

Festigkeit von Böden

Haris Felic

Institut für Bodenmechanik, Grundbau und Numerische Geotechnik

Inhalte übernommen und aufgearbeitet von:

Prof. Schweiger

Prof. Semprich

Ass. Prof. Tschuchnigg

DI Havinga

Festigkeit von Böden

▪ Scherfestigkeit

- Begriffserklärung
- Theorie

▪ Laborversuche zur Ermittlung der Scherfestigkeit

- Scherversuche
- Triaxialversuche
- Versuchsauswertung

▪ Spannungspfade

- Definition
- Mohr'scher Spannungskreis vs. Spannungspfad
- s-t-Diagramm
- Effektiver und totaler Spannungspfad
- Typische Spannungspfade
- Spannungspfade bei Laborversuchen

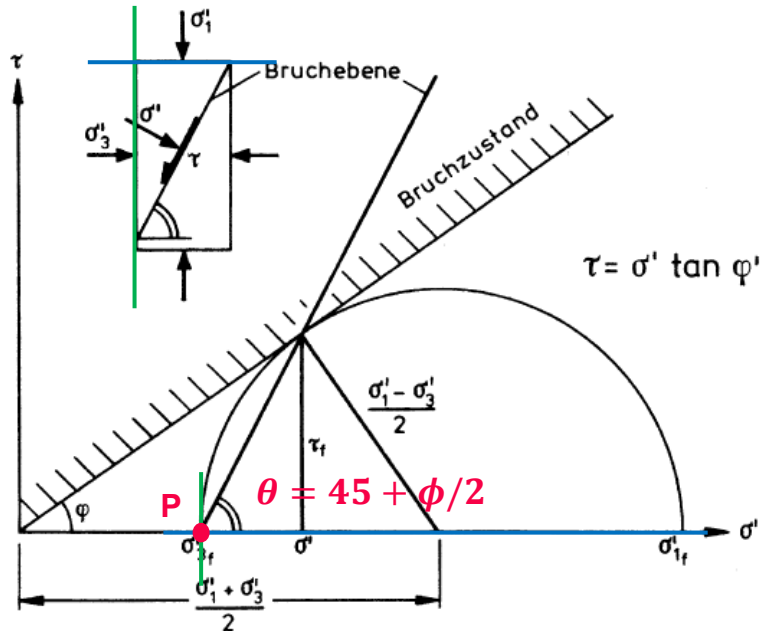
Scherfestigkeit – Begriffserklärung

- Die **Festigkeit eines Bodens** wird durch dessen **Scherfestigkeit** wiedergegeben. Sie nimmt eine zentrale Stellung unter den Bodeneigenschaften ein, da sie für alle Stabilitätsprobleme wie Böschungsstabilität, Tragfähigkeit, Erddruck u.a. die maßgebende Größe ist, siehe *Lang, Huder, Amann und Puzrin (2011)*.
- Verwendung eines **Bruchkriteriums** zur Darstellung der Scherfestigkeit aus experimentellen Untersuchungen.
 - Mohr-Coulomb
 - Hoek-Brown
 - u.a.
- **Abhängigkeit** der Scherfestigkeit
 - Grobkörnige Böden
 - Lagerungsdichte (locker/dicht)
 - Form der Kornverteilung
 - Feinkörnige Böden
 - Wassergehalt → Konsistenz
 - Normal-/ Überkonsolidiert → Abhängig von Belastungsgeschichte des Bodens (Overconsolidation-Ratio, OCR)

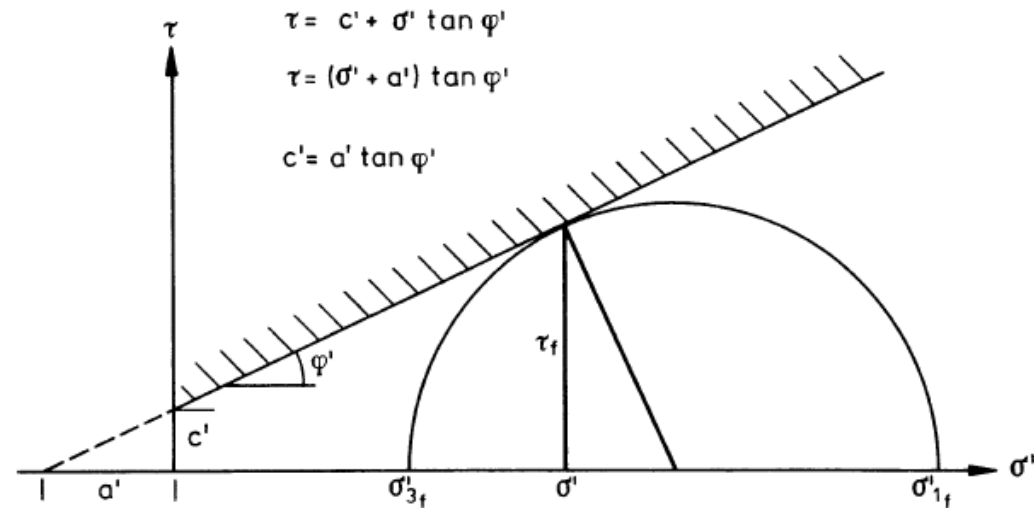
Scherfestigkeit – Theorie

Bruchkriterium Mohr-Coulomb

Mohr'scher Spannungskreis ohne Kohäsion



Mohr'scher Spannungskreis mit Kohäsion



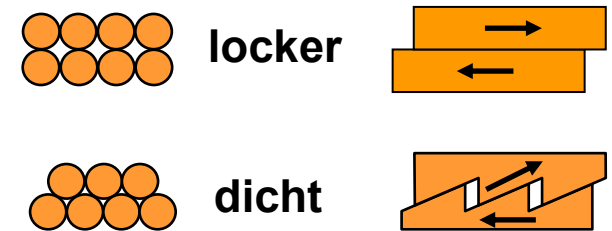
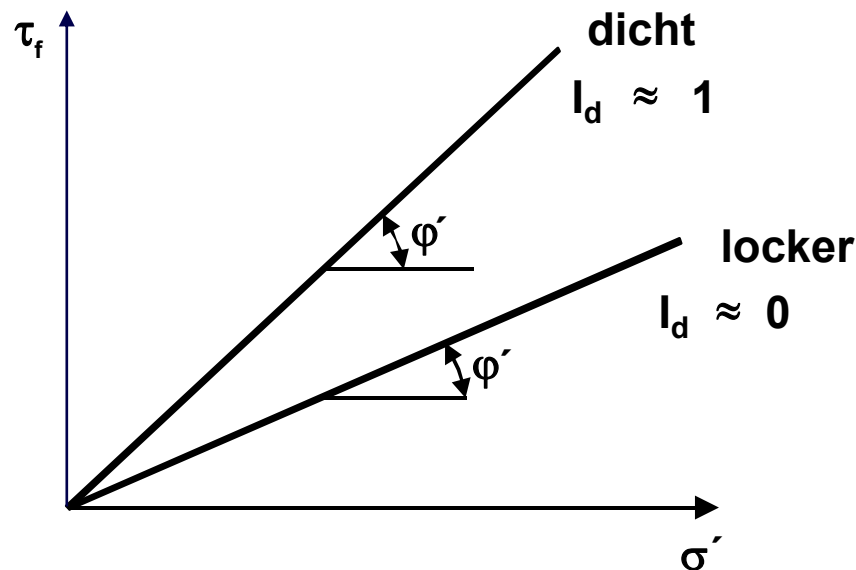
Quelle: Lang, Huder, Amann, Puzrin

Charakterisierung mittels Reibungswinkel φ' und Kohäsion c'

Scherfestigkeit – Theorie

Abhängigkeit der Festigkeit

- Grobkörnige (granulare) Böden



relative Lagerungsdichte

$$I_d = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}}$$

e = Porenzahl

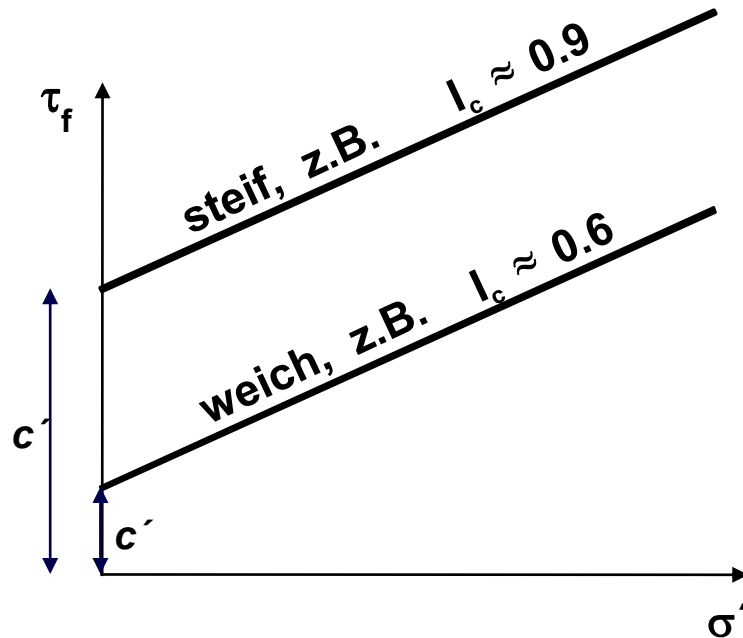
Quelle: Prof. Schweiger

Für grobkörnige Böden ist ϕ' abhängig von der Lagerungsdichte

Scherfestigkeit – Theorie

Abhängigkeit der Festigkeit

- Feinkörnige Böden



Konsistenzzahl

$$I_c = \frac{w_L - w}{w_L - w_p}$$

w = Wassergehalt

Quelle: Prof. Schweiger

Für feinkörnige Böden ist c' abhängig vom Wassergehalt

Festigkeit von Böden

▪ Scherfestigkeit

- Begriffserklärung
- Theorie

▪ Laborversuche zur Ermittlung der Scherfestigkeit

- Scherversuche
- Triaxialversuche
- Versuchsauswertung

▪ Spannungspfade

- Definition
- Mohr'scher Spannungskreis vs. Spannungspfad
- s-t-Diagramm
- Effektiver und totaler Spannungspfad
- Typische Spannungspfade
- Spannungspfade bei Laborversuchen

Laborversuche zur Ermittlung der Scherfestigkeit

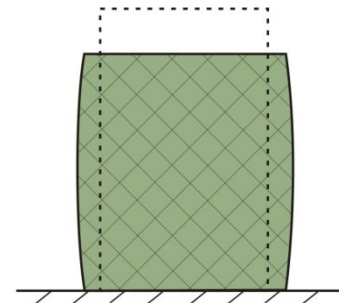
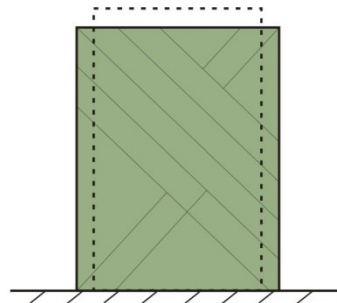
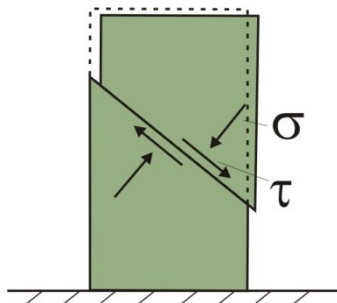
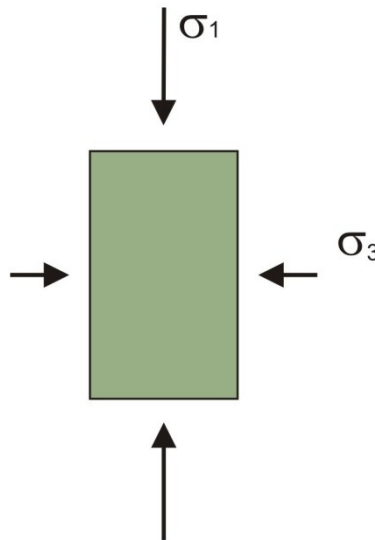
...auf Grundlage der Mohr-Coloumb'schen Bruchbedingung

Scherfestigkeit im Boden abhängig von:

Im Labor ermittelt via:

- Normalspannung auf der Scherfläche
- Korngröße, -form, -rauigkeit
- Wassergehalt
- Lagerungsdichte (rolliger Boden)
- Konsistenz (bindiger Boden)
- Zeitdauer der Beanspruchung

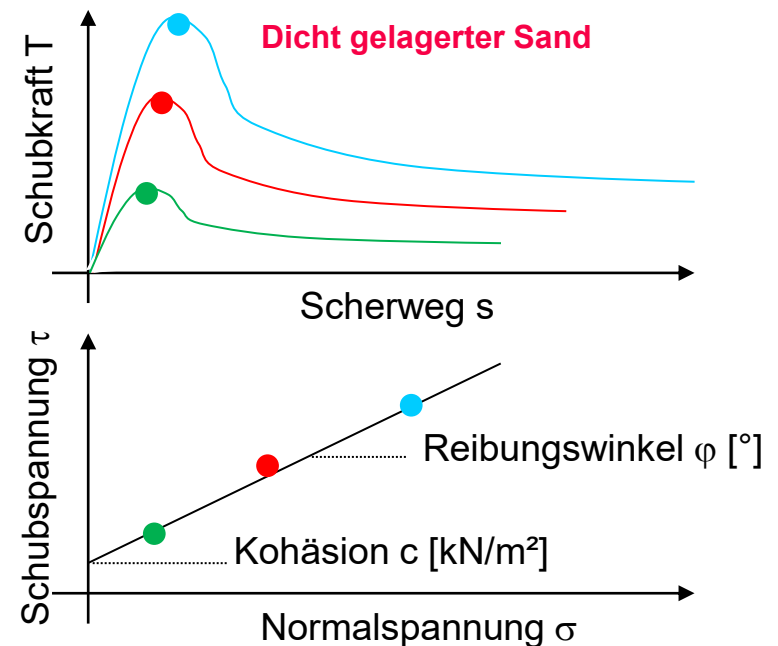
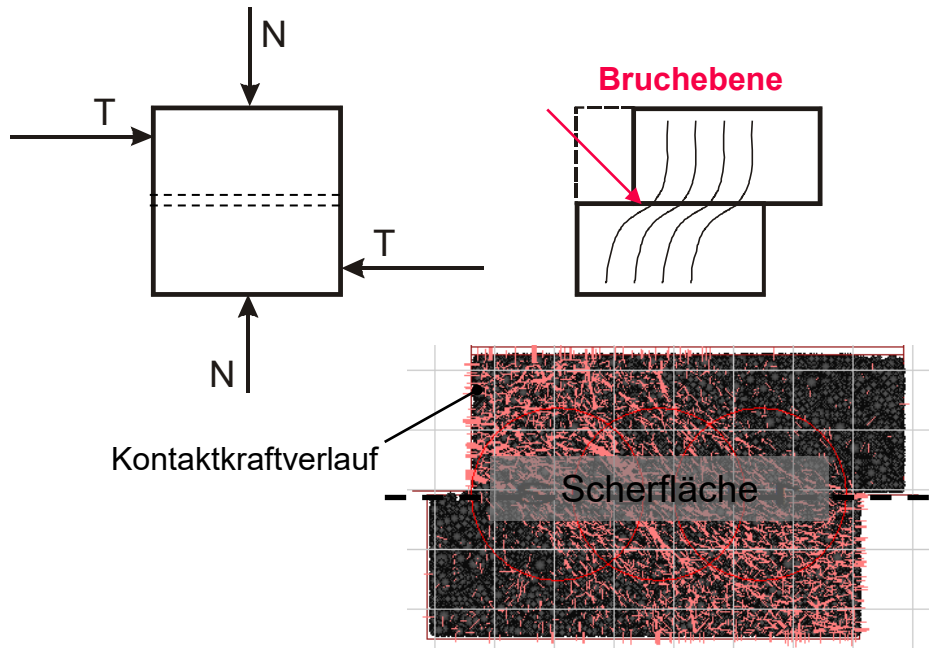
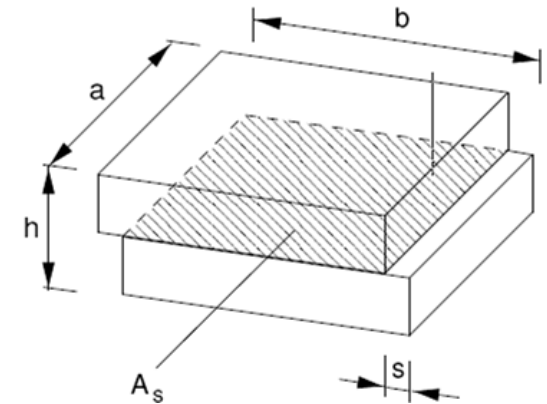
- Direkter Scherversuch
- Ringscherversuch
- Einfacher Scherversuch
- Triaxialversuch



Laborversuche

Direkter Scherversuch

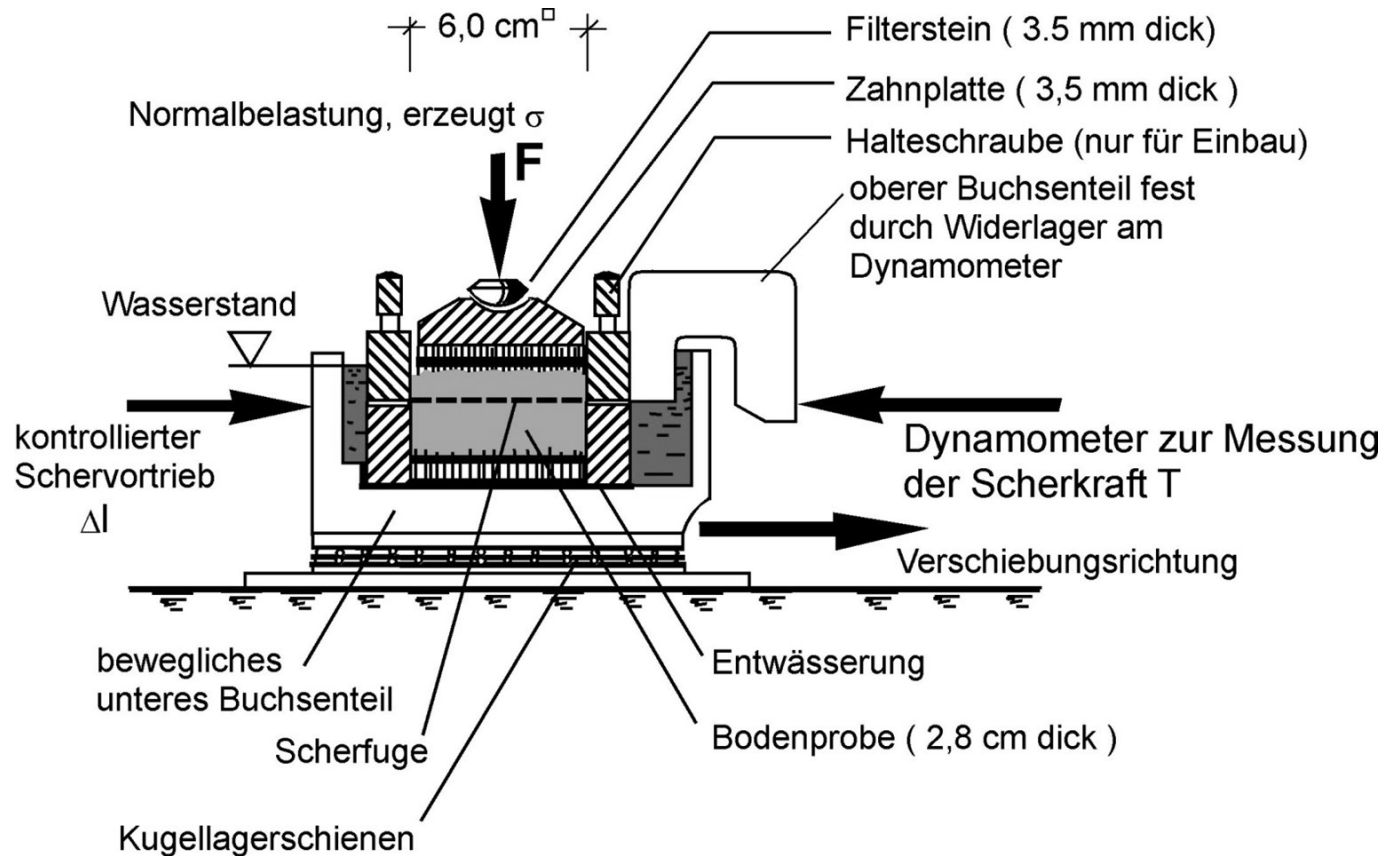
- Probe wird in einer zweiteiligen Scherbox eingebaut
- Versuch wird in 2 Schritten durchgeführt:
 1. Aufbringen einer bestimmten Normalkraft N
 2. Scherphase (Bruchebene ist vorgegeben)
- dient zur Untersuchung der **Scherfestigkeit (Reibungswinkel und Kohäsion)**



Literatur: Fellin 1997, Bodenmechanik und Grundbau Übung, Teil 1

Laborversuche

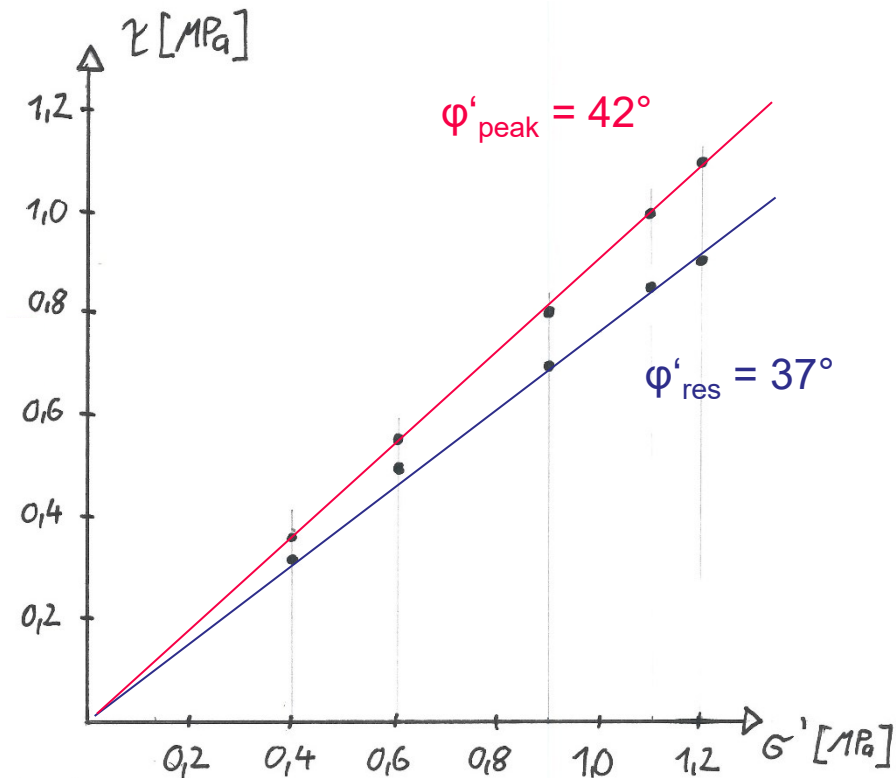
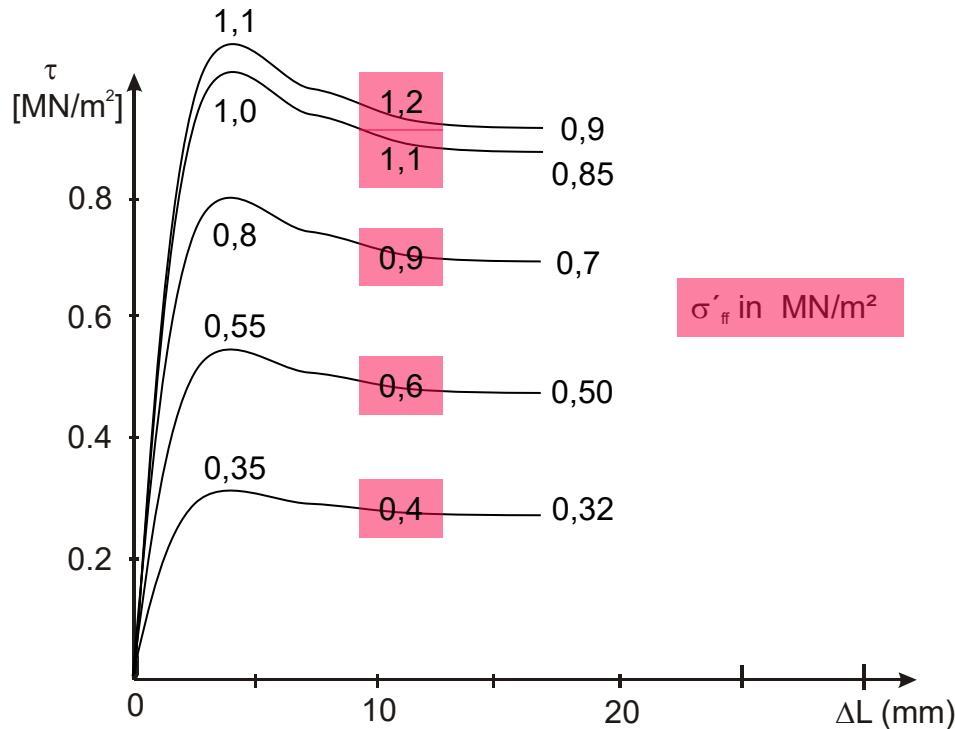
Direkter Scherversuch



(Kastenschervergerät)

Laborversuche

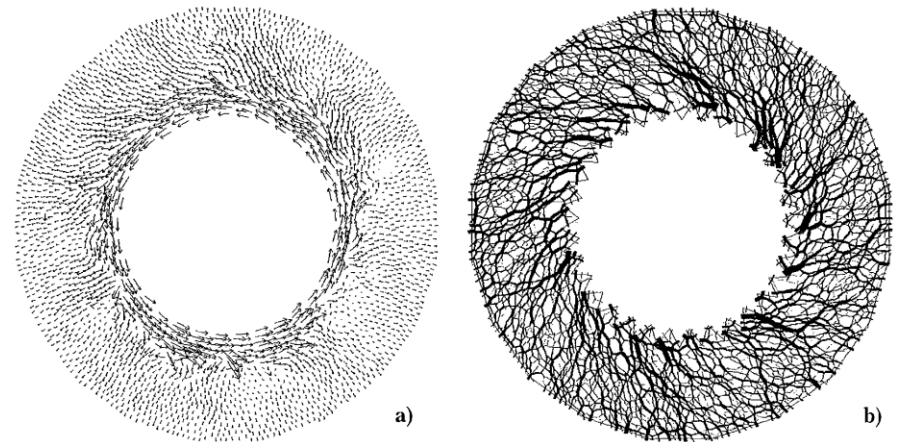
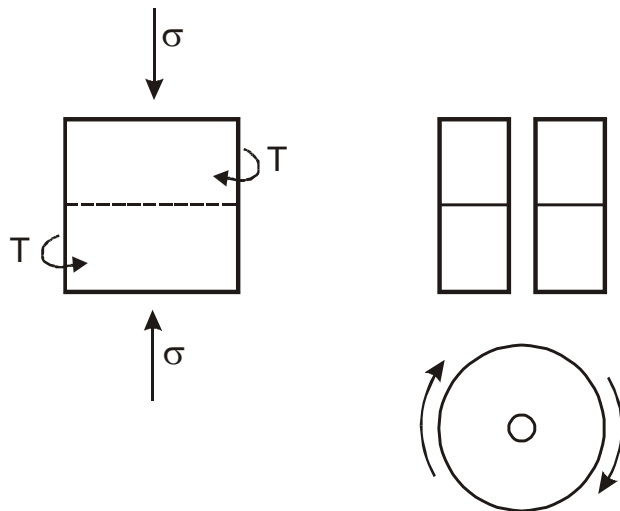
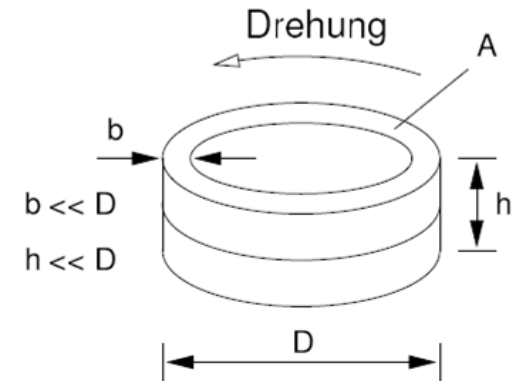
Um die Mohr-Coulomb'sche Bruchgerade eines Sandes zu bestimmen, wurden 5 Proben eines Sandes im **direkten Schergerät** eingebaut und bei verschiedenen Normalspannungen σ' abgeschert. Zeichnen Sie die Mohr-Coulomb'sche Bruchgerade und ermitteln Sie den effektiven Reibungswinkel φ' .



Laborversuche

Ringscherversuch

- Versuch wird in 2 Schritten durchgeführt:
 - Aufbringen einer bestimmten Normakraft N
 - kontrollierte Torsion einer Hälfte der Scherbox (Bruch in vorgegebener Ebene)
- dient zur Untersuchung der **Scherfestigkeit** bei sehr großen Scherwegen (Restscherfestigkeit)

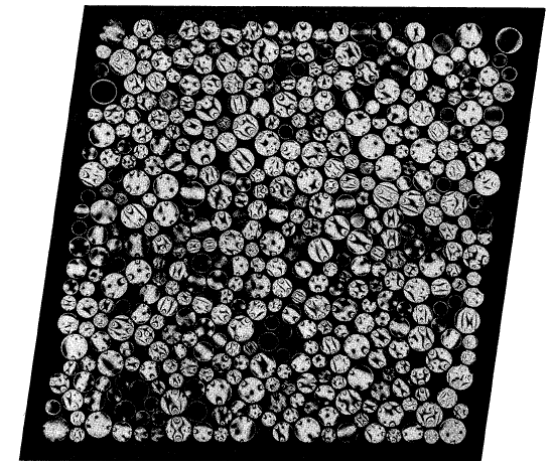
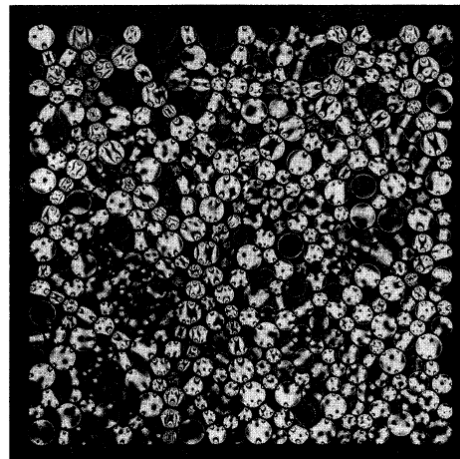
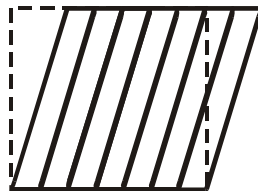
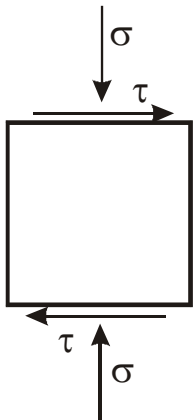


Schergeschwindigkeiten a) und Kontaktkräfte im Schervorgang b)

Laborversuche

Einfacher Scherversuch

- Verbesserung des direkten Scherversuches (Bodenprobe weist einheitlichen Spannungs- und Dehnungszustand auf)
- Versuch wird in 2 Schritten durchgeführt:
 1. Aufbringen einer bestimmten Normalkraft N
 2. Aufbringen der Scherspannung (Scherbox geht von Rechteck auf Parallelogramm über)
- dient zur Untersuchung der **Scherfestigkeit**



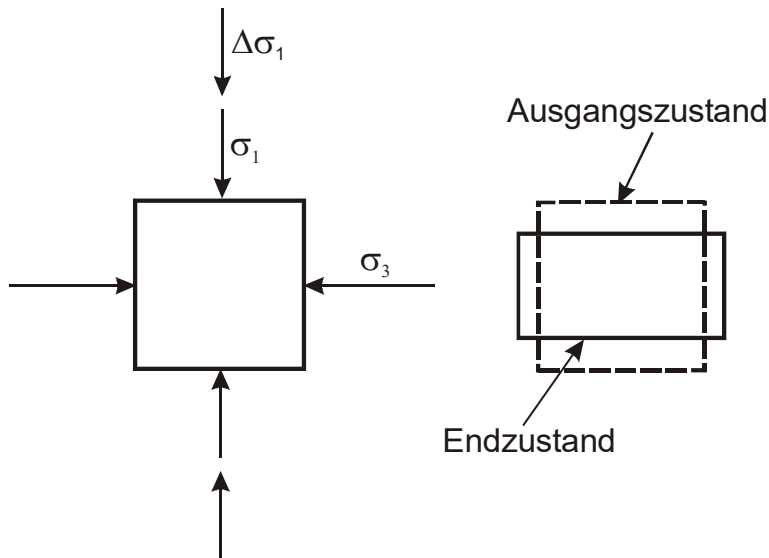
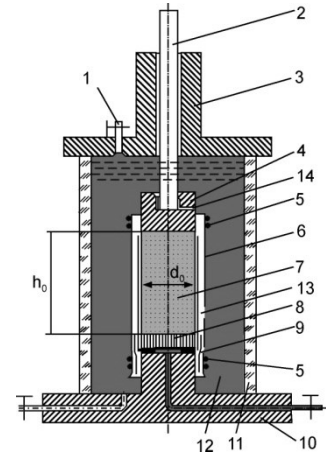
Photoelastische Studien zur Partikelverschiebung während des Schervorgangs

Literatur: Oda&Konishi 1997

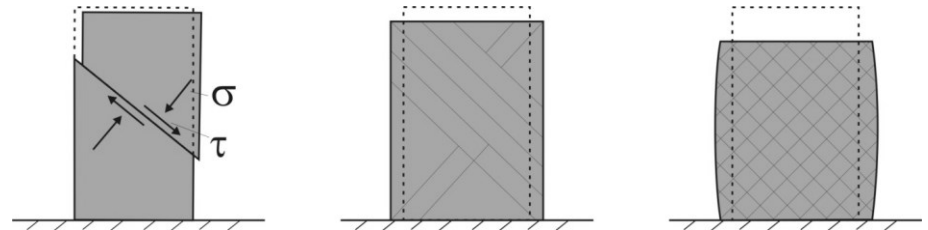
Laborversuche

Triaxialversuch

- axiale und radiale Spannungen sind voneinander unabhängig (i.d.R. $\sigma_2 = \sigma_3$)
- Versuch wird in 2 Schritten durchgeführt:
 1. isotroper Spannungszustand ($\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3$)
 2. Scherphase – σ_1 wird bis zum Bruch erhöht
- dient u.a. zur Ermittlung der Festigkeitseigenschaften und der Untersuchung des Verformungsverhaltens

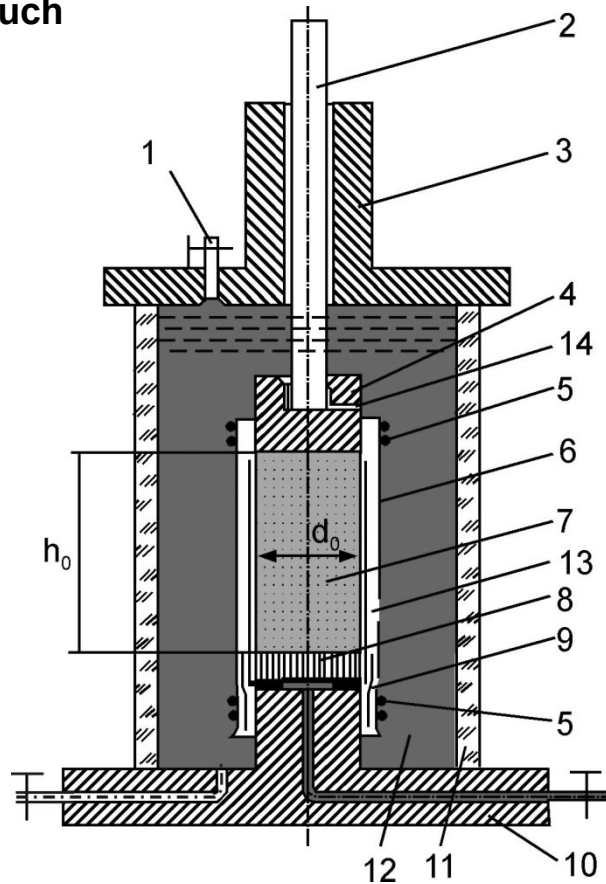


Abhängig von Bodeneigenschaften und Randbedingungen stellen unterschiedliche Versagensmechanismen ein



Laborversuche

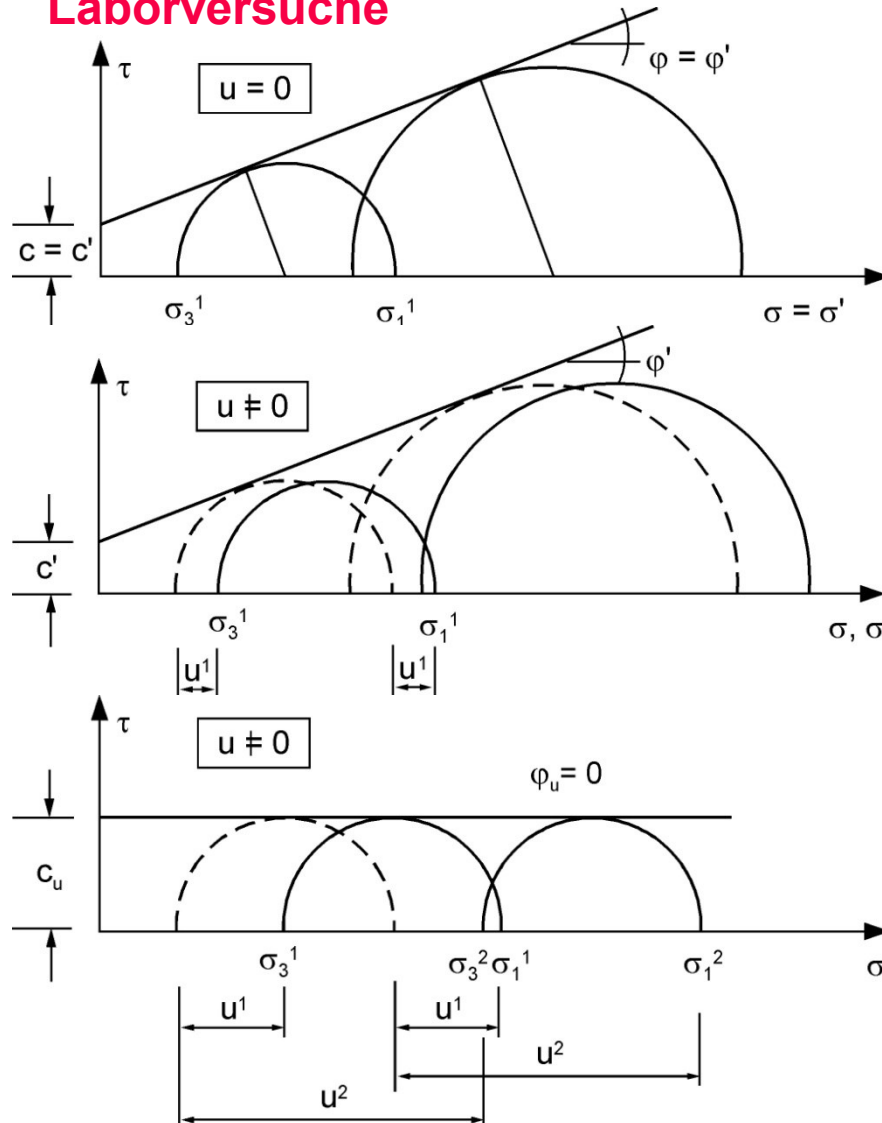
Triaxialversuch



- 1 Entlüftung
- 2 Druckstempel
- 3 Kopfplatte
- 4 Druckkappe
- 5 Gummiringe
- 6 Gummihülle
- 7 Probekörper
- 8 Filterstein
- 9 Gummimanschette
- 10 Fußplatte mit Sockel
- 11 Zylinder
- 12 Zellenflüssigkeit
- 13 Filtrierpapierstreifen
- 14 Bohrung für Druckausgleich

(Triaxialzelle)

Laborversuche



Konsolidierter,
drainierter Versuch (**CD**)

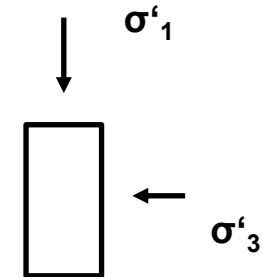
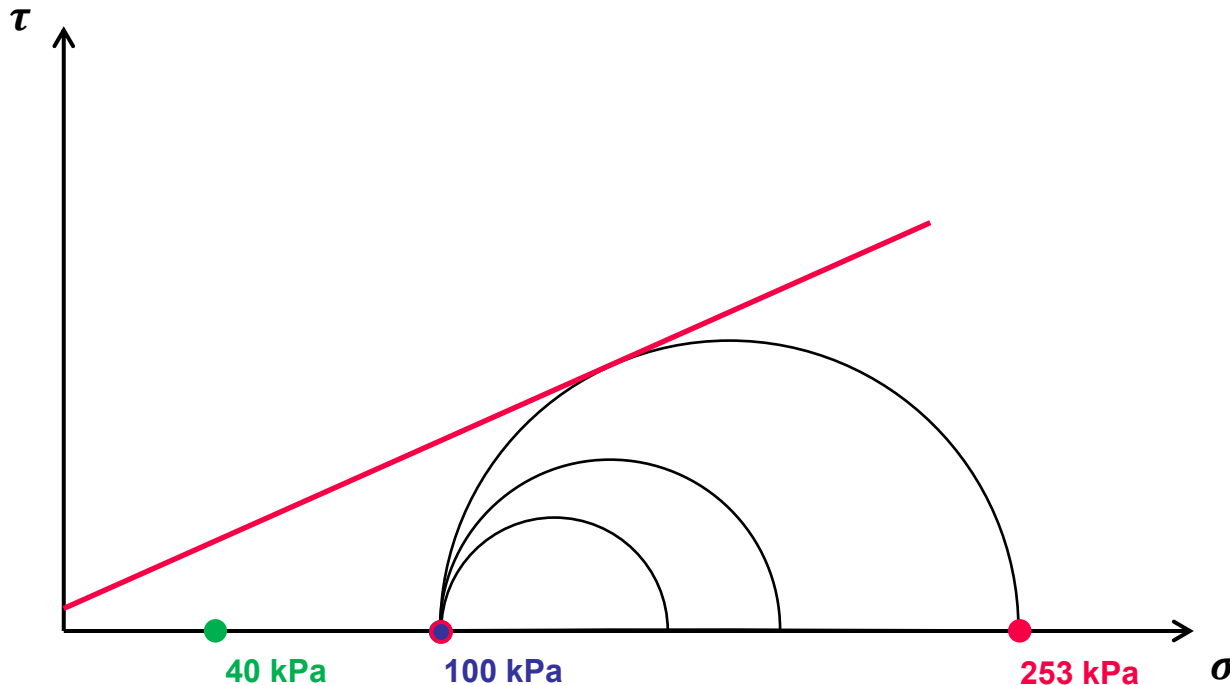
Konsolidierter,
undrainierter Versuch (**CU**)

Unkonsolidierter,
undrainierter Versuch (**UU**)

Laborversuche – Beispiel 1

Zeichnen Sie die maßgebenden **Mohr'schen Spannungskreise** während eines **CD-Triaxialversuchs** für einen Ton mit $\phi' = 24^\circ$ und $c = 5 \text{ kN/m}^2$. Die Bodenprobe wird dabei von einem **Zelldruck** $\sigma'_{c1} = 40 \text{ kN/m}^2$ auf $\sigma'_{c2} = 100 \text{ kN/m}^2$ konsolidiert und dann bei konstantem σ'_3 gesichert.

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 \frac{1 + \sin \phi'}{1 - \sin \phi'} + c' \frac{2 \cos \phi'}{1 - \sin \phi'} = 100 \frac{1 + \sin 24^\circ}{1 - \sin 24^\circ} + 5 \frac{2 \cos 24^\circ}{1 - \sin 24^\circ} = 253 \text{ kPa}$$



Laborversuche – Beispiel 2

Aus einem CD-Triaxialversuch eines Sandes sind folgende Daten ermittelt worden

Probe	$\sigma'_c = \sigma'_3$ (kN/m ²)	$(\sigma'_1 - \sigma'_3)_f$ (kN/m ²)	σ'_{1f} (kN/m ²)
1	35	93	128
2	70	270	340
3	140	425	565

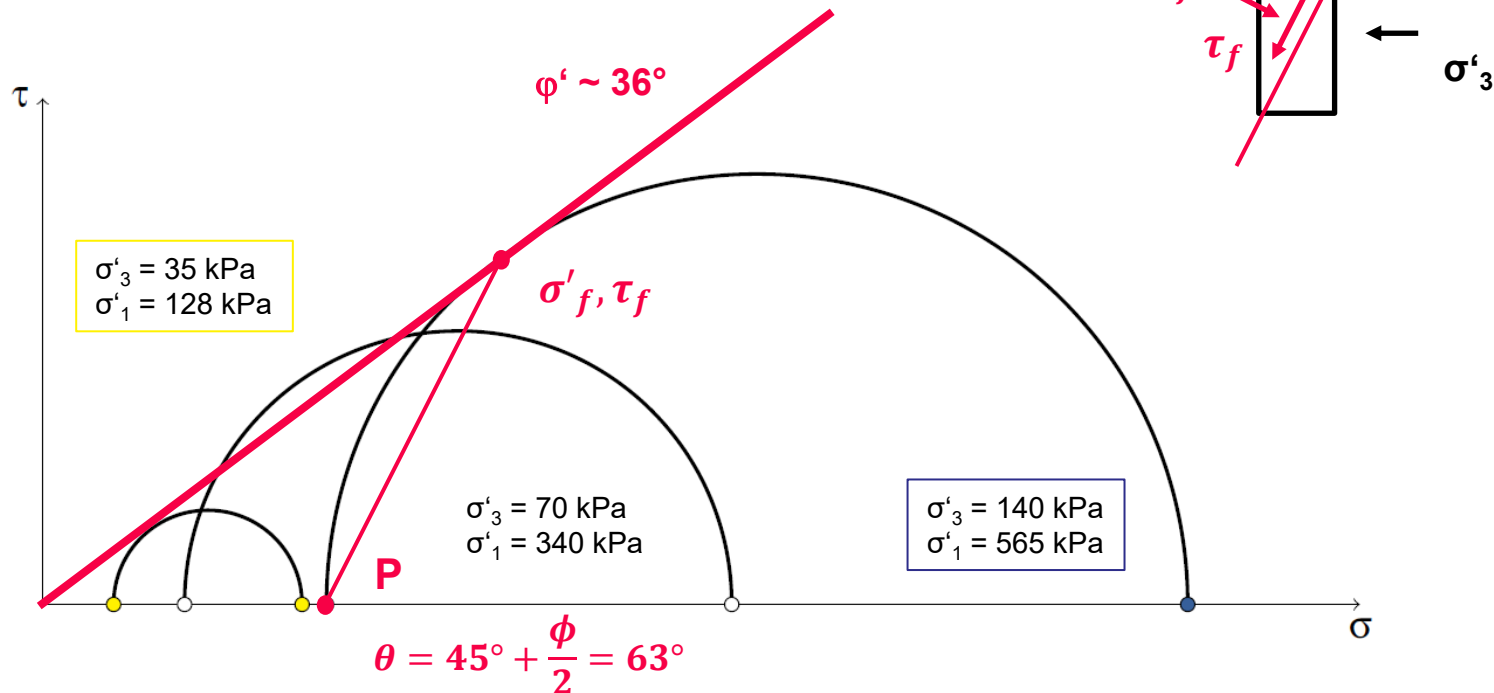
Bestimmen Sie:

- Mohr'sche Spannungskreise im Versagenszustand
- Effektive Spannungspfade
- c' und φ' aus dem $\sigma - \tau$ - Diagramm
- a und α' aus dem $s - t$ - Diagramm
- Neigung der Bruchfläche zur Horizontalen

Laborversuche – Beispiel 2

Aus einem CD-Triaxialversuch eines Sandes sind folgende Daten ermittelt worden:

Probe	$\sigma'_c = \sigma'_3$ (kN/m ²)	$(\sigma'_1 - \sigma'_3)_f$ (kN/m ²)	σ'_{1f} (kN/m ²)
1	35	93	128
2	70	270	340
3	140	425	565



Festigkeit von Böden

▪ Scherfestigkeit

- Begriffserklärung
- Theorie

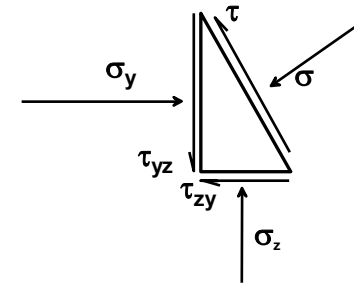
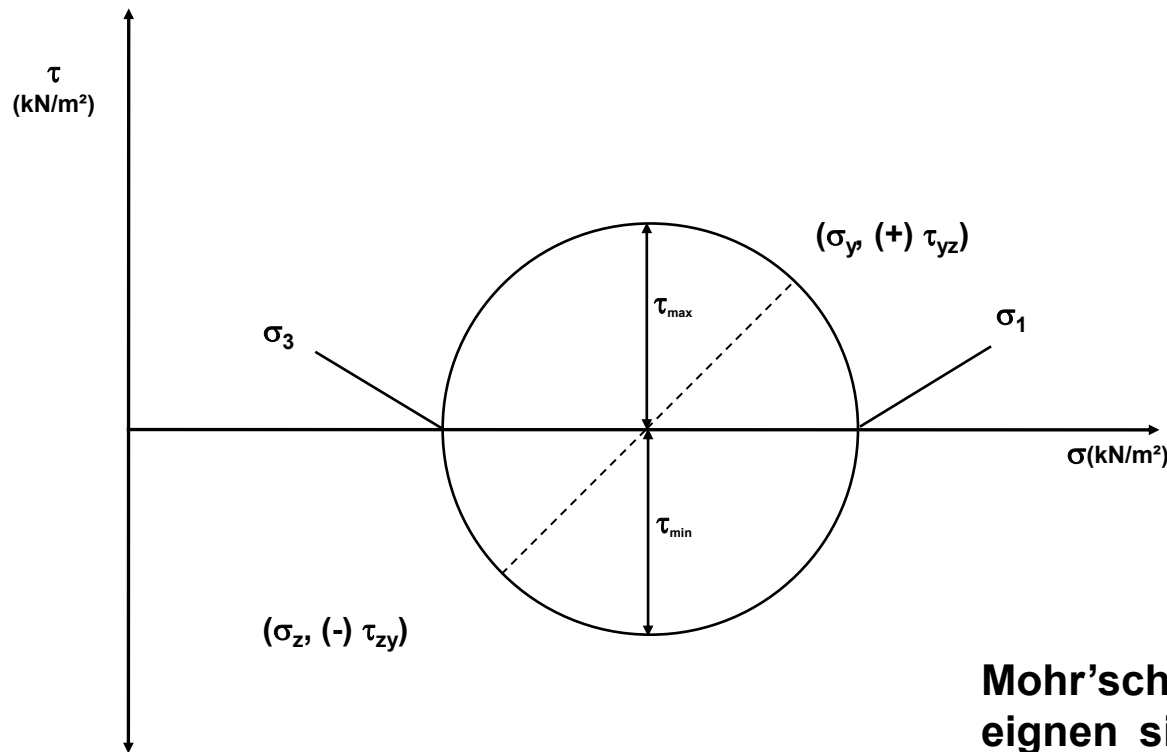
▪ Laborversuche zur Ermittlung der Scherfestigkeit

- Scherversuche
- Triaxialversuche
- Versuchsauswertung

▪ Spannungspfade

- Definition
- Mohr'scher Spannungskreis vs. Spannungspfad
- s-t-Diagramm
- Effektiver und totaler Spannungspfad
- Typische Spannungspfade
- Spannungspfade bei Laborversuchen

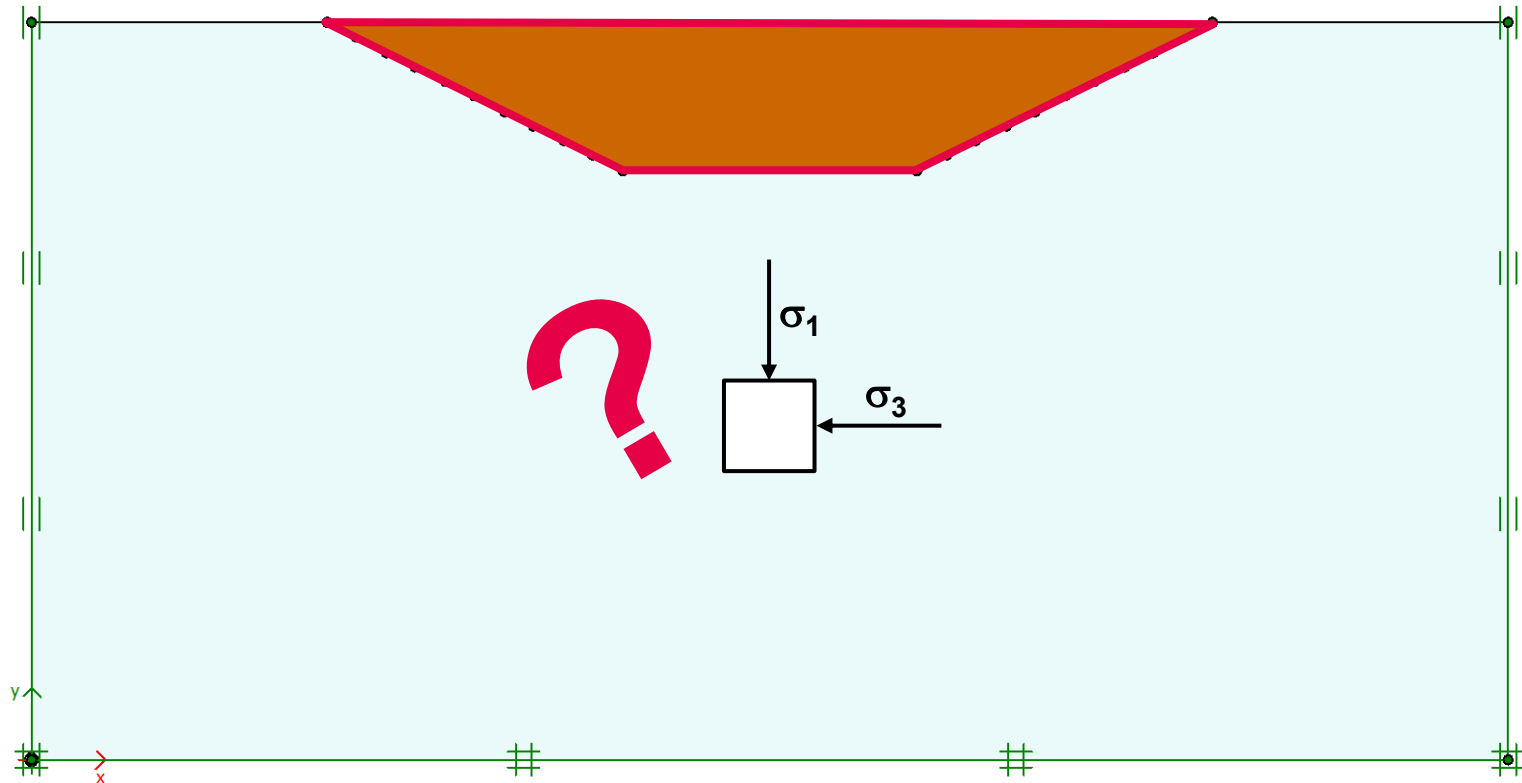
Mohr'sche Spannungskreis



Mohr'sche Spannungskreise eignen sich gut zur Darstellung von Spannungszuständen zu einem **bestimmten Zeitpunkt**.

Wozu brauchen wir Spannungspfade?

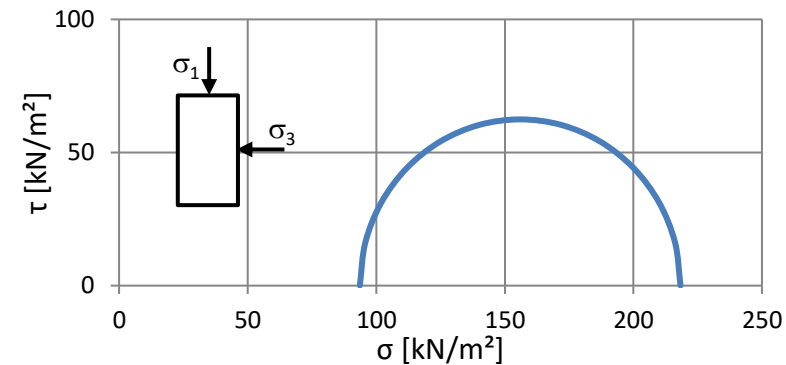
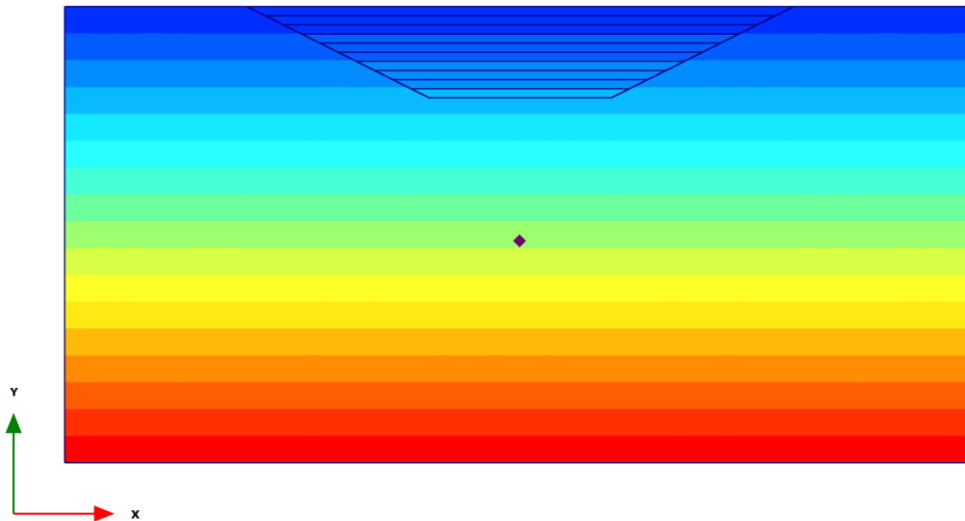
- Erklärung anhand des Beispiels Aushub



Wozu brauchen wir Spannungspfade?

- Erklärung anhand des Beispiels Aushub

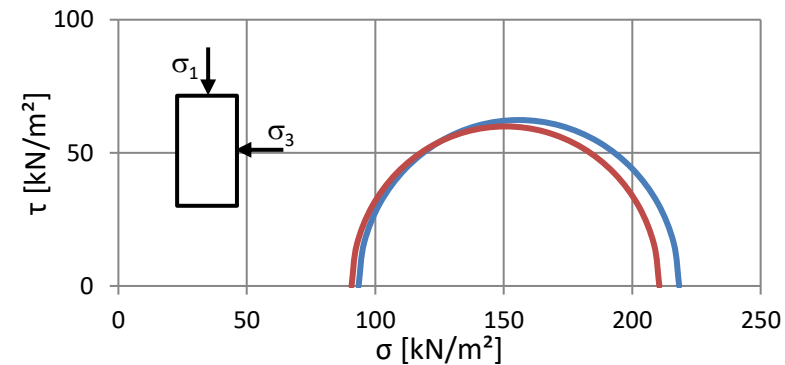
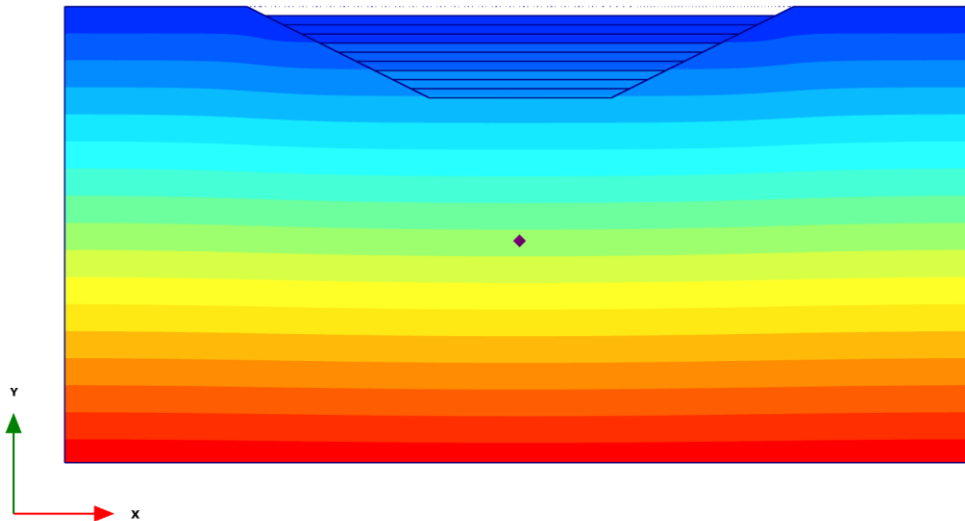
Hauptnormalspannung σ_1



Wozu brauchen wir Spannungspfade?

- Erklärung anhand des Beispiels Aushub

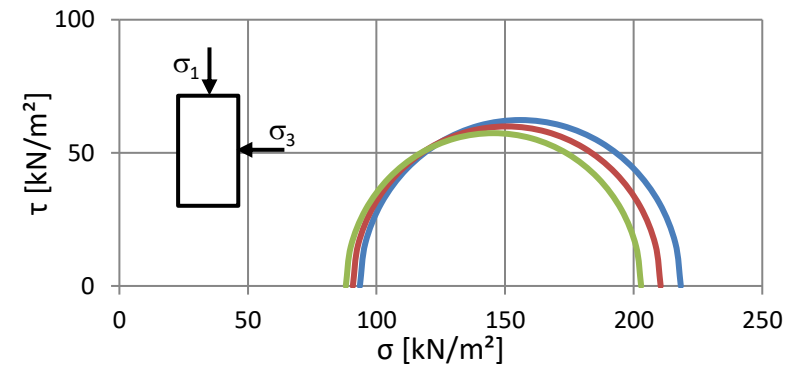
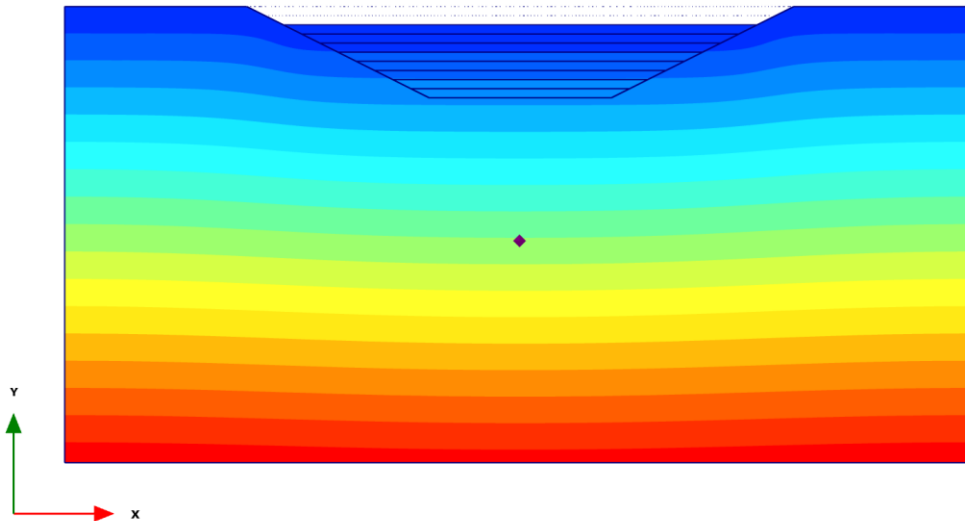
Hauptnormalspannung σ_1



Wozu brauchen wir Spannungspfade?

- Erklärung anhand des Beispiels Aushub

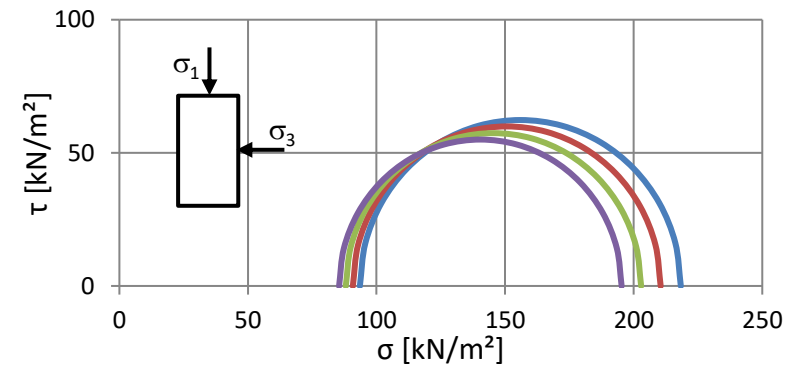
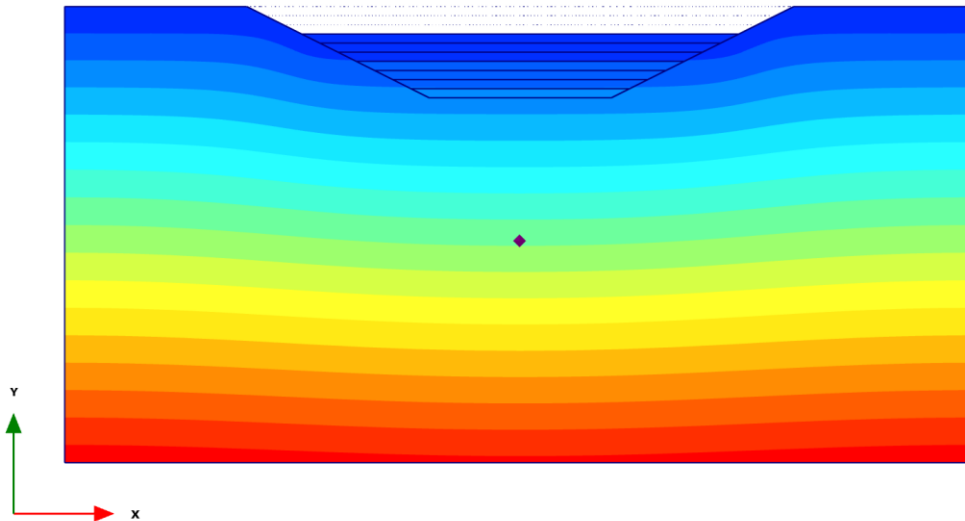
Hauptnormalspannung σ_1



Wozu brauchen wir Spannungspfade?

- Erklärung anhand des Beispiels Aushub

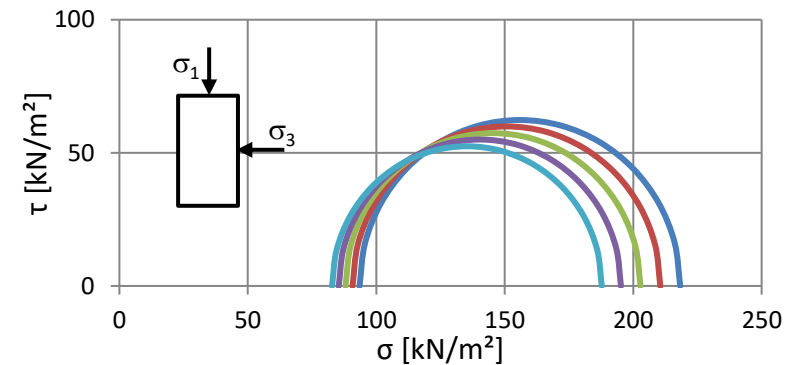
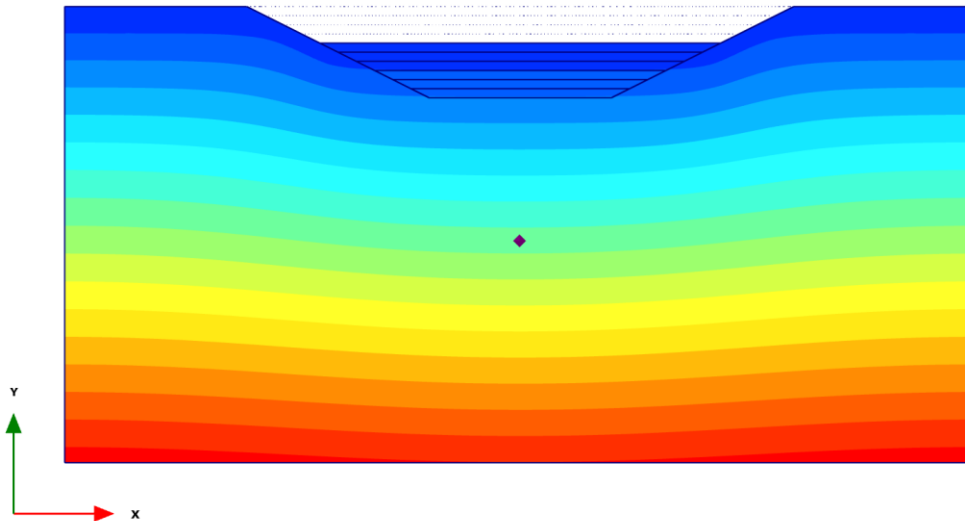
Hauptnormalspannung σ_1



Wozu brauchen wir Spannungspfade?

- Erklärung anhand des Beispiels Aushub

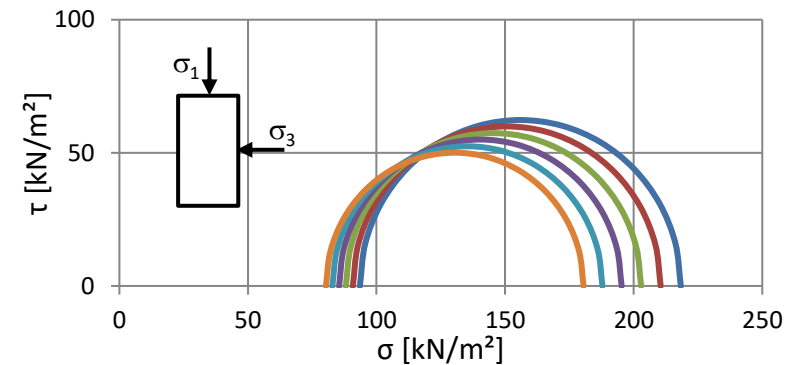
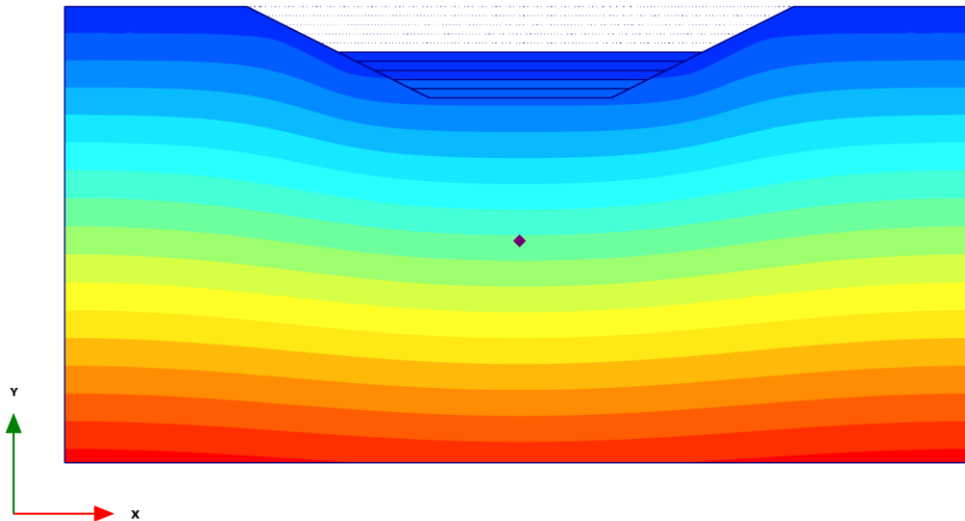
Hauptnormalspannung σ_1



Wozu brauchen wir Spannungspfade?

- Erklärung anhand des Beispiels Aushub

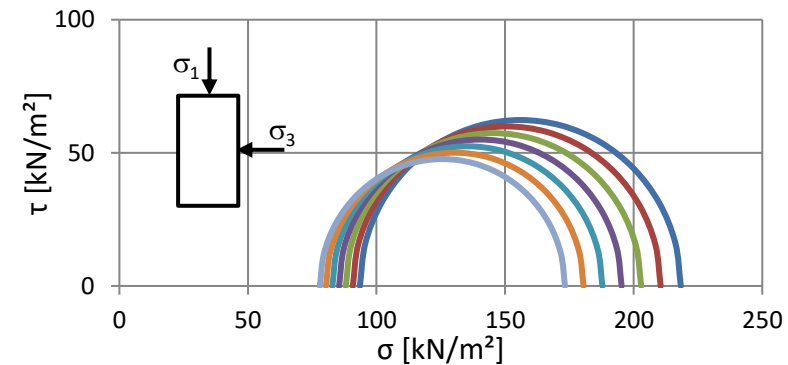
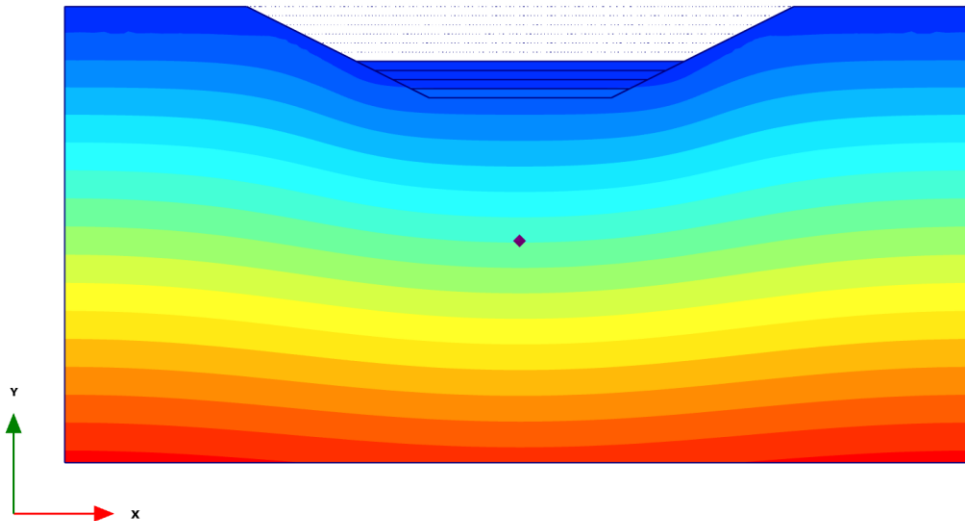
Hauptnormalspannung σ_1



Wozu brauchen wir Spannungspfade?

- Erklärung anhand des Beispiels Aushub

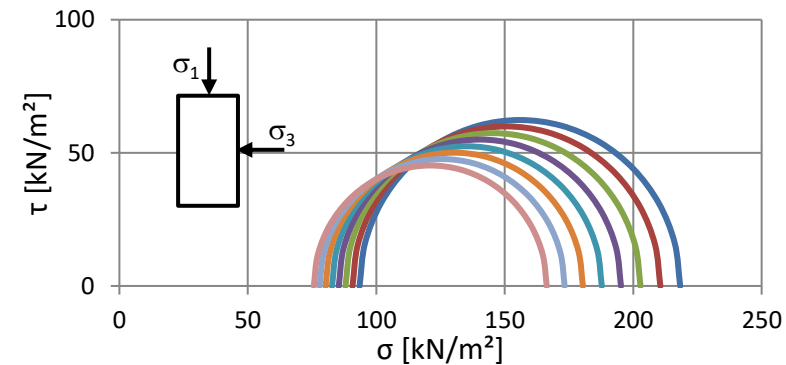
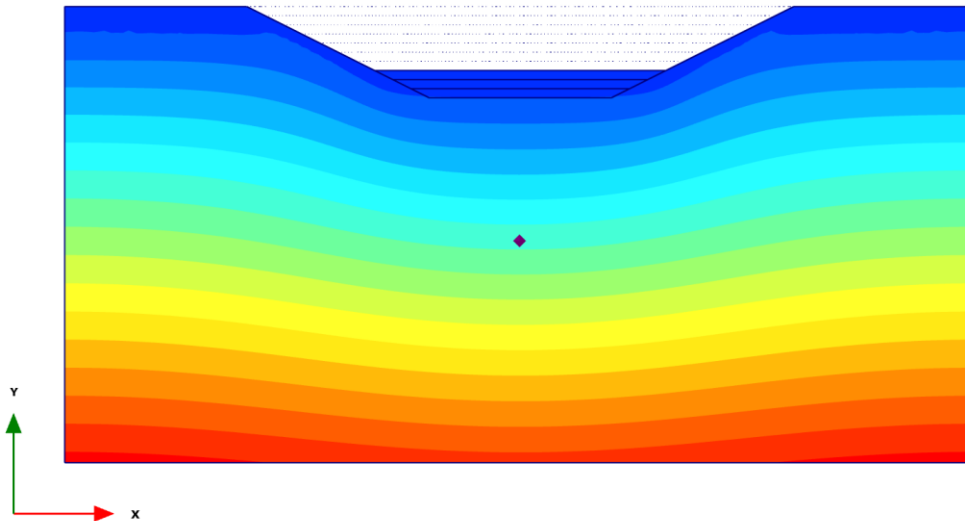
Hauptnormalspannung σ_1



Wozu brauchen wir Spannungspfade?

- Erklärung anhand des Beispiels Aushub

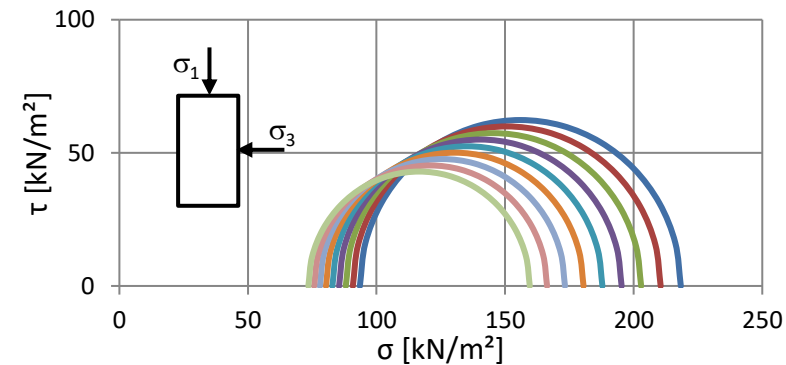
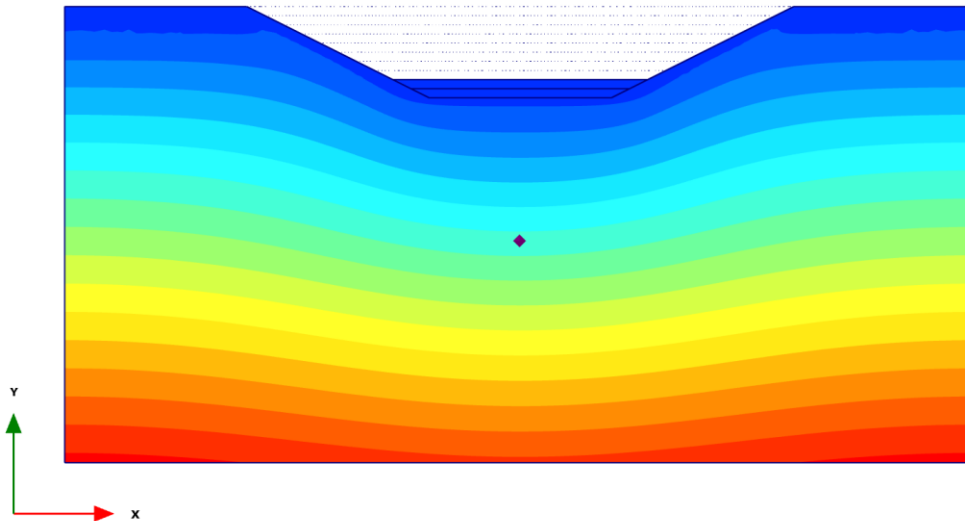
Hauptnormalspannung σ_1



Wozu brauchen wir Spannungspfade?

- Erklärung anhand des Beispiels Aushub

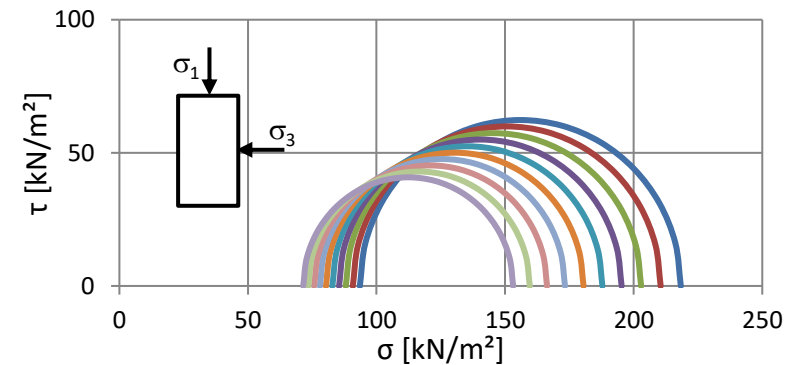
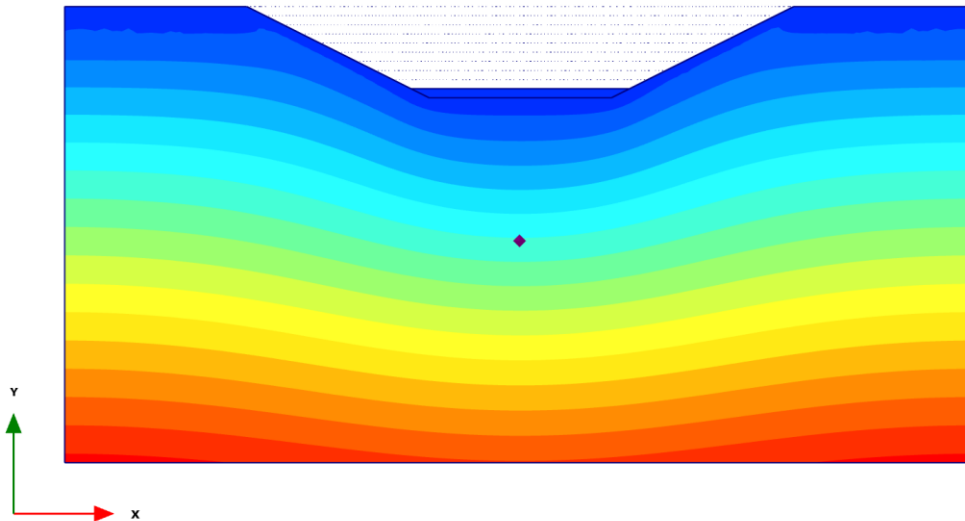
Hauptnormalspannung σ_1



Wozu brauchen wir Spannungspfade?

- Erklärung anhand des Beispiels Aushub

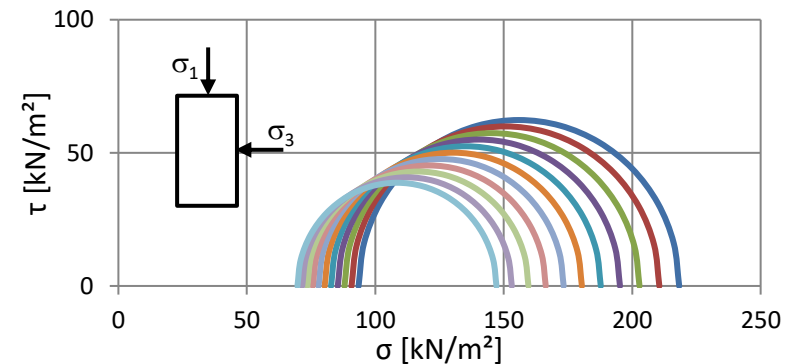
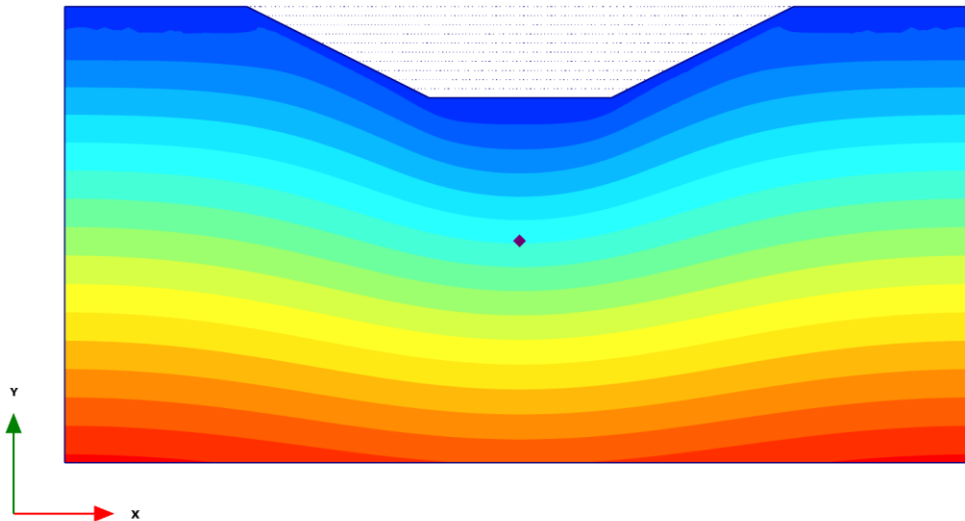
Hauptnormalspannung σ_1



Wozu brauchen wir Spannungspfade?

- Erklärung anhand des Beispiels Aushub

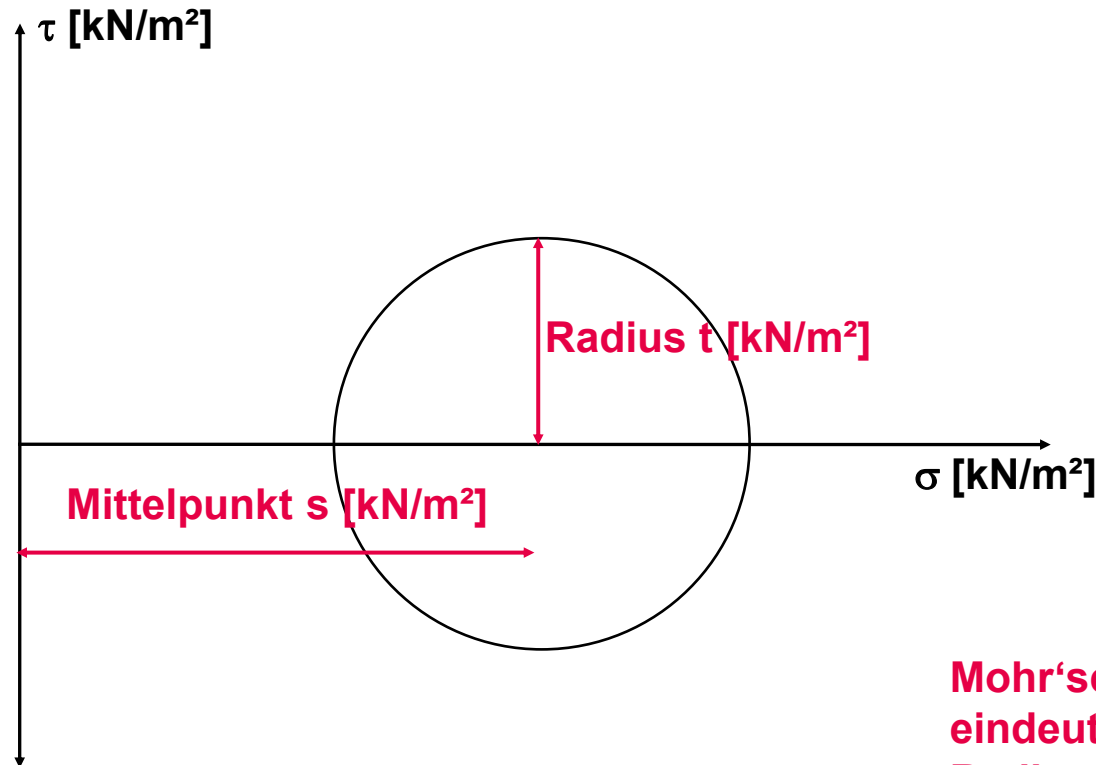
Hauptnormalspannung σ_1



Darstellung wird sehr unübersichtlich wenn Bauvorgang, Labortests o.ä. als Mohr'sche Spannungskreise dargestellt werden sollen.

Spannungspfade

Ändert sich der Spannungszustand werden **Spannungspfade** anstelle von Mohr'schen Spannungskreisen zur **Darstellung der Spannungsänderung** verwendet.



Mohr'scher Spannungskreis kann eindeutig durch Mittelpunkt (s) und Radius (t) bestimmt werden

Spannungspfade

Ändert sich der Spannungszustand werden **Spannungspfade** anstelle von Mohr'schen Spannungskreisen zur **Darstellung der Spannungsänderung** verwendet.

MIT- oder s-t-Darstellung

$$s = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2}$$

→ Mittelpunkt des Mohr'schen Spannungskreises

$$t = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$$

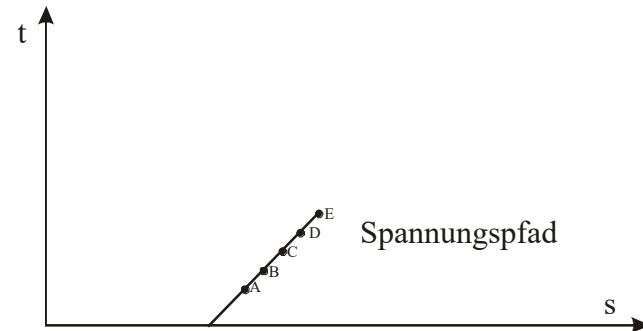
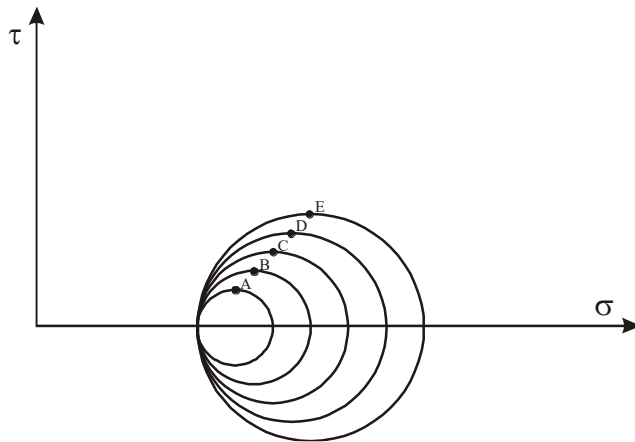
→ Radius des Mohr'schen Spannungskreises

Spannungspfade

Ändert sich der Spannungszustand werden **Spannungspfade** anstelle von Mohr'schen Spannungskreisen zur **Darstellung der Spannungsänderung** verwendet.

MIT- oder s-t-Darstellung

$$s = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} \quad t = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$$



Spannungspfade

Totaler Spannungspfad:

$$s = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} \quad t = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$$

Effektiver Spannungspfad: $s' = s - u$
 $t' = t$

$$s' = \frac{\sigma'_1 + \sigma'_3}{2} \quad t = \frac{\sigma'_1 - \sigma'_3}{2} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$$

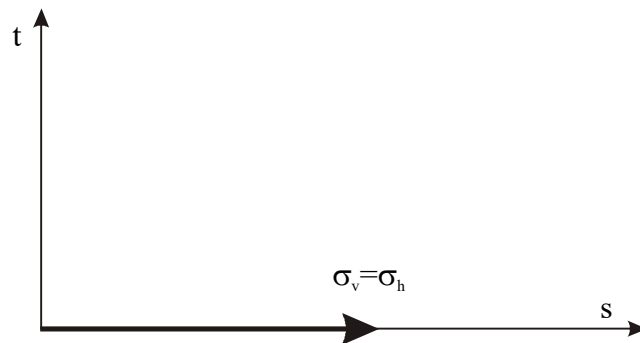
$$\sigma'_3 = K \cdot \sigma'_1$$

$$s' = \frac{1}{2}(\sigma'_1 + K \cdot \sigma'_1)$$

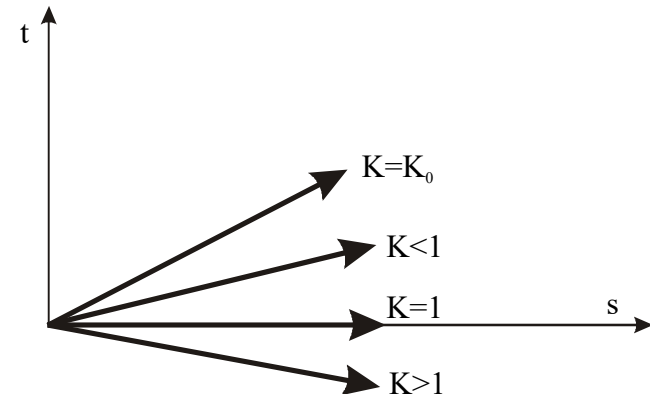
$$t = \frac{1}{2}(\sigma'_1 - K \cdot \sigma'_1)$$

$$\frac{t}{s'} = \frac{1 - K}{1 + K}$$

Hydrostatische Achse



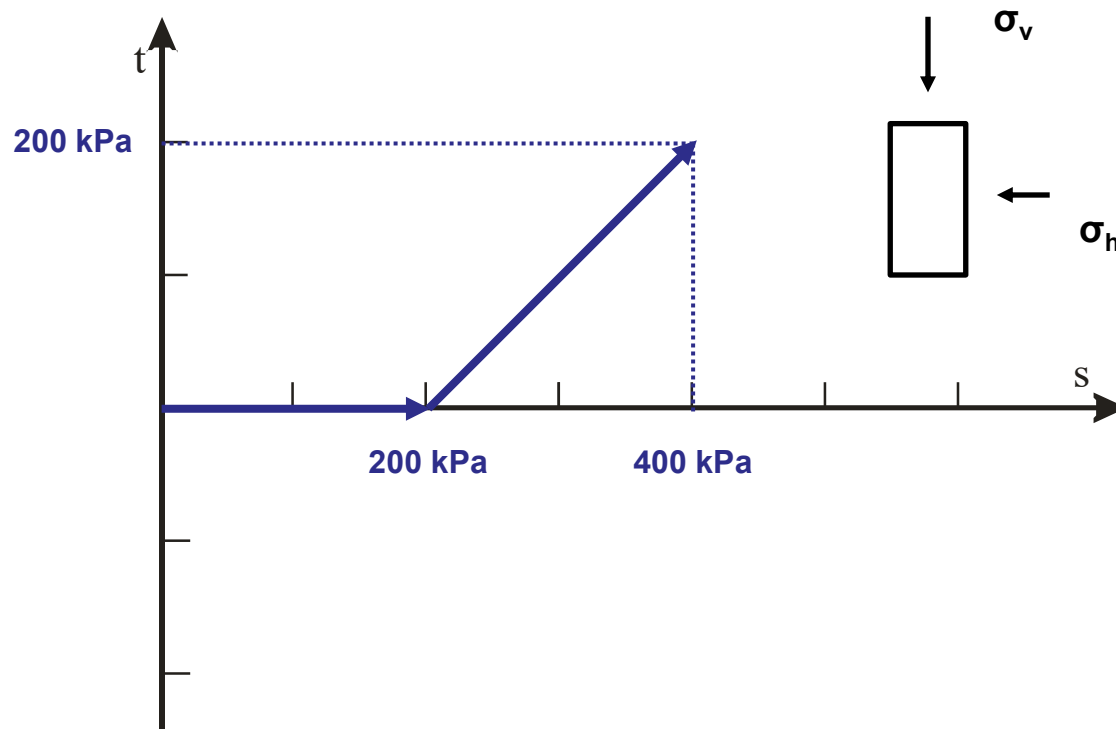
Spannungspfade für konstante t/s-Verhältnisse



Spannungspfade – Beispiel 1a

Zeichnen sie die Spannungspfade im s-t-Diagramm für folgende Lastfälle:

- Ausgangszustand $\sigma_v = \sigma_h = 200 \text{ kN/m}^2$, σ_h wird konstant gehalten während σ_v bis 600 kN/m^2 erhöht wird.
- Ausgangszustand wie unter a), σ_v wird konstant gehalten während σ_h bis 600 kN/m^2 erhöht wird.
- Ausgangszustand wie unter a), σ_v wird konstant gehalten während σ_h auf 100 kN/m^2 verkleinert wird.
- Ausgangszustand wie unter a), σ_v und σ_h werden mit konstantem Verhältnis $\Delta\sigma_h/\Delta\sigma_v = 3$ vergrößert.



$$\Delta\sigma_v = 400 \text{ kPa}$$

$$\Delta\sigma_h = 0 \text{ kPa}$$

$$s_0 = \frac{\sigma_v + \sigma_h}{2} = \frac{200 + 200}{2} = 200 \text{ kPa}$$

$$t_0 = \frac{\sigma_v - \sigma_h}{2} = \frac{200 - 200}{2} = 0 \text{ kPa}$$

$$\Delta s = \frac{\Delta\sigma_v + \Delta\sigma_h}{2} = \frac{400 + 0}{2} = 200 \text{ kPa}$$

$$\Delta t = \frac{\Delta\sigma_v - \Delta\sigma_h}{2} = \frac{400 - 0}{2} = 200 \text{ kPa}$$

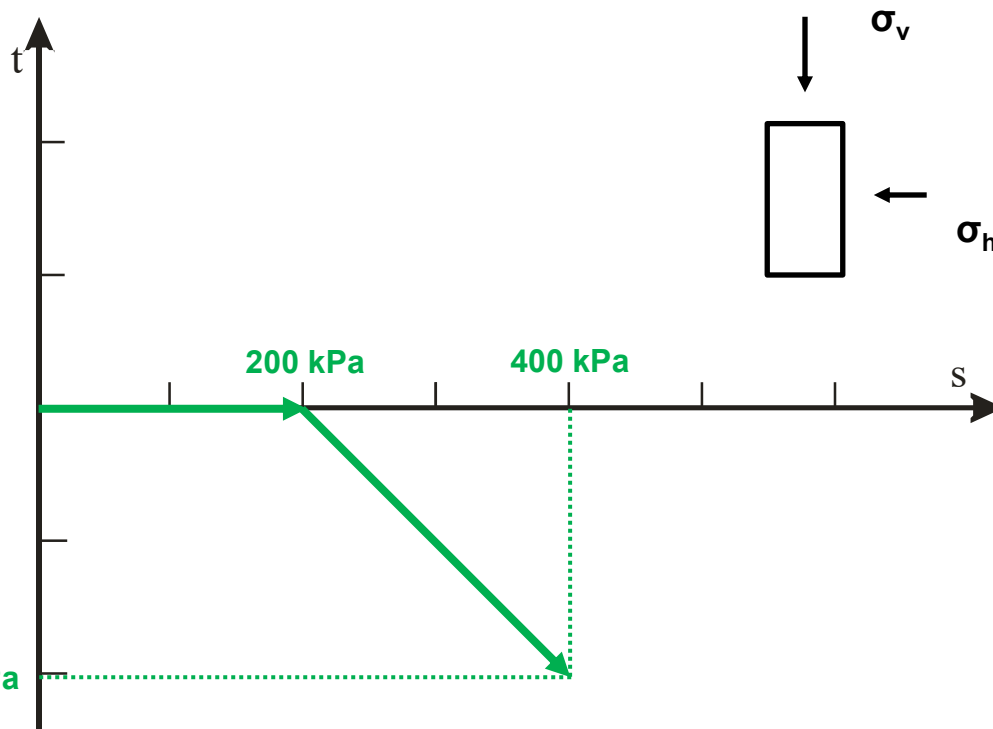
$$s_1 = s_0 + \Delta s = 200 + 200 = 400 \text{ kPa}$$

$$t_1 = t_0 + \Delta t = 0 + 200 = 200 \text{ kPa}$$

Spannungspfade – Beispiel 1b

Zeichnen sie die Spannungspfade im s-t-Diagramm für folgende Lastfälle:

- a) Ausgangszustand $\sigma_v = \sigma_h = 200 \text{ kN/m}^2$, σ_h wird konstant gehalten während σ_v bis 600 kN/m^2 erhöht wird.
- b) Ausgangszustand wie unter a), σ_v wird konstant gehalten während σ_h bis 600 kN/m^2 erhöht wird.
- c) Ausgangszustand wie unter a), σ_v wird konstant gehalten während σ_h auf 100 kN/m^2 verkleinert wird.
- d) Ausgangszustand wie unter a), σ_v und σ_h werden mit konstantem Verhältnis $\Delta\sigma_h/\Delta\sigma_v = 3$ vergrößert.



$$\Delta\sigma_v = 0 \text{ kPa}$$

$$\Delta\sigma_h = 400 \text{ kPa}$$

$$\Delta s = \frac{\Delta\sigma_v + \Delta\sigma_h}{2} = \frac{0 + 400}{2} = 200 \text{ kPa}$$

$$\Delta t = \frac{\Delta\sigma_v - \Delta\sigma_h}{2} = \frac{0 - 400}{2} = -200 \text{ kPa}$$

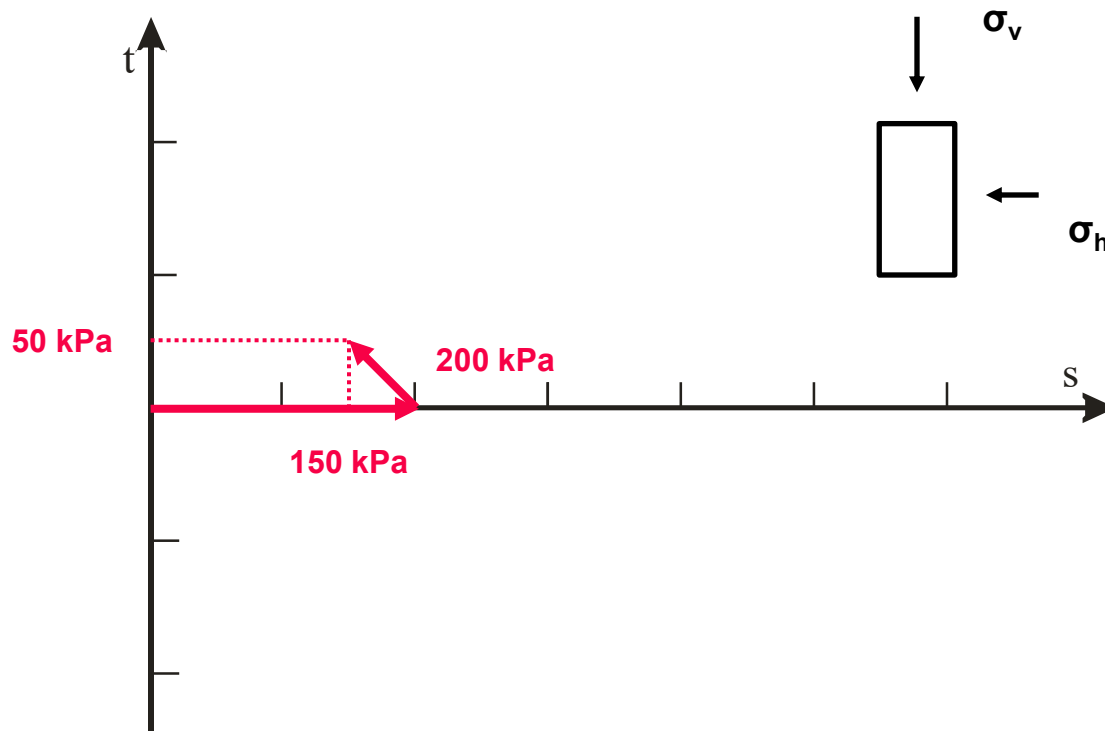
$$s_1 = s_0 + \Delta s = 200 + 200 = 400 \text{ kPa}$$

$$t_1 = t_0 + \Delta t = 0 - 200 = -200 \text{ kPa}$$

Spannungspfade – Beispiel 1c

Zeichnen sie die Spannungspfade im s-t-Diagramm für folgende Lastfälle:

- Ausgangszustand $\sigma_v = \sigma_h = 200 \text{ kN/m}^2$, σ_h wird konstant gehalten während σ_v bis 600 kN/m^2 erhöht wird.
- Ausgangszustand wie unter a), σ_v wird konstant gehalten während σ_h bis 600 kN/m^2 erhöht wird.
- Ausgangszustand wie unter a), σ_v wird konstant gehalten während σ_h auf 100 kN/m^2 verkleinert wird.
- Ausgangszustand wie unter a), σ_v und σ_h werden mit konstantem Verhältnis $\Delta\sigma_h/\Delta\sigma_v = 3$ vergrößert.



$$\Delta\sigma_v = 0 \text{ kPa}$$

$$\Delta\sigma_h = -100 \text{ kPa}$$

$$\Delta s = \frac{\Delta\sigma_v + \Delta\sigma_h}{2} = \frac{0 - 100}{2} = -50 \text{ kPa}$$

$$\Delta t = \frac{\Delta\sigma_v - \Delta\sigma_h}{2} = \frac{0 - (-100)}{2} = 50 \text{ kPa}$$

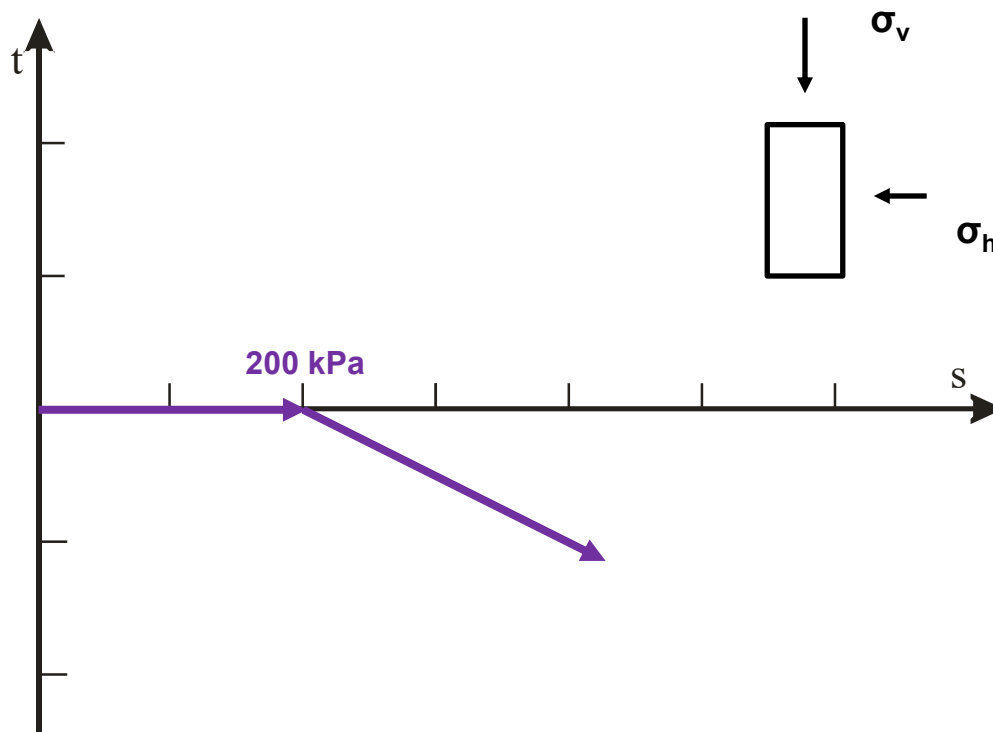
$$s_1 = s_0 + \Delta s = 200 - 50 = 150 \text{ kPa}$$

$$t_1 = t_0 + \Delta t = 0 + 50 = 50 \text{ kPa}$$

Spannungspfade – Beispiel 1d

Zeichnen sie die Spannungspfade im s-t-Diagramm für folgende Lastfälle:

- Ausgangszustand $\sigma_v = \sigma_h = 200 \text{ kN/m}^2$, σ_h wird konstant gehalten während σ_v bis 600 kN/m^2 erhöht wird.
- Ausgangszustand wie unter a), σ_v wird konstant gehalten während σ_h bis 600 kN/m^2 erhöht wird.
- Ausgangszustand wie unter a), σ_v wird konstant gehalten während σ_h auf 100 kN/m^2 verkleinert wird.
- Ausgangszustand wie unter a), σ_v und σ_h werden mit konstantem Verhältnis $\Delta\sigma_h/\Delta\sigma_v = 3$ vergrößert.



$$\Delta\sigma_h = 3 \cdot \Delta\sigma_v$$

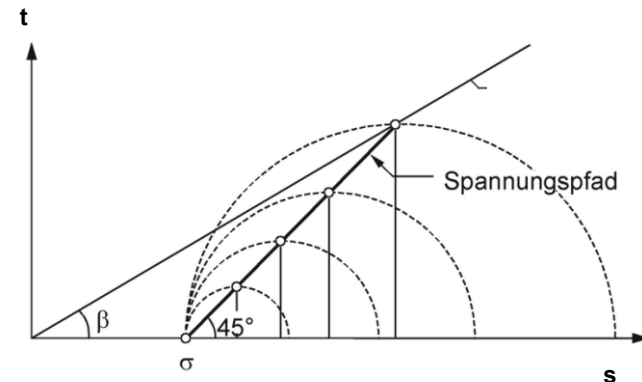
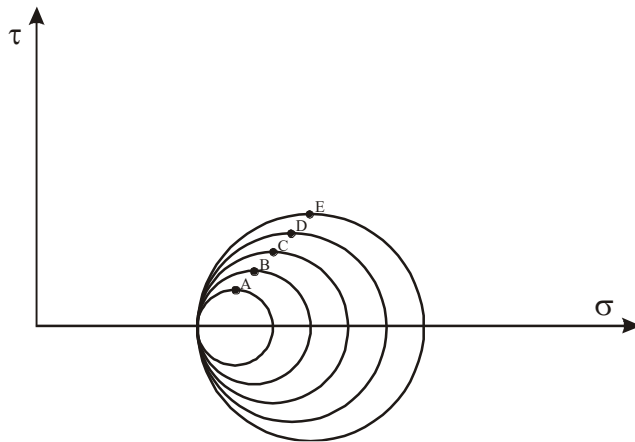
$$\frac{\Delta t}{\Delta s} = \frac{\frac{\Delta\sigma_v - \Delta\sigma_h}{2}}{\frac{\Delta\sigma_v + \Delta\sigma_h}{2}} = \frac{\Delta\sigma_v - 3\Delta\sigma_v}{\Delta\sigma_v + 3\Delta\sigma_v} = -\frac{1}{2}$$

Bruchkriterium im s-t-Diagramm

Ändert sich der Spannungszustand werden **Spannungspfade** anstelle von Mohr'schen Spannungskreisen zur **Darstellung der Spannungsänderung** verwendet.

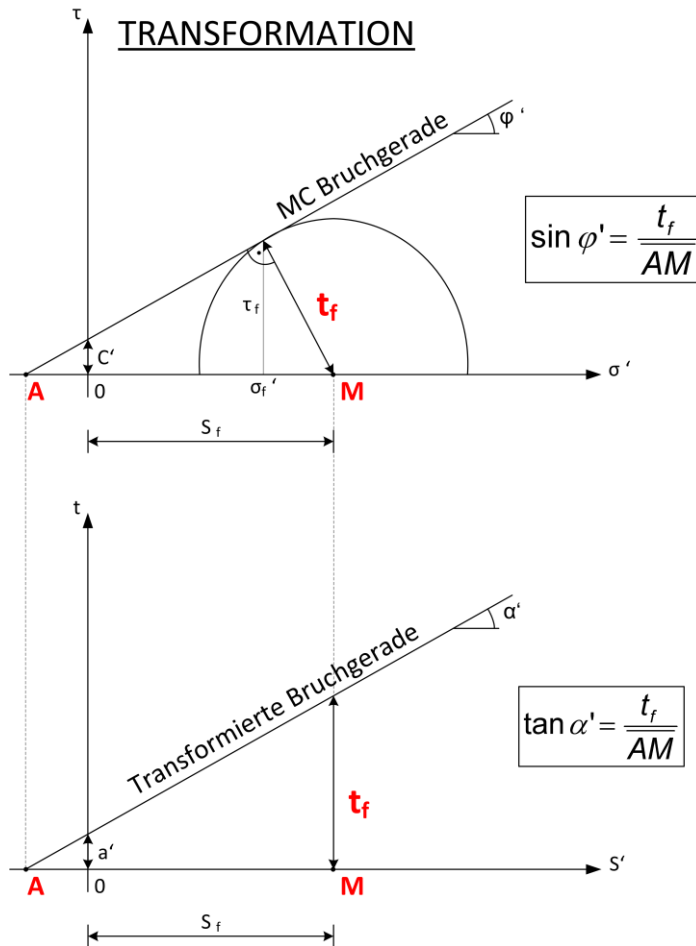
MIT- oder s-t-Darstellung

$$s = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} \quad t = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$$



Bruchkriterium im s-t-Diagramm

Rechnen Sie die Scherparameter ϕ' und c' der **Mohr-Coulomb'schen Bruchgeraden** in die Kennwerte a' und α' der **transformierten Bruchgeraden** um.



$$\sin \phi' = \frac{\tau_f}{AM} = \tan \alpha'$$

$$\rightarrow \alpha' = \arctan(\sin \phi')$$

$$\tan \phi' = \frac{c'}{a'}; \quad \tan \alpha' = \frac{a'}{a_0}$$

$$\frac{\tan \phi'}{c'} = \frac{\tan \alpha'}{a'} \rightarrow a' = \frac{\tan \alpha'}{\tan \phi'} \cdot c'$$

$$a' = \frac{\tan \alpha' \cdot \cos \phi' \cdot c'}{\sin \phi'} = \frac{\sin \phi' \cdot \cos \phi' \cdot c'}{\sin \phi'}$$

$$\rightarrow a' = \cos \phi' \cdot c'$$

Spannungspfade – Beispiel 2

Aus einem CD-Triaxialversuch eines Sandes sind folgende Daten ermittelt worden:

Probe	$\sigma'_c = \sigma'_3$ (kN/m ²)	$(\sigma'_1 - \sigma'_3)_f$ (kN/m ²)	σ'_{1f} (kN/m ²)
1	35	93	128
2	70	270	340
3	140	425	565

Bestimmen Sie:

- Mohr'sche Spannungskreise im Versagenszustand
- Effektive Spannungspfade
- c' und φ' aus dem $\sigma - \tau$ - Diagramm
- a und α' aus dem s-t-Diagramm
- Neigung der Bruchfläche zur Horizontalen

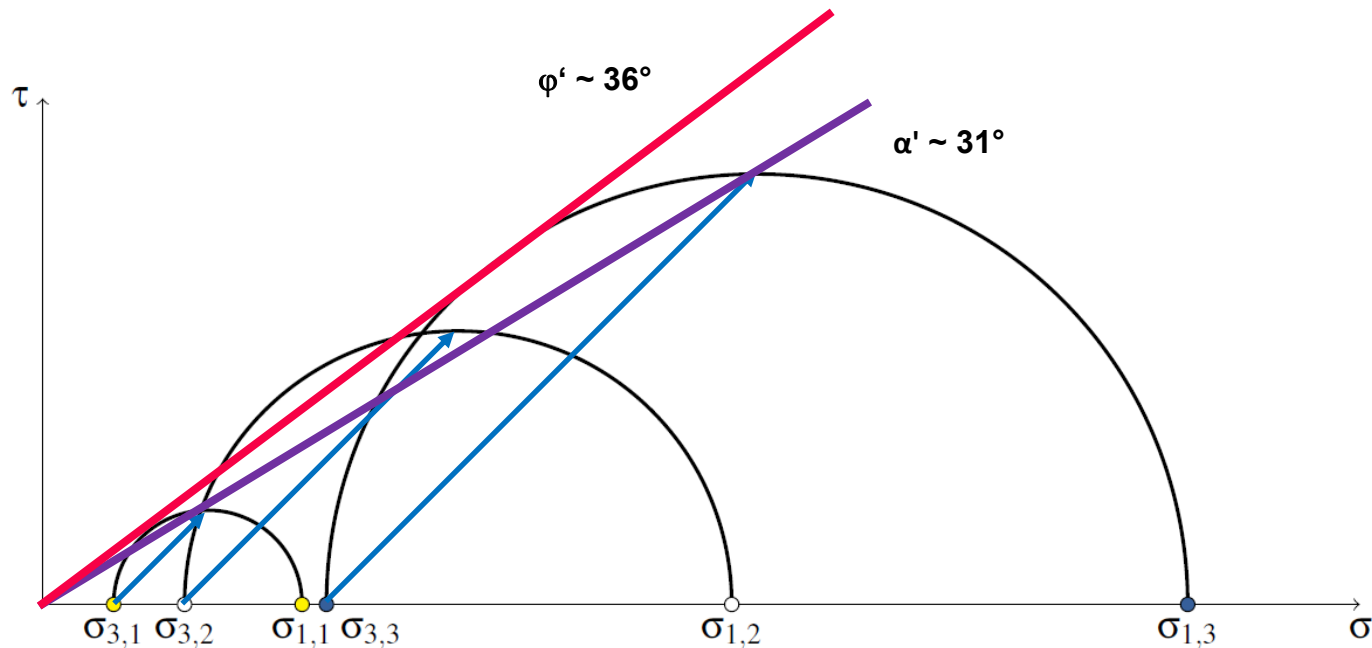
Spannungspfade – Beispiel 2

Aus einem CD-Triaxialversuch eines Sandes sind folgende Daten ermittelt worden:

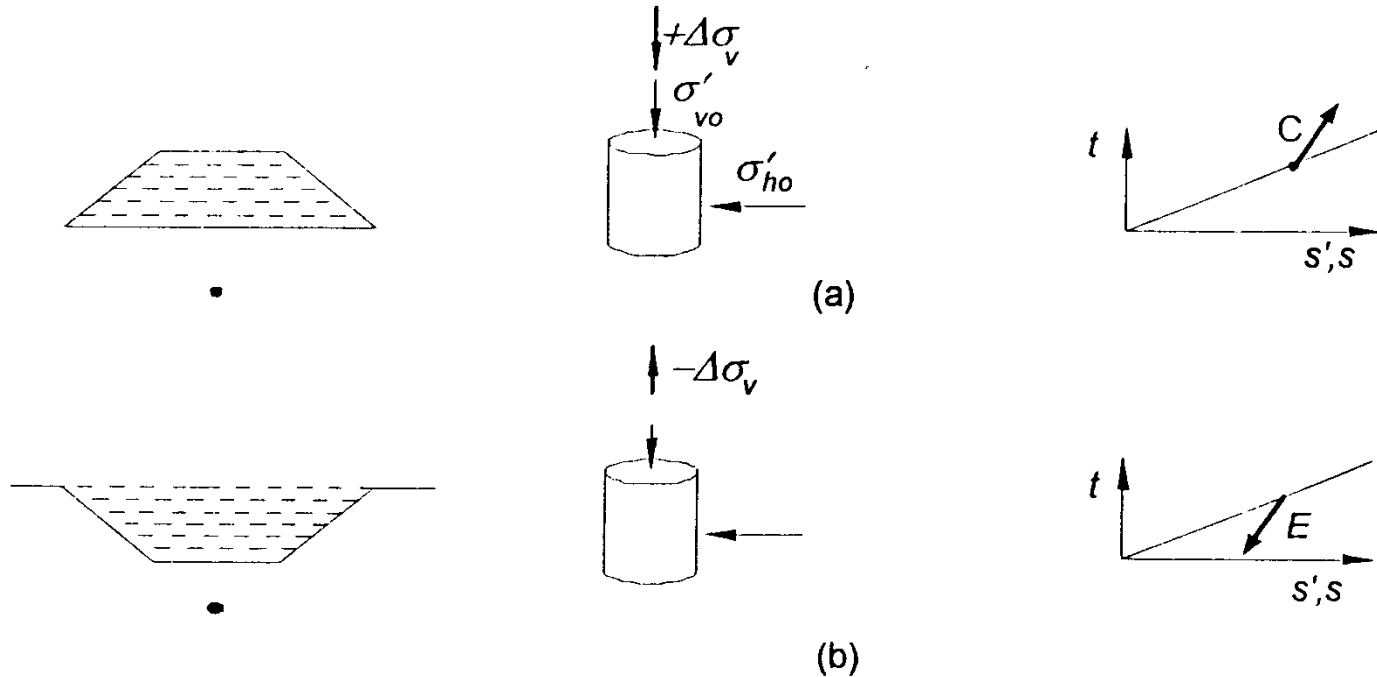
Probe	$\sigma'_c = \sigma'_3$ (kN/m ²)	$(\sigma'_1 - \sigma'_3)_f$ (kN/m ²)	σ'_{1f} (kN/m ²)
1	35	93	128
2	70	270	340
3	140	425	565

$$a' = \cos \phi' \cdot c' = \cos 36^\circ \cdot 0 = 0 \text{ kPa}$$

$$\alpha' = \arctan(\sin \phi') = \arctan(36^\circ) = 30,4^\circ$$



Typische Spannungspfade



C axiale Kompression

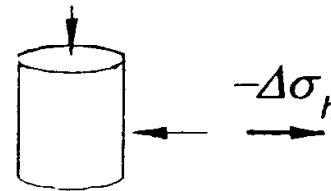
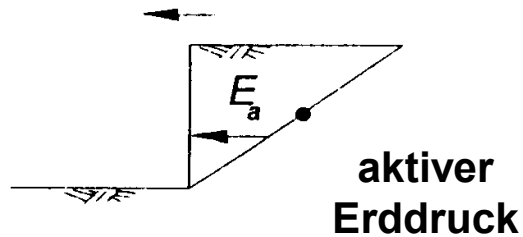
E axiale Extension

aus Ortigao, 1995

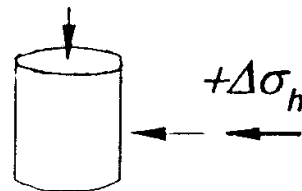
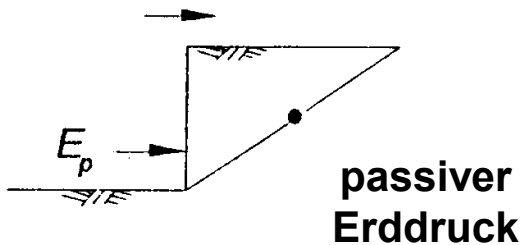
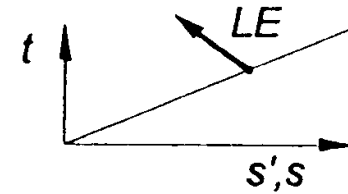
$$\Delta s' = \frac{\Delta \sigma'_v + \Delta \sigma'_h}{2}$$

$$\Delta t = \frac{\Delta \sigma'_v - \Delta \sigma'_h}{2}$$

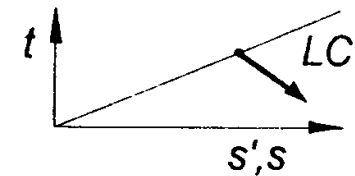
Typische Spannungspfade



(c)



(d)



aus Ortigao, 1995

LC seitliche Kompression

LE seitliche Extension

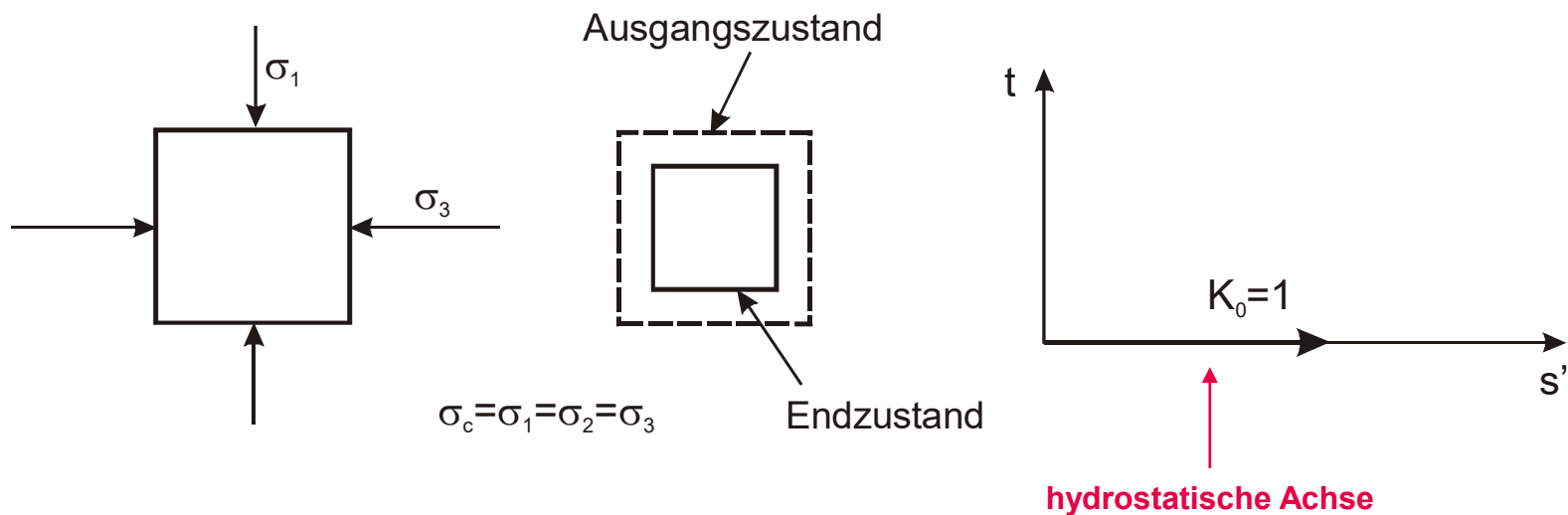
$$\Delta s' = \frac{\Delta \sigma'_v + \Delta \sigma'_h}{2}$$

$$\Delta t = \frac{\Delta \sigma'_v - \Delta \sigma'_h}{2}$$

Spannungspfade bei unterschiedlichen Laborversuchen

Isotroper Kompressionsversuch

- Aufbringen eines allseitig gleichen Druckes σ_c (hydrostatischer Druck)
- Versuch kommt sehr selten zur Anwendung
- Dient u.a. der Bestimmung des Kompressionsmoduls K



Spannungspfade bei unterschiedlichen Laborversuchen

Triaxialversuch

- Axiale und radiale Spannungen sind voneinander unabhängig (i.d.R. $\sigma_2 = \sigma_3$)
- Versuch wird in 2 Schritten durchgeführt:
 - isotroper Spannungszustand ($\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3$)
 - Scherphase – σ_1 wird bis zum Bruch erhöht
- Dient u.a. zur Ermittlung der **Festigkeitseigenschaften** und der Untersuchung des **Verformungsverhaltens**

