STRUKTURGEOLOGIE (J.-P. Burg)

I. Einführung

- *Strukturgeologen* interessieren sich für geolog. Prozesse, wo Kraft-Einwirkung in Änderung einer Form in eine andere resultiert (= *Verformung/Deformation*)
- *Trajektorien* = Vektoren bei Verformung
- *finiter Zustand* = aus Deformation entstandene Verformung
- *(tekton.) Kinematik* befasst sich mit Rel.bewegung (von Punkten innerhalb Struktur) und zeitl. Entwicklung (ohne Bezug auf verantwortliche Kräfte)
- *Kinetik* verbindet Kräfte mit daraus resultierender Bewegung
- *Dynamik* befasst sich mit Kräften einer Bewegung
- stat. Gl.gewicht
- *Rheologie-Analyse* versucht, Verformungsraten und Reaktion des verformenden Materials auf angewandten Kräften zu verstehen
- *fortschreitende und kontinuierliche Entwicklung* bei langsamer Bewegung
- *Energie* wird bei elastischer Streckung gespeichert und freigesetzt, wenn Bruchbildung auftritt

- Strukturen = Gesteinsformen und andere Erscheinungen, die zeigen, dass Verformung stattgefunden hat
  - *Makrostrukturen*: gross ($> 10^2$ m)
  - *Mesostrukturen*: mit blossem Auge erkennbar (10^{-2}-10^2 m)
  - *Mikrostrukturen*: nur mit opt./Elektronenmikroskop zu beobachten ($<10^{-2}$ m)
- Gefüge = geometr. Verteilung und Beziehung zw. sich regelmässig und durchweg wiederholenden Bestandteilen (unabhängig vom Massstab)
  - *primäres Gefüge* bildet sich während Entstehung des Gesteins
  - *sekundäres Gefüge* widerspiegelt Verformung
- *Verwerfung* = Bewegungsfläche/-zone beim *Bruch* → diskontinuierliche Verformung
  - spröde Verformung = scharfe Unterbrechung/Deformation bei Verwerfung
- *Falten* zeigen, dass ursprünglich ebene Struktur ohne zu zerbrechen verbogen wurde → kontinuierliche Verformung
- *Boudinage* zeigt langsame Dehnung einer ursprünglich ebenen Struktur → ausgedünnte Bereiche und Mineralneubildungen; gibt Angaben über Kompetenz; resultiert aus Kombination von dis- und kontinuierlicher Deformation
- *penetrative Strukturen* liegen so dicht aneinander, dass es erscheint, als wären sie überall im Gestein
- geolog. Kartierung

- Verformung = alle Änderung der Grösse/Form eines Körpers
  - *lineare Verformung* = Streckung/Verkürzung der Lände / Originalläng
  - *Volumenverformung* = Zu-/Abnahme des Volumens / Originalvolumen
  - *Scherverformung* = Scherverschiebung / Dicke

- *Tektonik* konzentriert sich auf Kräfte/Bewegungen im Gebiet, die zur Bildung der Strukturen beitrugen = regionale Deformation
- Kräfte:
  - *kompressive Kräfte* = drücken Körper zus., verkürzen
  - *Dehnungskräfte* = strecken Körper, reissen ev. auseinander
  - seitl. *Scherkräfte* = ein Teil des Körpers gleitet am gegenüberliegenden vorbei

- *Landformen* = einzelne Elemente einer Landschaft
- *Geomorphologie* = Studie der physikal./chem./biolog. Prozesse, die Landformen produzieren
- Gebirge entstehen, wo Platten konvergieren und zus.stossen
- *Ophiolithe* = Relikte ehemaliger, heute verschwundener Ozeane

- *Bruchbildung* = Deformation mit Verlust der Kohäsion
- *Fliessen* = Deformation ohne Verlust der Kohäsion
- *Rheologie* = Studium der Beziehung zw. Spannung und Verformung in deformiertem Material
- *skalierte Modelle* versuchen, grundlegende Mechanismen und Prozesse, durch die geolog. Strukuren geformt wurden, zu erklären; *numerische Modelle* verifizieren von nat. Sachverhalten induzierte Hypothesen
- mathemat. Hilfsmittel:
  - *Trigonometrie* = Studie der Dreiecke:
    i. 180°-Regel: $\alpha + \beta + \gamma = 180°$
    ii. Sinusregel: $a / \sin\alpha = b / \sin\beta = c / \sin\gamma$
    iii. Kosinusregel: $a^2 = b^2 + c^2 - 2bc*\cos\alpha$; $b^2 = a^2 + c^2 - 2ac*\cos\beta$; $c^2 = a^2 + b^2 - 2ab*\cos\gamma$
  - *Vektor-Operationen*: Aufspaltung in Vektorkomponenten, Vektoraddition, skalare Multiplikation, Skalarprodukt; *Matrizen* vereinfachen Schreibweise/Handhabung von Gleichungen
  - *Differential-/Integral-Rechnungen*: $v = dc / dt$

II. mechanische Aspekte der Deformation

- *Mechanik* beschreib Auswirkungen von Kräften auf Körper
- fester Körper, der äusseren Kräften ausgesetzt ist, tendiert dazu, sich zu verschieben und seine Form zu ändern
- bei *Festkörperverformungen* bleiben ursprüngliche Grösse/Form der Gesteine erhalten (Verschiebung, Rotation)
- *Deformation* = Verformung des Gesteins unter Krafteinfluss (= v.a. Schwerkraft und rel. Bewegungen grosser Gesteinsmassen in Kruste und oberem Mantel); wenn Spannung *Festigkeit* der Gesteine übersteigt
- Gesteins-Verhalten hängt von Wechselwirkungen zw. vielen physikal./chem. Faktoren ab:
  - *sprödes Gestein* bricht und verliert Kohäsion
  - *duktiles Gestein* verformt sich ohne Kohäsionsverlust in komplizierte Formen, die bleiben, wenn Kraftwirkung aufhört (= permanente Verformung)

Kraft und Spannung:

- 3 grundlegende physikal. Grössen zum Ausdruck der mechan. Eigenschaften eines Materials: *Masse* [M], *Länge* [L], *Zeit* [T]
- *Kraft* $F = ma = [MLT^{-2}]$ = vektorielle Grösse; besitzt *Grösse*/*Richtung*; oft als Pfeil, *Orientierung* als Pfeilspitze dargestellt; Grundeinheiten: *dyne*, *Newton* $N = 10^5$ dynes (= Kraft, um 1 kg mit 1 m/s^2 zu beschleunigen)
  - *Oberflächen-/Kontaktkräfte* (= angewandte Kräfte) = wirken aus Äussere eines Körpers ein; z.B. Bewegung
  - *Körperkräfte* = greifen an jedem Punkt des Körpers an; z.B. Gewicht
- gerichtete Kräfte in der Geologie:
  - *Kompression* = komprimiert Körper
  - *Zugkraft* = zieht Körper auseinander
  - *Scherung* (= Scherkraft) = durch in gleicher Ebene liegendes, aber in entgegengesetzter Richtung orientiertes Kräftepaar erzeugt
  - *Torsion* = durch entgegengesetzte, in parallelen Flächen wirkende Kräftepaare entstandene Drehung (gibt es in der Natur nicht!)
- Kraft-Komponenten ($Kraft^2 = Normalkraft^2 + Scherkraft^2$; θ = Winkel zw. Kraft und Ebene):
  - *Normalkraft* = Kraft * $\cos\theta$
  - *Scherkraft* = Kraft * $\sin\theta$
- *Spannung* $\sigma = F / A = [ML^{-1}T^{-2}]$ = Kraft pro Flächeneinheit = Paar von gleichen und entgegengesetzten Kräften, die auf Einheitsfläche des Körpers wirkt; bewirkt Bewegung der Teilchen innerhalb des Körpers; beinhaltet Kraft/Reaktion; Einheiten: *Pascal* $Pa = N/m^2 = kg/ms^2$, *Bar* $bar = 10^5\ Pa \approx atm = kg/cm^2$
  - *Normalspannung* σ = normal zur Fläche
  - 2 *Scherspannungen* τ = parallel zu Kanten

- <u>im kartesischen Koordinatensystem</u>:
  - *Hauptspannungsebenen* = 3 gemeinsame orthogonale Ebenen, auf denen Scherspannungen verschwinden (→ $\tau_{12} = \tau_{23} = \tau_{31} = 0$)
  - *Hauptspannungsachsen* = 3 zueinander senkrechte Hauptachsen der Spannung, entlang derer sich Hauptspannungsebenen schneiden
  - *Hauptspannungen* = Spannungskräfte in Richtung der Hauptspannungsachsen; je nach Betrag mit $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$ bezeichnet (*maximaler – intermediärer – minimaler Hauptspannungswert*); Kompressionsspannung σ_1 = pos, Zugspannung σ_3 = neg.
- *Durchschnittsspannung* $p = (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3) / 3$; steht mit Gewicht der Überlast im Zus.hang
- *Spannungsdeviator* beinhaltet Beträge, um wie viel jede Hauptspannung von Durchschnittsspannung abweicht; wichtig bei Betrachtung der Formänderungen eines Gesteinskörpers: $s_1 = \sigma_1 – S$; $s_2 = \sigma_2 – S$; $s_2 = \sigma_2 – S$ (Durchschnittsspannung S = hydrostat. Spannungskomponente)
- <u>Spannungsfeld</u> = Verteilung aller Spannungen in allen Punkten eines Körpers
  - *homogen* = Spannung in allen Punkten gleich (= gleiche Magnitude/Orientierung)
  - *inhomogen* = Spannung nicht in allen Punkten gleich
  - *zusammengesetzt* = mehrere Spannungsfelder versch. Ursprungs überlagern sich
- *Spannungstrajektorien* = gebogene Linien, die versch. Messpunkte einer Spannungsrichtung parallel zur Wirkungsrichtung der Spannung verbinden

Rheologie (= Beziehungen zw. Spannung, Verformung, Zeit):

- bei <u>niedrigen</u> Umgebungsdrucken und Temp. (= geringe Tiefe in der Erdkruste):
  - *elastische Materialverhalten* = Probe kommt in ursprüngliche Form zurück, wenn Belastung weggenommen wird
  - *sprödes Materialverhalten* = Probe verformt sich durch Bruchbildung
- bei <u>hohen</u> Umgebungsdrucken und Temp. (= grössere Krustentiefen):
  - *duktiles Materialverhalten* = Probe verformt sich langsam und stetig ohne zu zerbrechen; verhält sich wie nachgiebiges, formbares Material; kehrt nicht in ursprüngliche Form zurück, wenn Belastung weggenommen wird; ein Teil der Deformation ist permanent = *plastisches Materialverhalten*
- <u>signifikante Deformationen</u> in Gesteinen:
  - Bruch
  - Fliessen
  - Kombination der beiden
- *homogen* = in allen Orten des Materials die gleichen mechan. Eigenschaften (≠ *inhomogen*)
  - *isotrop* = mechan. Eigenschaften unabhängig von Richtung (≠ *anisotrop*); z.B. Sandsteine, Granite
- <u>Elastizität</u>:
  - bei kleinen/schnellen Deformationen, nicht allzu viel Spannung
  - keine permanente, sondern *rückführbare Verformung*
  - Spannung / Verformung = konst. = lineare Beziehung (= *Hookesche Elastizität*): $\sigma = E\varepsilon = E(l-l_0) / l_0$ (dimensionslose Streckungsverformung ε = prop. zu σ; l = neue, l_0 = urspr. Länge; E = konst. = *Young'sches/Elastizitäts-Modul*, Dimension wie Spannung)
- <u>viskoses Fliessen</u>:
  - bei grossen Verformungen, hohen Temp. und niedrigen Verformungsraten (= oberer Mantel), *Newton'schen* oder *ideal viskosen Materialien*
  - *permanente/irreversible Deformation*, keine Rückgewinnung
  - Spannung direkt prop. zur Verformungsrate: $\sigma = \eta\dot{\varepsilon}$ ($\dot{\varepsilon}$ = Verformungsrate, η = *Viskosität*; Einheit: poise = dyne/cm²s)
- <u>Plastizität</u>:
  - bei *ideal plastischen Materialien* (= Festkörper, die nur bis zu best. krit. Spannungswert σ_c (= *Fliessgrenze*) Spannung aufbauen können)
  - Spannung σ = konst.
  - <u>unter Fliessgrenze</u>: *elastische Verformung*; <u>bei Fliessgrenze</u>: *permanente und kontinuierliche Verformung*: Versetzungsgleiten/-fliessen
- *sprödes Verhalten* = Bruchversagen (= *Kohäsionsverlust*) bei elastischer Verformung → Brüche/Störungen, Verwerfungen/Klüfte; nicht sehr stark abhängig von Temp., aber stark abhängig vom Druck

- *elastisches Limit* = Proportionalitätsgrenze = max. Spannung ohne permanente Verformung
- *duktiles Verhalten* = permanente/penetrative Verformung, kontinuierliche/stetige Verformungsänderung; nahezu unabhängig vom Druck
- *spröd-duktiler Übergang* = Übergang von sprödem zu duktilem Verhalten bei Zunahme hydrostat. Drucks
- *Kataklase* = Zertrümmerung, intergranulare Bewegungen, mechan. Granulation durch rel. Verschiebung einzelner Körner oder starrer Elemente → *kataklastisches Muster*

III. Verwerfungen und Klüfte

- Klüfte/Verwerfungen wichtig im Bereich der Hydrologie/Erdölexploration, da sie Permeabilität/Migration/Anreicherung steuern
- meist entstehen Brüche/Klüfte durch Bildung von *Rissen* (= Gesteinskohäsion ging verloren = *Bruchbildung*)
- trigonometrische Funktionen (= sin, cos, tan) wichtig:
    - Kraft F auf eine Fläche P wird in *Normalkomponente* $F_N = F\cos\theta$ und *Scherkomponente* $F_S = F\sin\theta$ aufgeteilt
    - Spannung kann nicht so berechnet werden, wie wenn sie Kraft wäre; ist anderer Mengenbegriff, auch bekannt als *Tensor 2. Ordnung*; $\sigma_N = \sigma\cos^2\theta$, $\sigma_S = \sigma\sin 2\theta / 2$
- *Ebenen maximaler Scherspannung* = 45° zu Hauptnormalspannungen σ_1 und σ_3 geneigt; *max. Scherspannung* = $\sigma_1 - \sigma_3 / 2$

Verwerfungen:

- *Verwerfung* = Bruch zw. Gesteinsblöcken, entlang dessen die Blöcke in best. Richtung parallel zur Bruchfläche (= keine Ebene mit höchster Scherspannung; meist gebogen) aneinander vorbeigeschoben wurden; unter spröden Voraussetzungen entstanden; seism. Quelle
    - *Steilwinkel-Störung* = Verwerfung steiler als 45°
    - *Flachwinkel-Störung* = Verwerfung mit geringerem Einfallen
- *Verwerfungszone* = cm- bis km-breite Zone, durch Gruppe miteinander verbundener Verwerfungen (oft parallel/anastomosierend) zerbrochen; Gebiet mit spröder Deformation
- *Scherzone* = Gesteinsblöcke werden aneinander vorbeigeschoben ohne entwickelte Bruchzone; Gebiet mit duktiler Verschiebung
- *Hangendes* = Gesteinskörper oberhalb nicht vertikaler Verwerfung/Scherzone; *Liegendes* = Gesteinskörper unterhalb nicht vertikaler Verwerfung/Scherzone
- *listrischer Bruch* = gebogene, nach oben konkave Verwerfung
- Versatzvektor (= Verschiebungsbetrag = Schublänge) = verbindet ursprünglich zus.fallende Punkte in Hangenden und Liegenden; in 2 zueinander senkrecht stehende Komponenten aufgegliedert:
    - *Horizontalkomponente* = parallel zum Streichen
    - *Ab-/Überschiebungskomponente* = parallel zum Fallen
- *Sprunghöhe* = vertikaler Versatz entlang einer Störung
- Abschiebung (= Dehnungsbruch) = grosswinklige Störung, deren Versatz v.a. durch Abschiebungskomponente erzeugt wurde; v.a. wo Zugspannungen Erdlithosphäre auseinander ziehen (MOR, Rifting); *grösste* Hauptspannung vertikal
- Landformen durch Abschiebungen:
    - steile Kliffe/*Böschungen* = durch vertikale aktive Bewegungen an Abschiebungen
    - *Gräben* = nach unten versetzte, längliche Blöcke, die durch konjugierte Abschiebungen, die gegeneinander einfallen, begrenzt sind (Rift-Täler, Depressionen)
        i. *Rift* = Graben, der sich über grosse Breiten erstreckt
        ii. *Halbgraben* = Graben, der nur durch Set von Abschiebungsflächen begrenzt wird
    - *Horste* = nach oben verschobene Blöcke, die durch nach aussen einfallende Abschiebungen begrenzt sind; fassen Gebiete von grossen Seen ein
    - *dreieckige facettierte Sporne* = ca. planare flächen mit ausgedehnten Talböden und aufwärts zeigenden Spitzen; durch Zerlegung von Nebenfluss-Erosionen in Horste und angrenzende Klippen

- Horizontal-/Blatt-/Transversalverschiebung = meist horizontale Bewegung parallel zur Verwerfungsebene; entlang Transform-Störungen; *intermediäre* Hauptspannung vertikal
    - *linkssinnig* (= sinistral) = von einem Bruchflügel aus gesehene scheinbare Verschiebung des anderen nach links
    - *rechtssinnig* (= dextral) = von einem Bruchflügel aus gesehene scheinbare Verschiebung des anderen nach links
    - *Transfer-Störung* = grosse Seitenverschiebung, die in anderer grosser Struktur endet
    - *Transform-Störung* = Blattverschiebung, die an Plattengrenzen liegt, meist im 90°-Winkel mit MOR; nur zw. Rücken aktiv
- Landformen durch Blattverschiebungen:
    - *lineare Täler* = durch Ströme, die zerbrochenen Gesteinen der Verwerfungszone folgen und leicht erodieren
    - *topograph. Versatzerscheinungen* = durch horizontale Bewegungen entlang Blattverschiebungen; beinhalten Rücken/Flüsse mit plötzlich rechtwinkligen Biegungen
    - *Todarm* = ehemaliges Flusstal auf unteren Seite der Verwerfung; durch Erosion eines kürzeren Weges über Verwerfungszone hinweg
    - *Staurücken* = Rücken, der gegen Abfluss versetzt wird und so Entwässerung blockiert
    - *Sackungstümpel* = oft in vertieften Teilen der Verwerfungszone
    - *Bänke* = rel. flache Vorsprünge; werden entlang der Verwerfungszone gehoben
    - *Druckrücken* = kleine verworfene Bereiche; durch Kompression zw. mehreren Verwerfungsflächen gebildet
- Über-/Aufschiebung = kompressive Brüche, deren Versatz v.a. durch Überschiebungskomponente erzeugt wurde; durch horizontale Kompressionsspannung (Subduktion); *kleinste* Hauptspannung vertikal
- Landformen durch Aufschiebungen:
    - *Böschungen* = v.a. durch vertikale aktive Bewegungen an Überschiebungen; weniger grad/steil/weich als an Abschiebungen; können Flussläufe umleiten
    - *trianguläre, längliche Täler*, da Bruchflächen/-zonen erosive Schwächestellen in Erdkruste sind
    - *Geländegrate*/-täler durch Flusseinschnitte in Böschungen
- *allochthon* = hat sich bewegt; *autochthon* = hat sich nicht bewegt
- *Fenster* = Aufschluss, wo Gesteine der nächst tieferen Einheit (= z.B. unterhalb einer Überschiebung) sichtbar werden
- *Klippe* = Aufschluss des Hangenden, das ganz vom Liegenden umgeben ist
- *aktive* (= während der letzten 10'000 a bewegt), *möglicherweise aktive* (= während des Quartärs bewegt), *inaktive* (= vor dem Quartär bewegt) *Verwerfungen*
- *konjugierter Bruch* = paarweise, mehr oder weniger gleichzeitig entstandene Verwerfungsflächen; Bruchblock durch 2 entgegengesetzte Bewegungsrichtungen begrenzt
- *synthetische Verwerfungen* = kleinere Verwerfungen, die parallel zur Hauptverwerfung verlaufen und dieselbe Rel.bewegung haben
- *antithetische Verwerfungen* = kleinere, zu den synthetischen dazukonjugierten Verwerfungen, die entgegengesetzt zum vorherrschenden Sinn der Asymmetrie sind
- treppenförmige Geometrie baut sich dort auf, wo Über-/Abschiebungen sich in gut geschichteten, horizontal gelagerten Formationen ausbilden
    - *Rampen* = Stufen der Treppe; *schiefe*/*seitliche* (= parallel zur Transportrichtung); mit Extension = *Abscherung*
    - *Flachbahnen* (= décollement-Flächen) = flachere Störungsflächen; wo sich Hangendes durch rel. inkompetente Formationshorizonte bewegt
- Gesteine an Bruchzonen:
    - *Störungsbrekzie*/*Kataklasite* = zerbrochenes Material, das von Seitenwänden der Störung durch Bewegung abgerissen wurde; Bruchbrekzien in Gesteinsmehl; mikroskopisch klein = *Mikrobrekzie*
    - *Verwerfungslette* = v.a. aus tonartigem Pulver; viele erzreiche Adern

    - *Mylonite* = solide, rel. abtragungsresistente metamorphe Gesteine; plattige/stengelige Struktur im Dünnschliff; geschieferte Textur; feine Korngrössen; duktile Deformation und dynamische Rekristallisation; grössere Fragmente oder Mineralien des Usprungsgesteins = *Porphyroklasten*
        i. *Blastomylonit* = nach der Mylonititsierung stark rekristallisiertes Gestein
        ii. *Ultramylonit* = durch intensive Korngrössenverkleinerung und dynamische Rekristallisation entlang von Störungen entstandene harte, dunkle Füllung aus ultramikroskopischen Körnern, die grössere Fragmente enthält
        iii. *Protomylonit* = Gestein in der Anfangsphase der Mylonitisierung
    - *Pseudotachylit* = dünne, schwarze Filme oder massige Gesteine aus glasigem Material; Partialschmelzen; aus Schmelzen, die durch Reibungswärme entstanden sind
- <u>Anzeichen</u> für Verwerfungen: *Repetition* von Schichten oder *Lücken* in stratigraphischer Abfolge
- *Gleitflächen* = glänzende/polierte Oberflächen am Kontakt zur Verwerfungsfläche
    - *Striemungen*/Rillen = Kratzer parallel zur Rel.bewegung der Störung; meist Streifen von Mineralien in feinkörnigem Material entlang der Bruchebene; *Rutschstriemen* = Rillen eines harten Objekts der anderen Bruchseite, die vorbeiglitt
    - Stufen/Absätze: Schleifspuren, *Stylolithen* (= Zähnchen)
    - Dehnungsrisse: (Faser-)*Harnische* (= Mineralneubildungen), halbmondförmig/eben
    - *Riedel*(-aus-)*brüche*: eben (= Ausbrüche erzeugen Stufen), gebogen (= halbmondförmige Ausbrüche)
    - Riedelbrüche: R- (= Sägezahntyp), P-Riedelflächen
- morphologische Kriterien für Verwerfungen <u>bei Strömen</u>:
    - *Knickpunkte* wo Flussprofil von Verwerfungen geschnitten wird
    - *Abtragung*: Ersosion wandert Stromaufwärts im angehobenen Flusssegment
    - *Aggradation*: Sedimentation füllt steileres, abgesunkenes Flusssegment
    - *Assymetriefaktor* $AF = 100(A_r/A_t)$; (A_r = stromabwärts gerichtetes Becken; A_t = ganzes Entwässerungsbecken)
    - *Stromlänge-Gradientenindex* $SL = (\Delta H/\Delta L)L$; ($\Delta H$ = Änderung der Höhe über Länge des Flusses ΔL; L = Gesamtstromlänge)
    - *Abriss*: seitliches Kippen verschiebt Flüsse entlang dem Einfallen
- *Aquifere* = wasserdurchlässige Zonen

Klüfte:

- *Klüfte* = planare Diskontinuitäten, entlang denen Gesteine ihre Kohäsion wegen spröden Verhaltens verlieren; keine Verschiebungskomponente parallel zur Ebene der Diskontinuitäten besteht
    - *unsystematische Klüfte* = kurz, gebogen, gleichmässig in Geometrie
    - *systematische Klüfte* = ca. panare Geometrie; haben lange Spur; bilden typische Kluftscharen
- *Schar* = Gruppe von Klüften; verlaufen fast parallel zueinander; haben gemeinsamen Ursprung
- *Hauptklüfte* = Klüfte von 10 cm bis 100 m; in wiederkehrenden Abständen von einigen cm bis einigen 10 m
- *Mikroklüfte*/-brüche = nur im Dünnschliff unter Mikroskop erkennbar; in meisten Gesteinen enthalten
- *Kluftsystem* = ganze Körperschaft von in einem Aufschluss vorhandenen Klüften
- *Schichtklüfte* = enden an Ober- und Unterseite einer Schicht
- in <u>plattenförmigen Regionen</u> mit geschichteten Gesteinen (= layers) schneiden sich grössere Klüfte unter grossem Winkel
- in <u>gefalteten Regionen</u> sind Klüfte meist senkrecht zur Stoffbänderung ausgerichtet
    - *Längsklüfte* = ziemlich parallel zur Faltenachse
    - *Querklüfte* = ca. senkrecht zur Faltenachse
    - *Diagonalklüfte* = v.a. in konjugierten Systemen, wo Längs-/Querklüfte ziemlich symm. angeordnet sind

- in zerbrochenen Regionen (= in Zus.hang mit Verwerfungen) können Klüfte älter als Verwerfungen sein
    - *Fiederklüfte* = bilden *en échelon Anordnung* (= schiefe, leitersprossen-/federartige Anordnung von Klüften mit rel. geringer Ausdehnung), die v.a. in nächster Umgebung der Verwerfungsebene vorkommt und sie in spitzem Winkel schneidet; können vor/während Gleitbewegung auf Verwerfungsfläche entstehen
- zu Intrusivkörpern sind Kluftsysteme meist symm. in steilen/senkrechten Winkeln angeordnet und gut entwickelt
    - *säulenförmige Absonderungsflächen* = Klüfte isolieren/bilden gestreckte Prismen mit ziemlich gleichförmigen 6-eckigen Profilen (z.B. Basaltsäulen)
- *Zugklüfte* (= wahre Klüfte) = gesamte Verschiebung senkrecht zur Kluftoberfläche; bilden sich in isotopen Gesteinen senkrecht zu einer der Hauptspannungsrichtungen
- *Scherkluft* = finite Scherkomponente kommt auf Kluftoberfläche vor = *Verwerfung*
- *Adern* = verheilte Diskontinuitäten in Gesteinen; mit orientierten Kristallfasern oder nicht orientierten, sekundären Kristallisationen/Mineralisationen gefüllte Brüche/Klüfte
- *potentieller Scherbruch* kann unterteilt sein durch Schar von parallelen, schräg angeordneten Zugklüften oder Adern = *en échelon Anordnung*, die parallel zur potentiellen Verwerfungsfläche verläuft
- *Abblätterung/-schalung* = oberflächenparallele Kluftgruppen von flachliegenden, gebogenen, grossen Klüften
- *Kompressibilität* = kennzeichnet Grösse der Expansion, die durch Freigabe elastischer Verformungsenergie erwartet werden kann
- schichtparallele Klüfte = horizontale Extensionsklüfte, durch schnelle Volumenänderung wegen v.a. vertikaler Streckung entstanden
- *lokal deviatorische Spannungen* werden durch Dekomprimierung/Abkühlung von Gesteinskörpern wegen Unterschieden in Kompressibilität und/oder therm. Ausdehnungskoeff. der nebeneinander liegenden versch. Gesteinsarten aufgebaut
- *stylolithische Klüfte* = Flächen, entlang denen Gestein durch chem., druck-induzierte Lösung weggelöst wurde (= *Drucklösung*); gekennzeichnet durch ineinander greifende Gesteins"zähne", die normal/schräg zur Kluftoberfläche orientiert sind
- an *Stylolithenebenen* wurde Material weggeschafft (= Materialquelle)
- *Säulenklüftung* = durch Volumenänderung wegen Schrumpfung infolge Abkühlung entstanden; in Lagergängen (= sills) und Lavaströmen
- *vertikale Kontraktion* = durch Abwärtsbewegung der überlagerten Nebengesteine
- *polygonale, säulenartige Anordnung* (typisch: 6-/5-eckig) von Abkühlungsklüften v.a. dort, wo horizontale Kontraktion in allen Richtungen gleich ist
- *sedimentärer Gang* = Auffüllung von tief in Sediment eingedrungenen Austrocknungsrissen mit Sediment andersartiger Zus.setzung
- primäre Kluftsysteme in plutonischen Gesteinen:
    - *Querklüfte* = senkrecht zur magmatischen Lineation/Foliation; normale Extensionsklüfte; tragen oft Aderfüllung aus magmatischen Differentiaten
    - *Diagonalklüfte* = steil; spitzwinklig zu Querklüften; schiefe Extensionsklüfte
    - *Längsklüfte* = parallel zur magmatischen Lineation; steile Extensionsklüfte
    - *primäre, flache Klüfte* = normalerweise parallel zur magmatischen Foliation
- *rechwinkliges Drainagemuster* = morphologisches Kriterium für Klüfte; sieht aus wie reguläres, senkrechtes Gitter; wenn Fliesserosion Klüfte/Brüche/Verwerfungen in Grundgestein vergrössert

IV. Falten

- *Falte* = durch allmähliche kontinuierliche, plastische (= permanente) Verformung gebogene/gekrümmte einzelne/Stapel von urspr. flachen/ebenen Flächen; einzeln oder in ausgedehnten *Faltenzügen* (= *periodisch*/*nicht-periodisch* verfaltet) von untersch. Grösse
- *Faltengürtel* = lang gezogene Faltensysteme, in regionalem Massstab verfolgbar

einfache Falten (= 2-dimensional):

- zur Faltung braucht es die *Rotation* einer Schicht
- *Monoklinale* = steil einfallende, stufenartige Zone in sonst flachen/regelmässigen Abfolgen; durch doppelte Biegung/Flexur gebildet
- *strukturelle Terrasse* = lokale Abflachung des Einfallens
- *Homoklinale* = Abfolge von Schichten mit gleichbleibendem parallelem Verhalten über weites Gebiet
- höchster Punkt einer gefalteten Schicht = Kamm/First/*Scheitel* ⇔ *Trog* = niedrigster Punkt einer gefalteten Schicht
- Verbindung der First-Punkte einer best. Schichtfläche = *Scheitellinie* ⇔ *Troglinie* = Verbindung der Trog-Punkte einer best. Schichtfläche; beides weder horizontale noch geradlinige imaginäre Linien; hohe Punkte der Scheitel-/Troglinie = *Kulminationen* ⇔ *Depressionen* = tiefe Punkte der Scheitel-/Troglinie
- *Scharnier* = Stück einer verfalteten Fläche mit kleinstem Krümmungsradius; von *Schenkeln* (= 2 Gebiete mit grösserem Krümmungsradius) umgeben; kann gerundet/eckig sein
- Scharnierlinie/*Faltenachse* = Verbindung von Punkten mit minimalem Krümmungsradius entlang Scharnier einer Falte
- *Tauchen* = nach unten gerichtete Neigung der Scharnierlinie
- *Wendepunkte* (= *Inflexionspunkte*) = Krümmungssinn ändert von konvexer zu konkaver Kurve
- *Inflexionslinie* = verbindet Wendepunkte; liegt auf beiden Faltenschenkeln
- *Faltenschenkel* = Abschnitt zw. Scharnierlinie und nächster Inflexionslinie
- *Profil* = Schnitt senkrecht zur Faltenachse
- *Öffnungswinkel* = kleinerer Winkel zw. Schenkeln einer Falte in Profilansicht; Winkel zw. Tangenten von 2 nebeneinander liegenden Wendepunkten; unterscheidet <u>5 Klassen</u>:
    - *offene stumpfwinklige Falten*: 180°-120°
    - *offene spitzwinklige Falten*: 120°-70°
    - *geschlossene Falten*: 70°-30°
    - *enge Falten*: < 30°
    - *isoklinale Falten*: 0° (= parallele Schenkel)
    - *Fächerfalten* = neg. Öffnungswinkel
- *Stil* = Faltenprofil + Orientierung der Faltenachse; beschreibt Falte
- Pfeilspitz-/*Flammenfalten* = scharfe Scharniere; untersch., oft sigmoidal gekrümmte Schenkel
- *Knickfalten* = sehr eckige Scharniere; gerade, flache Schenkel
    - *Knickband* = schmale, blättrige Zone, die bei stark asymm. Knickfalten vom kurzen Schenkel gebildet wird
    - *Knickbandgrenze* = seitl. Begrenzung durch *Achsenebenenspur*
- *Kofferfalte* = verfaltete Schichtflächen aufgebaut durch 3 Seiten (= Rechteck) → flache Scharnierzone, steile Schenkel
- *Intrafolialfalten* = isolierte, enge Faltenscharniere, die zw. scheinbar unverfalteten Schieferungsflächen liegen; in Gebieten intensiver Faltung
    - *wurzellos* = zerstückelt
    - *schenkellos* = unzusammenhängend (= bei Faltensystemen)
- *zylindrische Falte* = Faltenachse verläuft als gerade Linie, die immer über ganze Krümmung der Falte parallel ist; erscheint, parallel zur Achse angeschnitten, als gerade Linie, sonst wellenförmig; *Zylinderachse* = parallel zur Faltenachse
- *nicht zylindrische Falte* = verändern Streichen und Fallen ihrer Scharniere → 2-seitig abtauchende Falte (= Einfallen des Scharniers wechselt)
- *konische Falte* = nicht zylindrisch gefaltete Fläche in der Geometrie eines Kegels
- *Zungenfalten* = ausgeprägte Krümmungen (= Abdrehung > 90°) entlang ihrer Faltenachse
- nach oben konvexe Falte = *Antiform* ⇔ *Synform* = nach unten konvexe Falte
- konvexe Grenzfläche = *Aussenseite* ⇔ *Innenseite* = konkave Grenzfläche
- *Kern* = Gebiete im Innern oder auf konkaver Seite einer verfalteten Schicht
- Antiform mit ältesten Schichten im Kern = *Antiklinale* ⇔ *Synklinale* = Synform mit jüngsten Schichten im Kern
- Antiform mit jüngstem Gestein im Kern = *antiformale Synklinale* ⇔ *synformale Antiklinale* = Synform mit ältestem Gestein im Kern
- *Facing* = Richtung entlang der Achsenfläche/-ebene bzw. senkrecht zur Faltenachse, in welcher Schichten verjüngen (= *wahre Vergenz*)

- *neutrale Falten* = weder Anti- noch Synform; Schenkel konvergieren seitwärts:
    - vertikal abtauchende Falten
    - Falten mit horizontalen Achsenebenen
    - Falten, die parallel zum Einfallen ihrer Achsenebene abtauchen
- Antiklinale ohne best. Richtung der Scharnierlinie (= Schichtung fällt von zentralem Punkt in alle Richtungen ab) = *Dom* ⇔ *Becken* = Synform ohne best. Richtung der Scharnierlinie (= Schichtung fällt aus allen Richtungen ein); beides Perklinalstrukturen

Faltensysteme (= 3-dimensional):

- *Faltensystem* = Gruppe von Falten, die räumlich/genetisch zus.hängen
- *Achsenfläche* = Verbindungsfläche der Scharnierlinien nebeneinander liegender Schichten einer Falte; halbiert oft Öffnungswinkel; Orientierung: Fallen/Streichen
- *Achsenebene* = planare Achsenfläche
- *Faltenachse*/Scharnierlinie = Linie, entlang derer Achsenebene Scharnierzone schneidet; wichtigstes strukturelles Element einer Falte; Orientierung: Abtauchen/Abtauchazimuth
- *parallele Falte* = konstante Schichtmächtigkeit senkrecht zu Schichten gemessen
- *konzentrische Falte* = gefaltete Schichtflächen beschreiben kreisförmige Bögen mit gemeinsamem Zentrum
- *kongruente Falte* = konstante Schichtmächtigkeit parallel zur Achsenfläche gemessen; behält ihr Form über ganzes Profil; deckungsgleiche (= kongruente) aufeinanderfolgende gefaltete Flächen
- Form wiederholt sich in allen angrenzenden Schichten = *harmonisch* ⇔ *disharmonisch* = Form ändert sich von einer Schicht zur nächsten; Wellenlänge/Amplitude variieren von Schicht zu Schicht; oft bei parallelen Falten
- *Abscherhorizont*/*Décollement-Fläche* = Endung von parallelen Falten nach unten
- *konvolute Falten* = stark gebogene Achsenflächen; meist disharmonisch; charakteristisch für hochgradig-metamorphes Gestein
- *ptygmatische Falten* = fast parallel mit lobater, verschnörkelter Erscheinung; oft polyklinal; meist konzentrisch; charakteristisch für hochgradig-metamorphes Gestein, meist in Migmatiten
- *aufrechte Falten* = ca. vertikal stehende Achsenfläche
- *geneigte Falten* = einfallende Achsenebene (80° < *steil* < 60° < *mittelsteil* < 30° < *flach* < 10°)
- *liegende Falten* = sub-horizontale Achsenebene
- *Tauchfalte* = Rotation der Achsenebene > 90°
- *Faltendecke* = grosse liegende Falte mit mehreren km-langem überkipptem Schenkel
- Achsenebene einer Faltengruppe senkrecht zum Faltenspiegel, teilt Falte in 2 identische Hälften, ist Symm.ebene; gleich lange Schenkel = *symmetrisch* ⇔ *asymmetrisch* = Achsenebene ist keine Symm.ebene; ungleich lange Schenkel mit untersch. Fallen
- *Chevronfalten* = symm. Falten mit geraden Schenkeln und scharfen eckigen Scharnieren, die scheinbar kongruent/parallel sind; Geometrie durch Rotation eines Stapels dünner Schichten gesteuert, die zw. benachbarten Knickbandgrenzen (= auf Knick-Achsenebene) planar bleiben; rasche Orientierungs-Änderungen nur entlang von Knickbandgrenzen; Biegegleitung auf Schenkeln
    - *Zickzack-Falten* = asymm. Chevronfalten
    - *Knickfalten* = Chevronfalten in geschiefertem Gestein
- *Vergenz* = Richtung von Neigung/Überkippen von geneigten Falten
- Parasitärfalten = kleinere Falten auf Schenkeln oder im Scharnierbereich einer grösseren Falte; zeigen an, wo grössere Falte schliesst
    - Falten *1. Ordnung* = grössten Falten
    - Falten *2. Ordnung* = 2.-grössten Falten; etc.
- *Faltenspiegel* = gedachte, zu Scharnieren einiger/aller Falten einer verfalteten Schichtfläche tangentiale Fläche; bestimmt allg. Orientierung einer stark gefalteten Fläche
- *Medianfläche* = verbindet Inflexionslinien
- Grösse einer Falte bestimmt durch:
    - *Wellenlänge* = Distanz im Profil zw. 2 aufeinanderfolgenden Anti-/Synklinalen
    - *Amplitude* = Distanz entlang der Achsenebene von Medianfläche zum Scharnier
- *aspect ratio* = Verhältnis der Amplitude (entlang Achsenebene) zur dazugehörigen Distanz zw. benachbarten Wendepunkten
- *Perklinale* = grosse Anti-/Synformen, deren Amplitude in beiden Richtungen regelmässig auf 0 abfällt (z.B. Dome, Becken)

- *konjugierte Falten* = beliebiges Paar scheinbar zus.hängender Falten; Achsenflächen mit grossem Winkel zueinander geneigt (= entgegengesetzt gerichtete Vergenz)
    - *konjugierte Knickfalten* = asymm. Knickfalten; Achsenebenen mit 2 Richtungen, sodass Knickbänder sich schneiden (= *konjugierte Knickbänder*)
- *polyklinale Falten* = Faltengruppen mit sub-parallelen Scharnieren; Achsenebenen mit mehreren versch. Orientierungen
- *Faltenkaskaden* = durch auf plastisch verformbare Schichten wirkende Gravitationskräfte

Verbindungen zw. Falten und Störungen:

- *Schleppfalten* = kleine Verbiegungen an Störung grenzender Gesteinsschichten in Bewegungsrichtung des gegenüberliegenden Blocks; Faltenzüge mit systemat. Vergenz; rel. Schersinn zw. angrenzenden Gesteinsschichten → nicht-zylindrisch, asymm., disharmonisch
- *inverse Schleppfalten* = Verbiegen in entgegengesetzter Richtung zum Bewegungssinn; oft bei listrischen Abschiebungen, wo Falten im Hangenden konkav zur Gleitrichtung sind
- *Falten-/Überschiebungsgürtel* = Falten/Überschiebungen in grösserem, regionalem Massstab
- *en échelon Falten* = rel. kurze, 2-seitig abtauchende Falten mit steiler Achsenebene in nicht zylindrisch gefalteten Flächen; abgestuft, konsequent überlappend; räuml. so arrangiert, dass Kulminationen und Depressionen aufeinanderfolgender Falten entlang einer Linie liegen, die spitzen Winkel zu parallelen Faltenachsen bildet
- *drape folds* = Umbiegung in sedimentären Schichten, die sich so passiv einer tiefer liegenden Struktur anpassen (z.B. durch differentielle Kompaktion entstandene Falte)
- *forced folds* = Falten, deren Form durch tiefer liegende, ebenfalls verfaltete Gesteinsschicht aufgedrängt wurde
- *Propagation* = Verlängerung/Erweiterung einer Rampenüberschiebung ins darüber liegende unverformte Gestein; führt zur frontalen Knickfalte
- *Wachstumsfalten* = in sedimentären Schichten gleichzeitig mit Ablagerung entwickelt
- *antiformale Imbrikationen* = durch Wachstum von Antiformstrukturen über Rampen/Duplexzonen
- *antithetische Flexur* = halbe Antiform; schwache konvexe Biegung der Schichten im Hangenden; entsteht durch Vorbeigleiten des Hangenden an konkaver Form der listrischen Abschiebung

Plattentektonik und Faltung:

- Falten v.a. an subduzierenden/kollidierenden konvergenten Plattengrenzen, da mit Kompression verbunden
- Dome/Becken können innerhalb Kontinenten/Platten vorkommen

Faltung – Geometrie und Verformungsverteilung:

- *passive Faltung* = Reaktion auf eine ausserhalb der Schicht stattfindende Bewegung und dadurch erzwungene Formänderung
- *aktive Verformung* = reagiert auf eine zu ihr parallel angelegte kompressive Spannung
- *Biegung* = Kräfte, die an Schichten (= können Kompetenzkontrast haben) angelegt sind und auf diese einwirken; Schicht verhält sich elastisch; führt zu sehr schwachen Falten
- *Stauchung*/Buckling = elastische/Biegeinstabilität einer einzelnen Lage oder eines Lagenbaus unter seitlicher (= lagenparalleler) Kompression → *Buckle-Falte* = Verkürzung einzelner/mehrerer kompetenter (elastischer) Lagen, die Dicke durchgehend beibehalten
- *neutrale Fläche* = immaterielle Fläche ohne Verformung, die Streckung und Verkürzung trennt
    - *extrados* = äusserer Bogenbereich = konvexe Seite der neutralen Fläche
    - *intrados* = innerer Bogenbereich = konkave Seite der neutralen Fläche
- *Biegegleitung* = Bildung von konzentrischen/parallelen Falten führt zu schichtparallelen Scherverschiebungen in Richtung Anti-/Synformachse; diskrete Gleitflächen
- *Biegescherung* = Scherdeformation findet im Korngrössenbereich statt; keine diskreten Gleitflächen
- *Scher-/Gleitfaltung* = einfache Scherung auf dicht aufeinander folgenden Ebenen parallel zur Achsenebene und schräg zur gefalteten Schicht → ideale kongruente Falten

morphologische Kriterien für Faltung:

- Hebung von Antiklinalen schneidet urspr. Fluss ab, kann ihn lokal in Fliessrichtung des Oberlaufs drehen
- *Wasserscheide* = entlang Scheitel einer entstehenden Falte entstanden

- Teiche entwickeln sich in nach unten gebogenen Synklinalen
- *antezedenter Fluss* = schon vor der Entstehung des Antiklinalrückens anwesend; hat Verlauf beibehalten; bei kräftigem Einschneiden oder langsamer Deformation/Erhebung
- *Degradation* = Hauptfluss frisst in Rücken einer wachsenden Antiform → *Klusen*/Quertäler = steile Schluchten
- *Antiklinaltal* = durch Aberosion des Rückens einer Antiklinalen mit weichem Kern → Umkehrung der Topographie nach langer Periode der Erosion → *Mulden-und-Sättel-Topographie*

V. <u>sekundäre planare strukturelle Elemente</u>

- mechan. Anisotropie
- *Foliation* = sekundäre, parallele, oft dicht aneinanderliegende, planare Elemente in deformierten Gesteinen; *penetrativ* (= durchdringt gesamten Gesteinskörper, verwischt frühere Strukturen); meist duktile Abplattung als Ursache; nur unter Mikroskop erkennbar, sonst *Foliation mit Zwischenraum*
- *Gefüge* = zur Beschreibung der Beziehung zw. planaren/linearen Strukturen und der Textur eines Gesteins

Beschreibung:

- <u>Morphologie</u> der Foliation ändert sich mit:
  - *Morphosegrad* (= Temp./Druckbedingungen während Entstehung)
  - Position in grösseren Faltenstrukturen
  - Gesteinsart
- 2 Kategorien für <u>Grad der Lokalisierung</u> von Schieferungsflächen:
  - *penetrative Schieferung*
  - *Schieferung mit Zwischenraum*
- *Bruchschieferung* = parallele, in regelmässigen Abständen auftretende Mikrobrüche/Klüfte, die Gestein scharf in Serien von tafelförmigen Stücken (= *Microlithons*; linsenförmig, kaum interne Verformung) teilen; dichte Population von Klüften; meist in niedrig-/mittelgradig metamorphen Gesteinen; oft in Sand-/Kalksteinen
- *Lösungsschieferung* = gleichmässig getrennte Lösungsflächen (z.B. *stylolitische Klüfte*), die Gestein in Serie von Mikrogesteinen ohne interne Deformation aufteilen; v.a. in Gesteinen mit niedrigem Metamorphosegrad und reichhaltigen Fluids; meist in Kalksteinen
- *Glattschieferung* = für planares Entzweibrechen von Gesteinen, deren Einzelkörner ohne Mikroskop nicht erkennbar sind, verantwortliches Gefüge; parallele Ausrichtung der ungleichen *Phyllosilikatkörner* (= Chlorit, Glimmer); <u>domänenartige Struktur</u> (= Aufteilung des Gesteins in mikroskopisch kleine, ungeschieferte Regionen) unter Mikroskop:
  - ungeschieferte, linsenartige Domänen (= *Microlithons*); meist parallel zur Schieferung
  - überzugsartige, hautähnliche Domänen; verzweigtes Netzwerk senkrecht zur Schieferung
- *Schieferung* = Foliation in Gesteinen, deren Korngrösse so gross ist, dass einzelne Mineralien von blossem Auge zu unterscheiden sind
- *Phyllite* = Korngrösse zw. feinkörnigen und grobkörnigen Schiefern; <u>Gefüge</u>: Glatt-/Schieferung
- *Runzelschieferung* = frühe Foliation im Mikrobereich gerunzelt/*krenuliert* (= gefaltet); → (symm./)asymm. Knitterfalten; parallele Schenkel der Mikrofalten oder parallel zu Faltenschenkeln entstandene Mikrobrüche (= *strain slip cleavage*); in allen metamorphen Graden; *konjugierte Runzelschieferung* = 2 ca. gleichzeitig entstandene, sich im 60-90°-Winkel schneidende Runzelschieferungen; mit konjugierten Falten/Knickfalten assoziierbar
- *differenzierte Stoffbänderung* = durch im Handstück sichtbare Lagen unterschiedlicher Zus.setzung entstandene Foliation; in grobkörnigen, granularen metamorphen Gesteinen jeden Grades; möglich bei Glatt-/Runzel-/Schieferung
- *Gneisbänderung* = differenzierte Stoffbänderung in hochmetamorphen Gesteinen; abwechselnd mafische und felsische Schichten
- *transponierte Stoffbänderung* = präexistierende Bänderung vor der Verformung; Schichtung/Foliation
- *Isoklinalfalten* = bei intensiver Verformung → spitze Scharniere, *Intrafolialfalten*
- *Transposition* = scheinbare Schichtung; in allen Grössen; kann irreführend sein

Achsenebenenschieferung:

- *Achsenebenenschieferung* = zu gefalteten Schichtoberflächen geneigt und ziemlich systematisch, parallel zur Achsenebene, ausgerichtet; kann vom Parallelismus abweichen → *Schieferungsfächer* = Richtungswechsel durch Schichten untersch. Kompetenz; *konvergent*/*divergent* gegen Kern der Falte
- *Refraktion* = Änderung der Winkelbeziehungen von Schicht zu Schicht
- *Transektion* = in 3. Dimension zur Scharnierlinie geneigte Schieferung
- *Schichtungs-Schieferungs-Winkelbeziehung* um praktische Probleme bei *Sturkturkartierung* zu lösen

andere Schieferungen:

- nicht alle Schieferungen sind mit Faltung assoziiert
- *Schichtungsfoliation* = Schar von Schieferungsebenen parallel zur wirklichen Schichtung; kann durch enge Faltung hervorgerufen werden
- Entwicklung einer duktilen Scherzone in massivem Gestein → die sich entwickelnde Foliation ist nicht assoziiert mit synchron entstehenden Falten, aber zeigt *progressive Rotation* mit zunehmender Intensität der Foliation
- sigmoidale Form

VI. <u>sekundäre lineare strukturelle Elemente</u>

- *Lineation* = lineare Struktur im Gestein; sekundäre Struktur, durch Deformation entstanden; kann aber auch ursprünglich vulkanische/sedimentäre Struktur sein; eines der bedeutendsten Gefügeelemente

Beschreibung:

- *Rutschstriemen*/Gleitstriemung = direkt aus *Reibungsgleiten* bzw. durch Prozess der Biegegleitfaltung (= Schichten sind mit zunehmender Einengung der Falten übereinander weggeglitten); häufig; treten auf Verwerfungsebenen auf; nicht penetrativ (= kein Gefügeelement)
- *Rillen und Grate* (= *Striemung*) = diskontinuierliche Rel.bewegung beider Bruchflügel entlang Verwerfung
- *Intersektionslineation* = 2 beliebige planare Ebenen schneiden sich in einer Linie; (= Faltung und Schieferung) → *Intersektionslinear* zw. Schichtung und Faltenachsenebenenschieferung
- *Bleistiftstruktur* = Bruch in längliche Gesteinsstücke; bei starker Ausbildung der Achsenebenenschieferung und der Schichtung (= Stoffbänderung)
- *Krenulationslinear* = Gefügeelement parallel zur Achsenrichtung; augeprägte, lineare Struktur durch *Krenulation* (= parallele/regelmässige Faltenachsen)
- *Mullions* = säulenartige Wellung einer kompetenten Schichtoberfläche; zylindrisch; grobe Struktur; im urspr. Gesteinsmaterial entstanden; im Profil gerippt/gefurcht; oft kuspat
- *rod* = stabförmiger/bleistiftförmiger Körper aus ausgeschiedenem Mineral (= Quarz, Calcit, Pyrit etc.); in metamorphem Gestein jeden Grades; monomineralisches, längliches Aggregat
- Extensions-/*Streckungslineation* = parallele Anordnung von Objekten, die infolge Deformation gestreckte Form angenommen haben (z.B. Ooide, Sphärolithe); *Extensionslineare* meist im 90°-Winkel zur Faltenachse (= *Querlineation*), örtlich auch parallele Ausrichtung zur Faltenachse
- *Minerallineation* = bevorzugte Orientierung individueller, länglicher/geplätteter Kirstall-/Mineralaggregate (z.B. lange Amphibolkristalle, Sillimanitnadeln)
- *Druckschatten*/-säume = oft aus spindelfömigen Mineralaggregaten; neugewachsene Körner, die auf gegenüberliegender Seite eines bereits existierenden, kompetenteren Porphyroblasten oder detritischen Korns wachsen und elongierte Sturktur bilden; meist parallel zur Schieferung
- *Boudinage* = Segmentation eines präexistierenden, kompetenteren Körpers innerhalb einer inkompetenten Matrix durch Streckung → *Boudins* (= linear und parallel zur Faltenachse)
    - in <u>niedriggradigem</u> Gestein: Boudins meist getrennt → *pull-apart Struktur*
    - in <u>höhergradigem</u> Gestein: kompetenten Schichten meist nicht zerbrochen → Boudins durch schmale Einbuchtungen getrennt → *pinch-and-swell Struktur*
    - *chocolate-tablet boudinage* = Boudins mit in beiden Streckungsrichtungen ähnlichen Längendimensionen; kaum gestreckte Formen; nicht penetrativ

Zusammenhang zw. Lineationen und Faltenachsen:
- Lineationen meist innerhalb Schieferung gebildet und damit assoziiert
- Streckungslineation oft parallel/geneigt zur Faltenachse
- Streckungsrichtung parallel zur boudinierten Schicht und senkrecht zur Länge der Boudins
- in allen Richtungen Streckung bei chocolate-tablet boudinage

VII. Konzept der Verformung

- grundlegende Veränderungen eines festen Körpers, der äusseren Kräften ausgesetzt wird:
  - *Translation* = Veränderung der Position = *Festkörperdeformation* (= Körper bleibt intakt)
  - *Rotation* = Veränderung der Orientierung = *Festkörperdeformation* (= Körper bleibt intakt)
  - *Dilatation* = Veränderung der Grösse = *nicht-Festkörperdeformation*
  - *Verformung*/Verzerrung = Veränderung der Form = *nicht-Festkörperdeformation*
    - i. *Rutschen* = Bewegung auf diskreter Fläche
    - ii. *Fliessen* = Bewegung, die jeden Materialpunkt des Gesteins erfasst
- Körper wird *gespannt*, wenn einwirkende Kräfte von ihm absorbiert werden statt ihn zu bewegen → Partikelbewegung innerhalb Körper → Veränderung der Form/Grösse → *Verformung*

Verformungsanalyse:
- *Verformungsanalyse* = quantitative Bestimmung der Änderung von Form/Grösse; anwendbar auf:
  - urspr. *kugelige* Objekte (z.B. Ooide, zylindr. Bioturbation)
  - urspr. *ellipsoidale* Objekte (z.B. Pebbles, Xenolithe)
  - urspr. *lineare* Objekte (z.B. Belemniten)
  - Objekte mit *bekannten Winkeln* (z.B. Fossilien)
  - *gleichmässig verteilte* Objekte (z.B. Mittelpunkte von Mineralien, Pebbles)
- gerade/parallele Linien/Flächen bleiten gerade/parallel = alle Teile des Körpers erfahren gleiche Intensität/Art/Richtung = *homogene Verformung* ⇔ *inhomogene Verformung* = im Körper unterschiedlich von Ort zu Ort = gerade Linien/Flächen werden gekrümmt, parallele bleiben nicht parallel, auch Zerbrechung möglich
- fortschreitende/*progressive Deformation* = Bewegung vom unverformten Anfangs- bis verformten Zustand
- *Verformungszustand* = gesamte vom Körper aufgenommene Verformung
- *Verformungspfad* = def. durch Verformungszustände, die Körper während progressiver Deformation durchläuft
- *inkrementelle Verformung* = Verformung von einem Zustand zum nächsten
- *infinitesimale Verformung* = Zeit zw. Zuständen geht gegen 0
- Verformungsmessung auf 2 Arten:
  - *Extension* $\varepsilon = (l-l_0) / l_0$ = lineare Verformung = Änderung der Länge einer Linie (ursprüngliche Linie l_0, neue Länge l einer Referenzlinie)
    - i. *Verlängerung* = pos. Wert
    - ii. *Verkürzung* = neg. Wert
    - iii. bei infinitesimaler Verformung: $\varepsilon = dl/l$
    - iv. in grossem Massstab: *Dehnung* $l/l_0 = (l+ \varepsilon)$
  - *Scherverformung* $\gamma = \tan\psi$ = Winkelverformung = Änderung eines Winkels zw. Linien (Winkelscherung ψ = Änderung des rechten Winkel zw. urspr. senkr. Referenzlinien)
- *Verformungsellipse* = Ellipse mit 2 Hauptachsen durch homogene Deformation eines Materialkreises mit Einheitsradius; 2-dim. graphisches Konzept zur Visualisierung der Menge an linearer und angularer Verformung
- *Verformungsellipsoid* = Ellipsoid mit 3 Hauptachsen durch homogene Deformation einer Materialkugel mit Einheitsradius; 3-dim. graphisches Konzept zur Visualisierung der Menge an linearer und angularer Verformung
- *Hauptverformungsachsen* = Achsen von Verformungsellipse/-ellipsoid; maximale Achse X, *mittl. Achse Y*, *minimale Achse Z*
  - *achsiale Plättung* = Ellipsoid wie Pfannkuchen: $X = Y > Z$
  - *achsiale Auslängung* = Ellipsoid wie Zigarre: $X > Y = Z$

- keine Veränderung Orientierung der Hauptachsen X/Y/Z bei homogener Verformung, konstantes Volumen, gleichmässige Dilatation = *koachsiale Verformung ohne Rotation* = *reine Scherung* ⇔ *einfache Scherung* = *nicht-koachsiale Verformung mit Rotation* = homogene Veränderung der Orientierung, konstantes Volumen
- *Volumenänderung* (= *Dilatation*) $\Delta = (V-V_0) / V_0$ (Volumen V_0 des nicht deformierten und Volumen V des deformierten Zustandes); bei infinitesimaler Verformung: $\Delta = dV/V$
- Flinn Diagramm drückt versch. homogene Verformungszustände aus; $a = X/Y$, $b = Y/Z$, a gegen b aufgetragen, Parameter $K = (a-1)(b-1)$
    - $K = \infty$ → achsiale symm. Extension
    - $\infty > K > 1$ → konstriktionale Verformung (= *prolate*/zigarrenförmige Ellipsoide)
    - $K = 1$ → ebene Verformung bei konstantem Volumen
    - $1 > K > 0$ → Plättungsverformung (= *oblate*/pfannenkuchenförmige Ellipsoide)
    - $K = 0$ → achsiale symm. Plättung

Tektonite:

- Tektonit = zeigt starkes Verformungsmuster
    - *L-Tektonite* = bevorzugte Mineralorientierungen def. Lineationen (v.a. prolate Ellipsoide)
    - *S-Tektonite* = durch durchgehende Foliation dominiert (v.a. oblate Deformation)
    - *L-S-Tektonite* = Foliation und dominierende Lineation (= allg. Verformungsellisoid)
    - *S-L-Tektonite* = Lineation und dominierende Foliation (= allg. Verformungsellisoid)
    - gleichmässig verteilte Lineation und Foliation (= ebene Verformung)
- *kornförmiges Muster* entsteht bei Deformation eines isotropen Gesteins in anisotropen Tektonit
- finite Verformungsanalysen an Reduktionsflecken, Ooiden, flachgedrückten Fossilien, Lavakissen → Achsenebenenschieferung senkrecht zur finiten Verkürzungsachse

Beziehungen zw. Spannung und Verformung:

- bei reiner Scherung: Orientierung der Hauptverformungsachsen entspricht derjeniger der Hauptspannungsachsen (→ $X \parallel \sigma_3$, $Y \parallel \sigma_2$, $Z \parallel \sigma_1$)
- bei einfacher Scherung: nur Orientierung der mittl. Achsen entsprechen sich

VIII. strukturelle Analyse der polyphasen Deformation

- Erklärung der Deformationsgeschichte = Erkennen des rel. Alters der versch. Strukturen
- strukturelle Analyse = zeitl. Einordnung/Abfolge von Strukturen: räuml./geometr. Merkmale der Gesteine studieren → Rückschlüsse von Strukturen im Grossmassstab ableiten:
    - *geometr. Modell* = 3-dim. Bild der untersuchten Region
    - *kinemat. Modell* = Rekonstruktion der zeitl. Abfolge
    - *mechan. Modell* = Rekonstruktion der Verformungs-/Spannungsgeschichte

Grundkonzepte:

- 3 versch. Massstäbe der Betrachtung:
    - *mikroskopisch* = kleine Struktur mit opt./Elektronenmikroskop untersucht → Deformationsmerkmale einzelner Körner, kristallograph. Merkmale, Einzelheiten der Versetzungs-Substruktur
    - *mesoskopisch* = Struktur ohne Hilfe eines Mikroskops betrachtbar (= Handstück/Aufschluss) → Beobachtungen frei von Interpretationen/Rekonstruktionen
    - *makroskopisch* = für vollumfänglichen Aufschluss zu grosse Strukturen → Interpretationen/Rekonstruktionen durch versch. Aufschlüsse
- *geolog. Karte* zur Repräsentation vorgefundener Daten und der Verteilung von Aufschlüssen; mit Farben wird Lokation von *stratigraph./Orientiertungs-Daten* eingezeichnet; *penetrative Strukturen* nicht erkennbar, aber durch konventionelle Symbole gekennzeichnet; Massstab angegeben
- bei bekannter Stratigraphie: Festlegung einer *Verjüngungsrichtung/Ablagerungssequenz* → Bestimmung der Geometrie von Strukturen im Grossmassstab, Festlegung der Kinematik
    - *Unterbrechung* zw. stratigraph. Kontakten → Verwerfung, ev. noch nicht deutlich aufgeschlossen

    - *Wiederholung* einer stratigraph. Sequenz → Festlegung der Achsenebenenspur einer Falte/Überschiebung
- *Formation* = Gesteinseinheit, die wegen Gesteinsart und erkennbaren Grenzen mit anderen Gesteinseinheiten kartiert werden kann
- Orientierung eines planaren Elements im 3-dim. Raum:
    - *Streichen* = Orientierung einer imaginären, horizontalen Linie auf Fläche; durch geograph. Azimuth (= im Uhrzeigersinn von Norden in Grad gemessen) angegeben
    - *Fallen* = senkr. zum Streichen; Linie mit grösster Neigung der Fläche (= *Falllinie*); als Winkel von Horizontalebene nach unten mit Neigungsmesser in Grad gemessen
- Neigungswinkel = bestimmt, in welche Richtung Struktur gekippt ist
- wahre Mächtigkeit $t = w*\sin\theta$ (scheinbare Mächtigkeit w einer Schicht auf Karte, Einfallen θ)
- Orientierung eines linearen Elements im 3-dim. Raum:
    - *Fallazimuth* = Richtung des Einfallens
    - *Fallwinkel* (= Richtung/Abtauchen) = kleinster Winkel zw. Linear und Horizontalebene; in Vertikalebene gemessen
    - *Pitch* = Winkel zw. Linie auf Ebene und Streichrichtung (z.B. bei Rutschstriemen)
- Orientierung einer Falte = Orientierung ihrer Achse und Achsenebene

Verwendung von kleinräumigen Strukturen:
- *Generation* = Gruppe von Strukturen, im selben rel. Zeitintervall entstanden; *synthetisch* (= gleicher Bewegungssinn), meist gleicher Stil, gleiche Orientierung (unabhängig vom Massstab)
    - Gruppierung der Strukturen untereinander nach Deformationsphasen
    - chronolog. Ordnung der Stilgruppen und Bezeichung mit num. Indizes (= F, S, L)
- Entstehung versch. Generationen:
    - während einziger kontinuierlichen Deformation mit wechselnden Orientierungen der Verformungs-/Spannungsachsen
    - während im Abstand von 100 Mio. a voneinander getrennten Deformationsperioden, die versch. Orogenesen angehören
    - während einziger Orogenese mit Überlappung von getrennten Deformationen mit versch. Orientierungen der Verformungs-/Spannungsachsen
- *diachron* verlaufene Faltenbildung = Verformungsereignisse wie Wellen über Gebiet gewandert
- *Interferenzmuster* = durch Überprägung entstandene Komplexität der Geometrie
- *synchrone Falteninterferenz* = wenn Deformation Schichten in fast allen Richtungen verkürzt, ausser in einer Richtung streckt

IX. grossräumige Strukturen und Plattentektonik

- *Kratone* = stabile Kontinente; seism./topograph. (= tekton./isostat.) inaktiv
- *Becken* = grossräumige Vertiefungen, in denen Sedimentbildung stattfindet
- *Gebirgssysteme* = lange, lineare/gebogene Gürtel an Oberfläche der Erde, v.a. entlang von Plattengrenzen
- 3 Hauptmechanismen der krustalen Verdünnung:
    - homogenes Abplatten/Ausdehnen der Kruste
    - lokale Deformation entlang krustaler Abschiebungen (= *Detachment*)
    - Erosion der unteren Lithosphäre durch Aufwölbung der therm. Grenze mit Asthenosphäre
- 3 Hauptmechanismen der krustalen Verdickung:
    - homogenes Verdicken/Verkürzen der Kruste
    - lokale Deformation entlang krustaler Aufschiebung
    - Zufügung krustalen Materials durch Magma, das an Krustenunterseite stecken bleibt und dort kristallisiert (= *Underplating*)

rel. Plattenbewegungen:
- *Lithosphäre* = äussere Schale der Erde; kühle Oberflächenschicht des Konvektionssystems der Erde; sich abkühlende themomechan. Grenzschicht; verdickt sich mit der Zeit; beinhaltet Kruste und Teile des oberen Mantels; Dicke wird durch Geotherm kontrolliert
- *Asthenosphäre* = unterhalb Lithosphäre; mehr oder weniger kontinuierliche, heisse Schicht von schwachen Gesteinen; weniger kalt/dicht/fest als Lithosphäre

- *Platten* = Stücke der Lithosphäre; schwimmen auf Asthenosphäre (= *isostatischer Zustand*); bewegen sich unabhängig rel. zueinander
- *Plattentektonik* = Rel.bewegungen der Platten und daraus resultierende Wirkungen
- *Plattengrenzen* = Ränder der Platten; durch *lineare topograph. Anomalien* auf schmalem Gürtel mit Erdbeben und vulkan. Eruptionen
- Verschmelzen versch. Platten zu einzelner grösseren kont. Masse = *Amalgamation* ⇔ *Dispersion* = tekton. Aufbrechen/Zerstreuen der vorher amalgamierten Platten
- Wärmefluss von Kern/Mantel = fundamentale antreibende Kraft für Konvektion im Erdmantel und Plattenbewegung; durch Radioaktivität erzeugt
- Antriebskräfte als Hauptkräfte der Plattenbewegung:
    - *Rückendruck* = gravitativ verursachte Körperkraft; lässt Lithosphäre vom erhöhten Rücken wegrutschen; 10-20 MPa
    - *Plattenzug* = auf Platte durch dichte ozanische Platte ausgeübt, die unter eigenem Gewicht an Subduktionszonen in weniger dichte Asthensphäre sinkt; hängt stark von Dichtekontrasten ab; 2.5mal relevanter als Rückenzug
- Widerstandskräfte als Hauptkräfte der Plattenbewegung:
    - *basale Scherung* = am Boden der Platten durch darunterliegende, konvektierende Asthenosphäre ausgeübt
    - *Reibung* = Widerstand entlang Plattenkontakten
- *Rinnensog* = Kraft an Plattengrenze; zieht hangende Platte in Richtung der Rinne einer Subduktionszone
- Idee der Kontinentaldrift (Meteorologe *Alfred Wegener*, 1920): grossräumige Bewegungen zw. *Kontinentalblöcken*
- *tektonischer Zyklus* = Zus.fassung der Prozesse, die ozean. Becken durch Kontinente öffneten und Ozeane schlossen, um Berge und neue Kontinente zu produzieren
- rel. Horizontalbewegung von Lithosphärenplatten = *starre Festkörperverschiebung* einzelner mechan. Einheiten (= bei Bewegung eines Teiles auch Bewegung der ganzen Platte); 1-20 cm/a
    - *Konvergenz* = angrenzende Platten bewegen sich aufeinander zu, Kruste vergrössert sich; konvergente/destruktive Plattengrenzen → Kollision → *Kompression*; schiefe Konvergenz → *transpressive Deformation*
    - *Divergenz* = aneinanderliegende Platten bewegen sich voneinander weg, Krustengebiet verkleinert; divergente/konstruktive Plattengrenzen → *Extension* → Mantel-Aufwölbung; schiefe Divergenz → *Transtension*
    - *Blattverschiebung* = seitl. Aneinandervorbeigleiten der Platten in horizontaler Richtung: Transform-/konservierende Plattengrenzen → seitl. Scherung
- Platzprobleme verursachen Kräfte, die Gesteine deformieren → *sekundäre Strukturen*
- *Rotationspole* (= *Eulerpole*)= 2 antipodale Punkte, in denen jede Achse, um die sich Platten wie steife kugelförmige Kappen drehen, die Oberfläche der Erde schneidet
- *kont. Akkretion* = graduelles Wachsen der Kontinente durch Anlagerung von Magma und Deformation der prä-existenten Kruste
- Plattenorganisation bildet 2 Netze: Kette divergenter Grenzen, Kette konvergenter Grenzen; werden unterteilt/verbunden von Transformgrenzen
- Platten-Divergenz:
    - *sea-floor spreading* = vollständiger Prozess der Platten-Divergenz
    - *Riftsystem* = tekton. Körper einer Platte divergieren, bilden bei genügend grossen Dehnbewegungen neue ozean. Kruste; führt zum Auseinanderbruch kont. Platte
        i. *Aulakogen* = versagtes Rift = führt nicht zum kont. Auseinanderbrechen
        ii. *plume-erzeugtes Rift* = durch *Mantelplumes*/*Diapire* verbiegt sich aufsteigende Asthenosphäre; reichlich vorhandender Vulkanismus
        iii. *passives Rift* = Lithosphärenextension unter tekton. Kräften; schmaler Graben klastischer Sedimentation; jüngerer, begrenzter Vulkanismus
    - *passiver Kontinentalrand* = treibender, nicht mehr mit Spannungen verformter Kontinentalrand nach Rifting → *therm. Subsidenz* = innerer Rand des Kontinents sinkt wegen dichterer kälterer Kruste unter Meeresspiegel, nicht mechan. Prozess
        i. *Küstenebene*, *Kontinentalschelf*: Kontinentalrand neigt sich leicht in Richtung zum Meer → *perikontinentales Meer*; Ausbreitung von flachmarinen Bedingungen über Kontinent → *epikontinentales Meer*
        ii. *Kontinentalabhang*: Übergang des Schelfs in steileres topograph. Gefälle

iii. *Kontinentalsockel*: Verbindung von flachem Ozeanboden mit Kontinentalabhang

- *mittelozeanischer Rücken* (= MOR) = Bruch zw. divergierenden Platten; durch Magma aus oberem Bereich der Asthenosphäre gefüllt → *ozean. Gebirgsrücken-System*
  i. *axiales Rifttal* = dyn. aktiver Teil; eigentliche Plattengrenze
  ii. *mittelozean.-Rücken-Basalte* (= MORBs)
  iii. *konstruktive Plattengrenzen* = entlang ozean. Rücken
  iv. *Akkretion* = Bildung neuer Kruste

- Platten-Konvergenz:
  - *Subduktion* = strukturelles Abtauchen einer dichteren Platte unter eine andere
    i. *Wadati-Benioffzone* = geneigte planare Zone von Erdbebentätigkeit; taucht unterhalb Inselbogensysteme ein; schleppt Isothermen mit hinunter
    ii. *slab* = abtauchende Platte
    iii. *destruktive Plattengrenzen* = Subduktionszonen
    iv. *magmat. Bogen* = Ketten von Vulkanen
    v. *Akkretionskeil* = Abschabung/Verformung von auf abtauchender ozean. Platte abgelagerten Sedimenten
    vi. *slab break-off* = Lithosphäre bricht, sinkt in Asthenosphäre, schwebt
    vii. *rollback* = wegen durch Gravitation verursachter Zugkraft des Slabs zur offenen See gerichtete Migration der Rinne
    viii. *Kollisionszone* = Zus.treffen einer leichten Lithosphäre mit oberer Platte
  - *magm. Bogen* = Konvergenz ozean. Platten; durch Wachsen von Vulkanketten
    i. *Inselbögen* = eine Platte wird an Plattengrenze über andere geschoben
    ii. *ozean. Rinne* = topograph. Vertiefung des Meeresbodens; Grenze zw. abtauchender und überlagernder Platte → *Rinnen-Füllung* durch Sedimentation
    iii. *äussere Aufwölbung* = topograph. Höhe; durch elast. Biegung der subduzierten Platte
    iv. *Forearc* = *Bogen-Rinnen-Spalt* = zw. Bogen und Rinne; vom Akkretionskeil aus stark verformtem, vom Bogen geliefertem, klastischem Material unterlegt
    v. *tekton. Underplating* = abgeschabte Sedimente werden an Unterseite in Akkretionskeil eingebunden
    vi. *Mélanges* = chaotische Ablagerungen aus mm- bis km-grossen Fragmenten in feinkörniger sedimentärer Matrix
    vii. *Backarc-Bereich* = erfährt Kompressions-/Extensions-/Blattverschiebungsdeformation
    viii. *verbliebener Bogen* = abgestorbener Bogen ⇔ *aktiver Bogen*
    ix. back-arc/*Randbecken* = Gebiet der ozean. Kruste zw. Inselbogen und Kontinent
  - *aktiver Kontinentalrand* = leichtere kont. Kruste überfährt ozean. Platte
    i. Retro-arc Becken = Überschiebung an Kontinentalrändern unter Kompression
  - *Kollision* = Zus.stoss von Kontinenten bei Schliessung eines Ozeans (= Verdickung)
    i. *Faltengebirgsgürtel* = hohe Topographie durch Hebung nach Verdickung
    ii. *Freilegung* tiefliegenden Gesteins durch Erosion, *Auffüllung* sedimentärer Becken
    iii. *Sutur*(-zone) = Kontaktzone zw. kollidierten/verkürzten Platten; Gebirgszug
    iv. *Ophiolithe* = Klippen ozean. Lithosphäre des geschl. Ozeans; entlang Sutur
    v. *Obduktion* = Akkretion ozean. Lithosphäre am Rand einer kont. Platte
    vi. oft *sukzessive Abfolge*: Subduktion – Obduktion – Kontinent-Kontinent-Kollision
    vii. metamorpher Kern (= Achse) = komplizierte Zone; oft neben Sutur
    viii. Anatexis = Metamorph-werden und Schmelzen der tiefen Wurzeln eines Gebirges
    ix. Vergenz = starke Asymmetrie durch horizontales Kräftepaar bei Überschiebung
    x. Hinterland = Zone, wo Grundgebirge und krustale Gesteine intensiv verformt sind
    xi. Vorland = durch Hauptüberschiebung entlang Rändern der metamorphen Achse vom Hinterland getrennt
    xii. Falten-und-Überschiebungsgürtel = aus Sedimenten, die von orogenen Achse weg gestapelt wurden
    xiii. periphere Vorlandbecken = aus lithosphärischer Flexur oder Herunterbiegen der Kruste durch seitliche Überschiebungen
    xiv. Molasse = Sedimente, die kont. alluviale Fächer, Überschwemmungsebenen, Flachlandumgebungen wiederspiegeln

- *Orogenese* = komplizierter Prozess der Gebirgsbildung; Plattentektonik als Antriebsmechanismus
    i. *Orogene* (= Orogengürtel) = nicht immer Gebirge, nicht immer sichtbar
    ii. Gebirge entlang divergenter Plattengrenzen sind höher als Landesinnere stabiler Platten; höchste Gebirge an konvergenten Plattengrenzen

- Blattverschiebungsgrenzen:
    - *Transformstörungen* = Zonen, in denen Platten aneinander vorbeigleiten
        i. *konservierende Plattengrenzen* = kein Plattenmaterial wird zugeführt/zerstört
        ii. *Rücken-Rücken-Transformzone* = verbindet Teile divergierender Plattengrenzen = *Bruchzone* = parallel zur Spreizungsrichtung des MOR → *Horizontalverschiebung*
        iii. *Rücken-Trog-Transformzone* = verbindet di- und konvergierende Plattengrenzen; längste Transformstörung
        iv. *Trog-Trog-Transformzone* = verbindet Teile konvergierender Plattengrenzen; selten; Subduktionsrichtung wechselt über Transformstörung hinweg
    - Strike-slip-/*Transform-Rand* = meist unregelmässig (= gewunden)
        i. *Transpression* = Transformzone + Kompression
        ii. *Transtension* = Transformzone + Extension
        iii. Becken mit steilen Bruchbegrenzungen und rhomboederförmigen Umrissen
        iv. Zerr-/*Pull-apart-Becken* = rauten-förmig; typisch

- *Tripelpunkte* = Intersektion zw. 3 Platten bzw. 2 Plattengrenzen, die sich treffen; passen versch. Geschw. der 3 Platten an; 125 theoretische Möglichkeiten, aber nur 16 kinematisch auf Sphäroid möglich, 14 davon stabil; aktuell existieren 6 stabile Typen: RRR, TTT, TTF, FFR, FFT, FRT (R = divergent, T = konvergent, F = Transformstörung)
    - mit Rücken assoziiert:
        i. *RRR* (= stabilster; Galapagos)
        ii. *RFF*
        iii. *RFT* (= San Andreas)
        iv. (RRT, RTT = inaktiv; RRF = instabil)
    - mit Rinnen assoziiert:
        i. *TTT*
        ii. *TTF* (= Peru-Chile-Rinne)
        iii. *TFF* (= westlicher nordamerikanischer Rand)
        iv. *TRF* (= San Andreas)
        v. (TRR, TTR = inaktiv)
    - mit Transformstörungen assoziiert:
        i. *FFR*
        ii. *FFT* (= westlicher nordamerikanischer Rand)
        iii. *FTT* (= Peru-Chile-Rinne)
        iv. *FRT* (= San Andreas)
        v. (FFF, FRR = instabilste)
- *Intra-Platten Deformation* = tekton. Spannungen werden innerhalb Platten weit übertragen
- *Epeirophorese* = vertikale Bewegungen in Kontinenten:
    - *Abschiebungen* = fallen an Oberfläche mit ca. 60° ein
        i. *Abscherhorizonte* = flacher; schneiden Abschiebungen weiter unten ab
        ii. *metamorpher Kernkomplex* = urspr. bis zu 20 km unter Abscherhorizont gelegene Gesteine, die durch wegen extrem grosser Extension abgestreifte flachere Lagen aufgeschlossen wurden
- *kontinentale Extrusion* = Blattverschiebungen durch Bewegung grosser kontinentaler Blöcke
    - Identationstheorie = von Maschinenbauingenieuren entwickelt; sagt für einfache Form des Plastikmediums und *Indenters* mathemat. *Gleitlinien* (= best. Konfiguration von Bruchlinien) voraus;
    - Entweichen = seitl. Bewegung stabiler Blöcke; kompensiert Konvergenz
- *Hotspots* (= *Mantel plumes*) = stationäre Magmaquellen; schmale Röhren von heissem Mantelmaterial → *Hotspot-Spur* = aseismische lin. Kette erloschener Vulkane und *Seamounts*
- *Flutbasalte* = durch Hotspots produzierte enorme Volumen Basaltmagmas; entsprechen intraozean. basaltischen Plateaus
- Kimberlite