

Kantelpunten in het klimaat: is twee graden te veel?



Robbin Bastiaansen

KWG WINTERSYMPIOSIUM 2020 (11 januari 2020)



COP21 • CMP11

PARIS 2015

UN CLIMATE CHANGE CONFERENCE

Klimaatconferentie Parijs 2015

Akkoord van Parijs:

→ Beperk opwarming tot 2°C

A large glacier wall with a massive ice chunk falling into the water. The ice is a deep blue color, and the water is dark. The scene is dramatic and powerful.

**INHOUD
VOORDRACHT**

Planning

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

Robbin Bastiaansen

tot 2019:

PhD @ Universiteit Leiden

→ verwoestijning

nu:

PostDoc @ Universiteit Utrecht

→ klimaatgevoeligheid

lines in the sand

*Behaviour of self-organised vegetation
patterns in dryland ecosystems*



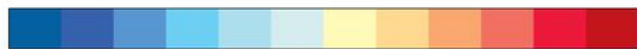
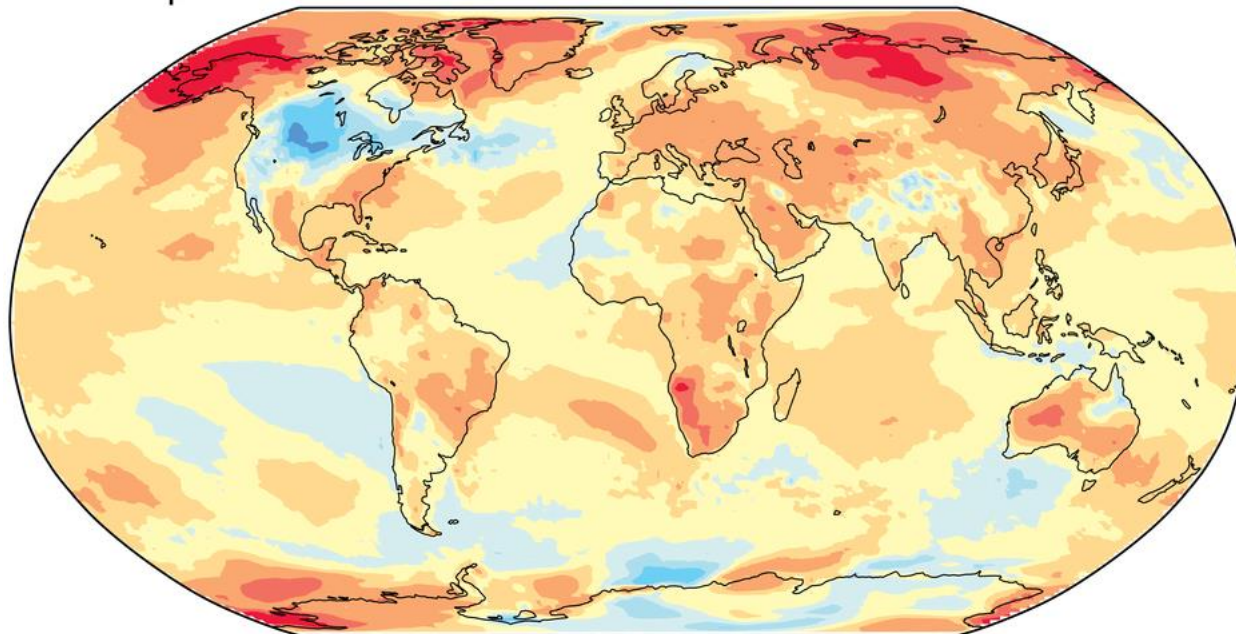
Robbin Bastiaansen



KLIMAATVERANDERING

Temperatuurmetingen - 2019

Temperature difference between Jan-Oct 2019 and 1981-2010



-10 -5 -3 -2 -1 -0.5 0 0.5 1 2 3 5 10 °C

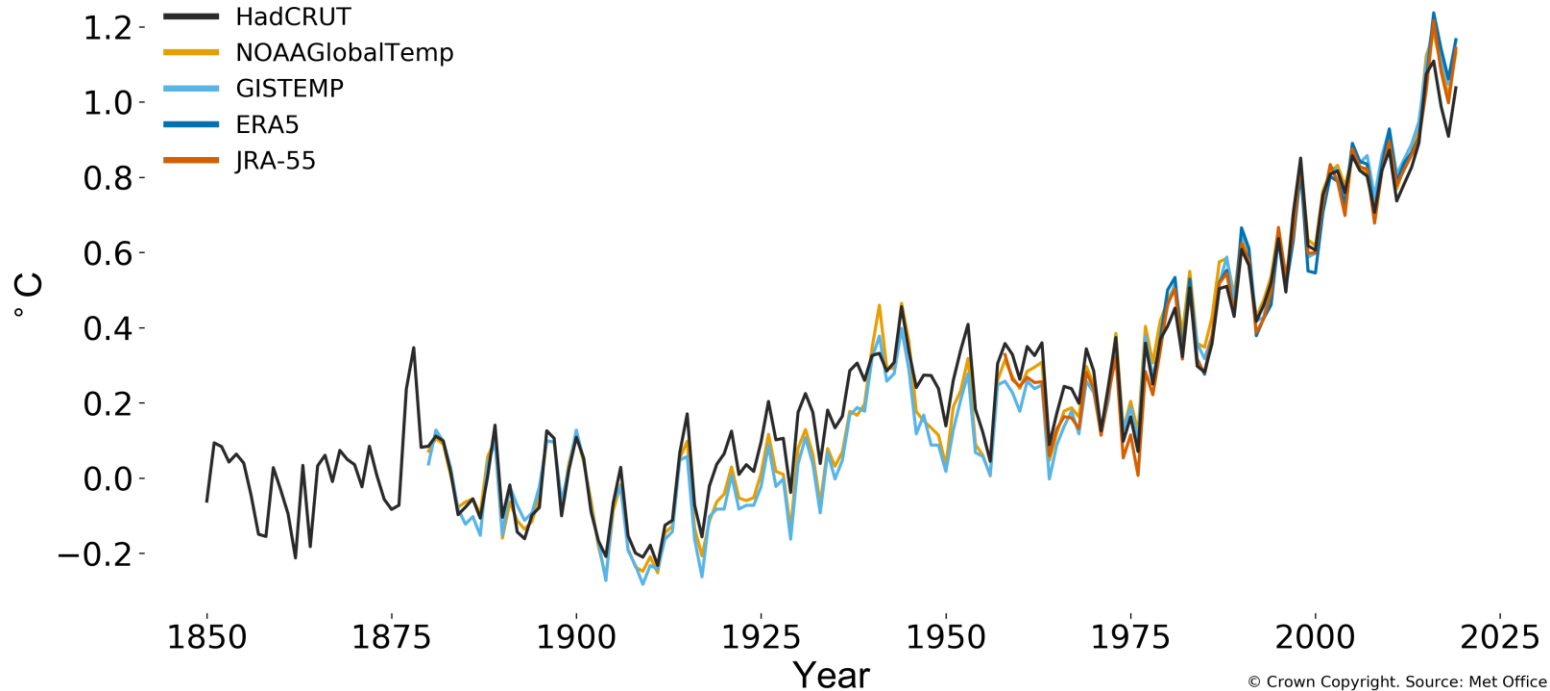
Data source: ERA5



Temperatuurmetingen – sinds 1850

 Met Office

Global mean temperature difference from 1850-1900 (° C)



A firefighter in a dark uniform and a yellow helmet stands in a forest at night. The scene is filled with a dense shower of bright orange sparks falling from above, creating a dramatic and hazardous atmosphere. The background shows silhouettes of trees and utility poles. The overall color palette is dominated by warm, fiery oranges and yellows.

GEVOLGEN VAN KLIMAATVERANDERING

Voorbeelden uit 2019

NOS NIEUWS • BUITENLAND • DO 19 DECEMBER, 08:04 • AANGEPAST DO 19 DECEMBER, 09:33

Noodtoestand in deel Australië wegens extreme hitte en talrijke bosbranden



NOS NIEUWS • BINNENLAND • VR 4 OKTOBER, 21:07

Regen, regen, regen maar dat lost droogteprobleem (nog) niet op

Brandweer



de Volkskrant



Voorpagina Nieuws & Achtergrond Columns & Opinie Video Wetenschap Mensen De Gids Cultuur & Media Foto Economie Sport



De Telegraaf

NIEUWS

SPORT

ENTERTAINMENT

FINANCIËEL

VROUW

LIFESTYLE

WAT U ZEGT

Zeespiegel stijgt steeds sneller

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

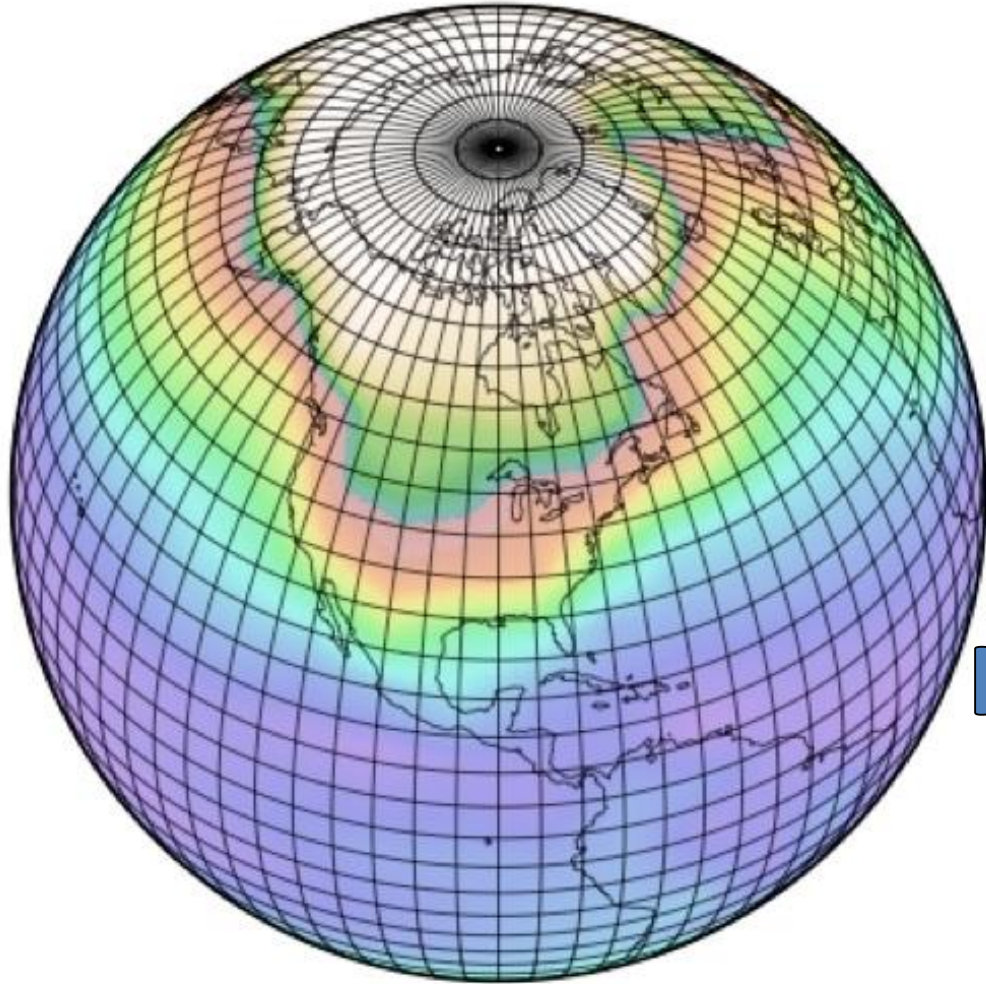
WARKWORTH, WEDNESDAY, AUGUST 14, 1912.

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

Dynamisch systeem:

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

Type modellen

(beoogd)
niveau
van
realisme



GCMs (Global Circulation Models)

- veel effecten
- kwantitatieve uitspraken
- moeilijk te doortasten

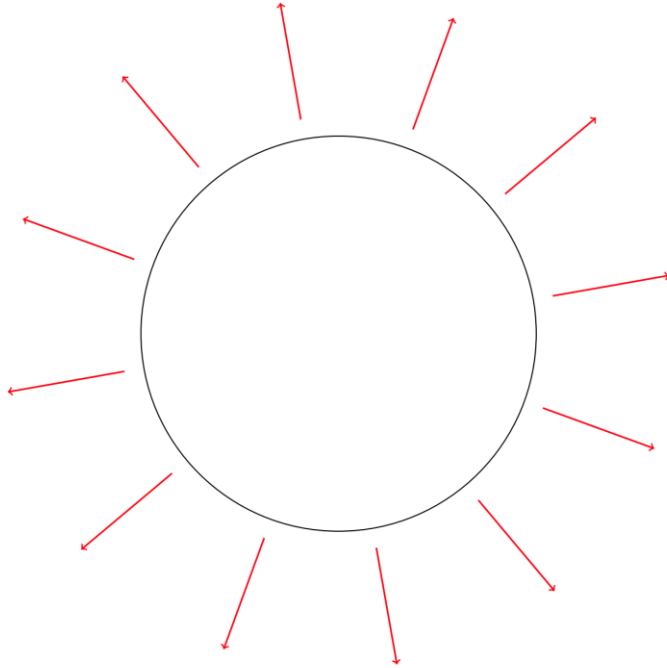
Conceptuele modellen

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

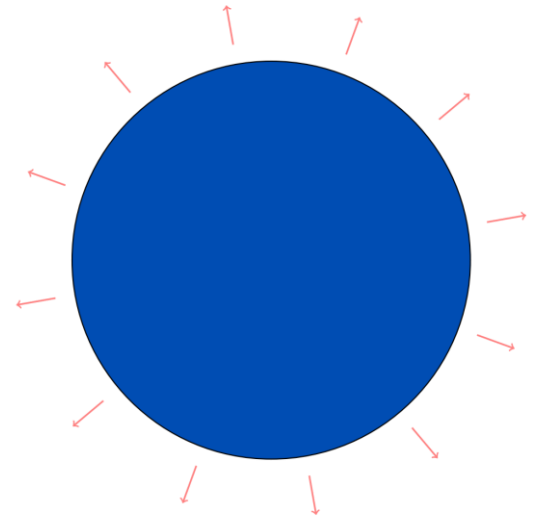
**KERN VAN DE
MOEILIKHEID**



Niet-lineaire terugkoppeling



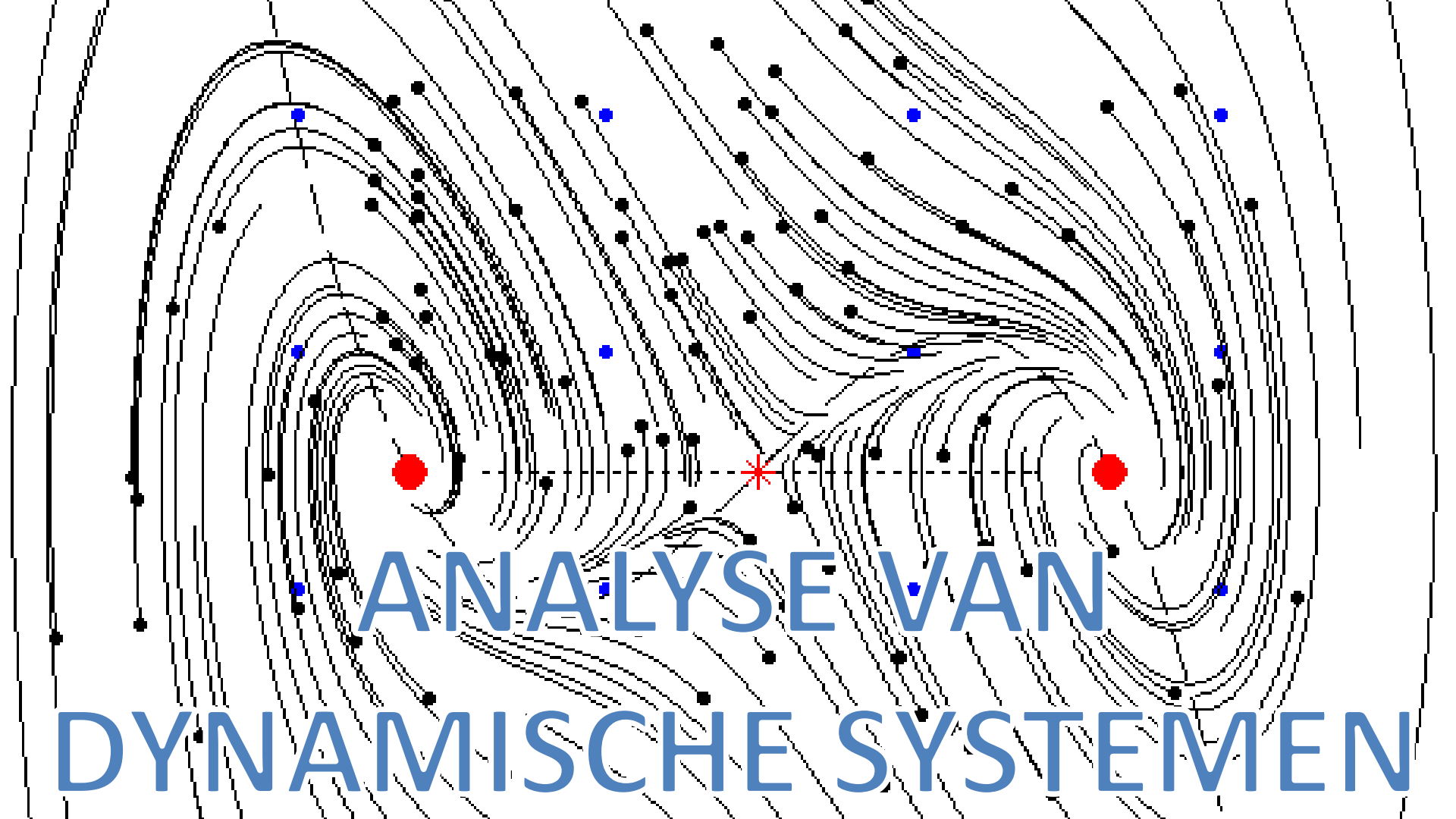
- veel ijs/sneeuw
- veel weerkaatsing zonlicht



- weinig ijs/sneeuw
- weinig weerkaatsing zonlicht

Andere voorbeelden

- Opname/afgifte CO_2 door oceanen
- Ontbossing
- Verwoestijning
- Wolken
- Blackbody radiation



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*

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

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

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

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

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

$$\rightarrow x(t) = \dots ?$$

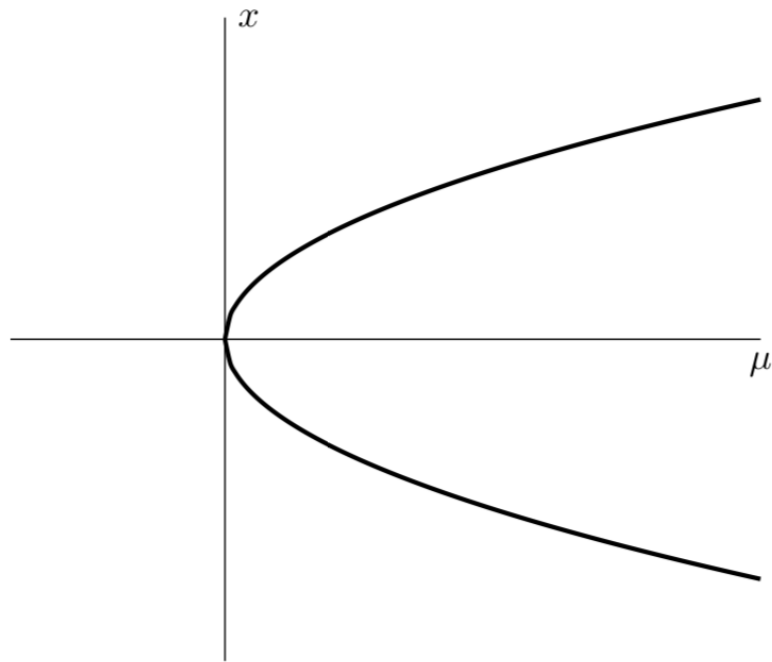
$$\frac{dx}{dt} = f(x) := \mu - x^2$$

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

1. Vaste Punten

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

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



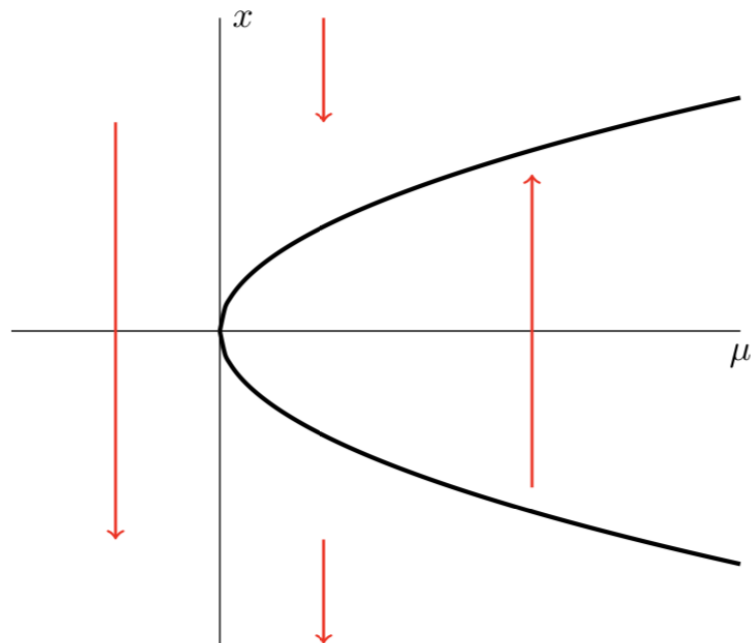
$$\frac{dx}{dt} = f(x) := \mu - x^2$$

1. Vaste Punten

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

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

2. Stabiliteit



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

1. Vaste Punten

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

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

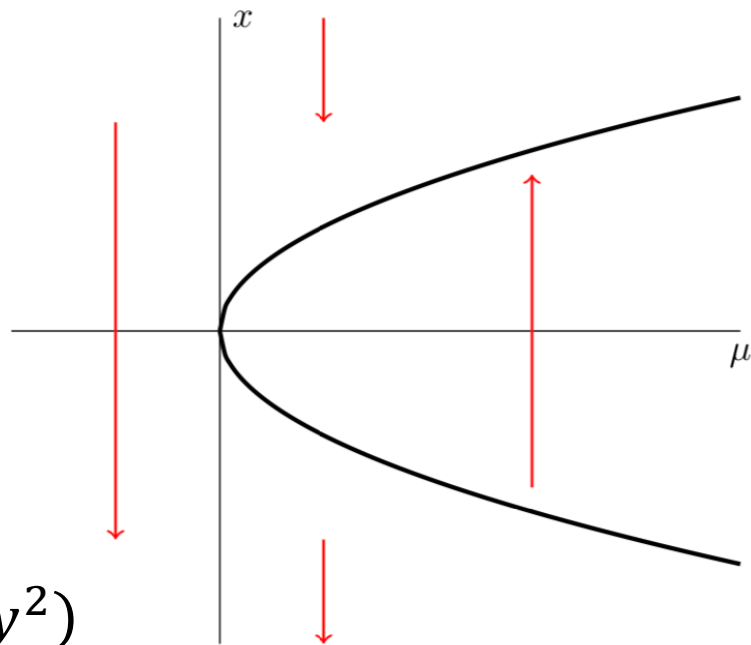
2. Stabiliteit

Kleine verstoring $x = x_* + y$

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

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

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



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

1. Vaste Punten

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

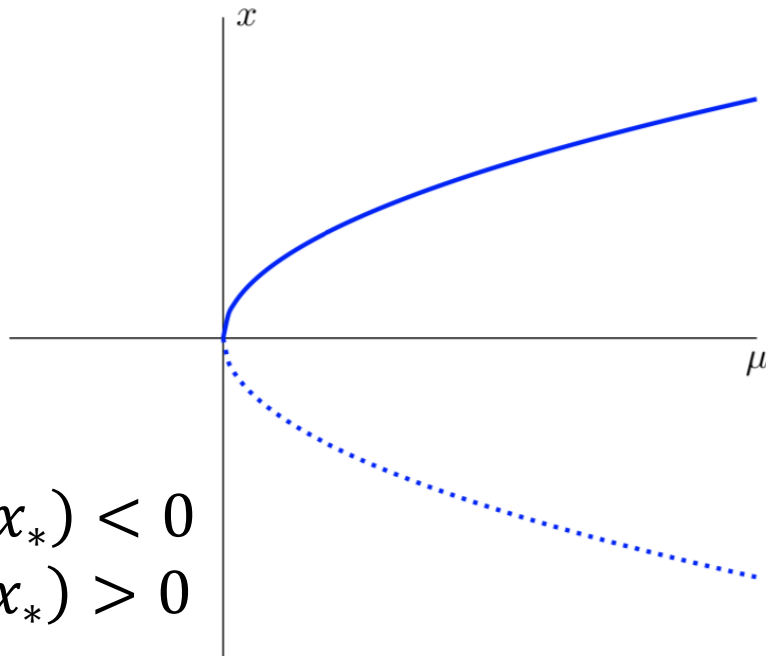
$$\rightarrow x_* = \pm\sqrt{\mu}$$

2. Stabiliteit

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

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

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





**VOORBEELD 1:
ICE-ALBEDO FEEDBACK**

Global Energy Model

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

opwarming door zon



uitstraling warmte



Effect van CO₂



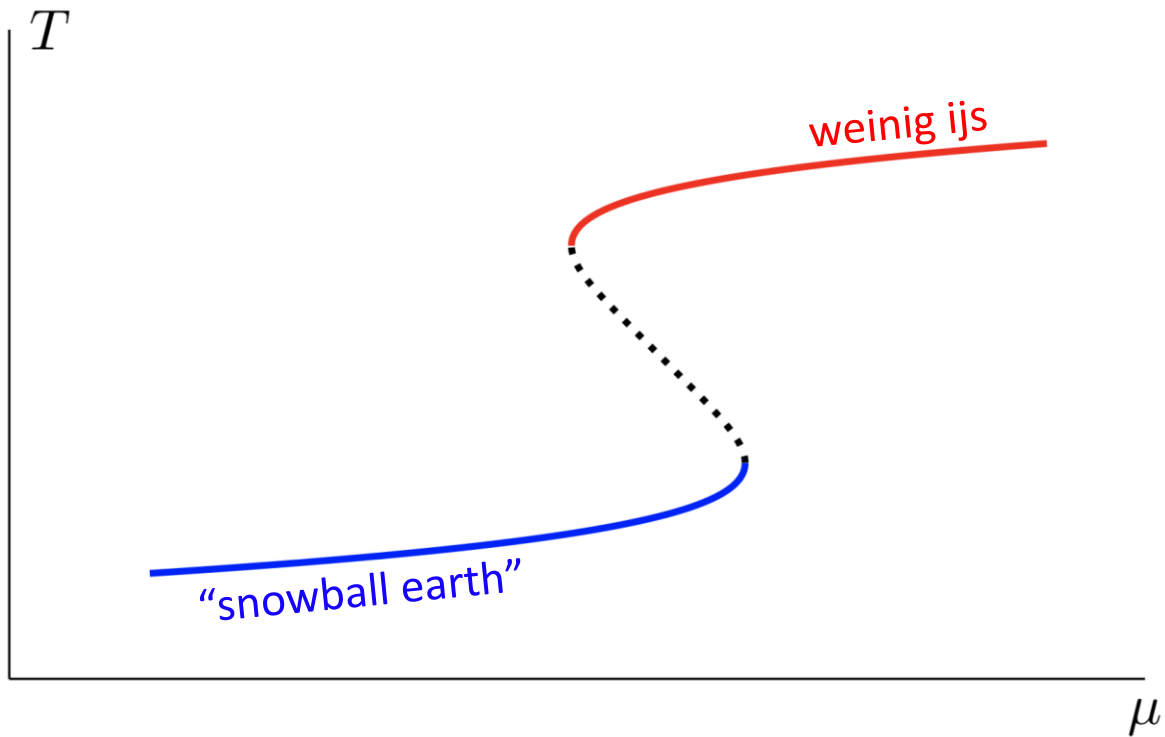
$$\frac{dT}{dt} = f(T) := 1 + T - T^5 + \mu$$

1. vaste punten

$$\mu = T_*^5 - T_* - 1$$

2. stabiliteit

$$f'(T_*) = 1 - 5 T_*^4$$



→ bistabiliteit en hysteresis aanwezig



**VOORBEELD 2:
VERWOESTIJNING**

'uniform Klausmeier' model

$$\begin{cases} \frac{dW}{dx} = A - W - WV^2 \\ \frac{dV}{dx} = -MV + WV^2 \end{cases}$$

'uniform Klausmeier' model

$$\begin{cases} \frac{dW}{dx} = A - W - WV^2 \\ \frac{dV}{dx} = -MV + WV^2 \end{cases}$$

Vaste punten:

1. $V_* = 0, W_* = A$

2. $V_* = \frac{1}{2M} (A + \sqrt{A^2 - 4M^2}), U_* = \frac{M}{V_*}$

3. $V_* = \frac{1}{2M} (A - \sqrt{A^2 - 4M^2}), U_* = \frac{M}{V_*}$

Stabiliteit:

Via eigenwaardes van Jacobiaan $Df(V_*, U_*)$.

'uniform Klausmeier' model

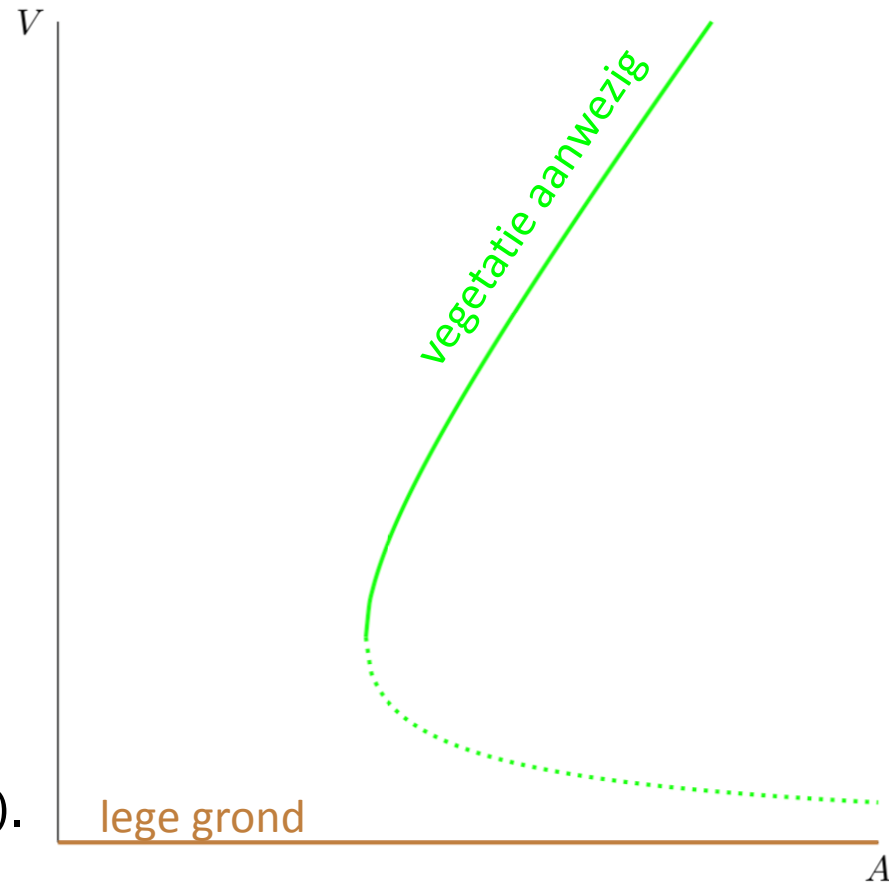
$$\begin{cases} \frac{dW}{dx} = A - W - WV^2 \\ \frac{dV}{dx} = -MV + WV^2 \end{cases}$$

Vaste punten:

1. $V_* = 0, W_* = A$
2. $V_* = \frac{1}{2M} (A + \sqrt{A^2 - 4M^2}), U_* = \frac{M}{V_*}$
3. $V_* = \frac{1}{2M} (A - \sqrt{A^2 - 4M^2}), U_* = \frac{M}{V_*}$

Stabiliteit:

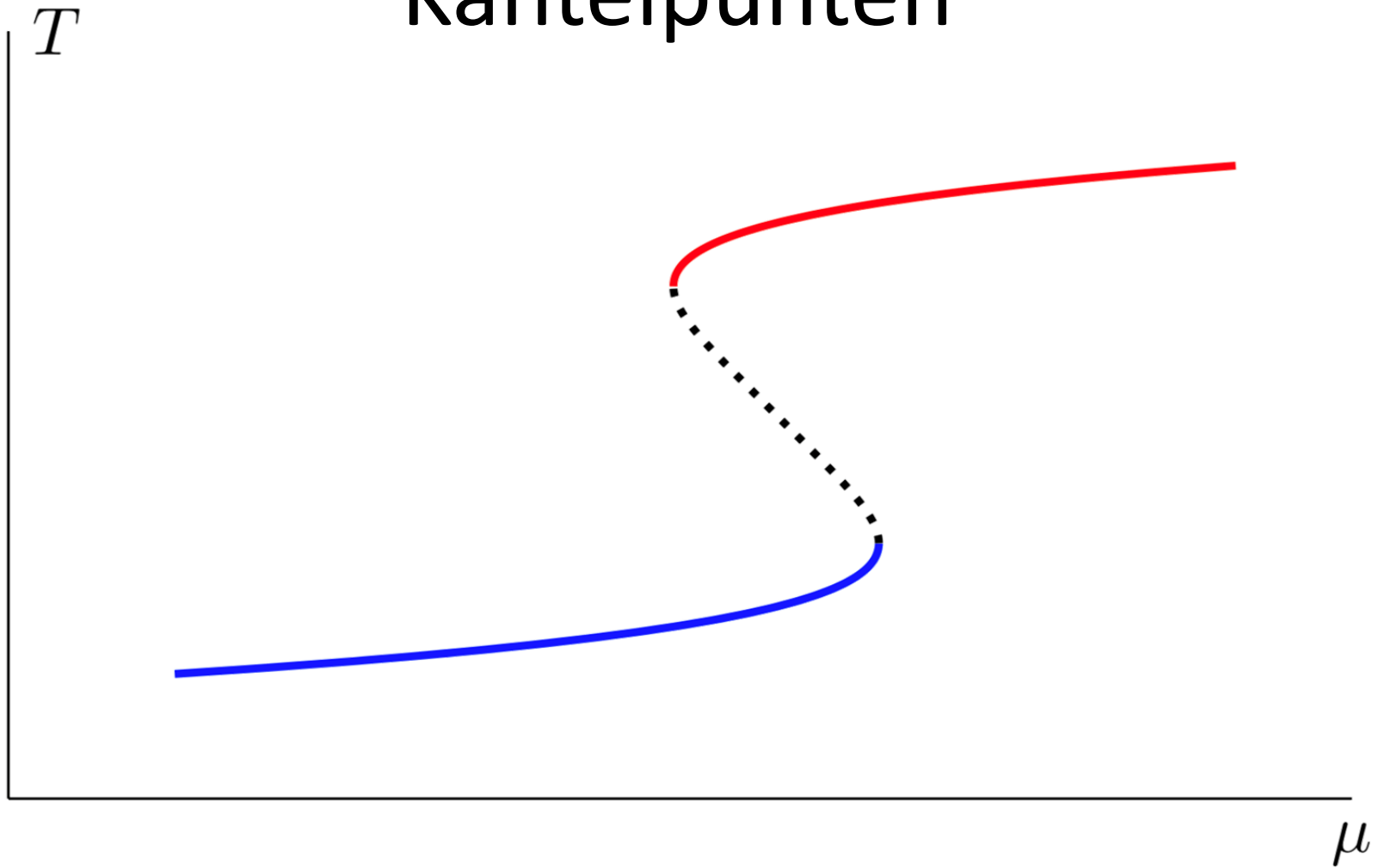
Via eigenwaardes van Jacobiaan $Df(V_*, U_*)$.



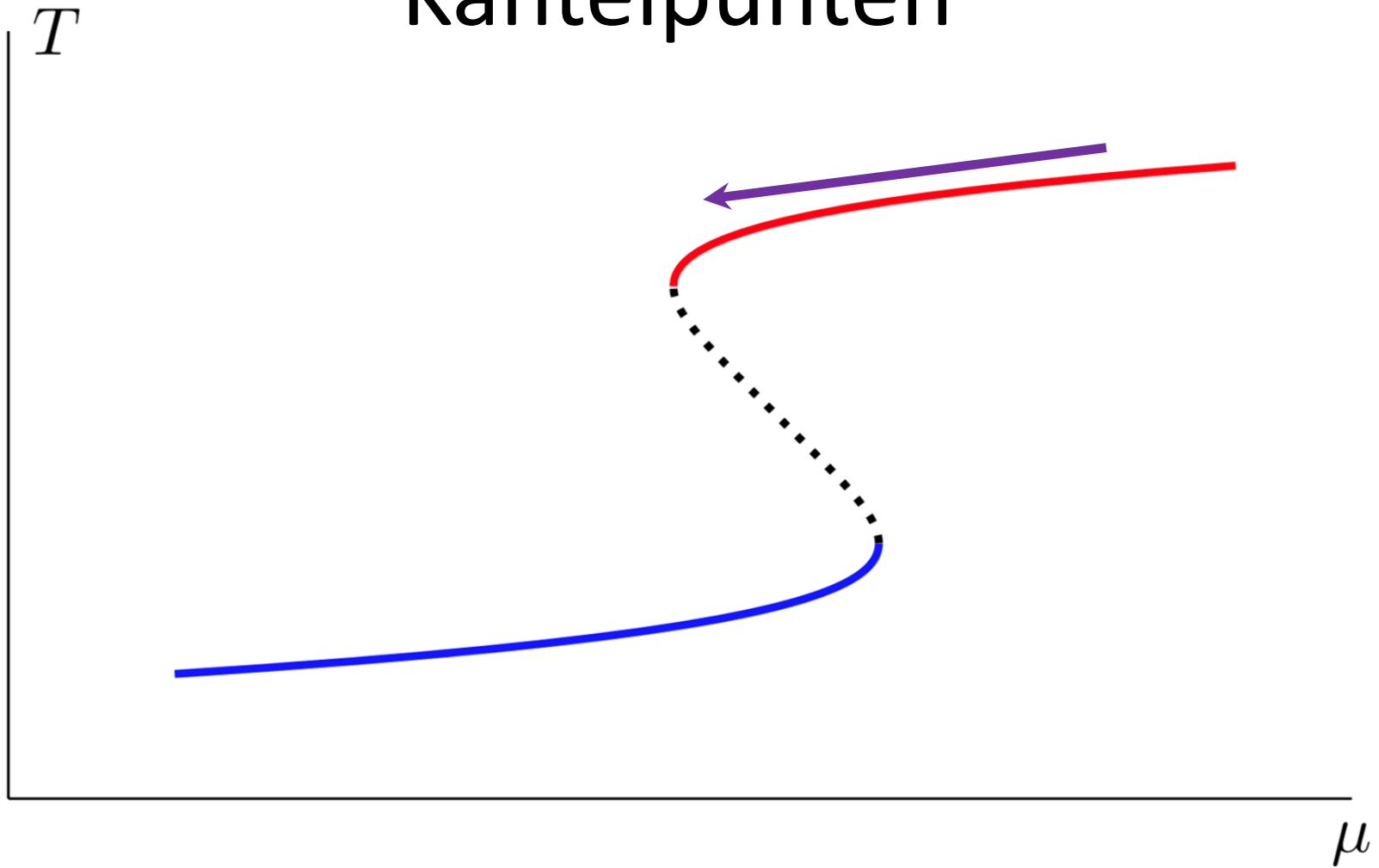
**VOORSPELLEN
VAN
KANTELPUNTEN**



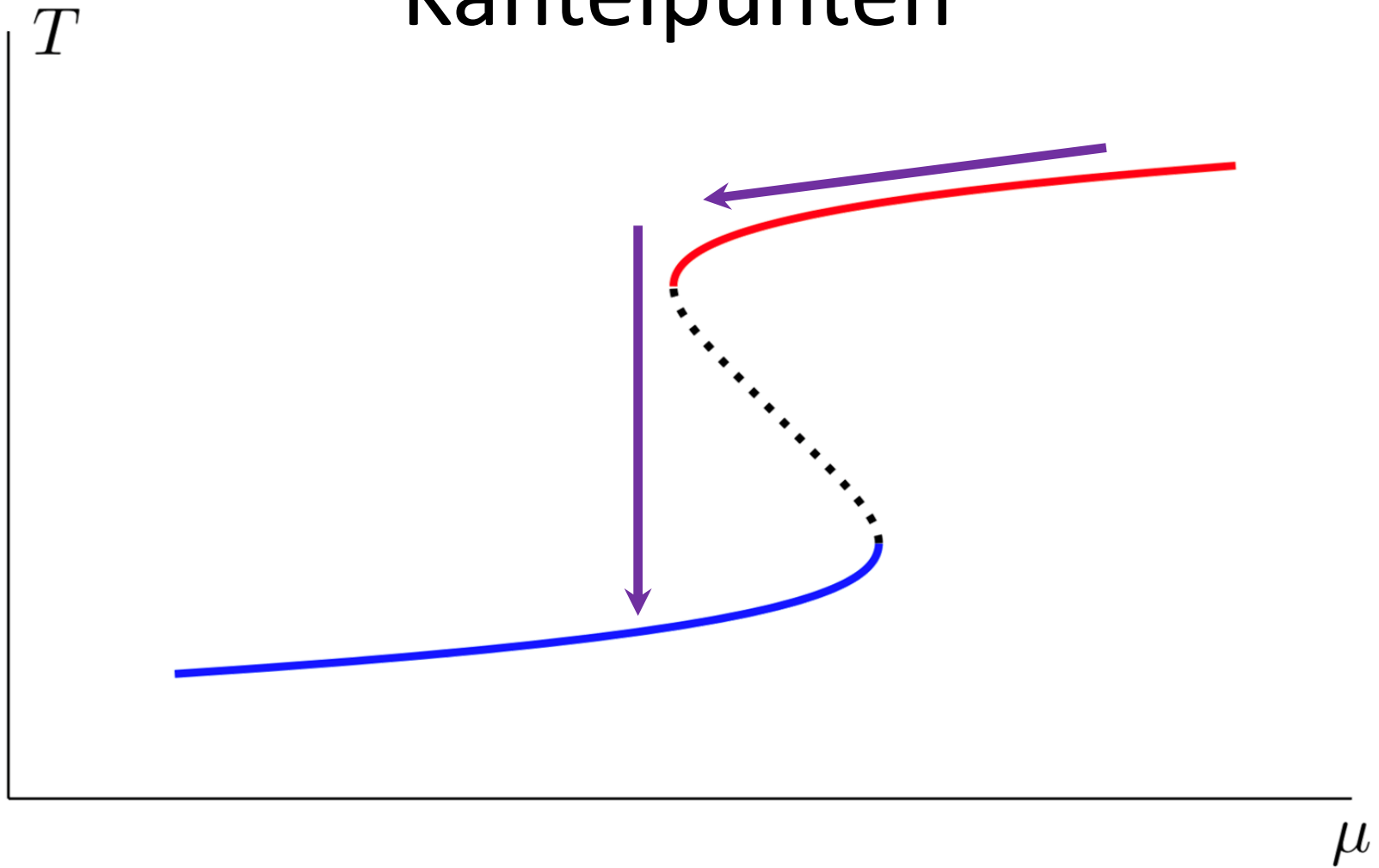
Kantelpunten



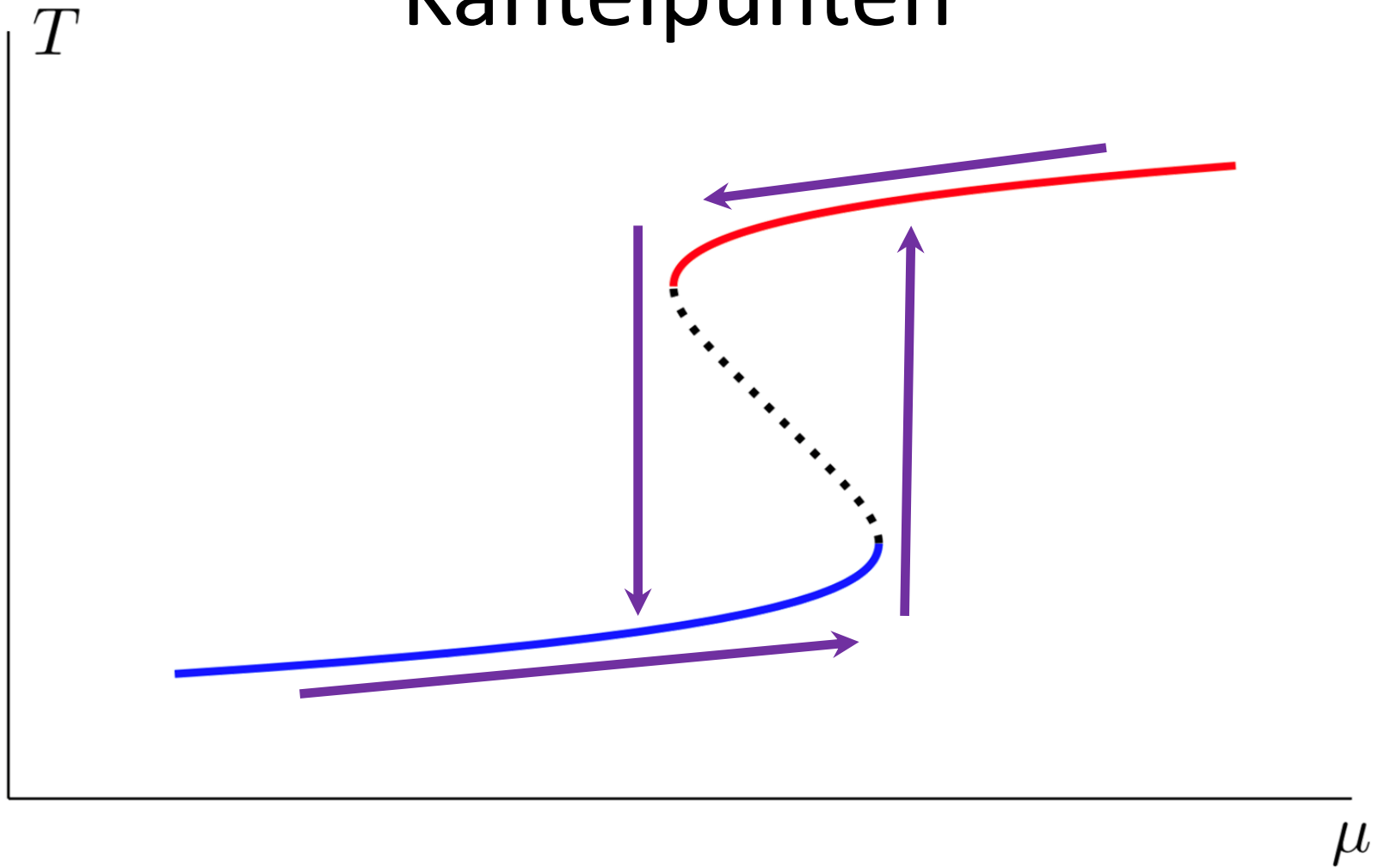
Kantelpunten



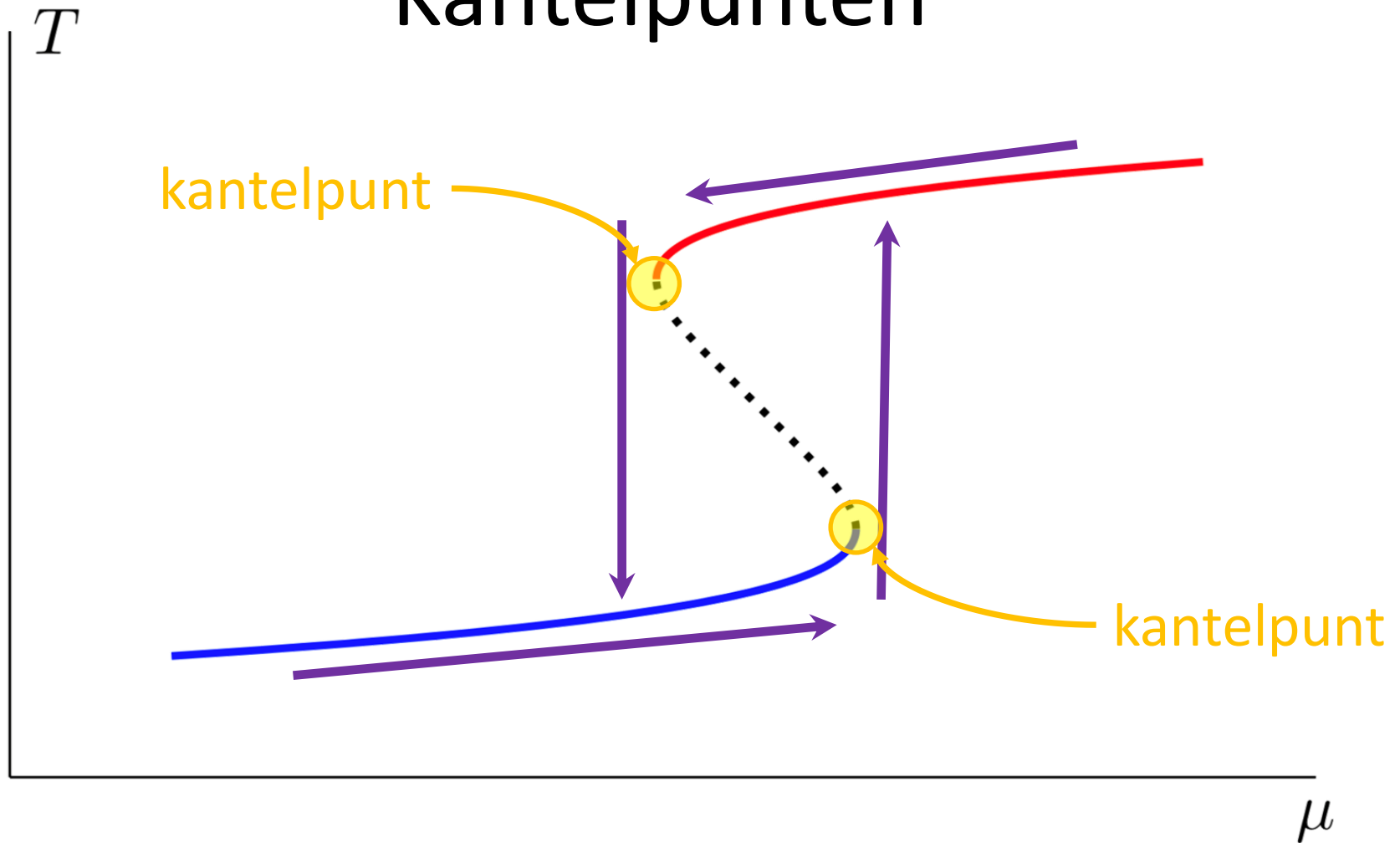
Kantelpunten



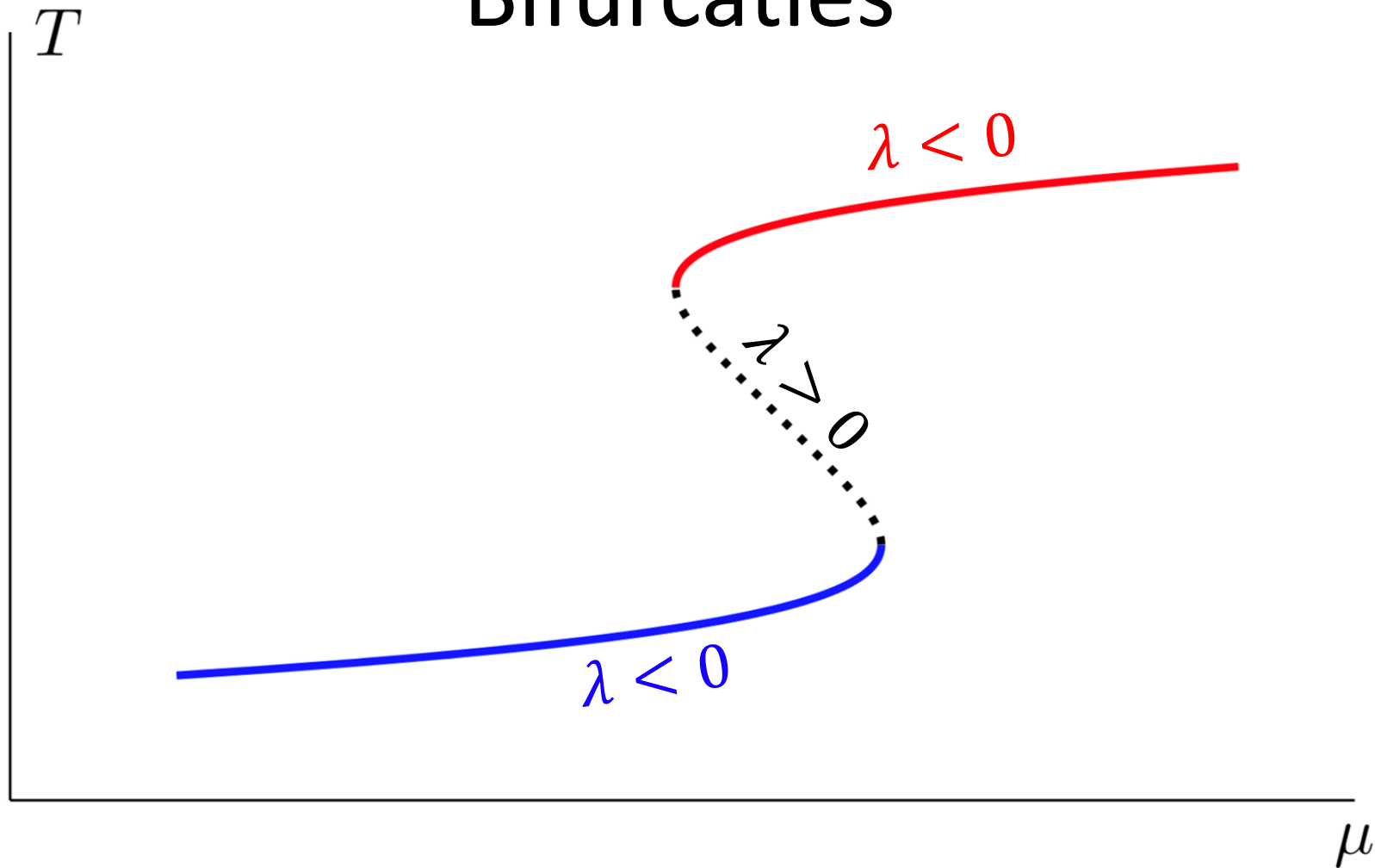
Kantelpunten



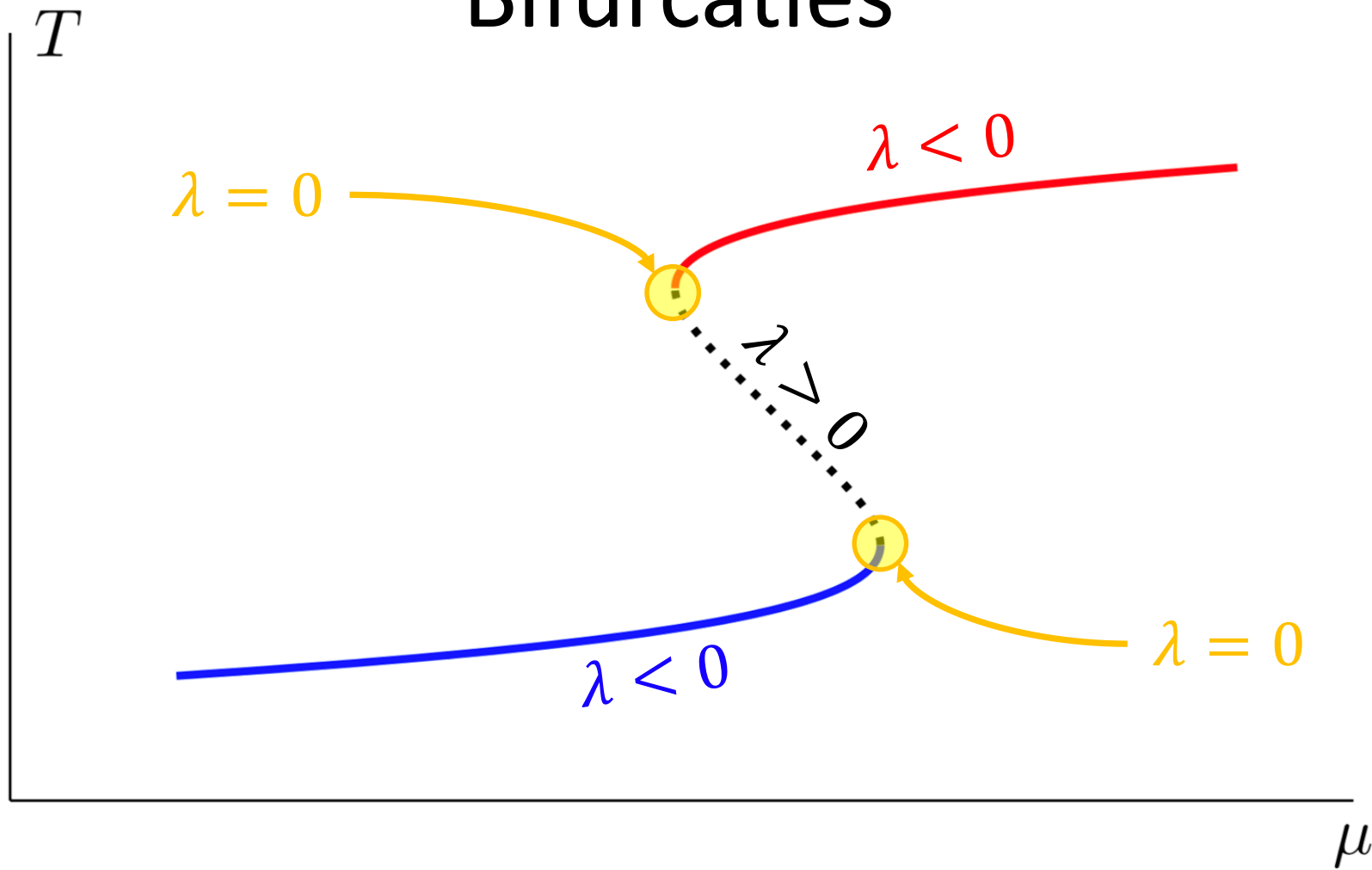
Kantelpunten



Bifurcations



Bifurcations



Voorspellen van bifurcaties

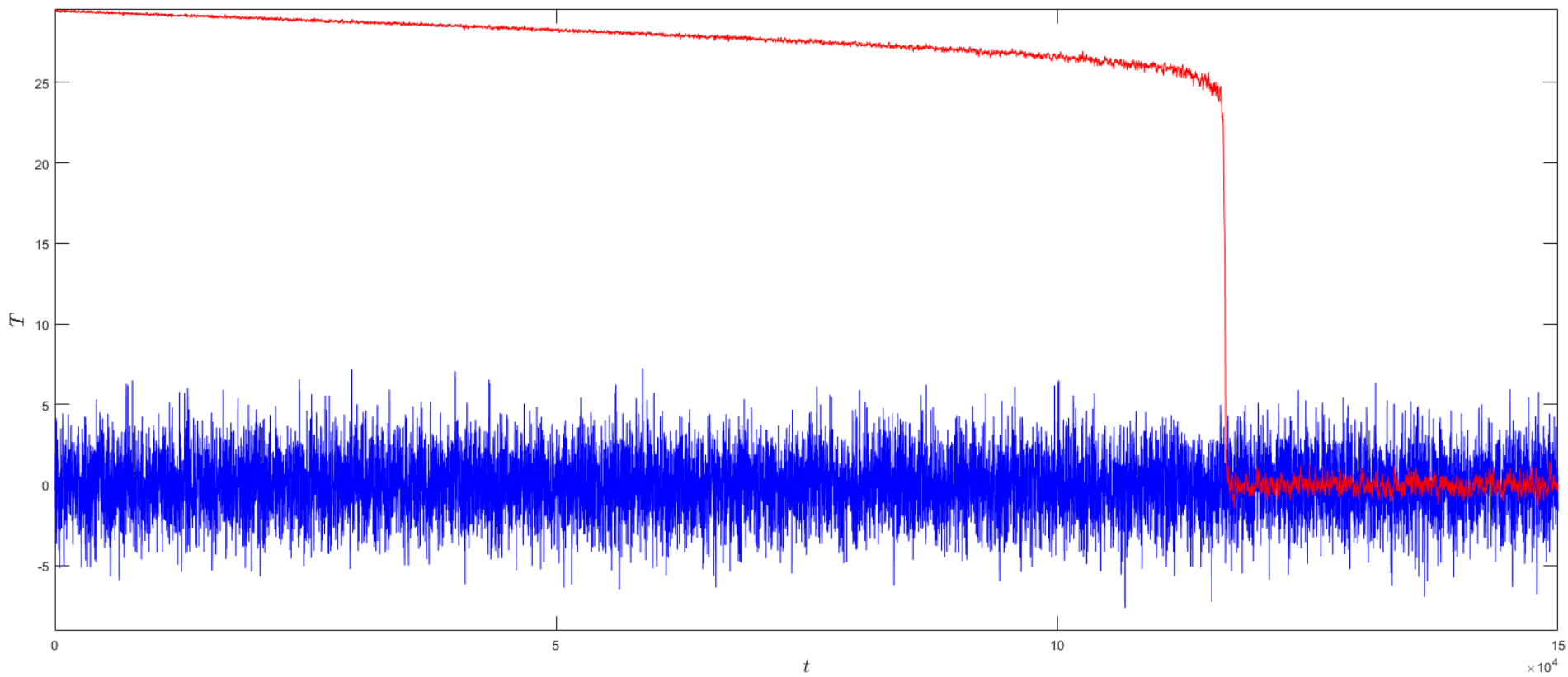
Kleine verstoring $x = x_* + y$ volgt

$$\frac{dy}{dt} = f'(x_*)y = \lambda y$$
$$\rightarrow y(t) = y(0) e^{\lambda t}$$

Dus:

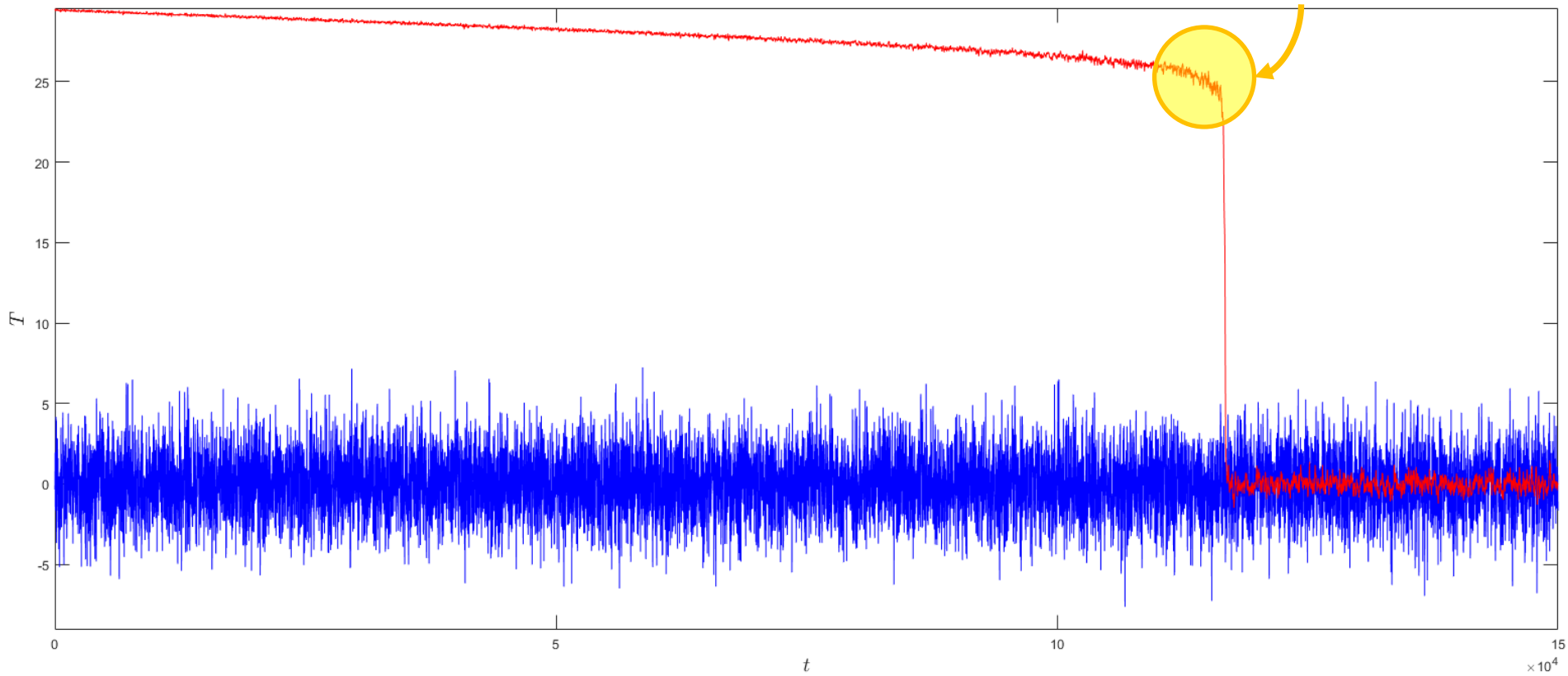
Dicht bij een bifurcatie doven verstoringen langzamer uit!
(jargon: 'Critical slowing down')

Voorbeeld critical slowing down



Voorbeeld critical slowing down

Critical slowing down



Voorspelstrategieën

- Data
 - van geavanceerde modellen
 - uit historische metingen
- Ontwikkeling nieuwe ‘early warning signals’
- Procesbegrip door conceptuele modellen

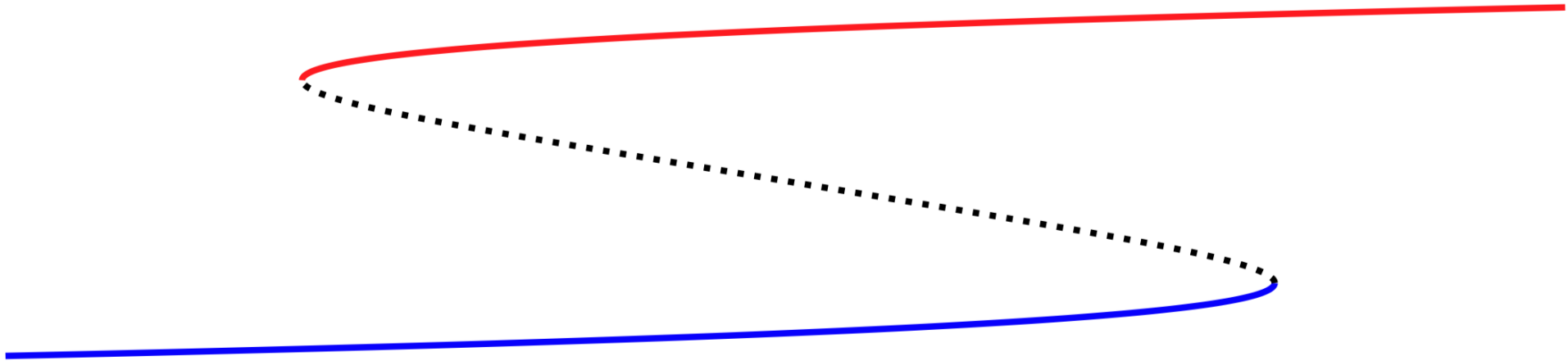
**COMPLICATIONS
AHEAD**



**EXTRA
MOEILIJKHEDEN**

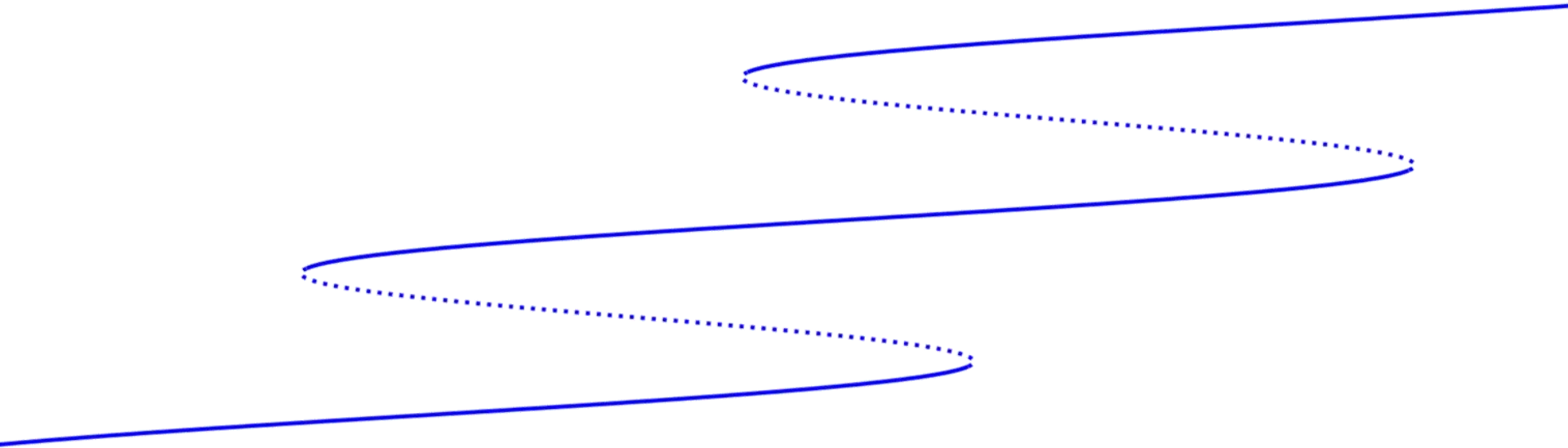
Complicerende factoren

- Ruis
- Heel snelle veranderingen



Complicerende factoren

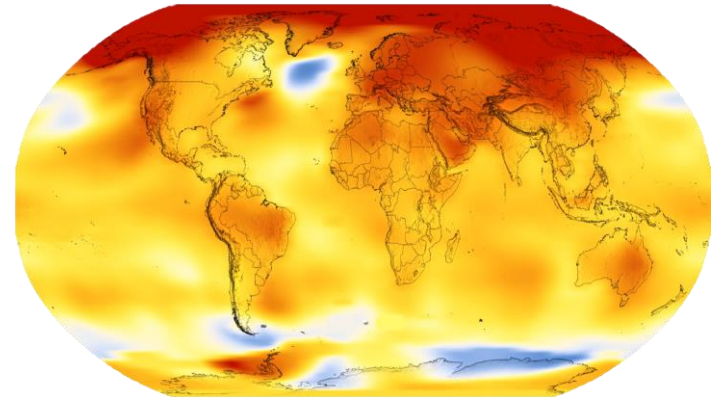
- Ruis
- Heel snelle veranderingen
- Aanwezigheid andere alternatieve toestanden



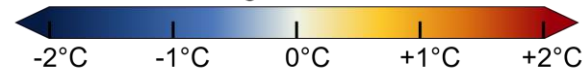
Complicerende factoren

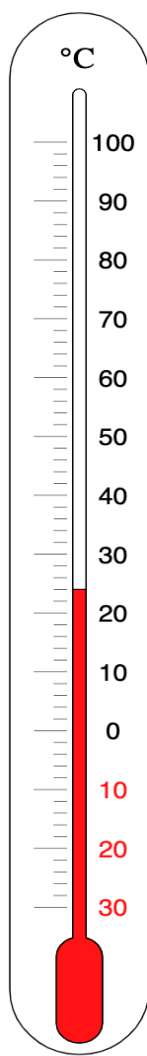
- Ruis
- Heel snelle veranderingen
- Aanwezigheid andere alternatieve toestanden
- Ruimtelijke effecten

Temperature Change in the Last 50 Years



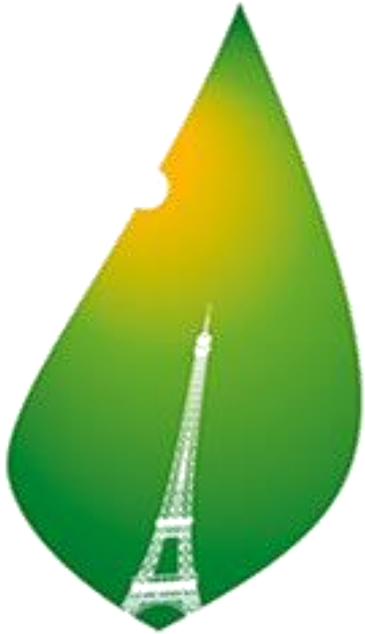
2014-2018 average vs 1951-1980 baseline





IS TWEE GRADEN
TE VEEL?

Two graden Celsius




Klimaatconferentie Parijs 2015:

stijging 2°C: beperkte gevolgen

COP21 • CMP11
PARIS 2015
UN CLIMATE CHANGE CONFERENCE

Gevonden kantelpunten

- koraalriffen
- tropische regenwouden
- infectieziekten
- smeltend landijs
- verwoestijning
- mariene ecosystemen



locatie
kantelpunten
onduidelijk

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 in het klimaat: is twee graden te veel?



Robbin Bastiaansen

KWG WINTERSYMPIOSIUM 2020 (11 januari 2020)

Kantelpunten in het klimaat: is twee graden te veel?

MISSCHIEN!

Robbin Bastiaansen

KWG WINTERSYMPIOSIUM 2020 (11 januari 2020)