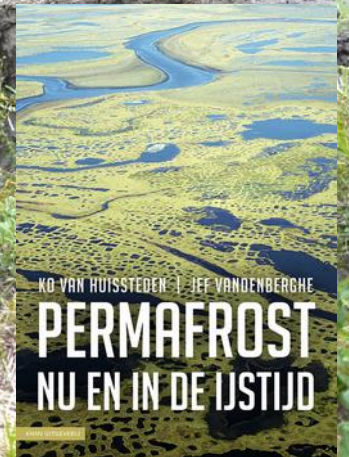


Ontdooiende permafrost een kantelpunt in het klimaat?



Ko van Huissteden



Inhoud

Wat is een kantelpunt?

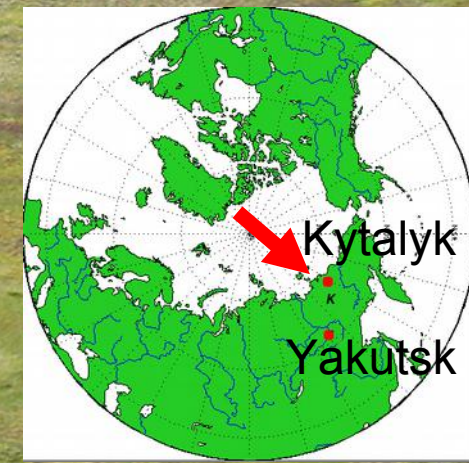
Wat gebeurt er als permafrost ontdooit?

- **Ecosysteem**
- **Landschap**
- **Broeikasgassen**

Permafrost kantelpunt

inspiratiebron:

**ijstijd-permafrost onderzoek in Nederland
14 jaar veldwerk in noordoost Siberië**



Kantelpunten: in systemen met positieve terugkoppelingen

1.3 – 2.4°

opwarming wereldwijd eind deze eeuw

TEMPERATUURVERANDERING WINTER SSP1-2.6
december-februari 2081-2100 tov 1986-2005

2.8 – 4.6°

TEMPERATUURVERANDERING WINTER SSP3-7.0
december-februari 2081-2100 tov 1986-2005

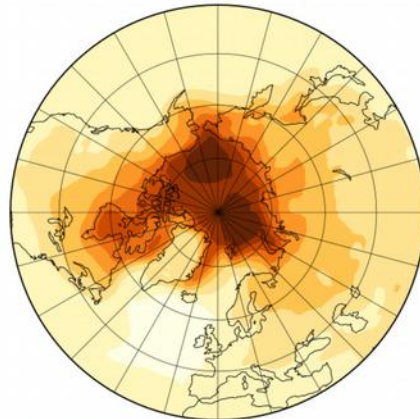
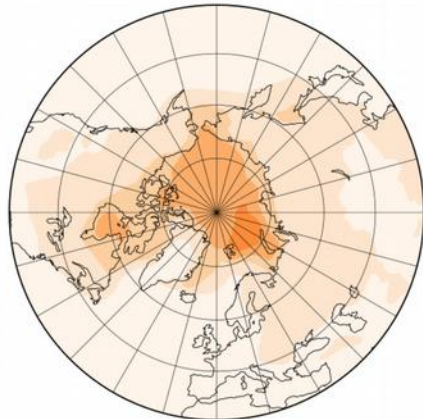
IPCC 2021:

2° opwarming wereldwijd =
tot 8° opwarming in de
arctische gebieden

gevolg van een positieve terugkoppeling:

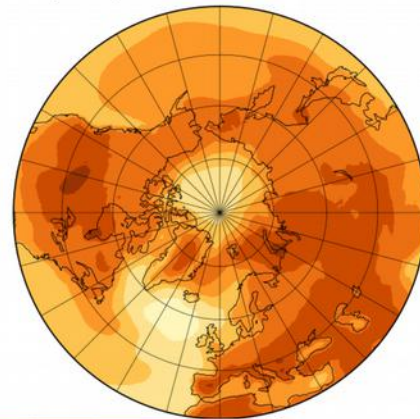
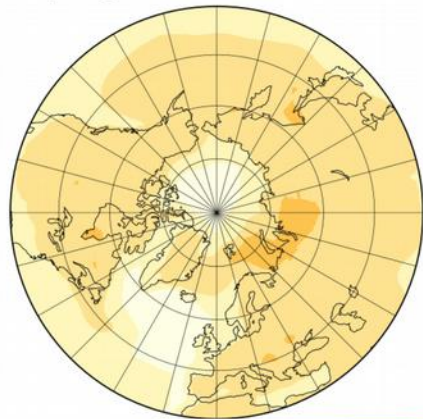
verdwijnen zee-ijs versterkt opwarming
door minder terugkaatsing zonlicht
(ijs – albedo effect)

- meeste opwarming in winter
- ook toename neerslag



TEMPERATUURVERANDERING ZOMER SSP1-2.6
juni-augustus 2081-2100 tov 1986-2005

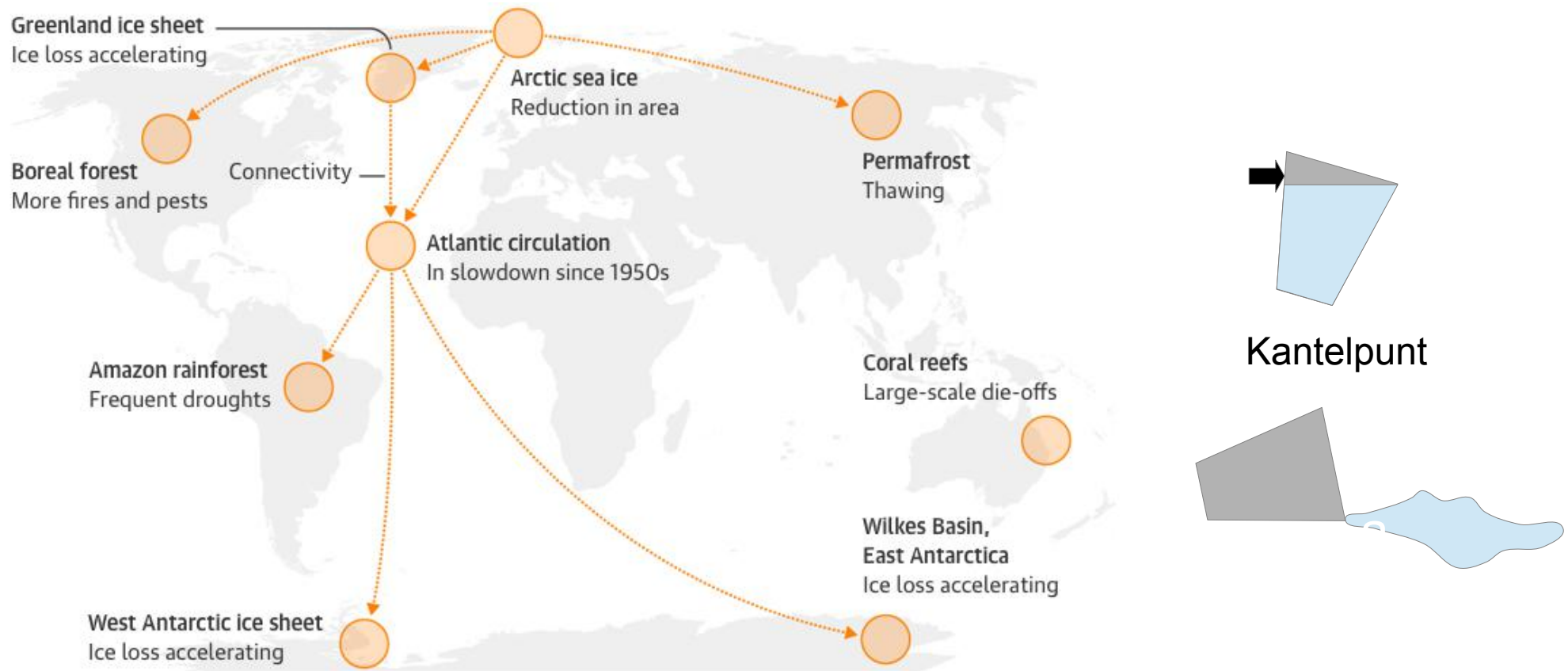
TEMPERATUURVERANDERING ZOMER SSP3-7.0
juni-augustus 2081-2100 tov 1986-2005



Kantelpunten / Tipping points

een **kritieke drempel** in het (klimaat)systeem, bij overschrijding:

- een abrupte **verandering** van het systeem
- die **onomkeerbaar** kan zijn



Guardian graphic. Source: Lenton et al, Nature, 2019

Rockström, in:
Thunber., The Climate Book

Wat is 'permafrost'?

Definitie: minimaal 2 jaar bodemtemperatuur $< 0^{\circ}$

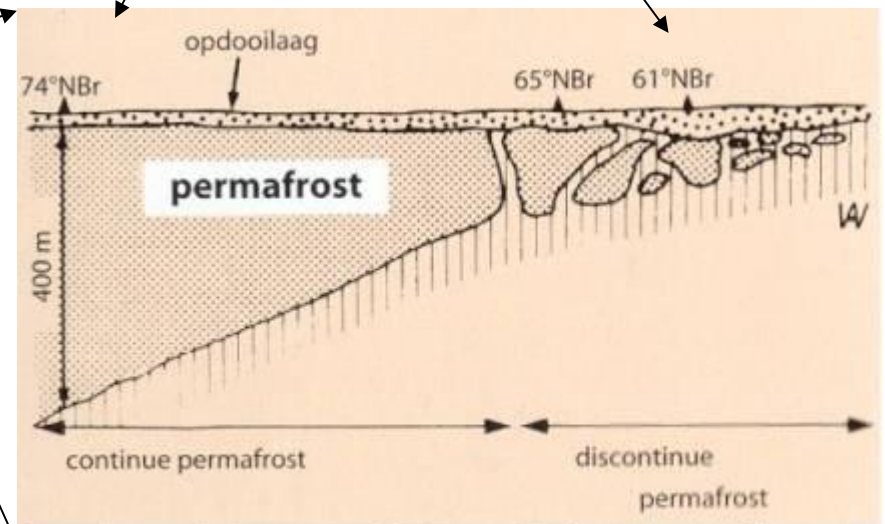
24% landoppervlak noordelijk halfrond: permafrost



Dwarsdoorsnede:

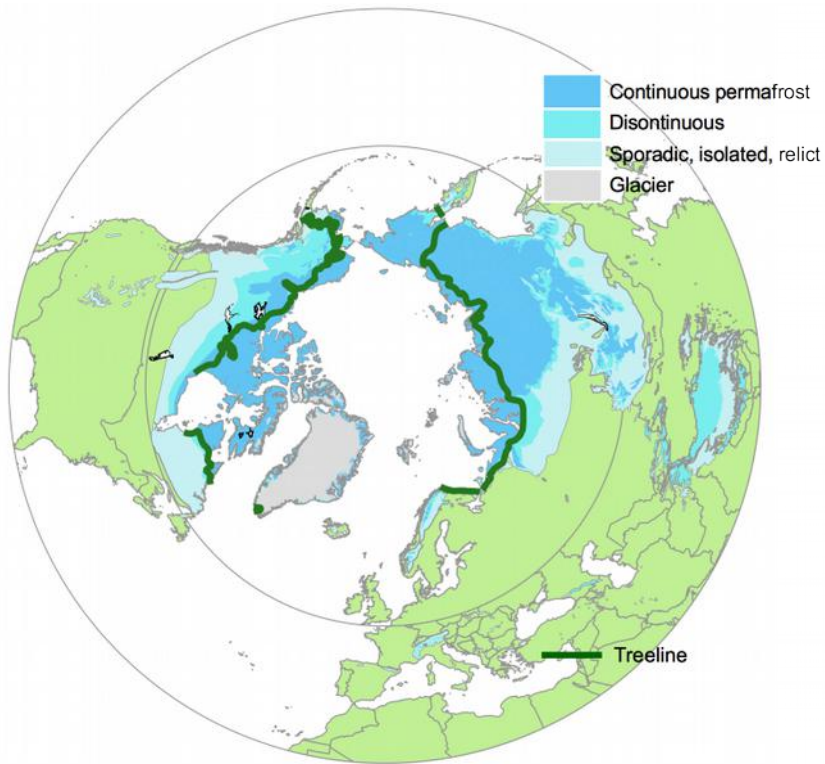
Continue permafrost

Discontinue permafrost



Doorsnede van een bodem waar permafrost is opgetreden. De mate van permafrost neemt af naar mate de breedtegraad afneemt. Ook de opdoollaag is aangegeven.

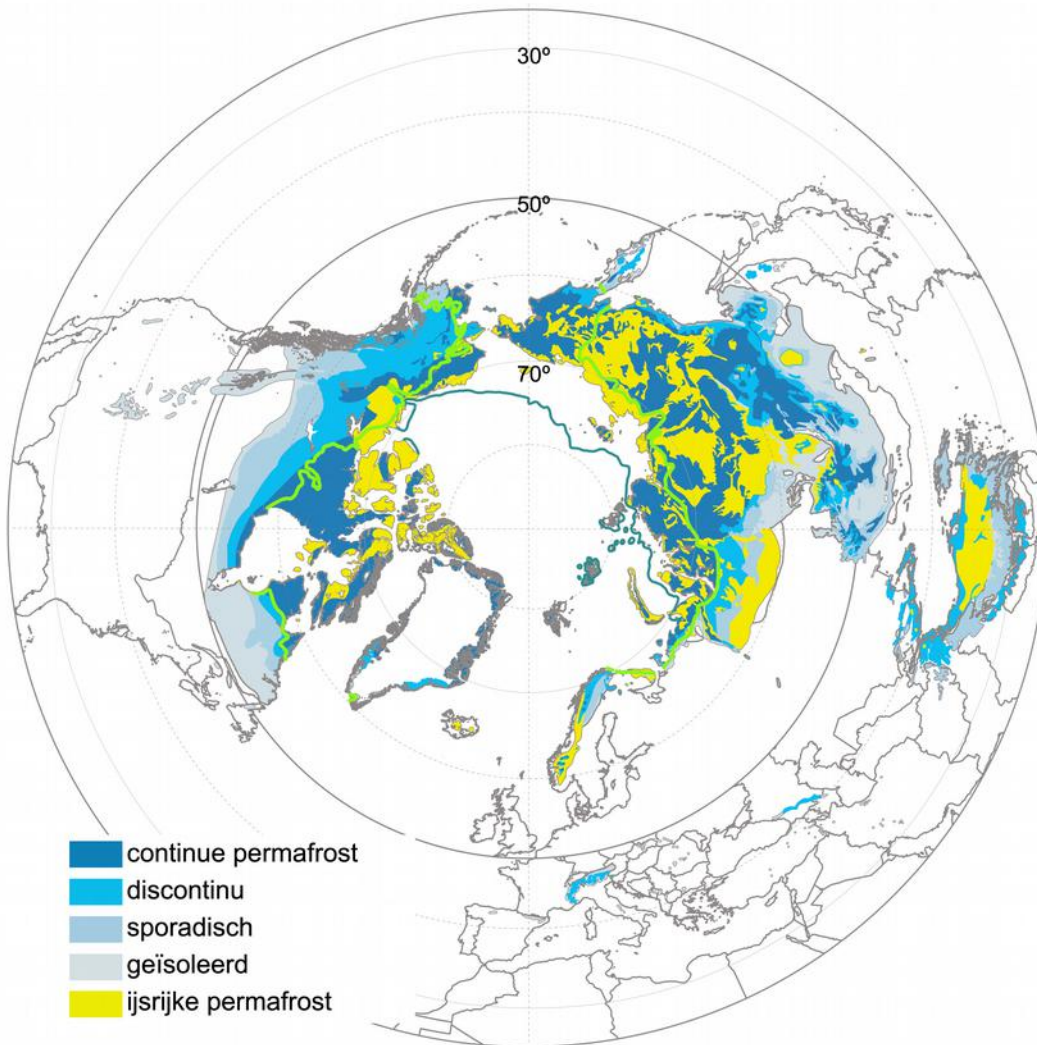
Permafrost: niet alleen toendra



Poolwoestijn, 'barrens'
Toendra / heide
Taiga/boreaal bos



Ijsrijke permafrost



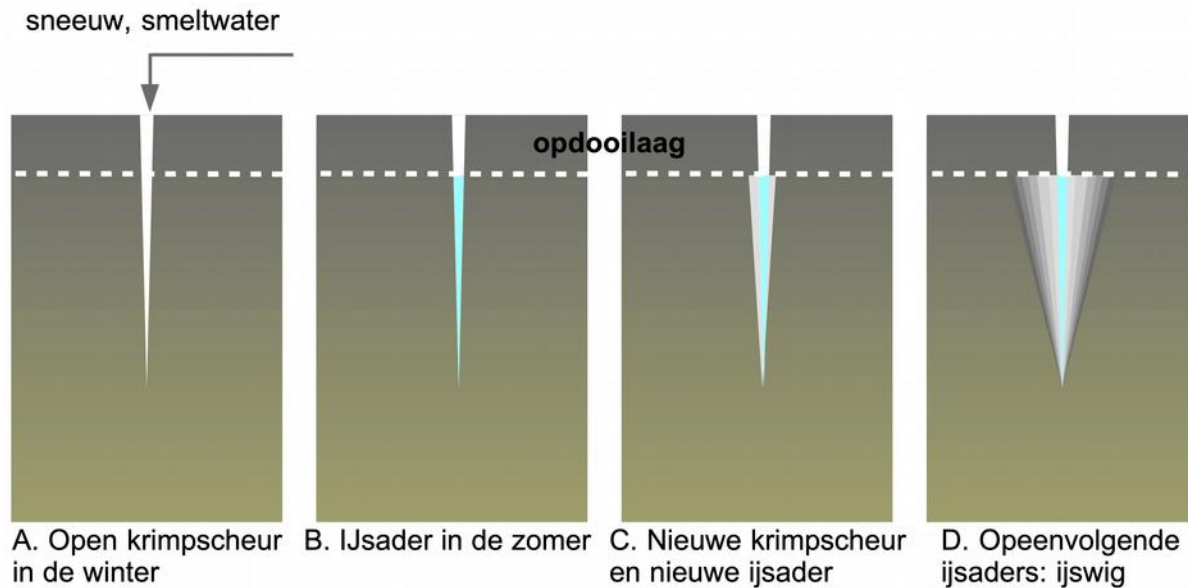
50 volume % of meer ijs
> 90% komt voor

ijslenzen

ijswiggen

begraven ijs
(meer/rivier, gletsjer)

IJslenzen en ijswiggen



Ijswiggen: krimpscheurendoor winterkou raken opgevuld met ijs



Bevriezen bodem: water wordt naar bevrozingsfront getrokken

Warmtebalans van de bodem

Winter:

geen warmte zon
helder weer: sterke uitstraling + afkoeling

dik **sneeuwdek** isoleert bodem



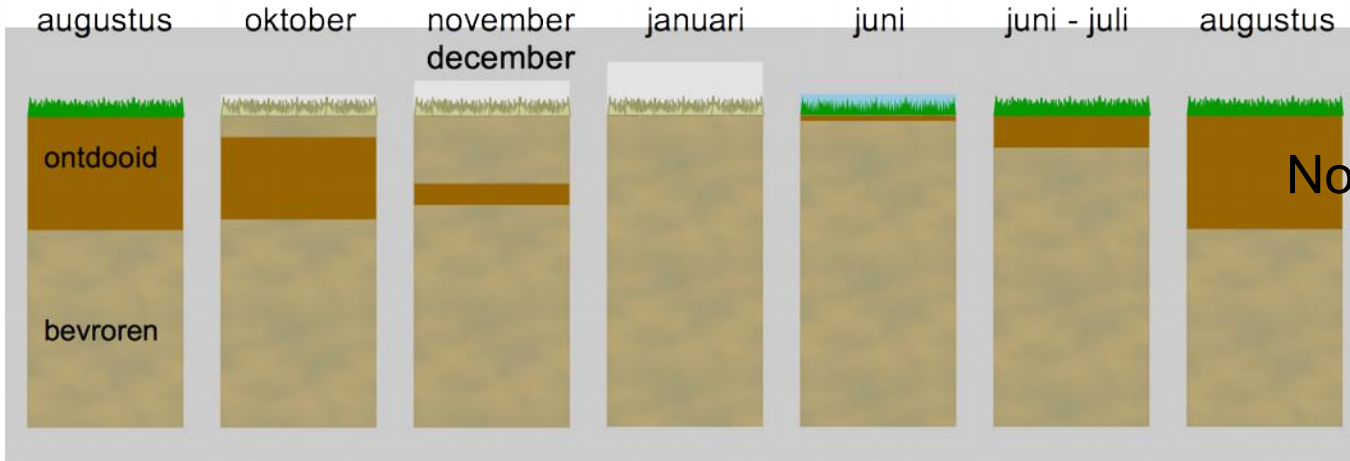
Zomer:

zonnewarmte
aanvoer warme lucht

vegetatie isoleert tegen warmte
waterlaag bevordert dooi

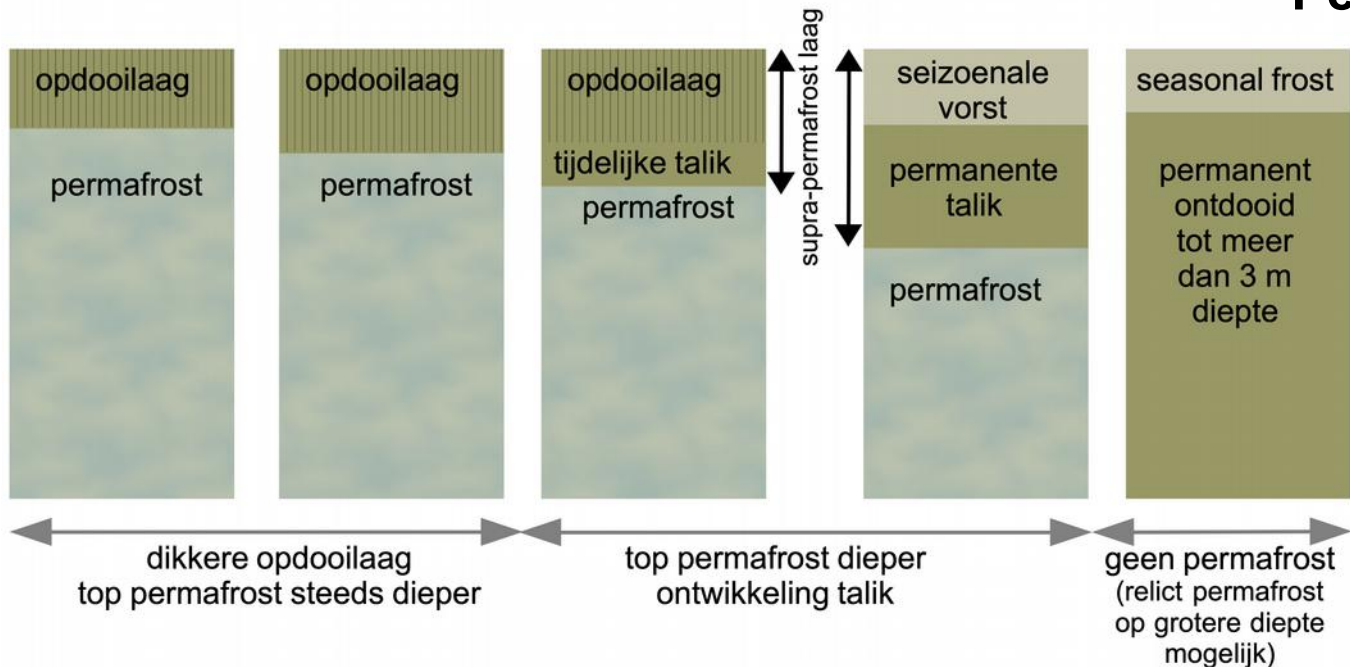


Hoe ontdooit permafrost?



Normale zomer-winter cyclus

Permafrost dooi:



hogere bodemtemperatuur

dikkere opdooilaag

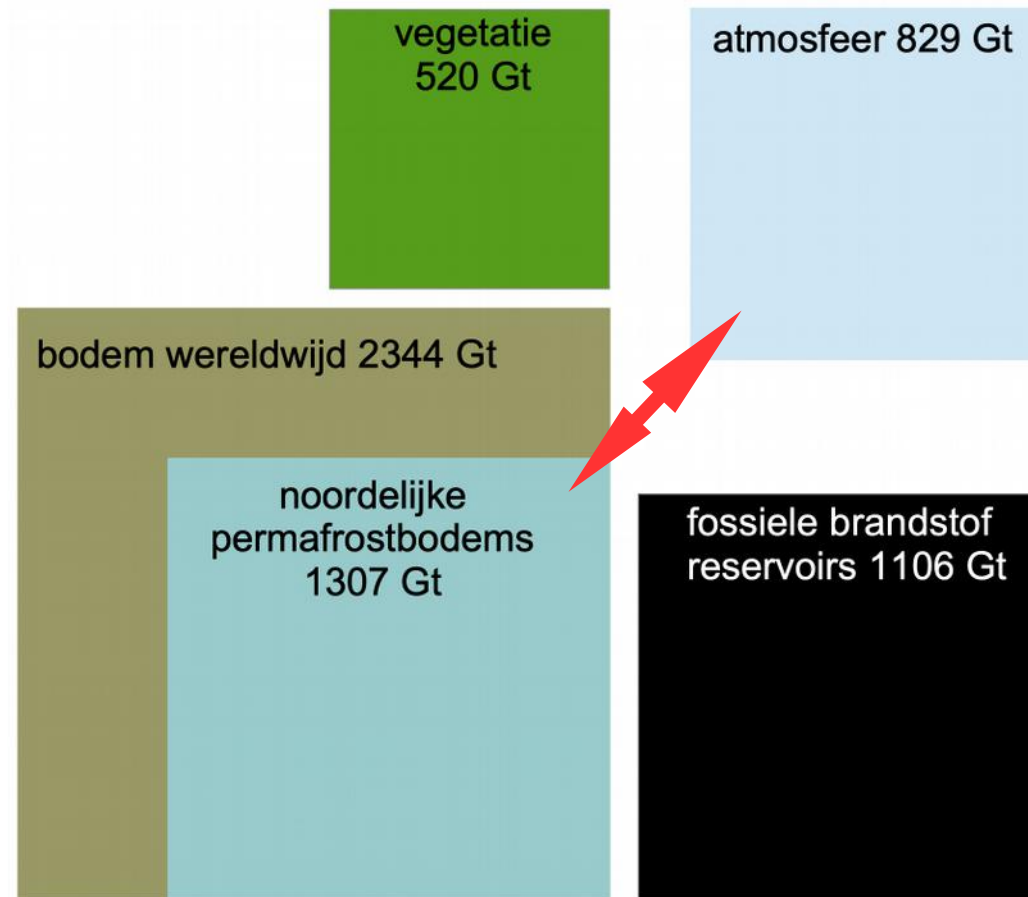
verlies bodemijs

bodemdaling

meer grondwaterstroming

Permafrost: een vriezer met fossiel koolstof

Aardse koolstof reservoirs in Gigatonnen koolstof



- Veen: Canada, West-Siberië
- Rivier- en delta afzettingen
- Ijstijd-löss ('Yedoma') in Oost-Siberië, Alaska

Welke broeikasgassen?

CO₂ lange verblijftijd in de atmosfeer

CH₄ (methaan): opwarmend effect ±28 x CO₂ maar korte verblijftijd

N₂O (lachgas): 273 x CO₂

Bronnen:

Ecosysteem: versterking normale uitstoot bodem, vegetatie

Oude koolstof: omzetting fossiele bodemkoolstof

Geologie: aardgas lekt door ontdooidende permafrost

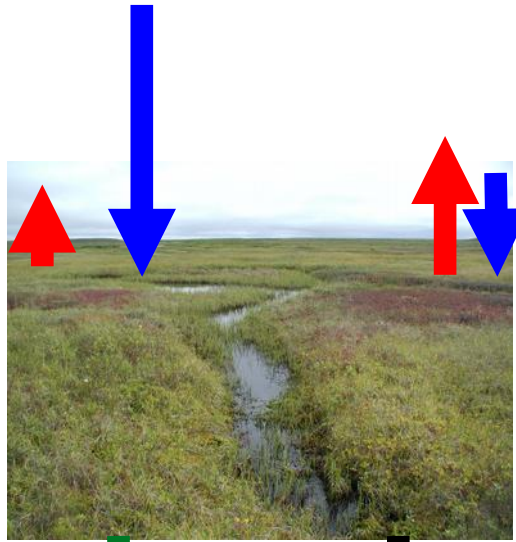
Permafrost – Carbon feedback:

uitstoot broeikasgas uit permafrost versterkt opwarming klimaat

Ecosysteem bron broeikasgas: een balans

Opname CO_2 door fotosynthese vegetatie

CO_2 :
afbraak organische
stof uit bodem



CH_4 uit natte bodem
(moerasgas)

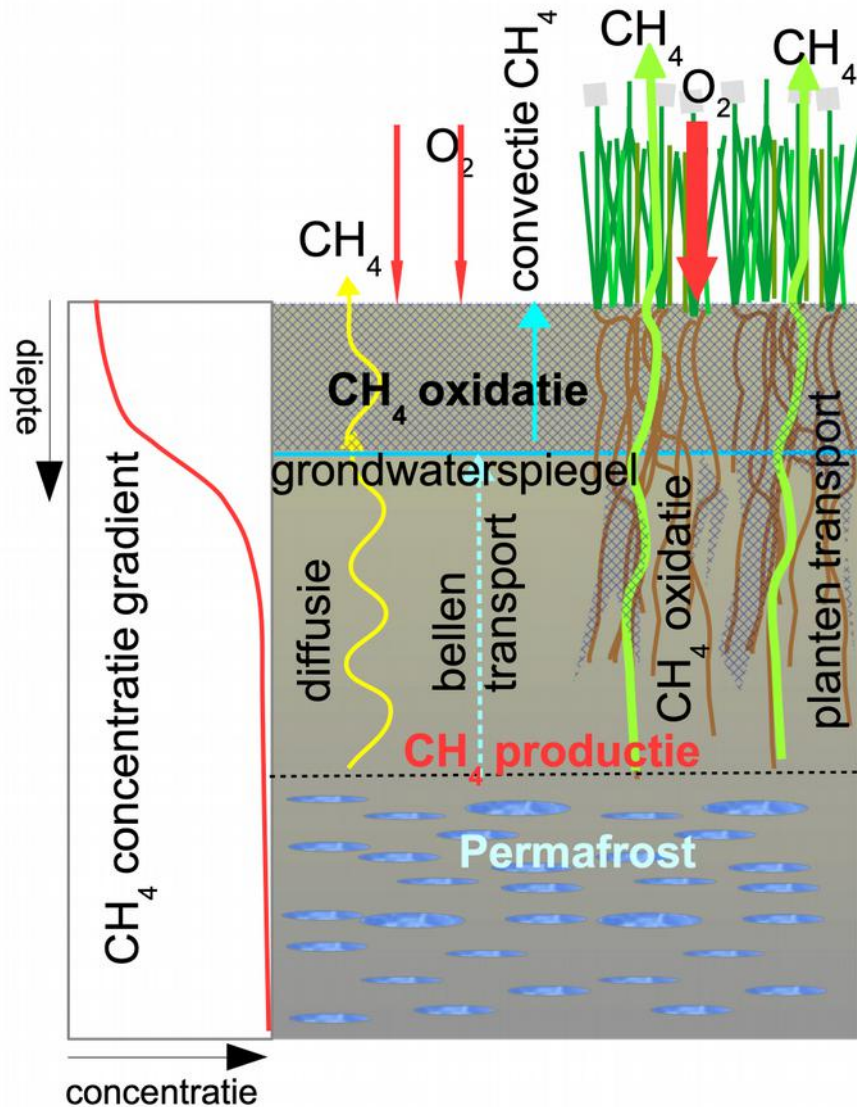
Droge bodem:
beetje opname CH_4

vastlegging CO_2 -C
in planten en veen

verlies C door opgeloste
organische stof via water

CH₄ uit moerasbodems op permafrost

Balans tussen productie CH₄, bacteriële oxidatie, transport door planten

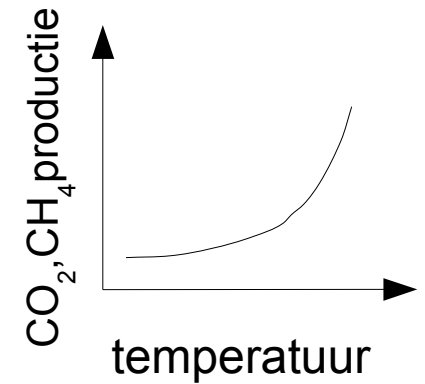


Sterk afhankelijk van vegetatie

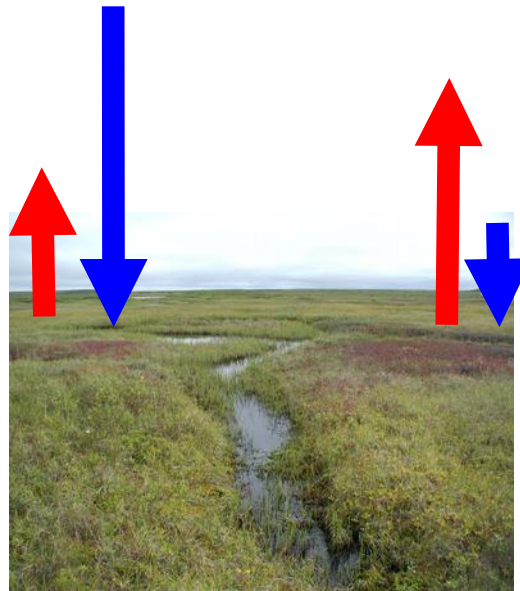
- voedsel voor methaanvormers (Archeae)
- transport naar de lucht via wortels, stengels
- Veenmossen:
oxidatie CH₄ door bacteriën in mosplantjes
- verandering vegetatie = verandering CH₄

Ecosysteem broeikasgassen bij opwarming

1. Bacteriële activiteit neemt exponentieel toe
2. Langer / warmer groeiseizoen: meer fotosynthese



CO₂ :
afbraak organische
stof neemt toe



CH₄
meer productie

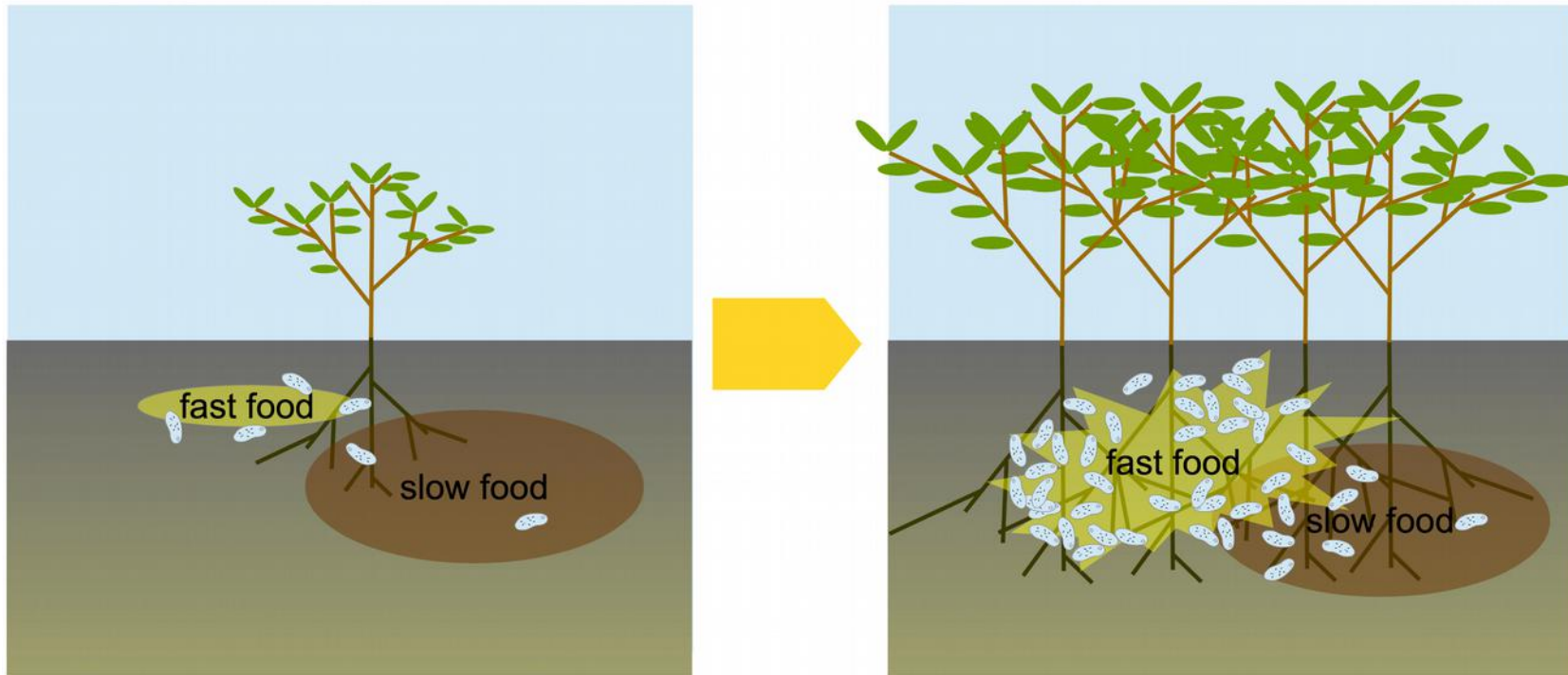
Jarenlange CO₂ metingen in noordoost Siberë:

de opname door planten neemt toe,
maar de afbraak van organische stof compenseert dit!

(Parmentier et al., 2014)

Effect 'Arctic Greening'

Toename vegetatie, bomen en struiken: meer opname CO₂



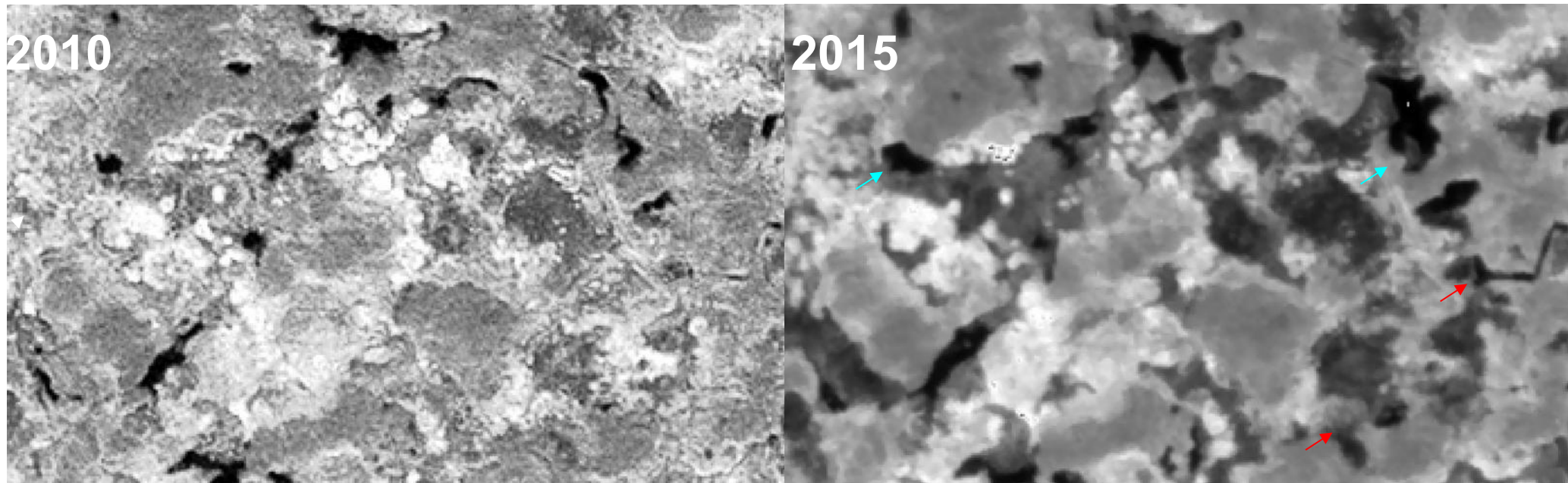
Priming effect – het 'aanmaakblokje' voor oude bodemkoolstof
meer snel afbreekbare organische stof (suikers etc)
ook snellere afbraak oude, stabiele humus

Meer verdamping – drogere bodem, meer CO₂

Meer vegetatie: verlies **bodemkoolstof**, meer koolstof in **vegetatie**

Ontdooien van ijsrijke permafrost

Satellietbeelden Siberië: 2 – 3 x toename poelen in 5 jaar



Oppervlakkige dooi: poelen

- Ontdooien bodemijs vormt poelen
- Afsterven droge vegetatie
- Meer warmtetransport de bodem in
- Meer permafrost dooi

Snellere omzetting organische stof in de bodem naar CO_2 , CH_4 .



Kan het ecosysteem herstellen?

Poel, dode dwergberken
Hoge CO₂, CH₄ emissie

Droge dwergberk-heide
op ijsrijke permafrost
CO₂, CH₄ opname



Magnússon et al., 2021

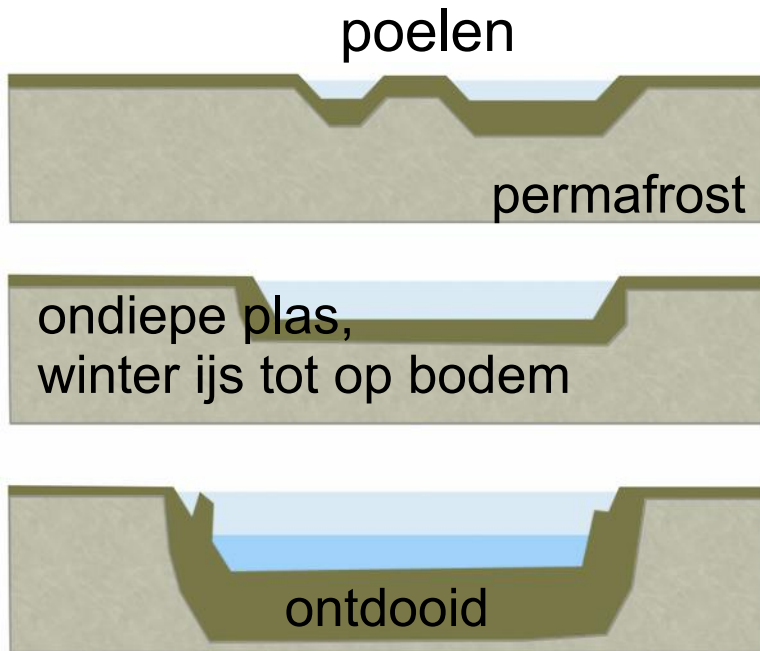
Nieuwe vegetatie: CO₂ opname terug
Veenmos: CH₄ emissie neemt af
IJs in de bodem groeit weer aan

Teruggroeien toendra-veen: *tientallen - honderden jaren*

Kantelpunt: Hoeveel verstoring kan het ecosysteem hebben?

Dooimeren

(thermokarst meren)



dieper meer, in de winter

- permanent water onder het ijs
- diep ontdooien permafrost
- afkalving oevers



Meren door ontdooien ijsrijke permafrost
(Fedorov et al. 2014)

Methaan uit oude organische stof



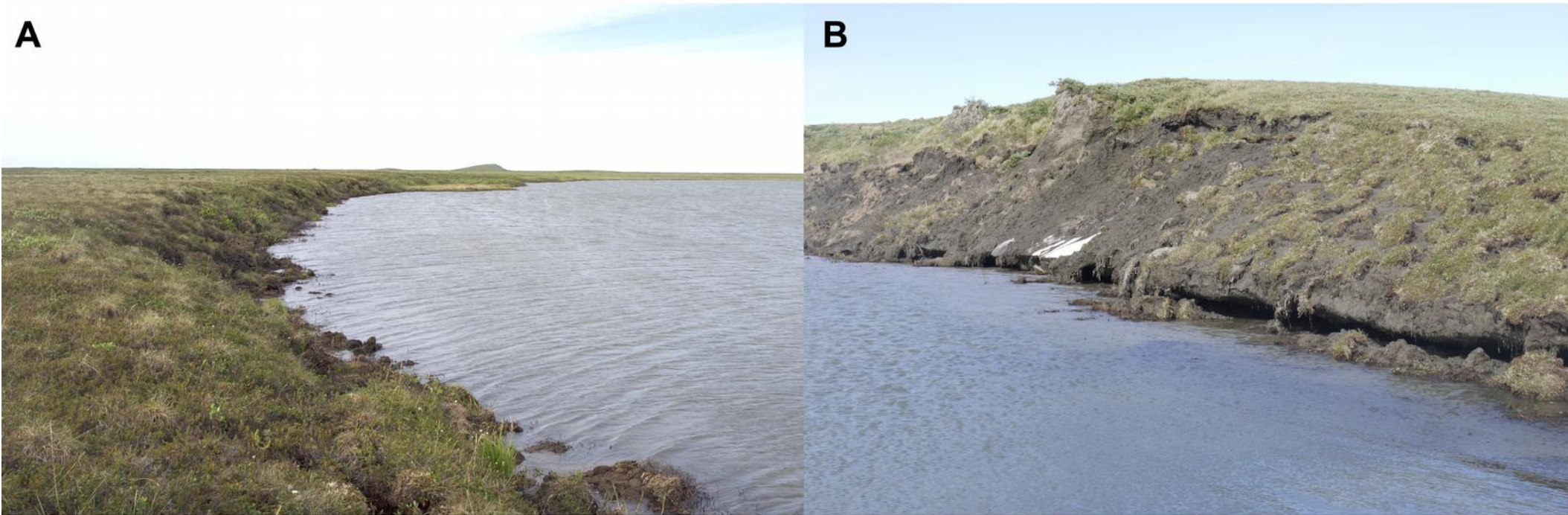
Dooi van oudere, organische stof-rijke permafrost onder dooimeren:

Vorming van methaan - CH_4

Grote hoeveelheden CH_4 kunnen zich onder het ijs verzamelen

= Spectaculaire plaatjes in de media

Oevererosie door golfslag



Meer aanvoer organische stof naar zuurstofloze meerbodem = meer CH_4



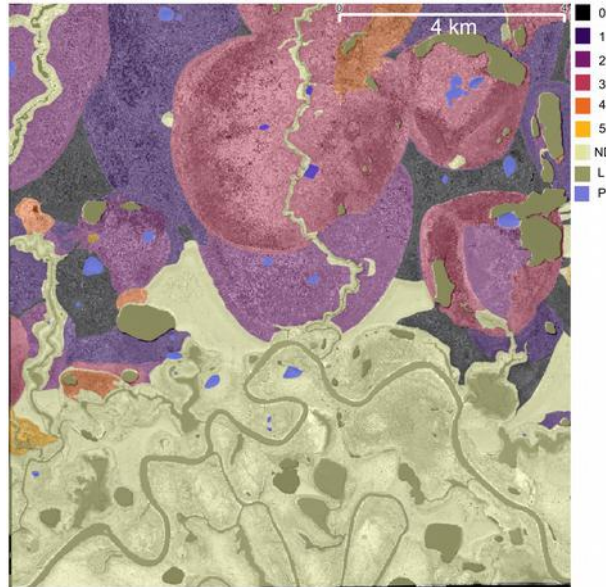
SIBERIAN TUNDRA SOIL MOVING INTO PERMAFROST THAW LAKE

Time lapse camera A Gallagher / J van Huissteden VU University

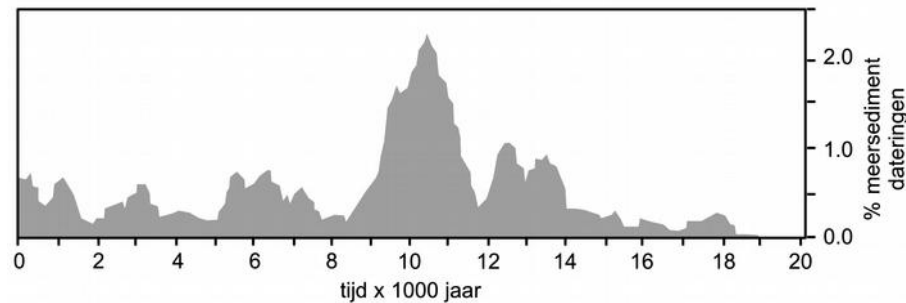
TIMELAPSE CAMERA V.1.0 2012/01/16 00:26:05

Dooimeren – breiden ze zich uit?

'*Dooimeercyclus*' – herhaald leeglopen / sedimentatie en nieuwvorming van meren overlappende dooimeerbodems



Dooimeer vorming op grote schaal: einde laatste ijstijd



Nu: groei bestaande meren en nieuwe meren, leeglopen grote meren
Geen sterke toename, en lokaal afname

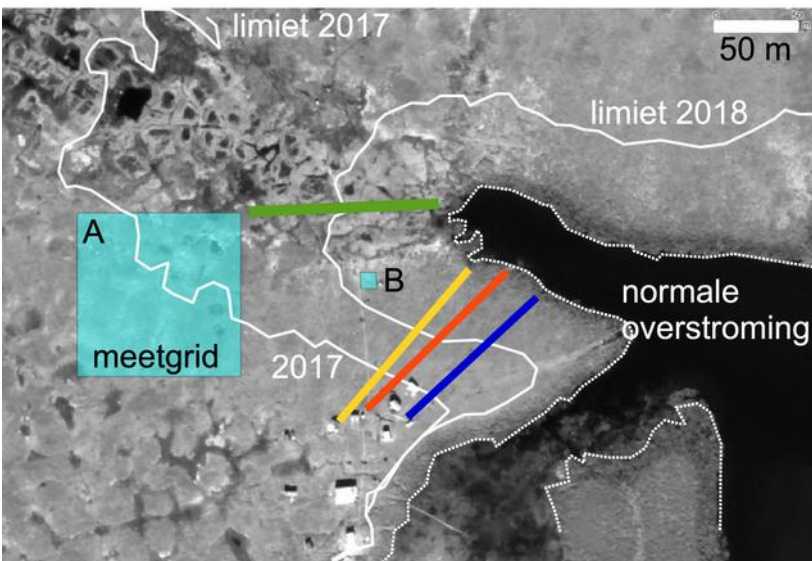
Riviervlakten: steeds natter, uitbreiding

Toename winterneerslag in Siberië

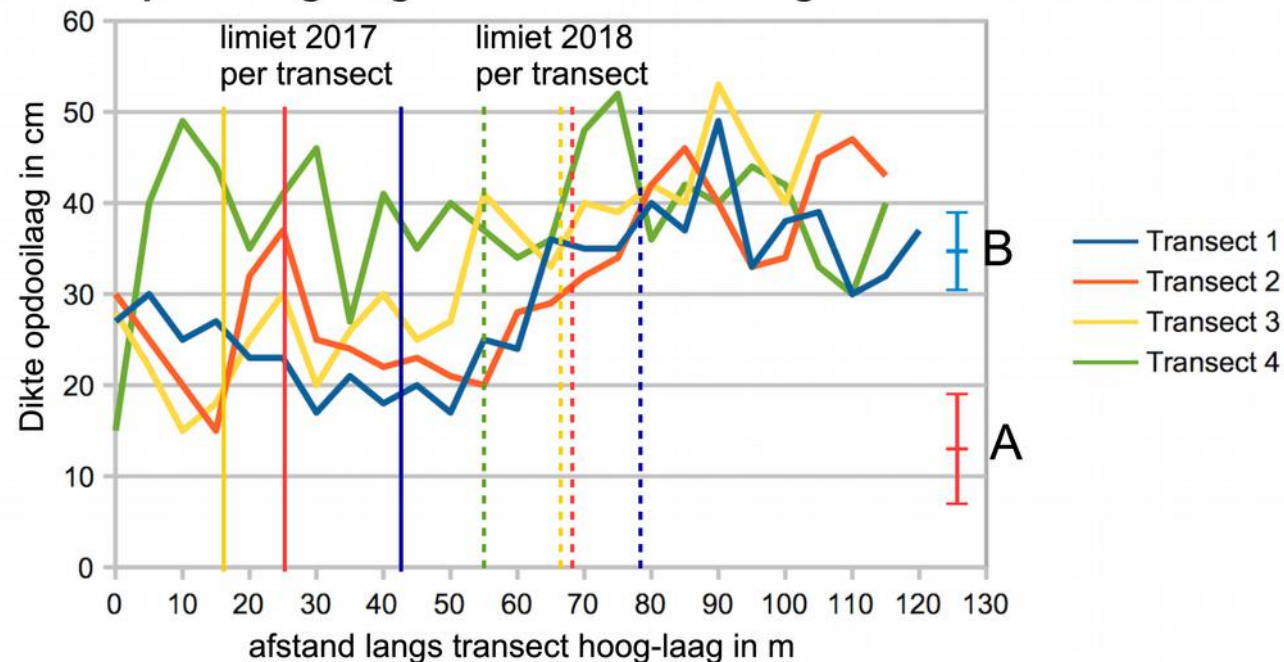
Overstromingen veroorzaken bodemdaling en uitbreiding rivierlake



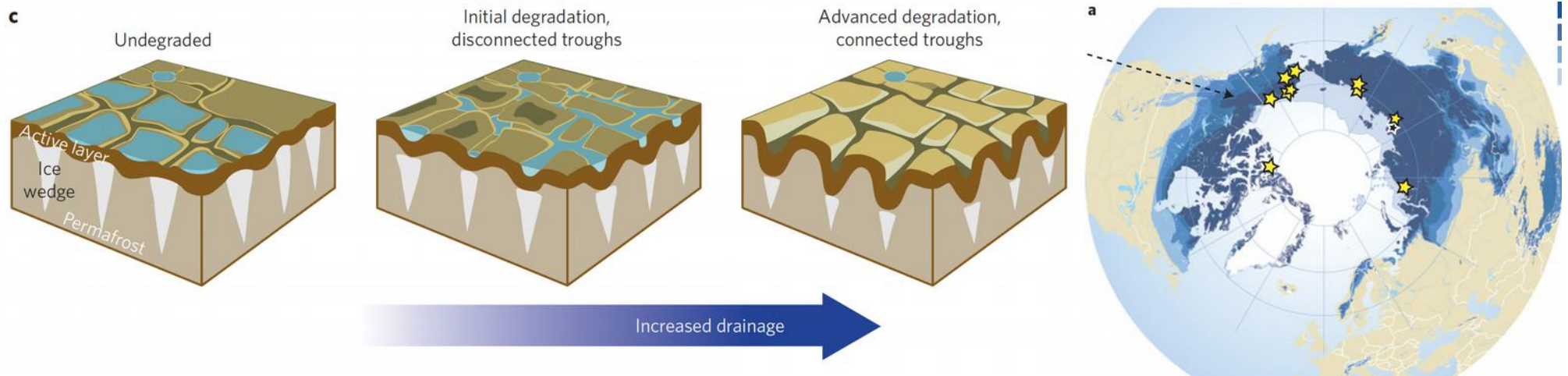
Rivierlake-vegetatie: **7 x meer CH₄** als natte toendra



Dikte opdoollaag langs transecten en meetgrids A en B



Erosie



Hele permafrost gebied: toename erosie langs ijswiggen

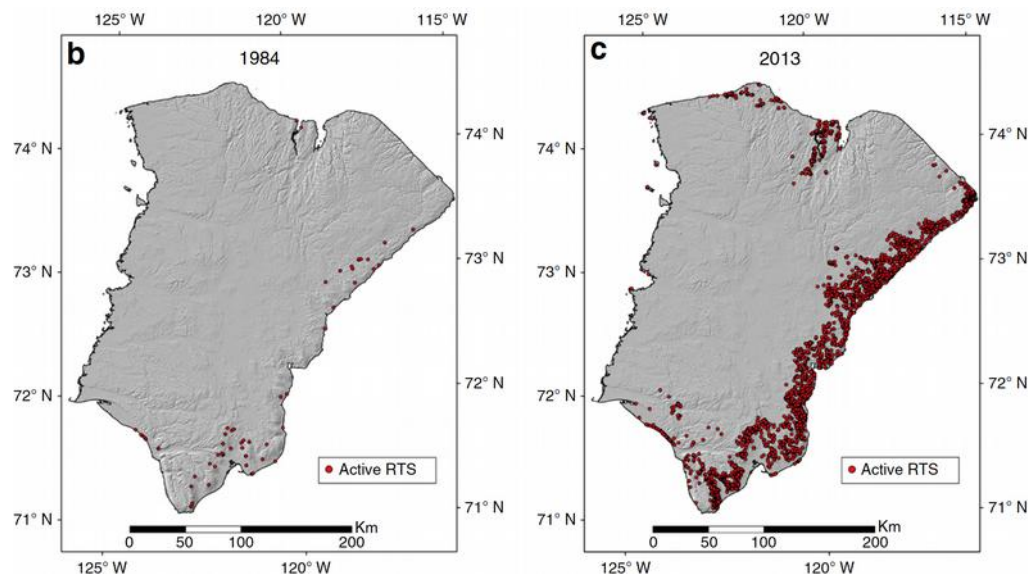
(Liljedahl et al., 2016)

Waterafvoer versnelt, natte bodems droger

Minder CH_4 , maar veel meer CO_2 door oxidatie veenbodems

Kantelpunt: Grootschalige erosie en aantasting vegetatie

Snelle toename erosie



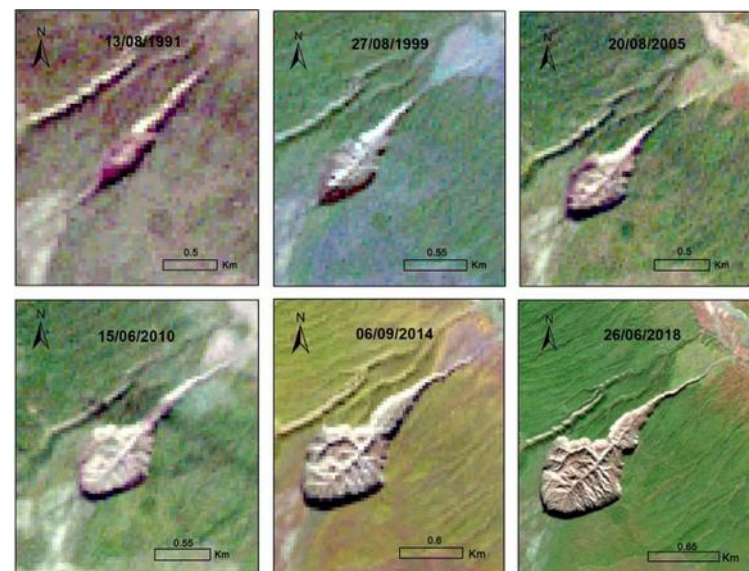
Banks Island, NW Canada: **60-voudige** toename aardverschuivingen
(Lewkowicz & Law, 2019)

Batagay megaslump Siberië:

door ontbossing ontstaan

800 m breed, erosie 15 m/jaar

doei 25 miljoen m² permafrost per jaar



Erosie = kantelpunt?



Broeikasgassen:

snelle omzetting organische stof in oxiderend milieu: CO_2

ook lachgas (N_2O) komt vrij door snelle oxidatie

Kantelpunt: wanneer dit op grote schaal gebeurt

maar ecosysteem herstel is nog steeds mogelijk

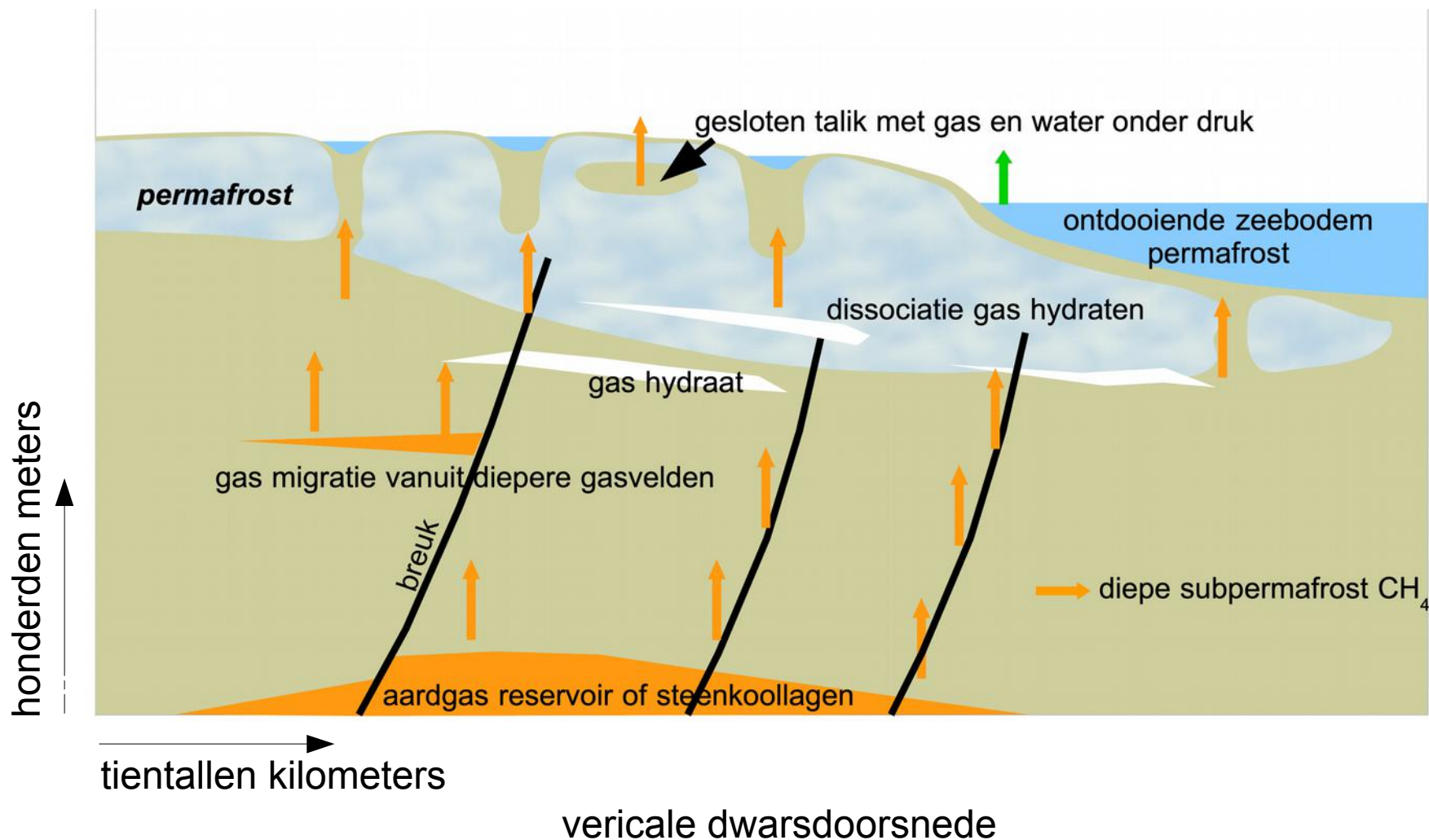
snelle kolonisatie door pioniersoorten

maar de bodemkoolstof zit in de atmosfeer

Geologische methaanbronnen

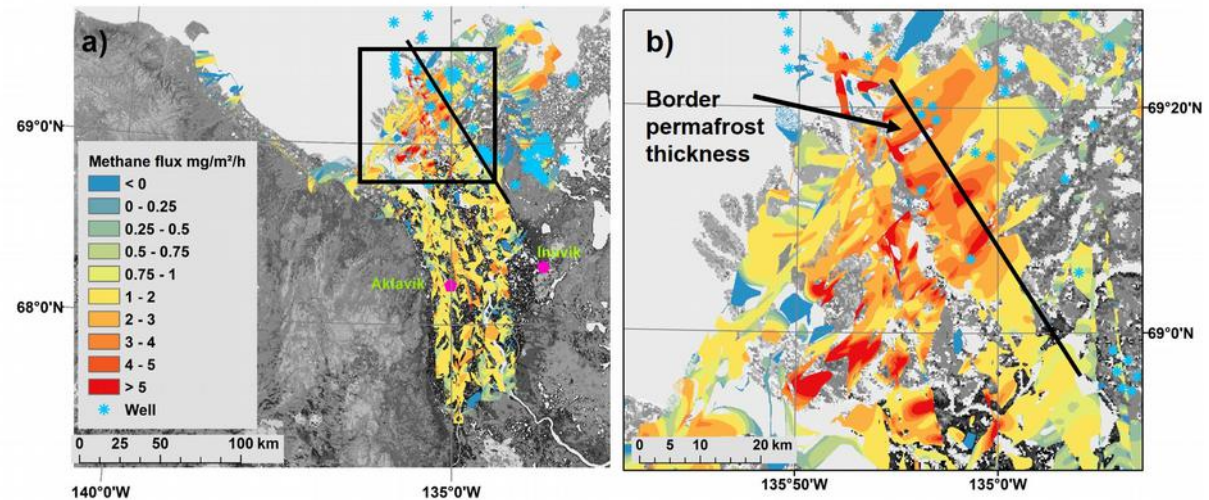
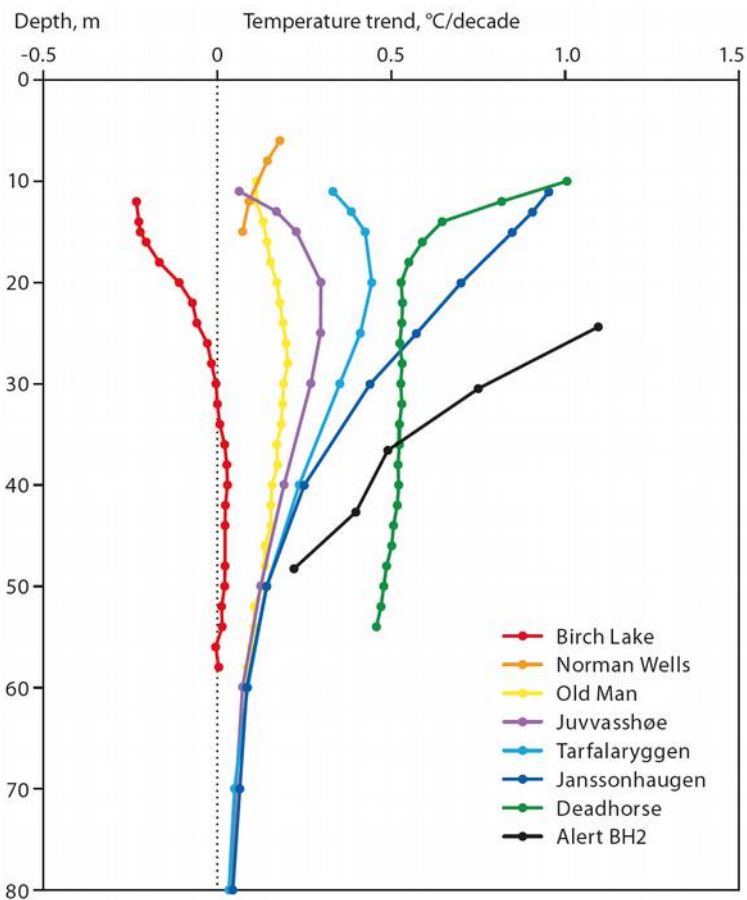
Gasreservoirs in 'taliks' onder voormalige dooimeren

Gashydraten: methaan en water in ijsvorm



Ook diepe permafrost warmt op

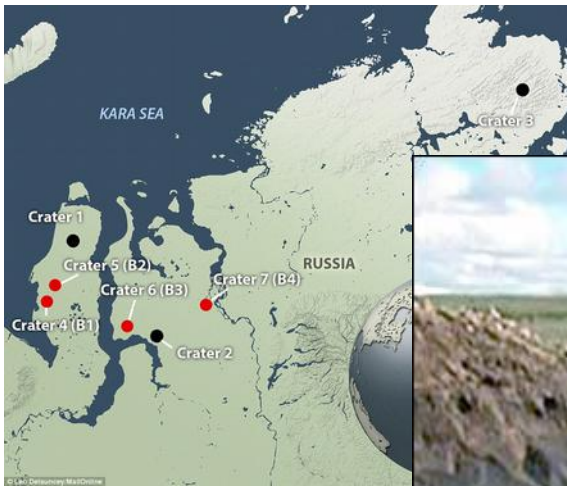
Diepe permafrost warmt op: Toename gasmigratie



Kohnert et al 2017:

Gasemissie uit meren en riviergeulen Mackenzie delta meeste emissie waar permafrost relatief dun is

Een onaangename verrassing



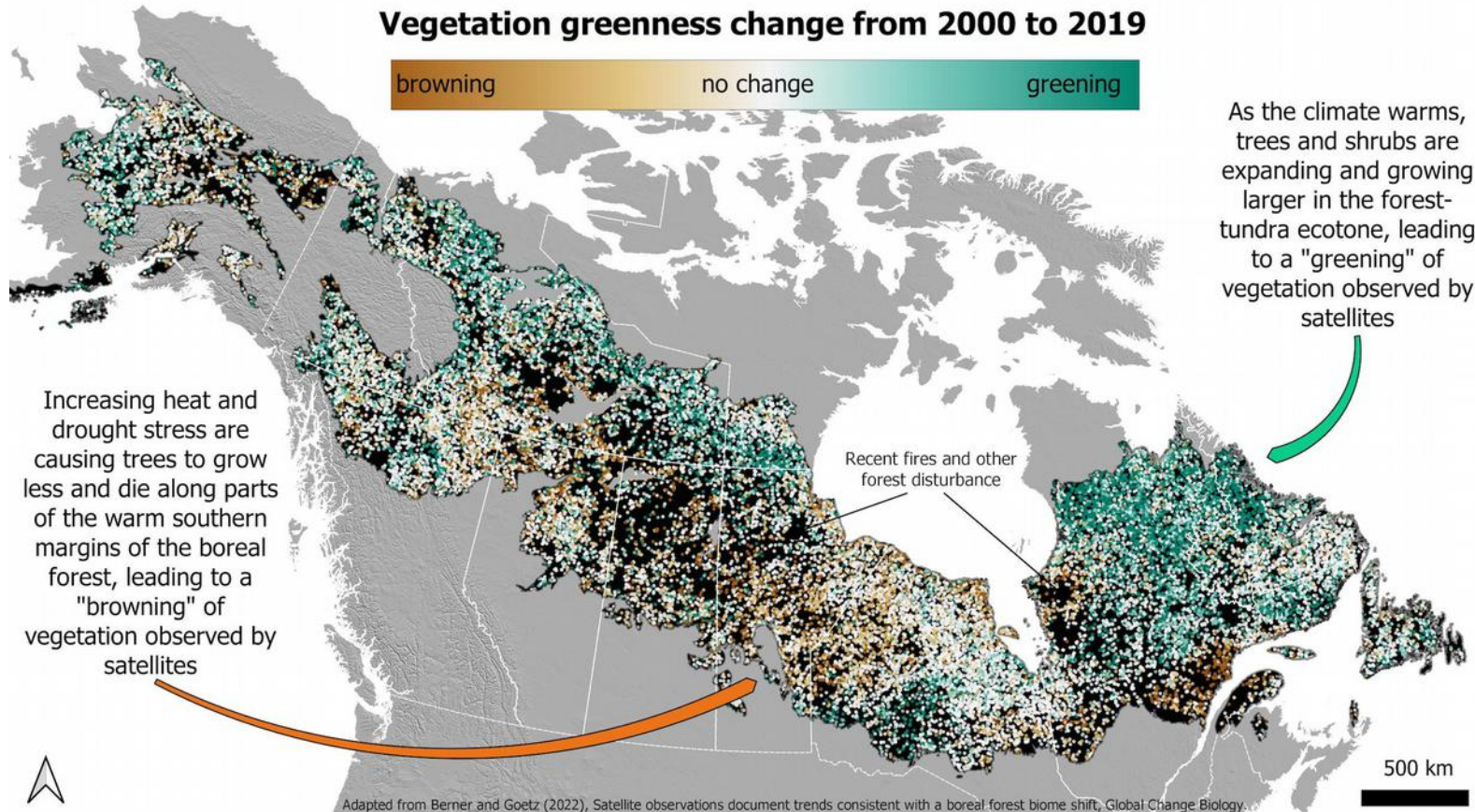
2014: ontdekking kraters in de permafrost tot 80 m diep

Explosieve methaan-uitbarsting

Nieuw verschijnsel (Leibman et al., 2015)



Geen Arctic Greening maar Arctic Browning



Vernatting
Extreem weer
Insectenplagen
Toename bos/toendra branden
Erosie

Sterkte permafrost-koolstof terugkoppeling

Schattingen met modellen lopen ver uiteen

± 10% permafrost koolstof als CO₂, CH₄ naar de atmosfeer in deze eeuw

meest als CO₂

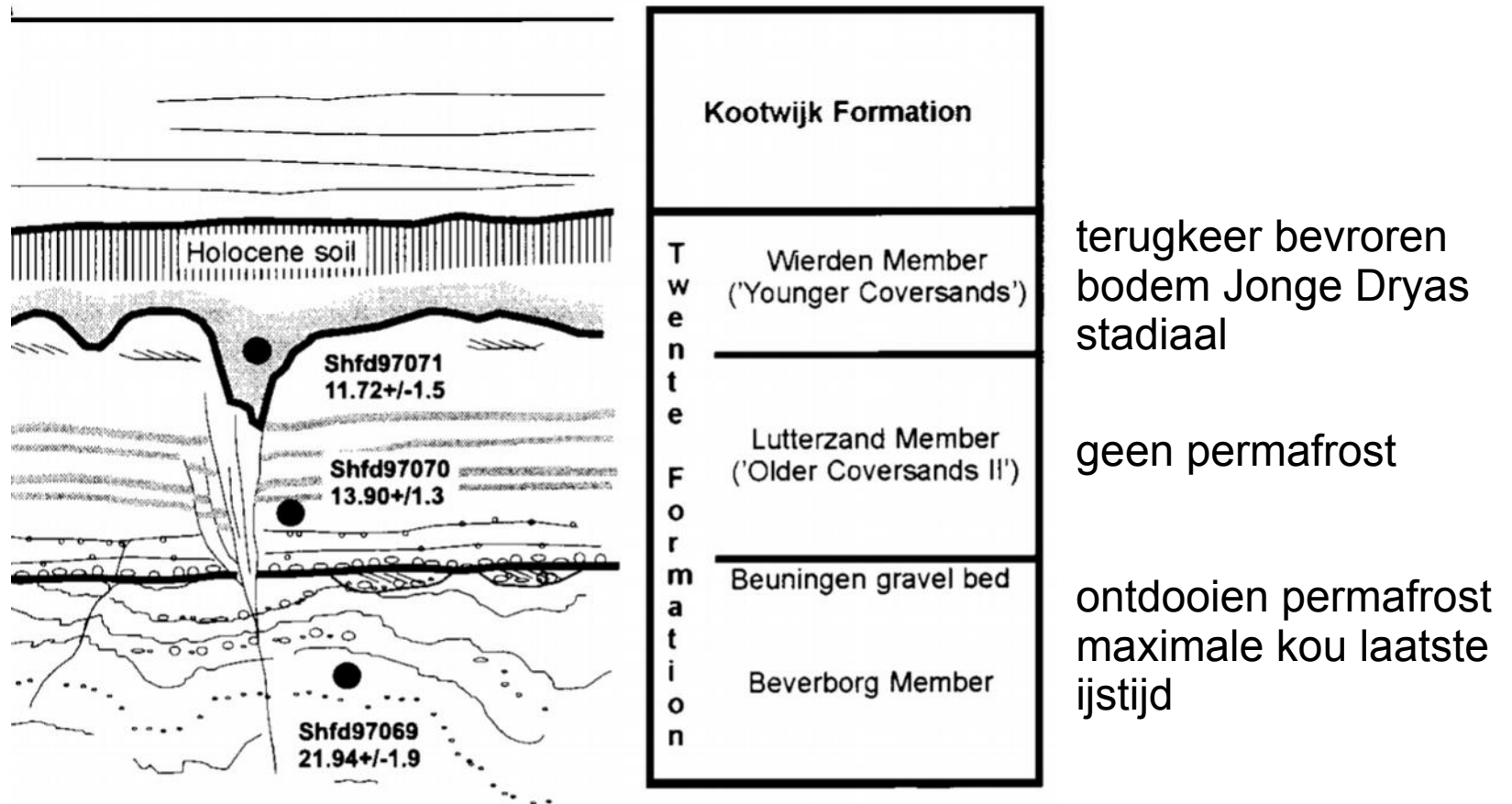
op jaarbasis: ± 10% van emissie fossiele brandstoffen; ± 0.2° extra opwarming
(Schuur et al., 2015, Nature)

Onzekerheden:

- ++ Snelle toename erosie
- + Methaan uit diepere gasreservoirs
- ++ Vegetatie neemt minder CO₂ op dan verwacht (*Arctic Browning*)
- ++ Toename emissie N₂O (lachgas)
- ± Klimaatmodellen: te simpele benadering permafrost

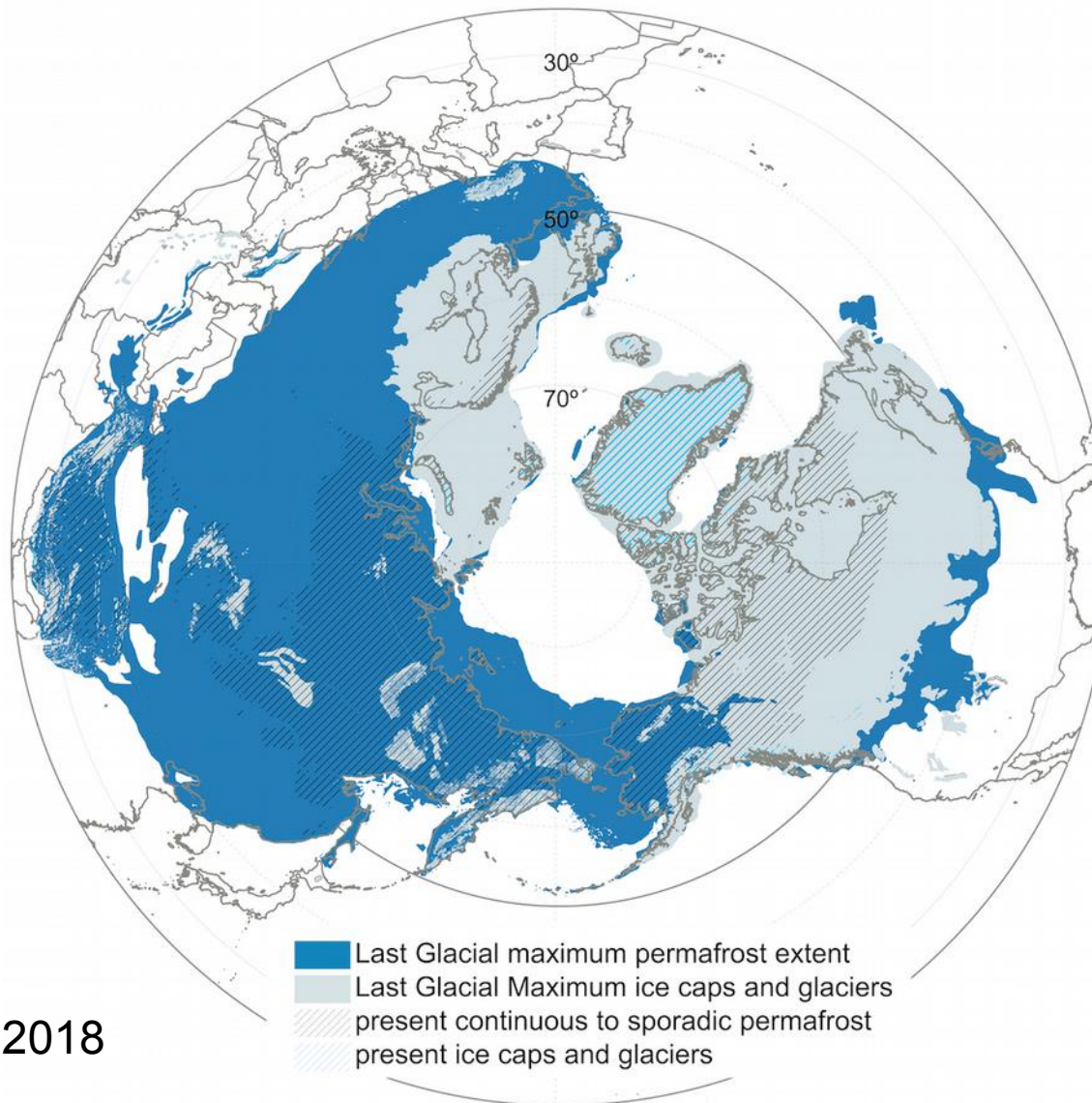
De laatste permafrost in Nederland

Ijstijdklimaat: bevroren bodem keert snel terug bij afkoeling



Lutterzand, Twente, Bateman and van Huissteden, 1999

'Het klimaat verandert altijd'



Lindgren et al., 2018

Temperatuurstijging 7 x zo snel als aan einde ijstijd
Verlies permafrost nu: > 2.5 x zo snel als aan einde ijstijd

Is ontdooiende permafrost een kantelpunt?

Paleoklimaat: Bevroren bodem keert snel terug bij afkoeling

Nu: geologisch ongekend snelle verandering

Permafrost koolstof, broeikasgassen:

Klein deel koolstof naar atmosfeer, ook vastlegging koolstof in zee- en riviersedimenten

Teruggroei koolstofvoorraad na verstoring zeer traag

Arctic Browning: vermindering CO₂ opname, ecosysteem schade, meer dooi

Voor ecosystemen: lokaal zeker een kantelpunt

Kantelpunt? Ja

Dank u voor de aandacht!

