**AARDWETENSCHAPPEN HOOFDSTUK 19: Werking van Ijs**

1. Inleiding

* Verdeling water
  + 10% vh aardoppervlak wordt bedekt door gletsjerijs => water in bevroren toestand
  + Grote hoeveelheid water als bodemijs in koude gebieden
* Gletsjerijs verplaatst zich langzaam vanaf centrum van ijskappen & hellingafwaarts in gebergten => zo kan het grote hoeveelheden materiaal eroderen, transporteren & afzetten
  + => resulteert in karakteristieke landvormen
* Werking bodemijs
  + => resulteert ook in karakteristieke landvormen
* Conclusie: landvormen worden gevormd door gletsjerijs & bodemijs
  + => deze landvormen komen voor in buurt van:
    - Ijskappen, gletsjers, op lagere breedtes dan poolgebieden & op lagere hoogtes in gebergten!!!
      * = aanwijzing dat er vroeger uitgestrekte ijskappen & gletsjers moeten zijn geweest over grote delen van N-Amerika & N-Eurazie
* Ijskappen & gletsjers => klimaat
  + Positie ijskappen & gletsjers = indicatie voor vroegere & huidige klimaatverandering
  + Ijskappen reflecteren zonlicht

2. Gletsjertypes

* Gletsjer = rivier van ijs
* 2 gletsjertypes
  + Dalgletsjers
    - = langgerekte, relatief smalle ijsmassa’s in de dalen van hooggebergtes
    - Vb: in Alpen, in Himalaya, op Scandinavische hoogland in Noorwegen
    - Hoogte voorkomen gletsjerijs in gebergten => neemt af vanaf de evenaar naar de polen toe
    - ppt p426: rivier van ijs
  + Continentale gletsjers of ijskappen
    - Voorkomen: in **polaire gebieden**
      * Op continent dat zodanig koud is => neerslag valt enkel onder de vorm van sneeuw => bouwt ijskap => bedekt heel het continent
    - = uitgestrekte ijsvlaktes die grote delen vh land met ijs bedekken
    - Grootste ijskappen op Aarde: ijskappen van Antartica & Groenland
    - Kleinere ijskappen op aantal arctische eilanden: in ijsland, spitsbergen,…

3. Gletsjers: ontstaan, stroming en vergaan van ijs

3.1 Gletsjer budget

* Ontstaan gletsjers
  + 1) Door accumulatie van sneeuw in accumulatiezone
    - Sneeuw valt in accumulatiezoen => smelt hier niet (of deels) => na een tijd omgezet in gletsjerijs
  + 2) Vanuit accumulatiezone stroomt gletsjerijs naar lager gelegen zone = ablatiezone
    - In deze zone treedt er geen accumulatie op van sneeuw => maar wel ablatie
      * Ablatie = verdwijnen vh gletsjerijs door smelten, sublimatie (directe overgang van ijs naar waterdamp), en/of afkalven vh gletsjerijs in een meer of zee
* Waar voorkomen?
  + = f(breedteligging, hoogte)
  + Vb: continentale gletsjers in polaire gebieden
  + Ppt p428: hoogteligging waar gletsjers zich bevinden afh vd breedteligging
    - Aan polen => krijgen we gletsjers tot op zeeniveau
      * Foto rechtsboven: gletjsjers gaan tot in zee stromen => => gletsjerijs drijft op zeewater & gaat ijsplaat vormen
    - Bij lagere breedteliggingen => warmer klimaat => enkel gletsjers op grotere hoogte vb in Alpen
    - Nog meer naar evenaar => altijd hoger gaan om gletsjerijs te vinden
* Gletsjer budget
  + = netto balans/ resultaat tussen accumulatie, stroming en ablatie
  + Indien meer accumulatie dan ablatie => ijsmassa v/e gletsjer w groter => gletsjer kan vooruitschreiden/ beweging komen
  + Indien meer ablatie dan accumulatie => ijsmassa w kleiner => gletsjer kan achteruitschreiden / verdwijnen
  + => deze veranderingen in ijsmassa’s van gletsjers zijn gerelateerd aan veranderingen in het klimaat
  + Besluit: meten vh budget van gletsjers = methode om klimaatveranderingen te detecteren
  + Conclusie: ijs kan accumuleren => dan in beweging komen/stromen => uiteindelijk verdwijnen: ablatie

3.2 Accumulatie

* In accumulatiezone van gletsjers
  + Aan oppervlak: sneeuw
  + Op grotere diepte: gletsjerijs
* Sneeuw aan het gletsjeropp.
  + Sneeuw is opgebouwd uit stervormige sneeuwkristallen die ontstaan bij de vorming van sneeuwvlokken in de atmosfeer
  + Sneeuw in kristalvorm: veel open ruimte => poriënvolume in sneeuw erg hoog => veel lucht tssn kristallen & dichtheid sneeuw heel laag (200-300kg/m³)
  + Door begraving sneeuw onder jongere afgezette sneeuw => druk neemt toe => poriën w toegedrukt
    - Dus met toenemende diept onder opp => porienvolume neemt af (lucht tssn de kristallen)=> dichtheid neemt toe
    - Bi porienvolume van 50% = granulair ijs
    - Bij porienvolume van 20-30% ijs& dichtheid ca 500kg/m³ = firn
    - Bij porienvolume van minder dan 20% & dichtheid 800kg/m³ = gletsjerijs
  + In gletsjerijs: individuele korrels sluiten nauw op elkaar aan => weinig lucht in
    - Binnen deze korrels zitten kleine luchtbelletjes ingesloten
  + Essentie: sneeuwkristal => compactie => gletsjerijs
* P433
  + Sneeuw in accumulatiezone => sneeuw samengedrukt tot firn => dan tot gletsjerijs
  + Onderaan = ablatiezone = verlies van ijs => hier w ijs grijs omdat het zo geconcentreerd is aan puin dat wordt meegevoerd
  + Scheidingslijn tssn gletsjerijs & sneeuw in accumulatiezone = firnlij

3.3 Stroming van ijs

* Gletsjerijs
  + Gletsjers en ijskappen ≠ statische onbeweeglijke ijsmassa’s
  + Gletsjerijs kan zich langzaam verplaatsen vanaf accumulatiezone naar ablatiezone
    - Aanwezigheid puin in gletsjerijs & afzetting van puin in ablatiezone => aanwijzing dat gletsjers traag stromende ijsrivieren zijn
  + Stroming van gletsjerijs bestuderen adhv moderne technieken (foto/ video-opnames)
* Stroming van ijs
  + De drijvende F achter stroming van gletsjerijs = de zwaartekracht
  + De weerstandbiedende F = de wrijving met bodemopp.
  + 2 mechanismen voor gletsjerstroming: (1) en (2)
  + (1) In warme omstandigheden => dalgletsjers in gebergten in gematigde klimaten:
    - De gletsjers bevatten grote hoeveelheden smeltwater => dit smeltwater gaat via spleten en golten in gletsjerijs tot aan basis vd gletsjer => aan basis speelt smeltwater rol van glijmiddel
      * Gevolg glijmiddel: wrijving met bodem vermindert & gletsjerijs komt makkelijker in beweging
    - Ook smeltwatertunnels in gletsjers => glijmiddel => leveren bijdragen aan het langs elkaar glijden van ijsmassa’s
    - Conclusie: dit mechanisme vooral belangrijk in **natte gletsjers** onder relatief **warme omstandigheden** 
      * Vb: Alpiene gletsjers
  + (2) In extreem koude omstandigheden (polaire gebieden) => continentale gletsjers
    - Hier spreken van droge gletsjers = gletsjers bevatten geen smeltwater
    - Het ijs is vastgevroren aan de bodem => oiv van zwaartekracht verplaatst het zich door het afbreken van brokstukken vd bodem
    - Binnenin de droge gletsjers ku ijsmassa(s zich tov elkaar verplaatsen door plastische vervorming
      * Reden: op zeer grote diepte onder ijsopp => hoge druk => ijs wordt plastisch => kan zich plastisch (dwz zonder te breken) vervormen
    - Dichtbij opp => druk te laag voor plastische vervorming => verplaatsen vd gletsjermassa leidt enkel tot vorming van scheuren & spleten in gletsjerijs
      * Crevasses = spleten ontstaan door rekspanningen
      * Seracs = spleten ontstaan wnnr gletsjer over een plotse steile drempel in de bedding vd gletsjervallei heen stroomt
    - Conclusie: dit mechanisme vooral belangrijk in droge gletsjers onder extreem koude omstandigheden (polaire gebieden)
      * Vb: Antartica & groenland
  + Stroming ijs & water => effect op erosie, transport & sedimentatieprocessen & de resulterende landvormen
* Ppt p443 & 444 rode kader
  + Ijsval => Rode kader: na de ijsval komt gletsjer weer op vlakker terrein uit => de seracs (spleten/barsten) gaan terug dicht geduwd worden
  + Witte lijnen = vroegere seracs die opnieuw zijn dichtgeduwd met sneeuw => accumuleren tot ijs
    - Lijnen = ogives
      * zijn gebogen => geeft aan dat gletsjer sneller stroomt in centrum & trager aan randen
* Verschillen met stroming water
  + Viscositeit ijs > groter dan viscositeit water
  + Dichtheid ijs < lager dan dichtheid water
* 1ste gevolg grote viscositeit: laminaire stroming
  + Zeer grote viscositeit ijs => hierdoor ijs = laminaire stroming
  + Reynolds getal
    - = maat voor de neiging tot laminaire of turbulente stroming
    - = kleiner naarmate viscositeit vh stromend medium groter is
    - Ijs heeft grote viscositeit => Re voor ijsstroming < 600 => dwz laminair
  + Laminaire stroming
    - = in gletsjers lopen stroomlijnen dus // aan elkaar, zonder elkaar te kruisen
  + Bewijs/ aanwijzing dat gletsjers laminair stromen
    - = aanwezigheid van lijnvormige morenen in dalgletsjers
    - Morenen = bestaan uit gesteentepuin dat oa langs zijkant van dalgletsjers w geërodeerd
    - Wnnr de versch dalgletsjers samen vloeien => moren voegen zich samen in zgnde middenmorenen => bestaan middenmorenen bewijst dat wnnr dalgletsjers samenvloeien er geen vermenging optreedt van ijs vd versch samenvloeiende gletsjers
      * => dit w verklaard door de laminaire stroming van gletsjerijs
* 2de gevolg grote viscositeit: zeer grote shear stress
  + Zeer grote viscositeit ijs => hierdoor ijs = oefent zeer grote shear stress uit op bodemopp
  + Shear stress door stromend medium => neemt toe met de viscositeit
    - Gletsjerijs grote viscositeit => gletsjerijs grote shear stress, ondanks de lage stroomsnelheid van ijs
  + Gevolg: gletsjers zijn in staat om
    - 1) hard gesteente te eroderen en te verpulveren
    - 2) om grote hoeveelheden puin & grote gesteenteblokken te transporteren en af te zetten
* Ppt 442,443,444 nieuw
  + Net voor de gletsjer => onstuimige rivier stromen
  + Vanwaar komt het water allemaal?
    - => vanonder de groenlandse ijskap
    - => in gletsjerfront => 2 grote gaten zitten = gletsjerpoorten
      * = zeer grote openingen waaruit smeltwater met puin (grijz kleur) vanonder de gletsjer komt uitgestroomd
  + Vanwaar komt het water?
    - Smeltwater ontstaat aan opp. vd ijskap => door zon smelten ijs => eerst riviertjes op opp vd ijskap => vervolgens kan smeltwater via barsten en spleten => doordringen => glijmiddel voor beweging ijskap / gletsjer
* Stroomsnelheid & stroombanen van gletsjerijs
  + Vertonen kenmerkende patronen
  + 1) dalgletsjers: stroomsnelheid
    - Stroomsnelheid: neemt exponentieel af vanaf het midden vd gletsjer naar de zijkanten toe & vanaf het gletsjeropp. Naar de basis
    - Oorzaak: door wrijving met de valleibodem & valleiwand ~ rivieren
    - Stroomsnelheid van dalgletsjers: meestal vrij snel
      * Variërend van 10tallen tot 100den meters per jaar
    - Dalgletsjers = vaak natte gletsjers
      * Ze stromen hellingafwaarts tot waar de T zodanig hoog w, dat ablatie optreedt hoofdzakelijk door smelten
      * Gevolg: vooral grote hoeveelheden smeltwater in de ablatiezone => dit bevordert de stroomsnelheid
  + 2) dalgletsjers: stroombanen
    - Stroombanen: gebogen vorm
    - Oorzaak: sneeuw dat bovenaan in de accumulatiezone valt => w hellingafwaarts verplaatst & tijdens hellingafwaartse beweging w het steeds meer begraven onder jongere recenter afgezette sneeuw => compactie => sneeuw w gletsjerijs
      * Wnnr gletsjerijs in ablatiezone komt => ablatie van ijs => ijs begint te smelten & sublimeren, eerst aan het gletsjeropp
      * Dus sneeuw dat laatst valt => smelt eerst => zal dus maar korte afstand hebben afgelegd
      * Dus verder hellingafwaarts => treedt verdergaande ablatie op => hierdoor komt steeds ouder ijs aan het gletsjeopp te liggen dat grotere afstand heeft afgelegd
      * Uiteindelijk is het ijs dat het gletsjerfront bereikt, het oudste ijs dat gevormd werd aan het begin vd accumulatiezone => dit ijs heeft grotere afstand afgelegd
  + 3) Continentale gletsjers: andere stroompatronen
    - Stroompatronen in ijskappen w niet bepaald door het reliëf in het onderliggende gesteente zoals bij dalgletsjers
      * => stroompatronen in ijskappen gekenmerkt door drukgradienten
    - Vb: Groenland & Antartica
      * Koepelvormige ijskappen ~ stroompatronen
      * Allebei tot zo’n 3000m dik
    - Koeplvormige ijskap ~ stroompatronen
      * Stroomsnelheden gering want koude, droge gletsjers
      * Stroomrichtingen: ijs stroomt vanaf de centrale delen vd koepelvormige ijskap naar de rand vd ijskap = stroompatroon
        + Oorzaak: drukgradienten in het gletsjerijs
      * 1) In centrale delen vd koepelvormige ijskap => sneeuw accumuleert & door compactie omgevormd tot gletsjerijs
      * 2) In gebieden met relatief vlak relief => weinig verplaatsing vh gevormde gletsjerijs => na een tijd ontstaat hierdoor dikke ijskap
      * 3) Groenland & antartica ijskappen
        + = resultaat van accumulatie gedurende 100-duizenden tot meer dan 1miljoen jaar
      * 4) Acumulatie van gletjers kan niet oneindig doorgaan => naarmate ijsmassa accumuleert => hoge P => ijsmassa w vanonder meer plastisch => plastische ijsmassa w onderaan weggeduwd => ijsmassa zakt in elkaar als een pudding => ontstaan koepelvorm ijskap
    - Conclusie: Drukgradienten zorgen dus voor stroming vh ijs
      * Centraal = grootste P = dikste ijskap & naar randen = minder P = dunner
    - Gevolg koepelvormigheid: ijs stroomt vanaf centrum vd ijskap (hoogste gedeelte) naar de randen => aan randen treedt ablatie op
  + Antartica: ablatie door afkalven van ijs in zee, Groenland: ook door smelten

3.4 Ablatie

* Ablatie
  + = verdwijnen van ijs door 3 mechanismen: smelten, sublimatie, afkalven
    - Ablatie kan optreden door smelten, sublimatie en/of afkalven van ijs
  + Ablatie door smelten
    - Voorkomen: voor natte dalgletsjers in gebergten in gematigde klimaten
      * Vb: alpiene gletsjers
    - In ablatiezone sijpelt smeltwater (door zon smelten) door via spleten en holten in de gletsjers => concentreert het zich aan de basis tot een **subglaciale smeltwaterrivier** 
      * Smeltwaterrivier stroomt aan het gletsjerfront uit de gletsjer via een **gletsjerpoort**
    - Uitz: soms smeltwaterrivieren ontstaan bovenop gletsjeropp ipv aan basis
    - Kenmerk: grijs ijs
      * Reden: ijs smelt is aan het smelten in ablatiezone => maar puin smelt niet => grijze kleur gletsjerijs
    - Slide 446 nieuw: gletsjerfront = schuine helling
      * Aan voet gletsjerfront: zwart gat met smeltwater = gletsjerpoort
  + Ablatie door sublimatie gletsjerijs
    - Sublimatie= overgang van vaste naar gasvormige fase
    - Voorkomen: bij felle zonneschijn & droge luchtvochtigheid
      * => ijs aan het gletsjeropp kan direct w omgezet tot waterdamp
      * Vb: boven uitgestrekte ijskappen van Antartica en Groenland
        + Reden: door het polair hogedrukgebied is er droog & onbewolkte lucht
  + Ablatie door afkalven van ijsbergen
    - Voorkomen: waar gletsjers in meer of zee uitmonden (dicht bij poolgebieden)
    - Ijsbergen
      * = afgekalfde brokken van gletsjers die in meer of zee uitmonden
      * = afgekalfd gletsjerijs
      * Vb: de ijsbergen op Noordelijk halfrond op zee = afkomstig van het afkalven vd Groenlandse ijskap
      * Vb: de ijsbergen in Zuidelijk halfrond op zee = afkomstig vh afkalven vd Antarctische ijskap
    - Uitz: soms treedt afkalving niet meteen op als ijs van een ijskap de zee bereikt => maar ijs drijft als groot ijsplateau op zee => ijsplateau blijft verbonden met de continentale ijskap
      * Ice shelf = drijvend ijsplateau dat vast hangt aan de continent. ijskap
      * Vb: langs kust van Antartica zeer grote ice shelfs in grote baaien
        + ⬄ Noordelijk halfrond weinig ice shelfs
      * Oiv getijdenwerking w ijs van ice shelf 2x per dag op en neer bewogen => rekspanningen ontstaan => brokken vd ice shelf ku afbreken = afkalven van ijs => vormen ijsbergen
  + Conclusie: afkalven van ijs kan leiden tot ijsplaten en ijsbergen
  + Opmerking: zeeijs (vb pakijs)= bestaat uit bevroren zeewater = aaneenschakeling van plaatvormige ijsschollen
    - ≠ ijsberg = bestaat uit afgekalfd gletsjerijs = hoog uitstekende vormen van ijsbergen
      * Afkalven van landijskappen/gletsjers => ijsbergen op zee => smelten => stijging zeespiegel
  + Slide 447: Spitsbergen bedekt met gletsjerijs (zo koud dat het niet smelt) => vormt een ijsplaat (gletsjer drijft op zeewater) => getijdenwerking (zie hieroven)

4. Glaciale landvormen

* Stroming van ijs veroorzaakt grote shear stress
  + Gevolg: gletsjers in staat om grote hoeveelheden gesteentemateriaal te eroderen, transporteren & elders af te zetten => resulteert in karakteristieke landvormen
* Glaciaal
  + = de term waarmee de geomorfologische processen en landvormen die ontstaan door werking van gletsjers aangeduid worden

4.1. Erosieve glaciale landvormen

* Vorige slides: stromen, vergaan gletsjerijs
* Kijken naar eroderende werking van ijs op land onder ijskap => hierdoor ontstaan glaciale landvormen
  + = landvormen ontstaan door glaciale werking
* **Erosieve glaciale landvormen => gletsjerdalen:** kenmerken hieronder
* Gletsjernis, cirque of kaar
  + = nisvormige holtes waar sneeuw wel blijft liggen
  + Slide 451 (actieve gletsjernis) Ontstaan: sneeuw accumuleert in accumulatiezone tot gletsjerijs=> toename dikte vh gletsjerijs in hellingafwaartse richting => ijs gaat rotationeel onderuitglijden & met toenemende dikte, toenemende shear stress die gletsjer uitoefent op onderliggend gesteente => gesteente eronder zal uitgesleten worden door schurende werking vh ijs
    - => ontstaan gletsjernis **bovenaan** in de accumulatiezone v/e **dalgletsjer**
  + Slide 452: geen gletsjer meer in de gletsjernis (inactieve gletsjernis)
    - Waarom? => Klimaatveranderingen
    - Vroeger zou gletsjer hebben gezeten in de gletsjernis want kouder toen
  + Gletsjerdalen die oorspr gevormd w door de eroderende werking van dalgletsjers worden dus gekenmerkt door een gletsjernis, cirque of kaar
* Dwarsprofiel: U vormige valleien
  + Gletsjervalleien zijn U vormig
    - Reden: gletsjers zijn brede stromende ijsmassas => gaan over grote breedte bodem vallei eroderen => brede U vormige valleien
    - Reden (idem): Erosieve werking ijsmassa is meer gelijkmatig verdeeld over heel contactopp tussen ijs en ondergrond
      * Valleiflanken idem onderheven aan verticale en laterale erosie als de valleibodem
        + Resultaat: een U vormig dwarsprofiel bij gletsjerdalen
    - Na terugtrekken gletsjerijs => op valleiwanden vd U vormige gletsjervallei ook andere landschappen ontstaan
      * Dus glaciaal landschap & na terugtrekken gletsjerijs ook andere processen
    - ⬄ riviervalleien dwarsprofiel: resultaat van verticale riviererosie en hellingsprocessen op flanken vd vallei
      * De verticale riviererosie treedt enkel op in diepste plaatsen in rivierdal
        + Resultaat: jonge riviervalleien in V vormig dwarsprofiel
* Hangend U dal / Hangende gletsjerdalen
  + = een plotse, steile overgang in het lengteprofiel ( waar 2gletsjerdalen samen komen)
  + Voorkomen: waar 2 gletsjerdalen samenkomen
    - Waar kleiner U vormig gletsjerdal uitmondt in veel groter gletsjerdal
    - De dalbodem vh kleiner dal ligt hierbij hoger dan dalbodem vh groter dal (het kleiner dal hangt)
  + Ontstaan: samenkomen kleine & grote gletsjer => hierbij schuurt kleinere gletsjer een minder diep dal uit dan de grote
    - De kleine gletsjer blijft liggen op de grote gletsjer
      * Na afsmelten vd gletsjers blijft dan een hangend dal over
  + Ontstaan: Slide 456: stroming van ijs is een laminaire stroming
    - Dunne zijgletsjer, brede hoofdgletsjer
    - Dwarsdoorsnede A B C: zijgletsjer ligt bovenop de hoofdgletsjer => reden: ijs stroomt laminaire dus geen turbulente vermenging van zij en hoofdgletsjerijs => hierdoor gaat de erosiebasis (diepte eroderen vallei vd zijgletsjer) vd zijgletsjer ligt hoger dan de basis van de valleibodem onder hoofdgletsjer
      * Gevolg: als geheel afsmelt krijgen we hangend U dal
  + Kenmerk: een waterval van het kleine zijdal naar grote hoofddal
  + Soms: grotere gletsjerdal gevuld met water = een fjord = zeewater dat groter gletsjerdal invult (zie straks)
* Fjorden
  + = langgerekte, brede zeearmen / brede inhammen van de zee
    - Staan in open verbinding met oceaan
    - Gaan zeer diep het land in (tot in het gebergte)
  + Ontstaan: U vormige gletsjerdalen die doorlopen tot aan zee => gletsjerdal w gedeeltelijk overspoeld
    - Fjorden werden als U vormige gletsjerdalen uitgeschuurd tijdens ijstijden toen de gebieden vergletsjerd waren
    - 1) Tijdens ijstijd: zeepiegel 10tal lager
      * Reden: water gestockeerd in landijskappen / landijs
      * Gevolg: gletsjerdalen konden zich uitschuren tot beneden niveau vd huidige zeespiegel
    - 2) Sinds afsmelten vd landijskappen na laatste Ijstijd => zeespiegel stijgt opnieuw => zeewater dringt geleidelijk in de gletsjerdalen in => gletsjerdalen onderwater gelopen
      * Gevolg: ontstaan fjorden
  + Vb: langs kust van Noorwegen veel fjorden , langs kust van Groenland, Alaska, Z-Amerika & nieuw-Zeeland
* Gletsjermeren, drempels
  + Ontstaan drempels: door de grotere viscositeit van ijs tov water => gletsjerijs kan over korte afstanden bergopwaarts verplaatsen ⬄ water
    - Hierdoor hellen gletsjervalleien niet gelijkmatig af in stroomafwaartse richting
    - Resultaat: onregelmatig lengteprofiel met talrijke drempels in
      * ⬄ riviervalleien: gelijkmatig concaaf lengteprofiel (zie deel VI)
  + Ontstaan uitleg Stijn: daar waar harder gesteente voorkomt => kan gletsjer voor en achter harder gesteente holten uitschuren (waar zachter gesteente is) & tegelijk is de gletsjer 100m dik en stroomt over de hardere gesteente heen en de hardere gesteenten bieden meer weerstand aan erosie => na afsmelten gletsjers gaan hard gesteente drempel vormen
    - Dus harder gesteente => drempels
    - Dus zachter gesteente => gletsjer heeft holten uitgeschuurd
  + Ontstaan meren: na afsmelten vd gletsjer ontstaan de meren achter de drempels in die holtes
    - Gletsjermeer = accumulatie van water achter drempels
    - Vb: meren in Alpen (meer van Genève) , Great lakes N-Amerika
* Gletsjerkrassen of striaties
  + = lijnvormige krassen
  + Ontstaan: gletsjers ku grote hoeveelheden rotsblokken & gesteentefragmenten eroderen & transporteren
    - Geërodeerd materiaal (puinmateriaal) aan basis w meegevoerd door het ijs
    - Door laminaire stroming ijs wordt materiaal niet hogerop in het gletsjerijs gebracht
      * Gevolg: gletsjers vervoeren grote hoeveelheid puin vlakbij hun basis
    - Tijdens transport w materiaal tegen bodem geschuurd => veroorzaakt abrasie vh onderliggend gesteente => ontstaan in onderliggend gest. striaties
* Bultrotsen of roches moutonnées
  + Ontstaan: door werking van continentale gletsjers op hard substraat
    - Gelijkaardige landvormen gevormd in los gesteente = drumlins
  + Drumlins & bultrosten
    - Onregelmatigheden in hardheid vh substraat kan aanleiding geven tot drumlins & bultrotsen
    - Na afsmelten vd ijskap geven ze aanleiding tot landschap met moeilijke afwatering & rijk aan meren
  + Bultrotsen: hebben zwakke gepolijste loefzijde & steilere ruwere lijzijde
  + Drumlins: hebben door beweging vh ijs eroverheen, een gestroomlijnde, elliptische vorm, waarvan de lengteas evenwijdig ligt met de stroomrichting vh iijs

4.2 Sedimentaire glaciale landvormen

* Sedimentaire glaciale landvormen
* Morenen
  + Ontstaan: gletsjers eroderen bodemmateriaal aan hun basis & langs de zijkanten
    - Door de laminaire stroming van ijs => het geërodeerd materiaal zal dicht tegen de basis & de rand vd gletsjer w getransporteerd
  + = deze verzameling van geërodeerde en getransporteerde materiaal (puin)
  + = lijnvormige structuur bestaande uit puin, geërodeerd door gletsjers langs de zijwanden
    - => telkens wanneer 2 gletsjers samen vloeien => ontstaat op contactlijn een donkere strook van gletsjerpuin in midden van de gletsjer = morene
  + Types
    - Grondmorene = het materiaal/puin dat aan de basis v/e gletsjer w geërodeerd & getransporteerd => wnnr gletsjer smelt en terugtrekt blijft puin achter
    - Zijmorenen = morenen aan randen vd gletsjer = het materiaal dat langs de valleiwand w geërodeerd & getransporteerd
      * Vaak opgestuwde zijmorenen = stuwwallen
    - Middenmorene = 2 zijmorenen die samenvoegen wnnr 2 gletsjers samenvloeien
  + Ontstaan stuwwal/opgestuwde zijmorene: s465 nieuw
    - Beide kanten vd gletsjer dubbele opgestuwde zijmorenen (stuwwallen)
      * Buitenste stuwwal: begroeid, groot
      * Binnenste stuwwal: minder begroeid, klein
    - Fase 1: gletsjeruitbreiding
      * Buitenste stuwwal moet eerst zijn ontstaan
      * Stuwwal = symmetrische rug /wal met hellingen van 45°
        + 45°: morenen bestaan uit los puin meegevoerd & afgezet door gletsjer => los puin onder hoek van 45° komt overeen met steilste hellingshoek die je kan maken in niet cohesief materiaal
        + bewijs dat het hellingen zijn die ontstaan zijn door het bij elkaar duwen vh morene materiaal => materiaal opgestuwd => hoek aangenomen waar het net stabiel is 45°

bewijs dat morene materiaal opgestuwd is geweest

⬄ nog steilere hoek dan massabewegingen

* + - * + Dit is gedateerd van een fase waarin gletsjer zich is gaan uitbreiden
      * => Gletsjer van hoger uit bergen => materiaal geerodeerd => meegevoerd aan randen vd gletsjer => gletsjer vormt bedding in zijn eigen puin => duwt puin verder naar buiten geduwd / opgestuwd naarmate gletsjer breder en dikker wordt => vorming buitenste zijmorenen
        + Dus dit (vorming stuw) moet gedateerd zijn in periode van gletsjeruitbreiding
      * **Dateren: kleine ijstijd ca 1400-1900 (slide met grafiek)**
        + Middeleeuwse warme periode
        + Koude periode van 1400-1900: Kleine ijstijd

In de koude periode hebben gletsjers zich uitgebreid

* + - Fase 2: gletsjerterugtrekking (inkrimping)
      * => Hierbij zal bedding behouden blijven als 2 opgestuwde zijmorenen met hellingen van 45° (rusthoek van niet cohesief materiaal)
      * **Dateren: opwarming klimaat sinds ca 1900**
    - Fase 3: gletsjeruitbreiding
      * 2 opgestuwde zijmorenen dus opnieuw fase van gletsjeruitbreiding fase
      * => gletsjer w breder en dikker => puin dat van hogerop was meegevoerd => zal opgestuwd worden tot vorming binnenste zijmorenen
      * **Dateren ca 1970-1995: Lokaal meer ijsaanvoer vanuit brongebied vd gletsjer** 
        + Klimaatopwarming tijdens die periode => zorgt voor smelten gletsjers => gletsjers w korter, dunner, smaller,

MAAR kan ook zorgen dat gletsjer stroomopwaarts sneller beweegt door meer smeltwater & is er daar minder ijs => dunner en smallere gletsjer

* + - * + Dus stroomafwaarts meer aanvoer van ijs => gletsjer kan hellingafwaarts terug breder en dikker worden
    - Fase 4: gletsjerterugtrekking
      * => Gletsjer opnieuw dunner en smaller geworden => huidige situatie
      * **Dateren: sinds ca 1995** 
        + Korstmossen sinds 1995 dus fase gletsjerterugtrekking terug door de klimaatopwarming
    - S465: huidige situatie
  + Chronologie stuwwal/opgestuwde zijmorenen vh uitbreiden en inkrimpen
    - Uitbreiden: zijmorenen opgestuwd & inrkimpen: komen binnenwanden vd opgestuwd zijmorenen ijsvrij
    - Dateren wnnr binnenhellingswanden ijs vrijgekomen?
      * 1) ten eerste buitenste stuwwal was begroeid & binnenste niet
        + Verschil in begroeiing geeft verschil in ouderdom weer
        + Binnenste jong, buitenste oud want begroeid
      * 2) ten tweede obv lichenometrie
        + = de ouderdom van gletsjermorenes obv grootte & groeisnelheid van korstmossen te bepalen

Maw wanneer oppervlakte vrijkomt van ijs

* + - * + 1) op flanken vd opgestuwde zijmorenen => zoeken naar korstmossen => 30 grootste opmeten = grootte bepalen
        + 2) groeisnelheid korstmossen opmeten
        + 3) obv grootte & groeisnelheid inschatten wnnr de gesteenten 1st gekoloniseerd werden door korstmossen = het tijdstip wnnr gesteenten vrijkwamen van gletsjerijs

Hoe groter korstm, hoe langer geleden vrijkomen ijs

* + - Slide 465: samenvatting vh resultaat
      * Buitenste opgestuwde zijmorenen: korstmossen groeien sinds 1900
      * Binnenste opgestuwde zijmorenen: korstmossen sinds 1995
        + Dus binnenste zijmorene recent gevormd
    - Conclusie: we kunnen de fases dateren (zie vet hierboven)
  + Kenmerk grondmorene: zeer slechte sortering
    - Reden: bij transport w morenemateriaal langs bodem & wand vh gletsjerdal geschuurd => gesteentefragmenten ku verpulveren tot zeer fijn gruis
      * Grof of fijn materiaal w op idem wijze & aan idem snelheid getransporteerd door ijs
      * Gevolg: morenemateriaal bestaat uit materiaal met zeer slechte sortering: grote blokken, puin, zand, silt, klei
  + Kenmerk grondmorene: hoekig materiaal
    - Reden: tijdens transport is er weinig contact tssn versch gesteentefragmenten (want laminair) => weinig of geen afronding
  + Kenmerk: soms opgestuwde zijmorenen (stuwwallen)
    - Binnenste stuwwal: kleinere, weinig begroeid met vegetatie
    - Buitenste stuwwal: groter, breder en meer begroeid met vegetatie
  + Eindmorene (stuwwal)
    - Ontstaan: in ablatiezone w al het meegevoerd morenemateriaal afgezet => door ablatie neemt de ijsmassa af & dus ook afname shearstress & afname transporterend vermogen gletsjer => aan gletsjerfront is al het gletsjerijs uiteindelijk gesmolten => vorming eindmorene
    - Terugschrijdende gletsjer
      * Laat zijn eerder gevormde eindmorene als langgerekte wal achter
      * Laat grondmorene achter als een laag puin
      * Laat walvormige zijmorenen & eventueel middenmorenen achter
    - Kenmerk: belemmering afwatering
      * Achtergebleven moreenmateriaal belemmert de vrije afwatering vh stroomopwaarts gelegen gedeelte vd vroegere gletsjervallei
        + Gevolg: meervorming hier achter
    - Na terugschrijden, terug vooruitschrijdende gletsjer
      * De gletsjer kan dan eindmorene terug bereiken & overschrijden
        + Hierbij w de oude eindmorene opgestuwd => vorming van stuwmorene
  + Stuwmorene / opgestuwde eindmorene
    - eindmorene = het materiaal dat op einde aan het gletsjerfront wordt afgezet => dit kan ook opgestuwd worden (gletsjeruitbreiding)
    - Kenmerk: erachter een meer
    - Ontstaan: door vooruitschrijdende landijskappen => oude eindmorene opstuwen tot stuwmorene
    - Door druk vh ijs => stuw morene sterk geplooid
      * Gevolg: inwendige structuur vh stuwmorene ⬄ gewone eindmorene
    - vb: heuvelruggen vb de Veluwe in Midden-Nederland = stuwmorenen gevormd door een vooruitschrijdende landijskap tijdens ijstijden
* Zwerfkeien of erratica
  + = grote brokstukken
  + Ontstaan: ijs kan grote rotsblokken eroderen & transporteren over grote afstand => na afsmelten vd gletsjer => kan men die grote rotsblokken (versch diameters) willekeurig aantreffen in landschap
    - hierbij is minerale samenstelling vh rotsblok (vb graniet) niet idem als de samenstelling vd ondergrond (bed rock) (vb kwartsier)
      * reden: rotsblok werd elders geërodeerd & over grote afstand getransporteerd door ijs
    - deze afzettingen = zwerfkeien of erratica
  + vb: in Midden en Noord Nederland zwerfkeien die tijdens ijstijden in Finland of Zweden geërodeerd zijn geweest => door landijs getransporteerd

4.3 Sedimentaire fluvio-glaciale landvormen

* fluvio-glaciale landvormen
  + ontstaan
    - niet al het materiaal dat door ijs w geërodeerd & getransporteerd wordt afgezet als morene materiaal
    - smeltwater kan het fijner materiaal zoals silt, zand, klei en zelfs grind over afstandje verplaatsen => uiteindelijk w dit materiaal door smeltwater afgezet => ontstaan fluvio-glaciale landvormen
* 1) smeltwaterbeken gevoed door gletsjers
  + kenmerk: seizoenale schommelingen in debiet en in sedimentlading
    - in winter: accumulatie van sneeuw => geen smeltwater stroomt uit gletsjer
    - in lente: smeltwaterrivieren vertonen hoge piekdebieten
      * oorzaak: massaal afsmelten v sneeuw (tijdens winter geaccumuleerd
      * tijdens de piekdebieten transporteert smeltwater sediment
  + kenmerk: vlechtend karakter
    - rivieren verleggen constant hun verloop in de vlakte voor het gletsjerfront & zoeken telkens nieuwe weg doorheen hun eigen sedimenten
      * sedimenten w vele malen opgeruimd & afgezet samen met vers sediment
    - gevolg: sandur?
* 2) sandur/ spoelzandwaaier of outwash plain
  + = uitgestrekte afzettingen van goed gesorteerd zand & grind = vlakte waarop geen vegetatie is
  + voorkomen: in vlakten voor ijsfront
  + Ontstaan: gevormd door smeltwater dat zwaar beladen is met fijn materiaal => wordt afgezet wnnr smeltwater gaat uitwaaieren/uitspreiden over groter opp
    - Reden: bij uitwaaieren meer wrijving bodem (minder diep) => stroomsnelheid neemt af => afzetting
* 3) esker
  + = lage, kronkelende heuvelruggen
  + = dijkvormige langgerekte structuren in landschap
  + = fossiele overblijfselen vd rivierbedding van subglaciale smeltwaterrivieren
  + Bestaat uit ongelaagd zand & grind afgezet door subglaciale smeltwaterbeek
    - Na afsmelten ijskap: afzettingen blijven achter als langgerekte, afgeronde ruggen
  + Voorkomen: in streken vroeger door ijskap bedekt
  + Ontstaan s470 nieuw: Aan basis gletsjers voorkomen subglaciale smeltwaterrivieren
    - smeltwater aan opp gletsjer => sijpelt in via barsten en spleten => verzamelt aan basis gletsjer in subglaciale smeltwaterrivier
    - Warme water zorgt dat holte ontstaat onder die gletsjer waarin meer en meer smeltwater kan verzamelen in subglaciale smeltwaterrivier
    - Smeltwater kan fijn sediment met zich meevoeren & kan afgezet worden op bedding vd subglaciale smeltwaterrivier
      * Bedding kan ophogen door sedimentafzetting => maar breedte bedding beperkt door omringend gletsjerijs => dus zo ontstaat een rugvormige ophoping van sedimentafzetting op rivierbedding
      * Indien gletsjer afsmelt => krijgen we die langgerekte dijkvormige rivierbeddingen die uitsteken in landschap = esker
* 4) kettles
  + = kraters met hellingen van 45° die bestaan uit los puin (rusthoek van niet cohesief materiaal)
  + Ontstaan: wnnr grotere gletsjer/ijskap gaat terugtrekken => kunnen brokken ijs blijven liggen voor tijdje
    - Terwijl gletsjer terugtrekt w er fluvioglaciaal (met smeltwater) wel puin meegevoerd en afgezet rondom brokstukken ijs die nog blijven liggen
    - Gevolg: bij opwarming klimaat => brokken smelten => vorming gaten
      * & omdat sediment errond niet cohesief materiaal is (puin) => hellingen vd gaten zakken in door massabewegingen => onder 45° puin in rust gekomen

5. Periglaciale verschijnselen

* Periglaciaal
  + = de term die de geomorfologische verschijnselen aanduidt, die zich oiv vorst en vorming van bodemijs voordoen
    - in koude arctische of alpiene gebieden gelegen nabij gletsjers of ijskappen
  + = term die wil zeggen ‘bijna glaciaal’
* Periglaciale verschijnselen & landvormen die hierdoor ontstaan: zie hieronder
  + Hieronder dus allemaal typische dingen voor in permafrostgebieden

5.1 Permafrost

* Permafrost
  + = aardlagen die lange tijd bevroren blijven (continue of discontinu bevroren)
  + Voorkomen: onder 1/5 vh hedendaagse landopp, in arctische en alpiene gebieden
  + Dikte perfmafrost: wisselvallig
    - In zeer koude streken: dikten van enkele 100den m & grond ontdooit nooit
      * => continue permafrost (constant bevroren bodem)
    - In warmere gebieden: permafrost bedekt door laag die in zomer dooit & in winter bevriest
      * => discontinue permafrost (bevroren & ontdooien)
      * Actieve laag
        + = bovenste laag die periodiek ontdooit en weer bevriest
        + Ligt bovenop een permanent bevroren bodem

Reden: ooit was er een periode koud gng om bodem permanent te bevriezen

Gevolg: smeltwater kan niet draineren in bodem

Hierdoor actieve laag die waterverzadigd wordt => bodem w gevoelig aan massabeweging vb creep

* + Gebied met discontinue permafrost ~ gevoelig aan trage massabewegingen
    - vb creep
      * Bevriezen bodem: bodem uitzetten in richting loodrecht op opp
      * Ontdooien bodem: bodem zakt verticaal in elkaar oiv Fz
      * Resultaat: trage netto hellingafwaartse beweging
    - Vb: solifluctie
      * = verglijden vd bodem tgv waterverzadiging vd bodem
      * Zomer: ontdooit enkel actieve laag (niet de permanent bevroren ondergrond) => ontdooit bodemwater kan in de actieve laag niet indringen in de diepere ondergrond
        + Bodemwater concentreert op contactopp tssn actieve laag & de permanent bevroren ondergrond
        + Gevolg: in contactzone ontstaat positieve porienwaterdruk => bodem w onstabiel => bodem glijd of vloeit traag
        + Dit proces = solifluctie
      * Solifluctie leidt tot lobvormige uitstulpingen in hellingen

5.2 Pingo’s

* Pingo’s of vorstheuvels
  + = heuvels, symmetrisch, cirkelvormig met in top vd heuvel klein meertje
  + = typisch in permafrostgebieden
  + Ontstaan: ontstaat typisch in valleigebied door vorming van een ijslens op diepte van minder dan 10m onder bodemopp (zie 0,1,…)
  + 0) in niet bevroren ondergrond is waterverzadigde zone: zone waar bodemporiën volledig gevuld zijn met water
    - Grondwatertafel = top vd waterverzadigde zone
  + 1) Kan dat in valleigebied er in permafrost scheuren/barsten voordoen
    - In niet bevroren ondergrond staat grondwater onder druk => grondwater kan niet naar boven komen zolang permafrost bevroren is & staat onder druk (door drukverschil met grondwatertafel) => MAAR via barsten/ scheuren kan water wel opstijgen => komt in koudere bodem terecht => grondwater gaat bevriezen => vormt ondergrondse ijslens
* Pingoruïne
  + = cirkelvormig riviertje
  + = overblijfsel van vroegere pingo
  + 2) zolang barst bestaat => aangroeien ijslens => w bovenliggende bodemmateriaal omhooggeduwd & ontstaat een heuvel => zo ontstaan pingo’s tot max 20m hoog
  + 3) Wnnr de ijskern groter wordt zal bekkende laag (heuvel) openbreken
    - Gevolg: ijslens komt bloot te liggen & materiaal op ijslens kan afglijden => hellingafwaarts sedimentransport naar voet pingo & w rechtstreeks door zon bestraalt => ijslens gaat afsmelten
  + 4) Afgeschoven materiaal blijft aan voet pingo liggen & ijslens volledig weggesmolten
    - Resultaat: cirkelvormige depressie omgeven door aarden wal
      * => Waar vroeger vorstheuvel was
      * => dit cirkelvormig riviertje = pingoruine

5.3 Vorstwiggen

* Vorstwiggen
  + Ontstaan : in polaire klimaten koude lucht (weinig waterdamp) => hierdoor droge lucht => lucht gaat bodems uitdrogen => bodems gaan inkrimpen hierdoor (vb klei) => barsten/spleten ontstaan volgens polygonaal netwerk
    - Soms neerslag onder vorm sneeuw => sneeuw smelt => insijpelen in bodem in barsten & spleten => weer bevriezen=> volumetoename bij bevriezing water => spleten ku groter worden = vorstwiggen
    - Conclusie: vorstwig ontstaat door opeenvolging van versch vorst-dooi cycli
      * vb in gebieden met discontinue permafrost
  + kenmerk: polygonaal netwerk/ structuur van bodems ~ tegeltjes
  + kenmerk: donkere lijnen daar groeit wat vegetatie & daar is een rivierinsnijding in bodem & op donkere lijnen komen barsten voor waar rivier zicht ingesneden heeft

5.4 Gesorteerde bodems of polygoonbodems

* Gesorteerde bodems of polygoonbodems
  + ~ veel vlakken in de bodem
  + Kenmerk: hebben patroon van cirkels of polygonen & hebben sortering waarbij grove stenen geconcentreerd zijn in randen vd polygonen en fijn materiaal in de kernen
  + Afmetingen polygonen; variëren van 10tal cm tot 10tal meter
  + Ontstaan
    - 1) eerst ontstaan er vorstwiggen: zie hierboven
    - 2) opvriezen van grotere stenen
      * 1) Bevriezing van heterogeen sediment (bodems met cohesief en niet cohesief materiaal) => bodem kan door volumevermeerdering worden opgetild => bij dooi terug oorspr plaats
      * 2) MAAR grote stenen die bij bevriezen omhoog waren gekomen => kunnen amper hun oorspr plaats terug innemen
        + Reden: in ruimte eronder loopt bij dooi hoeveelheid fijnkorrelig sediment => belemmert terugweg grove stenen
      * 3) Gevolg: bij herhaling vorst dooi cycli komt steen geleidelijk omhoog volgens lijn loodrecht op de isothermen in de bodem (rode pijlen) & fijnere deeltjes glijden er systematisch onder
        + Als bodem polygonaal netwerk van scheuren heeft => dan zijn isothermen binnen elke polygoon gebogen & concaaf naar beneden

Reden: vorst & dooi dringen nabij een scheur immers sneller bodem in

* + - * + Opvriezen van stenen zal in zo’n bodem niet verticaal gebeuren, maar loodrecht

Gevolg grotere stenen zullen bewegen langzaam richting de vorstwiggen

Resultaat: polygonale structuren met grovere deeltjes op lijnen vd polygonen en fijnere deeltjes in centrum

* + - * => gebeurt bij discontinue permafrost!!

5. ijstijden en klimaatverandering

* Glaciale en periglaciale landvormen
  + Voorkomen: in nabijheid van ijskappen en gletsjers
  + Voorkomen: ook in België vorstwiggen in leemstreek tssn Bxl & Sint Truiden
    - Archeologische& bodemkundige opgravingen
      * Tonen aan deze vorstwiggen polygonale structuur vertonen ~ vorstwiggen in arctische& alpiene gebieden met disctue permafrost
    - => vorstwiggen in BE tonen aan dat er ooit permafrost condities waren in onze streken
  + Voorkomen: ook in België pingoruïnes
    - Vb Hoge venen: cirkelvormige depressies omringd met wal ~ pingoruine
      * In centrum cirkels: open water of veen
      * Aan randen cirkels: andere vegetatie (struiken) dat groeit op walletje
      * => Dit wijst op vroegere permafrost condities
  + Voorkomen: ook in Midden Nederland stuwmorenen en zwerfkeien
    - Afleiding: wijst erop dat er ooit in Midden NE landijskappen waren
  + Voorkomen: Noord-Amerika eindmorenen en stuwmorenen bij Great Lakes
    - Great lakes ontstaan ook als gletsjermeren achter drempels, gevormd in grote gletsjervallei
* Conclusie: deze waarnemingen van glaciale en periglaciale landvormen tonen aan dat er in vroegere geologische perioden klimaatveranderingen waren
  + Vroeger: enorme ijskappen op N-Amerika & Euraziatische continent & op zuidelijk halfrond ook sporen van Ijskappen vb in Zuid-Amerika en Nieuw zeeland
    - => om deze grote ijskappen te vormen moet globale T op aarde vele graden lager geweest zijn dan nu!!!
  + Gedetailleerde informatie over vroegere klimaatveranderingen zijn opgeslagen in de nog resterende ijskappen van Groenland & Antartica
    - Informatie fixen door ijskappen aan te boren op diepte van 3000m
      * => Deze ijsboorkernen bevatte gegevens over vroegere klimaatveranderingen
    - Deze analyses uitgevoerd op ijskernen die werden aangeboord in de Groenlandse ijskap vb GRIP ice cores en in Antartictische ijskap vb Vostok ice core en Epica ice core
      * Onderzoeken precies op top/ centrum vd koepels want daar continue accumulatie van ijs gehad ⬄ randen vervormd door stroming ijs

Gegevens die men kan afleiden uit samenstelling van het gletsjerijs onder ijskappen van Groenland en Antartica (boringen)

* 1) Temperatuurschommelingen
  + Kunnen gemeten worden door gebruik te maken van de eigenschappen van 2 stabiele zuurstofisotopen: 16O en 18O
  + Isotopen ook in zeewater: verhouding 99,8% 16O en 0,2% 18O = MOW (ppt)
  + Bij lage T: zware isotoop 19O condenseert vlotter dan lichte 16O
    - Gevolg: sneeuw & dus ook landijs is relatief rijker aan 18O dan zeewater
    - = Verschil tssn gehalte 18O in ijsmonster & actueel zeewater
    - Naarmate sneeuw gevormd is bij lage T => = hoger
      * dus hoe hoger delta18O, hoe kouder de T moet geweest zijn
  + Resultaat: In boorkern van ijs (opgehaald uit landijs) kan uit het verticale verloop van een Tverloop worden afgeleid
    - S481: T verschil afgeleid uit verhouding O16 en O18 weergegeven obv de samenstelling vh aangeboorde ijs
  + Conclusie: obv deze analyses kennis dat er temperatuurschommelingen hebben voorgedaan op aarde met vrij regelmatige afwisseling van ijstijden/ glacialen, en tussenijstijden/interglacialen
  + Waarnemingen s481:
    - tijdens ijstijden was globale T gem 4 tot 9 graden koeler dan nu
    - ijstijden duurden ong 100 000 jaar, waarbij binnen ijstijd nog kleinere cycli van koudere en relatief warmere perioden voordeden
    - tussenijstijden meestal kort: enkele 1000den tot 10.000 jaar
      * hedendaags: Holocoon = tussenijstijd => begon 10 000 jaar gleden
      * conclusie: we verwachten een nieuwe ijstijd ondanks opwarming
    - Overgang van tussenijstijd naar ijstijd gebeurt traag & opwarming van ijstijd naar tussenijstijd gebeurt snel = zaagtandpatroon
* 2) Samenstelling vd vroegere atmosfeer
  + Bij vorming gletsjerijs w zeer kleine luchtbelletjes ingesloten in het ijs => luchtbelletjes bevatten kleine hoeveelheden vd vroegere atmosfeer
    - Via luchtbelletjes veranderingen in samenstelling atmosfeer onderzoeken voor afgelopen 100 duizenden jaren
  + Waarnemingen: veranderingen in CO2 en CH4 (broeikasgassen) gehalte (481 en 482)
    - Veranderingen in CO2 en CH4 lopen gelijk met de Tschommelingen gedurende de afgelopen 100-duizenden jaren
      * 1) Tijdens koude ijstijden CO2 & CH4 gehalte was lager dan tijdens de warme tussenijstijden
      * 2) Tussen sommige tussenijstijden CO2 en CH4 gehalte hoger dan nu
    - Conclusie: aangetoond dat klimaatverandering en veranderingen in CO2 en CH4 gehalte vd atmosfeer aan elkaar gerelateerd zijn voor de 100 duizend j