

# Noter til *Sedimentære processer og miljøer*

Efteråret 2008

## Indholdsfortegnelse

Denudation og forvitring.....	4
Fysisk forvitring.....	4
Fryse-Tø.....	4
Indstråling.....	4
Trykudligning.....	4
Organisk aktivitet.....	4
Kemisk forvitring.....	4
Processer.....	4
Kontroller.....	5
Jordbunds dannelse.....	5
Lerminerale og muddersten.....	5
Dannelse.....	6
Oceansedimenter og -miljøer.....	7
Marine sedimenter i Danmark.....	7
Dyb-marine miljøer.....	7
Oceancirkulation.....	8
Materiale.....	8
Anoxiske aflejringer og organisk faciesanalyse.....	9
Anoxiske akvatiske miljøer.....	9
Typer af anoxiske miljøer.....	9
Kulstofrige organiske sedimenter.....	10
Oprindelse.....	10
Kul.....	10
Råolie.....	10
Organisk faciesanalyse og stabile isotopers anvendelse i faciesanalysen; metoder og eksempler.	
Organisk diagenese, Diagenese i finkornede sedimenter.....	11
Siliklastisk diagenese.....	11
Kompaktion.....	11
Cementering.....	11
Diagenetiske strukturer.....	11
Authigenese.....	11
Rekrystallisation.....	11
Replacering.....	11
Stabile isotoper.....	11
Ilt.....	12
Kulstof.....	12
Strontium.....	12
Globale ændringer i den sedimentære historie.....	12
Sandsten gennem tiden.....	12

Lerminerale gennem tiden.....	12
Karbonater gennem tiden.....	12
Evaporitter og evaporitmiljøer.....	13
Mineraler og rækkefølge.....	13
Evaporitmiljøer.....	13
Lavvands-marine evaporitter.....	13
Dybmarine evaporitter.....	14
Densitetsdrevne bevægelser.....	14
Sedimentation og tektonik.....	15
Kratonisk sedimentation.....	15
Pladetektonik og sedimentære bassiner.....	15
Divergente grænser.....	15
Konvergente grænser.....	16
Transforme grænser.....	16
Tektonik og sandstens petrologi.....	16
Kontinentale sedimenter, facies, tekstur, struktur.....	18
Sedimentære strukturer.....	18
Ribber, klitter og sandbølger.....	18
Sediment facies.....	18
Klassifikation af flodkanaler.....	19
a) Bundtransport floder.....	19
b) Sandede bundtransport floder.....	19
c) Mixed load floder.....	19
d) Suspended load floder.....	20
Alluviale faner og fane-deltaer.....	20
Alluviale faner.....	20
Fane-deltaer.....	20
Flodsystemer.....	20
a) Flettede floder.....	20
b) Meandrerende floder.....	20
c) Anastomoserende floder.....	20
Kystzone miljøer.....	22
Deltaer.....	22
Deltatyper.....	22
Densitetsforskelle.....	22
Tidale (peritidale) miljøer.....	22
Tidal flats.....	22
Barriere komplekser – Barriere-øer.....	23
Barriere komplekser – Laguner.....	23
Barriere komplekser – Dynamik.....	23
Turbiditter.....	24
Andre former for gravitationelle skred.....	24
Grain flows.....	24
Fluidised (liquefied) flows.....	24
Debris flows, mud flows.....	24
Turbidity strømme.....	24
Sediment kilder.....	24

Turbulent strøm.....	24
Bouma sekvens.....	25
Udløser.....	25
Karbonatmiljøer.....	26
Kontrolmekanisk på karbonataflejring.....	26
Klassifikation af karbonataflejring.....	26
Dolostones og dolomitter.....	27
Diagenese.....	27
Opløsning.....	27
Replacering.....	27
Cementeret.....	27

# Denudation og forvitring

Fysisk og kemisk forvitring.

**Erosion:** Udjævning af relief → **Peneplanisering**

## ***Fysisk forvitring***

Bjergartsfragmenter kan stadig erkendes. Transporthistorie og tid kan ses.

### **Fryse-Tø**

Vand som aktiv agent, udvidelse af vand når frysepunktet nås. Fungerer bedst når sprækker i klipper er hyppige, og når temperaturerne svinger omkring 0°C.

### **Indstråling**

Når mineraler udsættes for store temperaturudsving → Thermal ekspansion og kompaktion

Virker bedst i aride klimaer, fx ørkener. Lermineraler der opsvulmer kan give yderlig belastning.

### **Trykudligning**

Når materiale kommer fra højere tryk til lavere, fx fra at være dybt begravet, til atmosfæriske forhold.

### **Organisk aktivitet**

Planterødder, der forsøger at udvide sprækker.

## ***Kemisk forvitring***

Bjergartsfragmenter kan ikke erkendes. Transporthistorie og tid ses ikke. Suspenderet materiale påvirkes mindre af transportprocesserne end bed-load.

- 1) Nogle bestanddele kan opløses fuldstændigt. Disse fjernes fx via grundvand og overfladeafstrømning. Fx calcit og halit.
- 2) Andre bestanddele omdannes til nye mineraler. Fx glimmere.

### **Processer:**

1. **Simpel opløsning** (kvarts, calcit, salt)
2. **Hydration og dehydratation** (vand tilføjes eller fjernes til et mineral, fx gips-anhydrit, jernhæmatit)

3. **Hydrolyse** (Hydrogen-ioner replacerer mobile ioner i mineralet)
4. **Oxidation-reduktion** (En atom/ion optager eller mister elektroner. Rustprocess: Jern(II) → Jern(III))

## Kontroller

Høj temperatur → Høj kinetisk termisk energi → Høj reaktionsrate

**Temperatur** har eksponentiel indvirkning på forvittringsraten. Tærskelværdier er ikke brugbare, da processerne kan foregå over lang tid.

**Denudationsrate:** Hastighed af materialefjernelse. Hvis materialet ikke fjernes, kan det bremse forvittringsraten. Forvitring forøges af relief.

De svageste mineraler opløses først. Når alle disse er væk, opløses de næst-svageste.

**Vand:** Mange af processerne kræver vand.

**Kemisk forvitring størst i troperne:** Høj temperatur og fugtighed tilstede. Dannelse af kaolinit.

## Jordbundsdannelse

Består af forvitret udgangsmateriale, organisk materiale som tilføres af organismer og kemiske elementer der bevæges igennem via grundvand.

- O-horisont: Humus, delvist uomodnet organisk mat
- A-horisont: Mineraljord blandet med humus
- (E-horisont): Udvasningshorisont, lerminerale fjernet nedad
- B-horisont: Akkumulation af lerminerale
- C-horisont: Delvist omdannet materiale

## **Lerminerale og muddersten**

Ler + silt. Lerde formationer er dårligt resistente overfor erosion. Disse er ofte basis for daldannelse.

Har ofte en grad af **skifrihed** (pga. orientering af lerminerale under aflejring/tidlig diagenese).

Består ofte af kvarts, feldspat og lerminerale.

Lerminerale er fyllosilikater; mineraler der består af lagdelte silikat tetrahedraer og oktahedraer. Har lag imellem, der optager kationer.

**Smectit:** Svulmееvne, H<sub>2</sub>O imellem lagene. Svulmееvnen mistes ved opvarmning.

## Dannelse

Ved kemisk forvitring. **Typen af lermineralet der produceres, er dikteret af omfanget af nedbrydning.** Gennemgående nedbrydning producerer kaolinit og gibbsit.

**Kaolinit:** Tropisk miljø, især ved udmundingen af junglefloder.

**Chlorit:** Høje breddegrader

**Montmorillonit:** Dannes fra basalt, især i nærheden af midtoceanrygge.

**Illit:** Tempereret miljø

**Omdannelse af lerminerale sker ofte.** Sæmmensætningen af lerminerale man ser i en aflejring i dag, kan altså være forskellig fra hvordan den var i aflejringstidspunktet.

**Glaukonit:** Dannes i uroligt, lavvandet, oksideret havvand. Ofte i lokale zoner med reduktion. Høj koncentration af glaukonit sker pga lav sedimentationsrate. Tykke grønsandsaflejringer findes eks på toppen af en SU-sekvens, lige under en inkonformitet.

**Bentonit:** Dannes ved omdannelse af vulkansk aske på havbunden. Via tykkelse af bentonitlag, kan man finde paleovindretninger og bestemme vulkanens position. Kan bruges til stratigrafisk korrelation.

**Sorte skifre:** Sort pga. højt indhold af ikke-oxideret organisk materiale. Aflejret under reducerende, lav-ilt forhold. Ofte sekunder udfældning af pyrit.

# Oceansedimenter og -miljøer

Forskellige lerminerale dannes under forskellige forhold under forvitringen.

## **Marine sedimenter i Danmark**

Lagene ved den prækvartære overflade er fra Kridt til Miocæn, og alle marint dannede, og mere eller mindre lavvandede. Bassinet for aflejring indskrænkes gennem perioden.

6 cykler, afgrænset af skarpt lithologisk skift samt glaukonithorisonter (inkonformitet).

- **Kridt:** Meget lidt terrigent materiale, derfor består aflejringerne af det biogent tilførte materiale. Kalkalger + coccolitter (planktoniske).  
Flint fra kiselskallede organismer (svampe og diatomeere),.  
I lavere vand op mod kysterne dominerede byzoer der giver bankede aflejringer.
- **Paleocæn:** Lavvandet → Bryozokalk (Danien)  
Dog med variationer. I centralgraven starter indsykning i sen Kridt, og den maksimale indsykningsrate sker i dag. Der sker en hævnning i Østersøen, og skrivekridtet eroderes, og danner basis for Kertemindemergelen vestpå.  
Meget smectit i Paleocæn-Eocæne sedimenter.
- **Eocæn:** Det danske bassin var ret lavvandet, men pga tilførsel af koldt arktisk vand fra Norge-Grønlandshavet virker aflejringerne som dybhavssedimenter med kalkopløsning (CCD)  
Koldt vand kan indeholde mere luft → Større indhold af CO<sub>2</sub> → Kulsyre → Karbonatopløsning.  
Subtropisk klima ved DK, fald efter Eocæn Søvind mergel i Øvre Eocæn.
- **Oligocæn:** Koldt klima, kalkopløsning, muligvis istid
- **Miocæn:** Glimmersilt

## **Dyb-marine miljøer**

Shelf – Slope – Rise - Abyssal

Lav grad af generodering og -aflejring.

Livstid af ocean: ~200 mA, Gamle sedimenter findes i zoner med kollision, ofte metamorfiserede.

Densitet af vand størst ved 4°C → Bundtemperatur ens i alle oceaner

## Oceancirkulation

Styres af kontinenternes positioner og klima. Polar is nødvendig for at drive salinitetspumperne.

I dag er der selv ved bunden af oceanerne tilstedeværelse af ilt og næringsstoffer.

Hastighed af bundstrøm:  $\sim 2 \text{ cm/s}$  → Transport af sediment → Strukturer af visse sloper

Upwellingzoner (bundvand op) giver meget liv, da bundvandet stadig indeholder næringsstoffer og ilt. Dannelse af fx koralrev.

## Materiale

Pelagiske sedimenter. Terrigent ler og biogent skeletalt materiale

Kalkslam i varmt (og ikke for dybvandet) hav. Diatomeere findes i zoner med upwelling, da de kræver mange næringsstoffer. I koldere vande udkonkurrerer de kalkorganismerne.

Det meste af det terrigene sediment fanges på shelferne.

**CCD:** Den dybde, hvor karbonater opløses i samme rate som de tilføjes. Ved usædvanlig høj sedimentationsrate, eller hvis karbonatmaterialet har en hinde af organisk materiale, kan calcitten/aragonitten godt overleve.

Hvor oceanet ikke er dybt nok, varmt nok eller rigt nok i næringsstoffer, dominerer terrigent ler.



# Anoxiske aflejringer og organisk faciesanalyse

## **Anoxiske akvatiske miljøer**

En masse af vand, der er så tømt for ilt at al aerobisk, biologisk aktivitet er stoppet. Anoxiske miljøer opstår, når forbruget af ilt er større end tilførslen.

Krav til ilt relaterer ofte til overfladenær, biologisk aktivitet, og visse bakterielle nedbrydningsprocesser.

Ilttilførslen styres i høj grad af vandcirkulation, som afhænger af globale klimabetingelser.

Aerobe bakterier nedbryder først organisk materiale via ilt.

Når ilt opbruges, overtager anaerobe bakterier, der oksiderer det organiske materiale via nitrat.

Til sidst overtager anaerobe bakterier, der oksiderer via sulfat.

I et oxisk miljø, foregår ilt-processerne et stykke ned i havbunden, hvorefter sulfat- og nitrat-processerne overtager. Her er der bioturbation af havbunden.

I et anoxisk miljø, stopper disse meget længere oppe, og sulfat- og nitrat-processerne tager over den sidste den af vandsøjlen, og ned i havbunden. Her er der ingen bioturbation af havbunden.

Når uomodnet organisk materiale bevares i mange anoxiske miljøer, er det fordi sulfat- og nitratprocesserne er langsomme, og er overgået af en sedimentationsrate.

## Typer af anoxiske miljøer

1. **Store anoxiske søer** – Permanent opdeling af vandsøjlen giver en udvikling mod anoxisk bundvand. Specielt i store søer, der ikke omrøres hvert år, når overfladelaget når samme temperatur som bundvandet, fordi temperaturen er konstant. Ikke et problem i tempererede klimaer.  
Hvis koldt, veliltet overfladevand fra floder tilføres, synker det til bunds, og giver gode iltforhold her.
2. **Anoxiske afsnørede bassiner** – Store bassiner der er afsnøret fra den globale havcirkulation. Bassinet skal have en positiv vandbalance (mere vand ind end ud), så salint, iltholdigt bundvand fra det åbne ocean ikke løber ind over tærsklen. Fx sortehavet.
3. **Anoxiske lag pga upwelling** – Når ilttilførslen i dybt vand ikke kan udligne den høje biologiske aktivitet i de øvre vande.
4. **Anoxiske lag i det åbne ocean** – Steder i oceanet der er langt fra de polære iltrige havstrømme. De svarer bedst til de globale oceanske anoxiske begivenheder under global klimatiske opvarmning og store transgressioner.  
I dag fx i det nordlige Indiske Ocean og det nordøstlige Stillehav.

## **Kulstofrige organiske sedimenter**

Akkumulationer af uomdannet kulstofrigt stof. **TOC**: Total Organic Carbon. Ikke alene faktor for kvaliteten af en kildebjergart. Flere analyser skal gøres, for om det organiske kulstof eks omdannes til olie.

### **Oprindelse**

Træer og landplanter har meget (uaktivt) C bundet som rødder, grene osv. Derfor bliver disse aflejringer til kul.

Alger og plankton har mere aktivt kulstof. Disse bliver til hydrokarboner; Olie + Gas. Disse lever i den øverste zone der er oplyst af solen.

### **Kul**

Udvikling indtil metamorfose: (Tørv/Uomdannet plantemateriale) → Brunkul → Stenkul → Gas.

I denne rækkefølge stiger TOC og dermed brændingsværdien.

Tre konditioner skal opfyldes, for at kul dannes.

- (1) Frodig plantevækst.
- (2) Hurtig produktion af død vegetation, der hurtigt fjernes fra den frie, atmosfæriske ilt.
- (3) De to første kriterier skal ske i et tidsinterval, hvor tilførslen af andre sedimenter er lille.

### **Råolie**

Organisk materiale der er spredt som væske (olie) eller som gas (naturgas) i porerum af sedimentære aflejringer. Består af 85% hydrogen og 13% carbon.

Naturgas består hovedsageligt af methan (CH<sub>4</sub>).

Kildebjergarten er ofte finkornede, relativt dybvands-marine sedimenter.

# Organisk faciesanalyse og stabile isotopers anvendelse i faciesanalysen; metoder og eksempler. Organisk diagenese, Diagenese i finkornede sedimenter

## **Siliklastisk diagenese**

Hovedregel: Diagenese: < 300°C, 1-2 kbar - Metamorfose: >300°C, > 1-2 kbar

### Kompaktion

Ukonsolideret mudder: 60-80% vand, som uddrives under kompaktionen, sand har meget mindre → Differential kompaktion

**Trykopløsning:** Under højt tryk i kontaktpunkter mellem korn.

### Cementering

Når nye mineraler udfældes i porerummene, når grundvand strømmer igennem. Ofte kvarts, calcit eller hæmatit.

Især kvarts har lav opløselighed, derfor kræves en betydelig grundvandsgennemstrømning.

Kalcit kan opløses og udfældes via pH fluktuationer.

### Diagenetiske strukturer

Konkretioner og noder – Zoner med intens udfældning, ofte hvor permeabiliteten er højere end ellers.

### Authigenese

Nye mineraler der gror fra gamle genbrugte mineraler. Fx vækst af hæmatit eller pyrit.

### Rekrystallisation

De tilstedeværende mineraler bevarer sin originale kemi, men krystallerne gror større.

### Replacering

Et andet mineral overtager det originale minerals plads. Kræver samtidig opløsning af den første, og udfældning af den anden (Kræver visse kemiske ligevægte).

## **Stabile isotoper**

Def: Atomer med samme antal protoner og elektroner, men med varierende antal neutroner og dermed masse. Disse er ikke radioaktive. Samme kemiske egenskaber, da disse styres af

elektronkonfigurationen.

## Ilt

$^{16}\text{O} + ^{18}\text{O}$ : Giver information om isvolumen. Ved højere temperaturer er  $^{18}\text{O}$  beriget i iskerner og forarmet i aflejringer, da det har været lettere for de tungere vandmolekyler at undslippe via fordampning.

Organismer er ikke selektive om, hvilken iltisotop optages.

## Kulstof

$^{12}\text{C} + ^{13}\text{C}$ : Giver information om havcirkulationen.

Organisk materiale har lavt indhold  $^{13}\text{C}$  → Opkoncentrering af  $^{12}\text{C}$  i dybmarine miljøer.

Denne uligevægt ligestilles ved havcirkulation.

## Strontium

$^{86}\text{Sr} + ^{87}\text{Sr}$ : Datering fra og med sen Eocæn.

Forholdet ændres lineært siden sen Eocæn.

## ***Globale ændringer i den sedimentære historie***

Storskala, globale ændringer i Jordens historie. Landplanter, fotosyntese, drivhusklima

## Sandsten gennem tiden

Gråwacker meget almindelige i starten. Senere arkoser (feldspatsandsten), til sidst kvartsarenitter.

## Lermineraller gennem tiden

Indtil Paleozoikum: Illitter, derefter smectitter + kaolinitter

Kan skyldes omdannelse af gamle lermineraller til illit, som er mest stabilt under begravelse og diagenese.

Kaolinitten kom med landplanterne, der giver tid til dannelsen af mineralet.

## Karbonater gennem tiden

Meget høj produktion under globalt drivhusklima. Efter den Kambriske eksplosion har mange arter anvendt karbonat til dannelse af skaller.

# Evaporitter og evaporitmiljøer

Kemisk dannede sedimenter. Styret af koncentrationer og opløseligheder.

Udfældes fra hypersaline opløsninger kendt som brines. Brines opstår, hvor mængden af vand der tabes gennem evaporation af vand overstiger tilførslen af nyt vand, der kommer fra oceanet, nedbør, overflade- og grundvand.

Evaporitmiljøer findes i aride klimaer. Steder med høj termisk energi (fra solen), og lav nedbør. Derfor ofte i højtryksområderne imellem 10° og 30° graders bredde, hvor også ørkenerne findes. Der findes både marine og ikke-marine evaporitmiljøer.

Mange evaporitaflejringer viser repetition: Brine'en har været genopfyldt. 1 km normalt havvand giver 15 m evaporitter.

## Mineraler og rækkefølge

De mest almindelige evaporitmineraler er karbonater, sulfider (gips og anhydrit) og halider (halit).

De dårligst opløselige bestanddele udfældes først.

$\text{CaCO}_3$  (50% evaporation) → Gips (senere anhydrit) (85%) → Halit (90%) → Kalisalte (95%)

Halit gør 80% af rumfanget af evaporitmineralerne efter en komplet evaporation. Karbonaterne er ofte fjernet fra opløsningen af biogene organismer inden den kritiske koncentration opnås.

## Evaporitmiljøer

(1) Lukket bassin: Bulls-eye mønster (2) Bassin med tilførsel: Tear-drop mønster

### Ikke-marine evaporitter

Playa'er. Kun lidt halit udfældes. Bulls-eye mønster.

### Lavvands-marine evaporitter

#### Sabkha aflejringer

Brede supratidale og intertidale flader, langs kysten af aride landmasser. Salint grundvand flyder op, og fordamper på fladen → Udfældning af evaporitter.

## **Lavvands-marine shelf- og basin-aflejringer**

Zechstein aflejringerne fra Perm i Nordeuropa. Tidalt styret genopfyldning af bassin der var afgrænset af barriere har givet kilometertykke evaporitaflejringer.

## **Dybmarine evaporitter**

Eksempelvis Middelhavet i Miocæn.

Bassinet blev ved global regression og Afrikas kollision med Spanien afgrænset ved Gibraltarstrædet.

Der har været en stadig tilførsel af nyt vand, hvilket har givet kilometertykke aflejringer. Til sidst har bassinet dog været totalt lukket af.

## ***Densitetsdrevne bevægelser***

Halit har lavere densitet end almindelige detritale sedimenter (de fleste andre evaporitminerale har højere densitet). Det er denne densitetsforskel der driver massebevægelserne ved stor dybde.

Evaporiternes plumebevægelser skal startes med en ustabilitet, som kan dannes ved jordskælv, forkastninger og lign. Ved senere udvikling af salt-horsten kan forsyningen af salt fra nedenliggende, tilstødende saltmagasiner afskæres, og saltstrukturen får kugleform.

Længere oppe bliver mineralerne opløst af det cirkulerende grundvand, og densitetsforskellene bliver så små at bevægelserne stopper.

Under istider kan massebevægelserne fortsætte lidt højere op, da grundvandet er frosset.

# Sedimentation og tektonik

Partikulære sedimentære aflejringer og basinformer er forbundet med partikulære typer af tektoniske situationer. Bassiner og indsykning dannes og drives ofte af pladetektonik.

## Kratonisk sedimentation

**Kraton:** Det stabile center af et kontinent. Tynde sedimentære aflejringer ovenpå Prækambrisk grundfjeld. Kratonerne udbygges ved bjergkædedannelse langs yderkanten.

Kratonerne er karakteriseret ved at have en meget lav grad af vertikal bevægelse. Bassiner og buer bygges langsomt, er flade, og store i udstrækning.

## *Pladetektonik og sedimentære bassiner*

Opdagelsen af oceanbundsspredning viste, at Jordens skorpe ikke er statisk, men består af en gruppe lithosfæriske plader der bevæger sig relativt i forhold til hinanden på Jordens overflade. Havbund har en omtræntlig levetid på ~200mA, og ingen havbund der findes i dag er ældre end Jura.

Havbund dannes ved spredningszoner og subduceres under den mere flydedygtige kontinentale skorpe. Når kontinenter kolliderer bliver ingen af dem subduceret, i stedet dannes bjergkæder. Selvom mange grænser er en blanding, skelner man mellem tre slags pladegrænser:

1. **Divergente (passive) grænser:** Konstruktive grænser, spredningszoner. Ekstensiv tektonik, rift-bassiner
2. **Konvergente (aktive) grænser:** Kolliderende plader, kompressional tektonik (foldning og overskydning). Medmindre de begge er kontinentale plader, subduceres den ene (normalt oceaniske) plade under den anden.
3. **Transforme grænser:** Plader der gnider mod hinanden. Strike-slip forkastninger.

## Divergente grænser

Skorpe rives fra hinanden, og varmt materiale fra kappen bevæger sig opad. Dannelse af riftbassiner, der har flere stadier. Den øst-afrikanske grænse er på et tidligt stadie.

Der dannes et stort antal normalt-forkastede blokke, der delvist kompenserer for ekstensionen. Sedimentationen i riftbassinet er domineret af groft, umodent alluvialt materiale.

I den senere udvikling skyller havet ind over riftzonen (shelf-sedimentation). Senere endnu er der tale om en oceanbundsspredning, som ses ved den midt-atlantiske højderyg i dag (pelagisk sedimentation).

**Opfyldningen af bassinet:** Formationerne er først dybe og smalle, og efterhånden vertikalt tynde med stor lateral udbredelse (tyrehovede).

## Konvergente grænser

### **Kontinent-kontinent kollision**

Hvis begge de kolliderende plader er kontinentale, kan ingen af dem subduceres. I stedet dannes en kollisionszone med bjergkædedannelse (orogeni), som fx i Alperne og Himalaya.

Kollisionszonen eroderes og danner groft, klastisk debris.

### **Ocean-ocean kollision**

Hvis to oceaniske plader mødes, subduceres den ene, og en ø-bue dannes. Fx i Stillehavet; Japan, Indonesien og Filippinerne.

Den nedadgående plade smelter i subduktionszonen, og ø-buerne dannes pga vulkanudbrud på den ovenstående plade.

### **Ocean-kontinent kollision**

Når oceanskorpe subduceres under en bedre flydende kontinental plade, dannes en bue i den kontinentale margin (eks. Andes bjergene). Fordi den opstigende magma skal penetrere en tyk kontinental skorpe, bliver den i høj grad differentieret.

De dannede sedimenter er ofte umodne sandsten.

Ved subduktion bliver en dyb grav (trench) dannet. De fleste af de pelagiske sedimenter skræbes af den subducerede plade og danner en forøgende kile (*accretionary wedge*). De nyeste materiale tilføjes til bunden af denne kile.

I kilen findes bl.a. **melange**, som er en masse af kaotisk blandede blokke.

Unik **metamorfose** i kilen: **Højt tryk og lav temperatur** → **Blueshists** (blå amphibol glaucophan)

Melange + blueshists unikke for subduktionszoner.

**Forearc bassin**: Bassin på den ovenpåliggende plade. Kan være lavvandsmarin eller over havniveau.

## Transforme grænser

Strike-slip forkastninger.

Ujævne pladegrænser → Lokale zoner med extension/kompression → Bassindannelse

## ***Tektonik og sandstens petrologi***

Pladetektonik kan anvendes til at forudsige typen af sedimenter, der kan forventes at findes i et bassin. Ligeledes kan man ud fra sedimenters petrologi prøve at bestemme de tektoniske forudsigelser.



**Kratonske sandsten:** Meget moden, ren kvarts

**Opløft af grundfjeld:** Meget feldspat → Arkosisk sandsten

**Vulkanske buer ifm subduktion:** Mange lithiske fragmenter

# Kontinentale sedimenter, facies, tekstur, struktur

Fokus: Fluviale sedimenter

**Hjulstrøm diagram:** Sammenhæng mellem floders hastighed og kornstørrelser i en flod. Diagrammet viser, om partikelstørrelsen aflejres, transporteres eller eroderes.  
*Flokkulering og kohesive kræfter*

## Sedimentære strukturer

Vigtigt at skelne primære fra sekundære strukturer.

Øvre- ( $v > 1 \text{ m/s}$ ) og nedre- ( $v < 1 \text{ m/s}$ ) flow regime.

	<b>Strukturer af silt og ler:</b>	<b>Strukturer i grovere fraktioner:</b>
<b>Nedre flow regime</b>	Ribber, klatrende ribber Klitter	Sand barrer
<b>Øvre flow regime</b>	Plan bedding, antidunes	Gravel barrer

## Ribber, klitter og sandbølger

Migration → Krydslejring

Bimodal strøm: Symmetriske ribber, bølgedannede

Unimodal strøm: Assymetriske ribber, dannet af strøm

Med stigende strømningshastighed går ribber fra at være lige, til sinuose, til lunate (måneformede)

**Antidunes:** Migrerer modsat strømningsretning, symmetriske

Med stigende strømningshastigheder falder variabiliteten i strukturernes orientering.

## Sediment facies

G: grus, S: sand, F: silt + ler, P: karbonater

**Krydslamination:** lille, Krydslejring: større

**Klatrende ribber:** høj sed tilførsel og lav transportkapacitet af strømmen

**Flaser, wavy og lentikulær:** Tæt på kysten, tidale flader. Skiftende aflejring af sand og mudder  
Flaser: sand dominerer, lentikulær: ler dominerer, wavy: midt imellem

## ***Klassifikation af flodkanaler***

Figur 3.7 fra Reading

### a) Bundtransport floder

Højest sed transport ved vand-underlagsplanet

Transporterer groft materiale

Høj transport kapacitet

Ujævn vandføringsrate (proglacial etc)

**Mid kanal barrer:** Imbrikerede flade blokke med finere materiale bagved. Migrerer ikke, men udbygges til alle sider

**Laterale barrer:** Ved kanal-bankerne. Disse migrerer.

### b) Sandede bundtransport floder

Sand dominerer, men grus og suspenderet materiale tilstede.

Banker meget eroderbare: Brede, lave kanaler → Lateral bevægelse af kanalen → Lav sinusitet

**Linguoide barrer** (måneformede): I højt vandssituationer kører strømmen ovenpå barren. I lavvandssituationer mellem barrerne (strømningsretning til en vis grad vinkelret på hovedretningen).

**Reaktiveringsflader:** Erosionalt plan, erkendes ved at strukturer har forskelligt dyk

### c) Mixed load floder

Materiale i suspension og i bundtransport (sand).

**Clay plugs:** Når transportevnen falder fx pga. avulsion

**Point bars:** Banker på indersiden af sving, aflejring her. Erosion på ydersiden

#### d) Suspended load floder

Lav gradient → Lav strømningshastighed → Lav transportkapacitet

Kun finere materiale transporteres og aflejres

Kohesive banker → Kanalerne er lateralt stabile (Anastomoserende floder)

### **Alluviale faner og fane-deltaer**

#### Alluviale faner

Kegleformet akkumulation af grovt flodsediment, hvor en lateralt begrænset strøm udvides.

Ved bjergdales udmunding, etc

Består af velsorterede strømoflejringer og diamiktiske aflejringer fra gravitationelle skred.

#### Fane-deltaer

Akkumulation i sø eller hav. Topsets (grove) – Foresets (sand) – Bottomsets (fine).

Grænsen mellem topsets og foresets er (paleo-) vandstanden.

### **Flodsystemer**

Floder er ikke i stand til at erodere længere ned end havniveau. Hvis havniveauet stiger, falder flodens gradient og transportkapacitet, og vice versa.

**Dynamik (distal til proximal):** Alluviale faner → Flettede floder → Meandrerende floder → Anastomoserende floder → Kystmiljøer

#### a) Flettede floder

Lav sinousitet, mange individuelle kanaler separeret af barrer

Højt relief & høj gradient, høj transportkapacitet

Proximalt: Longitudinale barrer, Distalt: Linguoide barrer

#### b) Meandrerende floder

Høj sinousitet, en hovedkanal

Blandet load, ~50% sand

Point barrer, oxbow lakes, floodplain, levee (crevasse splay)

#### c) Anastomoserende floder

Sjældne

Netværk af let sinuouse, forbundne kanaler

Kanaler lateralt stabile, kanaler dybe og brede

# Kystzone miljøer

## **Deltaer**

Hvor sedimenttilførslen fra floder er større end den marine kysterosion.

Sjældne i tektonisk aktive områder. **Tidsplaner**, altså flader som har været under sedimentation på samme tidspunkt (Topset – foreset – bottomset)

Sedimentation påvirket af:

- Sediment tilførsel
- Bølgeenergi
- Tidal energi (redistribuerer sediment lateralt)

Deltatyper:

1. Floddominerede deltaer: *Lobeformede*: Høj sed tilførsel, *Aflange*: Relativt lille sed tilførsel
2. Tidevandsdominerede deltaer: Talrige langsgående kanaler
3. Bølgedominerede deltaer: Små

## Densitetsforskelle

Ferskvand fra floder: lav densitet & Saltvand fra havet: Høj densitet → Dannelse af jet

**Plan jet:** Kegle af lavdensitetsvand der flyder på saltvandet.

Leveer under vandet på siderne af jet'en, Mouth bar for enden, hvor jet'en ophører

## **Tidale (peritidale) miljøer**

Hvor floder ikke tilfører masser af sediment. Forekommer i tektonisk inaktive områder.

**Dominerende faktor:** Havspejlsfluktuationer (både tidale, og trans-/regressive i geologisk tid)

**Høje fluktuationer i salinitet**

## Tidal flats

Meget lav topografisk gradient, høj strømenergi → Ingen vegetation

Daglig cyklus af højt og lavt vandspejl og strømningshastighed → Tidale aflejringer (Flaser, wavy, lentikulære), sildebensskrålejringer, mud drapes, reaktiveringsflader, mudcracks

**Longitudinale barrer, ribber (let assymetriske)**

Højest strømhastighed når vandstanden falder/stiger.

## Barriere komplekser – Barriere-øer:

Aflange øer parallelle med kysten, sepereret fra land ved laguner.

Hyppig sed tilførsel fra land,

**Microtidalt miljø:** Lange, lineare barriereøer

**Mesotidalt miljø:** Kortere, mindre regulære

**Makrotidalt miljø:** Ingen barriereøer, kun kyst

**Washover-fan:** Dannes ved ekstrem storm-begivenhed, vand vasker over barriereøerne. Hælder mod land i lagunen.

## Barriere komplekser – Laguner:

Rolige forhold, aflejring af finkornet sed., ofte stillestående anaerobiske forhold, ofte overvokset af vegetation. Hvis **hypersalint:** Evapotitter

## Barriere komplekser – Dynamik:

Barriereøerne kan vokse via kystparallelle strømme

Hele systemet kan bevæge sig udad mod havsiden hvis: Havniveauet falder eller sed tilførslen er høj  
→ Progradering

### **Rækkefølge:**

Lagunalt mudder – Klitter (fra barriereøer) – Backshore – Foreshore – (Lower-, middle-, upper-shoreface sand) – Offshore mudder

# Turbiditter

Tilhører gravitationelle strømme. Bevægelsen skyldes tyngdekraft, ikke bevægelse af vand. Ofte pga ustabiliteter i skrænter.

## ***Andre former for gravitationelle skred:***

### Grain flows

Finkornet, velsorteret, kohesionsløst sand, ved stejle skrænter, som fx delta foresets. Strøm bæres af partikel-partikel kræfter/kollisioner

### Fluidised (liquefied) flows

Pga. højt tryk af porevand (eks. Kviksand). Poretrykket sænker shear-strength.

Kan flyde på meget flade skrænter ( $\sim 0,5^\circ$ ).

### Debris flows, mud flows

Slam-lignende sedimenter, kan transportere store blokke, forekommer i stejle bjergdale.

## ***Turbidity strømme***

(og deres sedimentære produkt: turbiditter)

### **Gravitationelle strømme hvor sed holdes i suspension via turbulens.**

Forskere undrede inden deres opdagelse over tykke sekvenser af normaltgraderede aflejringer, blandinger af kysttætte sandsten og offshore muddersten, samt blandingen af lavvands- og dybvandsforaminiferer

Turbiditter blev bevist via evidens i 1929 pga ødelæggelse af kabler på havbunden.

### Sediment kilder

Ustabilt område (delta foreset, kontinentale skrænter (slopes) → Højdensitets laminar strøm → Indtag af additionelt vand, derfor forøgelse af porestrøm og enhedens volumen → Start på turbulent strøm.

### Turbulent strøm

Materiale i suspension, høj densitetsforskel mellem turbiditstrømmen og havvandet, og derfor lav blanding mellem de to.

Erosion langs bunden, ses ved flutemarks. (Hastigheden er størst et stykke over bunden)

**Normal gradering:** Sedimentation fra suspension



**To typer:** Grovkornet og finkornet. Afhænger ikke kun af strømningshastighed, men også af tilgængeligt materiale.

### Bouma sekvens

<b>Bouma enhed</b>	<b>Aflejringsforhold</b>	<b>Sed. materiale og strukturer</b>
E	Ingen strømning, suspension	Mudder
D	Faldende strømningshastighed Nedre flow regime, planar beds	Parallelt lamineret silt
C	Nedre flow regime, suspenderet sediment	Skrålejret sand, klatrende ribber
B	Øvre flow regime, planar beds	Parallelt aflejret sand
A	Højeste strømningshastighed, øvre flow regime, hurtig aflejring	Massiv, grovkornet, vandundvigelsesstrukturer

**Kornstørrelser:** Falder ”udad” (ud i bassinet) og ”opad” (stratigrafisk set).

### Udløsere

Havniveauændringer, specielt havspejlsfald og jordskælv

# Karbonatmiljøer

Dannes kemisk og biokemisk. Evidens for lavvandede, varme have. Kan rumme hydrokarboner og virke som grundvandsmagasiner.

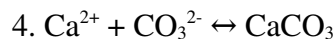
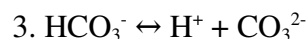
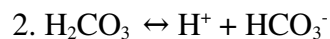
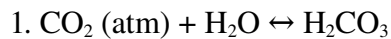
Produktion størst ved +/- 30° fra ækvator, varme, lavvandede have. Produktion **større i fortiden (drivhus klima → højere havniveau)**.

**Build ups:** Ved topografiske højpunkter

**Rev:** I bølge-zonen, ofte ved upwelling af næringsrigt, iltholdigt oceanisk bundvand.

## Kontrolmekanisk på karbonataflejring

Et system af kemiske ligevægte:



Betyder: **En fjernelse af CO<sub>2</sub> i opløsningen giver en udfældning af CaCO<sub>3</sub>, og modsat.**

Udfældning (kemisk eller biokemisk) kan fremmes via:

1. Høj temperatur
2. Lavt tryk
3. Høj omrøring af vandet
4. Fotosyntese
5. Fravær af tilførsel af klastisk sediment
6. Lys

**CCD:** Carbonat compensation depth – Den dybde, hvor opløsningen af karbonat sker med samme hastighed som tilførslen. 4-5 km's dybde.

## Klassifikation af karbonataflejringer

- Allochemical: Materiale tilført andetsteds fra.
- Orthochemical: Materiale dannet på aflejringsstedet

- Vurdering af matrix/cement (størrelse af karbonatkrystaller)

**Allochems:** Ooider (radierende og koncentriske elementer), Peloider (mindre end ooider, ingen sammenhængende indre struktur).

## ***Dolostones og dolomitter***

$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$  - Langsom, sekundær process

**Direkte udfældning** fra havvand yderst sjælden.

Sket ved indtrængning af Mg-rigt vand i en kalksten, enten via **replacering af Ca til Mg og fjernelse af Ca** eller ved **replacering af Ca til Mg og tilførsel af karbonationer**. Den sidste hyppigst forekommende.

Forskellige modeller for dolomitoser: Sket ved Sabkha'er, supratidale flader, grundvandsstrømme

**Dolomit hyppigst i gamle aflejringer.**

## ***Diagenese***

### Opløsning

Forøgelse af porestørrelse (sekunder porøsitet). Stylolitter

### Replacering

Opløsning af karbonat samtidig med udfældning af nyt mineral. Eks. Kvarts

### Cementering

Karbonat/kvarts. Udfældning af flintnoder

Dannelse af **hardgrounds** i lavvandet subtidalt miljø med langvarig sedimentationspause.