**AARDWETENSCHAPPEN HOOFDSTUK 5: Water op hellingen**

1. Erosiemechanismen op hellingen

* Erosiemechanismen op hellingen
  + Regen dat in valt op hellingen => bodemmateriaal helling eroderen
  + 2 erosiemechanismen
    - 1) neerslag zelf veroorzaakt **spaterosie** 
      * = het losmaken en wegslingeren van bodemdeeltjes door de impact van regendruppels op het bodemopp.
      * => laat vele kleine putjes achter in vb zandopp. (inslagkraters)
    - 2) **oppervlakkige afstroming** van neerslagwater
      * => laat stroomgeultjes na
      * => veroorzaakt intergeul, geul en ravijnerosie
      * Intergeulerosie of laagsgewijze erosie
        + = losmaken en wegvoeren van bodemmateriaal oiv de oppervlakkige, laagsgewijze afstroming van water
      * Geulerosie
        + = treedt op wnnr afstromend water zich concentreert en leidt tot insnijding van kleine beginnende geultjes
        + => ku nog verwijderd w door omploegen ⬄ ravijnerosie
        + Vb: op leemakkers (ppt 133)
      * Ravijnerosie
        + = erosie van diepe ravijnen
        + => zo breed en diep => ku niet verwijderd w door omploegen
      * Geulen en ravijnen onderscheiden zich van waterstromen (beken en rivieren) want:
        + 1) enkel tijdens+kort na regenbui stroomt er water door

=> meestal staan geulen en ravijnen droog

⬄ beken en rivieren voeren ctu water aan

* + - * + 2) ontstaan op hellingen

⬄ beken en rivieren in valleien

1.1 Spaterosie door neerslag

* Neerslag: spaterosie
  + Als regendruppel botst met aardoppervlak:
    - => regendruppel oefent 2 types van stress uit op het aardoppervlak
    - 1) compressive stress of druk
      * Oorzaak: de impact vd regendruppel op het aardoppervlak
      * Gevolg: compactie en verslemping vh bodemopp.
    - 2) shear stress
      * Oorzaak: het uiteenspatten en wegspatten vd regendruppel
      * Gevolg: losmaken en wegspatten van bodemmateriaal = spaterosie!
* Compactie en verslemping
  + = gevolg van compressive stress / druk tot 5000kPa
  + Vb: groentetuin net omgeharkt => bodemopp bestaat uit aggregaten/ kluiten
    - Aggregaten
      * => Ontstaan door vb elektrost. bindingen tssn kleimineralen
      * Infiltratiecapaciteit is groot
        + Dit proces = bodemverslemping
      * Voor regen
    - Bodemverslemping
      * Regendruppels ku compressive stress veroorzaken tot 5000kPa
        + => bodemaggregaten kapot maken
        + => Na regen: vlakke, compacte bodem ontstaan

= bodemverslemping

* + - * Oorzaak: regenwater die individuele aggregaten gaat kapotmaken => bodem aanduwen => bodemporiën dicht geduwd => minder infilratie
      * Infiltratiecapaciteit is klein
        + = hoeveelheid water / tijdseenheid infiltreren = hoogte/tijd
      * Na regen
  + Bodemverslemping
    - = belangrijk proces voor ontstaan van afstromend regenwater & dus erosie
    - Niet verslempte bodem met aggregaten
      * Grote poriën => hoge infiltratiecapaciteit
    - Verslempte bodem
      * Kleine infiltratiecapaciteit => water stroomt sneller af
* Losmaken en wegspatten
  + = gevolg van shear stress
  + 1) Hoeveelheid losgemaakt materiaal (E) door spaterosie:
    - **E ~ drijvende kracht / weerstandbiedende kracht**
    - **A) Drijvende F spaterosie** 
      * = shear stress veroorzaakt bij uiteenspattend druppels
      * = aantal (n) + kinetische EN (Ek) van druppelinslagen
    - Aantal druppelinslagen (n)
      * ~ neerslagintensiteit (mm/u) & neerslagduur
        + Hoe harder en langer regen => hoe meer bodemmateriaal door spaterosie losgemaakt
      * ~ neerslaghoek & hellingshoek
        + Schuin invallende neerslag op vlak => uitgesmeerd over groter opp. => minder druppelinslagen per opp.
        + Verticaal invallende neerslag op hellend opp. => minder druppelinslagen per opp.
      * ~ vegetatiedek (=canopy) en strooisellaag
        + Bodems onder bos => beschermt tegen spaterosie & verslemping => alle druppels opgevangen door bladerdek of strooisellaag => weinig of geen erosie
        + Weinig vegetatie/ kale bodems (**akkers**, woestijn) => spaterosie gevoelig & bodemverslemping
    - Kinetische energie (Ek)
      * Komt vrij bij druppelinslagen
      * ~ druppeldiameter d
        + Hoe groter regendruppel => hoe meer massa => hoe groter Fz => hoe groter valsnelheid

Conclusie: Grote regendruppels => grotere Ek

* + - * + Druppelgrootteverdeling (slide 140)

Reden: niet alle druppels bij regen idem diameter

Vaststelling: verband tssn neerslagintensiteit & mediane druppeldiameter

Motregen: lage neerslagI => kleine druppels

Hevige regen: hoge neerslagI => dikke ‘’

* + - * + ~ neerslagintensiteit
      * Ek
        + M = massa regendruppel ~ f(d)
        + v = valsnelheid regendruppel ~ f(d)
    - **B) Weerstandbiedende F spaterosie** 
      * = shear strength van bodem
      * Omgekeerd evenredig met hoeveelheid losgemaakt materiaal E
        + Hoe groter shear strength vh bodemmateriaal => hoe minder bodemmateriaal w losgemaakt
      * ~ bodemtextuur (slide 141)
        + Cohesief karakter: klei

Zand kleinere weerstand dan silt en klei want zand is niet cohesief en klei is cohesief (klei grote weerstand

* + - * + Gewicht: zand

Fijn zand => kleinste weerstand tegen spaterosie => makkelijker los gemaakt dan grof zand

* + - * + Grafiek:
  + 2) Afstand waarover materiaal weggespat / wordt verplaatst door spaterosie
    - Afstand bepaald door:
    - **A) neerslag energie:** kinetische energie vd invallende regendruppels
      * Hoe groter Ek => hoe verder materiaal wordt weggespat
      * ~ druppeldiameter ~ neerslagI
    - **B) hellingshoek** 
      * Neerslag valt verticaal in op horiz. vlak => invallende regendruppel verplaatst in alle richtingen evenveel materiaal over idem afstand
        + => netto resultaat: geen netto verplaatsing van materiaal
      * Neerslag valt verticaal in op helling => invallende regendruppel verplaatst in alle richtingen evenveel materiaal over andere afstand
        + => verdere afstand in hellingafwaartse richting
        + => netto resultaat: netto verplaatsing hellinafwaarts
      * Hoe steiler helling => hoe groter netto verplaatsing
    - **C) neerslaghoek** (zie slide 142)
    - **D) strength / cohesie** van bodem
      * Strength / cohesie groot => wegspathoek klein => ver wegspatten
      * Strength / cohesie klein => wegspathoek groot => minder ver wegspatten
* Extra leemakkers erosie: winter => kaal => regent => verslemping & erosie (geulen)
  + Oplossingen: oogstresten laten liggen op akker (strooisel) & gras zaaien in winter
* Conclusie neerslag: spaterosie
  + Shear stress
    - = voldoende groot om grote hoeveelheid bodemmateriaal tijdens regenbui los te maken
    - Maar discontinu:
      * Slechts van korte duur => moment druppel uit elkaar spat
      * Gevolg: losgemaakt materiaal verplaatst over beperkte afstand
  + **Hoeveelheid** losgemaakt bodemdeeltjes is **groot** 
    - Maar **afstand** waarover ze worden verplaatst is eerder **klein**
  + **Spaterosie** belangrijk voor **losmaken** bodemdeeltje
    - Discontinu & korte afstand
  + **Afstroming** (runoff) belangrijk voor **verplaatsen** van losgemaakte bodemdeeltjes

1.2 Ontstaan van oppervlakkig afstroming (overland flow)

* Algemeen: vegetatie beschermt tegen spaterosie & opp. afstromend water (interceptie)
* Ontstaan oppervlakkige afstroming (overland flow)
  + = oppervlakkige afstroming tijdens en na regenbui
  + **= neerslag – interceptie – infiltratie**
  + **=> intergeul-, geul- en ravijnerosie**
  + 1) interceptie
    - = neerslagwater opgevangen door vegetatie
      * 1) deel opgevangen water w geadsorbeerd aan planten
        + = gevolg van de opp.spanning van water
      * 2) tijdens of na regenbui door evaporatie verdampen naar atmosfeer
    - Probleem: na tijd wordt tijdens regenbui => waterfilm vh geadsorbeerde water zo dik => niet al het water kan geadsorbeerd blijven
      * Gevolg: deel water drupt af plant => bodemopp.
      * Gevolg: ander deel stroomt af plant via bladeren, takken etc => via stengels of stammen op bodemopp. = **stemflow**
    - Ppt p118 grafiek
      * Start met snelle infiltratie => na tijd afvlakking curven
      * Verklaring: bodemporiën na tijd volledig verzadigd
      * Vb: zand, grind => grote deeltjes, grote poriën => meer infiltreren => weinig opp. stroming => minder erosie
      * Vb: fijn klei => kleine poriën => weinig infiltratie => sneller verzadigd => sneller beginnen afstromen => erosie
  + 2) infiltratie
    - = neerslagwater dat de bodem bereikt en dat insijpelt in de bodem
      * => bodem bevat poriën tssn de partikels => water kan infiltreren
    - Infiltratiecapaciteit = snelheid waarmee water kan infiltreren in bodem
      * Eenheid: mm/u
      * ~ bodemtextuur
        + Hoe grover textuur => hoe groter poriën tssn partikels => hoe groter infiltratiecapaciteit
        + Vb: water sneller infiltreren in zandbodem dan in kleibodem
      * ~ bodemkorst
        + Vb: bodemverslemping door neerslag => infiltratiecap daalt
        + Vb: biologische korsten (algenmatten) => infiltratiecap daalt
      * ~ bodemvochtgehalte na regenbui
        + Hoog bodemvochtgehalte => bodem dichter bij verzadigingspunt => infiltratiecap lager
      * ~ vegetatie
        + Wortelgroei veroorzaakt perforatie in bodem => poriën maken => hoge infiltratiecap.
        + Extra: vegetatie beschermt bodem van verslemping
* Ontstaan oppervlakkige afstroming (overland flow)
  + Essentie: wnnr neerslag niet infiltreert => accumuleert op bodemopp. => plassen => uiteindelijk op hellingen afstromen
  + Verschillende manieren
    - 1) Infiltration-excess overland flow / Hortonian overland flow
      * **Overland flow ontstaat** als **infiltratiecapaciteit < neerslagintensiteit**
      * Oorzaak: Tijdens regen => infiltratiecap bodem daalt want verzadigd
        + Reden: geraakt steeds meer verzadigd met water => bepaald moment infiltratiecapaciteit < neerslagintensiteit
        + Gevolg: neerslagwater ≠ infiltreren => maar stroomt af
      * Kan overal op een helling ontstaan
      * Hoeveelheid afstromend regenwater neemt toe
        + Met toenemende intensiteit en duur van een regenbui
        + In hellingafwaartse richting

Reden: hoeveelheid afstromend water = de IEOF door opp zelf + afstroming van hogerop de helling

* + - * => Mechanisme erg beperkt:
        + Geeft slechts verklaring voor **dunne, weinig permeabele** bodems vb: woestijnbodems
        + Gebrek: water kan eig ook ondergrond afstromen!
    - 2) Through flow
      * = laterale, ondergrondse stroming
      * Water dat infiltreert => verticaal + ondergronds lateraal wegstromen in hellingafwaartse richtiing
        + Gevolg: in hellingafwaartse richting concentreert water zich => bodemwatergehalte neemt toe hellingafwaarts (\*)
      * => Mechanisme voor dikke, permeabele bodems (vb: BE)
    - 3) saturation-excess overland flow
      * Vervolg op 2) (\*): op bep. plekken raakt bodem verzadigd met water => **ontstaat overland flow**
        + Door uittreden van bodemwater aan bodemopp.
        + Door regenwater dat op verzadigde bodem valt
      * Komt overal voor aan de voet van hellingen & valleigebieden
        + => kan zich uitbreiden naar hoger gelegen delen van helling tijdens regenbui (slide 125)
      * => Mechanisme voor dikke, permeabele bodems
  + Hydrograaf / hydrogram
    - = grafiek die de verandering vd waterstand of debiet in waterloopt weergeeft in fie van de tijd tijdens en na regenbui
    - Kenmerkende hydrograaf voor 3 mechanisme overland flow
      * 1) dunne bodems => vooral Hortonian overland flow:
        + Hydrograaf reageert zeer snel op neerslag

=> zodra regen => infiltratiecapac bodem overschreden => afstroming naar rivier

=> zodra regen stopt => afstroming stopt ook snel

* + - * + Vrij korte piek die vrij goed overeenkomt met duur regen
      * 2) dikke bodems => vooral through flow
        + Hydrograaf reageert met vertraging op neerslag

Oorzaak: ondergrondse afstroming w vertraagd door wrijving in poriën

Oorzaak: through flow duurt langer na

* + - * + Piek duurt langer, maar minder hoog dan Hortonian flow
      * 3) goed ontwikkelde bodems => saturation-excess overland
        + Hydrograaf is intermediaire vorm tssn Hortoninan en through flow

Oorzaak: zowel ondergrondse als oppervlakkige afstroming treedt aan voet helling op

1.3 Erosie door oppervlakkige afstroming

* Erosie door oppervlakkige afstroming
  + ~ stroomsnelheid afstromend water (zie 4.2.3)
    - => water stroomt sneller naarmate verhang S en hydraulische R stroming groter is & naarmate ruwheid bodem F kleiner is
    - Verhang S = hellingshoek vd helling
      * Voor ondiepe oppervlakkige afstroming op helling
      * => steile helling => water hogere stroomsnelheid afstromen
    - Hydraulische R = waterdiepte vd afstroming
      * Voor ondiepe brede oppervlakkige afstroming
      * => hoe dieper afstromend water => hoe groter stroomsnelheid
    - Bodemruwheid
      * => hoe meer vegetatie/ ruwheid => hoe kleiner stroomsnelheid
  + 1) Aard
    - Laagsgewijze afstroming => intergeulerosie
    - Geconcentreerde afstroming in depressies => geulerosie
    - Geconcentreerde afstroming => ravijnerosie
  + 2) Intensiteit
    - ~ hellingshoek
    - ~ dikte afstroming
      * ~ neerslagintensiteit
      * ~ hellingslengte
      * ~ concentratie van afstroming => feedback met geulvorming
    - ~ 1/ bodemruwheid
    - ~ 1/ shear strength bodem
* Waar en wanneer ku we erosie op helling verwachten? (zie intensiteit)
  + 1) Waar hellingshoek S groot is => shear stress water > shear strength materiaal
    - Steile hellingen meer gevoelig aan erosie door afstromend water ⬄ zwakke
  + 2) Als waterdikte R toeneemt => kans erosie neemt toe
    - Hellingafwaarts => dikte afstromend water neemt toe => meer kans
      * Dus als hellingslengte groter is => helling gevoeliger voor erosie
    - Geconcentreerde afstroming => dikte afstromend water neemt toe
      * Water concentreert zich in depressies in een helling => meer kans
    - Hogere neerslagintensiteit => meer kans
  + 3) Als ruwheid bodem F toeneemt => kans erosie daalt
    - Oorzaak: shear stress en stroomsnelheid nemen af
    - Vb: vegetatie
  + 4) Waar overgang va bodemmateriaal is met grote shear strength (vb klei) naar bodemmateriaal met kleinere shear strength (zand) => erosie

2. Sedimentatiemechanismen op hellingen

* Sedimentatie
  + Geërodeerd materiaal (sediment) op hellingen => via afstromend water weggevoerd
    - Deel sediment => wordt op idem helling afgezet door sedimentatie
    - Deel sediment => via afstromend water naar rivieren en beken
      * => Sediment w verder getransporteerd
      * => Doorlopen van versch. cycli van sed. en erosie
      * Gevolg: uiteindelijk zeer klein deel via rivier in zee terecht
  + Conclusie: grootste deel w afgezet op hellingen & langs rivieren
* Sedimentatie op hellingen: Nadelige gevolgen voor mens (ppt 172&173)
  + akkers => landbouwgewassen begraven door sedimenten => ☹ opbrengst
  + bewoning in erosiegevoelige heuvelachtige gebieden => sedimentatie en modderoverlast na hevige regenbuien
* Sedimentatiemechanismen zie 4.3.3 => Hjulstrom diagram
  + Nu kijken: waar en wanneer sedimentatie op hellingen

2.1 Hellingshoek

* Sedimentatie
  + ~ 1/hellingshoek
    - Sedimentatie treedt op als hellingshoek afneemt
  + Helling: concaaf aan voet
    - = aan voet in hellingafwaartse richting => steeds kleinere hellingshoek
    - Gevolg: stromend water dat hogerop helling sediment heeft geërodeerd => meegevoerd => komt steeds op flauwere hellingen terecht => Shear stress & stroomsnelheid nemen af tot sedimentatie optreedt
  + Colluvium
    - => wnnr hellingshoek afneemt => afzetting stijgt
      * => sediment dat op deze manier wordt afgezet aan voet van helling
    - = door laagsgewijze afstroming afgezet, ≠ door geconcentreerde
    - Kenmerk: steeds fijnere korrels in hellingafwaartse richting
      * Oorzaak: selectieve afzetting => grootste sediment partikels (grof zand) eerst afgezet & fijnere partikels (silt, klei) later afgezet

2.2 Dikte van de afstroming

* Sedimentatie
  + ~ 1/ dikte afstroming (hydraulische R)
    - Sedimentatie treedt op als dikte vd stroming afneemt
  + Alluviale puinwaaier
    - => wnnr hydraulische straal R afneemt => u daalt => shear stress => sedimentatie waaiervormig
    - => geconcentreerde stroming in geul / ravijn gaat over in laagsgewijze afstroming waar geul / ravijn stopt
      * Dikke geconcentreerde zal uitwaaieren => dunner worden => shear stress daalt => sedimentatie
    - = resulterende afzetting die er waaiervormig uitziet
    - Kenmerk: steeds fijnere korrels in hellingafwaartse richting (\*)
      * Oorzaak: selectieve afzetting
    - Alluviale waaier vs puinhelling (\*)
      * Allebei waaiervormig
      * Puinhellingen
        + Steile helling
        + Oiv massabeweging
        + Grofste materiaal aan voet

Reden: zwaarder dus verder rollen door fz

* + - * Alluviale puinwaaier
        + Zwakke helling
        + Oiv water
        + Fijnste materiaal aan voet

Reden 2: lichter dus verder getransporteerd door water

2.3 Bodemruwheid

* Sedimentatie
  + ~ bodemruwheid
    - Sedimentatie treedt op als bodemruwheid toeneemt
  + Vb: overgang van kale bodem => dichte vegetatie
    - = sterke toename ruwheid => afstromend water sterk geremd => sedimentpartikels in transport w afgezet
  + Conclusie: vegetatie bevordert sedimentatie
  + Toepassing: grasbufferstroken in akkergebieden
    - => akkergebieden gevoelig aan erosie => grasbufferstroken aanleggen => tssn akkerpercelen sedimentatie bevorderen & verlies van vruchtbare bodem beperken & modderstromen bewoonde geb. vermijden

3. Hellingsvormen en hellingsevolutie

* Landschap
  + => verschillende vormen
  + = resultaat van 1) erosie en sedimentatie door water 2) massabewegingen

3.1 Hellingseenheden

* Helling
  + = combinatie van 9 hellingseenheden (moet niet alle 9 samen)
  + Elke hellingseenheid heeft eigen kenmerkende geomorfologische processen
    - Vb: convexe helling (3) = convexe (bolle) vorm => gekenmerkt door processen zoals creep en spaterosie
    - Vb: colluviale voethelling (6) = concave (holle) vorm => gekenmerkt door sediment transport, colluviale sedimentafzetting & afzetting alluv puinwaaier

3.2 Ruggen en valleien

* Vragen: wrm ruggen & vallein algemeen voorkomende reliëfvorm? Wat bepaald afmetingen? Wat bepaald hoe hoog & steil hellingen rug?
  + Beantwoorden adhv helligsprocessen (massabew, erosie en sedimentatie
* Ruggen en valleien
  + Landschap vaak afwisseling ruggen & valleien
    - => vormen hiërarchische structuur: kleine valleien sluiten aan op grotere
  + 2 groepen hellingsprocessen
    - => leiden tot verschillende hellingsvormen
    - 1) diffusieve processen
    - 2) advectieve processen
* Diffusieve processen
  + Vb: creep & spaterosie
  + Netto sedimentflux qs tgv diffusieve processen:
    - qs = K . S
      * K= diffusieccoëfficiënt &S= hellingsgraad
    - Hoe steiler helling => hoe groter hellingafwaartse fluxen
  + Gevolg: op LT evolueert rechtlijnige helling tot convexe helling tgv diffusieve sedimentflux
  + Gevolg: onregelmatigheden op helling => weggewerkt
  + Conclusie: enkel diffusieve processen ku niet leiden tot vorming ruggen & valleien
  + Conclusie: onregelmatigheden worden uitgevlakt (putjes, bultjes)
* Advectieve processen
  + Vb: erosie en sedimentatie door afstromend water
  + Netto sedimentflux qs tgv afstromend water:
    - qs = c . Am . Sn 
      * S= hellingsgraad & C,m,n= constanten
      * A= opp. die draineert naar punt op helling = toestroomgebied [m²]
    - Hoe verder hellingafwaarts => hoe groter toestroomgebied A => steeds meer water hellingafwaarts afstromen => dikte R water neemt toe => stroomsnelheid u, shear strength nemen toe => sedimentfluxen groter
    - Hoe steiler hellingsgraad => hoe groter u en shear strength => hoe groter sedimentfluxen
  + Gevolg: op LT evolueert rechtlijnige helling tot concave helling tgv advectieve sedimentflux
  + Gevolg: onregelmatigheden op helling => worden versterkt
    - Reden: afstromend water draineert naar lager gelegen depressies => daar toestromingsgebied A groter dan op bultjes
    - => drm zullen depressies door concentratie afsttromend water dieper uitschuren & bultjes blijven uitsteken
* Convexe ruggen & concave valleien
  + = door combinatie diffusieve & advectieve processen (treden samen op)
  + Verhouding tssn intensiteit van diffusieve en advectieve processen bepalend voor:
    - Vorm hellingen, dichtheid aan valleien & ruggen, dimensies ervan
  + Bovenaan helling
    - Diffusieve processen dominant
    - Gevolg: hellingen aan top convec
  + Onderaan helling
    - Advectieve processen dominant (want A is daar groot)
    - Gevolg: hellingen aan voet cooncaaf
  + Conclusie: Opeenvolging hellingen met convexe top & concave voet resulteert in landschap met convexe ruggen & concave valleien
  + Ppt p333: linkse foto: advectief => onregelmatigheden versterkt + scherpe toppen & rechte foto: diffusief => bolvormige toppen
  + Dominantie belangrijk!!!

3.3 Hellingsvormen afhankelijk van geologie, klimaat en vegetatie

* Bovenstaande theorie
  + Geeft verklaring voor vorming ruggen & valleien, maar hoe ontstaat complexe vorm van specifieke hellingen vb trapvormig?
  + => De ondergrond, vegetatie en klimaat waarin landschap vormt werden homogeen & onveranderlijk beschouwd (vorming convexe & concave ruggen)
    - Dominantie krijgen ~ geologische klimatologische vegetatie
  + => MAAR de resulterende hellingsvormen => nog afhankelijk van andere factoren
    - Hellingsvorm = f(geologie, klimaat, vegetatie)
* Nu: binnen dezelfde helling kijken
* **Hellingsvorm = f(geologie)** 
  + **Structurele geomorfologie** 
    - = de geomorfologische vormen w bepaald door de geologische structuur vd ondergrond
    - = geologie beïnvloedt de vorm van de hellingen
  + **1) Grand Canyon Mesa = vb van struct. geomorf. in horizontaal gelaagde afzettingen => gelaagdheid horizontaal**
  + Voorbeeld: Grand Canyon
    - = Heeft trapvormige steile flanken
    - 1) vallei gevormd door diepe insnijding van de Colorado rivier
      * 1) Insnijding in opeenvolging van verschillende geologische lagen
      * 2) Colorado steeds dieper ingesneden => zijflanken vd Grand Canyon ontwikkelden in deze lagen oiv hellingsprocessen (verwering, erosie, massabeweging, sedimentatie)
    - 2) trapvormige hellingen
      * = resultaat van afwisseling van harde en zachte lagen
      * **Harde lagen** (kalk&zandsteen) = grotere shear strength
        + => bieden **meer R tegen erosie, verwering, massabeweging**
        + Gevolg: ontwikkeling **steile hellingen** in harde lagen
      * **Zachte lagen** (schalie, leisteen)
        + => **gevoelig voor verwering, erosie, massabew**
        + Gevolg: ontwikkeling **zwakkere hellingen** in zachte lagen
    - Differentiële verwering = verschillende intensiteit van verwering & erosie als gevolg van een afwisseling van harde en zachte lagen
    - Conclusie: Ontstaan door differentiële verwering & erosie van afwisselende harde en zachte lagen
  + Voorbeeld: Mesa of tafelberg (reliëfvorm)
    - Conclusie: ook ontstaan door differentiële verwering & erosie van afwisselende harde en zachte lagen (maar in verdere fase dan Grand C)
    - 1) steile rotsformaties = restanten van harde laag gesteente
      * 1) harde laag gesteenten bedekten oorspronkelijk heel het landschap
      * 2) dan verwering & erosie
        + => harde laag bijna volledig weggeruimd
        + => enkel steile rotszuilen blijven over vd harde laag
        + Gevolg: door hardheid vd laag konden steile rotsformaties ontwikkelen (veel R tegen erosie)
    - 2) zachte helling = zachte lagen
    - 3) tussen de Mesa’s vlakten van terug hard gesteente
  + **2) Cuesta’s,Hogback,Flat irons =vb struc. geomor. In monoclinaal gelaagde afzettingen => gelaagdheid monoclinaal** 
    - Lagen kunnen door tektoniek schuin komen te staan !
    - Ontwikkelen in monoclinale, zacht hellende lagen met afwisseling van harde en zachte gesteenten => gelaagdheid monoclinaal (afhellend in 1 richting)
  + Voorbeeld: Cuesta’s
    - = ontstaan op gelaagd gesteente & zijn monoclinaal afhellend
    - = asymmetrische heuvelruggen
      * De korte, steile helling (cuestafrond) is gevormd in hard gesteente
        + => moeilijk verweren etc (ppt foto is steile helling)
      * De lange, zachte helling (cuestarug) komt overeen met de helling vd lagen
        + => evenwijdig met de monoclinale gelaagdheid
    - Cuesta Boom (vb schorre)
      * ppt p319
        + Cuestafront = steile helling = stippellijn
        + Aan voet vh cuestafront = rivier
      * Ppt p320
        + Steil cuestafront & zwakke cuestarug // gelaagdheid
        + Harde laag = bovenste laag (bruin) = Boomse klei

= Cohesief = diepzeeklei

= moeilijk te verweren & eroderen

* + - * + => rivier ingesneden in boomse klei => vallei vormen maar hellingen bleven steil
  + Voorbeeld: Hogback
    - = naarmate monoclinale hellende lagen sterker afhellen (tov Cuesta)
      * => steeds toenemende hellingshoek vd lagen
    - = bijna symmetrische heuvelruggen
      * Reden: hellingshoek zo sterk => zwakke & steile helling gelijkaardig
  + Voorbeeld: Flat irons
    - = hellingshoek van de lagen nog steiler dan Hogback
    - = wnnr er scherpe pieken ontwikkelen in de harde gesteentelagen in zeer steil hellende monoclinale lagen
  + **3) Gelaagdheid anticlinaal, synclinaal** 
    - Proces
      * 1) Oorspronkelijk horizontaal afgezette lagen vervormen door tektoniek tot anticlinale & synclinale structuren
      * 2) Na verwering & erosie => anticlinale & synclinale structuren vormen ruggen en valleien
    - Ppt p191
      * Harde lagen => meer R tegen erosie,.. => vorming ruggen
      * Zachte lagen => vorming valleien
      * Wegvormige structuren bij duikende plooien
    - Reliëfinversie
      * Rug komt niet ndzklk overeen met anticline & vallei met syncline
        + Als kern syncline = hard gesteente => na verwering & erosie => kern blijft uitsteken als rug
        + Als kern anticline = zachter gesteente => na verwering & erosie ontwikkelt in kern een vallei
      * = omkeren van de oorspronkelijke topografie vd geplooide lagen
      * = proces waarbij synclines ruggen w & anticlines valleien w
    - Voorbeeld: combe ppt p193
      * = anticlinale hellende lagen
      * = vallei
      * Ontstaan
        + 1) landschap gevormd in afwisselende harde & zachte lagen
        + 2) bep. moment riviersnijdingen doorheen harde laag

=> insnijding eerst op heuveltop (sneller eroderen)

* + - * + 3) als dan harde laag weg is =>zachte laag sneller eroderen
* Hellingsvorm = f(Klimaat)
  + Waarneming
    - Aard & intensiteit verweringsprocessen ~ Temperatuur & neerslag aard
    - Massabewegingen ~ poriënwatergehalte & bodemmateriaal
      * Dus ~ balans tussen neerslag en evapotranspiratie
    - Erosie & sedimentatie door regen/ afstromend water ~ neerslagintens. & frequentie buien
  + Hellingen gevormd door geomorfolog. processen zijn anders gevormd ~ klimaat
  + Droog klimaat
    - Verwering & erosieprocessen treden langzaam & onregelmatig op
    - Gevolg: Meer hoekige hellingen
    - Ppt p194 links: grillige helling
      * Droog klimaat, weinig neerslag, WEL verwering
      * Verwering door afwisselend uitzetten & inkrimpen gesteente door opwarmen & afkoelen => verbrokkelen => rock fall
  + Vochtig klimaat
    - Intense verwering, erosie & sedimentatie
    - Gevolg: afgeronde, glooiende hellingen
    - Ppt p194 rechts: egale helling
      * Natter klimaat, vaak neerslag
  + Opm: geen zekerheid over relatie hellingsvorm & klimaat
    - 1) andere factoren (geologie, vegetatie) spelen ook rol
    - 2) klimaat onderging veel fluctuaties (vb ijstijden)
* Hellingsvorm = f(vegetatie)
  + Waarneming
    - Vegetatie bevordert verwering, beïnvloedt massabeweging, remt erosie af, bevordert sedimentatie
  + Geen vegetatie
    - Intensere erosie en sedimentatieprocessen op hellingen
    - Gevolg: hellingen ontwikkelen tot badlands
      * = netwerk van valleien & ruggen, maar door intensere sedimentfluxen is de dichtheid vh netwerk groter dan in begroeide landschappen
      * Ontstaan op landschappen die niet begroeid zijn met vegetatie ( door weinig neerslag)
        + Er kan wel neerslag vallen => gevoelig aan erosie want geen vegetatie => adhectieve processen dominant
      * Ontstaan op gesteenten dat heel makkelijk erodeert/ verweert
        + **⬄ p194 vaster, harder gesteente**