

Strukturgeologie & Tektonik Test

(1) Coulomb Mohr

Abbildung 1 zeigt experimentelle Daten (Stress-strain Diagramme) zu Spruce Pine Dunite. Die jeweiligen Umschliessungsdrucke sind angegeben.

- Füllen Sie die Tabelle aus (Abb. 1). Berechnen Sie für σ_1 und σ_3 in MPa.
- Konstruieren Sie die Mohrkreise im vorgegebenen Koordinatensystem (bezeichnen Sie σ_1 und σ_3).
- Passen Sie EINE lineare Mohr'sche Umhüllende an.
- Schreiben Sie die Gleichung für die Mohr'sche Umhüllende auf.
- Welchen Wert erhalten Sie für C_0 , die Kohäsion ?
- Welchen Wert erhalten Sie für ϕ , den Winkel der inneren Reibung ?
- Welche Differentialspannung kann der Dunit an der Erdoberfläche aushalten.
- Welches Gewicht kann eine 10-10 cm quadratische Säule aus Dunit tragen?

(2) Trajektorien

Abbildung 2.a zeigt eine duktile Scherzone in Granit (Maggia-Decke). Sie sollen anhand von Gefügetrajektorien den Scherbetrag abschätzen.

Abbildung 2.b zeigt auf der unteren Seite der Scherzone zwei hypothetische Adern, welche das Gestein durchschlagen. Beide sind absolut plan und stehen senkrecht zur Bildebene

- Wählen Sie ein Profil durch die Scherzone
- Bestimmen Sie an max. 8 Punkten auf dem Profil den Winkel θ und daraus den Gammawert (Taschenrechner oder Tabelle bei Abb.2).
- Bestimmen Sie den totalen Scherbetrag
- Zeichnen Sie die Fortsetzung der Adern entsprechend dem von Ihnen bestimmten Scherbetrag durch die Scherzone bis in den oberen Block ein.

(3) Paläo-Strömungsrichtungen

Anhand von Schrägschichtungen kann man Paläo-Strömungsrichtungen ermitteln. Man nimmt dabei (grob vereinfachend) an, dass der Schrägschichtungskörper ein Prisma ist und die Strömungsrichtung parallel zur Einfallrichtung des Foresets erfolgt, wenn die unterliegende Schichtfläche horizontal liegt (s. Abbildung 3.a).

Abbildung 3.b zeigt eine (bisher noch unveröffentlichte) Karte einer (bisher noch völlig unbekannt) kleinen Antiklinale (Mont Mysterieux) im Jura. Darauf sind Einfallrichtung und Einfallswinkel von Schichten und Schrägschichtungskörpern eingetragen.

Benützen Sie für diese Aufgabe das Stereonetz.

- Bestimmen Sie den Falten typ.
- Welche Orientierung hat die Faltenachse ?
- Bestimmen Sie den ursprünglichen Einfallswinkel α der beiden Schrägschichtungen, d.h. den Einfallswinkel bezüglich der Schichtung.
- Bestimmen Sie die Paläo-Strömungsrichtung im Hauptrogenstein
- Bestimmen Sie die Paläo-Strömungsrichtung in der St. Ursanne Formation.

(4) Mikrostrukturen

Abbildungen 4.a und 4 b zeigen Quarz - Mikrostrukturen im Polarisationsmikroskop (s. auch Stipp et al. 2002). Abbildung 4.c zeigt den Quarz Piezometer von Stipp & Tullis (2003) und Abbildung 4.d einen neuen, noch unveröffentlichten Piezometer für Scherverformung.

- Beschreiben Sie die fünf Mikrostrukturen.
- Inteprieren Sie: Um welche Rekrystallisationsmechanismen handelt es sich ? BLG, SGR, GBM ? Welcher Verformungsmechanismus fand statt.
- Schätzen Sie die Rekrystallisations-Korngrössen in Abb. 4.b ab. Überlegen Sie: wie definieren Sie Korngrösse ? Beachten Sie dazu die kleine Zeichnung in Abb. 4.c.

- d. Versuchen Sie, anhand der beiden Piezometer (Abb.4.d) die Differentialspannung $\Delta\sigma$ zu ermitteln. Welche Werte erhalten Sie ? Passen die Spannungswerte zu den Mikrostrukturen (wenn regime 1 = BLG, regime 2 = SGR, regime 3 = GBM) ? Welches Piezometer "passt" besser.

(5) Critical taper

Abbildung 5.a zeigt einen idealisierten Akkretionskeil, wie er durch einen Critical taper bzw. Coulomb wedge modelliert wird.

- a. Fügen Sie die wichtigsten Elemente ein und beschriften Sie sie.
b. Nennen Sie die Kräfte, welche auf den Critical taper einwirken.

Gemäss Suppe (2007) lässt sich der Critical taper durch folgende vereinfachte Formel beschreiben

$$(\alpha + \beta) = \frac{\beta (1-\lambda) + F}{(1-\lambda) + W} \quad (1)$$

wo F = fault strength (Reibungskoeffizient), W = wedge strength (Coulomb Bruchfestigkeit) und λ = Verhältnis Porendruck : Gesteinsdruck = $P_f / \rho gh$. Die Beziehung (1) lässt sich als Gerade darstellen: Abbildung 5.b zeigt den α - β Plot eines Critical tapers.

- c. Skizzieren Sie je einen separaten Keil für die Situation 1, 2 und 3.
d. Nehmen Sie an, jeder dieser Keile sei 10 km lang, wie dick wird jeder am hinteren Ende (backstop) ?

Die Stärke des Keils und des Abscherhorizontes lässt sich aus dem α - β Plot berechnen.

$$W = [s / (1-s)] \cdot (1-\lambda) \quad (2)$$

$$F = \beta(\alpha=0) \cdot W \quad (3)$$

Abbildung 5.c zeigt vier kritische Keile. Für den Porendruck setzen wir ($\lambda=0$).

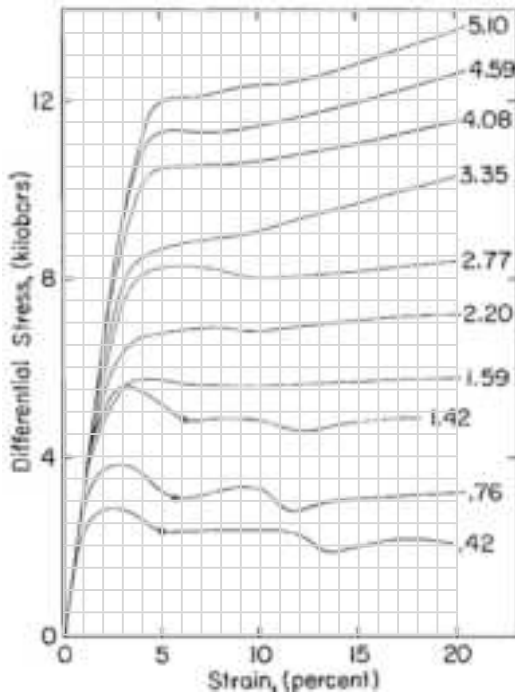
- e. Berechnen Sie zuerst für Keil A die Werte für W , $F (= \mu)$ und F/W .
f. Vergleichen Sie Keil B, C und D mit dem Referenzkeil A: Wie verändern sich die Werte F , W , das Verhältnis (F/W) und die Summe ($\alpha+\beta$) (= die maximale Dicke) der Keile B, C und D gegenüber den entsprechenden Werten von A ?
g. Welchen Einfluss hätte ein Porendruck von $\lambda=0.4$ bzw. $\lambda=0.95$?

(6) Falten

- a. Bestimmen Sie den Falten typ (Ramsay Klassifikation) der in Abbildung 6.a gezeigten Falten
b. Bestimmen Sie den Falten typ entlang der beiden Scharniere A und B (Abb. 6.b) für die Schichten 1 bis 5 (Abb. 6c). - Tragen Sie zur Verdeutlichung ein paar Dip-Isogonen ein.
c. Bestimmen Sie den Falten typ der Falte in Abb. 6d - Tragen Sie zur Verdeutlichung ein paar Dip-Isogonen ein.
d. Interpretieren Sie diesen Aufschluss (Abb. 6e): Was sind das für Falten ? - und was ist hier verfault ?

I-Coulomb Mohr

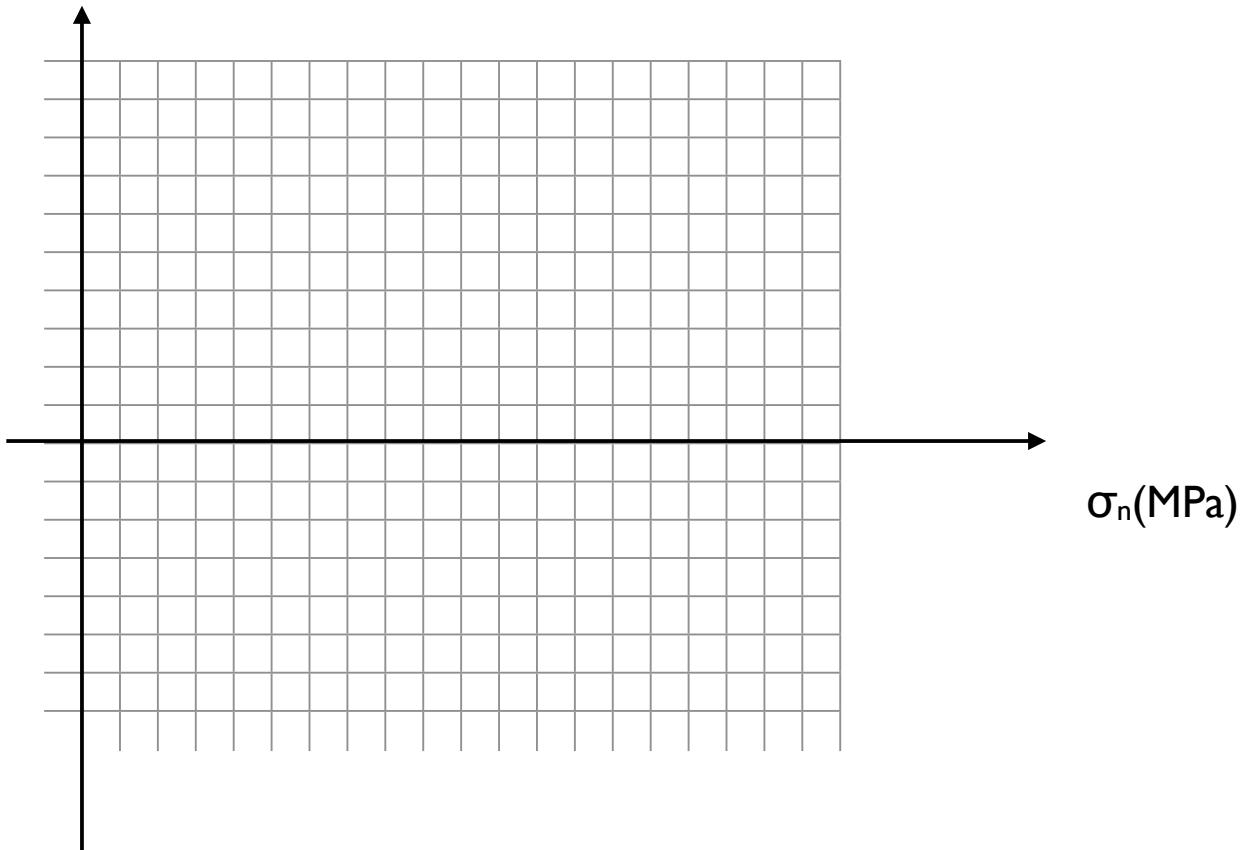
Umschliessungsdruck (kb)



P _c (kb)	Δσ(kb)	σ ₃ (MPa)	Δσ(MPa)	σ ₁ (MPa)

Abbildung 1:
Spruce Pine Dunite (Byerlee, 1968)

τ(MPa)



2-Trajektorien



Abbildung 2.a: Duktile Scherzone ,Alpe Laghetti, TI. Durchmesser der Münze = 18.20 mm



Abbildung 2.b

Tabelle für die Umformung Winkel von θ zu γ : $\gamma = 2 / \tan(2\theta)$

$\theta(^{\circ})$	γ	$\theta(^{\circ})$	γ	$\theta(^{\circ})$	γ	$\theta(^{\circ})$	γ	$\theta(^{\circ})$	γ
45	0.00	36	0.65	27	1.45	18	2.75	9	6.16
44	0.07	35	0.73	26	1.56	17	2.97	8	6.97
43	0.14	34	0.81	25	1.68	16	3.20	7	8.02
42	0.21	33	0.89	24	1.80	15	3.46	6	9.41
41	0.28	32	0.98	23	1.93	14	3.76	5	11.34
40	0.35	31	1.06	22	2.07	13	4.10	4	14.23
39	0.43	30	1.15	21	2.22	12	4.49	3	19.03
38	0.50	29	1.25	20	2.38	11	4.95	2	28.60
37	0.57	28	1.35	19	2.56	10	5.49	1	57.27

3-Paläo-Strömungsrichtungen

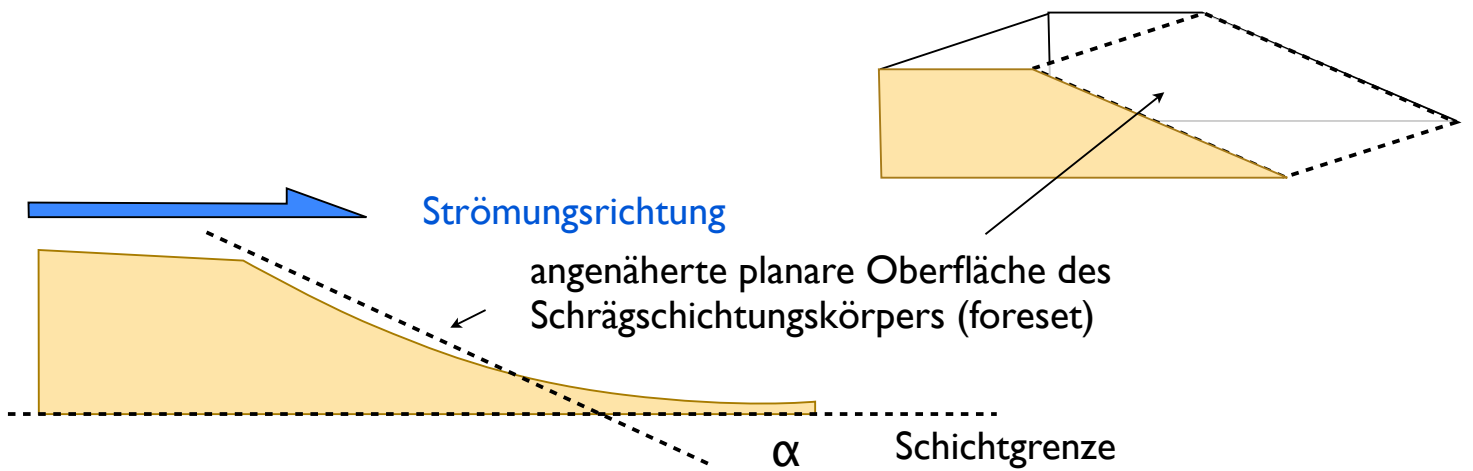


Abbildung 3.a Schematische Darstellung eines Schrägschichtungskörpers im Profil. Rechts oben: vereinfachter Schrägschichtungskörper.

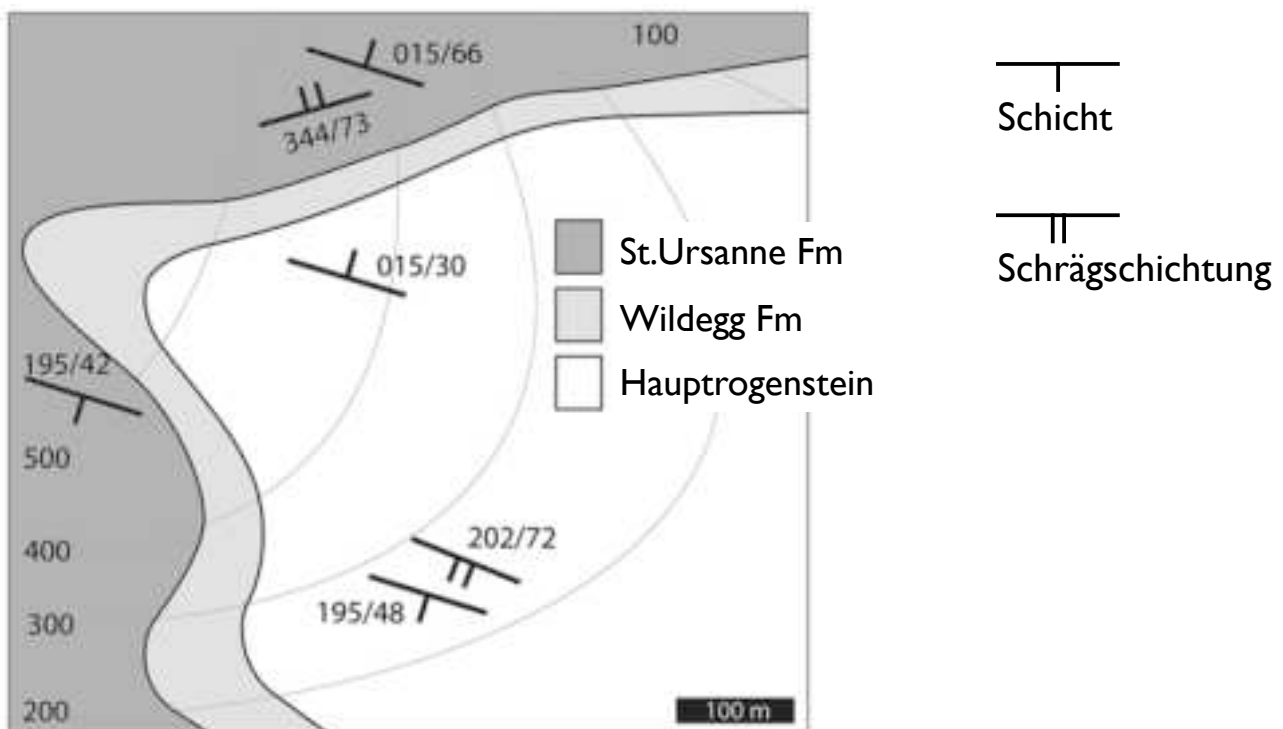
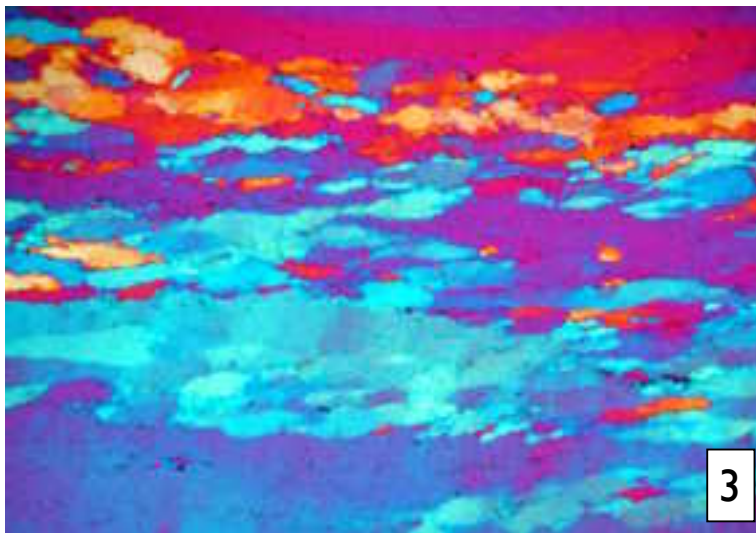
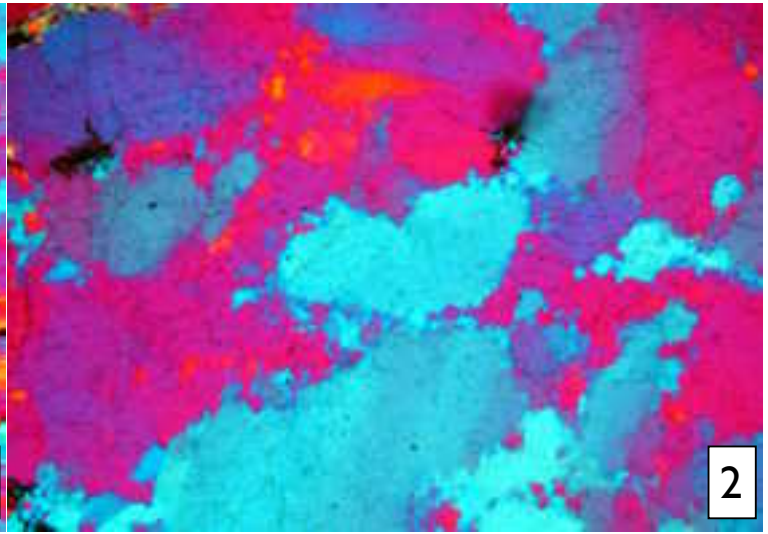
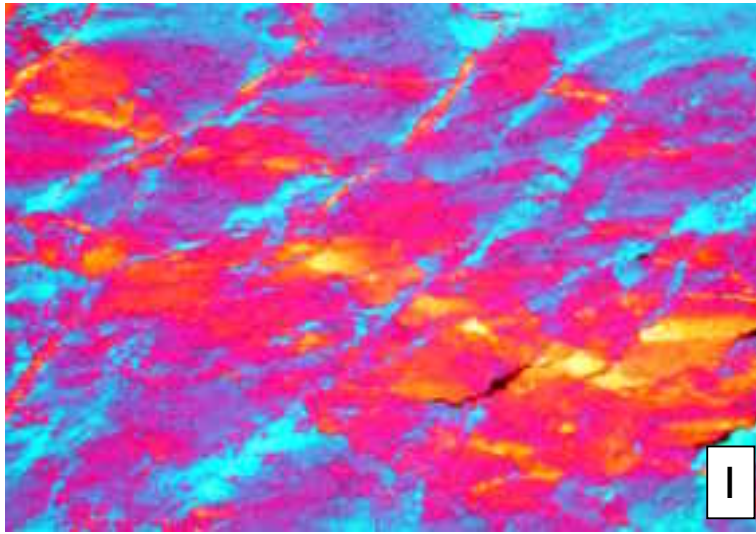


Abbildung 3.b Geologische Karte des Mont Mystrieux

4-Mikrostrukturen



200 μm

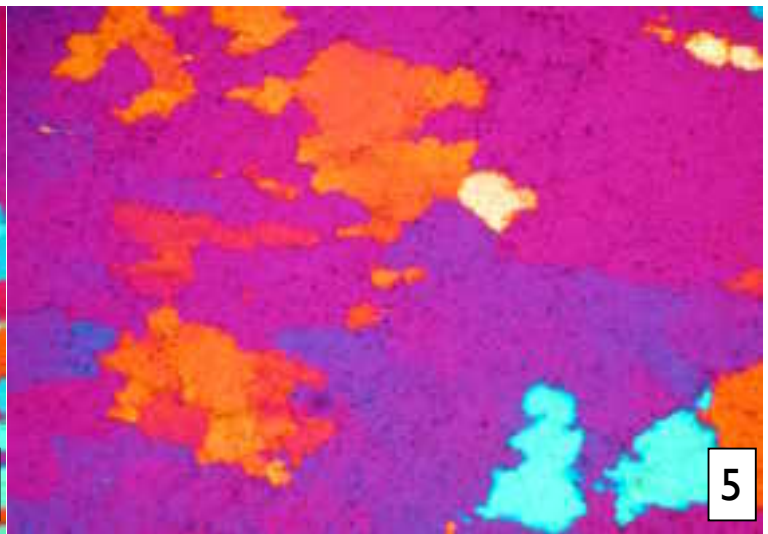
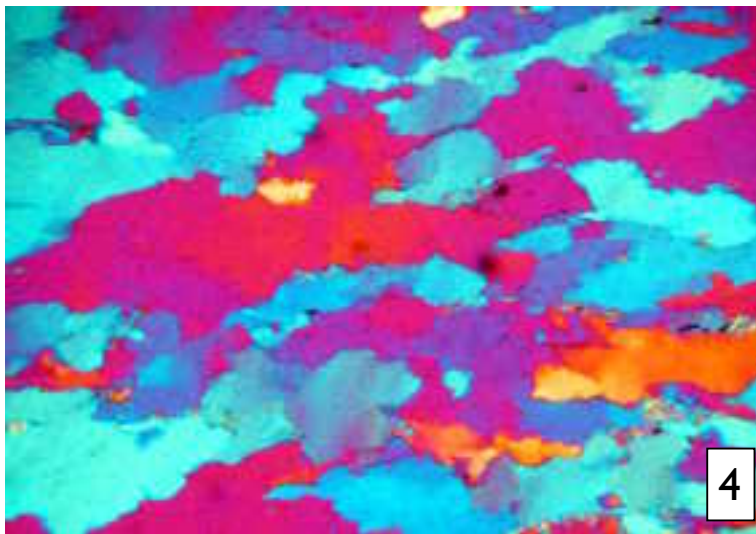
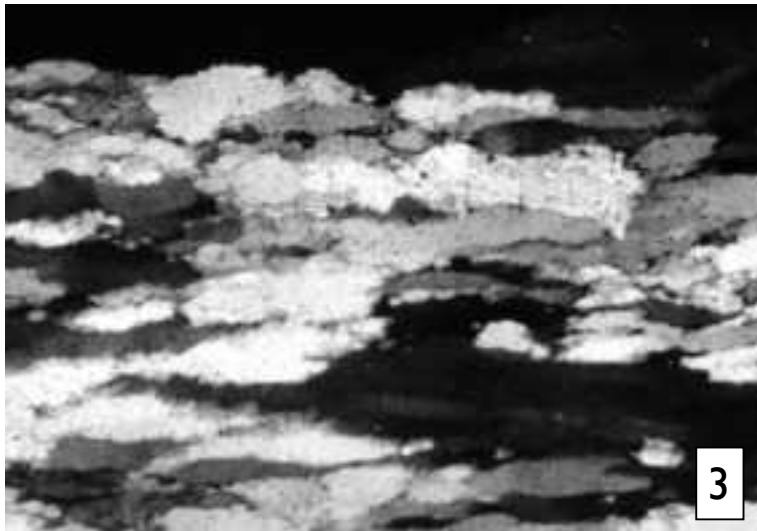
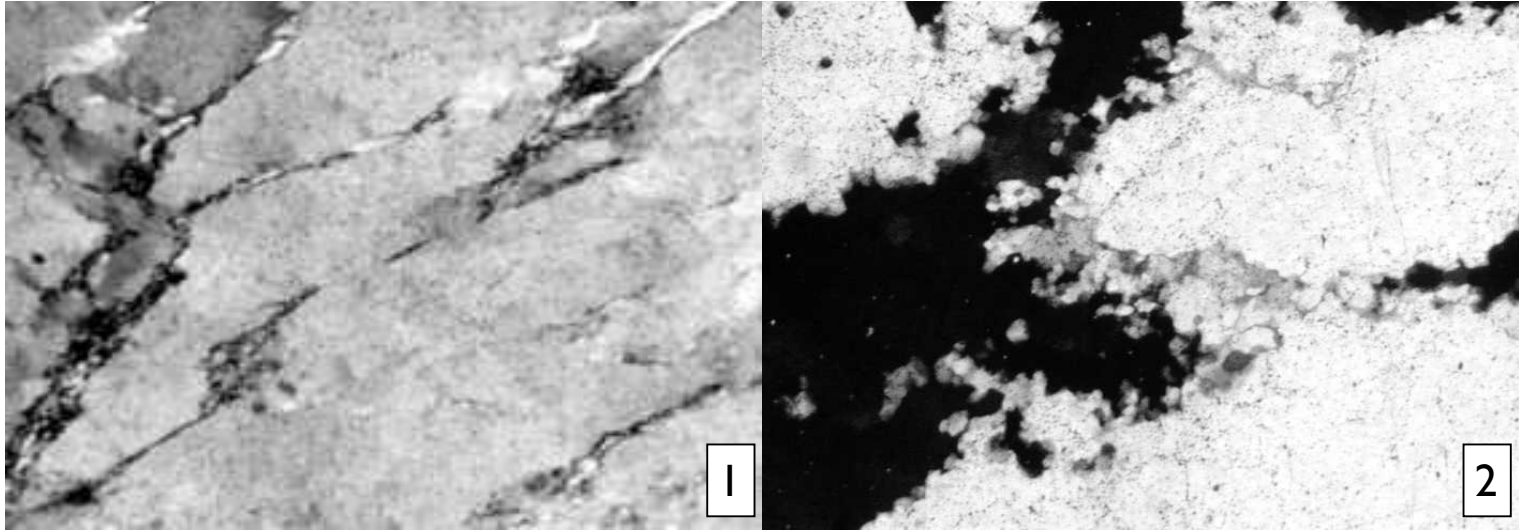


Abbildung 4.a Quarz Mikrostrukturen (Insubrische Linie), gekreuzte Nicols, Gipsplatte.

4-Mikrostrukturen



100 μm

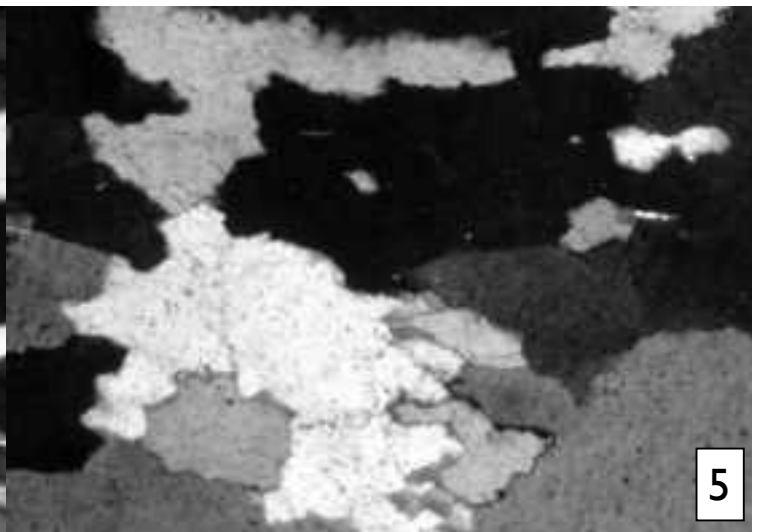


Abbildung 4.b Quarz Mikrostrukturen (Insubrische Linie), jeweils Detail von 4.a, zirkulare Polarisation.

4- ... und Piezometer

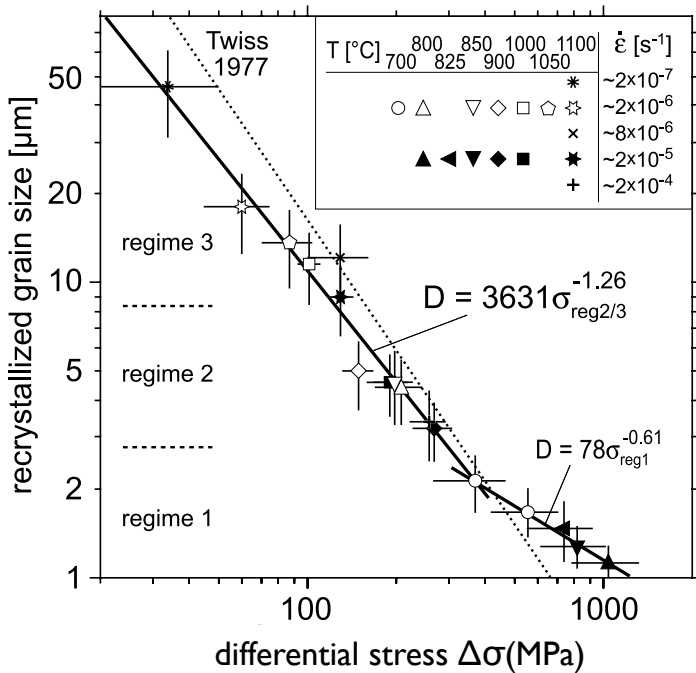


Figure 4. Least squares fit calibrations of a recrystallized grain size piezometer for dislocation creep regime 1 [5 data points, *Bishop*, 1996] and regimes 2 and 3 (11 data points); equations are indicated. Sample W-1126 was not used for calibration due to the different recrystallization microstructure. The theoretical piezometer of *Twiss* [1977] is plotted for comparison using a shear modulus of 42 GPa, a Poisson ratio of 0.15 and a Burgers vector of $5 \times 10^{-4} \mu\text{m}$. See text for discussion.

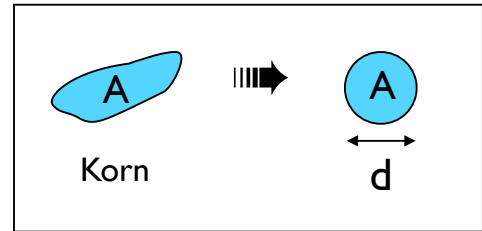


Abbildung 4.c Quarz Piezometer (Stipp & Tullis GRL 2003). Unter recrystallized grain size verstehen die AutorInnen den Durchmesser eines flächengleichen Kreises (s. inset) - bzw. den RMS Durchschnittswert davon (RMS = root-mean square).

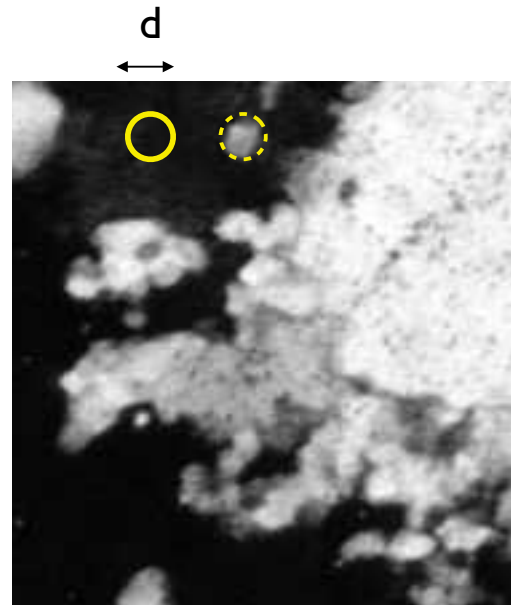
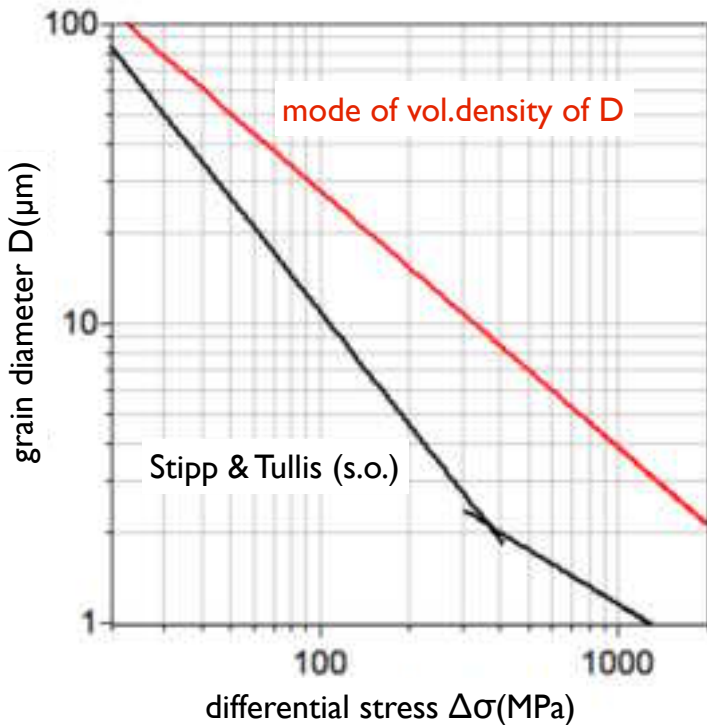


Abbildung 4.d Schwarz: Quarz Piezometer (Stipp & Tullis JGR 2003). Rot: Neuer Quarz Piezometer für Scherverformung (Heilbronner & Tullis, unpublished data) Unter mode of vol. density of D verstehen die Autorinnen den Modalwert der volumengleichen Kugeln. Dieser Wert wird hier am besten durch den "repräsentativen" (\approx grössten) Durchmesser (gelb) abgeschätzt.

5-Critical taper

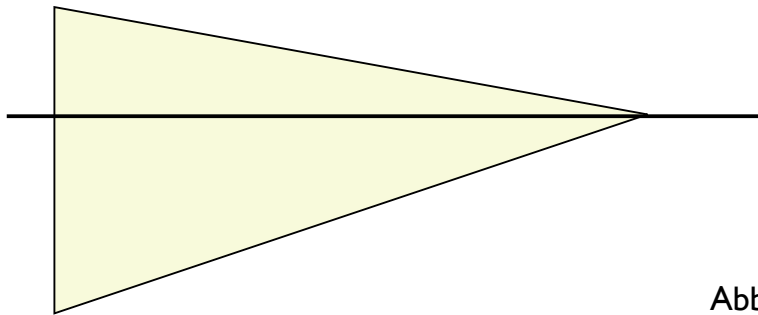


Abbildung 5.a Schematische Darstellung eines Kritischen Keils (Coulomb wedge)

$\sin(\alpha)$ $\alpha(\text{rad})$ $\alpha(^{\circ})$

0.174	0.175	10
0.156	0.157	9
0.139	0.140	8
0.122	0.122	7
0.105	0.105	6
0.087	0.087	5
0.070	0.070	4
0.052	0.052	3
0.035	0.035	2
0.017	0.017	1
0.000	0.000	0

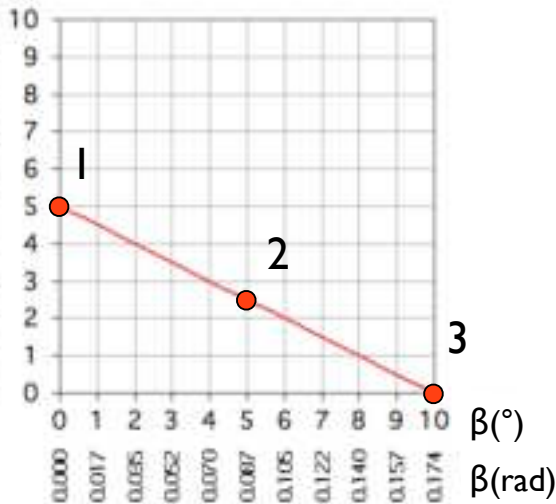


Abbildung 5.b.

α - β Plot eines kritischen Keils. Die Winkel α und β sind sowohl in Grad ($^{\circ}$) als auch im Bogenmass (rad) angegeben.

Zum Vergleich ist für α auch der Sinus angegeben: Für $\alpha < 10^{\circ}$ ist das Bogenmass α (rad) = $\sin(\alpha)$.

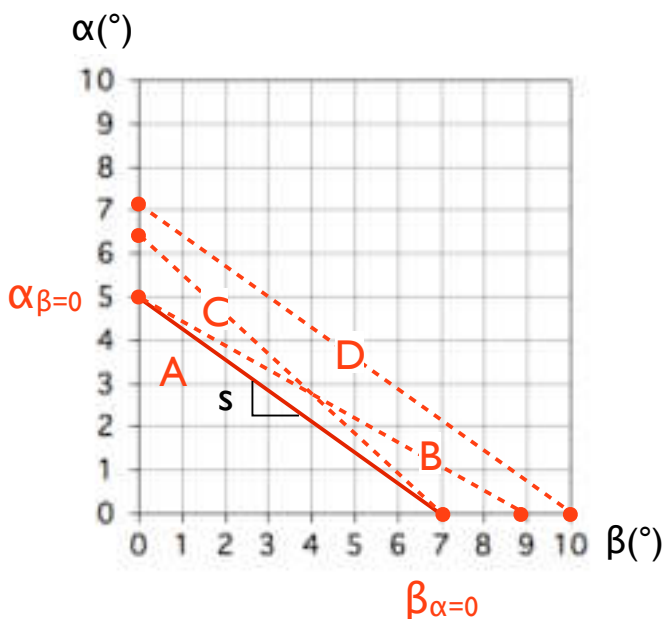


Abbildung 5.c

Vier verschiedene Kritische Keile.

- A Referenzkeil
- B $\beta_{\alpha=0}$ ist grösser
- C $\alpha_{\beta=0}$ ist grösser
- D $\alpha_{\beta=0}$ und $\beta_{\alpha=0}$ sind grösser, $s = \text{konstant}$

6 - Falten



Abbildung 6.a. Turkey and Cheddar Sandwich

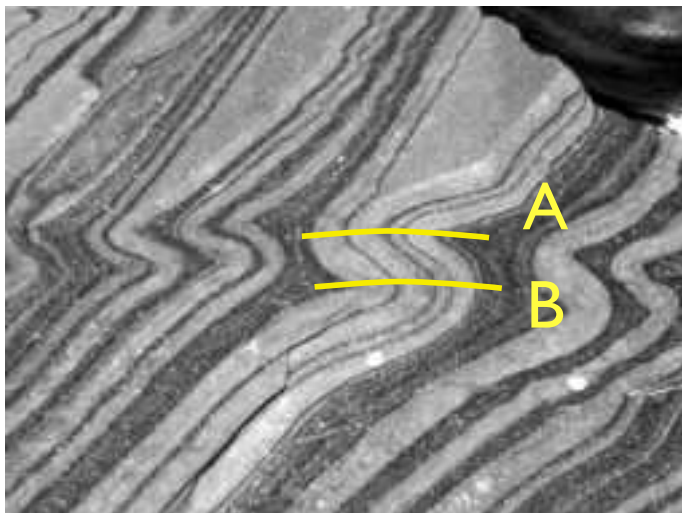


Abbildung 6.b Harvey's Return (OZ)
Scharnier A und B.

The outcrop is located near the Harvey's Return Camping area in the Flinders Chase National Park, Kangaroo Island, South Australia, Australia (earth.unibas.ch/micro/)

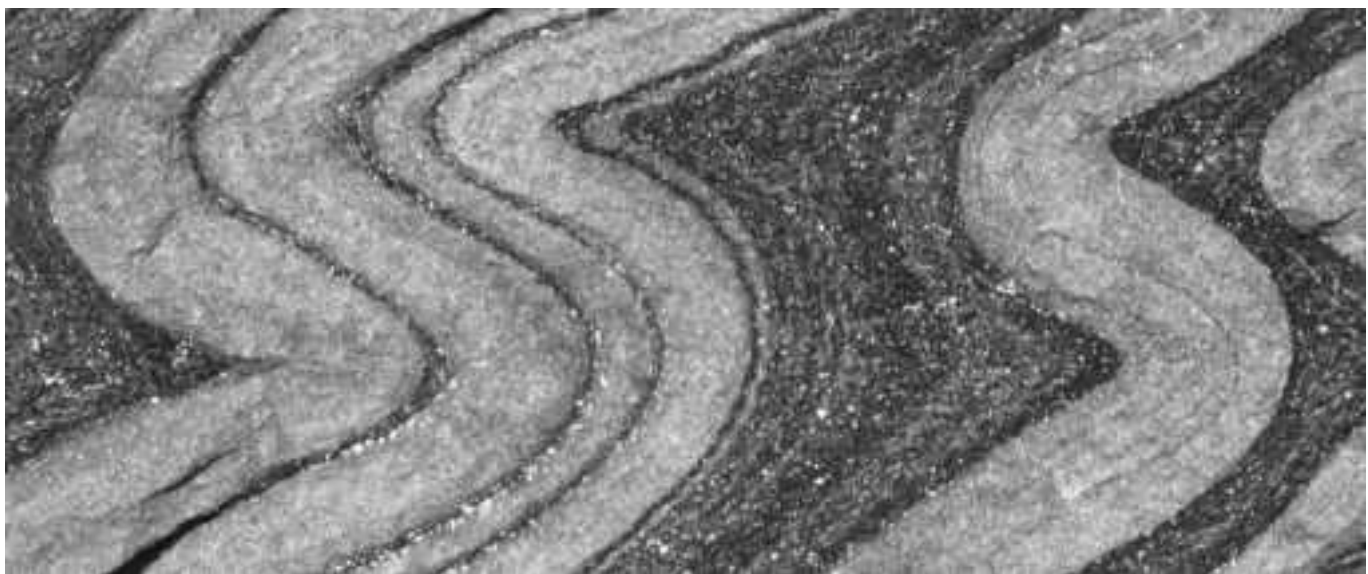


Abbildung 6.c Detail von 6b: 5 gefaltete Bänder

6 - Falten



Abbildung 6.d. Falte am Verzasca Stausee

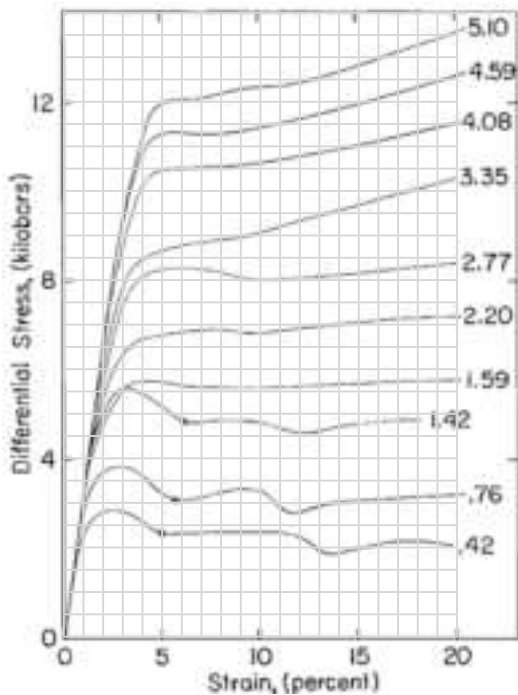


Abbildung 6.e. Und was ist das ?

LÖSUNGEN

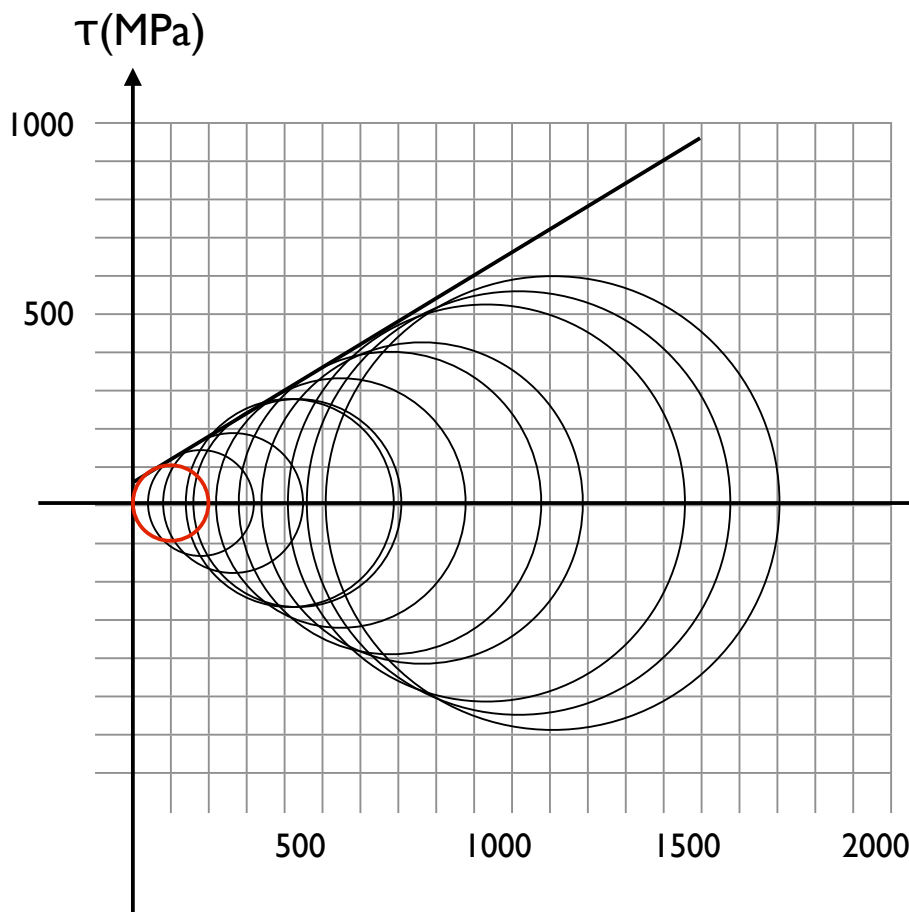
I-Coulomb Mohr

Umschliessungsdruck (kb)



P_c (kb)	σ_3 (MPa)	$\Delta\sigma$ (MPa)	σ_1 (MPa)
0.42	40	280	320
0.76	80	370	450
1.42	140	550	690
1.59	160	550	710
2.2	220	660	880
2.77	280	800	1080
3.35	340	850	1180
4.08	410	1050	1460
4.59	460	1120	1580
5.1	510	1200	1710

Abbildung 1:
Spruce Pine Dunite (Byerlee, 1968)



$$\tau = 60 \text{ MPa} + 0.61 \cdot \sigma_n$$

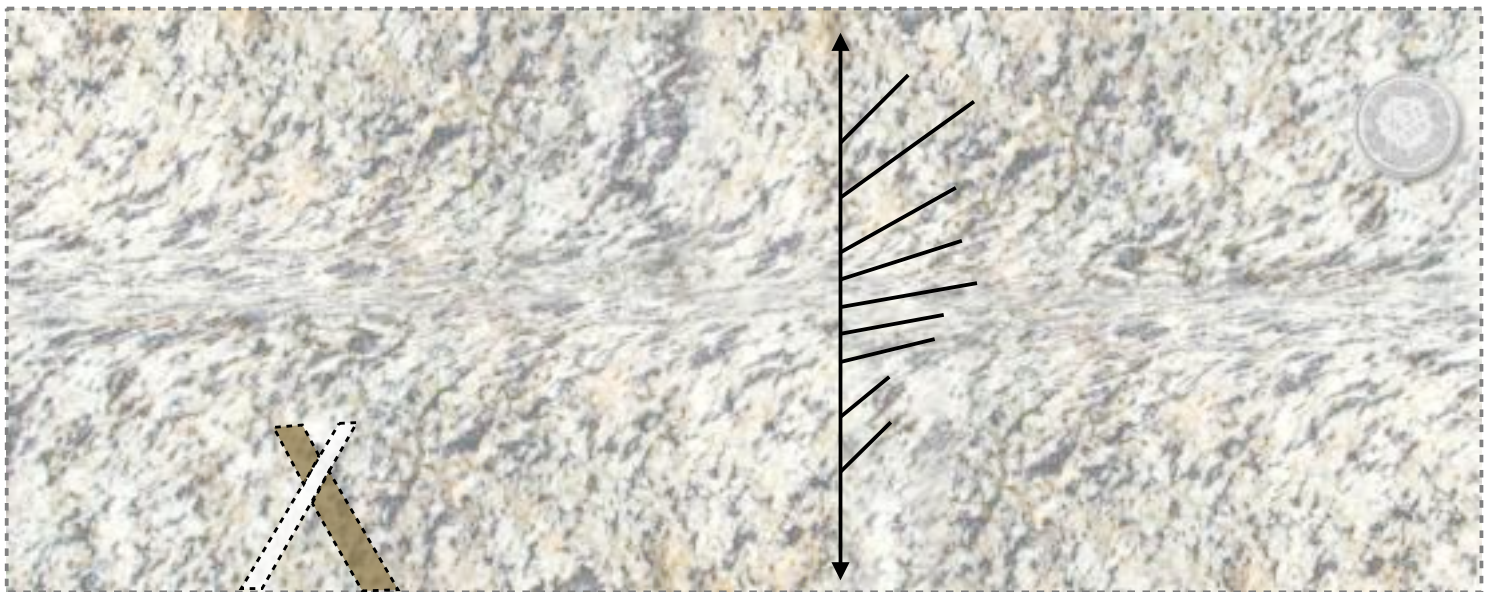
$$C_0 = 50 \text{ MPa}$$

$$\phi = 31.3^\circ$$

at $P_c=0$ $\Delta\sigma \approx 200 \text{ MPa}$
 $= 200'000'000 \text{ N/m}^2$
 $\approx 9.81 \cdot 20'000'000 \text{ kg/m}^2$
 $\approx 20'000 \text{ t/m}^2$
 $\approx 200 \text{ t auf } 10 \cdot 10 \text{ cm Säule}$

2-Trajektorien

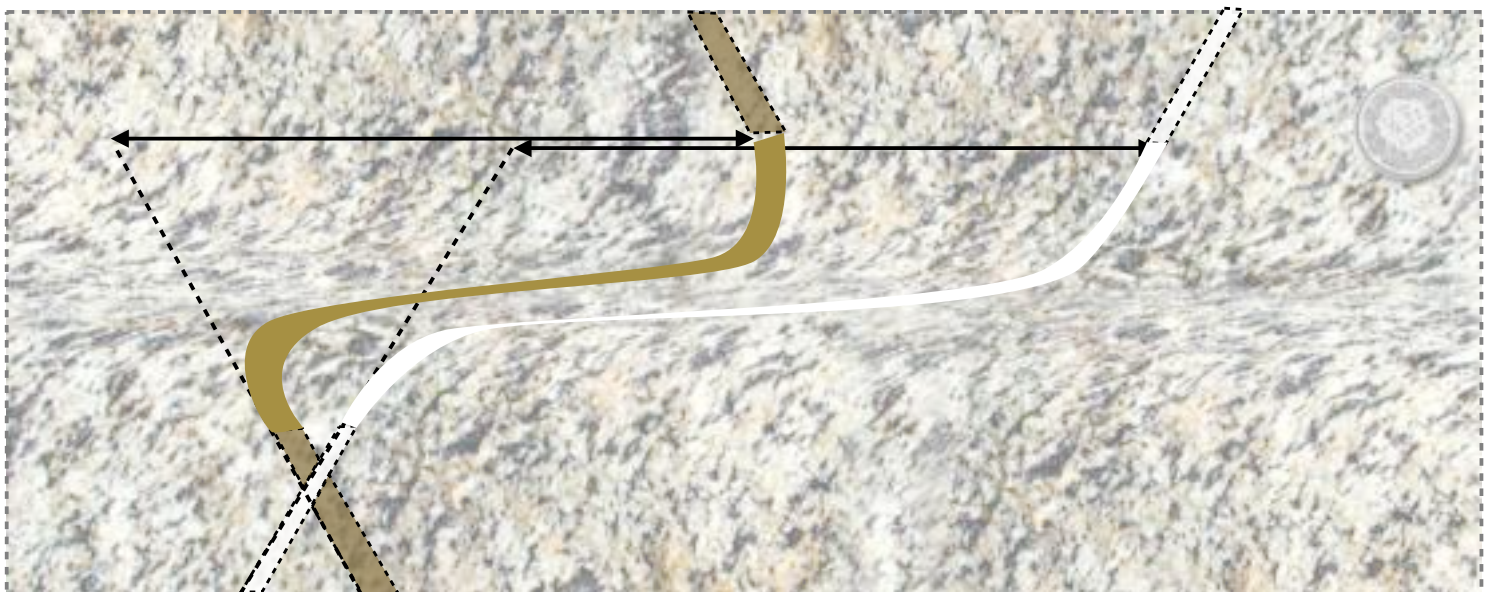
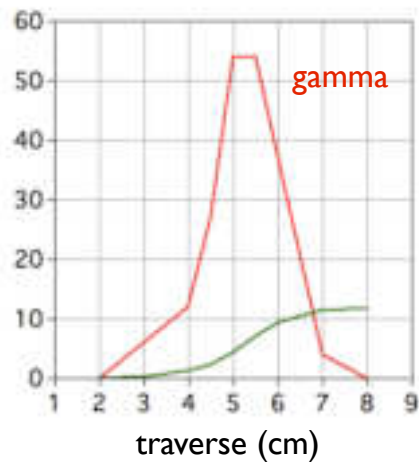
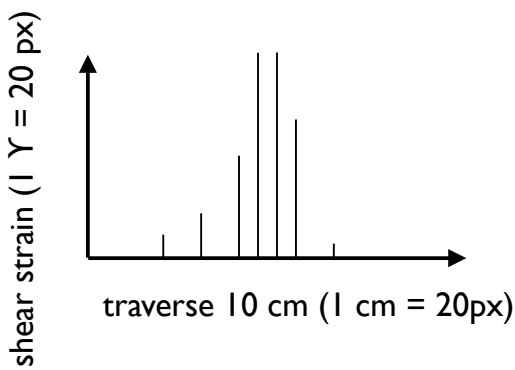
Durchmesser der Münze = 18.20 mm = 53 px = 29 px / cm



Ader 1

Ader 2

10 cm

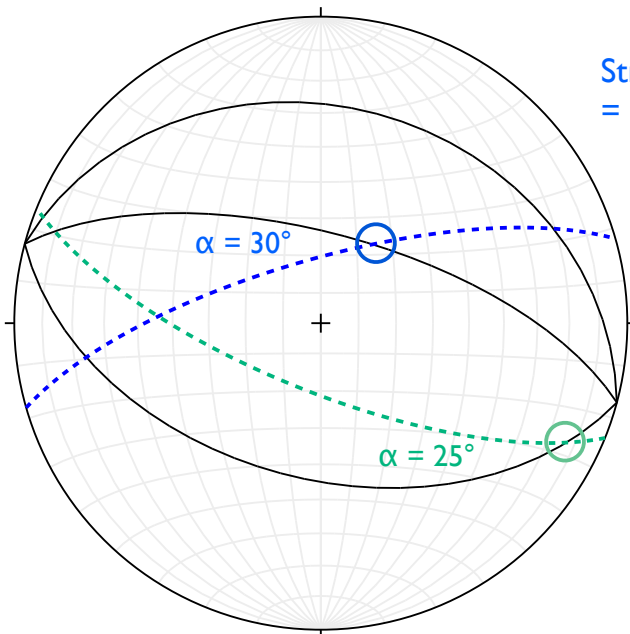
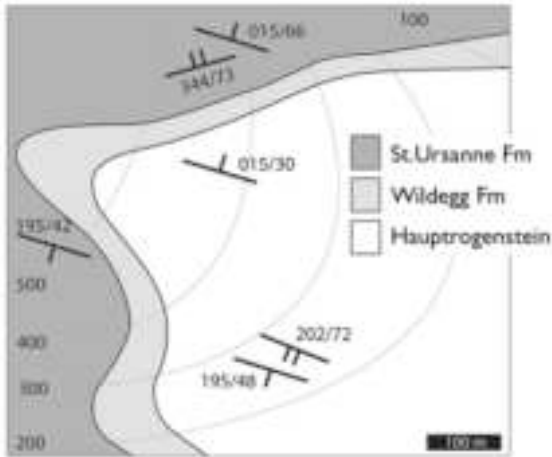


Ader 1

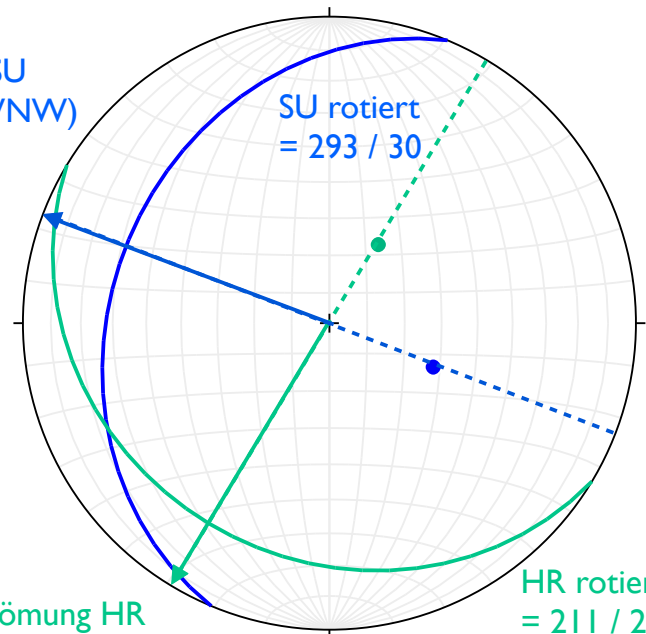
Ader 2

10 cm

3-Paläo-Strömungsrichtungen



Strömung SU
= 293 (\pm WNW)



Strömung HR
= 211 (\pm SSW)

SU rotiert
= 293 / 30

HR rotiert
= 211 / 25

Falte ist \pm aufrecht, mit horizontaler Faltenachse
Offene Falte:
Faltenachse streicht 105 bzw. 285
Öffnungswinkel = 66° (= maximal im Gebiet sichtbarer)
Der Einfallswinkel der Schrägschichtung zur Schicht:
 $\alpha = 30^\circ$ (SU)
 $\alpha = 25^\circ$ (HR)

Rotierte Schrägschichtungen
(N- und S- Schenkel horizontal)
Paläo-Orientierung
SU = 293 / 30
HR = 211 / 25

Azimuth Pol = Azimuth Strömungsrichtung:
SU = nach 293 (\pm WNW) aus 113 (\pm ESE)
HR = nach 211 (\pm SSW) aus 31 (\pm NNE)

4-Mikrostrukturen

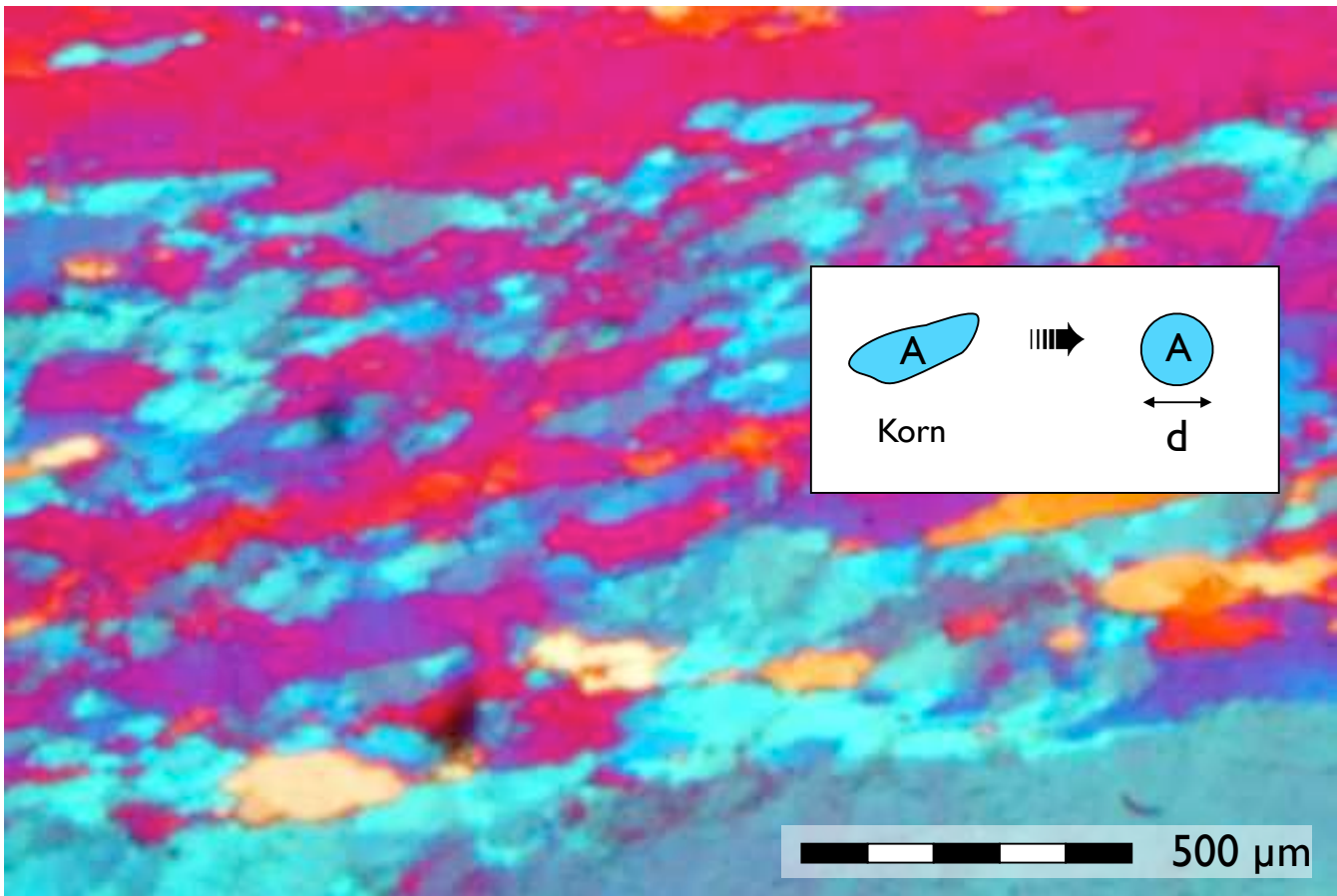
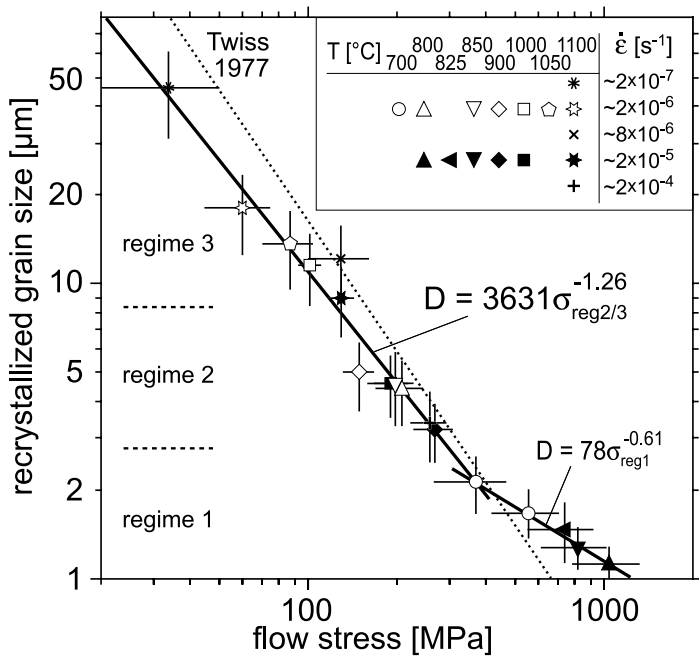


Abbildung 4.c Detail von Abb. 4.b



Als Korngrösse schätze ich mal
 $26 \cdot 20 \text{ px ellipse} \Rightarrow 13 \cdot 10 \cdot \pi \approx 400 \text{ sqpx}$

$\Rightarrow d_{\text{equ}} = 23 \text{ px}$

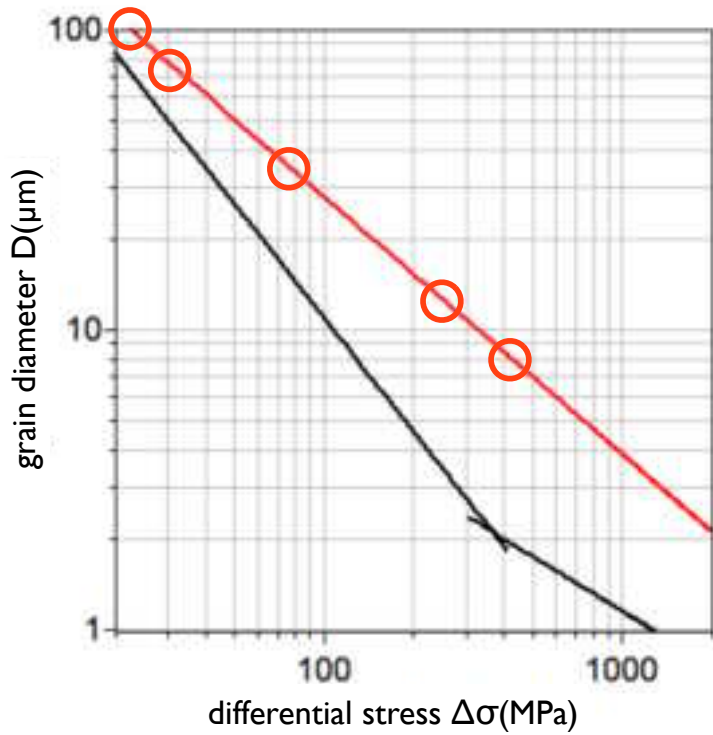
$35 \text{ px} = 100 \text{ μm}$

$2300 / 35 \Rightarrow \text{ca } 65 \text{ μm}$

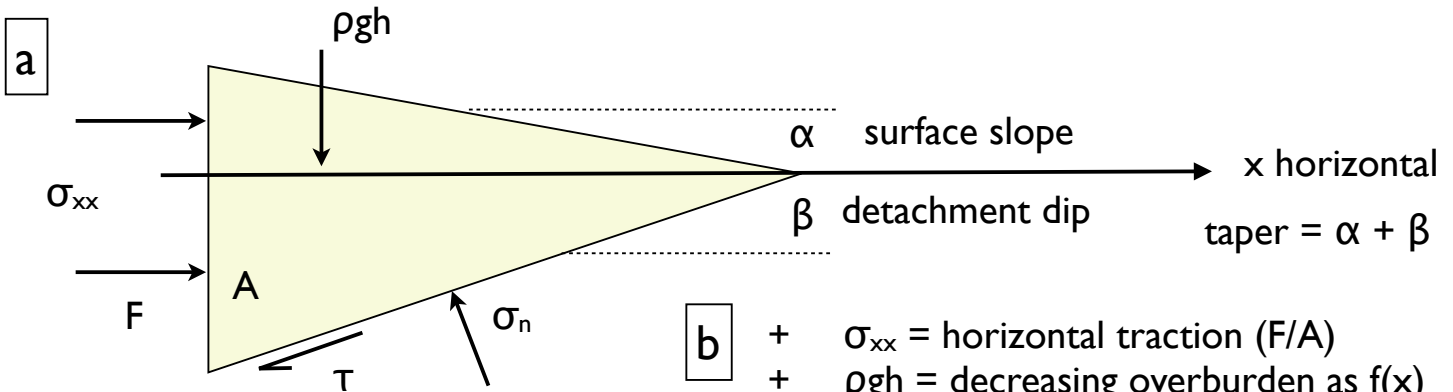
schaffen's gerade in die linke obere
 Bildecke.

4-Piezometer

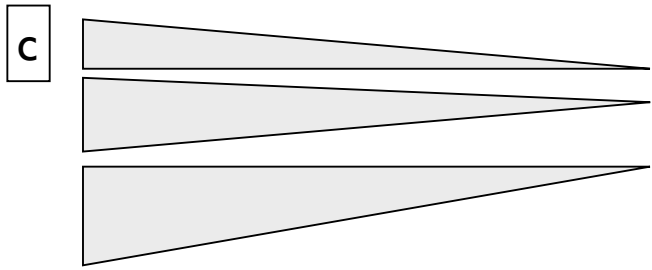
microstructure	$d_{\max}(\mu\text{m}) \approx D_{\text{mode}}$	$\Delta\sigma(\text{MPa})$
blg1	8	400
blg2	12	250
sgr	25	75
gbm1	75	30
gbm2	100	20



5-Critical taper



- b**
- + σ_{xx} = horizontal traction (F/A)
 - + ρgh = decreasing overburden as $f(x)$
 - τ = shear resistance
 - σ_n = normal stress on fault

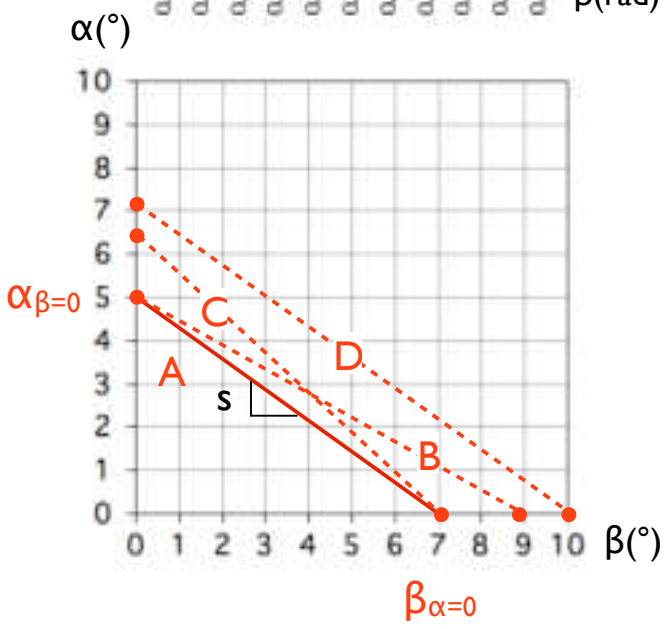


d

	α	β	backstop (10 km)
1	0.087	0	870 m
2	0.043	0.087	1300 m
3	0	0.174	1740 m

- e**
- s: $c3 = \tan(c1)/\tan(c2)$ s slope of $\alpha + \beta$ graph
 - W: $c4 = c3/(1 - c3)$ W wedge strength
 - F: $c5 = \tan(c2) * c4$ F fault strength
 - F/W: $c6 = c5/c4$ $\lambda = 0$

	α	β	s	W	F	F/W
A	5	7	0.713	2.479	0.304	0.123
B	5	9	0.552	1.234	0.195	0.158
C	7	7	0.928	12.88	1.581	0.123
D	7	10	0.710	2.453	0.433	0.176



- f**
- B thicker, W and F weaker
 - C thicker, W and F much stronger, same F/W
 - D much thicker, W same F, stronger

g for $\lambda = 0.95$, s, W, F decrease by factor 20 (weak wedge), F/W remains constant

	α	β	s	W	F	F/W
A	5	7	0.713	0.124	0.015	0.123
B	5	9	0.552	0.062	0.01	0.158
C	7	7	0.928	0.644	0.079	0.123
D	7	10	0.71	0.123	0.022	0.176