

## Frühere Fragen: Strukturgeologie

### Frühling 94

Diskutieren Sie die Beziehung zwischen infinitesimaler Verformung und finiter oder endlicher Verformung. Beschreiben und skizzieren Sie die verschiedenen Geometrien des faserigen Mineralwachstums in Spalten und diskutieren Sie ihre Entstehung während der fortschreitenden Verformung.

Beschreiben Sie die Typen 1, 2 und 3 von überlagerten Faltengeometrien. Welche anderen Merkmale in verformten Gesteinen deuten auf eine mehrphasige Verformung?

Die Messungen zweier Bruchflächen zeigen Einfallsrichtung/Einfallswinkel von 224/53 bzw. 286/65. Anhand der stereographischen Projektion bestimmen Sie den Winkel zwischen den zwei Flächen.

Unter der Annahme, dass die beiden Flächen konjugierte Bruchflächen darstellen, bestimmen Sie die Orientierungen der 3 Hauptspannungsachsen, die während der Bruchbildung geherrscht haben. Welche der drei Hauptspannungsachsen stellt die maximale kompressive Spannung, welche die intermediäre und welche die minimale kompressive Spannung dar. Bestimmen Sie (auch anhand der stereographischen Projektion) die Orientierung möglicher Rutschharnische auf den zwei Bruchflächen.

### Herbst 94

Beschreiben Sie die Klassifikation der Faltengeometrie anhand Isogonen, Änderung der Schichtdicke und Änderung der Dicke parallel zur Faltenachsebene um eine Falte. Wie ändert sich die Faltenform entlang der Faltenachsebene in einer abwechselnden Folge von kompetenten und inkompetenten Schichten? Wie variiert die Orientierung der Achsebenen-Schieferung zwischen den kompetenten und inkompetenten Schichten?

Beschreiben Sie die Geometrie von einfacher Scherung und die Geometrie einer natürlichen Scherzone, die durch heterogene einfache Scherung entstanden ist. Insbesondere beschreiben und skizzieren Sie die Beziehung zwischen Scherrichtung, Schieferung und Lineation bei zunehmender Scherverformungsrichtung der Scherzonenmitte. Skizzieren Sie die Geometrie von syntektonischen Spalten in einer Scherzone.

Messungen der Einfallsrichtung und Einfallswinkel der Schichten um eine Falte geben die folgenden Werte: 045/74, 013/42, 320/31, 244/74.

Bestimmen Sie die Orientierung der Faltenachse. Ein Streckungslinear in der Achsebenen-Schieferung hat eine Orientierung 227/58. Bestimmen Sie die Orientierung der Achsebenen-Schieferung und den Winkel zwischen der Faltenachse und dem Streckungslinear. Eine Striemung auf einer Schichtfläche hat eine Orientierung 059/10. Bestimmen Sie den Winkel mit der Faltenachse. Haben Sie eine mögliche Erklärung für diese Striemung bezogen auf die Entwicklung von Falten in gut geschichteten Gesteinen?

### Frühling 95

Beschreiben Sie Charakteristika und mögliche Entstehungsmechanismen verschiedener Arten von Schieferung, die häufig in verformten Gesteinen vorkommen.

Die Verformung in Gesteinen kann anhand von verformten Fossilien, Konglomeratgeröllen u.s.w. unter gewissen Bedingungen bestimmt werden. Diskutieren Sie Methoden, wie Sie anhand von Ellipsen, Linien, oder Winkeln die zwei-dimensionale Verformung ermitteln können.

Diskutieren Sie die Beziehung zwischen diesen zwei-dimensionalen Verformungsellipsen und dem drei-dimensionalen Verformungsellipsoid (Flinn-Diagramm).

Diskutieren Sie den Einfluss des Abstandes der kompetenten Schichten auf die Geometrie der Falten in einem Gesteinspaket mit mehreren kompetenten Schichten. Vergleichen Sie den Verfallungsmechanismus in einem Einschichtmodell (eine isolierte Schicht) mit einem Mehrschichtmodell.

### **Herbst 95**

Lineationen (Lineare Gefüge) in Gesteinen haben nicht immer die gleiche Bedeutung. Diskutieren Sie die verschiedenen Arten und Entstehungsmechanismen von Lineationen.

Für die verschiedenen diskutierten Typen, bestimmen Sie, wie die Ebene eines Dünnschliffes relativ zur Lineation zu legen wäre, um die wesentlichen Merkmale des Gefüges zu bestimmen bzw. die Kinematik abzuleiten?

Beschreiben Sie die Geometrie und Mechanik bei der Bildung von Salzdiapiren. Wie kann die Entwicklungsgeschichte solcher Salzdiapire anhand der sedimentologischen Beziehungen in gleichzeitig gebildeten Becken abgeleitet werden? Warum gibt es keine Salzdiapire in der Schweiz, obschon es triassische Salzlagen z.B. bei Schweizerhalle im Jura gibt?

Eine Bruchfläche fällt mit  $60^\circ$  Fallwinkel in Richtung  $250^\circ$  (Fallazimuth) ein. Auf der Fläche gibt es Kalzitfasern die, in der Bruchfläche gemessen,  $75^\circ$  weg von der nördlichen Horizontalrichtung einfallen (sog. "Pitchwinkel"). Abstufungen in den Fasern zeigen, dass sich die Westseite hinunter bewegt hat. In der Annahme, dass die Bruchfläche ein Teil eines konjugierten Systems ist, bestimmen Sie die Orientierung der drei Hauptspannungsachsen. Machen Sie klar, welche dieser drei die maximale kompressive Spannungsachse darstellt.

### **Frühling 96**

Definieren Sie ein Diapir System.

Definieren Sie Dom- und Beckenstrukturen, welche durch mehrphasige Faltung entstehen können.

Beschreiben Sie die geometrischen Elemente, die Sie gebrauchen würden, um einen grossformatigen Diapir von grossformatigen Interferenzstrukturen zu unterscheiden.

### **Herbst 96**

Definieren Sie eine Schieferung in Bezug auf die Verformung. Beschreiben Sie verschiedenen Arten von Schieferung und diskutieren Sie ihre mögliche Entstehung.

Definieren Sie die verschiedenen Arten von Lineationen und ihre Beziehung zu Falten und Verformung.

Definieren Sie die verschiedenen Arten von faserigem Mineralwachstum in Spalten und um feste Einschlüsse. Was können Sie über die fortschreitende Verformung ableiten anhand der Geometrie dieser Mineralien ?

### **Frühling 97**

In einem Bohrloch werden zwei horizontale Spannungen gemessen. Eine ist 100MPa, die andere 300 MPa. Das Gebiet liegt in einer konvergenten Zone. Welche Hauptspannungen werden gemessen? Bestimmen Sie die differentielle Spannung!

Ein Gestein hat ein Coulomb'sches Kriterium mit einer Kohäsion von 50 MPa und einen Koeffizienten der inneren Reibung, welcher einer Steigung von  $45^\circ$  entspricht. Kann dieses Gestein in diesem Bohrloch brechen? Stellen Sie den Spannungszustand graphisch dar. Bei welchem Porendruck wäre das Gestein instabil? Bestimmen Sie den Winkel zwischen den zwei konjugierten Bruchflächen beim Brechen des Gesteins.

Diskutieren Sie mit Hilfe des Flinn Diagramms den Einfluss von Volumenänderungen auf die Geometrie des Verformungsellipsoides. Geben Sie eine Erklärung, warum so oft geplättete (oblate) Verformungsgeometrien in Dachschiefern gemessen werden.

Zeigen Sie die Beziehung zwischen Schieferung und Faltung. Wie wird allgemein diese Beziehung benützt, um die Lage auf einer Falte zu bestimmen. Wie wechselt sich die Orientierung der Schieferung zwischen kompetenten und inkompetenten Lagen? Bestimmen Sie die Beziehung zwischen der Streckungslineation und der Faltenachse.

### **Herbst 97**

Sie haben zwei konjugierte Verwerfungen gemessen. Die beiden Flächen stehen vertikal. Eine streicht  $030^\circ$ , die andere  $150^\circ$ . Strömungen auf den beiden Verwerfungsflächen tauchen  $20^\circ\text{N}$ . Zeichnen Sie ein ungefähres Stereodiagramm, untere Hemisphäre, mit diesen Verwerfungen.

Die  $150^\circ$  streichende Verwerfung ist rechtsinnig. Bestimmen Sie anhand der theoretischen Geometrie von konjugierten Verwerfungen die Orientierung der 3 Haupt-Spannungsachsen.

Definieren Sie "dip-isogonen". Wie ändert die Dicke einer Schicht in parallelen und in kongruenten Falten?

Beschreiben Sie mit Hilfe von Skizzen die Konzepte von infinitesimalen und endlichen (finiten) Verformungen. Diskutieren Sie mindestens zwei Methoden zur Vermessung von infinitesimaler oder endlicher Verformung in natürlichen Gesteinen.

### **Frühling 98**

Beschreiben Sie die Geometrie einer Scherzone und die Strukturen, die in der Natur in Scherzonen häufig vorkommen. Diskutieren Sie mit Hilfe von Skizzen die Kriterien, mit denen sich der Schersinn in einer Scherzone bestimmen lässt.

Wir haben ein verformtes Schichtpaket, welches zum Teil konglomeratisch ist und in dem oolithische Kalkbänke mit Belemniten sowie Brachiopoden vorkommen. Diskutieren Sie Methoden, die uns erlauben, die endliche oder finite Verformung in diesen Schichten zu bestimmen.

Erklären Sie, was passive und aktive Faltung bedeutet. Was sind die wichtigsten Faltenbildungsprozesse und ihre mechanischen Aspekte.

### **Herbst 98**

Rötliche oder graue Dachschiefer ("Slates") beinhalten oft grüne Reduktionsflecken (z.B. aus dem Perm-Trias in den Alpen), an denen die Verformungsellipsoide direkt gemessen werden können. Wie stehen die Hauptachsen des Verformungsellipsoides in diesen Schieferen und welche Strukturen könnten (vielleicht) beobachtet werden, die eine Beziehung zum Verformungsellipsoid aufweisen?

Der Flinn k-Wert von solchen Ellipsoiden in Dachschiefern ist meistens kleiner als 1. Was bedeutet dies und was wäre eine mögliche Erklärung für diese Geometrie?

Erklären Sie die theoretischen Beziehungen zwischen Kraft, Spannung und Bruchbildung mit Hilfe von Mohr-Diagrammen und trigonometrischen Analysen. Erklären Sie auch den Unterschied zwischen der theoretischen Beziehung und der experimentellen Messung.

In einem Becken haben die drei obersten Schichten die folgenden charakteristischen Daten:

Schicht 1 : Dicke 1 km, Dichte  $1000 \text{ kg.m}^{-3}$

Schicht 2 : Dicke 2 km, Dichte  $1500 \text{ kg.m}^{-3}$

Schicht 3 : Dicke 3 km, Dichte  $2000 \text{ kg.m}^{-3}$

Welche Dichte muss der entsprechende Bohrschlamm aufweisen, um in Bohrlochtiefen von 1000, 1500, 2000 und 3000 m ein Kollabieren der Bohrlochwände zu verhindern?

Ein Wasserreservoir liegt 5km tief mit einem Porenflüssigkeitsdruck von 100 MPa. Zeichnen Sie in einem Mohr-Diagramm die Effekte dieses Porendrucks. Welches ist die notwendige Dichte des Bohrschlamms um Probleme mit dem Wasserdruck, respektive ein Überlaufen zu verhindern.

### **Frühling 99**

Definieren Sie die verschiedenen Verformungsparameter, welche die Änderung der Linienlänge, der Winkel und des Volumens bemessen. Einfache Scherung (*simple shear*) und reine Scherung (*pure shear*) stellen Endglieder der natürlichen Verformung bei ebener Verformung (*plane strain*) dar.

- Definieren Sie „einfache Scherung“, „reine Scherung“ und „ebene Verformung“.

- Diskutieren Sie die Beziehung zwischen den beobachtbaren Strukturen und der finiten bzw. infinitesimalen Verformung in einer Scherverformungsgradienten, die in einer natürlichen heterogenen Scherzone vorkommt.

Erklären Sie die Isogonenmethode. Wie können Sie das resultierende Muster der Isogonen dazu benutzen, die bildungsmechanischen Aspekte der Faltung zu verstehen?

Welche Beziehungen bestehen zwischen beobachteten Strukturen der finiten Verformung und Falten?

### **Herbst 99**

Definieren Sie und zeichnen Sie die Mohr'schen Kreise der folgenden Spannungszustände:

Einachsige Dehnung

Einachsige Kompression

Zweiachsige (ebene) Spannung

Allgemeine dreiachsige Spannung

Hydrostatische Spannung

Lithostatische Spannung

Erklären Sie die strukturellen Unterschiede zwischen einer "Buckle"-Falte und einem Diapir. Erklären Sie auch die dynamischen Unterschiede während der Entwicklung dieser grossräumigen Strukturen.

Wie verändert eine Volumenänderung ein Flinndiagramm?

### **Frühling 00**

Skizzieren und beschreiben Sie Strukturen, die hauptsächlich von der infinitesimalen, fortschreitenden oder finiten Verformung bestimmt sind. Wie können wir diese Strukturen dazu einsetzen, um diese drei Arten der Verformung quantitativ zu messen?

Beschreiben Sie die verschiedenen Arten von Schieferung und Lineation und, wenn anwendbar, ihre Beziehung zu Strukturen wie Falten, Boudins, Scherzonen und Bruchflächen sowie die Verformungsellipsoide im Allgemeinen.

Beschreiben Sie die drei Arten von Brüchen, die in Laborexperimenten beobachtet werden können. Erklären Sie die Beziehung zwischen diesen Brüchen und der Richtung der Hauptspannungen. Wie können Sie diese Experimente im Feld anwenden?

### **Herbst 00**

Ein Gestein, das ein Coulomb'sches Kriterium und eine Kohäsion von 30 MPa hat, zeigt die ersten Mikroverwerfungen unter einem Spannungszustand mit einer maximalen Hauptspannung von +80 MPa und einer minimalen Hauptspannung von +10 MPa. Zeigen Sie graphisch und erklären Sie, wie Sie Folgendes messen:

- den Winkel der inneren Reibung;
- die Scherbruchorientierung;
- die Kompressionsnatur der Scherbrüche;
- die Differentialspannung.

Eine sedimentäre Abfolge ist durch zwei Arten von Gesteinen mit einer Kohäsion von 60 MPa und einer von 30 MPa gekennzeichnet. Das schwächste Material hat einen inneren Reibungswinkel von  $20^\circ$ , das härteste von  $30^\circ$ . Kommentieren Sie das Verhalten des sedimentären Pakets unter einem einachsigen Spannungszustand von 80 MPa. Belegen Sie die Art der Störungen, die Sie bei diesem Spannungszustand in den Sedimenten erwarten.

Definieren und beschreiben Sie mechanische und geometrische Unterschiede zwischen Biegungs-, Buckle- und Scher-Falten. Kennen Sie Beispiele?

### **Frühling 01**

Was ist eine Achsenebeneschieferung? Auf welche Arten kann eine Achsenebeneschieferung entstehen? Beschreiben Sie die geometrische Beziehung zwischen (1) Schieferung und Falten und (2) Schieferung und Scherzonen.

Beschreiben Sie die Geometrie und Bildungsmechanismen von Strukturen, welche in Falten- und Überschiebungsgürteln wie dem Jura oder den kanadischen Rocky Mountains typisch sind.

Welche Schersinn-Indikatoren können als Kriterien im Feld und in Dünnschliffen verwendet werden, um die Kinematik von Scherzonen und Verwerfungen zu rekonstruieren.

### **Herbst 01**

Strukturgeologen verwenden kleine analoge Modelle um komplexe Deformationssysteme zu verstehen. Meistens verwenden sie dafür Sand, weil dieser "Coulomb'sche -Verhalten" aufweist. Erklären Sie, was diese Aussage impliziert, und kommentieren Sie, in welchem Ausmass die Analogie mit der Natur befriedigend ist.

- a) Beschreiben und diskutieren Sie zwei verschiedene Messtechniken der finiten Verformung;
- b) Zeichnen Sie das Flinn-Diagramm und erklären Sie die darin enthaltenen Verformungsbereiche.

Ein Metakonglomerat in Ihrem Kartierungsgebiet enthält eine Schieferung und eine Streckungslination. Sie messen die finite Verformung auf zwei rechtwinklig zueinander stehenden Flächen des Aufschlusses: Die Fläche A steht senkrecht zur Schieferung und zugleich parallel zur Lination; die Fläche B steht senkrecht zur Lination. Sie konnten die Achsenverhältnisse der Verformungsellipsen bestimmen: 16:1 auf der Fläche A und 4:1 auf der Fläche B. Zeichnen Sie Ihre Messresultate ins Flinn-Diagramm ein (möglicherweise möchten Sie eine Skizze des Aufschlusses zeichnen, um Ihr Ergebnis zu überprüfen). Was würde geschehen, wenn eine Volumenänderung stattgefunden hätte?

### **Frühling 02**

Beschreiben, erklären und vergleichen Sie die drei wichtigen Scherbruch-Kriterien

Diskutieren Sie:

- 1) die grundlegenden Konzepte der Spannungs- und Verformungsellipsoide;
- 2) das Verhältnis zwischen Spannung und Verformung;
- 3) das Verhältnis der natürlichen Deformationsstrukturen zu den Spannungs- und Verformungsellipsoiden;
- 4) die Eigenschaften der reinen und einfachen Scherung, besonders insoweit sie sich in den Spannungs- und Verformungsellipsoiden ausdrückt.

Was ist das allgemeine Verhältnis zwischen finiter und infinitesimaler (oder inkrementaler) Verformung? Beschreiben Sie Methoden, um an Beobachtungen in der Natur die finite und inkrementale Verformung zu bestimmen.

### **Herbst 02**

Nehmen Sie an, ein Quadrat ist das ursprünglich undeformierte Objekt.

- a) Zeichnen und erklären Sie das verformte Objekt nach einer reinen Scherung (50%) und nach einer einfachen Scherung ( $\gamma = 1$ ).
- b) Zeichnen Sie die Fließlinien, die mit jeder Art von Deformation gehören
- c) Zeigen Sie die progressive Orientierung und das ungefähre Längenverhältnis der begrenzenden Verformungsellipse.

Nehmen Sie an, ein Quadrat ist das ursprünglich undeformierte Objekt und halten Sie die Diagonalen und ein zentriertes Kreuz für materielle Linien.

- a) Beschreiben Sie ihre Deformation in der reinen Scherung und in der einfachen Scherung (ein Diagramm des ungefähren Verhaltens dieser Linien wären am zweckmässigsten);
- b) Zeichnen Sie die Fließlinien für den Fall einer allgemeinen Scherung, d.h. eine Mischung zwischen reiner und einfacher Scherung.

Verwenden Sie die einfachste Annäherung für das Verhältnis zwischen Spannungen und Störungen. Was sind die 3 Arten der Störungen, die sich jeweils bilden, wenn  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  und  $\sigma_3$  abwechselungsweise vertikal sind.

### Frühling 03

Demonstrieren Sie, wie die 9 Komponenten des Spannungstensors auf 6 unabhängige Komponenten reduziert werden können, und wie die Beträge und die Orientierungen der drei Hauptspannungen den Spannungszustand an einem Punkt vollständig beschreiben.

Berechnen Sie den hydrostatischen und lithostatischen Druck für eine Tiefe von 1 Kilometer, tragen Sie beide Werte in ein Mohr-Diagramm ein. Vergleichen Sie und diskutieren Sie die Konsequenzen für die Gesamtspannung.

Zeichnen Sie ein Flinn Diagramm und benennen Sie seine Achsen und Felder. Erklären Sie, welche Daten im Diagramm dargestellt werden und wie sie gewonnen werden.

### Herbst 03

Definieren Sie die Verformungsmessmethoden, die für Längenänderungen und Winkeländerungen in den verformten Gesteinen verwendet werden.

- a) Was sind die Dimensionen der Verformung und der Verformungsrate?
- b) Was sind die Eigenschaften der Hauptachsen des Verformungsellipsoids?
- c) Diskutieren Sie das Verhältnis zwischen den finiten und infinitesimalen Verformungsellipsoiden.

Beschreiben Sie einige Beispiele von natürlichen Deformationsstrukturen, die ein direktes Verhältnis zur finiten und infinitesimalen Verformung zeigen.

Erklären Sie mit einem einfachen Ansatz, welche Typen von Verwerfungen gebildet werden, falls entweder  $\sigma_1$ , oder  $\sigma_2$ , oder  $\sigma_3$  vertikal stehen.

Beschreiben Sie für alle drei Fälle:

- a) Die Situation, in der eine der horizontalen Hauptspannungen gleich gross ist wie die vertikale Hauptspannung.
- b) Die Situation in der die beiden horizontalen Hauptspannungen gleich gross sind wie die vertikale Hauptspannung.

Mit Skizzen und dazugehörigen Gleichungen;

- a) Definieren Sie einfache Scherung und reine Scherung.
- b) Beschreiben Sie drei verschiedene Schersinn Indikatoren, die für duktil verformte Gesteine verwendet werden können.
- c) Geben Sie an, mit Hilfe welcher Kriterien Sie im Feld reine Scherung kennzeichnen würden.

- d) Geben Sie unter Bezug der kristallinen Skala je ein geologisches Beispiel für reine Scherung und ein Beispiel für einfache Scherung.

#### **Frühling 04**

Beschreiben Sie die verschiedenen Arten von Schieferung und Lineation und, wenn anwendbar, ihre Beziehung zu Strukturen wie Falten, Boudins, Scherzonen und Bruchflächen sowie die Verformungsellipsoide im Allgemeinen.

Beschreiben Sie die Klassifikation der Faltengeometrie anhand Isogonen, Änderung der Schichtdicke und Änderung der Dicke parallel zur Faltenachsebene um eine Falte. Wie ändert sich die Faltenform entlang der Faltenachsebene in einer abwechselnden Folge von kompetenten und inkompetenten Schichten? Wie variiert die Orientierung der Achsebenen-Schieferung zwischen den kompetenten und inkompetenten Schichten?

Skizzieren Sie eine Zungenfalte und zeichnen Sie (1) Achsebene, (2) die Faltenachse, und (3) die zwei Arten von Lineationen, die gewöhnlich in gefalteten, verformten Gesteinen auftreten. Wie werden diese Lineationen im Gestein definiert? Was ist ihre strukturelle Bedeutung? Für was können die Lineationen im Feld gebraucht werden?

#### **Herbst 04**

Skizzieren und kommentieren Sie die Entwicklung und die geometrischen Eigenschaften einer Buckle-Falte in zwei Dimensionen.

Konstruieren Sie qualitativ die 3 Mohr'schen Kreise, die Sie auf der Achsebene einer Buckle-Falte, an den inneren und äusseren Scharnierpunkten und an der Intersektion zwischen der Achsebene und der neutralen Fläche zu finden erwarten.

Benutzen Sie eine Konstruktion eines Quadrates mit einem eingeschriebenen Kreis als Ausgangsgeometrie, um die Verformung bei zunehmender (1) reiner und (2) einfacher Scherung zu diskutieren. Welche von diesen Verformungsarten ist rotierend und welche ist nicht rotierend? Für eine infinitesimale Verformung unter einfacher Scherung, wie stehen (1) die Linien ohne Streckung oder Verkürzung, und (2) die Hauptachsen der infinitesimalen Verformung gegenüber der Scherrichtung? Anhand dieser Überlegungen, beschreiben und skizzieren Sie die Entwicklung von en-échelon angeordneten Quarz- oder Calcit-Gänge in einer heterogenen Scherzone.

#### **Frühling 05 - Teil 1**

Skizzieren Sie eine ideale Abschiebung (im Querschnitt), die unter einer vertikalen maximalen Hauptspannung  $\sigma_1$  und einer horizontalen kleinsten Hauptspannung  $\sigma_3$  steht. Man nimmt an, dass  $\sigma_2$  senkrecht zum Zeichenpapier gerichtet ist.

- Diskutieren Sie die Bedingungen unter welchen diese Annahme gültig ist;
- Erklären Sie das Einfallen der Abschiebung;
- Skizzieren Sie die assoziierten Stylolite in ihrer richtigen Orientierung, und d) Skizzieren Sie die en-échelon Adern, die unter dem gleichen Spannungszustand entstehen.

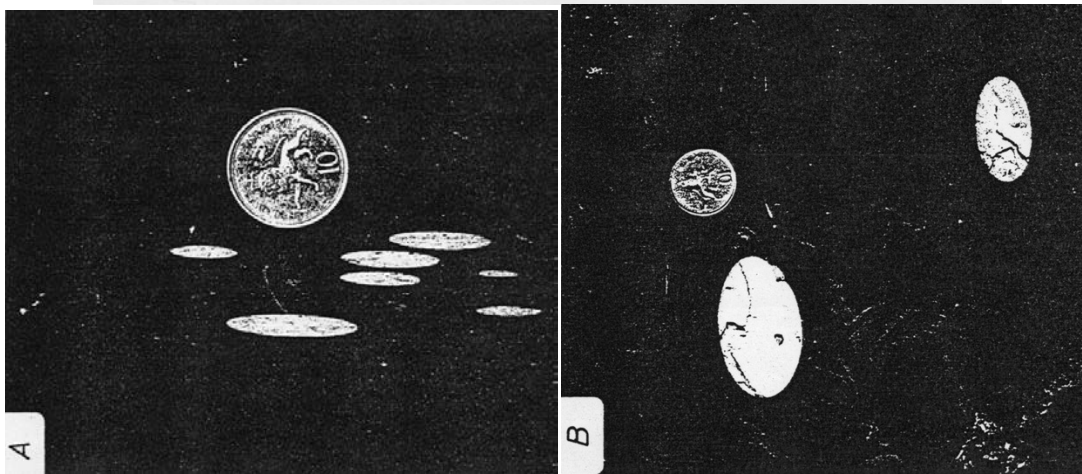
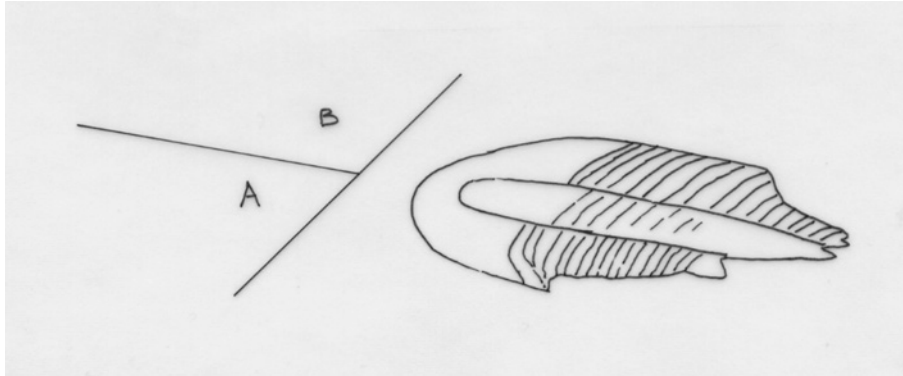
Begründen Sie bei allen Antworten Ihre Entscheidung.

Druckmessgeräte, die in Bohrlöcher gelegt werden, haben eine vertikale  $\sigma_1$  Kompression von 100 MPa und eine horizontale  $\sigma_3$  Kompression von 40 MPa festgestellt.

- Zeichnen Sie den Mohr'schen Kreis und stellen Sie  $\sigma_1$  und  $\sigma_3$  dar;
- Zeichnen Sie eine Störungsfläche, die  $60^\circ$  einfällt, und die unter diesen Spannungszustand gebildet wird.
- Bestimmen Sie die Normal- und die Scherspannungen, die auf der Störung wirken.

#### **Teil 2**

a) Der verformte Trilobit liegt auf einer Schichtfläche in einem Tonschiefer, auf denen auch die Spur einer Dachschieferung zu sehen ist. Durch welchem Bereich, A oder B, läuft die Spur der Schieferung? Wie begründen Sie diese Aussage? Wie wird diese Spur der Schieferung auf der Schichtung bezeichnet? Auf einem grösseren Massstab ist die Schichtung eigentlich verfaltet. Machen Sie eine Skizze der Beziehung zur Faltungsgeometrie von (1) der Spur der Schieferung auf der Schichtung und (2) der Schieferungsfläche.



b) Die Photos oben zeigen Reduktionsflecken, die ursprünglich kugelig waren, in einem verformten Tonschiefer aus Wales, UK. A ist senkrecht zur Schieferung und parallel zum Lineation geschnitten, in B schaut man auf einer Schieferungsfläche. Bestimmen Sie die 3D Form des Verformungsellipsoides, Zeichnen Sie das Resultat auf einem Flinndiagramm, und diskutieren Sie das Resultat.

### Frühling 06

(1) Scherbrüche in einem Gesteinsprobestück werden experimentell unter den folgenden Bedingungen erreicht: (1)  $\sigma_3 = 0 \text{ MPa}$ ;  $\sigma_1 = 80 \pm 2 \text{ MPa}$

(2)  $\sigma_3 = 55 \pm 2 \text{ MPa}$ ;  $\sigma_1 = 245 \pm 2 \text{ MPa}$

Definieren Sie und erklären Sie die Coulomb'schen Eigenschaften dieses Gesteins.

Ab Messung (2) folgt die Scherbruchbildung einer Mohr'schen Umhüllenden, bis das Gestein perfekt plastisch wird bei: (3) Durchschnittsspannung = 210 MPa; Festigkeit = 120 MPa

Ergänzen Sie die Ausgangsskizze, um die volle Bruchbedingung dieses Gesteins zu beschreiben; kommentieren Sie das Diagramm.

Beschreiben Sie das Verhältnis zwischen der Orientierung der Bruchflächen und der Durchschnittsspannung entlang der Mohr'schen Umhüllenden und erklären Sie die geologischen Konsequenzen.



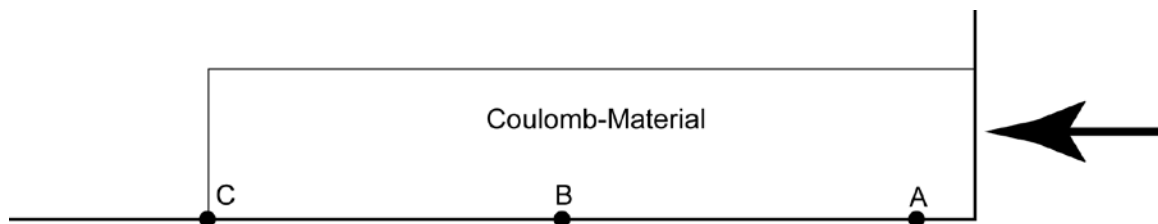
(2) Genaue geodetische Messungen auf drei benachbarten Faltscheiteln in einem aktiven konvergenten Gebiet haben die folgenden Höhenänderungen seit Jahr 1 (Referenzhöhe) aufgezeichnet:

|          |         |          |         |          |         |
|----------|---------|----------|---------|----------|---------|
| Falte 1: |         | Falte 2: |         | Falte 3: |         |
| Jahr 1:  | 125mm   | Jahr 1:  | 125mm   | Jahr 1:  | 125mm   |
| Jahr 2:  | 129mm   | Jahr 2:  | 161mm   | Jahr 2:  | 137.5mm |
| Jahr 3:  | 136.5mm | Jahr 3:  | 204.5mm | Jahr 3:  | 145.5mm |
| Jahr 4:  | 150mm   | Jahr 4:  | 270mm   | Jahr 4:  | 150mm   |

Zeichnen und kommentieren Sie die drei Kurven. Erklären Sie diese Daten im Rahmen des Faltenwachstums und kommentieren Sie den Zustand jeder dieser Falten. Erklären Sie, wie benachbarte Falten solche Unterschiede in der Amplifizierung zeigen können.

### Frühling 07

Gegeben ist eine Schicht, die aus einem Coulomb-Material besteht. An der rechten Seite der Schicht wirkt eine kompressive, horizontale Kraft. Damit eine Überschiebung in Punkt A) entstehen kann, muss die Schicht auf der horizontalen, basalen Fläche zwischen Punkt A) und dem rechten Rand gleiten. Damit eine Überschiebung in Punkt B) entstehen kann, muss die Schicht auf der horizontalen, basalen Fläche zwischen Punkt B) und dem rechten Rand gleiten, etc. Die basale Reibung ist linear von der Reibungsfläche abhängig und die horizontalen Spannungen an der Basis der Schicht in den Punkten A),  $\sigma_{1A}$ , B),  $\sigma_{1B}$ , und C),  $\sigma_{1C}$ , nehmen linear mit der basalen Reibung ab. Die Kohäsion der Schicht ist 30 MPa, der Winkel der inneren Reibung ist  $27.5^\circ$  und  $\sigma_3$  ist 50 MPa und wird durch das Gewicht der Schicht kontrolliert.



Die Spannung an Punkt A),  $\sigma_{1A}$ , beträgt 216 MPa.

(1) Die Spannung an Punkt B),  $\sigma_{1B}$ , ist halb so gross wie an Punkt A).

(2) Die Spannung an Punkt C),  $\sigma_{1C}$ , ist halb so gross wie an Punkt A).

(1) + (2): Tragen Sie die drei Mohrkreise an den Punkten A), B) und C) in ein Mohrdiagramm ein und bestimmen Sie an welchen Punkten eine Überschiebung aktiv ist. Bestimmen Sie die Orientierung dieser Überschiebung.

Was muss sich an der Schicht ändern, damit an allen drei Punkten eine Überschiebung gleichzeitig aktiv ist? Erklären Sie ihre Antwort mit einer Mohr-Konstruktion.

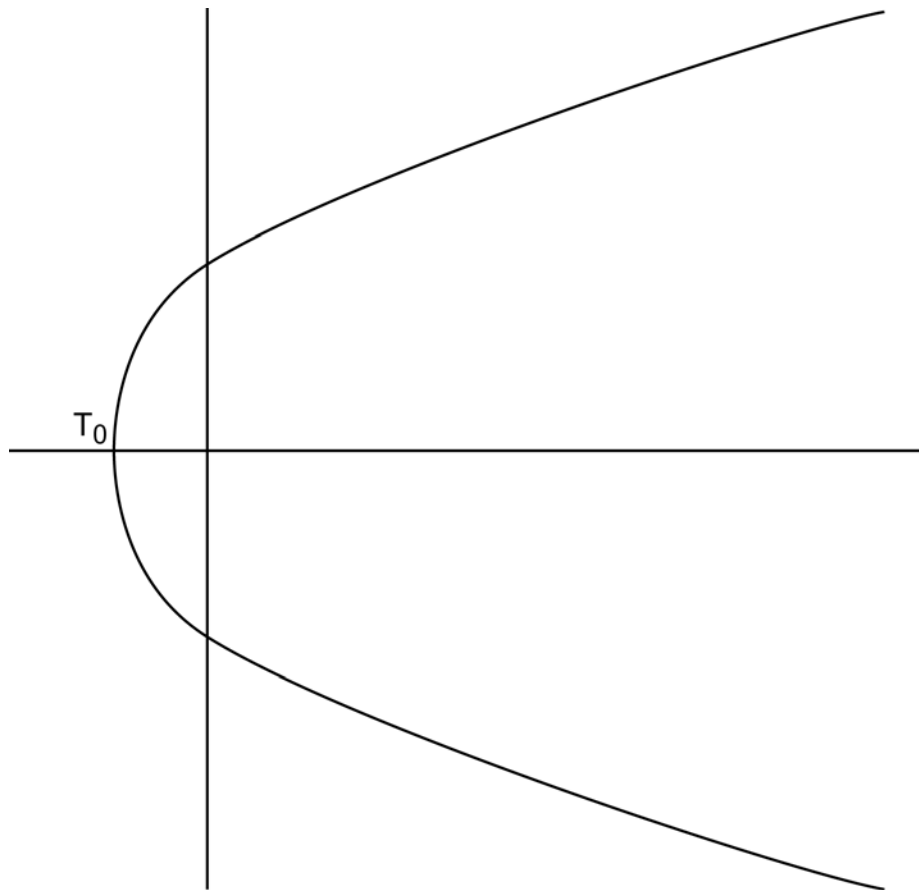
### Frühling 08

Man nimmt im Allgemeinen an, dass  $\sigma_1$  in der Nähe der Erdoberfläche vertikal ist; erklären Sie warum.

In diesem Fall ist  $\sigma_1$  das Gewicht der darüberliegenden Gesteine, das durch den Porendruck  $P_f$  vermindert wird; erklären Sie, warum diese Annahme korrekt ist.

Zeigen Sie, dass es eine eindeutige Lösung für eine "reine" Kluft auf einem Mohrdiagramm gibt; erklären Sie warum.

Wenn man einen Wert von  $T_0 \approx 40\text{MPa}$  (der Schnittpunkt zwischen der Griffith-Parabel mit der Normalspannungsachse) für Gesteine annimmt, was wäre dann die maximale Tiefe der Klüftung?



### Frühling 09

Definieren Sie eine parallele Falte, diskutieren Sie ihre Entwicklung und beschreiben Sie ihr Spannungs- und Verformungsmuster.

Zeichnen Sie die 3 Mohr-Kreise entlang der Achsenebene auf dem äusseren Bogen, an der neutralen Linie und auf dem inneren Bogen der Falte während ihrer Entwicklung.

Stellen Sie sich eine parallele Falte vor, die zwischen inkompetenten Schichten eingeschlossen ist. Beschreiben und erklären Sie das Foliationsmuster, das mit der Falte in Zusammenhang steht.

### Frühling 10

Tragen Sie in einem Mohr-Diagramm die zwei Hauptspannungen ein, mit:  $\sigma_1 = 155 \pm 1 \text{ MPa}$  und  $\sigma_3 = 49 \pm 1 \text{ MPa}$

Tragen Sie die Gesteinseigenschaften ein:  $\tau_0 = 20 \text{ MPa}$ ;  $\phi = 25^\circ$

Definieren Sie  $\tau_0$  und  $\phi$  und erklären Sie das Diagramm. Tragen Sie nun einen Porendruck  $P_f = 20 \text{ MPa}$  ein und erklären Sie die Konsequenzen.

Das vorhergehende Gestein ist mit einer anderen Lithologie zwischengelagert, welches die folgenden Eigenschaften besitzt:  $\tau_0 = 35 \text{ MPa}$ ;  $\phi = 13^\circ$

Erklären Sie die Konsequenzen.

Unter welchen Bedingungen entwickeln sich Brüche des Modus 1? Geben Sie numerische Antworten mit Unsicherheitsbereich an.

## Frühling 11

**Teil 1)** Lesen Sie nicht im Detail den vollständigen Artikel über die San-Andreas-Störung, der vor kurzem in *Nature* veröffentlicht wurde (vol. **472**, 7 April 2011, pp. 82-85, doi: 10.1038/nature09927).

Konzentrieren Sie sich auf Figur 3 dieses Artikels.

Erklären Sie, was die Frage, mit der die Autoren sich beschäftigen, ist. Warum ist es ein Problem?

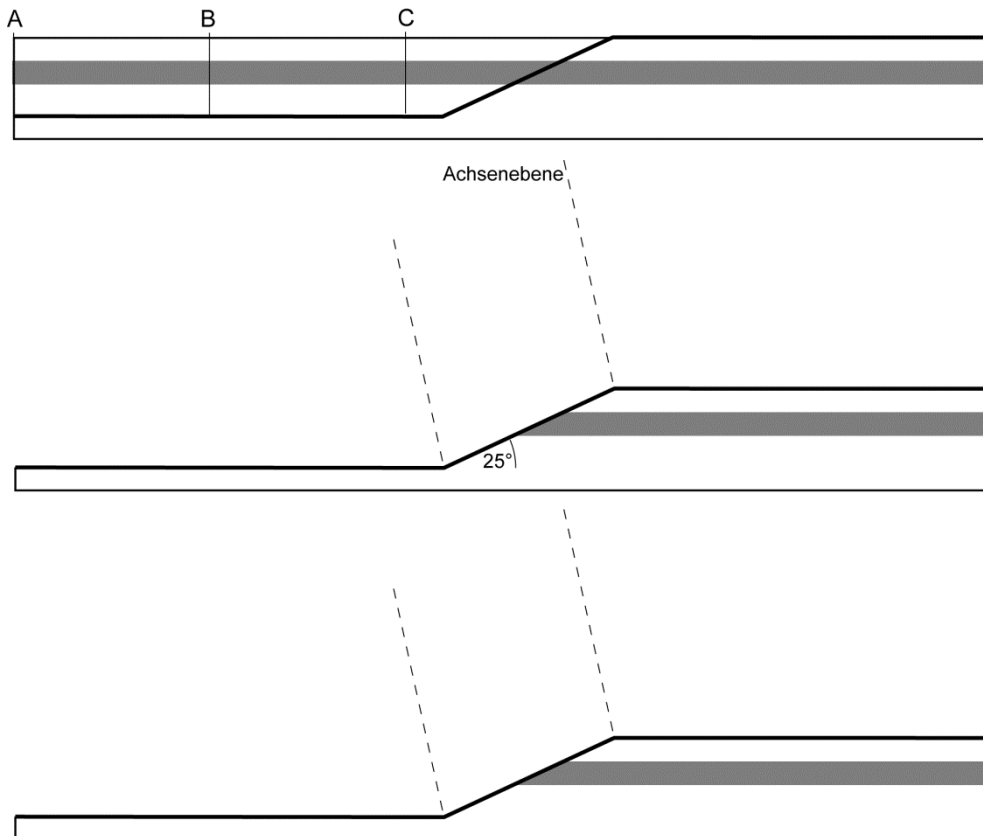
Welche Gesteine bearbeiten sie? Warum wird dieses Gestein dort gefunden?

Erklären Sie ausführlich die Figur 3 und die Bedeutung jedes möglichen Elements der Abbildung. Erklären Sie auch die Annahmen, die in der Bildunterschrift gegeben sind.

Erklären Sie, was die Bedeutung der Arbeit für die Bruchbildungsprozesse, die wir in den Vorlesungen besprochen haben, ist.

### Strukturgeologie: Teil 2

Konstruieren Sie die Profile nach einer Bewegung der Linie A bis B und dann bis C. Beschreiben Sie die Entwicklung der entsprechenden Falte und vergleichen Sie diese Entwicklung mit der einer Stauchfalte.



**Teil 3)** Tragen Sie eine Abschiebung mit der Fläche 60/110 und Striemung 55/076 in das Stereonetz ein. Tragen Sie eine zweite Abschiebung, die mit 134° streicht und 56°NE einfällt, in das Stereonetz ein. Auf der Verwerfungsfläche wurde eine Striemung mit Pitch 67°N eingemessen. Eine dritte Abschiebung ist 246-63, Striemung 207-57.

Definieren Sie die Kompressions- bzw. Extensionsrichtungen mit Erklärung der Methode, die Sie benutzen.

## Frühling 13

**Teil 2)** Erinnerung:  $\cos 30^\circ = \sqrt{3}/2$  und  $\sin 30^\circ = 1/2$

**1. (3 Punkte)**

Sie arbeiten in einem Gebiet, wo Abschiebungen ideale Orientierungen haben.

- Zeichnen Sie in ein Mohr-Diagramm eine dieser Abschiebungsrichtungen. Kennzeichnen Sie ebenfalls die konjugierte Richtung.
- Wenn Gesteine keine innere Reibung hätten, was wäre die konjugierte Richtung? Erklären Sie, was die innere Reibung bedeutet und warum diese die theoretische Richtung der konjugierten Verwerfungen verändert.
- Stellen Sie auf einen Stereoplot solche konjugierten Abschiebungen dar, welche eine Streichrichtung von 030E haben. Zeichnen Sie die Vektoren von  $\sigma_1$  und  $\sigma_3$ .

**2. (1 Punkt)**

Verwenden Sie einen Mohr-Kreis um zu zeigen, dass für einen bestimmten Spannungszustand gilt:

- Die Scherspannung auf zwei beliebigen aufeinander senkrechten Ebenen ist immer gleich in der Grösse aber verschieden vom Vorzeichen. Skizzieren Sie ein solches Beispiel im physikalischen Raum.
- Die Summe der Normalspannungen auf zwei beliebigen senkrechten Ebenen ist konstant.

**3. (1 Punkt)**

Nehmen Sie an, dass Folgendes gilt:  $\sigma_2 = (\sigma_1 + \sigma_3)/2$ .

- Erklären Sie in wenigen Worten, was die physikalische Bedeutung der Werte von  $(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$  und  $(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3) / 3$  im Mohr-Kreis ist.
- Nehmen Sie Mohr-Coulomb-Verhalten an und dass Gesteine keine Kohäsion haben. Was ist die Beziehung zwischen  $(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$  und  $(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$  für ein Gestein am Punkt der Bruchbildung?

**4. (1 Punkt)**

In einem Kompressionsregime der spröden oberen Kruste ist  $\sigma_3$  vertikal und  $\sigma_1$  horizontal.

- Wenn eine Aufschiebung in diesem Spannungsregime versagen soll, was wäre ihr Abfallwinkel? (verwenden Sie Annahmen von Frage 2).
- Verwenden Sie die Antwort von Frage (2) um  $\sigma_1$  und  $\sigma_3$  als Funktion von  $\sin(\varphi)$  zu formulieren ( $\varphi$  ist der Winkel der inneren Reibung). Wenn  $\sigma_3$  gleich der Last  $\rho gh$  ist, was ist die Beziehung zwischen  $\rho gh$  und dem wahren Druck?

(Wobei  $\rho$  die durchschnittliche Dichte der überliegenden Gesteine ist,  $g$  die Schwerkraftbeschleunigung ist, und  $h$  die Tiefe ist und  $\varphi = 30^\circ$  sein soll.)

**Teil 3)**

1. Berechnen und plotten Sie die dominante Wellenlänge von Falten bei Schichtdicken von je 1, 5 und 10 cm und mit Viskositätsverhältnissen zwischen der Lage und der Matrix von je 10, 20 und 100. Erklären Sie das Konzept der dominanten Wellenlänge. **1 Punkt**

2. Sie finden in einem Aufschluss eine Falte mit einer Bogenlänge von 1 m und einer Dicke von 9 cm. Skizzieren Sie diesen Aufschluss. Schätzen Sie ab wie gross das Viskositätsverhältnis zwischen der Lage und der Matrix etwa sein müsste.

Warum ist die Bogenlänge geeigneter als die Wellenlänge für diese Berechnung? **2 Punkte**

3. Auf einem W-E-orientierten Aufschluss finden Sie eine Schicht, die mit ungefähr  $20^\circ$  nach Osten einfällt und die eine horizontale Schieferung enthält. Skizzieren Sie diesen Aufschluss.

Dieser Aufschluss stellt einen Schenkel einer Falte dar. Wie zeichnen Sie die nächsten Falten wenn die Jüngungsrichtung nach oben ist und wenn die Jüngungsrichtung nach unten ist? Beschreiben Sie, welche Art von Falten Sie skizzieren. Wie ist die Beziehung zwischen der Schichtung und der Schieferung auf dem anderen Schenkel? **2 Punkte 3 für die Uni-Studierenden**

4. Für die ETH Studierende (und Uni-Studierende die Lust haben). **1 Punkt**

Stellen Sie auf einem Stereoplot eine Schieferungsfläche mit der Orientierung 110/60 (60° Fallwinkel, 110° Fallazimuth) dar. Tragen Sie ebenfalls die Schichtfläche, die eine Streichrichtung von 30° und einen Fallwinkel von 22° Richtung Ost (030/22E) hat, in das Stereonetz ein.

Bestimmen Sie die Orientierung der Intersektionslineation.

Auf der Schieferungsfläche wurde eine Streckungslination mit der Fallrichtung 90° eingemessen. Definieren Sie den Fallwinkel dieser Streckungslination.

## **Frühling 14**

### **Teil 2)**

Für alle Antworten müssen Sie erklären, was Sie machen.

Zeichnen Sie einen Mohr-Kreis für den folgenden Spannungszustand:  $\sigma_1 = 135 \text{ MPa}$ ;  $\sigma_3 = 45 \text{ MPa}$ .

Zeichnen Sie das Coulomb-Bruchkriterium für Gestein A mit Kohäsion 15 MPa und einem Winkel der inneren Reibung von 20°.

Es gibt eine Bruchbildung am Punkt P1; Bestimmen Sie den Winkel zwischen der Scherebene und  $\sigma_1$ .

Zeichnen Sie das Coulomb-Bruchkriterium für Gestein B mit Kohäsion 0 MPa und einem Winkel der inneren Reibung von 30°.

Bei P2 gibt es eine Scherbewegung in B; Bestimmen Sie den Winkel zwischen der Scherebene in B und  $\sigma_1$ .

Welches Gestein ist das schwächste? Erklären Sie im Detail warum.

Nehmen Sie an, dass die Gesteine A und B benachbarten Schichten sind. Was bedeutet in diesem Fall das Diagramm?

Was ist die kritische Spannung, die die von-Mises-Plastizität für beide Gesteine unter diesem Spannungszustand definiert?

Nehmen Sie einen Fehler von 0,5 für alle gegebenen Werte an.

Wenn Sie einen Computer haben, oder wenn Sie schnell rechnen (☺), geben Sie die genauen Werte der Lösungen dieser Übung.

### **Teil 3)**

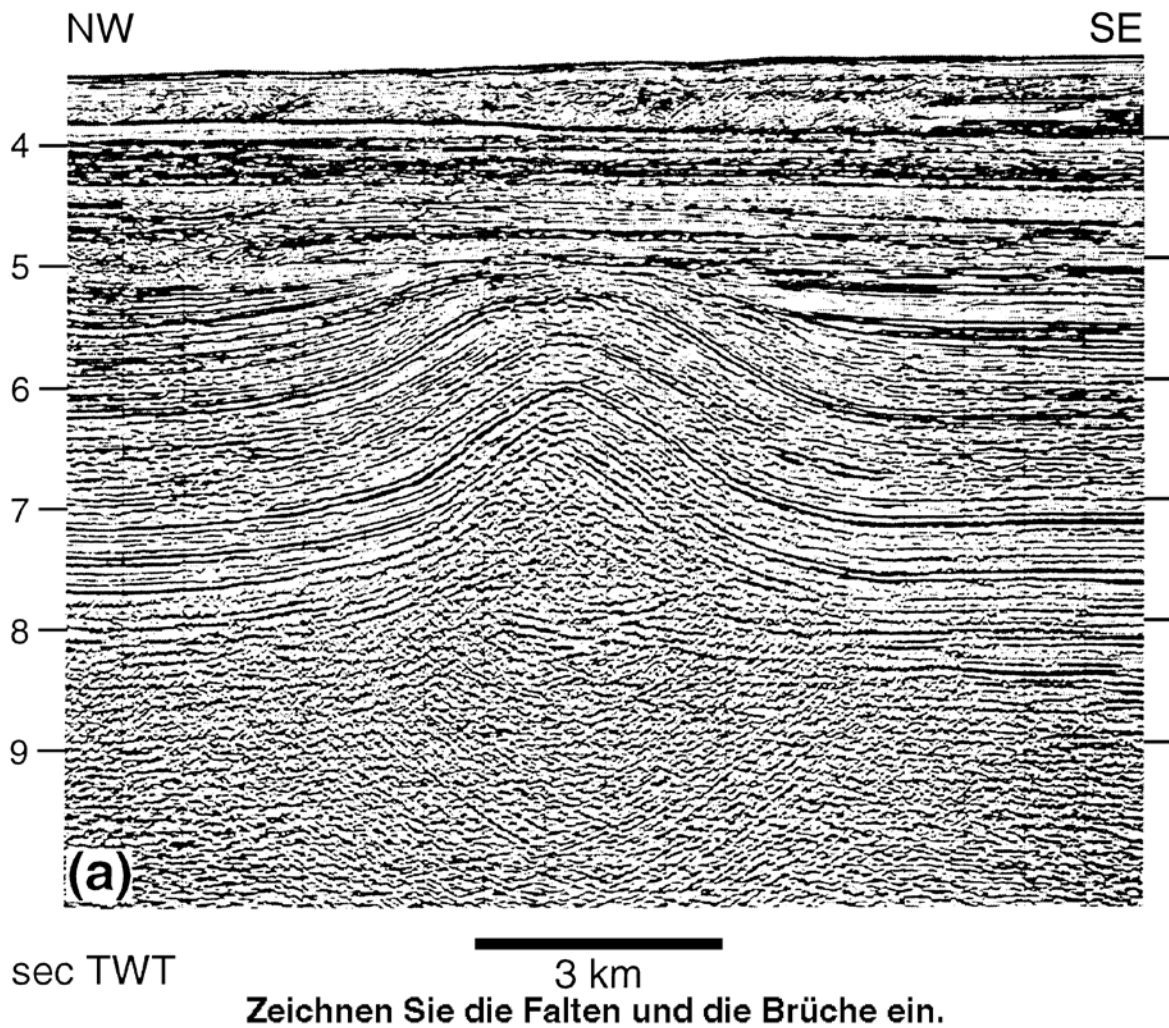
Für alle Antworten müssen Sie erklären, was Sie machen.

Interpretieren Sie die Schichtungen und Brüche und zeichnen Sie diese **genau** auf dem ausgehändigten Profil farbig ein.

Beschreiben Sie die Struktur im Zentrum des Profils.

Bestimmen Sie das relative Alter der Sedimentschichten in Bezug auf die zentrale Struktur (älter, gleichzeitig oder jünger).

Beschreiben Sie die Deformationsverteilung und interpretieren Sie mit Hilfe der Deformationsverteilung den Verformungsprozess.



2)

Wenden Sie die Fry-Methode an, um die 2D-finite Verformung des oolitischen Kalksteins in Abbildung 2 zu bestimmen.

Erklären Sie, wie Sie vorgegangen sind und erklären Sie die Grundprinzipien der Methode. Erklären Sie, welcher Verformungsmechanismus für dieses neue Gefüge verantwortlich ist; warum ist das der Fall?

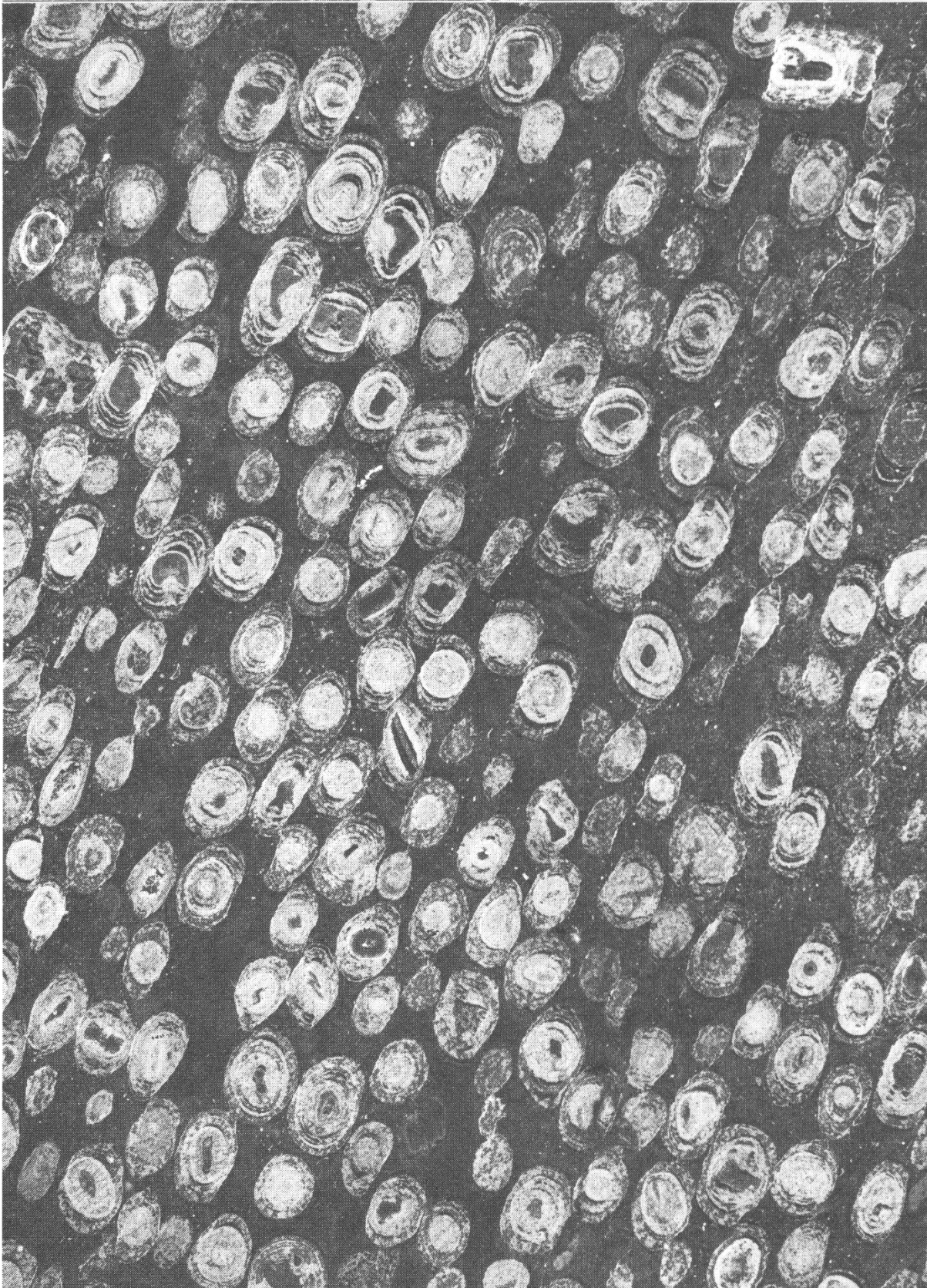
Dies ist ein Dünnschliff einer Probe, der aus der Struktur in Abbildung 1 entnommen ist. Das Bild ist in der richtigen Orientierung (oben nach oben, recht nach recht usw.).

Skizzieren Sie, wo diese Probe in Abbildung 1 genommen wurde, und begründen Sie Ihre Antwort.

TOP left

(Schichtung vertikal)

Right



## Frühling 15

### Teil 1)

Zur Erinnerung: Die Normalspannung ( $\sigma_N$ ) und Scherspannung ( $\sigma_S$ ) definieren zusammen den Mohr-Kreis, der durch die folgende Gleichung gegeben ist:

$$\left[\sigma_N - (1/2)(\sigma_1 + \sigma_3)\right]^2 + \sigma_S^2 = \left[(1/2)(\sigma_1 - \sigma_3)\right]^2$$

Im Dehnungsbereich (negative Normalspannungen) ist das Griffith-Bruchkriterium als folgende Parabel definiert:

$$\sigma_S^2 = 4T_0(T_0 - \sigma_N)$$

#### Fragen

Benennen Sie alle Elemente der obigen zwei Gleichungen und erklären Sie deren Bedeutung. **1Pkt**

Leiten Sie eine Gleichung für die theoretische Bedingung her, dass der Mohr-Kreis die Griffith-Parabel berührt. **1Pkt**

Klüfte sind reine Dehnungsbrüche (Modus 1). Geben Sie an wo der Mohr-Kreis die Griffith-Parabel berühren muss um Klüfte zu bilden und erläutern Sie Ihre Antwort. **1Pkt**

Benutzen Sie die Gleichung aus dem ersten Teil dieser Prüfung um eine Gleichung her zu leiten, welche die maximale Normalspannung ( $\sigma_1$ ) als Funktion von  $T_0$  während der Klufentstehung beschreibt. **1Pkt**

Nehmen Sie folgende Werte an:  $T_0 = 50$  MPa, Porendruck ( $P_f$ ) = 30 MPa.

Formulieren Sie die maximale Normalspannung ( $\sigma_1$ ) als Funktion des Porendruckes. **1Pkt**

Nehmen Sie nun folgendes an:  $T_0 = 50$  MPa und  $P_f = 30$  MPa, sowie dass die maximale Normalspannung ( $\sigma_1$ ) der lithostatischen Last einer Gesteinsabfolge mit einer mittleren Dichte von  $2500 \text{ kg/m}^3$  entspricht.

Berechnen Sie die maximale Tiefe, in der sich Klüfte entwickeln können. **1Pkt**

### Teil 2)

Listen Sie die wichtigsten Faltungsmechanismen auf. **0.5 Pkt**

Erklären Sie das Konzept der aktiven und passiven Faltung und erläutern Sie die Unterschiede. **0.5pt**

Skizzieren und erklären Sie die Anordnung und die geometrische Beziehung von Falten verschiedener Ordnung. **0.5 Pkt**

Erklären Sie wie die Geometrie von Parasitärfalten mit der Schieferungsorientierung in einer Falte zusammen passt. **0.5 Pkt**

Erklären Sie das Konzept der dominanten Wellenlänge von Falten. Schreiben Sie auch die entsprechende Gleichung für die dominante Wellenlänge auf. **1Pkt**

Zwei geologische Schichten mit derselben Zusammensetzung befinden sich in derselben Matrix, welche eine 10 Mal kleinere Viskosität hat als die beiden Schichten. Eine der Schichten ist 5 Mal dicker als die andere. Berechnen Sie die dominante Wellenlänge der beiden Schichten.

Wie würden sich die beiden Schichten unter Lagen-parallel Verkürzung verhalten, wenn sie die gleiche Viskosität hätten wie die Matrix? **1Pkt**