

Planeetaaristen rajojen määrittelyn perusteita

- **Biogeokemiallinen kierto:**
 - Typpi ja fosfori
 - Hiili
 - Vesi
- **Suuret kiertoliikkeet:**
 - Ilmakehä
 - Valtameret
- **Biofysikaaliset muuttujat** (säätelövaikutus, resilienssi)
 - Luonnon monimuotoisuus
 - Maanpeite
- **Antropogeeninen globaalimuutos** (ihmisperäinen)
 - Aerosolit
 - Kemiallinen saastuminen

On tunnistettu yhdeksän tärkeää rajaa

- Stratosfäärin otsonikato
- Luonnon monimuotoisuus (sukupuutot ja biodiversiteettikato)
- Kemiallinen saastuminen, erityisesti vierasaineet
- Ilmastonmuutos
- Valtamerien happamoituminen
- Suolattoman veden käyttö ja hydrologinen kierto
- Maanpeitteen muutokset
- Typpi- ja fosforikuormitus (biogeokemiallinen kierto)
- Ilmakehän aerosolikuormitus

J. Rockström et al.
Planetary boundaries: Exploring the safe
operating space for humanity.
Ecol. Soc. 14, 32 (2009).

<http://www.ecologyandsociety.org/vol14/iss2/art32/>

Planetaariset rajat 1/2

Turvallisen ylärajan (= planetaarinen raja, keltainen) ylittyessä riski on kasvanut ja kasvaneen riskin ylärajan (punainen) ylittyessä riski on suuri

Maapallo-systeemin prosessi	Kontrolli-muuttuja(t)	Esiteollinen holoseenin perustaso	Planetaarinen raja (turvallinen yläraja)	Kasvaneen riskivähykkeen yläraja	Kontrollimuuttujan arvo (2023 tiedot)
Ilmaston-muutos	ppm CO ₂	280 ppm	350 ppm	450 ppm	417 ppm
	antropogeeninen säteilypakote Wm ⁻²	0 W m ⁻²	1 W m ⁻²	1,5 W m ⁻²	2,91 W m ⁻²
Biodiversi-teetin muutos	geneettinen diversiteetti: E/MSY	1 E/MSY	<10 E/MSY, mutta tavoite n. 1 E/MSY	100 E/MSY	> 100 E/MSY
	toiminnallinen diversiteetti: ekosysteemien käytävissä oleva energia (HANPP % NPP:sta)	1,9 %	HANPP < 10 % esiteollisesta NPP:sta (ts. > 90 % ekosysteemin omassa käytössä)	20 %	30 %
Strato-sfäärin otsonikato	stratosfäärin keskimääräinen O ₃ -konsentraatio (Dobson-yksikköä, DU)	290 DU	< 5 % vähenemä esiteolliseen (= n. 276 DU)	261 DU	284,6 DU
Merien happamoituminen	karbonaatti-ioni - konsentraatio %; pintameriveden kyllästystila aragoniitin suhteen (Q _{arag})	3,44 Q _{arag}	≥ 80 % esiteollisesta (= n. 2,75 Q _{arag})	2,75 Q _{arag}	2,8 Q _{arag}
Biogeo-kemialliset virrat: P- ja N-kierto	globaali: fosforivirrat meriin alueellisesti: fosforivirrat lannoitteista maaperään (Tg P / vuosi)	0 Tg a ⁻¹	globaali 11 Tg a ⁻¹ alueellisesti 6,2 Tg a ⁻¹ (alueellisuus kriittistä)	globaali 100 Tg a ⁻¹ alueellisesti 11,2 Tg a ⁻¹	globaali 22,6 Tg a ⁻¹ alueellisesti 17,5 Tg a ⁻¹
	globaali typen sitominen (Tg N / vuosi)	0 Tg a ⁻¹	globaali 62 Tg a ⁻¹ (alueellisuus kriittistä)	82 Tg a ⁻¹	190 Tg a ⁻¹

E/MSY = Extinctions per Million Species-Years, sukupuuttoa per miljoona lajivuotta (esim. kpl sukupuuttoja per 10 000 lajia sadassa vuodessa)

NPP = Net Primary Production, nettoprimaari tuotanto

HANPP = Human Appropriation of Net Primary Productivity, ihmisen käyttämä osuus NPP:sta

DU = Dobson Unit, Dobson-yksikkö, ilmakehän sisältämän otsonin määrä merenpinnan tasoa vastaavassa ilmanpaineessa, käytännössä muutamia millimetrejä (300 DU = 3 mm)

Q_{arag} = aragoniitin kyllästystila merivedessä, kun kyllästystila laskee, kalkkikuorisilla merieliöillä on vaikeuksia muodostaa itselleen kuorta tai niiden kuori voi liueta

Tg = teragrammaa, 10¹² grammaa, miljoonaa tonnia

JK kääntänyt ja muokannut lähteestä:
Richardson et al. 2023. Earth beyond six of nine planetary boundaries. *Science Advances* 9:37.
<https://doi.org/10.1126/sciadv.adh2458>

Planetaariset rajat 2/2

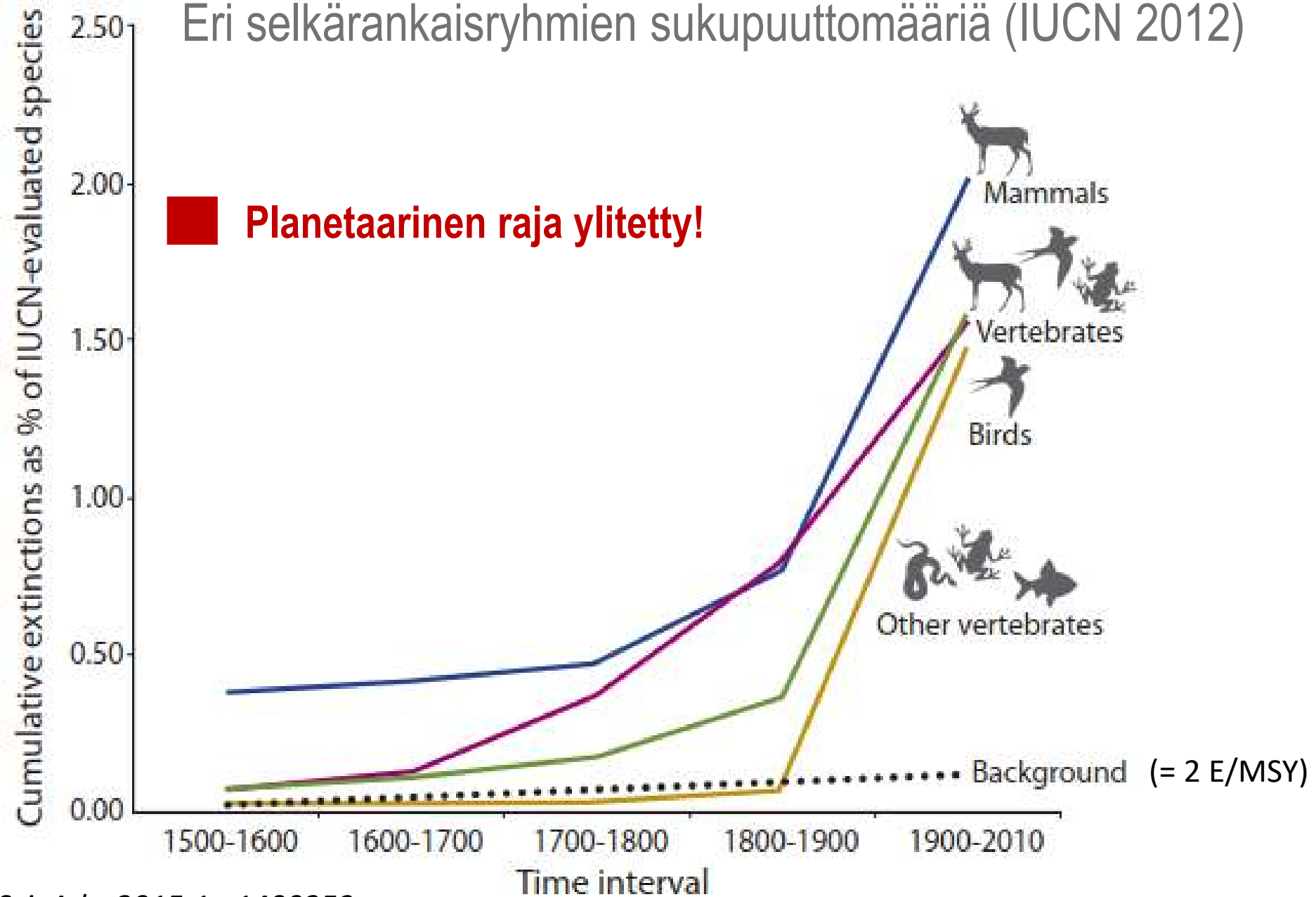
Turvallisen ylärajan (= planetaarinen raja, keltainen) ylittyessä riski on kasvanut ja kasvaneen riskin ylärajan (punainen) ylittyessä riski on suuri

Maapallo-systeemin prosessi	Kontrolli-muuttuja(t)	Esiteollinen holoseenin perustaso	Planetaarinen raja (turvallinen yläraja)	Kasvaneen riski vyöhykkeen yläraja	Kontrollimuuttujan arvo (2023 tiedot)
Maan- peitteen muutokset	globaali taso: metsäpeitteen osuus alkuperäisestä biomitaso: metsäpeitteen osuus potentiaalisesta biomeittain (%)	100 %	globaali 75 % biomitaso: trooppinen 85 % lauhkea 50 % boreaalinen 85 %	globaali 54 % biomitaso: trooppinen 60 % lauhkea 30 % boreaalinen 60 %	globaali 60 % trooppinen: Amerikat 83,9 % Afrikka 54,3 % Aasia 37,5 % lauhkea: Amerikat 51,2 % Eurooppa 34,2 % Aasia 37,9 % boreaalinen: Amerikat 56,6 % Euraasia 70,3 %
	ihmisperäiset häiriöt pinta- ja pohjavesille ("blue water") (% maa-alasta)	9,4 %	10,2 %	50 %	18,2 %
Suolato-man ("makean") veden muutokset	ihmisperäiset häiriöt maaperän vesille ("green water", kasvien käytössä oleva vesi) (% maa-alasta)	9,8 %	11,1 %	50 %	15,8 %
	ihmisperäiset häiriöt maaperän vesille ("green water", kasvien käytössä oleva vesi) (% maa-alasta)	9,8 %	11,1 %	50 %	15,8 %
Ilmakehän aerosolit	pallonpuoliskojen välinen ero aerosolien optisessa syvyydessä (AOD)	0,03	0,10	0,25	0,076
Vieras-aineet	ilman riittävää turvallisuus-testausta luontoon päästettyjen kemikaalien osuus %	0 %	0 %	ei saatavilla	ylitetty

AOD = Aerosol Optical Depth, aerosolin optinen syvyys, ilmakehän sisältämien aerosolien aiheuttama himmeneminen (aerosolit ovat kiinteitä hiukkasia ja nestepisaroita, jotka sirottavat valoa)

JK kääntänyt ja muokannut lähteestä:
Richardson et al. 2023. Earth beyond six of nine planetary boundaries. *Science Advances* 9:37.
<https://doi.org/10.1126/sciadv.adh2458>

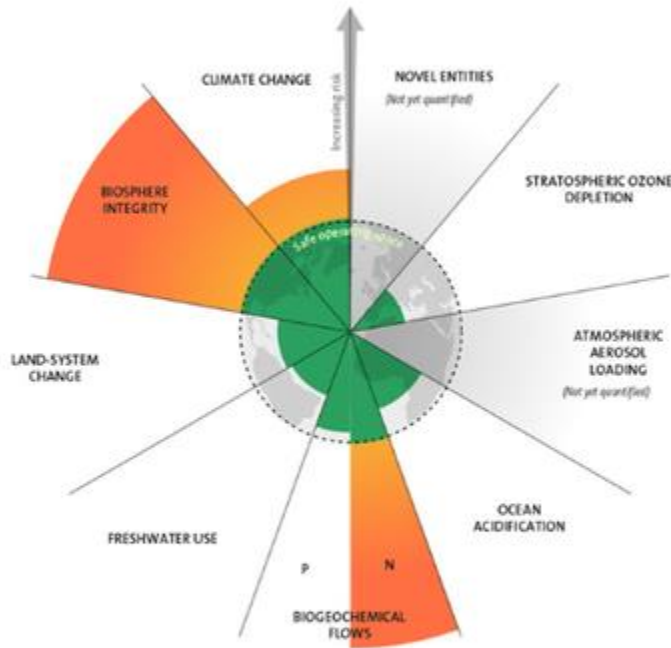
Eri selkärangaisryhmien sukupuuttomääriä (IUCN 2012)



REILUSSA VUOSIKYMMENESSÄ TILANNE ON VAIN HEIKENTYNYT

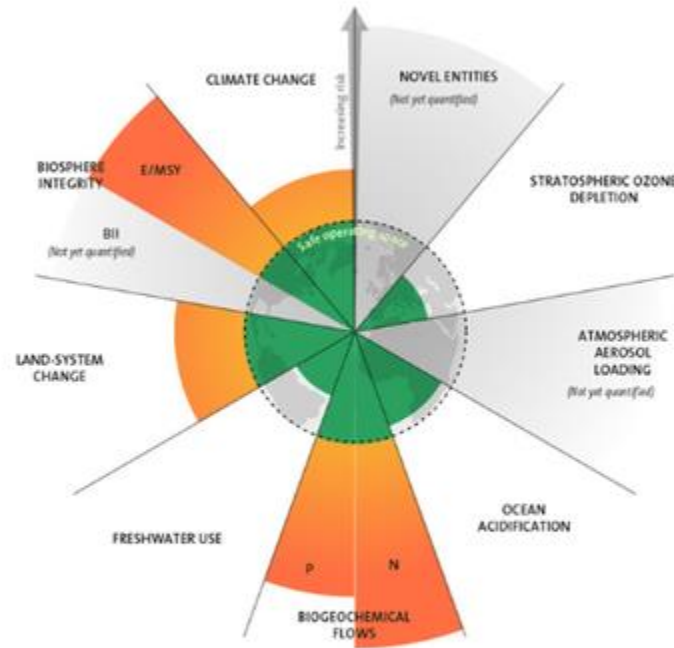


2009



7 boundaries assessed,
3 crossed

2015



7 boundaries assessed,
4 crossed

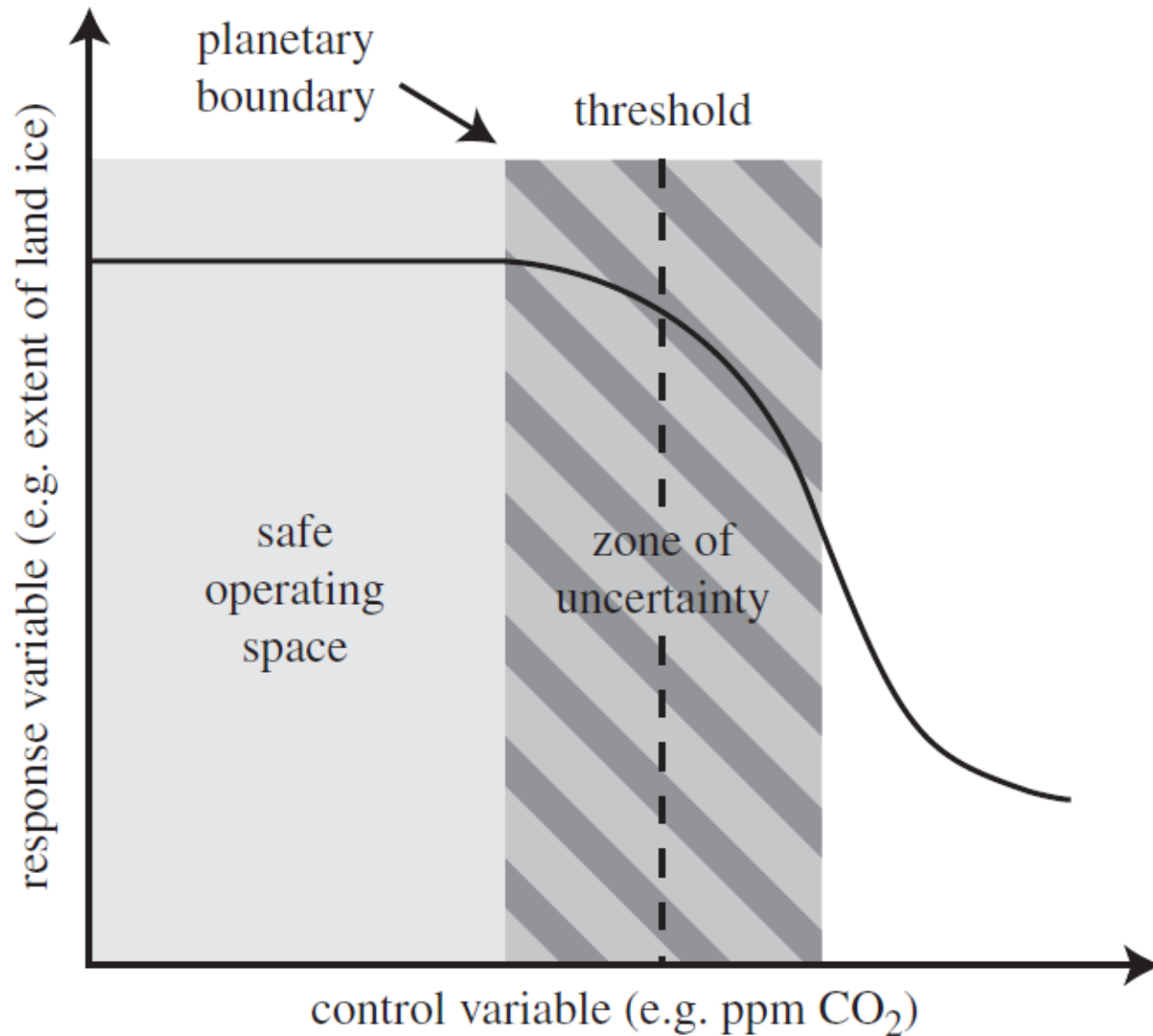
2023



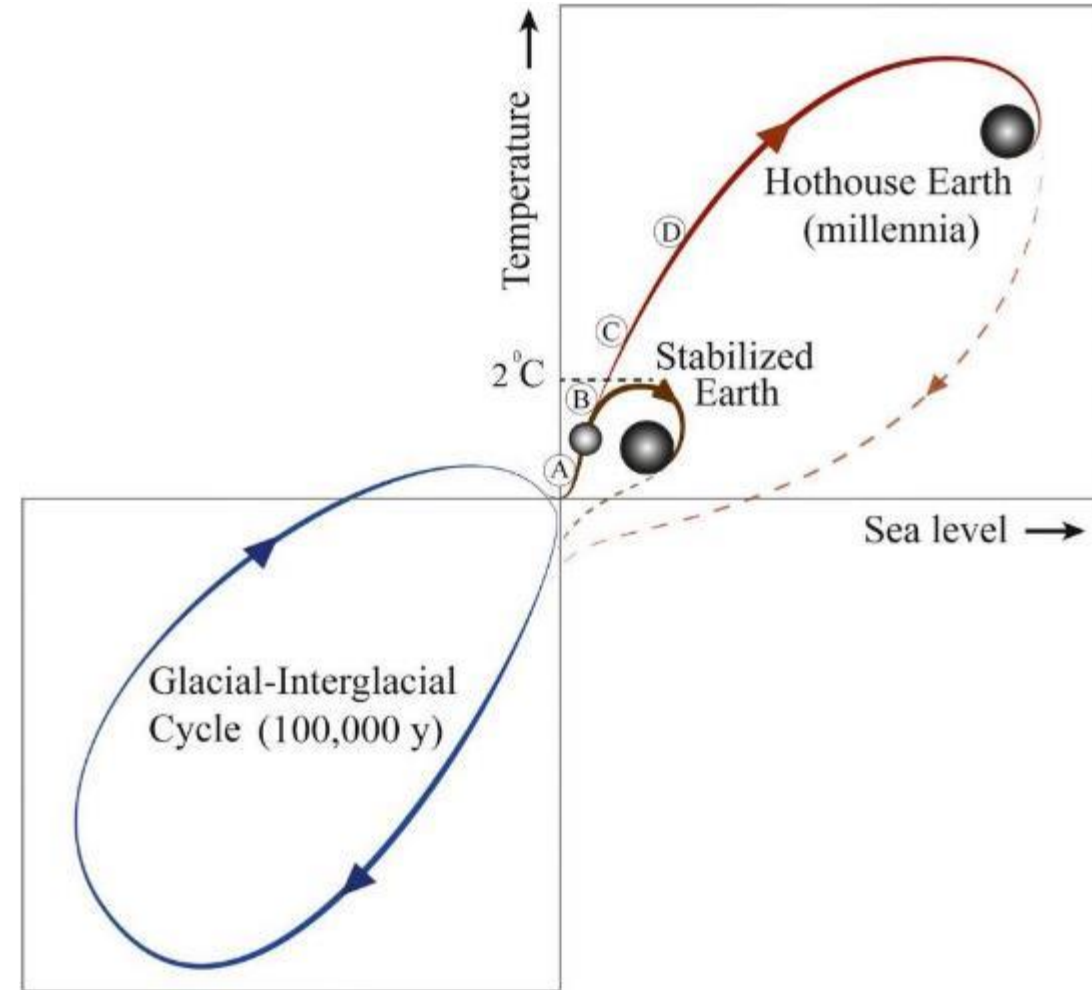
9 boundaries assessed,
6 crossed

The evolution of the planetary boundaries framework. Licenced under CC BY-NC-ND 3.0 (Credit: Azote for Stockholm Resilience Centre, Stockholm University. Based on Richardson et al. 2023, Steffen et al. 2015, and Rockström et al. 2009)

“Planetaariset rajat” –
ihmistoiminta ajaa maapallon ympäristöoloja kohti tuntemattomia riskejä

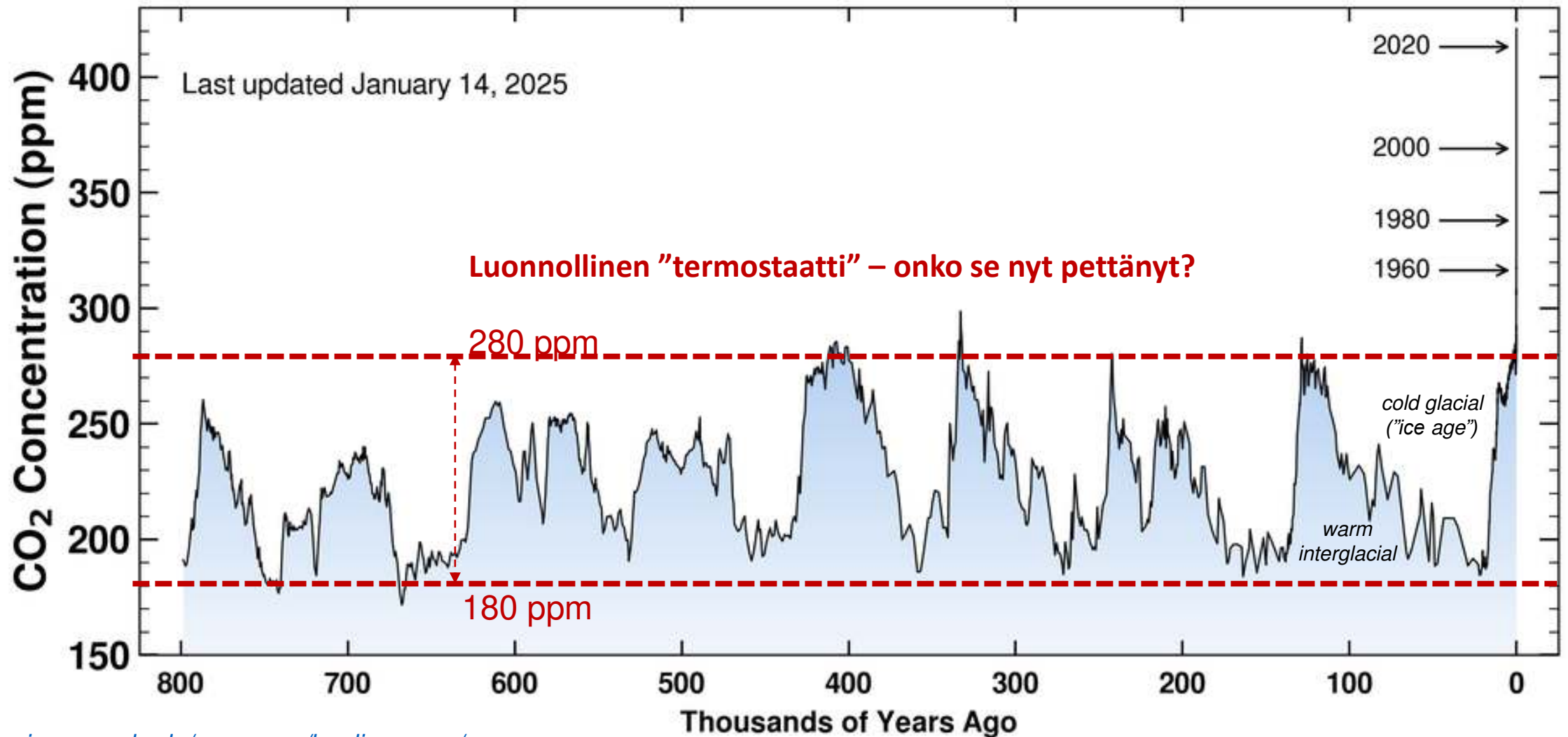


Steffen et al 2011. *Phil. Trans. Soc. A* 369, 842-867



Steffen et al 2018
www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1810141115

*Latest CO₂ reading: 425.94 ppm

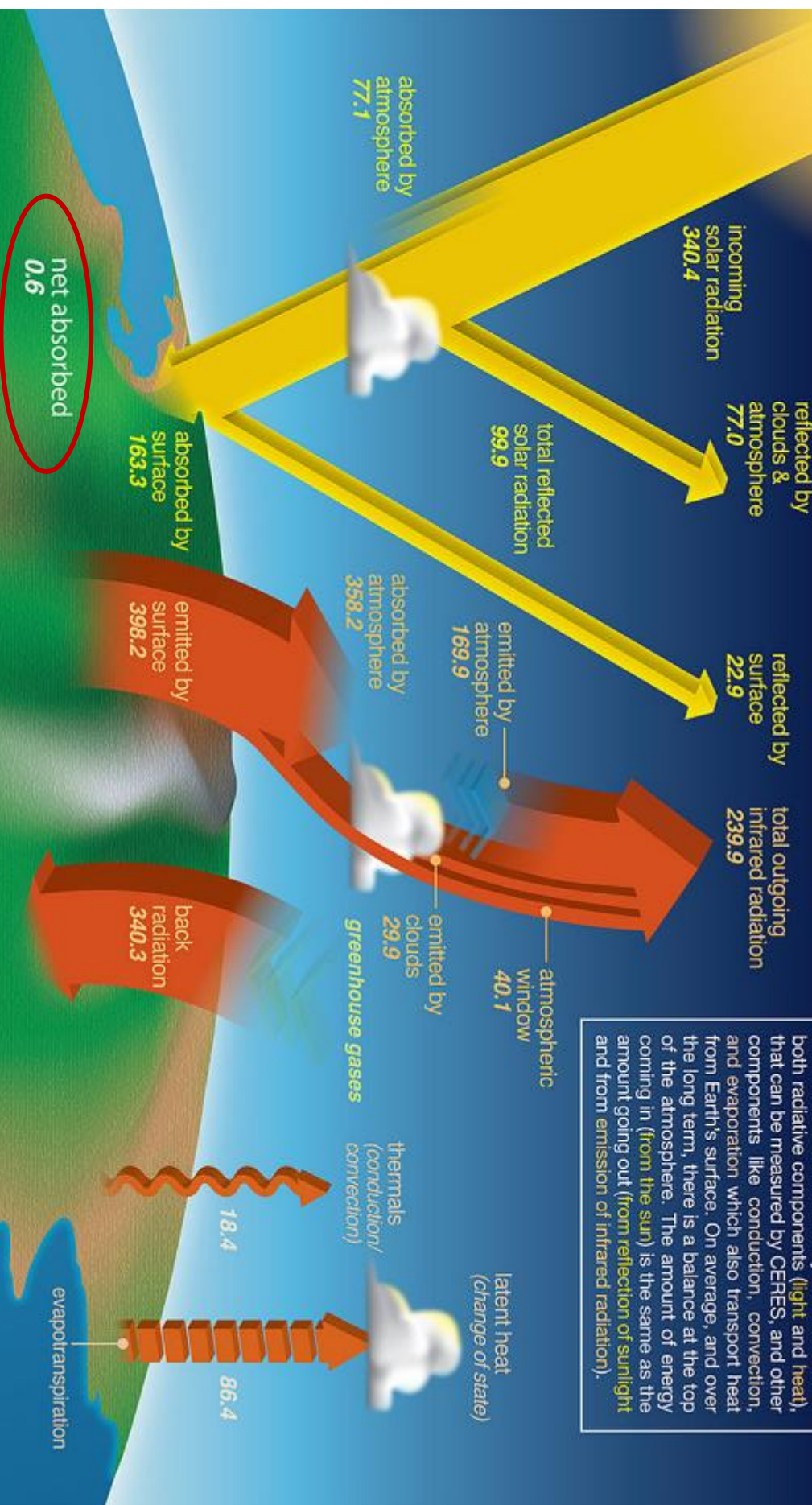




earth's energy budget

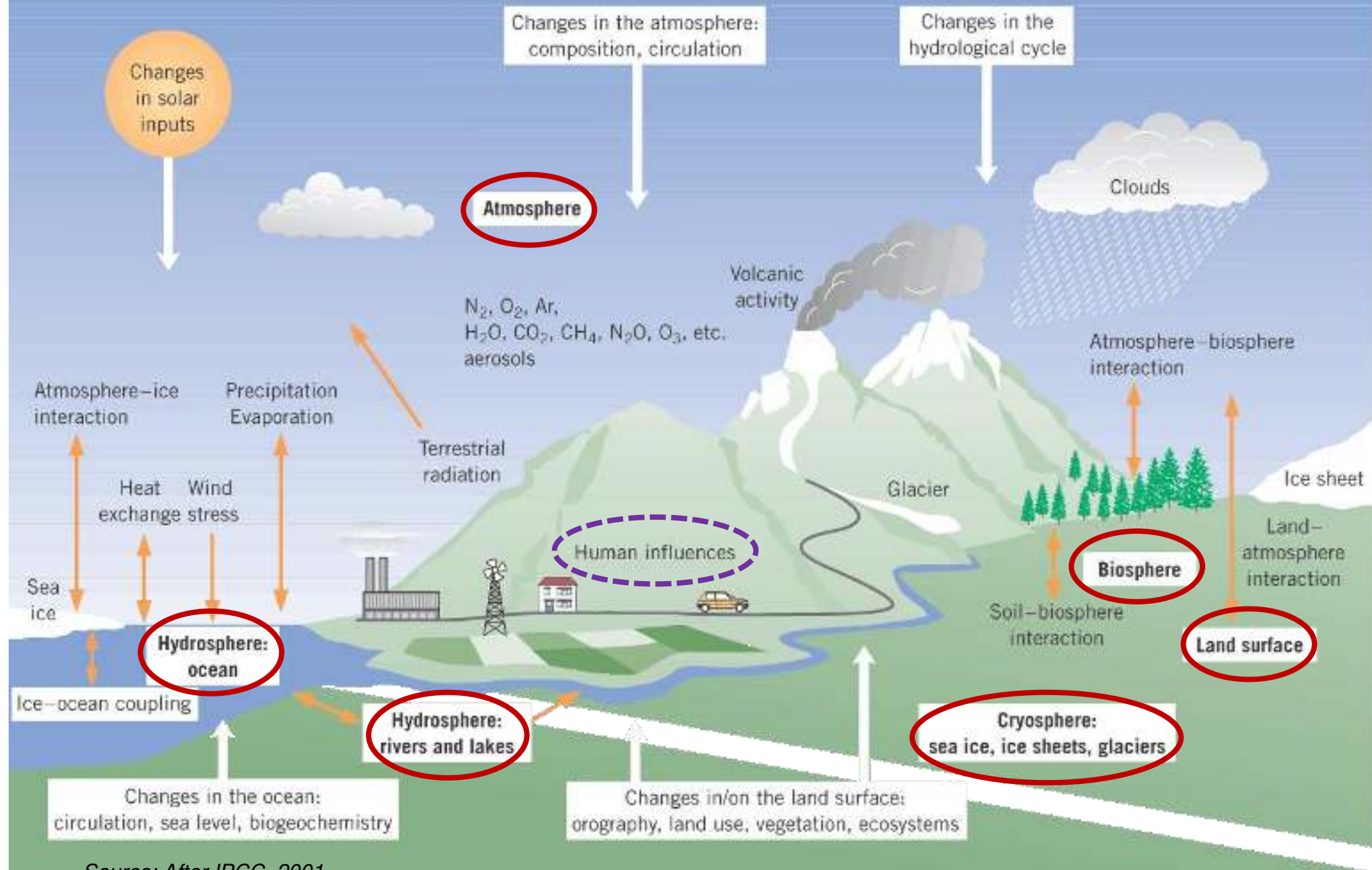
W / m^2

The Earth's energy budget describes the various kinds and amounts of energy that enter and leave the Earth system. It includes both radiative components (light and heat), that can be measured by CERES, and other components like conduction, convection, and evaporation which also transport heat from Earth's surface. On average, and over the long term, there is a balance at the top of the atmosphere. The amount of energy coming in (from the sun) is the same as the amount going out (from reflection of sunlight and from emission of infrared radiation).

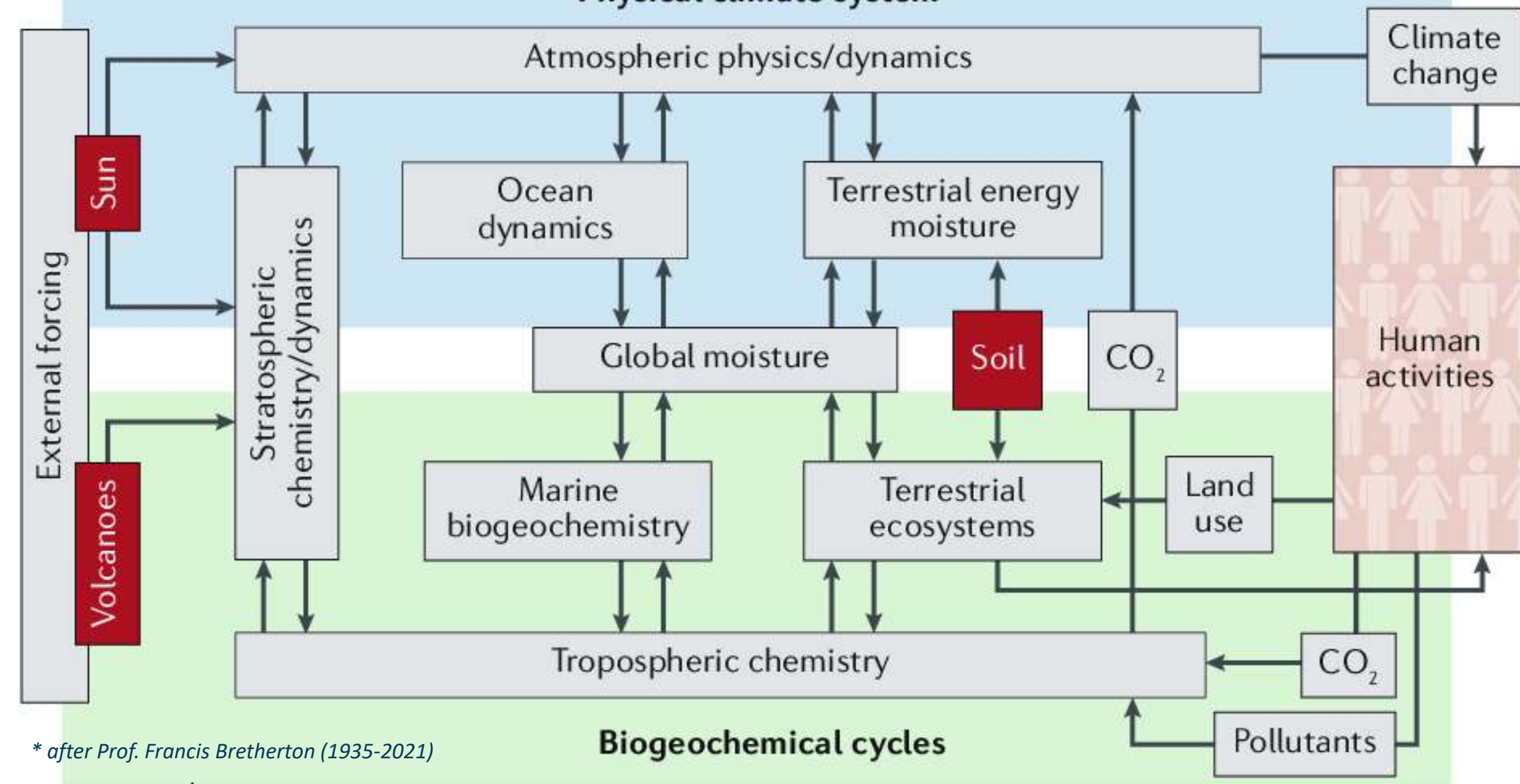


All values are fluxes in W/m^2 and are average values based on ten years of data

ILMASTOSYSTEEMI ...on paljon muutakin kuin ilmakehän prosessit!



Source: After IPCC, 2001

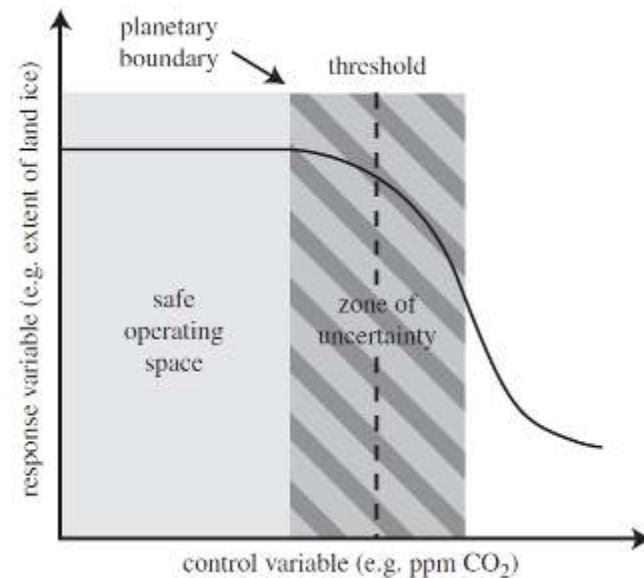


* after Prof. Francis Bretherton (1935-2021)

DOI:10.1038/s43017-019-0005-6

Systemic interactions complicate the situation...

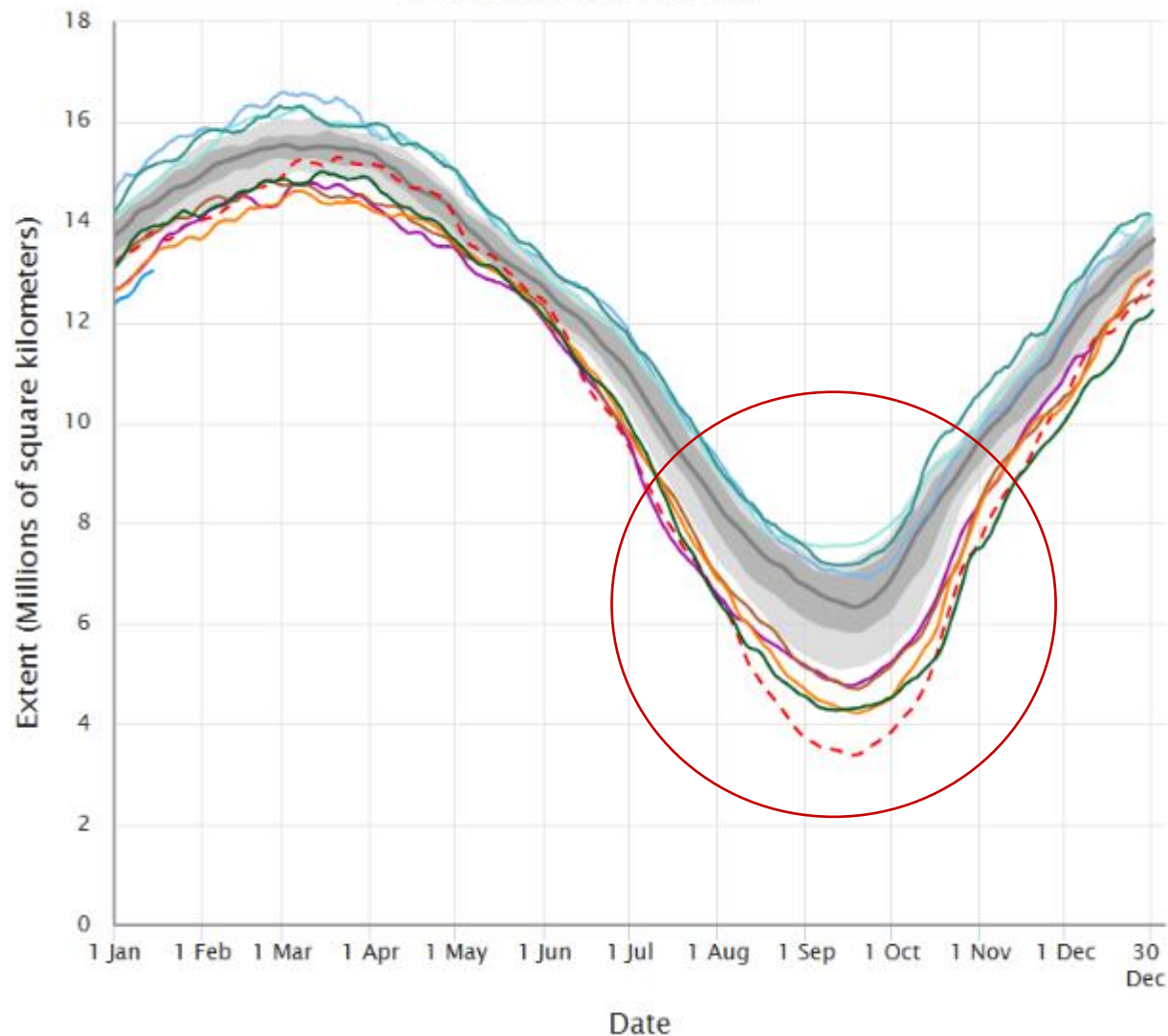
...interactions will generate non-linear changes, thresholds, tipping points (tipping points, tipping elements)



Arctic Antarctic Start month: January Colors: Classic Invert colors Vertical gridlines

Arctic Sea Ice Extent

(Area of ocean with at least 15% sea ice)



National Snow and Ice Data Center, Boulder, CO

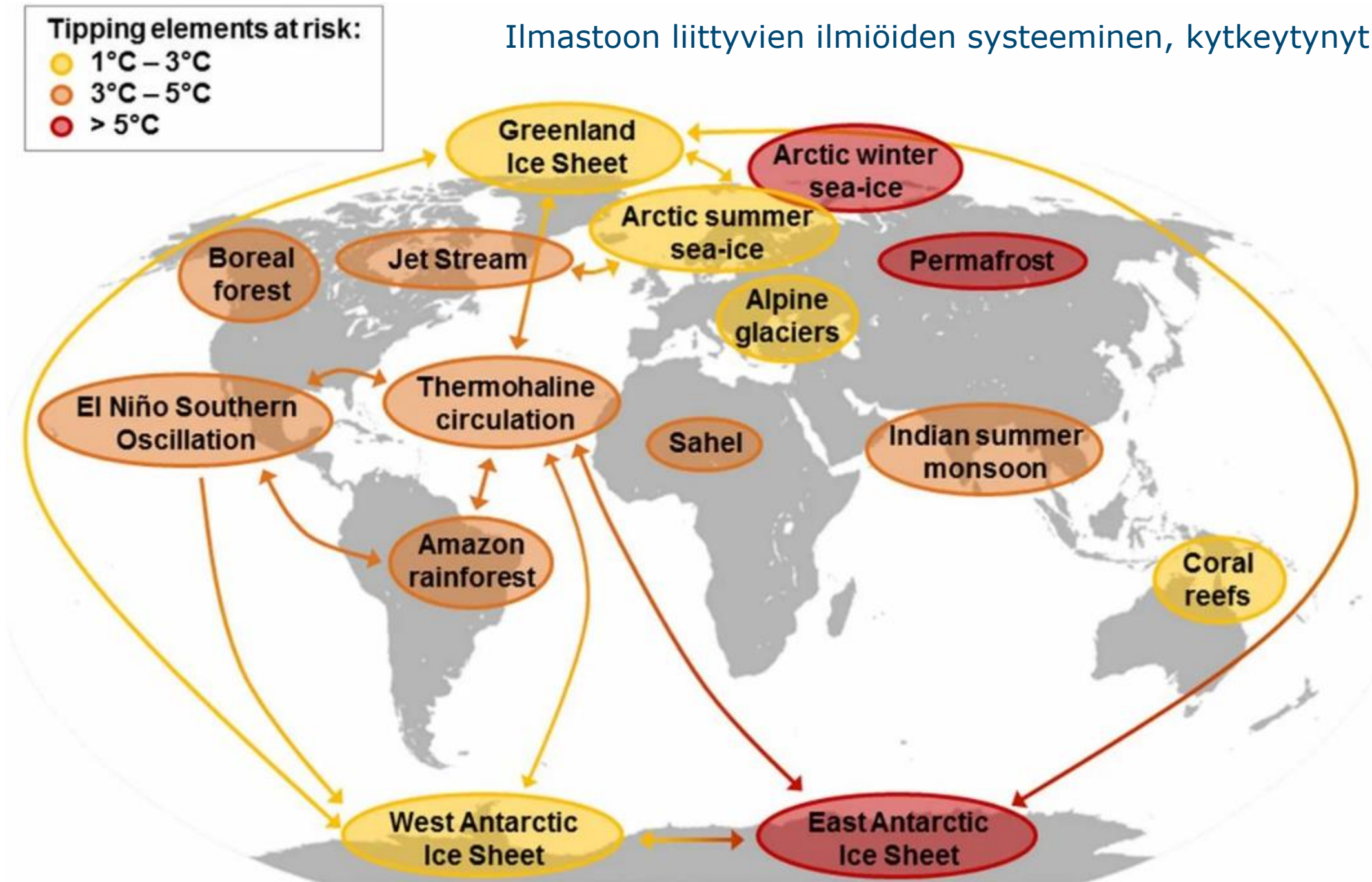
- Show all years
- Hide all years
- 1981-2010 Median
- Interquartile Range
- Interdecile Range
- 1981-2010 Average
- ± 2 Standard Deviations
- 2011-2020 Average
- 2001-2010 Average
- 1991-2000 Average
- 1979-1990 Average
- 2025
- 2024
- 2023
- 2022
- 2021
- 2020
- 2019
- 2018
- 2017
- 2016
- 2015
- 2014
- 2013
- 2012 (Record minimum)
- 2011
- 2010
- 2009
- 2008
- 2007
- 2006
- 2005
- 2004
- 2003
- 2002
- 2001
- 2000
- 1999
- 1998
- 1997
- 1996
- 1995
- 1994
- 1993
- 1992
- 1991
- 1990
- 1989
- 1988
- 1987
- 1986
- 1985
- 1984
- 1983
- 1982
- 1981
- 1980
- 1979

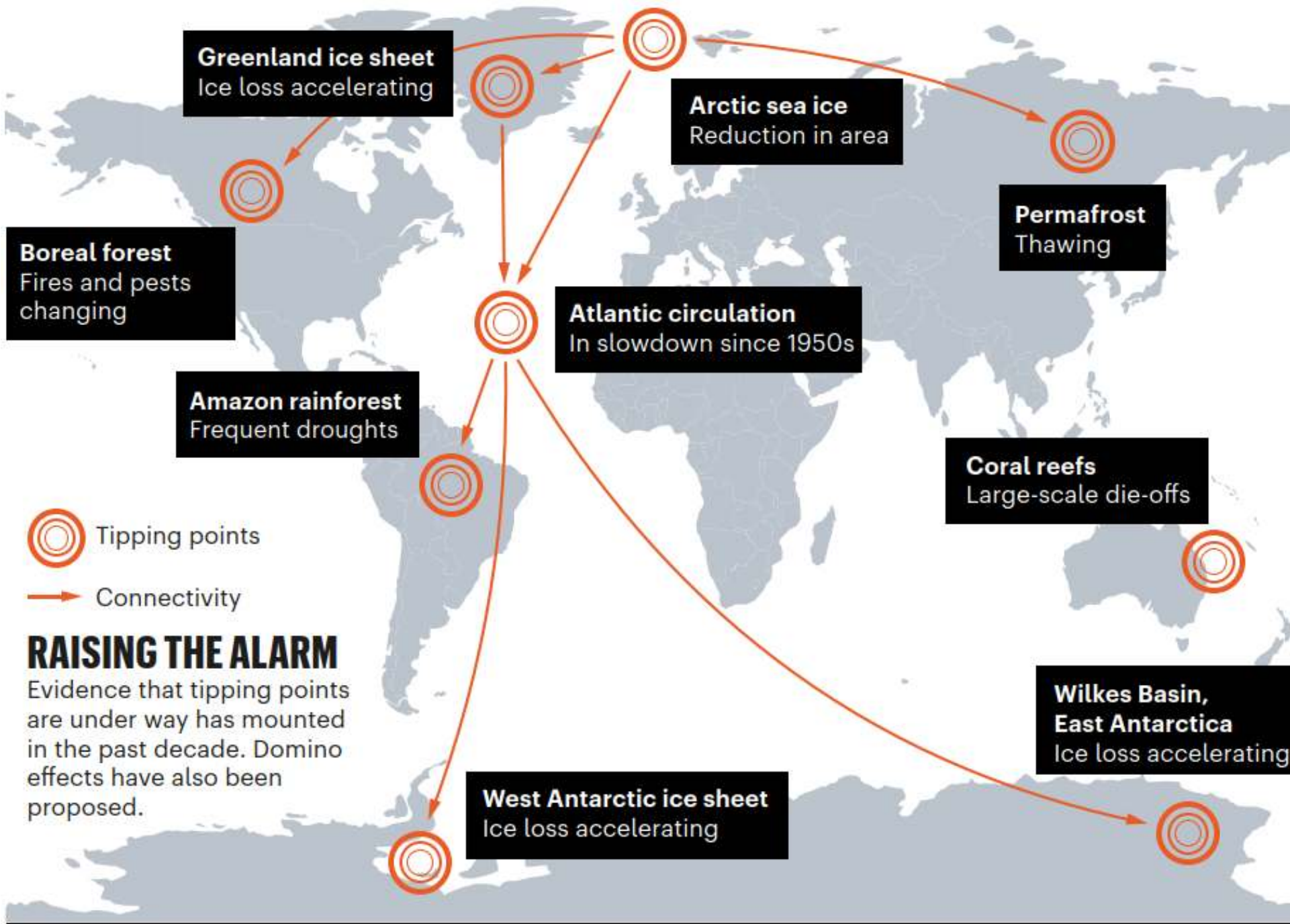
Sea Ice Extent, 15 Jan 2025



near-real-time data

National Snow and Ice Data Center, University of Colorado Boulder





RAISING THE ALARM

Evidence that tipping points are under way has mounted in the past decade. Domino effects have also been proposed.

“A climate tipping point is where a small amount of extra climate forcing, usually linked to global warming – for example, greenhouse gas forcing – triggers a qualitative change in part of the climate system.”

Lenton 2021
<https://doi.org/10.1002/wea.4058>

SOURCE: T. M. LENTON ET AL.

Yhdeksän kvantifioitua mahdollisesti keikahtavaa ilmiötä (tipping element)

- **Arctic Summer Sea Ice**
Critical Point: 0.5-2°C above present
Expert Assessment: High sensitivity/Small uncertainty
- **Greenland Ice Sheet (GIS)**
Critical Point: 1-2°C above present
Expert Assessment: High sensitivity/Small uncertainty
- **West Antarctic Ice Sheet (WAIS)**
Critical Point: 3-5°C above present
Expert Assessment: Medium sensitivity/Large uncertainty
- **Atlantic Thermohaline Circulation (THC)**
Critical Point: 3-5°C above present
Expert Assessment: Low sensitivity/Medium uncertainty
- **El Niño – Southern Oscillation**
Critical Point: 3-6°C above present
Expert Assessment: Medium sensitivity/Large uncertainty
- **Indian Summer Monsoon**
Critical Point: Albedo above 0.5
Expert Assessment: Large uncertainty
- **West African Monsoon**
Critical Point: 3-5°C above present
Expert Assessment: Medium sensitivity/Large uncertainty
- **Amazon Rainforest**
Critical Point: 3-4°C above present
Expert Assessment: Medium sensitivity/Large uncertainty
- **Boreal Forest**
Critical Point: 3-5°C above present
Expert Assessment: Medium sensitivity/Large uncertainty

mm. Lenton et al. 2008

www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.0705414105