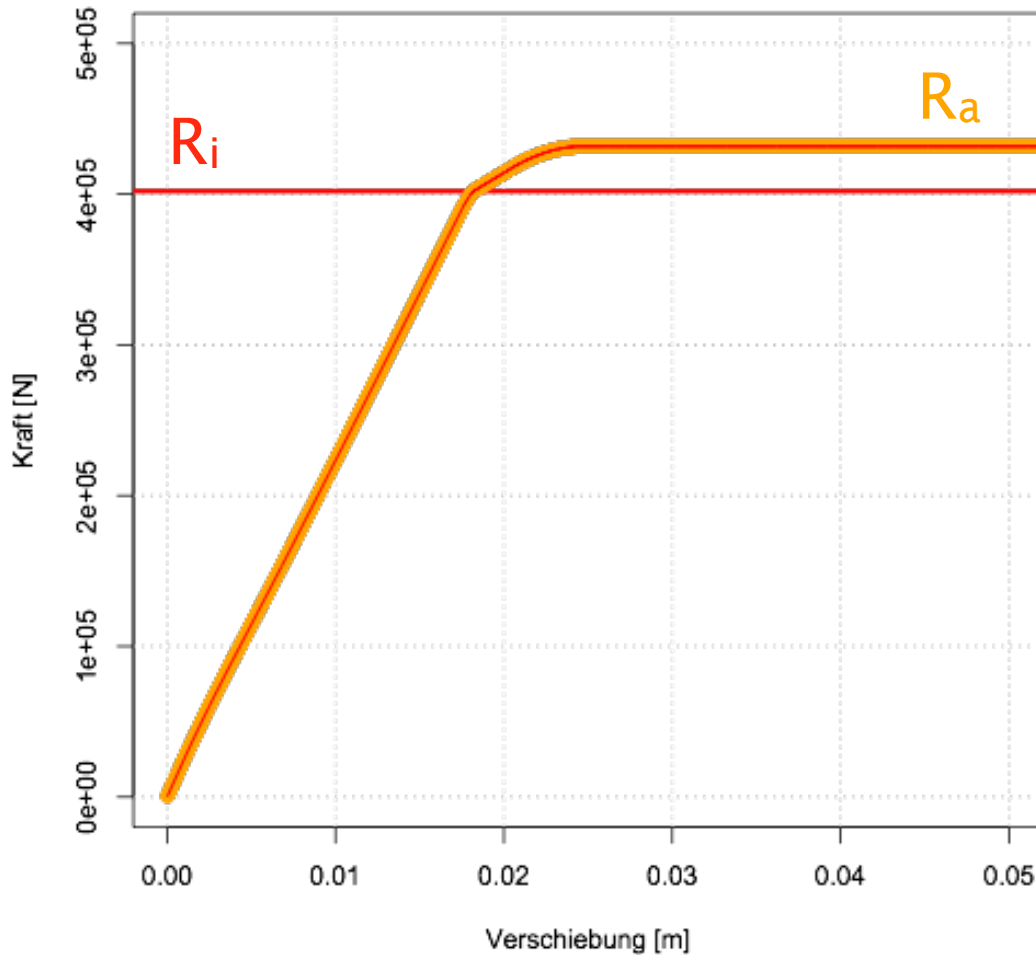
# Analyse Ausziehversuche und Zugprobe



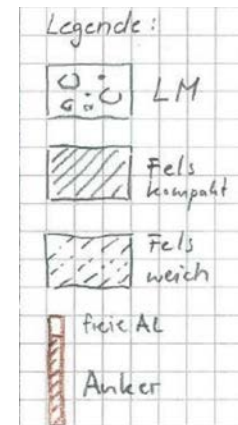
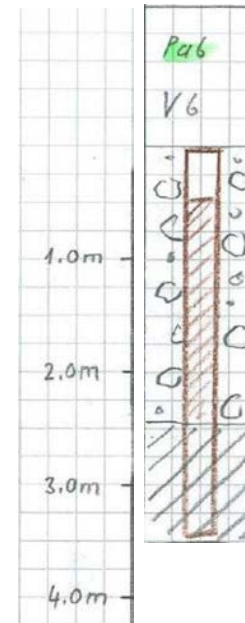
# Analyse Ausziehversuche und Zugprobe



# Analyse Ausziehversuche und Zugprobe

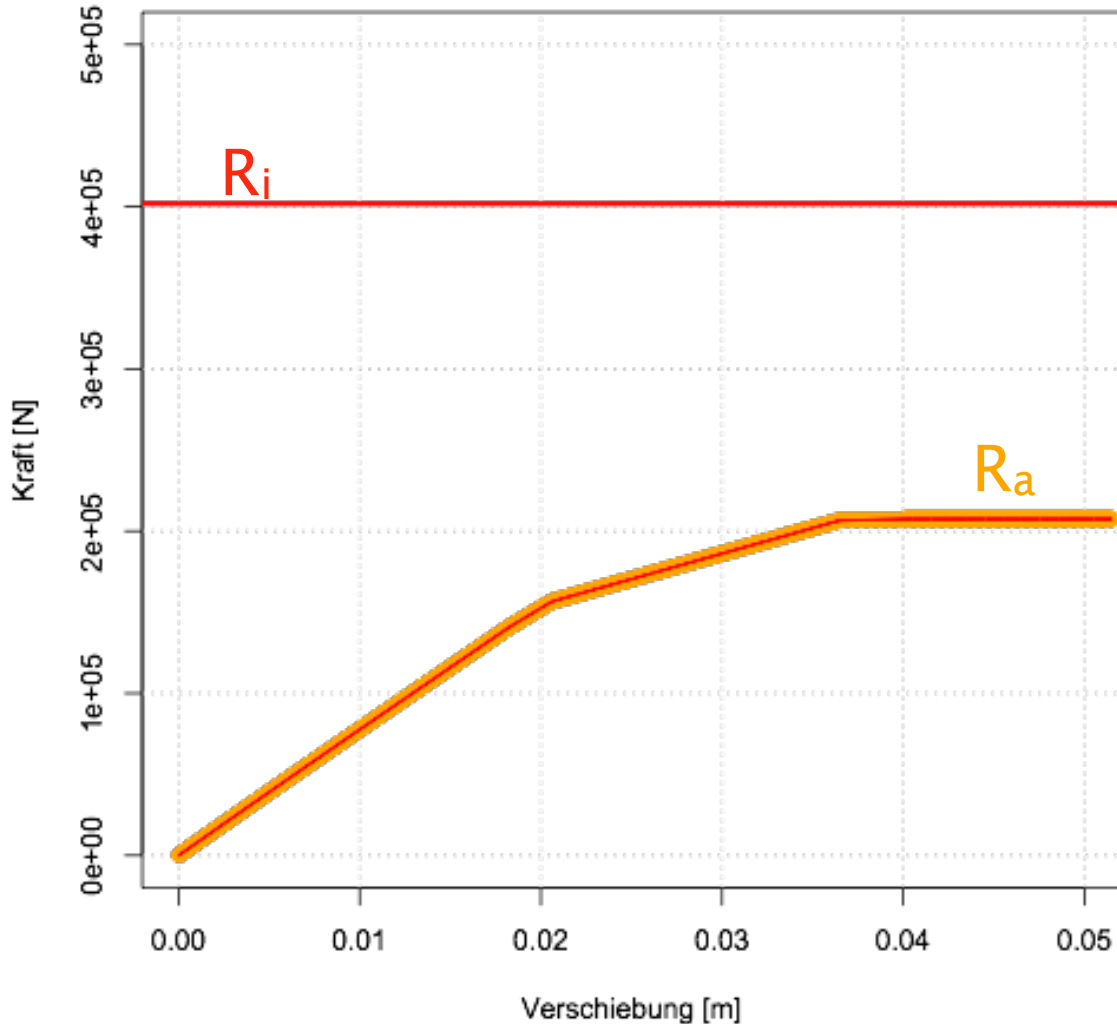


PA6  
Boden-Fels

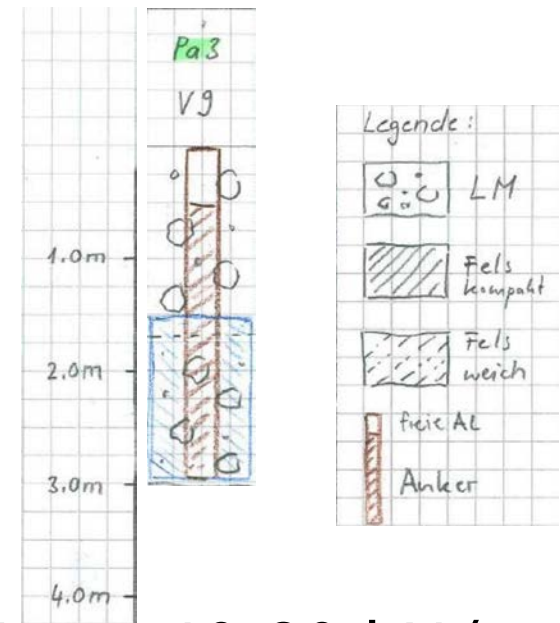


$\tau = 60-250 \text{ kN/m}$   
 $FK = 3-20 \text{ MN/m}^2$

# Analyse Ausziehversuche und Zugprobe



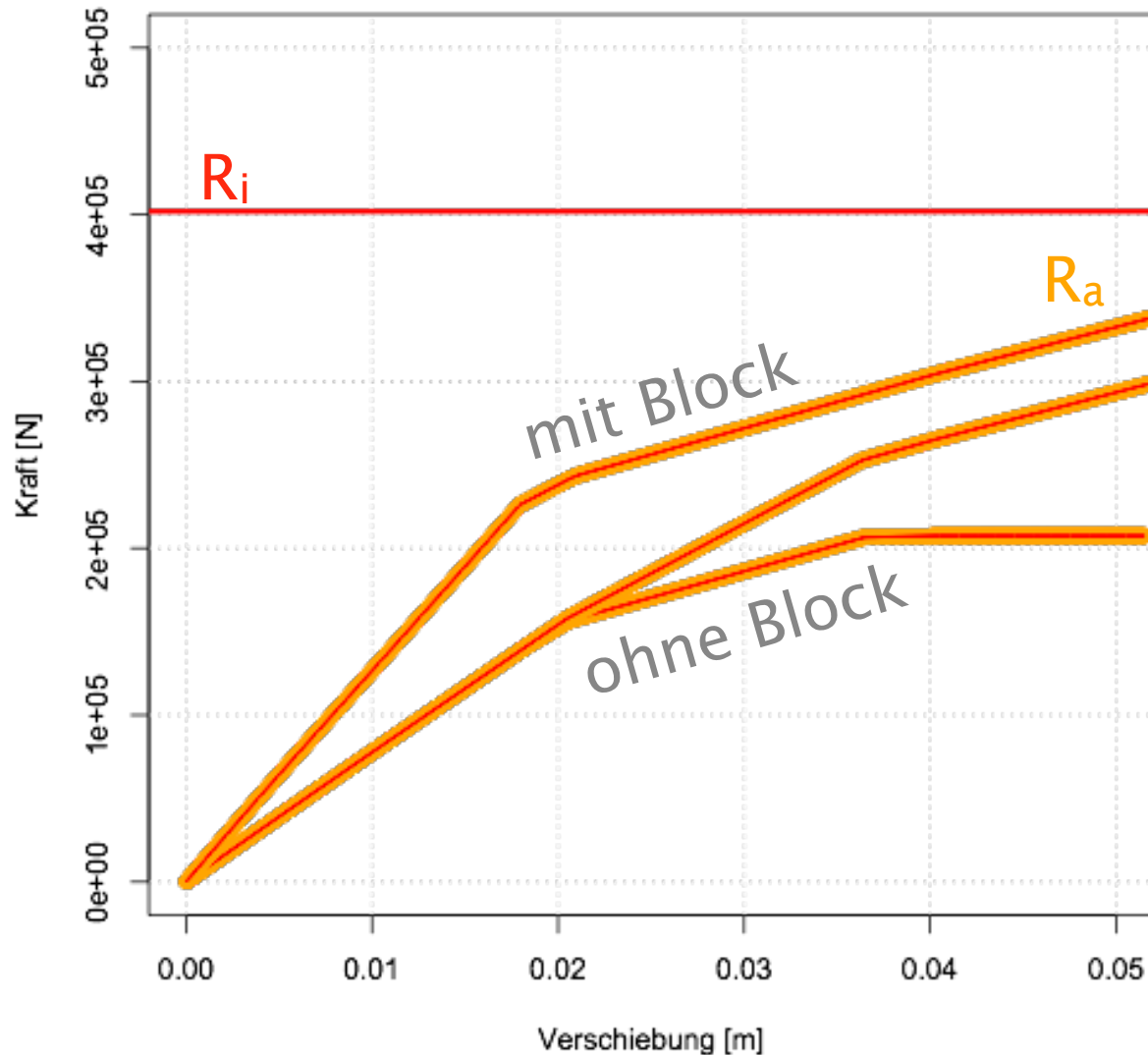
PA3  
Gesättigte und ungesättigte Boden



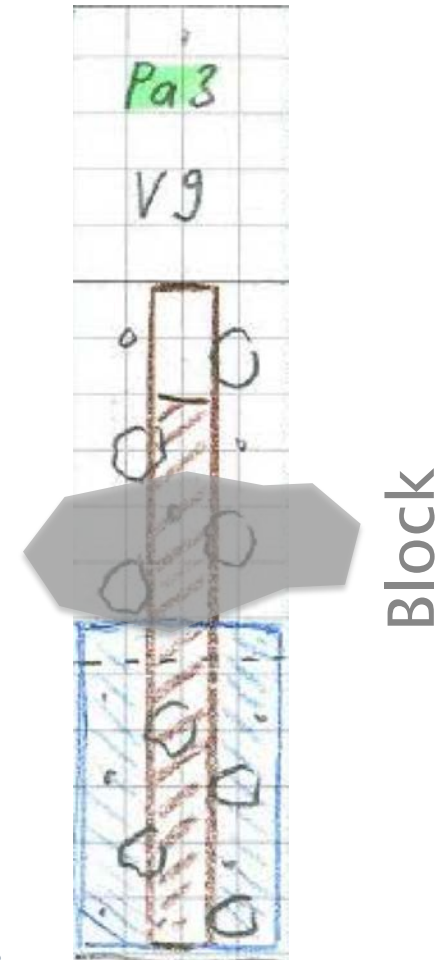
$\tau = 40-80 \text{ kN/m}$   
 $FK = 2-4 \text{ MN/m}^2$



# Analyse Ausziehversuche und Zugprobe

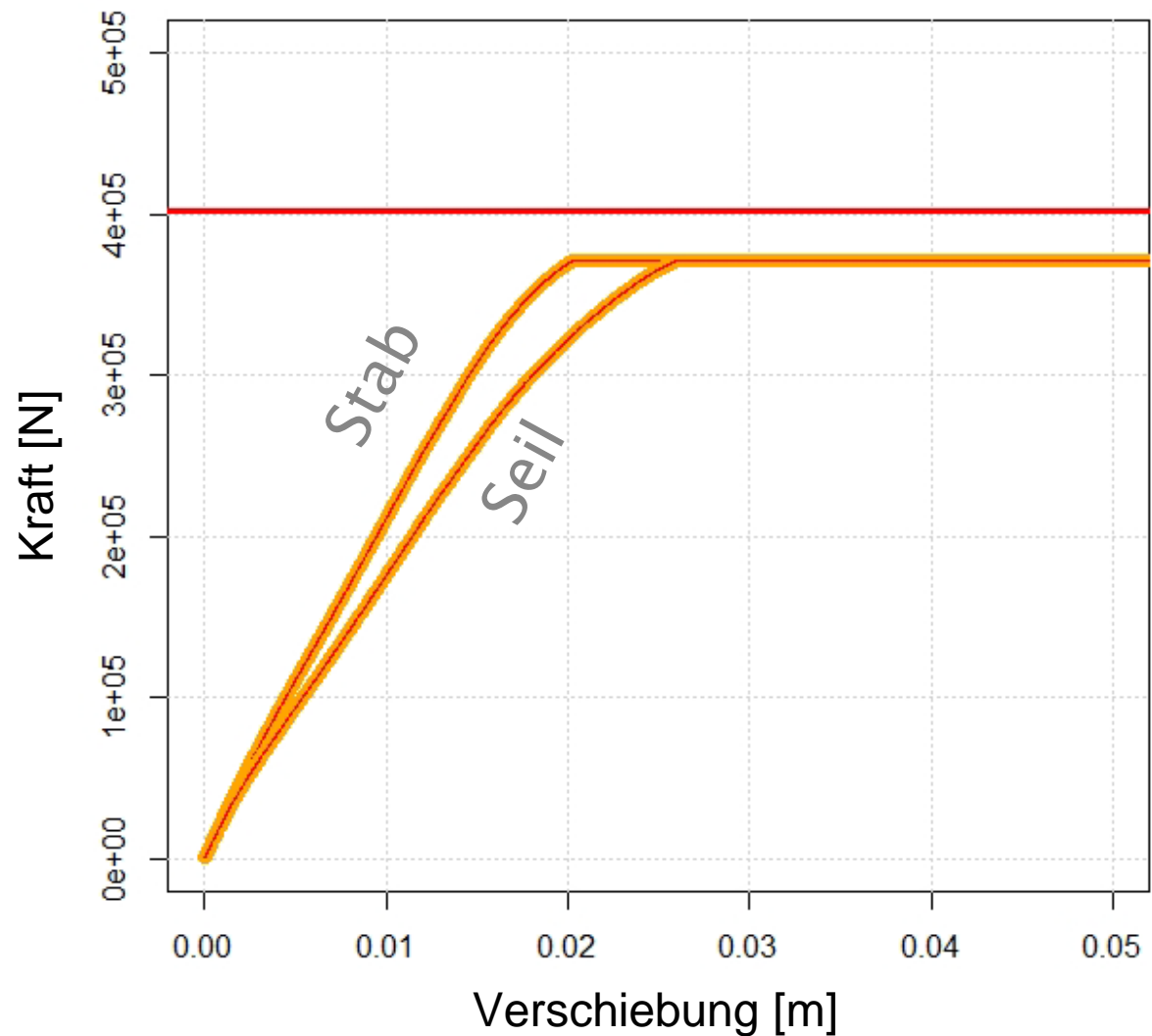


PA3 mit Block



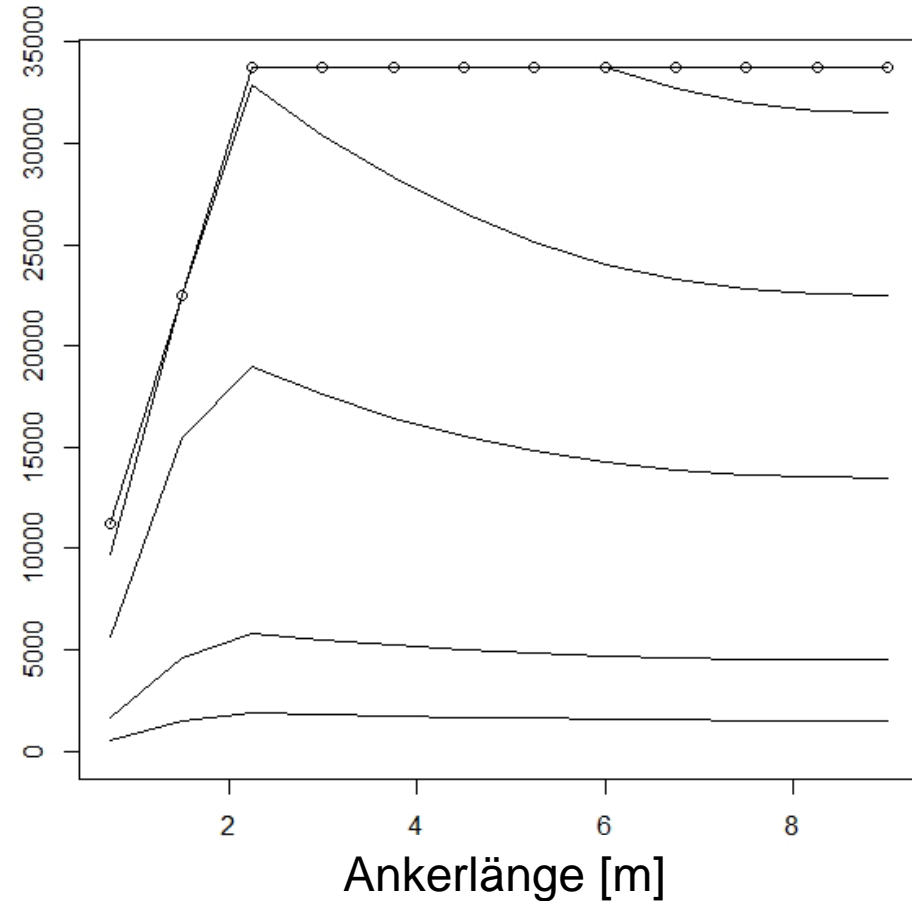
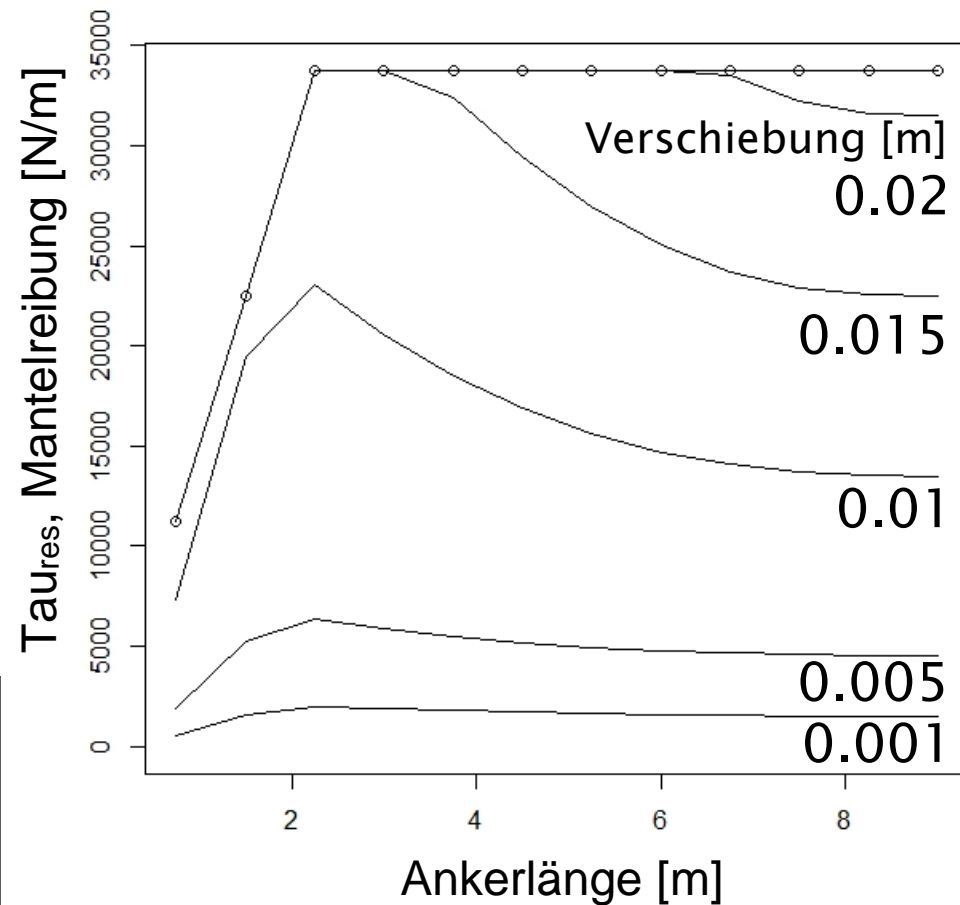
# Analyse Ausziehversuche und Zugprobe

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



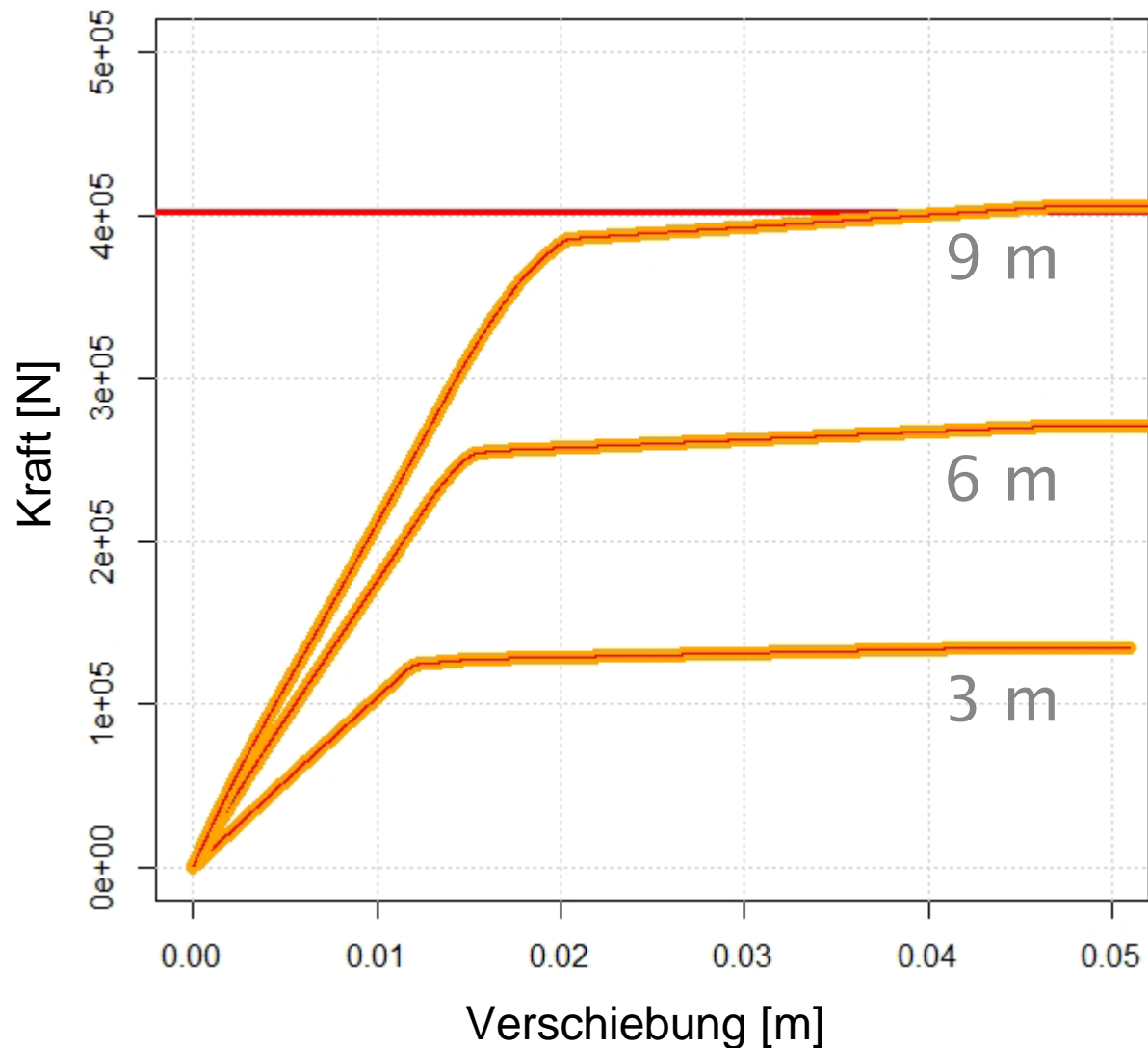
# Analyse Ausziehversuche und Zugprobe

- ✓ Stab vs. Seilanker (in homogener Boden)



# Analyse Ausziehversuche und Zugprobe

- ✓ Einfluss Ankerlänge



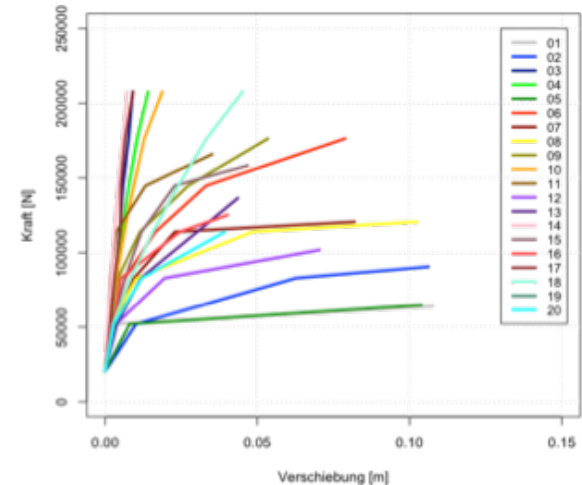
# Zusammenfassung

- ✓ 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!