Kantelpunten in het klimaat: is twee graden te veel?

dr. Robbin Bastiaansen

Nationale Wiskunde Dagen (9 april 2022)

Klimaatconferentie Parijs 2015

Akkoord van Parijs:
→Beperk opwarming tot 2°C

Klimaatconferentie Parijs 2015

Akkoord van Parijs:
→Beperk opwarming tot 1.5°C

INHOUD VOORDRACHT

Planning

1. Klimaatveranderingen – gevolgen
2. Klimaatmodellen – algemeen
3. Klimaatmodellen – simpele voorbeelden
4. Waarom is voorspellen zo moeilijk?

dr. Robbin Bastiaansen

tot 2019:

PhD @ Universiteit Leiden

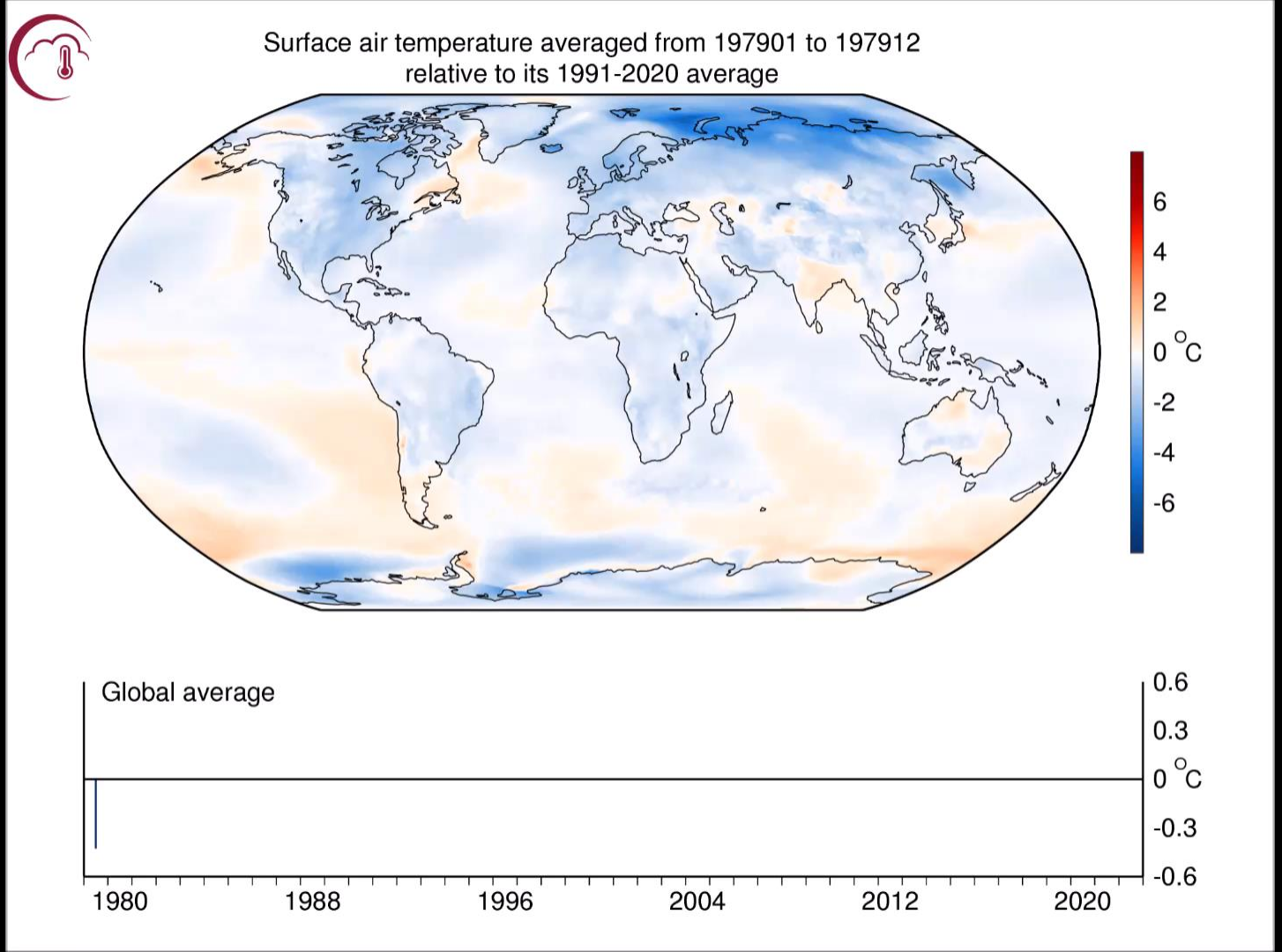
Onderzoek naar verwoestijning en patroonvorming

Sinds 2020:

PostDoc @ Universiteit Utrecht

Onderzoek naar klimaatgevoeligheid


KLIMAATVERANDERING



Source:
Copernicus Climate Change Service


GEVOLGEN VAN KLIMAATVERANDERING

Voorbeelden uit 2021

Extreme hagel in Spanje

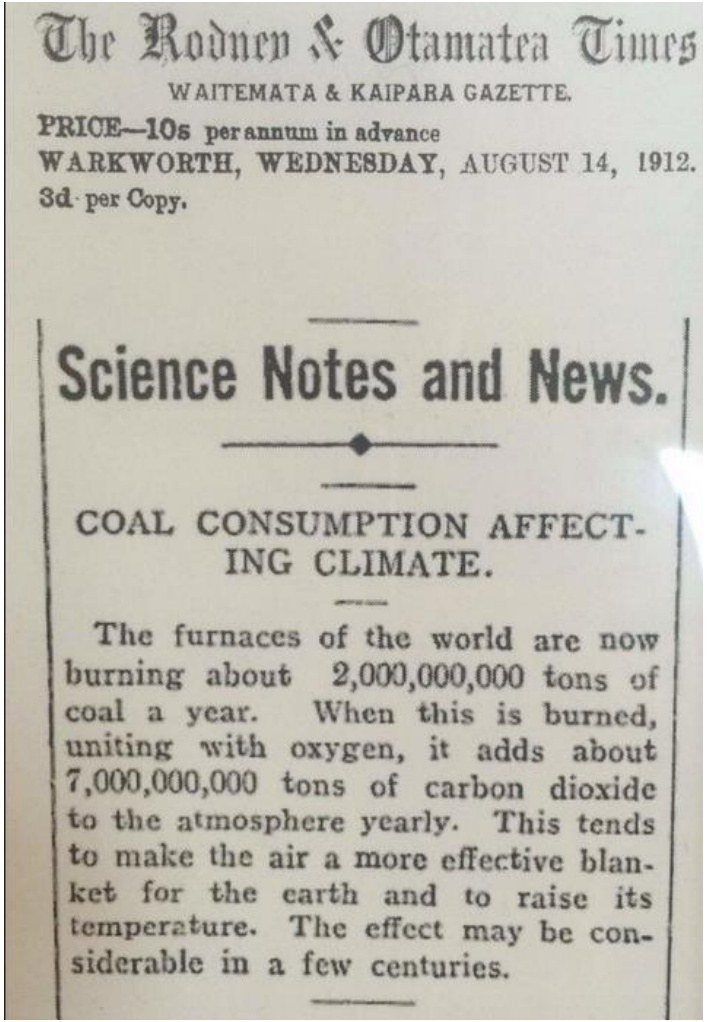
Extreme hitte Canada & VS

Bosbranden Zuid-Europa & Turkije

Overstromingen Limburg

Voorspellingen

- Meer zware neerslag
- Langere perioden van droogte
- Meer en intensere bosbranden
- Zeespiegelstijging
- Verzilting van water
- Meer stormen en orkanen
- Hogere landbouwopbrengsten

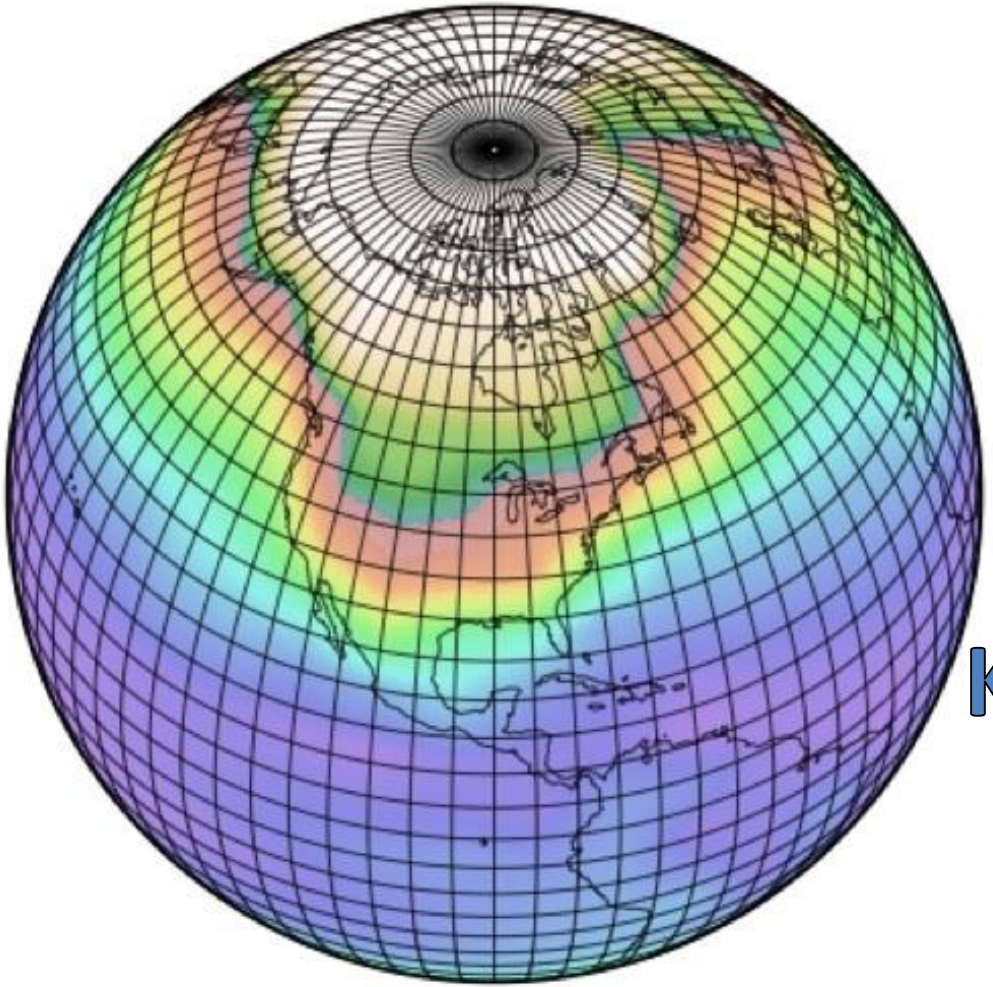


The Rodney & Otamatea Times
WAITEMATA & KAIPARA GAZETTE.
PRICE—10s per annum in advance
WARKWORTH, WEDNESDAY, AUGUST 14, 1912.
3d per Copy.

Science Notes and News.

COAL CONSUMPTION AFFECTING CLIMATE.

The furnaces of the world are now burning about 2,000,000,000 tons of coal a year. When this is burned, uniting with oxygen, it adds about 7,000,000,000 tons of carbon dioxide to the atmosphere yearly. This tends to make the air a more effective blanket for the earth and to raise its temperature. The effect may be considerable in a few centuries.



KLIMAATMODELLEN

Wiskundige modellen

$\boldsymbol{x}$: toestand van het systeem

<u>Dynamisch systeem:</u>

$$\frac{d\boldsymbol{x}(t)}{dt} = f(\boldsymbol{x}(t), t)$$

Type modellen

(beoogd) niveau van realisme

GCMs (Global Climate Models)

- veel effecten
- kwantitatieve uitspraken
- moeilijk te doortasten

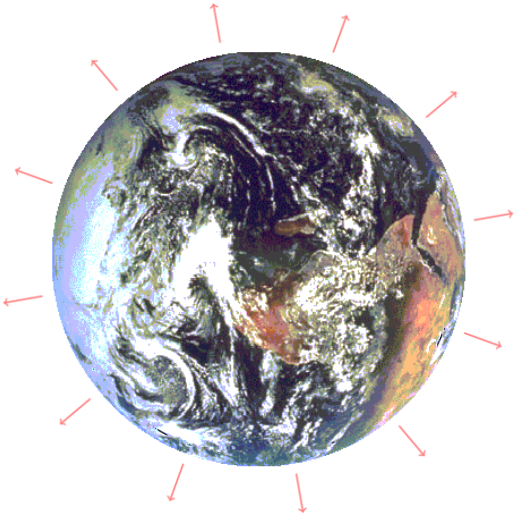
Conceptuele modellen

- alleen essentiële effecten
- kwalitatieve uitspraken
- (vaak) analytisch handelbaar
- geeft inzicht in essentie

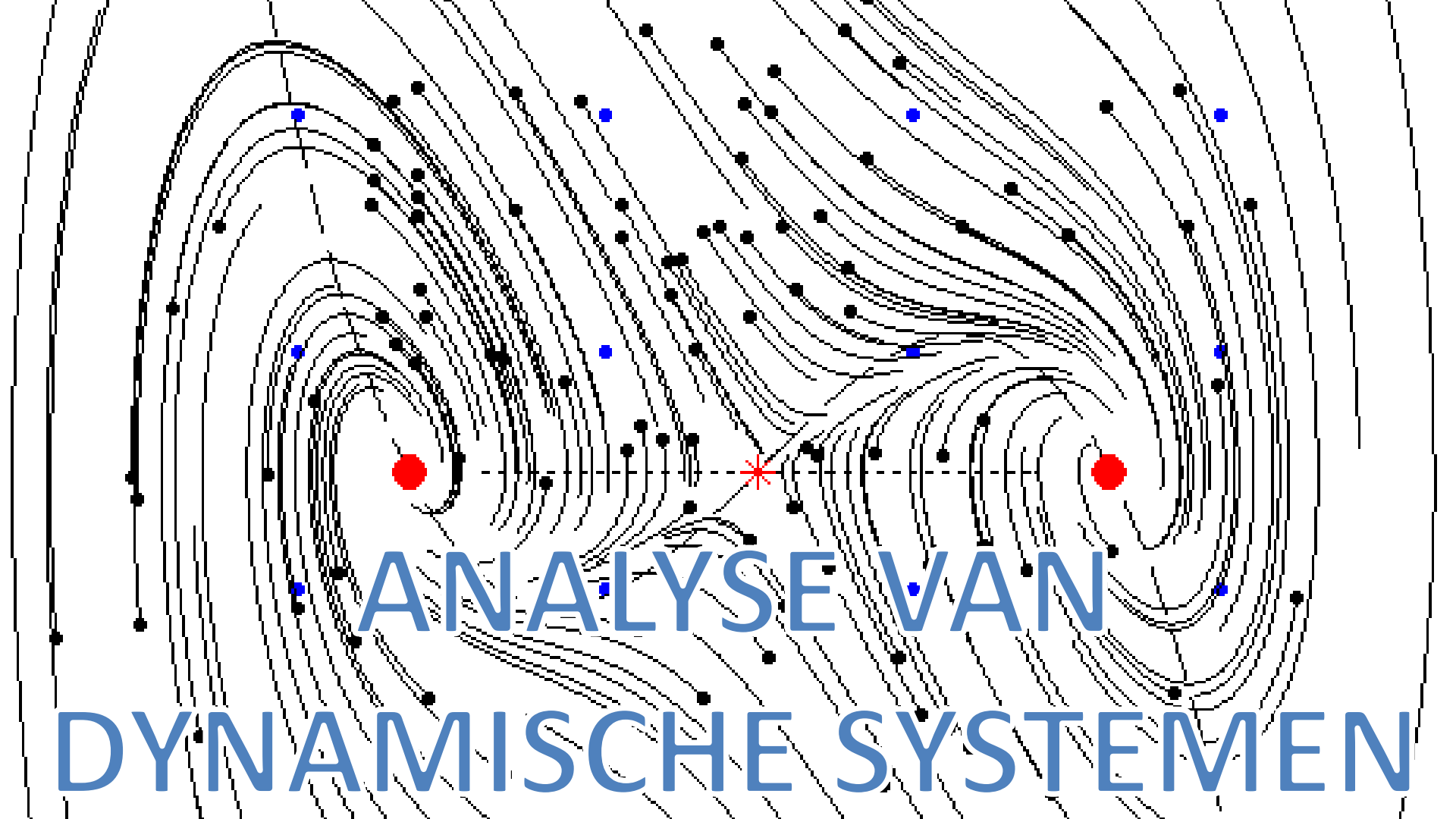
KERN VAN DE MOEILIJKHEID

Niet-lineaire terugkoppeling

- veel ijs/sneeuw
- veel weerkaatsing zonlicht



- weinig ijs/sneeuw
- weinig weerkaatsing zonlicht



ANALYSE VAN DYNAMISCHE SYSTEMEN

Dynamische systemen – de basis

$$x \in \mathbb{R}$$

$$\frac{dx}{dt} = f(x, t)$$

Dynamische systemen – de basis

$$x \in \mathbb{R}$$

$$\frac{dx}{dt} = f(x,t)$$

f alleen afhankelijk van t

$$\frac{dx}{dt} = f(t)$$

$$\int_{x(0)}^{x(t)} dx' = \int_0^t f(t')\, dt'$$

$$\rightarrow x(t) = x(0) + \int_0^t f(t')\, dt'$$

Dynamische systemen – de basis

$$x \in \mathbb{R}$$

$$\frac{dx}{dt} = f(x,t)$$

f alleen afhankelijk van t	f alleen afhankelijk van x
$\frac{dx}{dt} = f(t)$	$\frac{dx}{dt} = f(x)$
$\int_{x(0)}^{x(t)} dx' = \int_0^t f(t')\,dt'$	$\int_{x(0)}^{x(t)} \frac{dx'}{f(x')} = \int_0^t dt'$
$\rightarrow x(t) = x(0) + \int_0^t f(t')\,dt'$	$\rightarrow x(t) =$ … ?

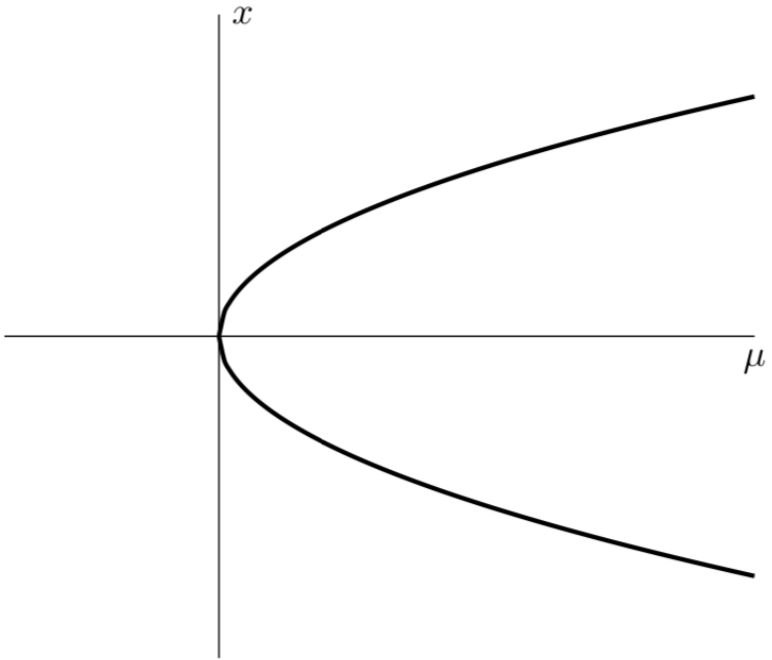
$$\frac{dx}{dt} = f(x) \coloneqq \mu - x^2$$

$$\frac{dx}{dt} = f(x) \coloneqq \mu - x^2$$

1. Vaste Punten

$$\frac{dx_*}{dt} = 0 = f(x_*) = \mu - x_*^2$$

$$\rightarrow x_* = \pm\sqrt{\mu}$$



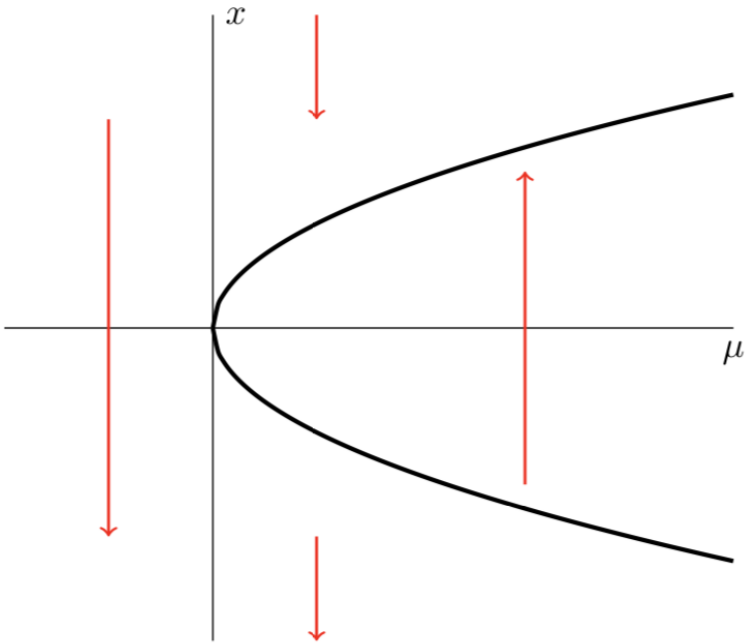
$$\frac{dx}{dt} = f(x) \coloneqq \mu - x^2$$

1. Vaste Punten

$$\frac{dx_*}{dt} = 0 = f(x_*) = \mu - x_*^2$$

$$\rightarrow x_* = \pm\sqrt{\mu}$$

2. Stabiliteit

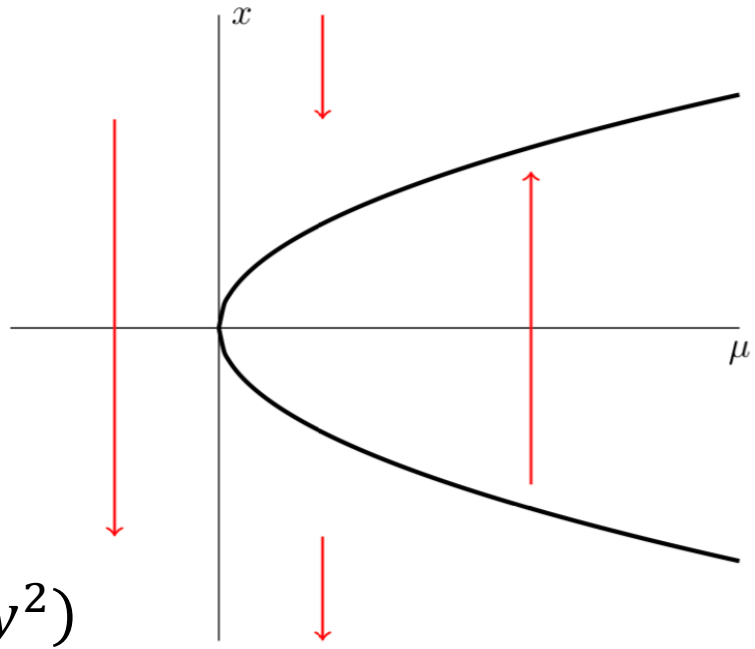


$$\frac{dx}{dt} = f(x) \coloneqq \mu - x^2$$

1. Vaste Punten

$$\frac{dx_*}{dt} = 0 = f(x_*) = \mu - x_*^2$$

$$\rightarrow x_* = \pm\sqrt{\mu}$$



2. Stabiliteit

Kleine verstoring $x = x_* + y$

$$\rightarrow \frac{d(x_* + y)}{dt} = f(x_* + y)$$

$$\rightarrow \frac{dy}{dt} = f(x_*) + f'(x_*)y + \mathcal{O}(y^2)$$

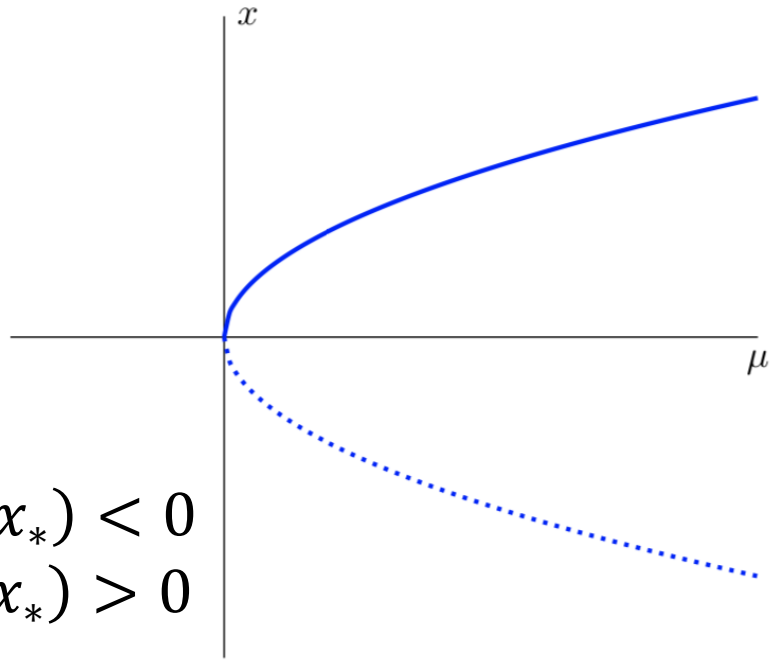
$$\rightarrow \frac{dy}{dt} = f'(x_*)y$$

$$\frac{dx}{dt} = f(x) \coloneqq \mu - x^2$$

1. Vaste Punten

$$\frac{dx_*}{dt} = 0 = f(x_*) = \mu - x_*^2$$

$$\rightarrow x_* = \pm\sqrt{\mu}$$



2. Stabiliteit

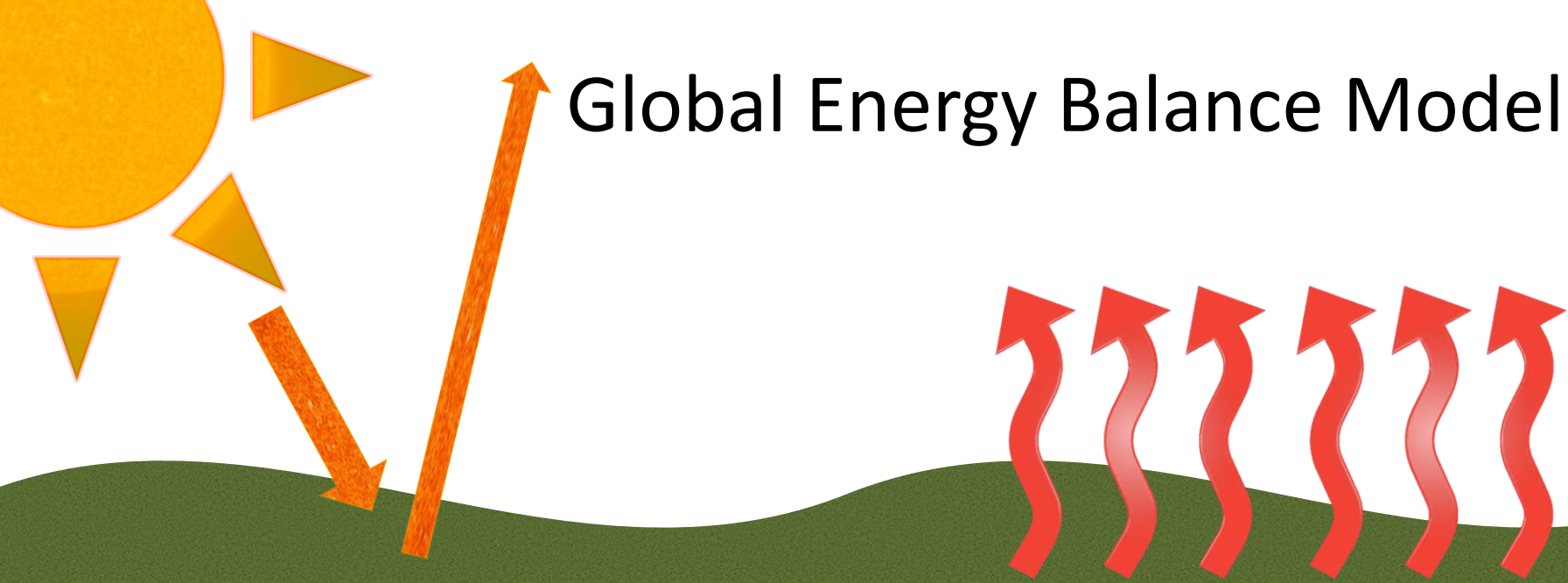
$$f'(x_*) = -2\,x_* = \mp 2\sqrt{\mu}$$

Stabiel (aantrekkend) $\Leftrightarrow \lambda \coloneqq f'(x_*) < 0$

Instabiel (afstotend) $\Leftrightarrow \lambda \coloneqq f'(x_*) > 0$

VOORBEELD:
ICE-ALBEDO FEEDBACK

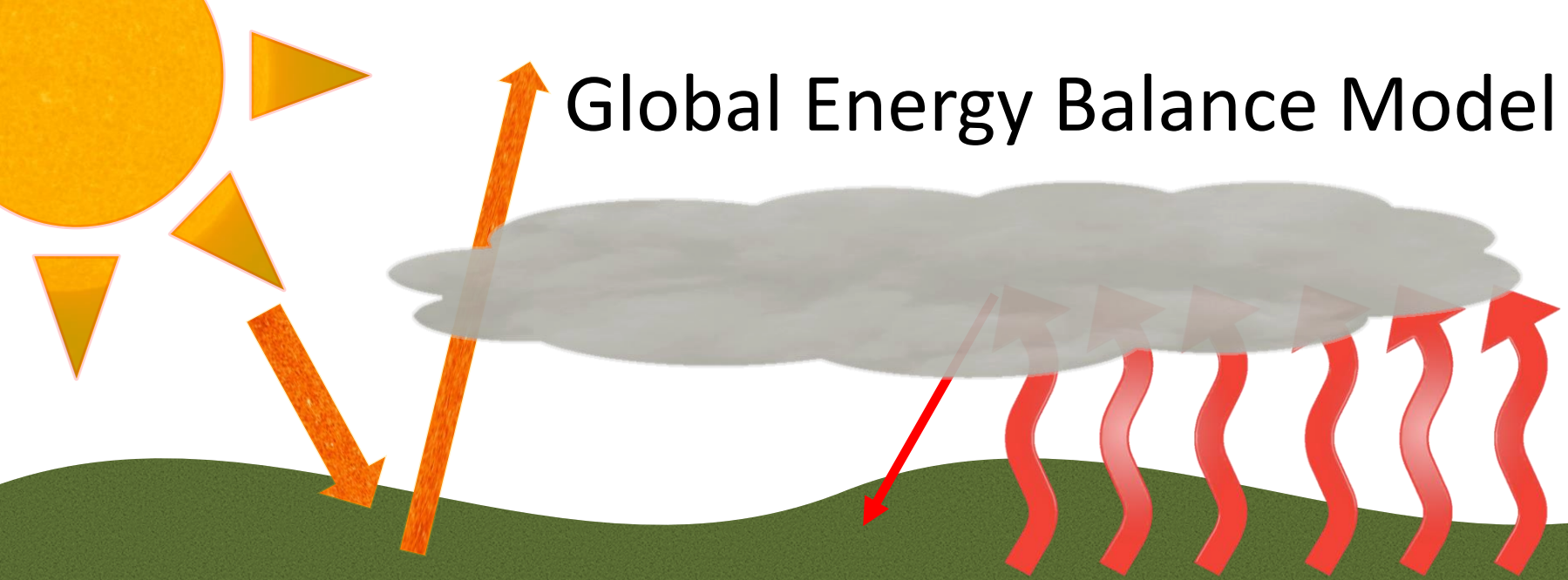
Global Energy Balance Model



$$\text{opwarming} = \text{zonlicht} - \text{weerkaatst zonlicht} - \text{straling}$$

$$\frac{dT}{dt} = 1 - \alpha(T) - T^4$$

Global Energy Balance Model

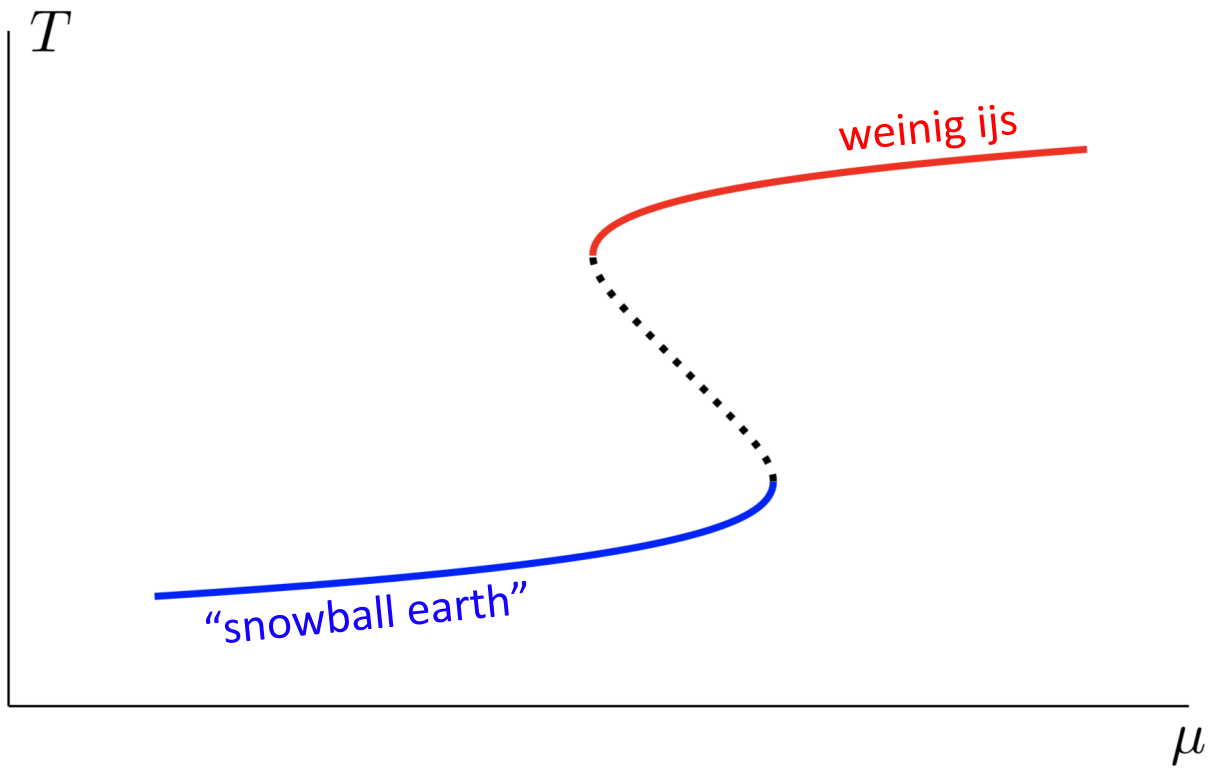


$$\frac{dT}{dt} = 1 - \alpha(T) - T^4 + \mu$$

$$\text{opwarming} = \frac{dT}{dt} = 1 - \alpha(T) - T^4 + \mu$$

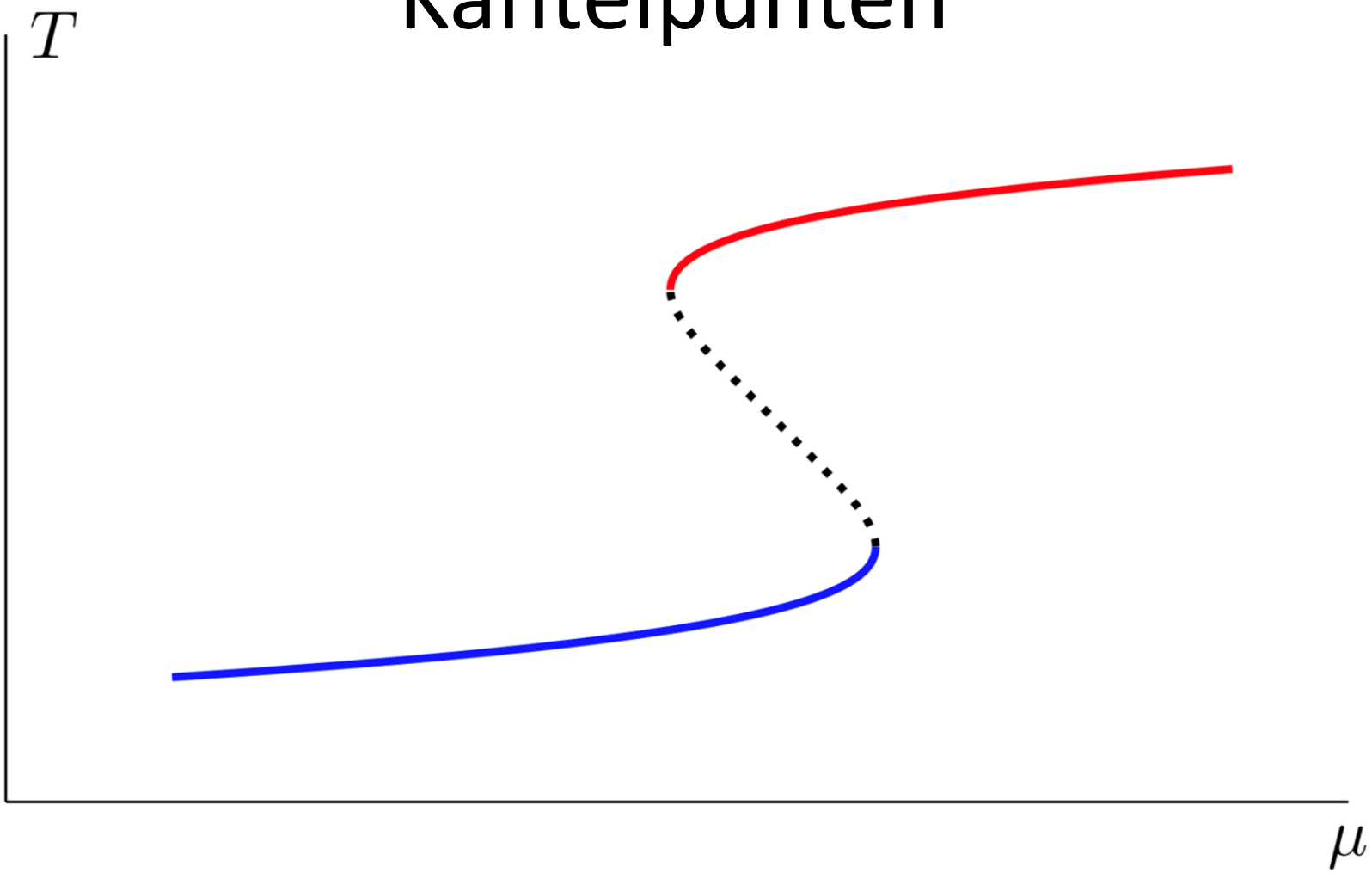
Voor gegeven CO2 (μ)
Hoe warm wordt het?

$$0 = 1 - \alpha(T) - T^4 + \mu$$

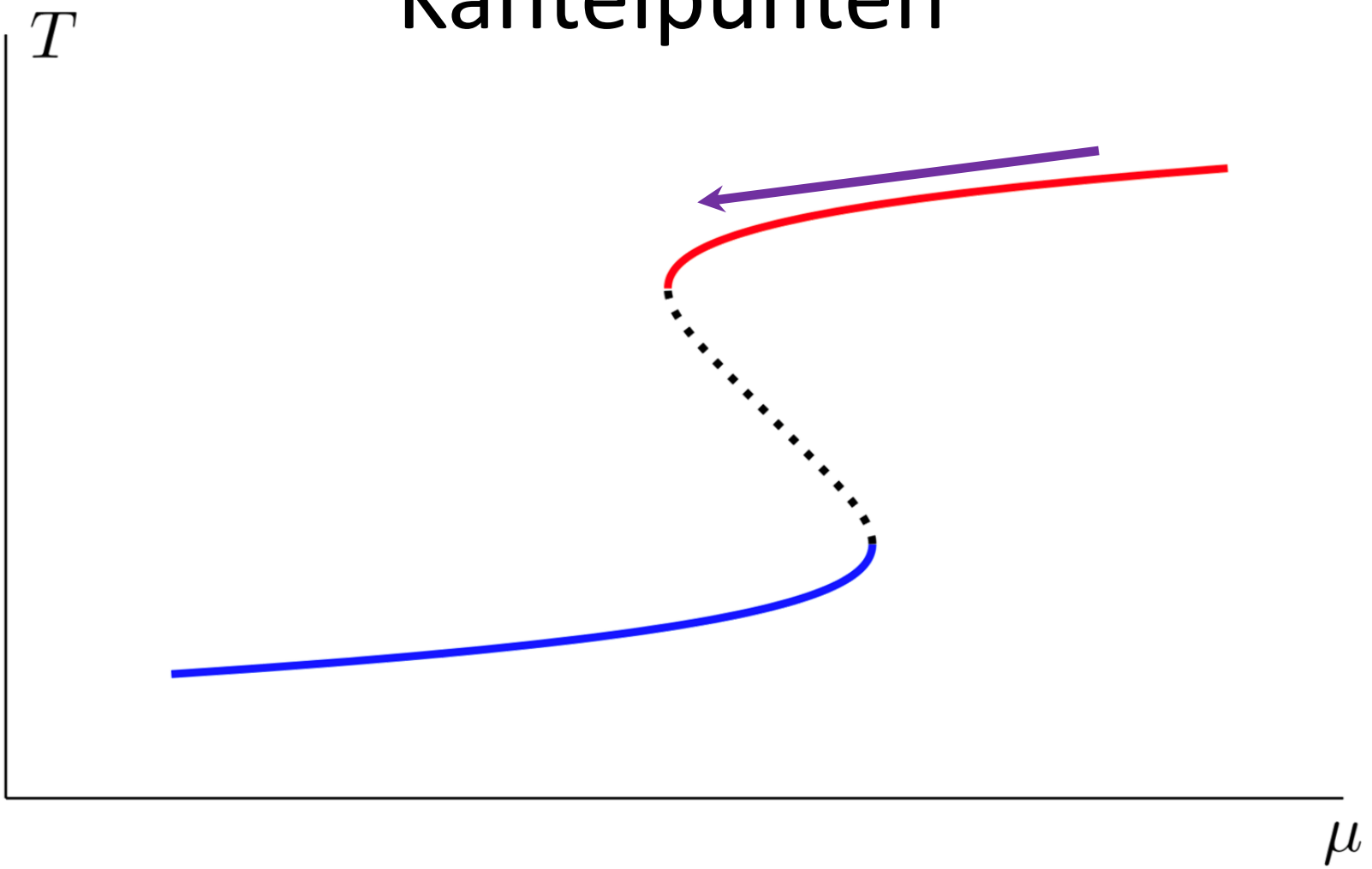



KANTELPUNTEN

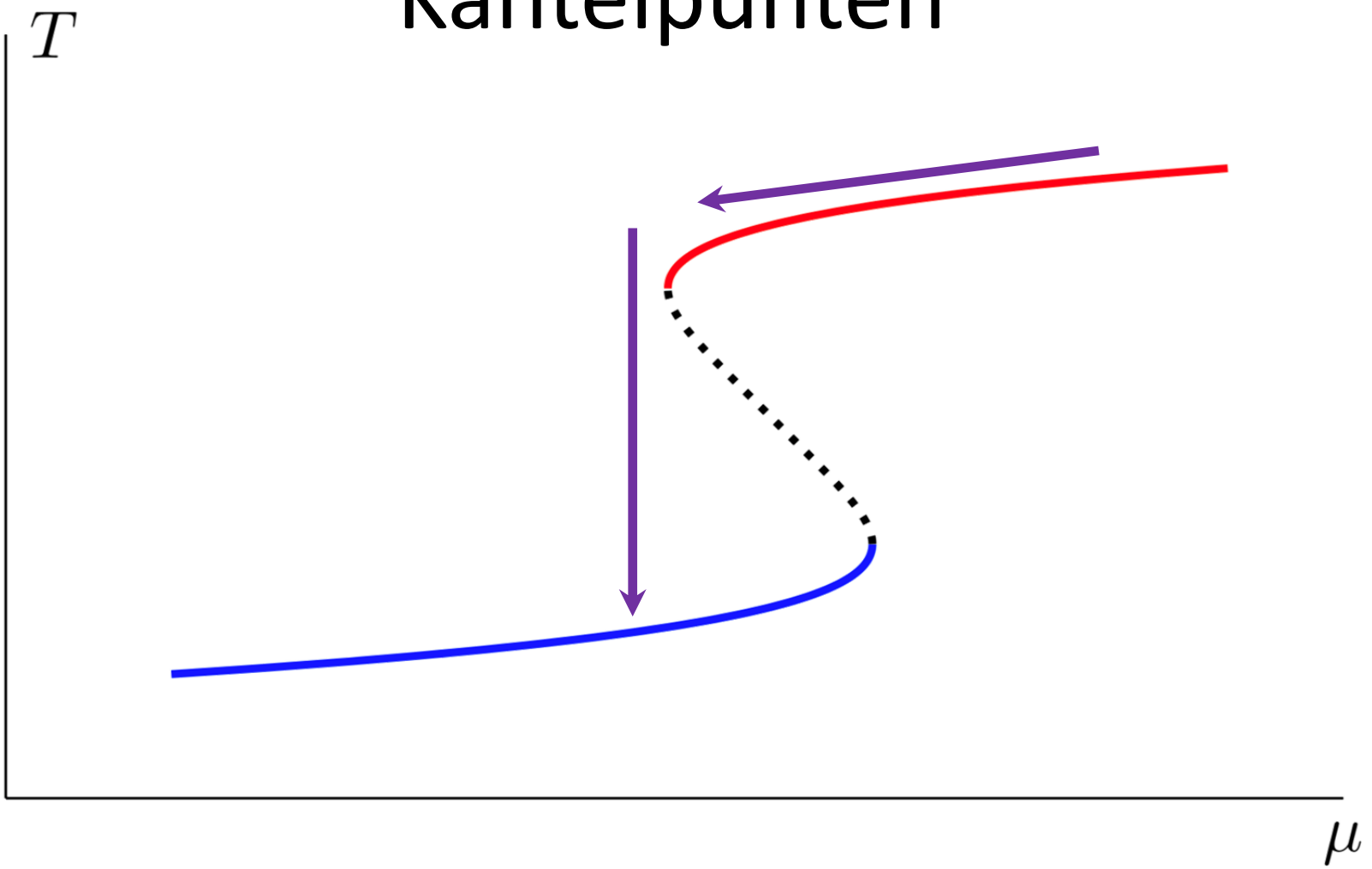
Kantelpunten



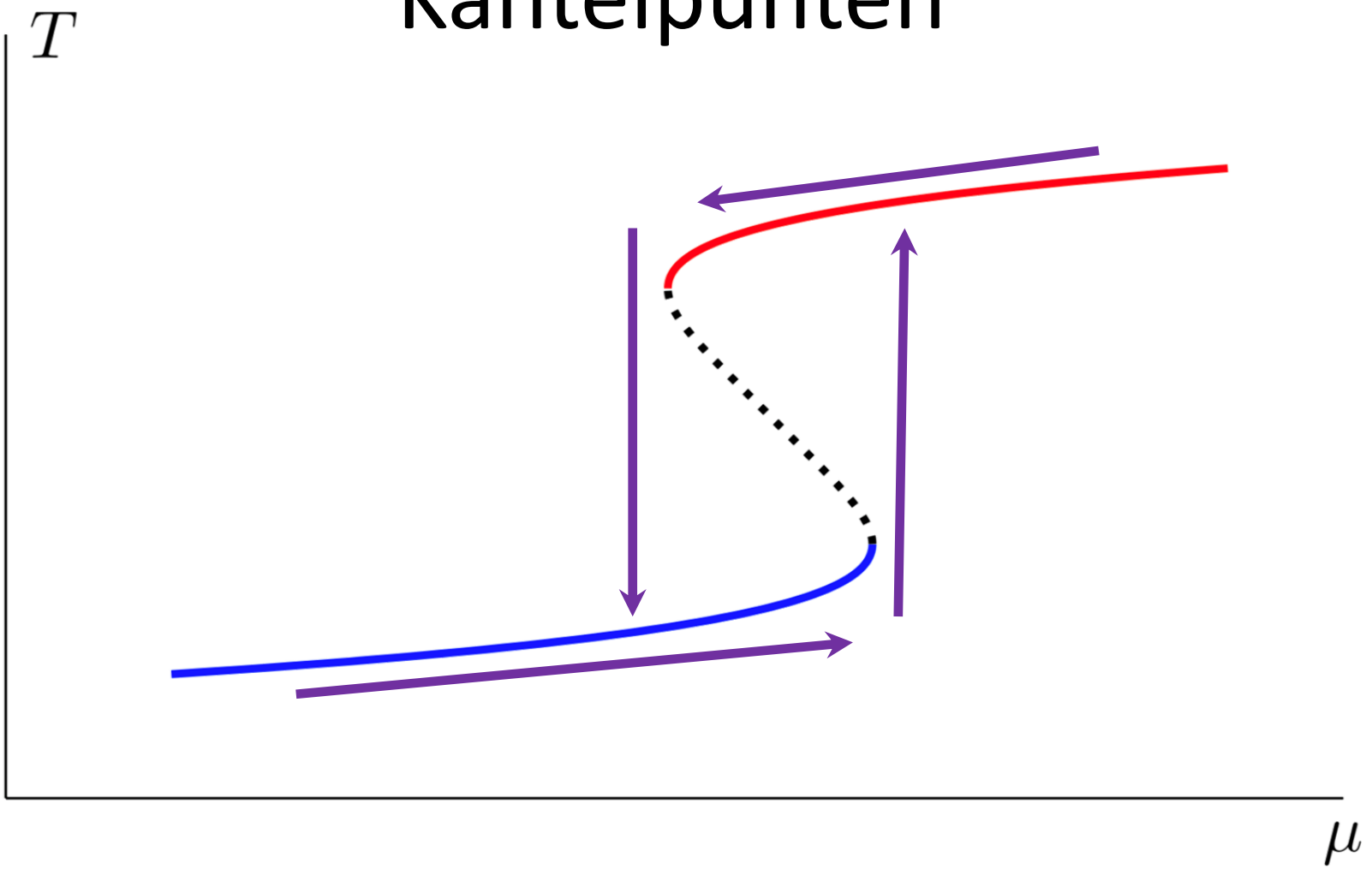
Kantelpunten



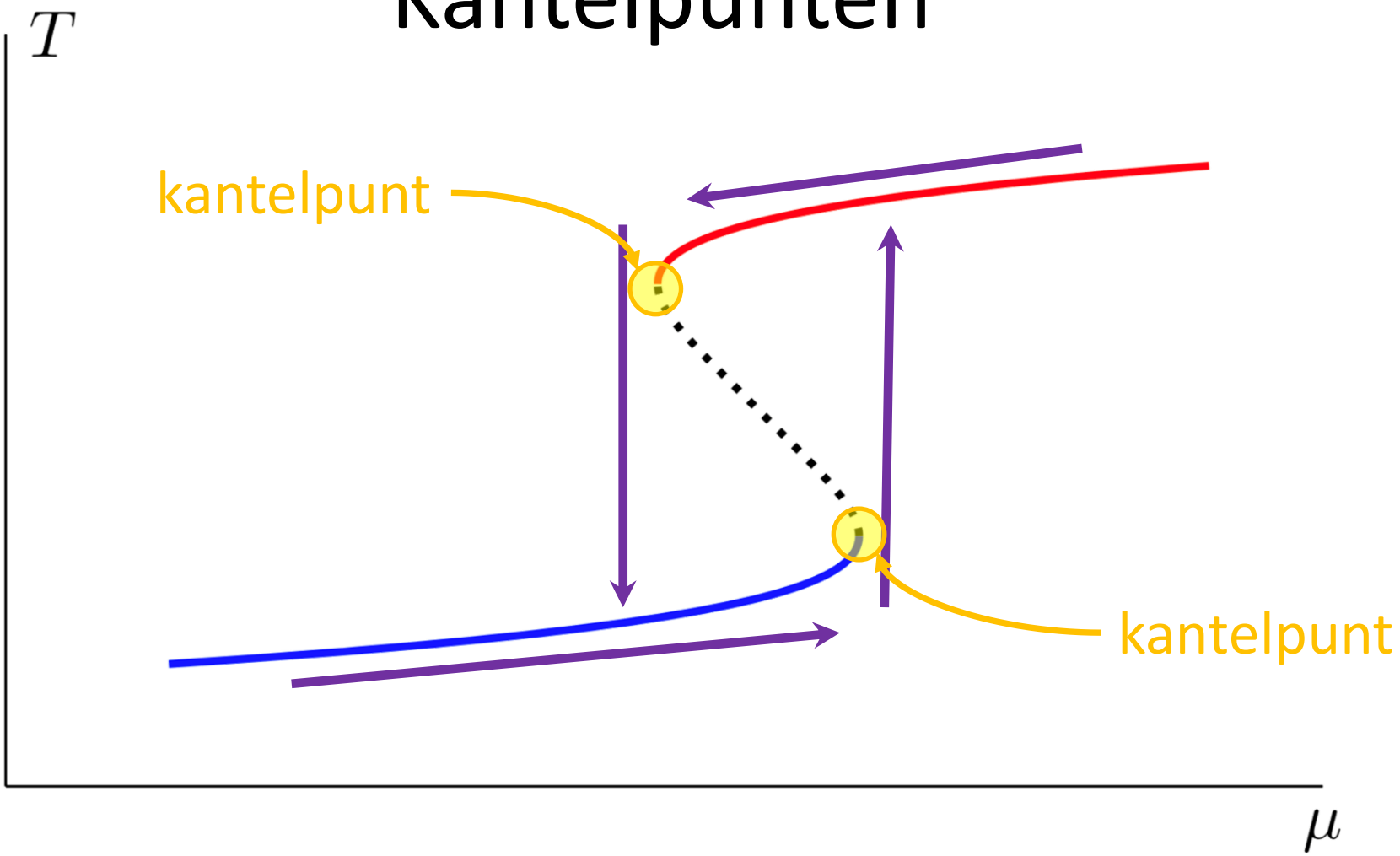
Kantelpunten

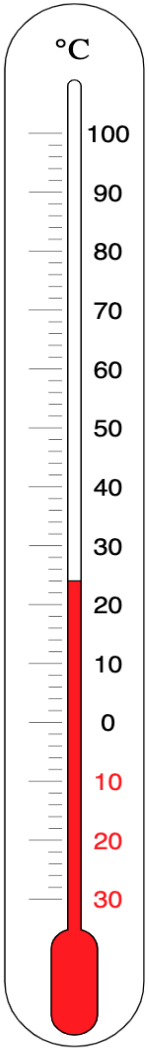


Kantelpunten



Kantelpunten





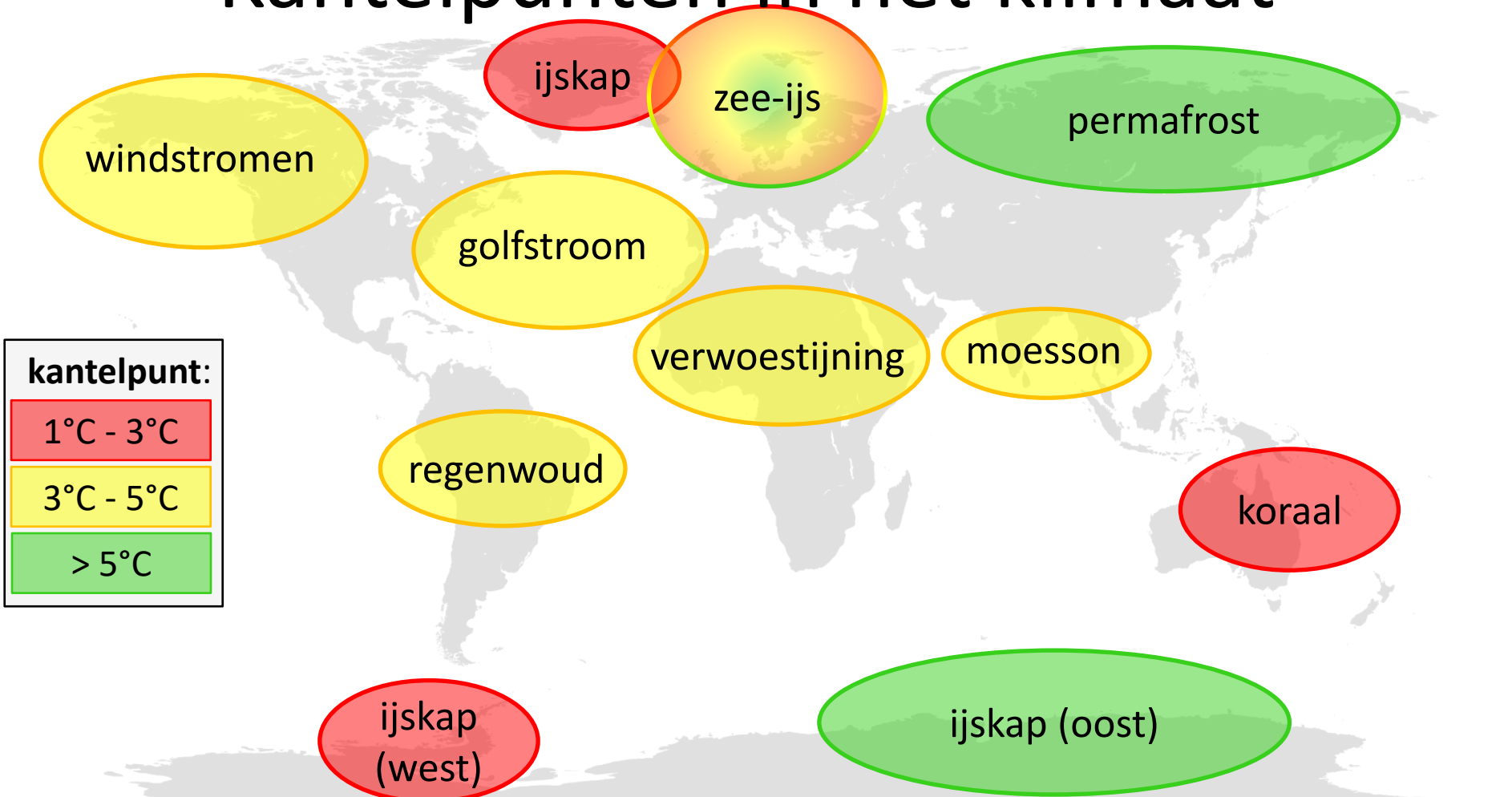
IS TWEE GRADEN TE VEEL?

Twee graden Celsius

Klimaatconferentie Parijs 2015:

stijging 2°C: beperkte gevolgen

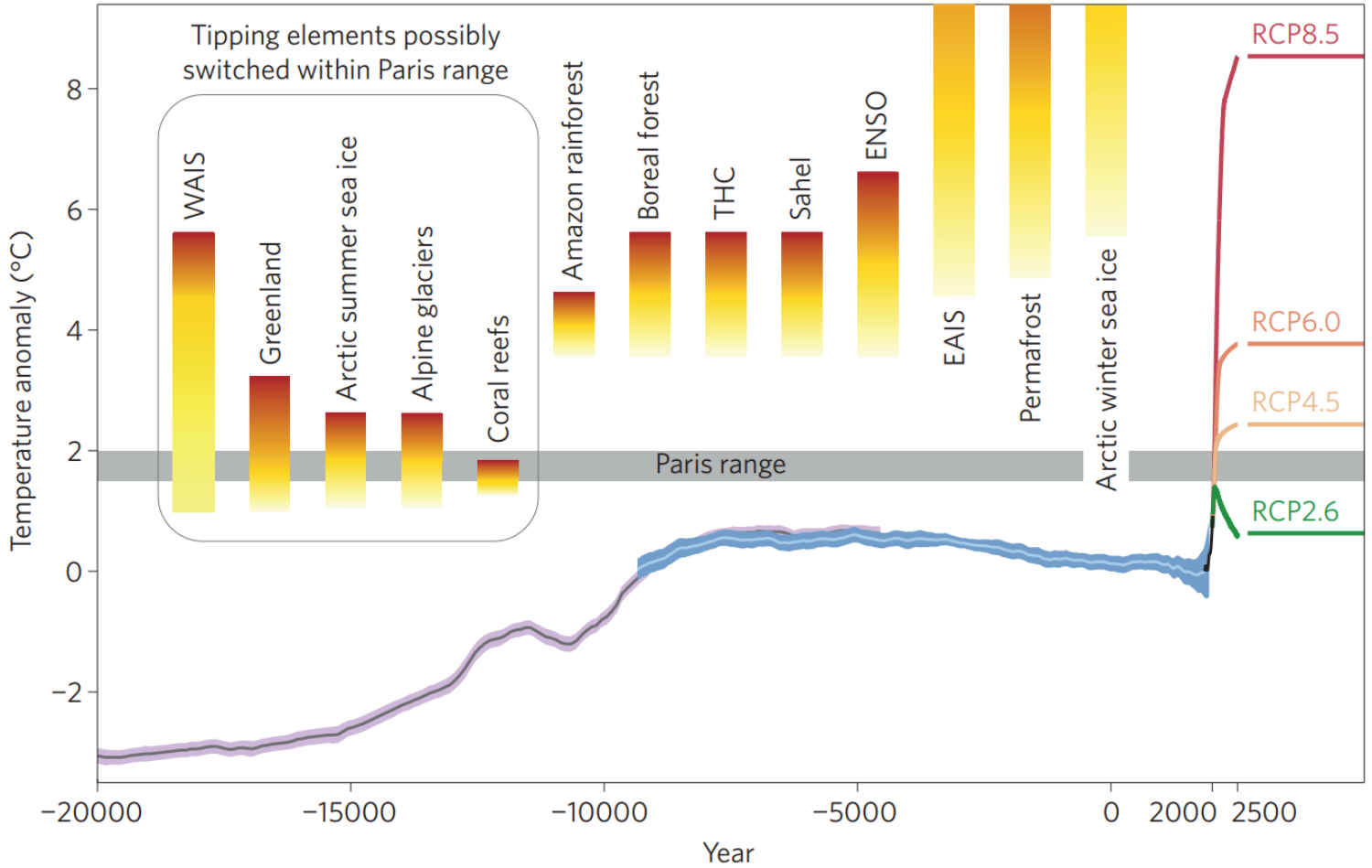
Kantelpunten in het klimaat



Waarom zo moeilijke vraag?

- kantelpunten vaak pas achteraf duidelijk
- aarde is erg complex
  - veel processen
  - alle schalen van belang
- huidige situatie is uniek
  - snelle verandering

Kantelpunten & klimaatverandering



Kantelpunten in het klimaat: is twee graden te veel?

Kantelpunten in het klimaat: is twee graden te veel?