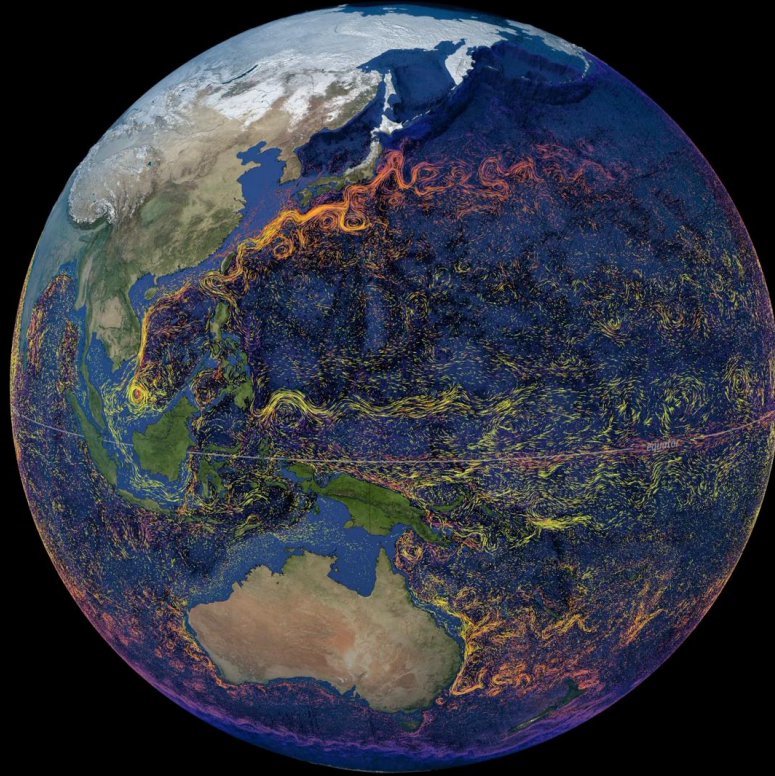


De wiskunde van (on)voorspelbaarheid

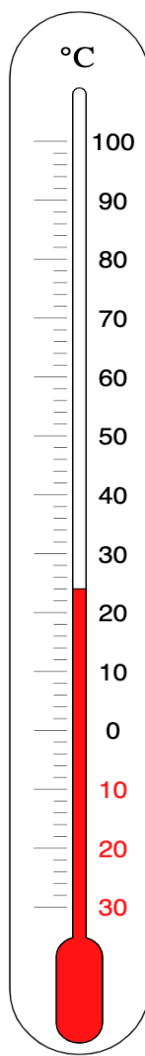


U-Talent Bèta Academy 2026

Movie source: NASA's Scientific Visualization Studio

dr. Robbin Bastiaansen

8 september 2026



Hoe warm was het gisteren?

Hoe warm wordt het morgen?

Hoe warm was het op 8 september 1911?

Hoe warm was het op 8 september 1944?

Hoe warm was het op 8 september 1575?

Hoe warm was het 55 miljoen jaar geleden?

Hoe warm wordt het op 8 september 2100?

dr. Robbin Bastiaansen

- Studies Wiskunde en Natuurkunde aan Universiteit Leiden
- Onderzoek naar verwoestijning aan Universiteit Leiden
- Sinds 2020:
bij Universiteit Utrecht
onderzoek klimaatverandering

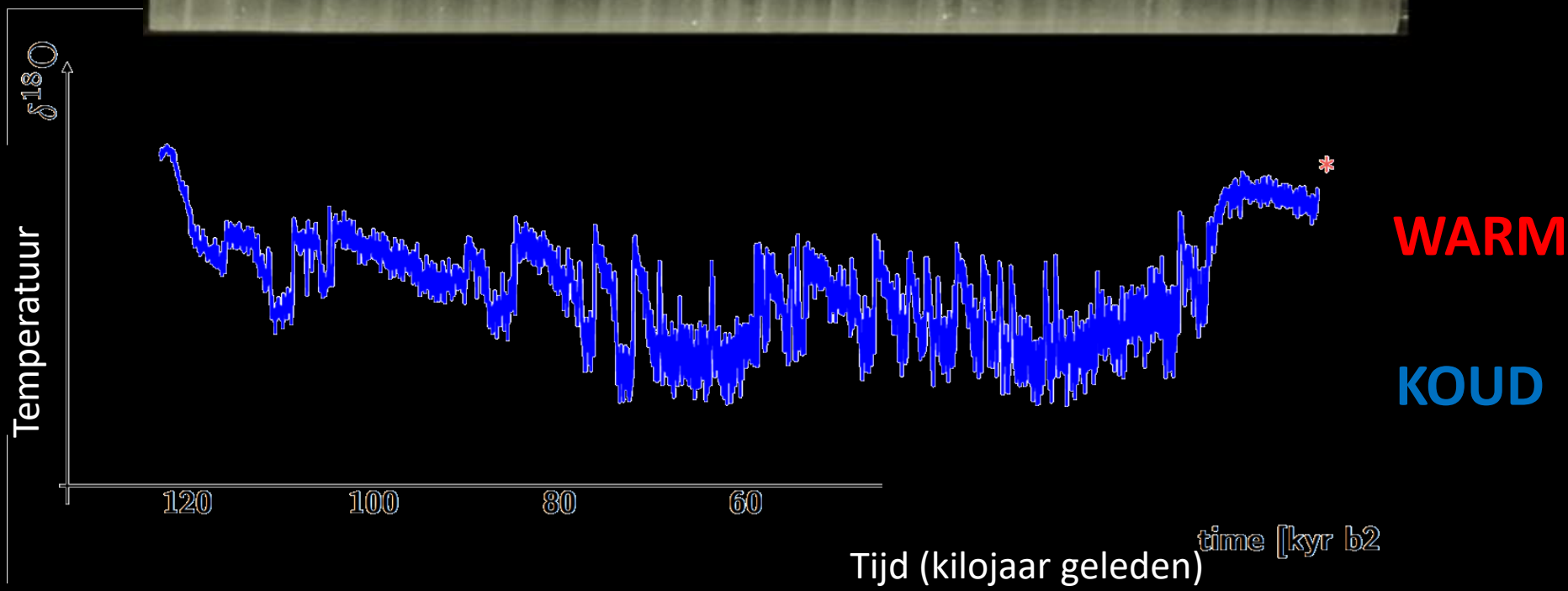
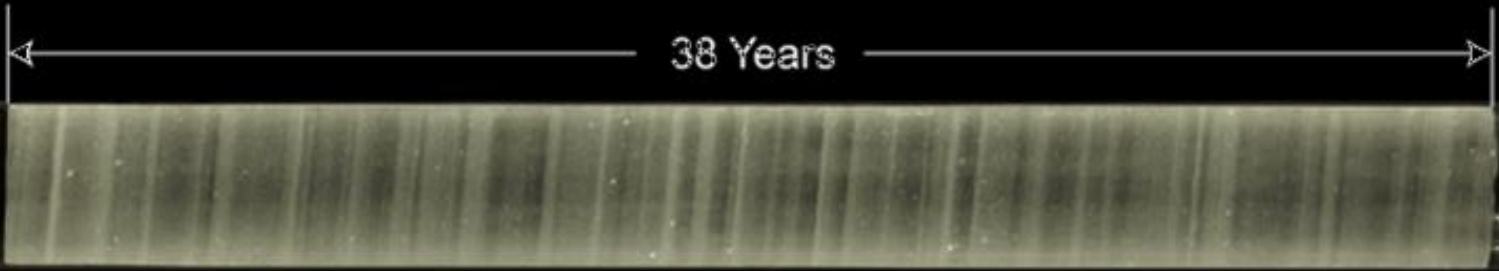


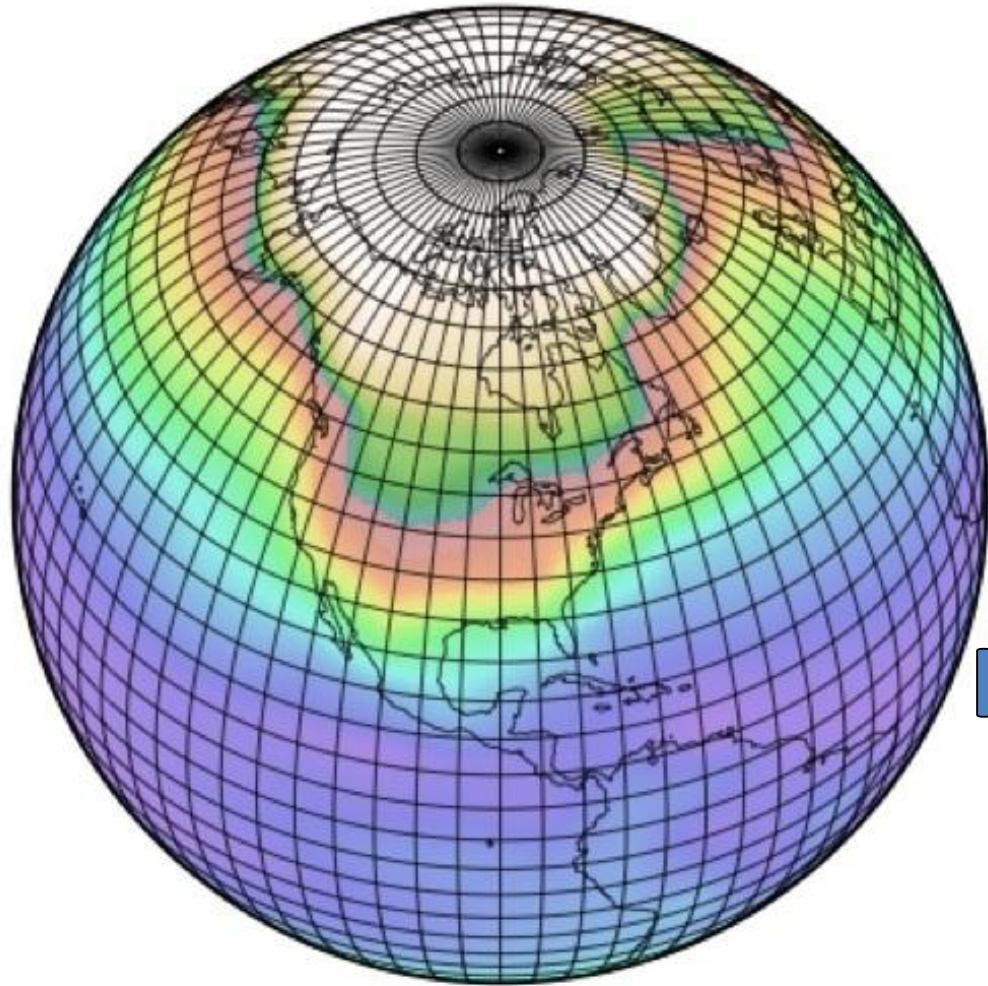
Buienradar
27 & 28 juni 2026

za 02:00



Via: Sparetime2Tube





KLIMAATMODELLEN

Wiskundige modellen

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

Dynamisch systeem:

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

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

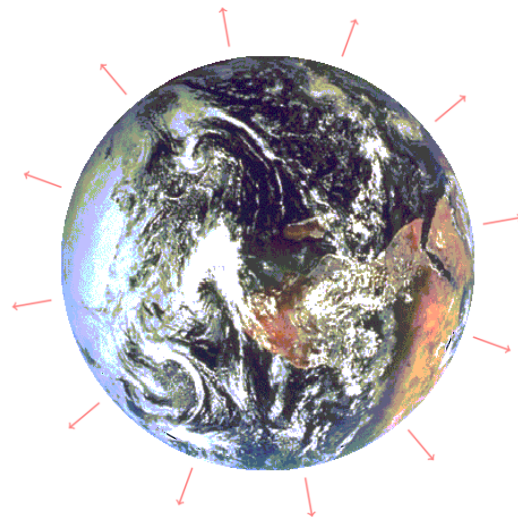
KERN VAN DE
MOEILIKHEID



Niet-lineaire terugkoppeling

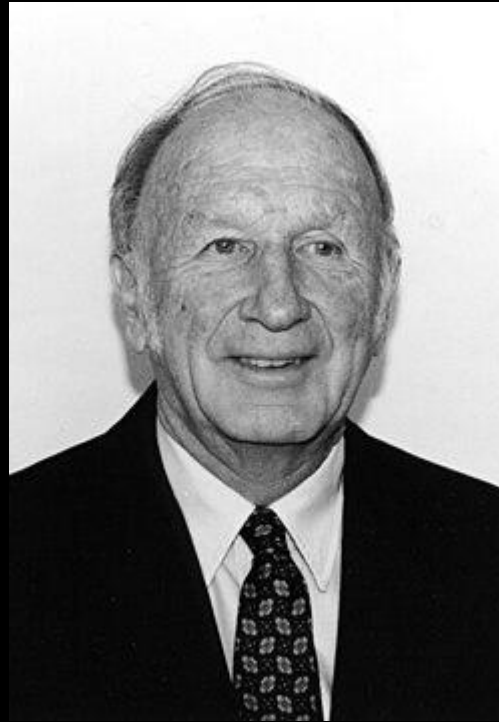


- veel ijs/sneeuw
- veel weerkaatsing zonlicht



- weinig ijs/sneeuw
- weinig weerkaatsing zonlicht

Edward Norton Lorenz (1917-2008)



Lorenz 63 model

$$\begin{aligned}\frac{dx}{dt} &= \sigma (y - x) \\ \frac{dy}{dt} &= x (\rho - z) - y \\ \frac{dz}{dt} &= xy - \beta z\end{aligned}$$

Typische parameterwaardes:

$$\sigma = 10, \beta = \frac{8}{3}, \rho = 28$$

Twée simulaties

bastiaansen.github.io/sims/Lorenz63Simulator.html

MEER • KLIMAAT • CHAOS

De wiskunde van (on)voorspelbaarheid

Het Lorenz 63-model live in de browser. Pas parameters en beginwaarden aan, start de simulatie en bekijk hoe het systeem reageert op kleine meetverschillen.



Twée simulaties

bastiaansen.github.io/sims/Lorenz63Simulator.html

MEER • KLIMAAT • CHAOS

De wiskunde van (on)voorspelbaarheid

Het Lorenz 63-model live in de browser. Pas parameters en beginwaarden aan, start de simulatie en bekijk hoe het systeem reageert op kleine meetverschillen.



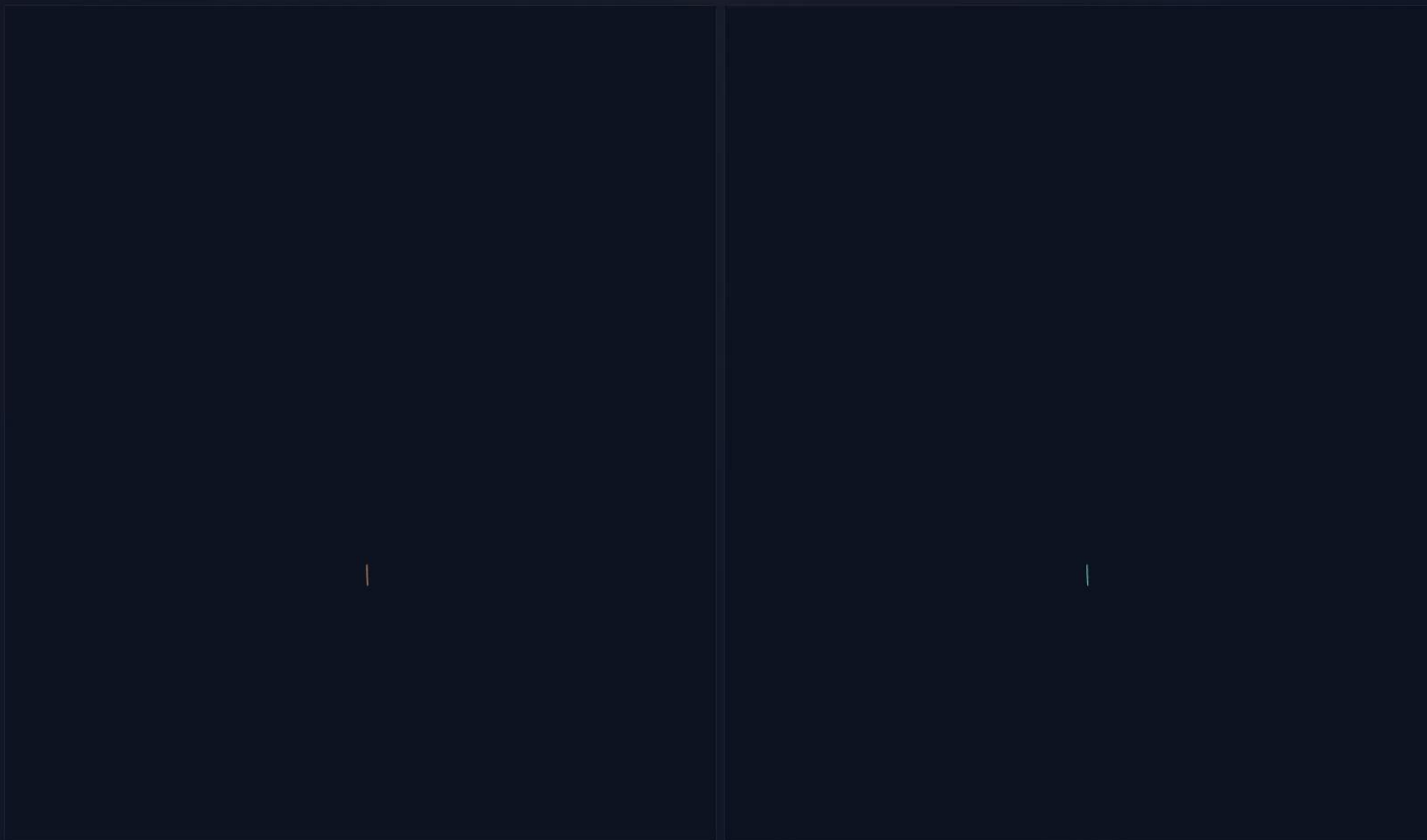
Twée simulaties - faseplaatje

bastiaansen.github.io/sims/Lorenz63Simulator.html

MEER • KLIMAAT • CHAOS

De wiskunde van (on)voorspelbaarheid

Het Lorenz 63-model live in de browser. Pas parameters en beginwaarden aan, start de simulatie en bekijk hoe het systeem reageert op kleine meetverschillen.



WEERGAVE

WEERGAVEMODUS

Fase ruimte (Naast elkaar) ▼

TIJDSVENSTER (SEC) 37

BEGINVERSCHIL (\$EPSILON\$) 10^{-8}

MODEL PARAMETERS

σ 10.0 ρ 28.0 β 2.67

BEGINWAARDEN (A)

x_0 0.6 y_0 0.6 z_0 14.2

SIMULATIE

SNELHEID 0.5x

■ Pauze

▶ Herstart

Tijd 0.0
Verschil 7.246×10^{-9}

Verandering in attractor

bastiaansen.github.io/sims/Lorenz63Simulator.html

WEER • KLIMAAT • CHAOS

De wiskunde van (on)voorspelbaarheid

Het Lorenz 63-model live in de browser. Pas parameters en beginwaarden aan, start de simulatie en bekijk hoe het systeem reageert op kleine meetverschillen.



● Simulatie A ● Simulatie B

Gemaakt voor presentaties - werkt volledig lokaal in de browser

WEERGAVE

WEERGAVEMODUS

Fase ruimte (Samen) ▼

TIJDSVENSTER (SEC) 37

BEGINVERSCIL (\$EPSILONS) 10⁻⁸

MODEL PARAMETERS

σ 10.0 ρ 28.0 β 2.67

BEGINWAARDEN (A)

x_0 0.6 y_0 0.6 z_0 16.2

SIMULATIE

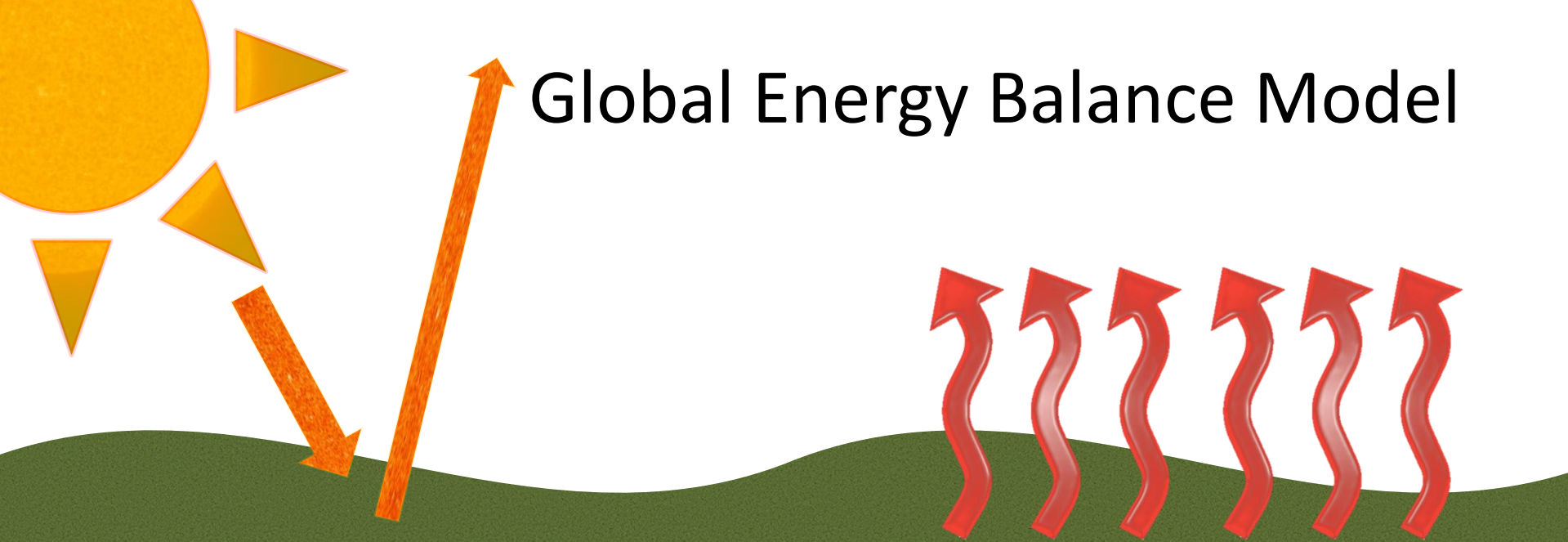
SNELHEID 0.3x

■ Playze 10x ■ Herstart

Tijd 6.4
Verschil 2.52e-7

An aerial photograph of a vast, flat, and highly textured ice surface, likely a glacier or ice sheet. The ice has a complex, wrinkled appearance with numerous small ridges and depressions. The horizon is a straight line in the upper third of the image, with a clear, pale blue sky above it.

VOORBEELD: IJS-ALBEDO FEEDBACK



opwarming = zonlicht – weerkaatst zonlicht – straling

$$\frac{dT}{dt} = Q_0(1 - \alpha(T)) - \varepsilon \sigma T^4$$

$$\text{opwarming} = \frac{dT}{dt} = Q_0(1 - \alpha(T)) - \varepsilon \sigma T^4$$

Voor gegeven CO2 (μ)
Hoe warm wordt het?

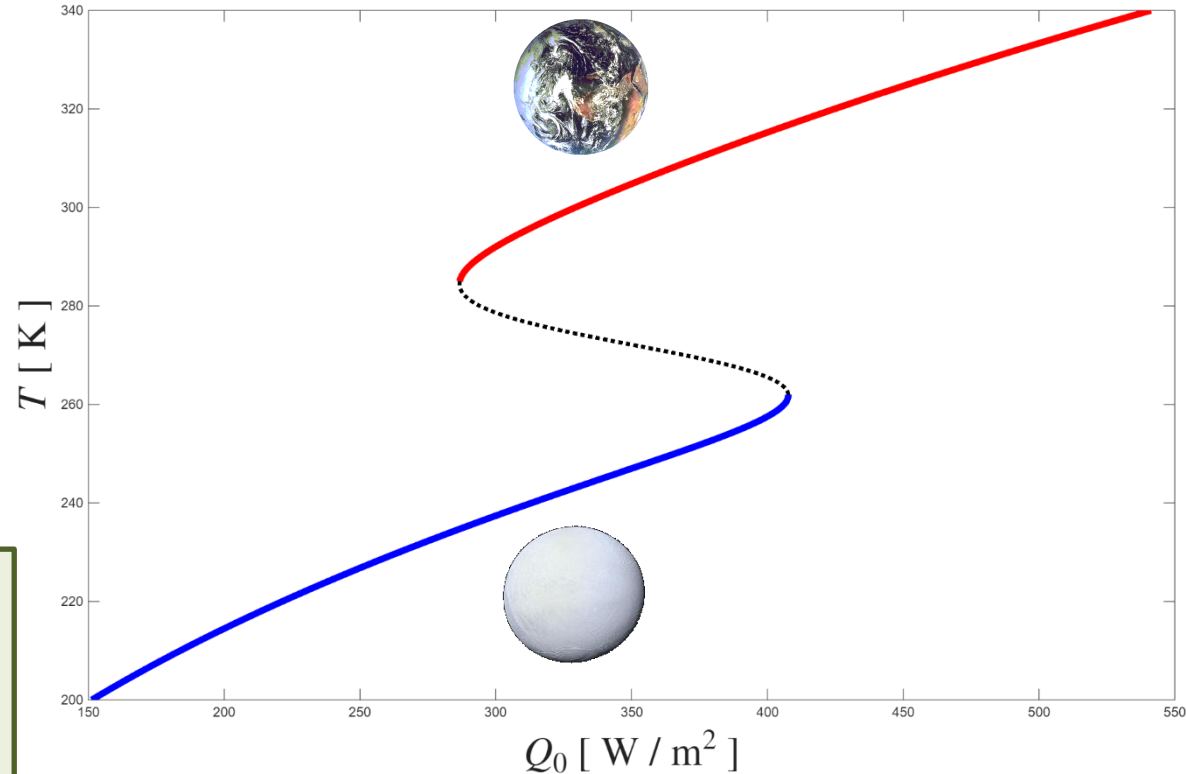
$$0 = Q_0(1 - \alpha(T)) - \varepsilon \sigma T^4$$

Parameters voor de geïnteresseerden:

$$\alpha(T) = 0,7 - 0,4 \frac{1 + \tanh(0,1(T - 275))}{2}$$

$$\varepsilon = 0,5$$

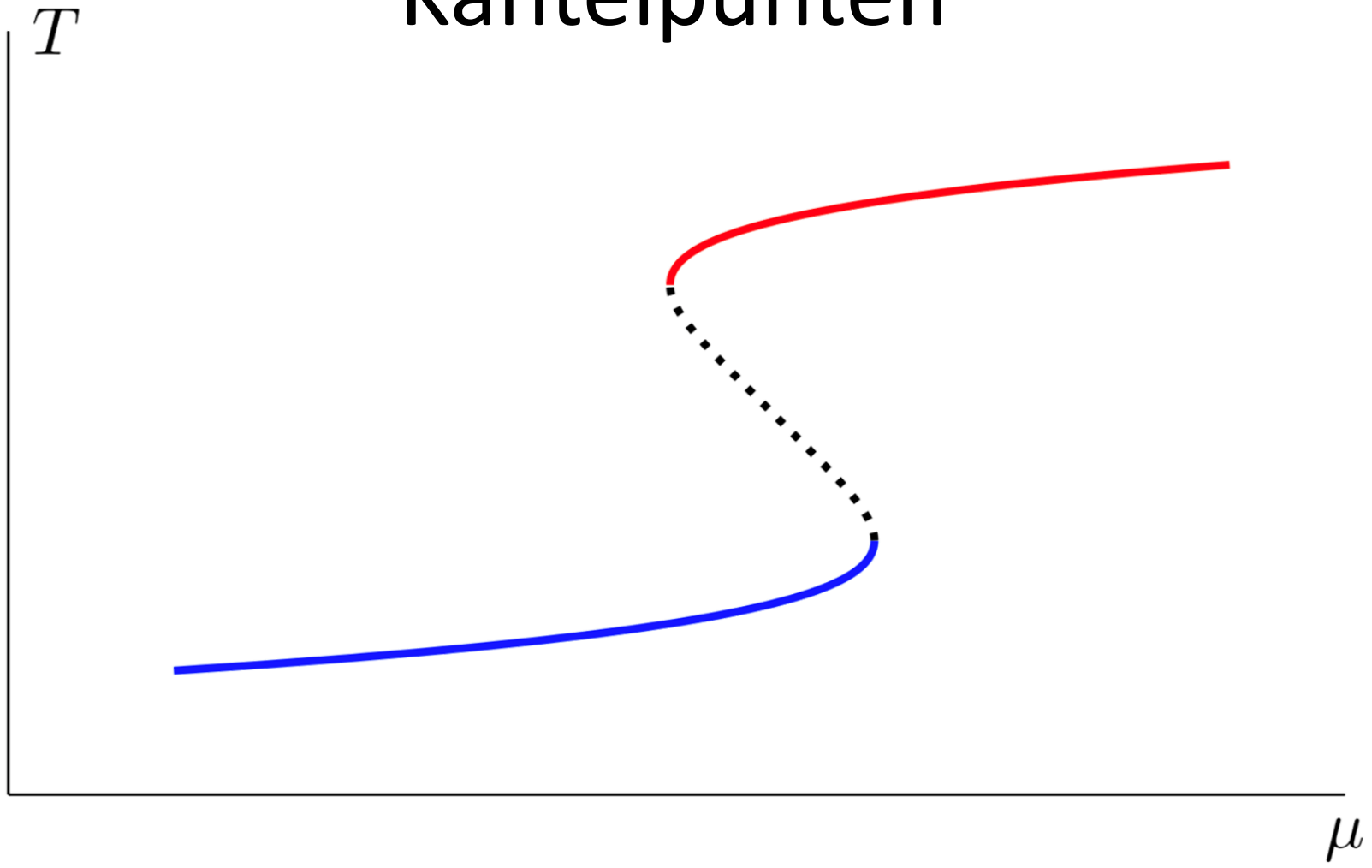
$$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4} \text{ [Stefan-Boltzman]}$$



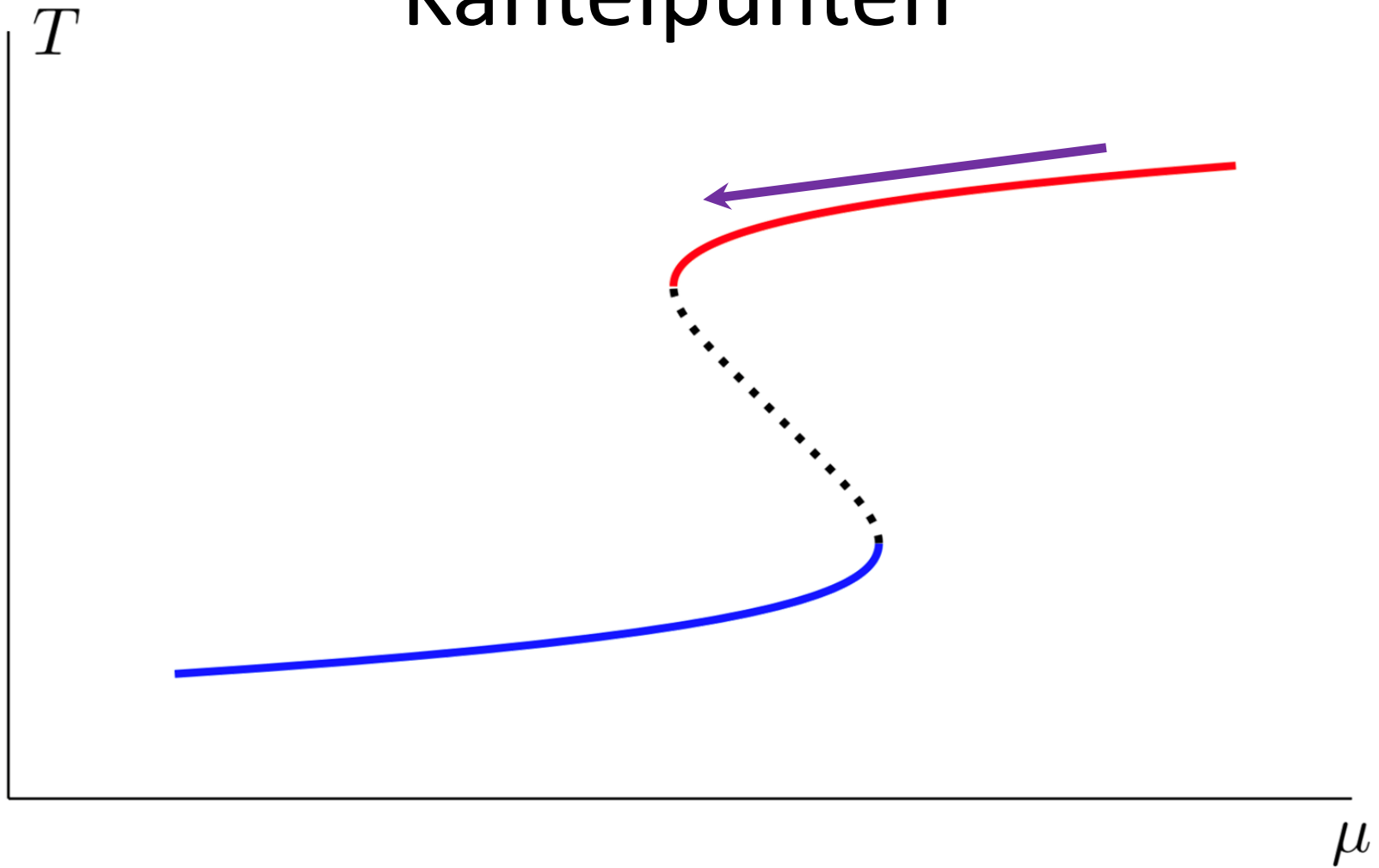
KANTELPUNTEN



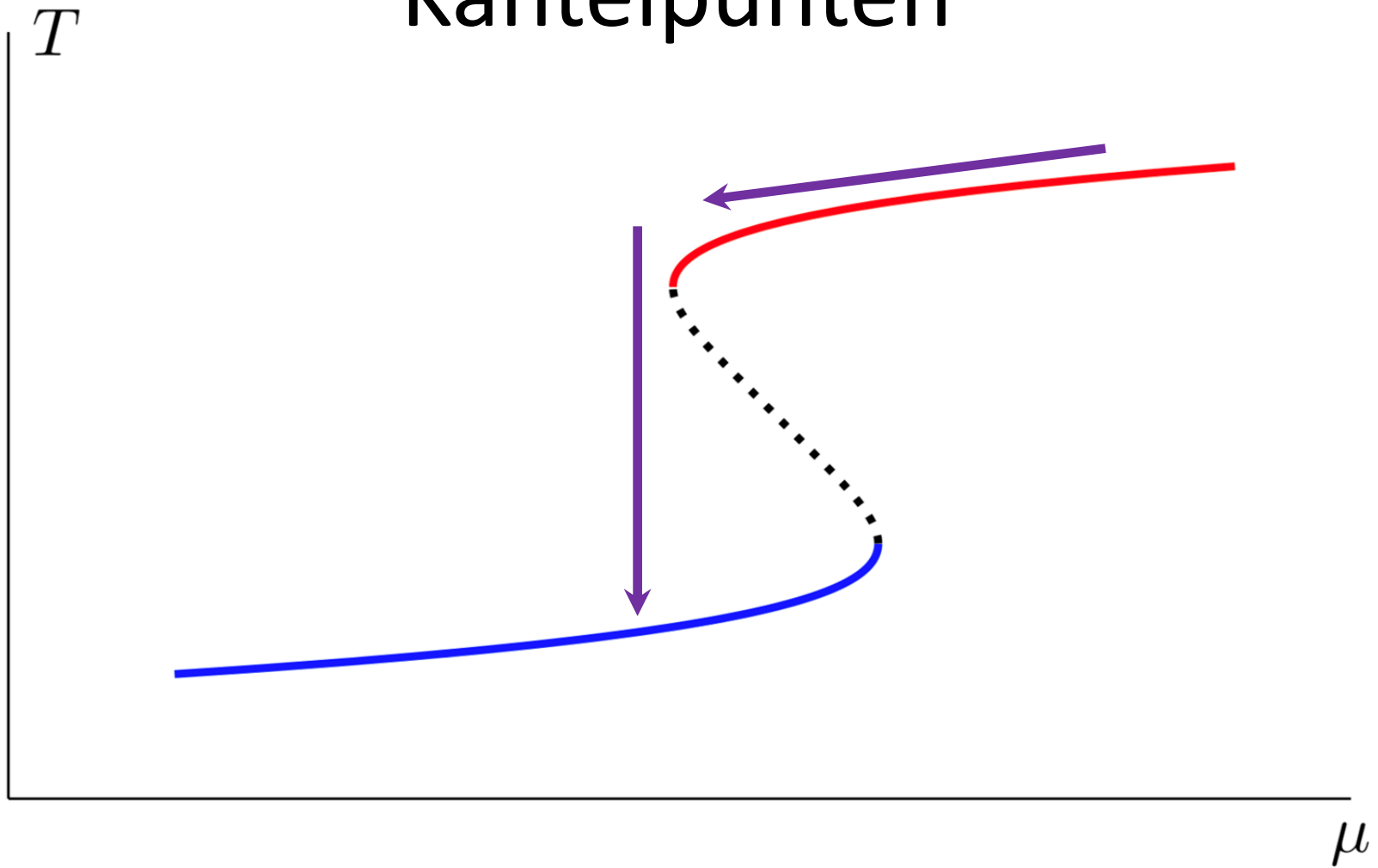
Kantelpunten



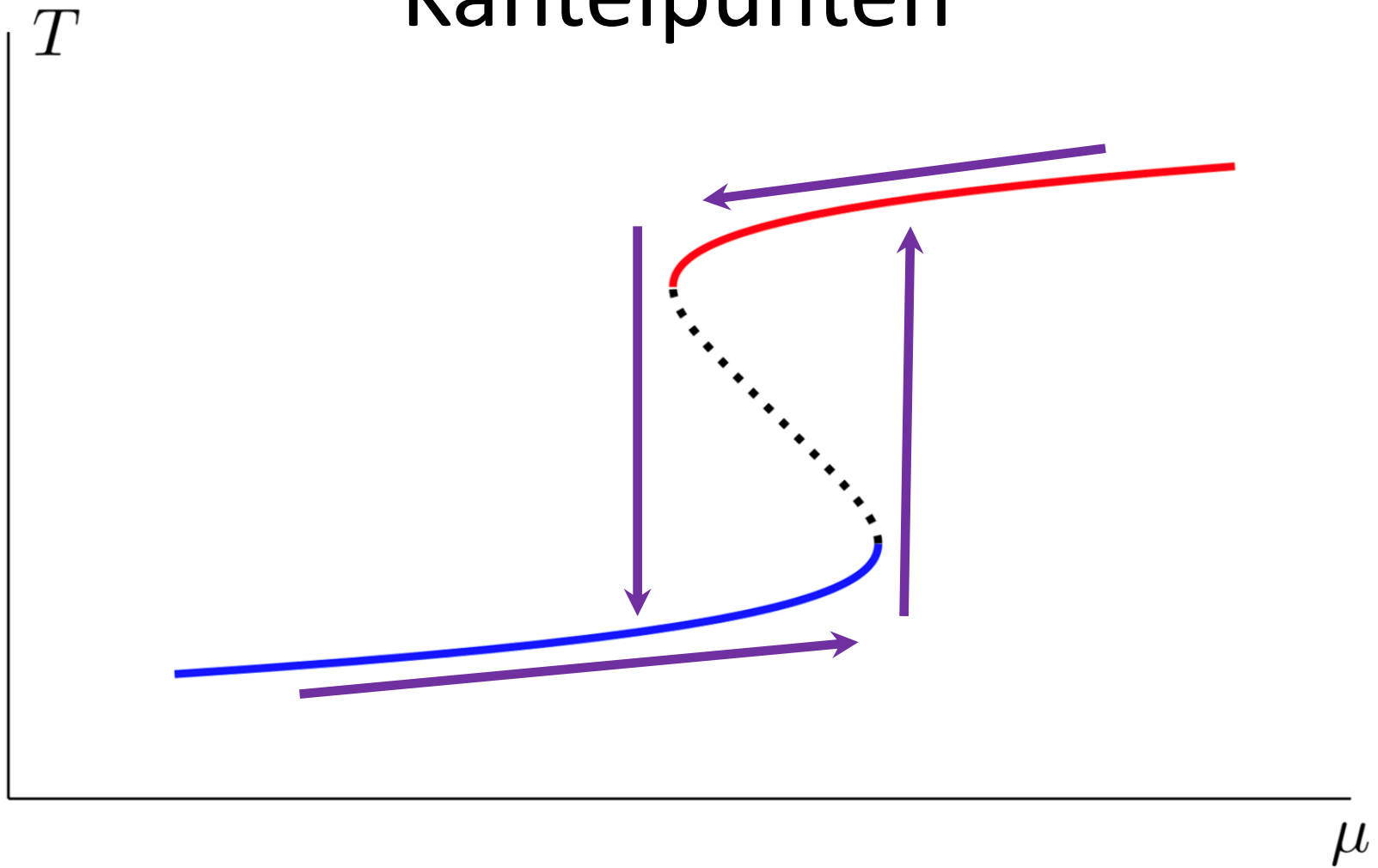
Kantelpunten



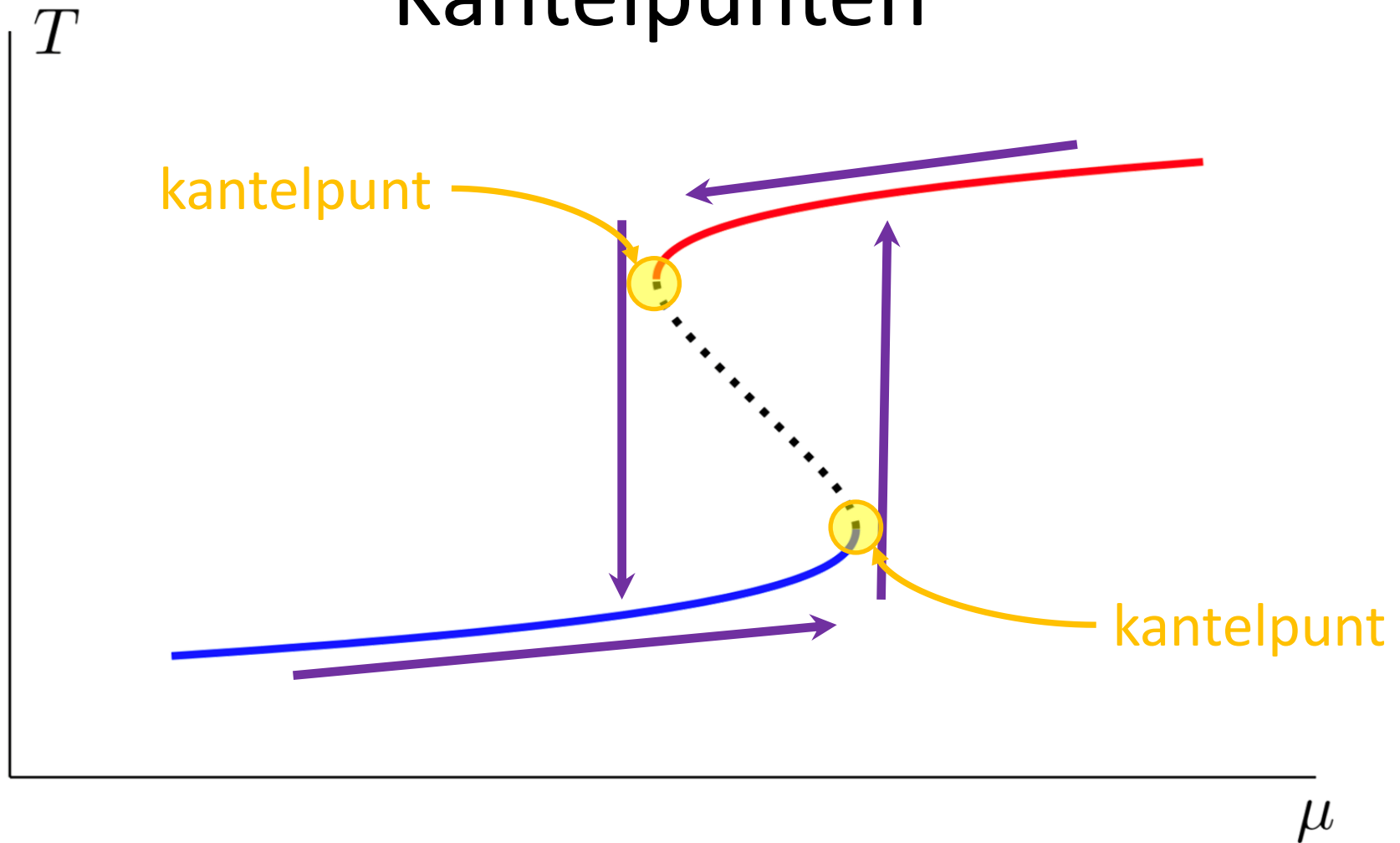
Kantelpunten



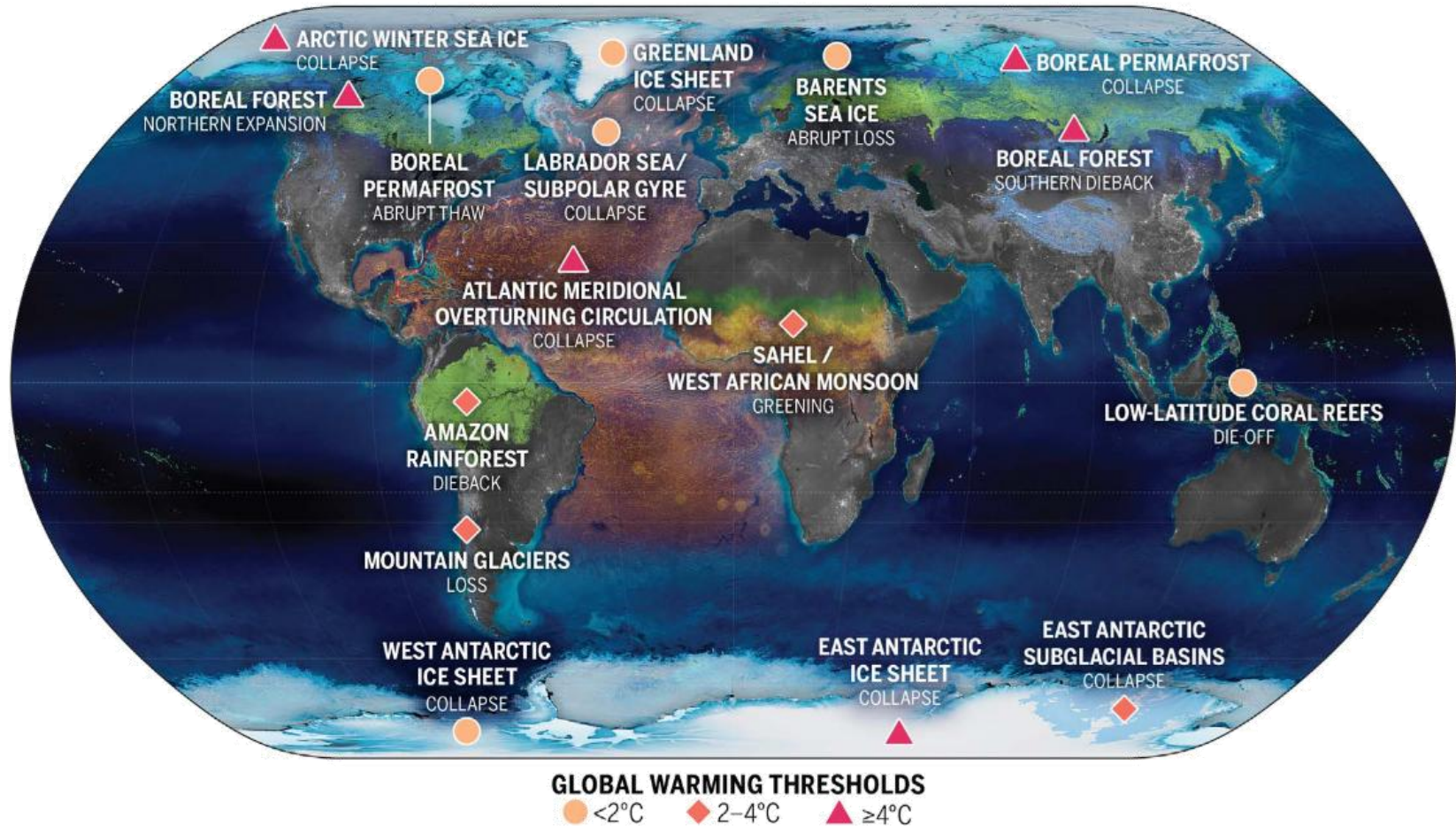
Kantelpunten



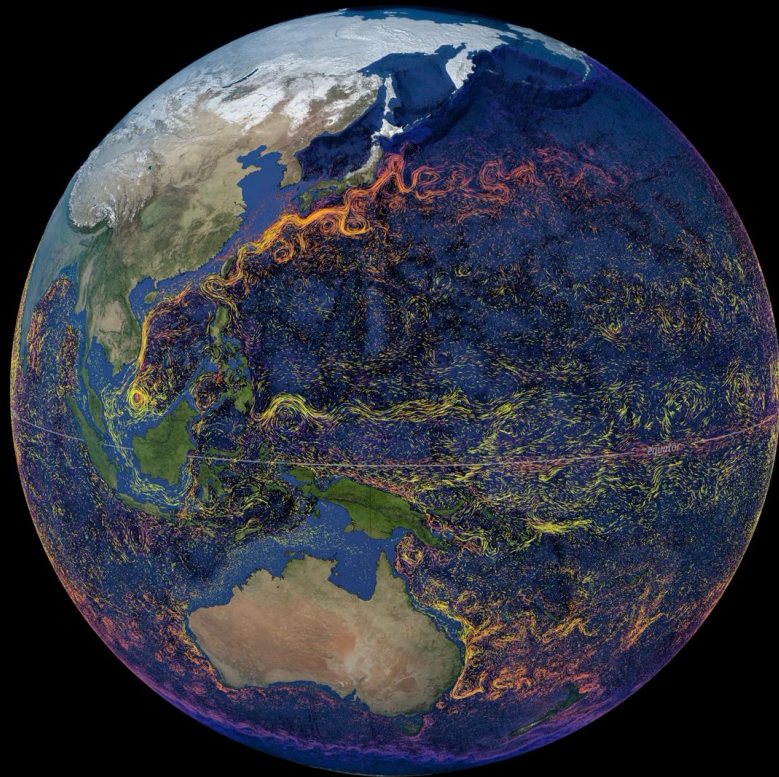
Kantelpunten



Kantelpunten in het klimaat



De wiskunde van (on)voorspelbaarheid



SAMENVATTING:

Verskil tussen weer en klimaat:

- Precieze waarden VS statistische gemiddelden

Chaos:

- Kleine veranderingen hebben grote gevolgen
- Gaat om eigenschappen van attractor

Kantelpunten:

- Eigenschappen van attractor veranderen
- Grote onomkeerbare gevolgen

Slides: bastiaansen.github.io/talks/UTalent2026.pdf

dr. Robbin Bastiaansen

8 september 2026

U-Talent Bèta Academy 2026

Movie source: NASA's Scientific Visualization Studio

Ook in andere systemen



hartritme

dubbele slinger



regenwoud

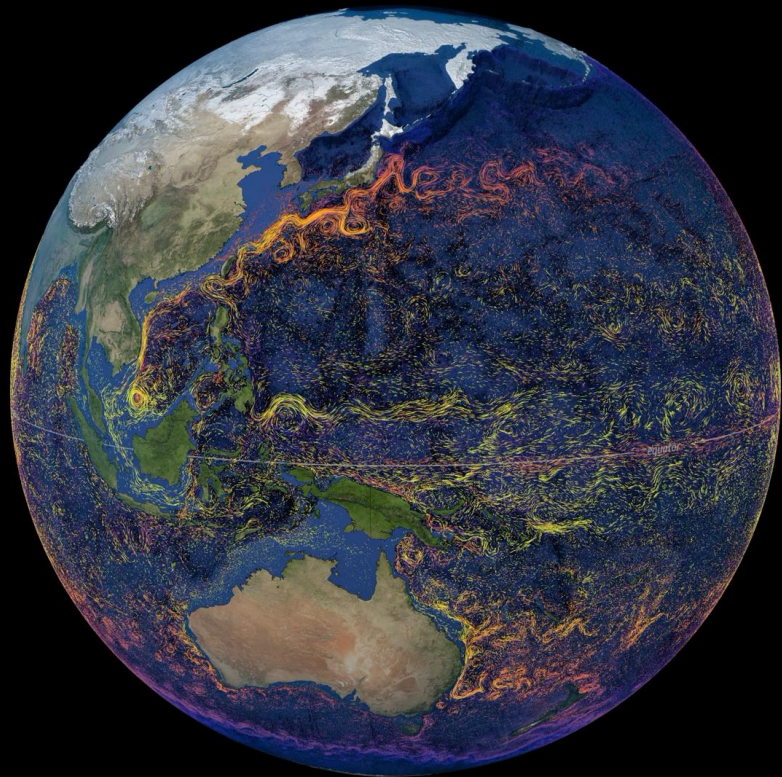


infrastructuur



financiële markt

De wiskunde van (on)voorspelbaarheid



SAMENVATTING:

Verschil tussen weer en klimaat:

- Precieze waarden VS statistische gemiddelden

Chaos:

- Kleine veranderingen hebben grote gevolgen
- Gaat om eigenschappen van attractor

Kantelpunten:

- Eigenschappen van attractor veranderen
- Grote onomkeerbare gevolgen

Slides: bastiaansen.github.io/talks/UTalent2026.pdf

dr. Robbin Bastiaansen

8 september 2026

U-Talent Bèta Academy 2026

Movie source: NASA's Scientific Visualization Studio