

# Is moeder natuur chaotisch of geordend?

**Elisa Benincà<sup>1</sup> and Anouk. N. Blauw<sup>1,2</sup>**



Het woord 'chaos' wordt vaak gebruikt in de betekenis van wanorde



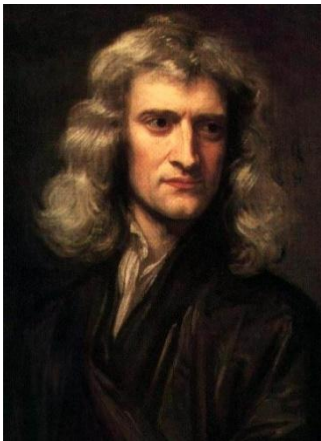
In wetenschappelijke termen betekent chaos:

- dat een systeem dat zich volledig **volgens wiskundige vergelijkingen** gedraagt
- toch **onvoorspelbaar gedrag** kan vertonen op de **langere termijn**.

# The Clockwork Universe



Als je de werking van de machine kent,  
dan kun je voorspellen wat de machine  
zal gaan doen.



Isaac Newton

Net zoals je met Newton's wet van de  
zwaartekracht kunt voorspellen hoe de  
aarde rond de zon zal bewegen.

# Newtoniaanse droom

Vindt de wiskundige wetten die een systeem beschrijven en je kunt voorspellen hoe een systeem zich in de toekomst zal gedragen.



Hoe nauwkeuriger je de begintoestand van het systeem kunt meten, hoe beter je kunt voorspellen hoe het zich zal ontwikkelen.

Maar deze droom werd ruw  
verstoord .....

# Chaos theorie

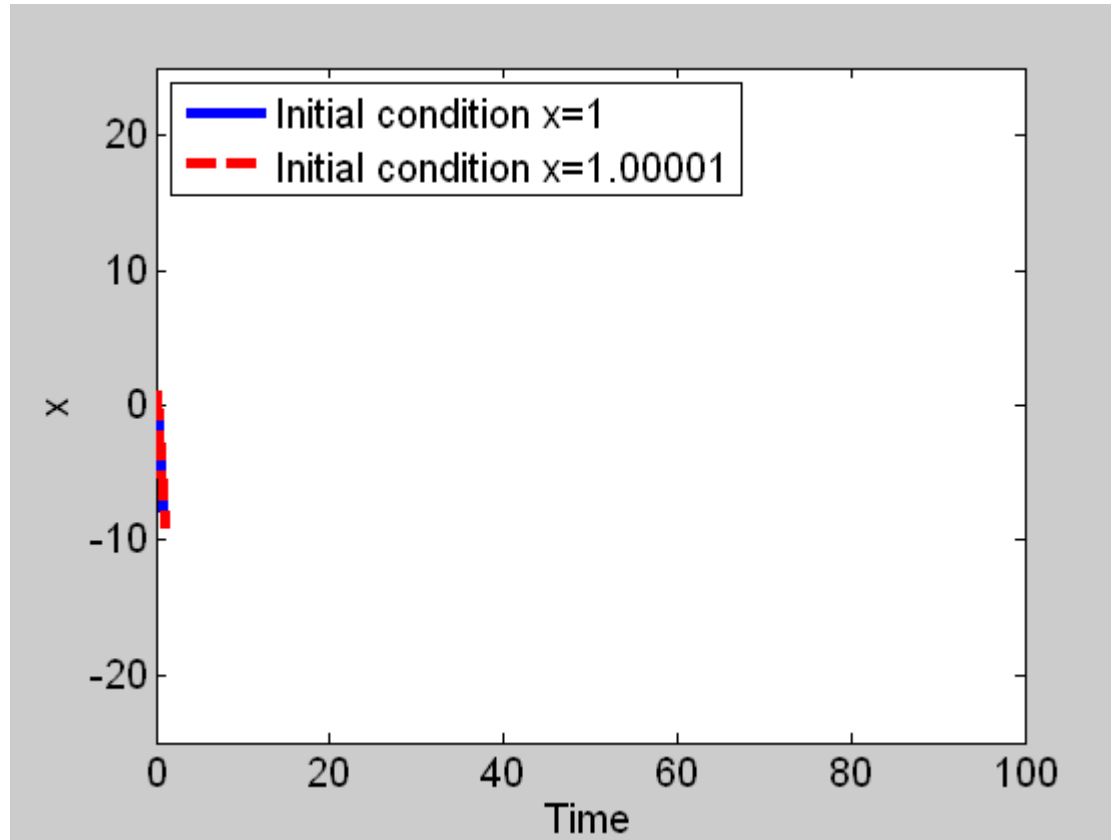
Chaos werd voor het eerst ontdekt in 1961 door de weerkundige Edward Norton Lorenz.

Zijn kopje koffie werd wereldberoemd!!!



Edward Norton Lorenz

# Lorenz Model





# Wat is chaos ?

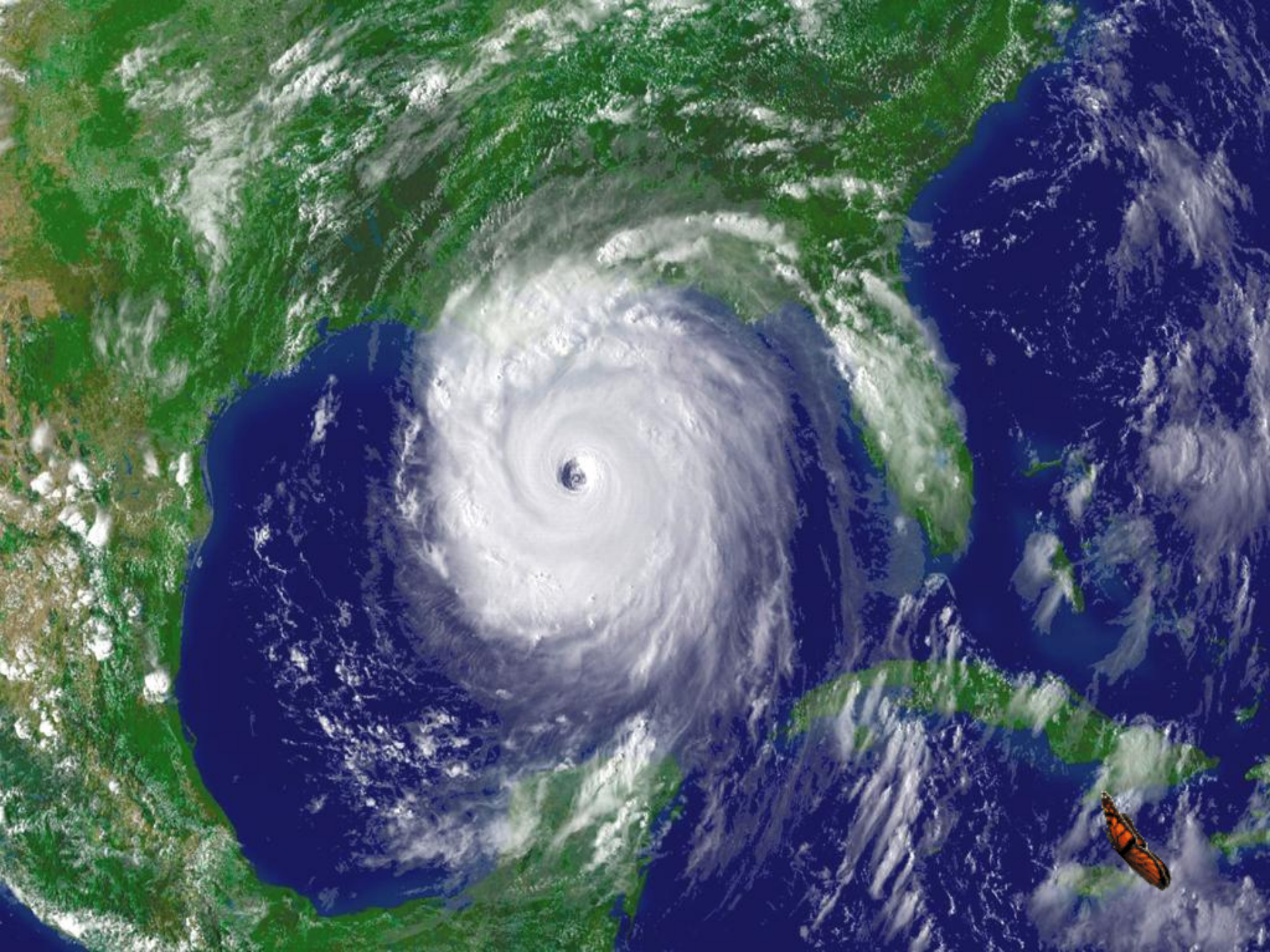
Chaos is het gedrag van een systeem wat  
wiskundige vergelijkingen volgt met  
*'grote gevoeligheid voor beginwaarden'*



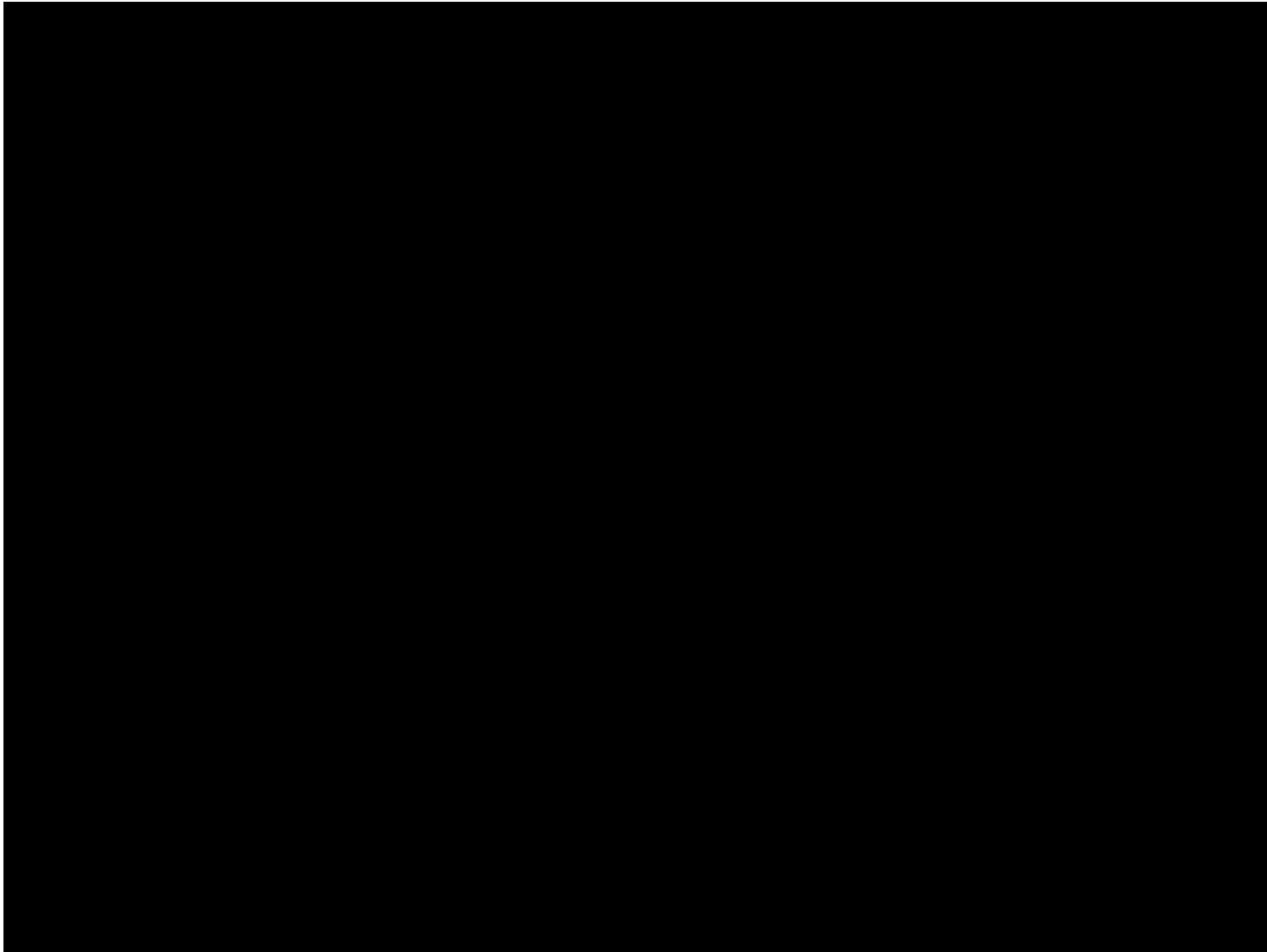
*Lange-termijn voorspellingen* zijn niet mogelijk.



*Vlinder effect*



# Voorbeeld: twee gekoppelde slingers



# Misvatting 1

Chaos is een vorm van 'willekeurige (random) fluctuaties'

**Niet waar:**

In chaotische systemen worden fluctuaties gegenereerd door **wiskundige wetten**



# Misvatting 2

Chaotische systemen zijn 'onvoorspelbaar'

**Niet waar:**

- (1) Korte termijn voorspelbaarheid van chaotische systemen kan zeer hoog zijn
- (2) Echter, voorspelbaarheid op lange termijn zal laag zijn

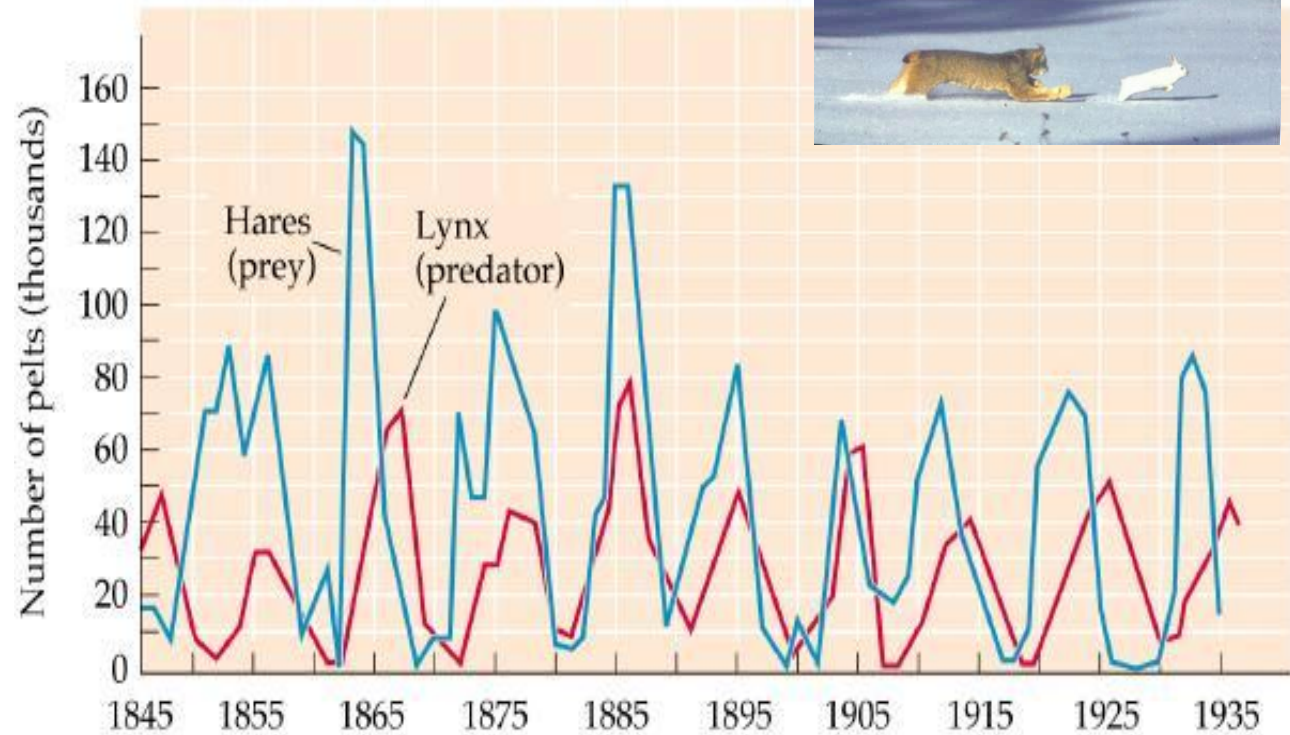


Populatie dynamica  
bestudeert korte en lange termijn  
veranderingen  
in het aantal en samenstelling van  
populaties



# Het raadsel van de fluctuerende populaties

Charles Elton

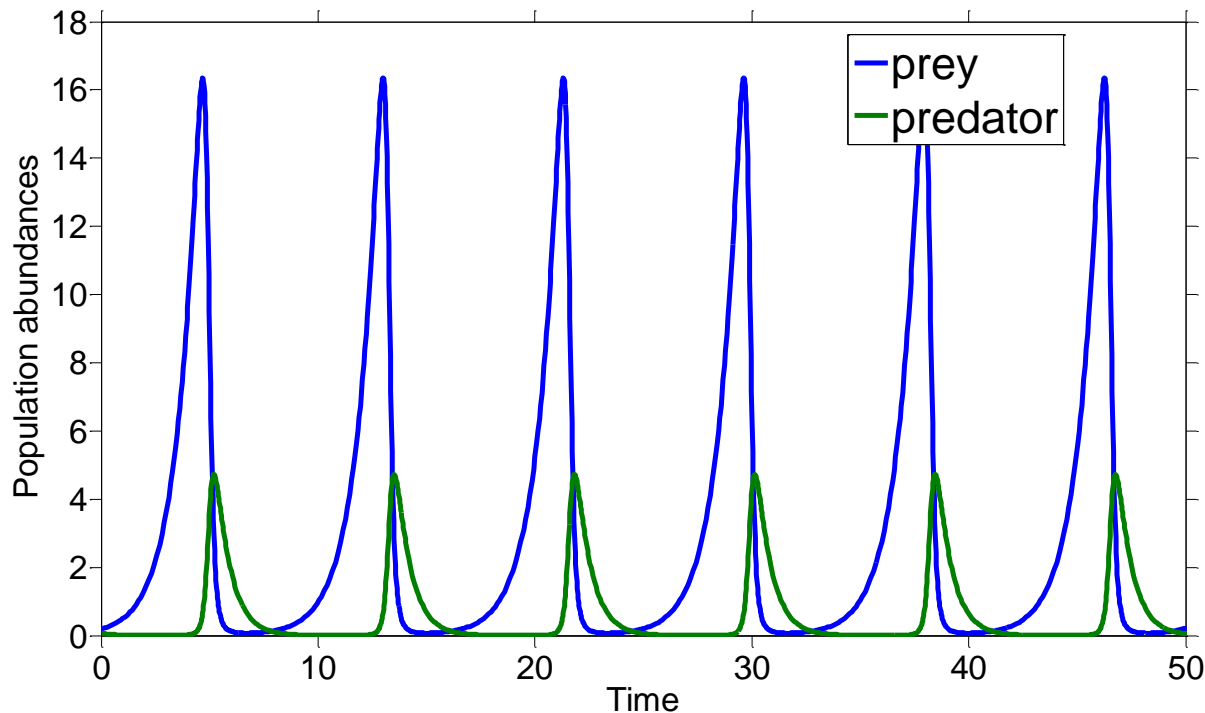


# Het raadsel van de fluctuerende populaties

$$\frac{dx}{dt} = x(\alpha - \beta y) \quad \text{Preoi}$$

$$\frac{dy}{dt} = -y(\gamma - \delta x) \quad \text{Predator}$$

Lotka Volterra model





# Chaos in Populatie Dynamica



Sir Robert May

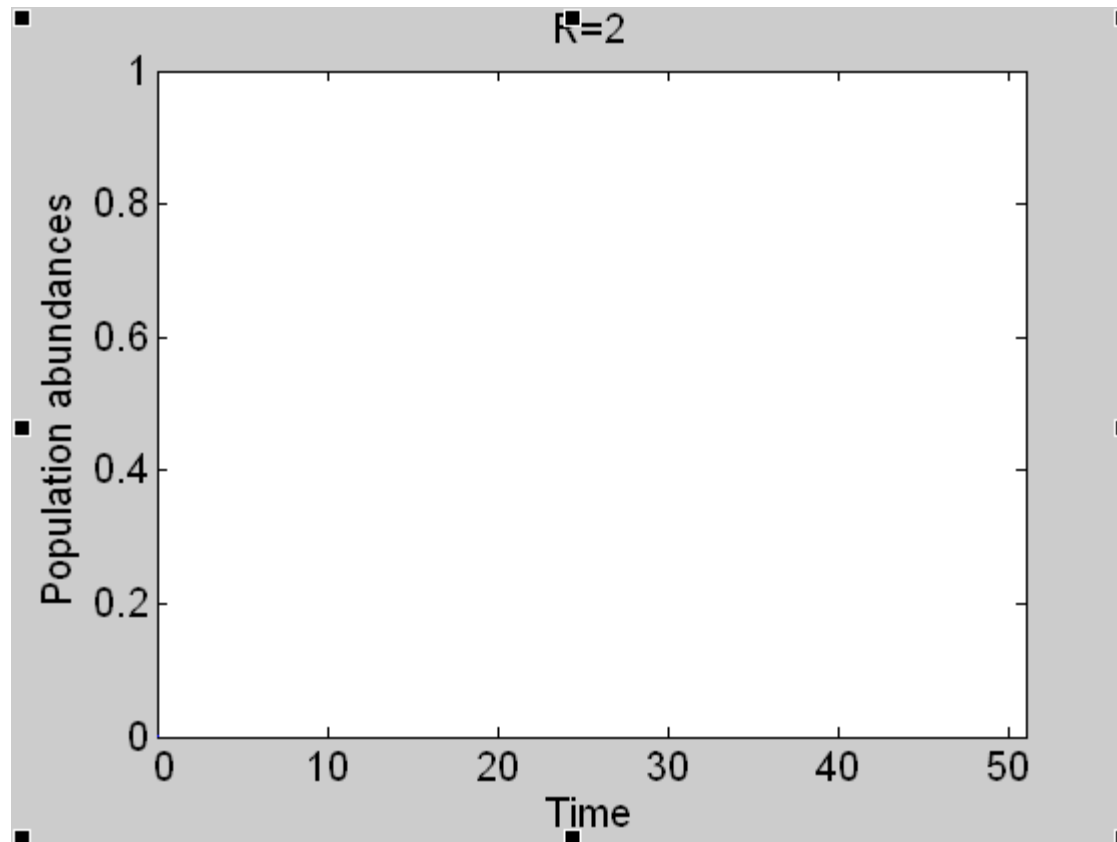
Logistische  
groeivergelijking:

$$N(t+1) = r N(t)(1-N(t))$$

# Als $r = 2$ : evenwicht

Logistische groeivergelijking:

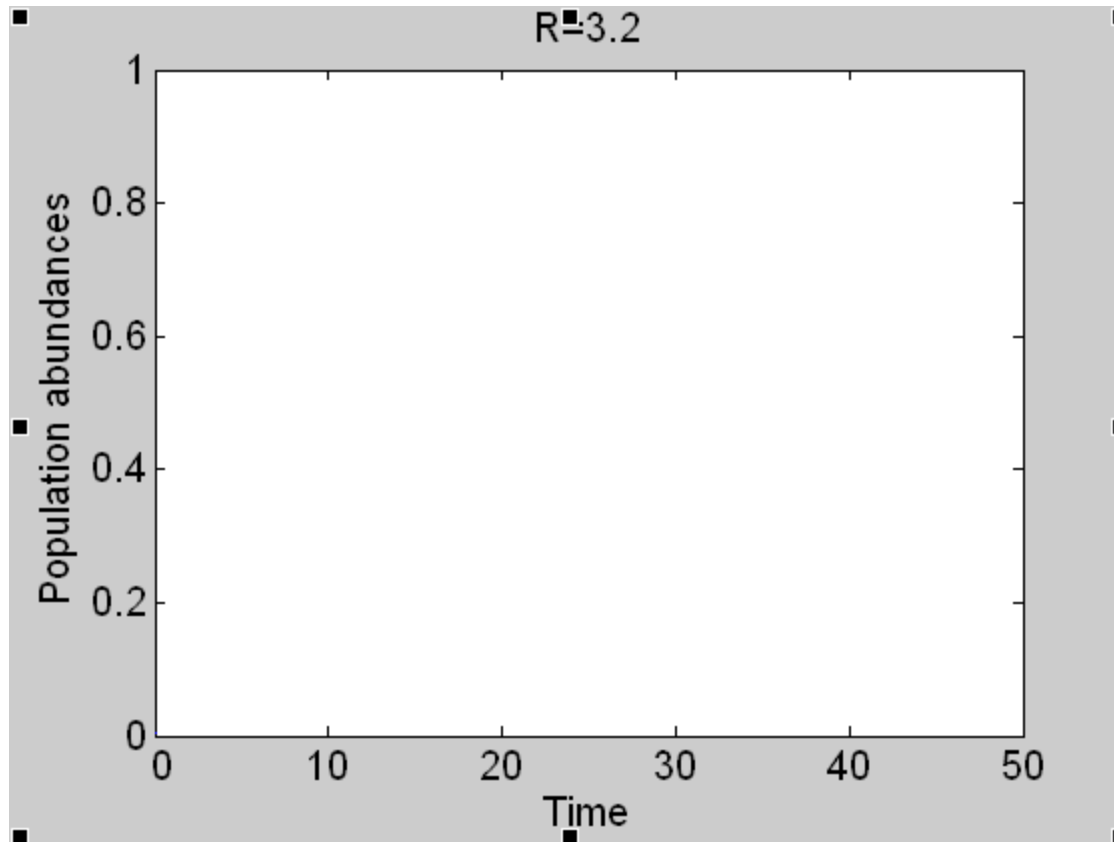
$$N(t+1) = r N(t)(1-N(t))$$



# Als $r=3.2$ : cyclisch gedrag

Logistische groeivergelijking:

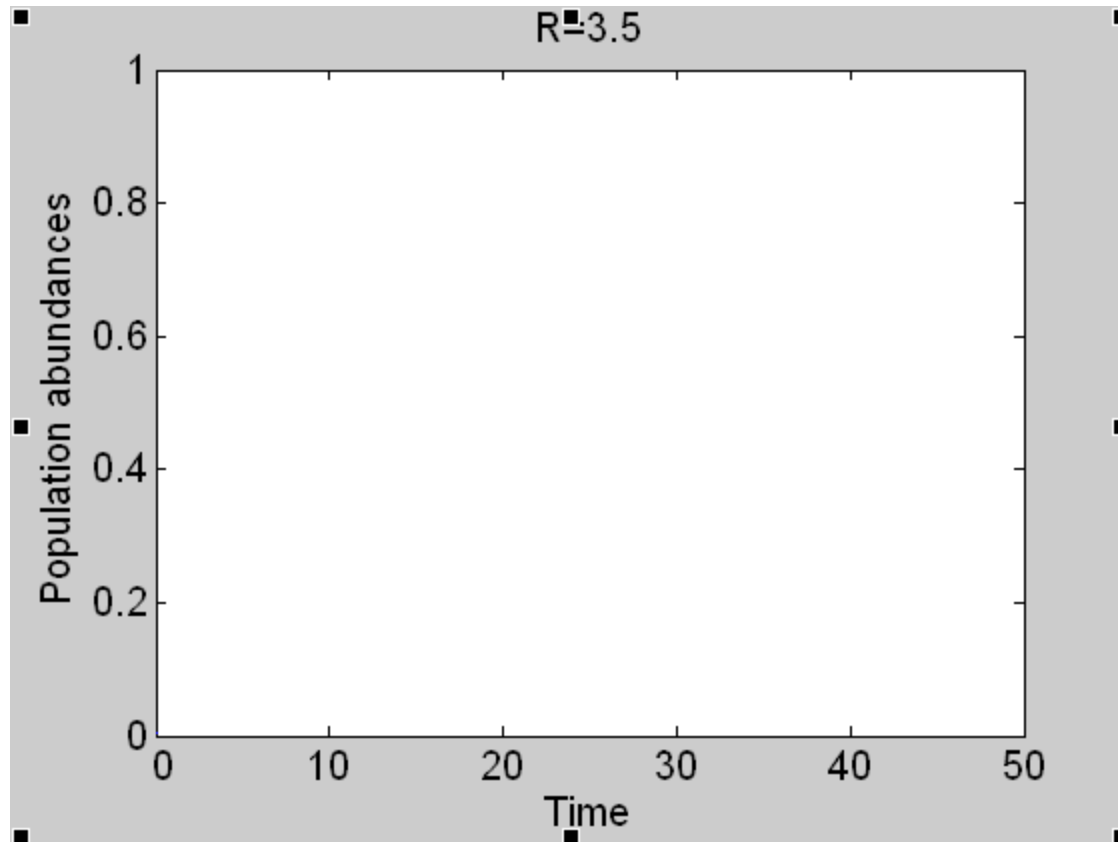
$$N(t+1) = r N(t)(1-N(t))$$



# Als $r=3.5$ : dubbele cyclus

Logistische groeivergelijking:

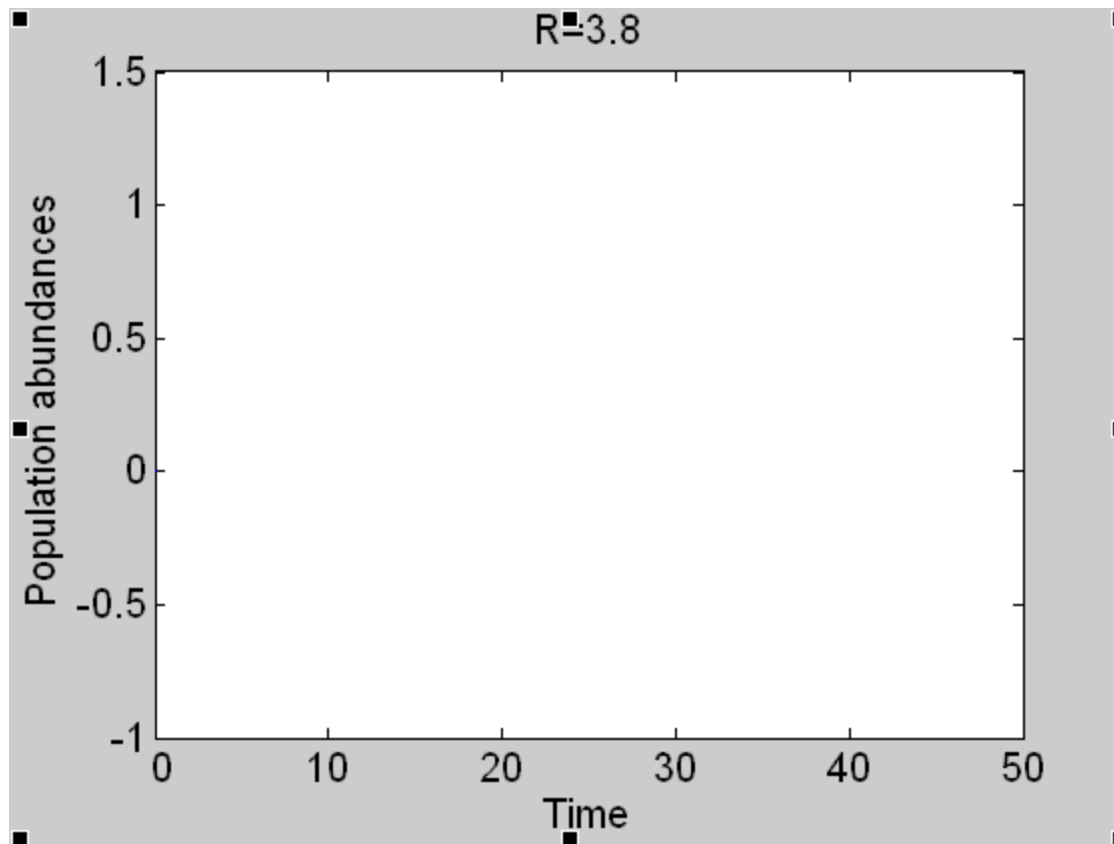
$$N(t+1) = r N(t)(1-N(t))$$



# Als $r=3.8$ : chaos

Logistische groeivergelijking:

$$N(t+1) = r N(t)(1-N(t))$$



## The secret life of chaos (BBC 4)



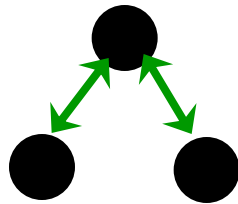
# Een revolutionair nieuw inzicht

Visie tot dan toe: ecologische systemen zijn in evenwicht en fluctuaties worden veroorzaakt door willekeurige **externe** verstoringen "

Robert May: onvoorspelbare fluctuaties in populaties kunnen worden veroorzaakt door **intrinsieke processen**



# Veel modellen vertonen chaotisch gedrag



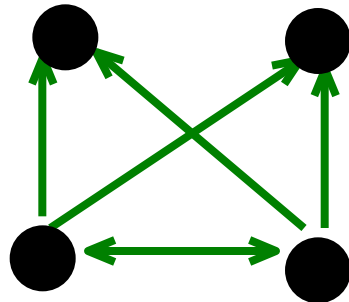
Twee prooien en één roofdier  
(Gilpin 1979)



Voedselketen met drie trofische niveaus  
(Hastings & Powell 1991)



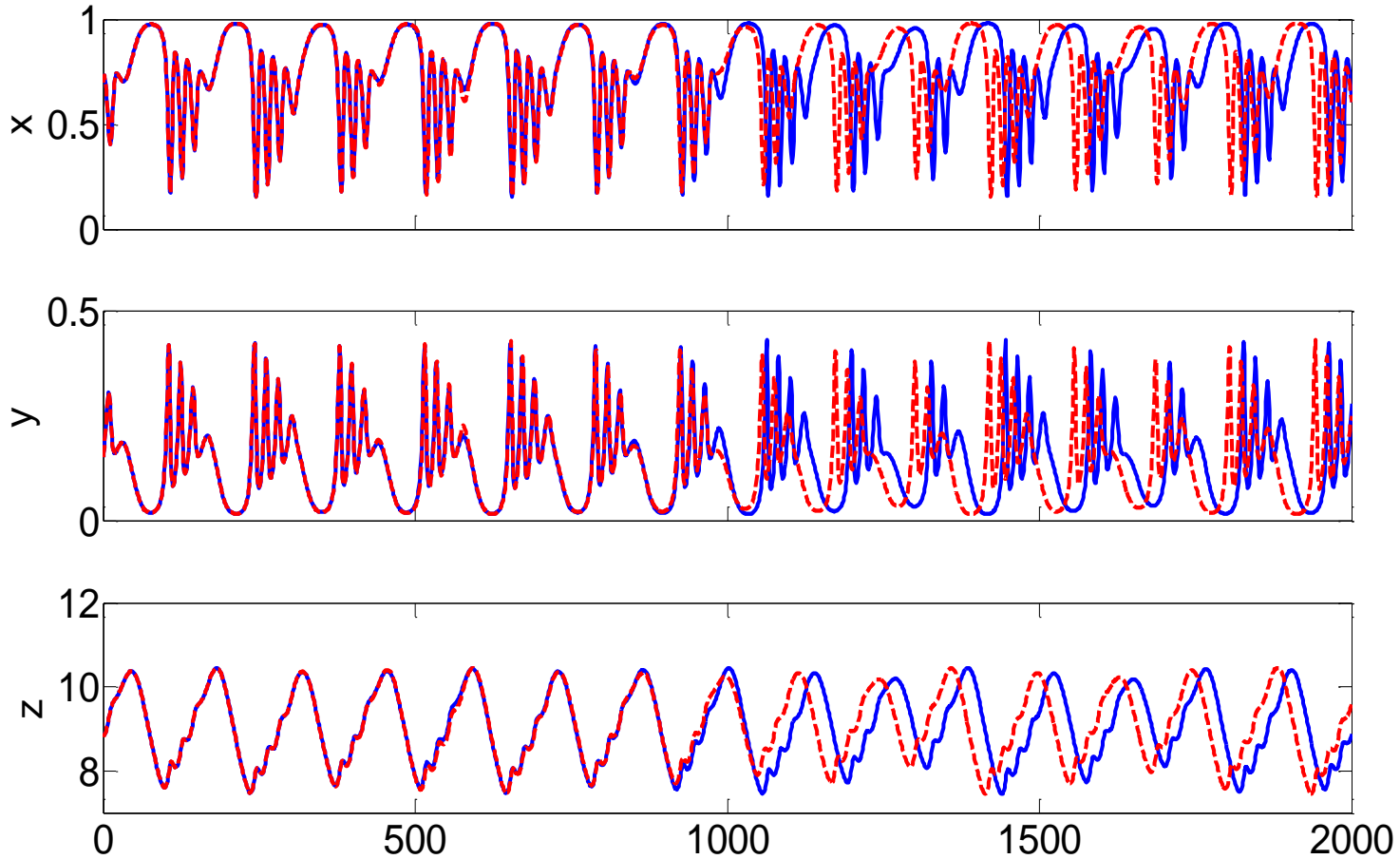
Competitie tussen meerdere soorten  
(Huisman & Weissing 1999)



Twee roofdieren – twee prooien  
(Vandermeer 2004, Benincà et al. 2009)

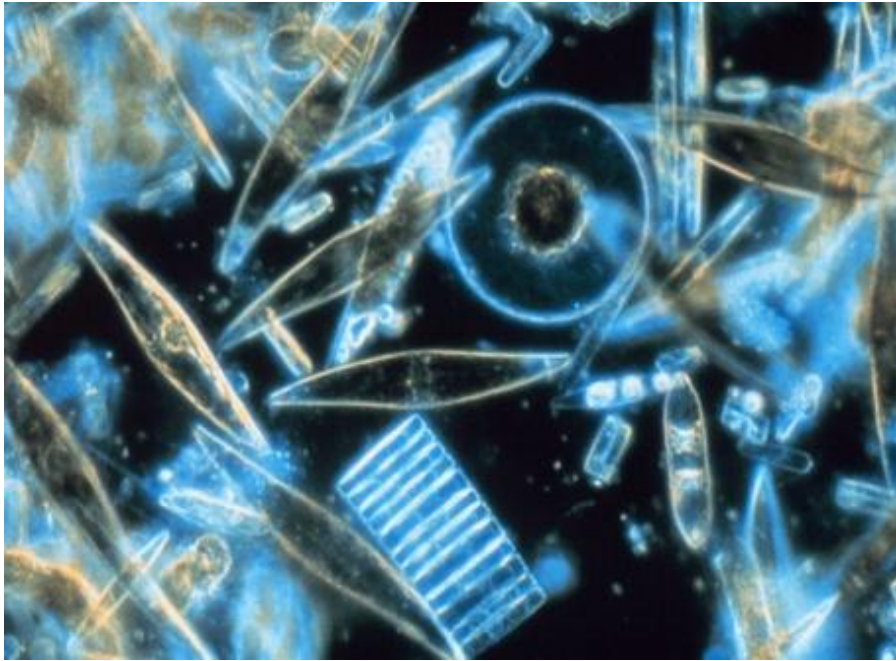


# Chaos in een voedselketen van drie niveaus

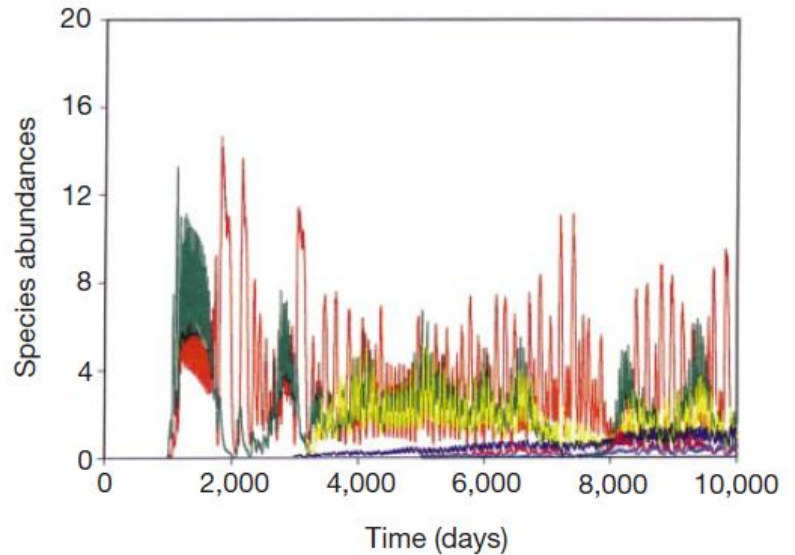
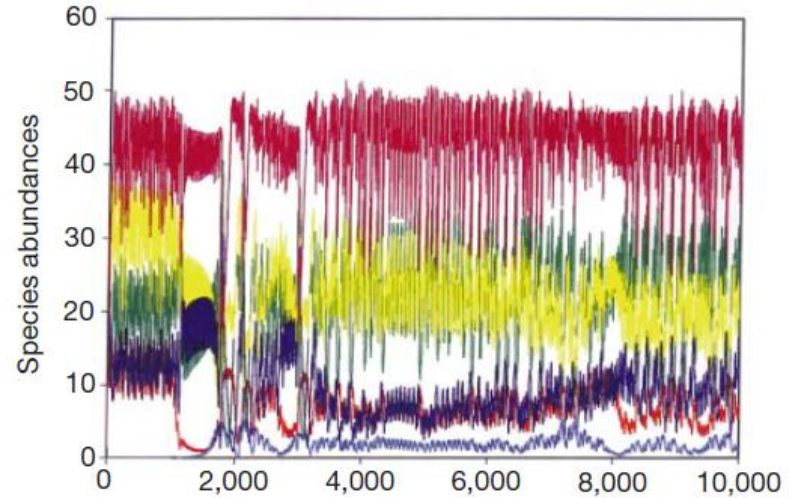


Hastings and Powell 1991

# Chaos door competitie tussen meerdere soorten

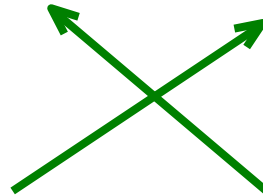


Plankton soorten concurreren om middelen



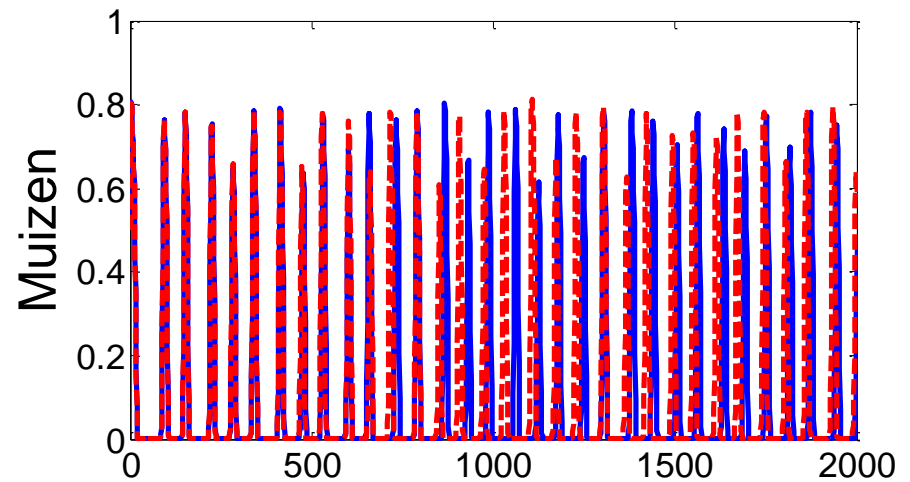
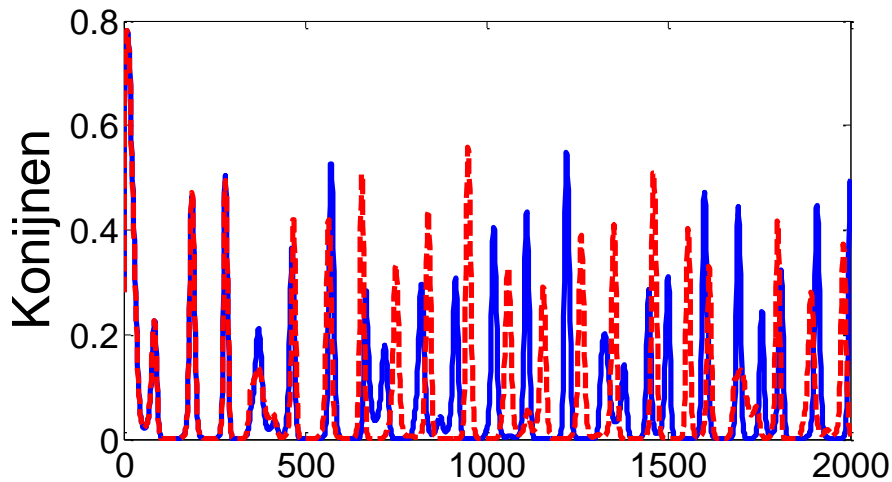
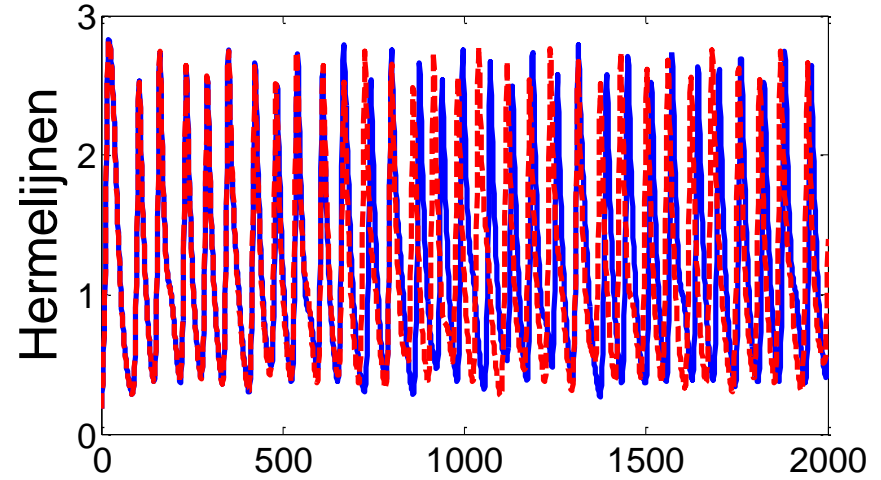
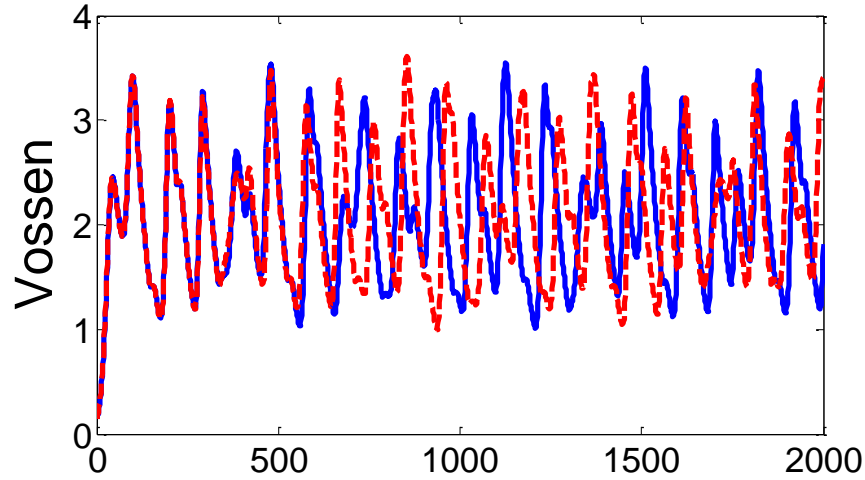
Huisman and Weissing 1999

# Chaos door twee roofdieren en twee prooien



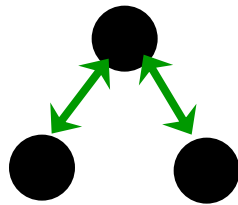


# Chaos door twee roofdieren en twee prooien



Vandermeer 2004, Benincà et al 2009

# Al deze modellen bevatten een soort van “gekoppelde slingers”



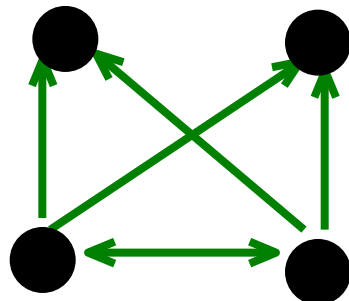
Twee prooien en één roofdier  
(Gilpin 1979)



Voedselketen met drie trofische niveaus  
(Hastings & Powell 1991)



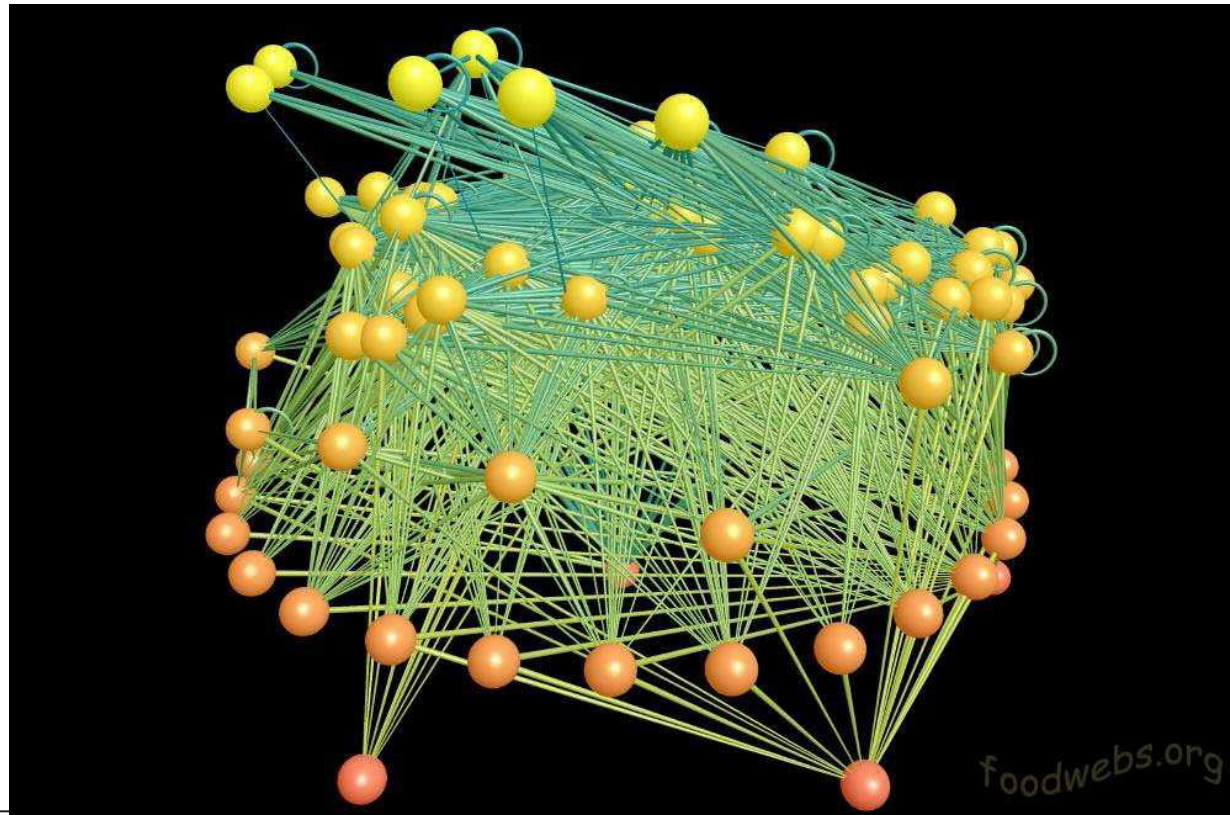
Competitie tussen meerdere soorten  
(Huisman & Weissing 1999)



Twee roofdieren – twee prooien  
(Vandermeer 2004, Benincà et al. 2009)

# Echte voedselwebben zijn zelfs nog complexer!

Voedselwebben bestaan vaak uit **meerdere**  
predatoren en **meerdere** prooisoorten



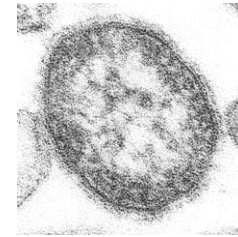
Toch waren ecologen  
nog steeds sceptisch of chaos niet alleen  
in modellen voorkwam ...



# Empirisch bewijs ?

## - Ongedierte

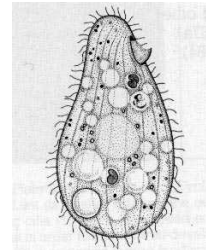
(Constantino et al. 1997)



- **Kinderziekten:** mazelen, bof, roodvonk en kinkhoest dynamica (Schaffer and Kot 1986; Olsen et al. 1988; Olsen and Schaffer 1990; Schaffer et al. 1990)

## - Microbiële voedselwebben

(Becks et al., 2005, Graham et al., 2007)



## - Eenjarige planten

(Sakai 2001: *Non linear dynamics and chaos in agricultural systems*)

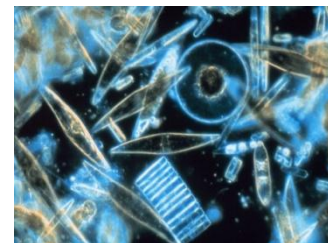
## - Populaties van kleine zoogdieren

(Turchin 1993; Ellner and Turchin 1995, Turchin and Ellner 2000)

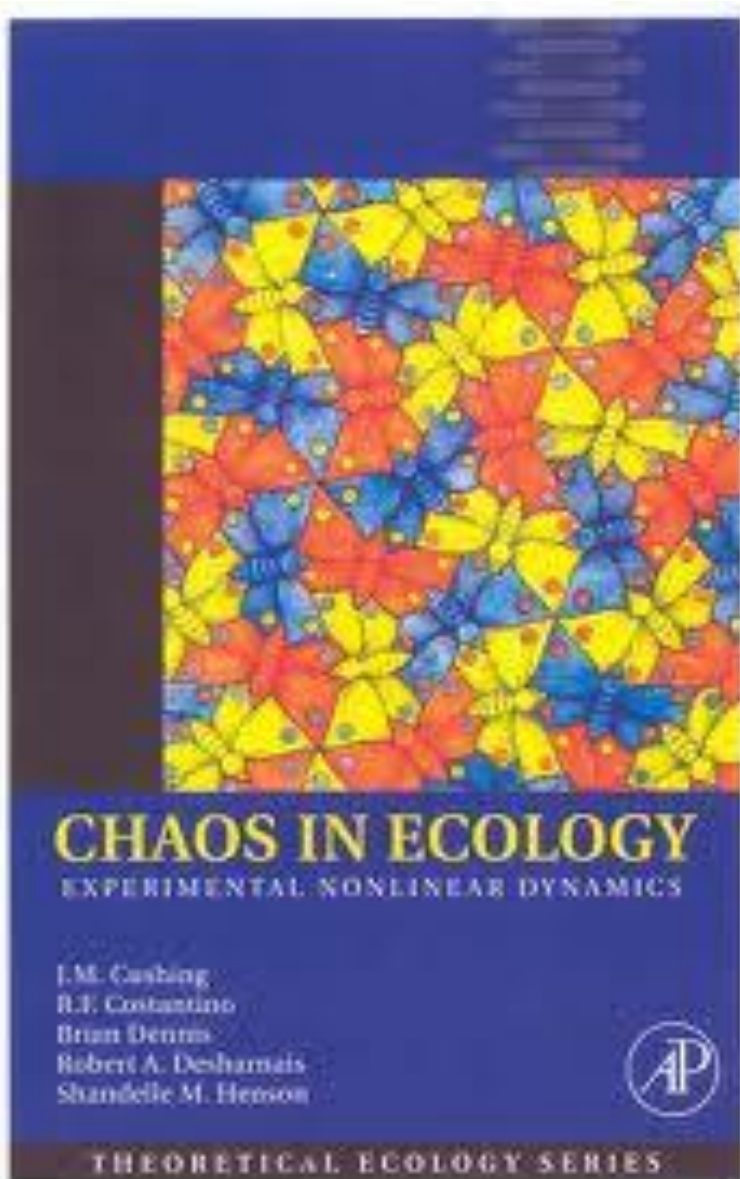


## - Plankton dynamica

(Sugihara and May 1990; Benincà et al. 2008)





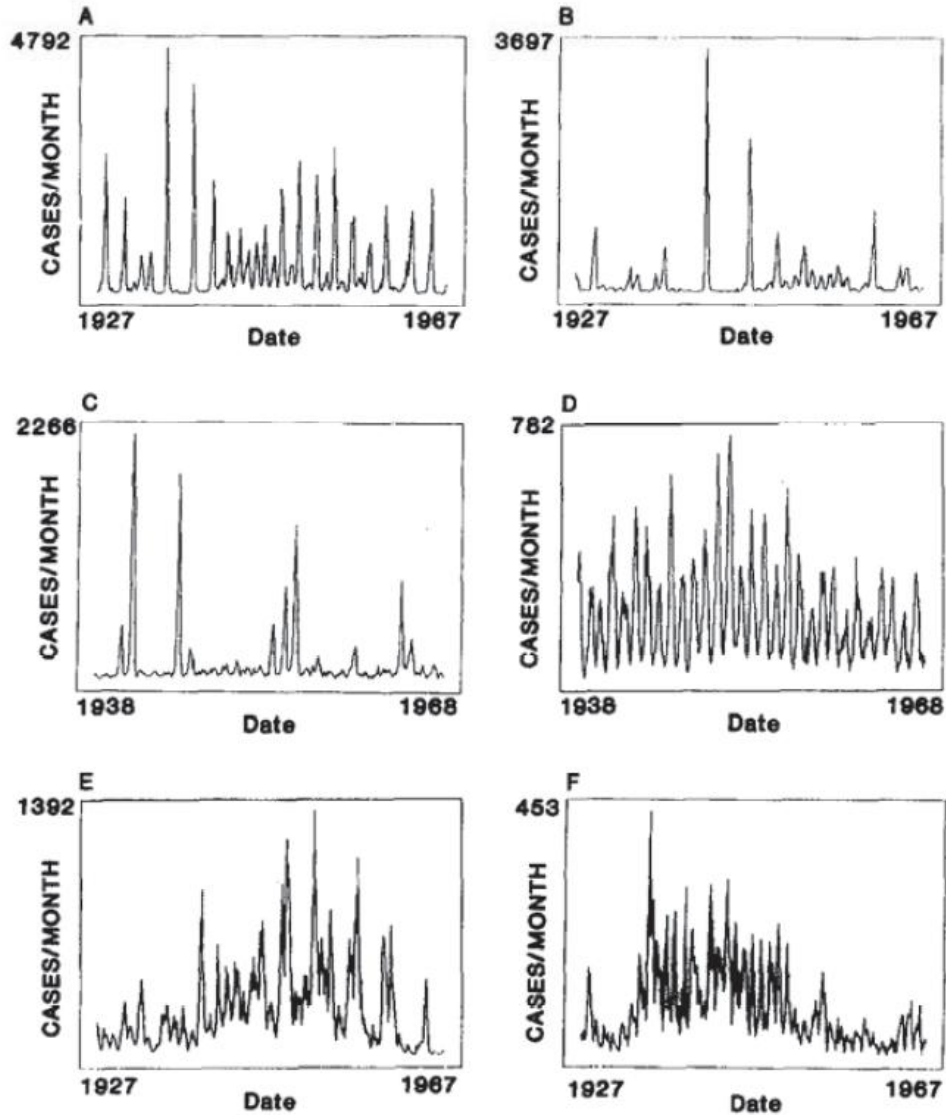


Experiment met meeltorren: *Tribolium*



(Constantino et al. 1997)

# Kinderziekten



Olsen et al. 1988

# Chaos in plankton dynamica

nature

Vol 451 | 14 February 2008 | doi:10.1038/nature06512

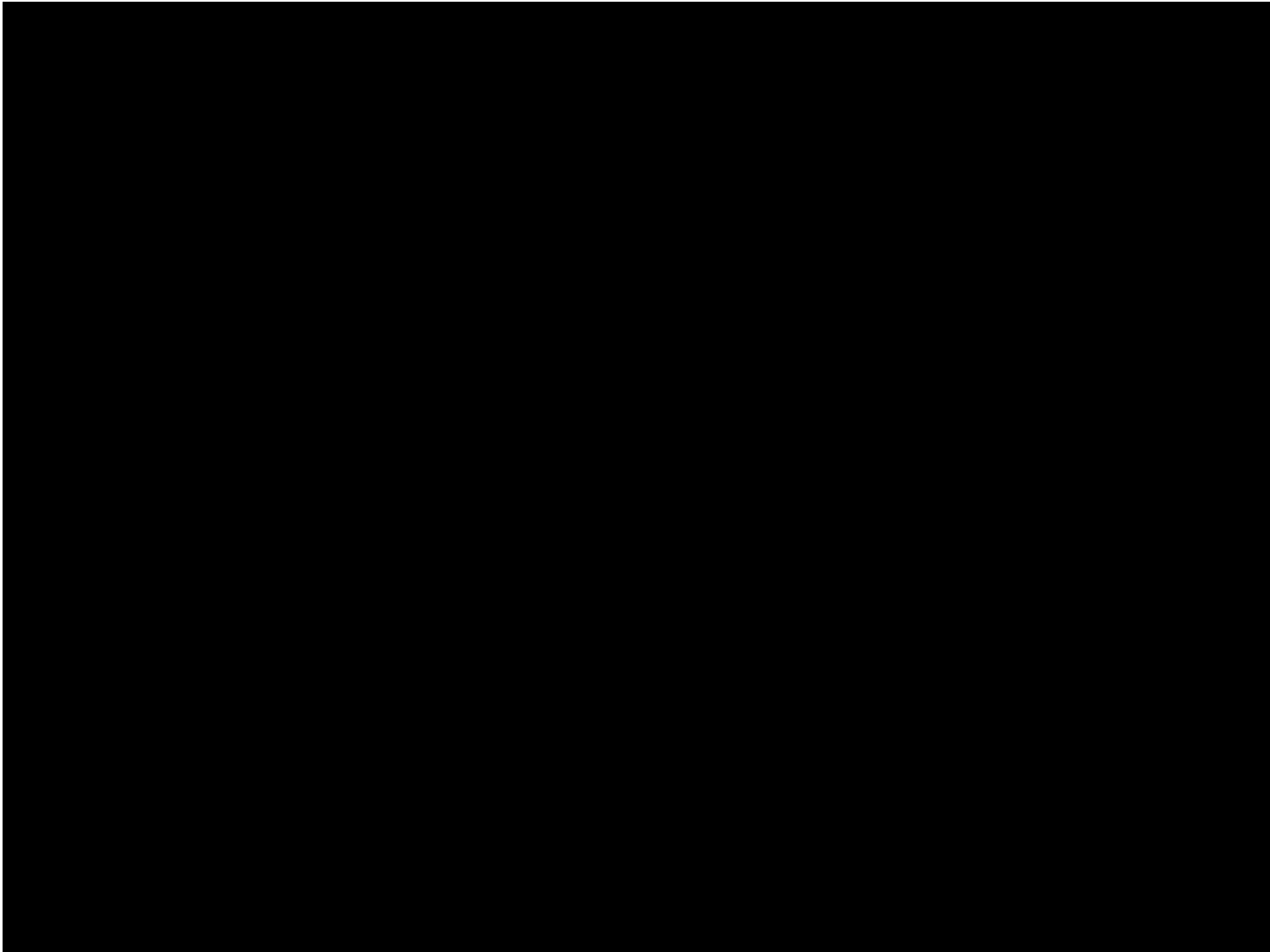
LETTERS

---

## **Chaos in a long-term experiment with a plankton community**

Elisa Benincà<sup>1,2\*</sup>, Jef Huisman<sup>1\*</sup>, Reinhard Heerkloss<sup>3</sup>, Klaus D. Jöhnk<sup>1†</sup>, Pedro Branco<sup>1</sup>, Egbert H. Van Nes<sup>2</sup>, Marten Scheffer<sup>2</sup> & Stephen P. Ellner<sup>4</sup>

Wat is plankton?



# Plankton

Korte generatietijd

Gemakkelijk te kweken in laboratorium  
(onder gecontroleerde condities)

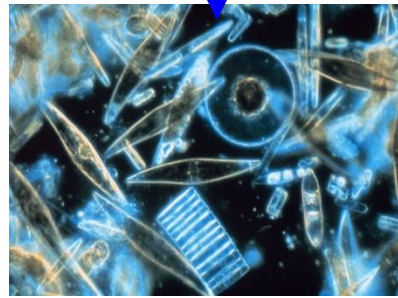
# Plankton



Carnivoren

Herbivoren

Planten



Carnivoren  
zooplankton

Herbivoren  
zooplankton

Fytoplankton

# Mesocosm experiment



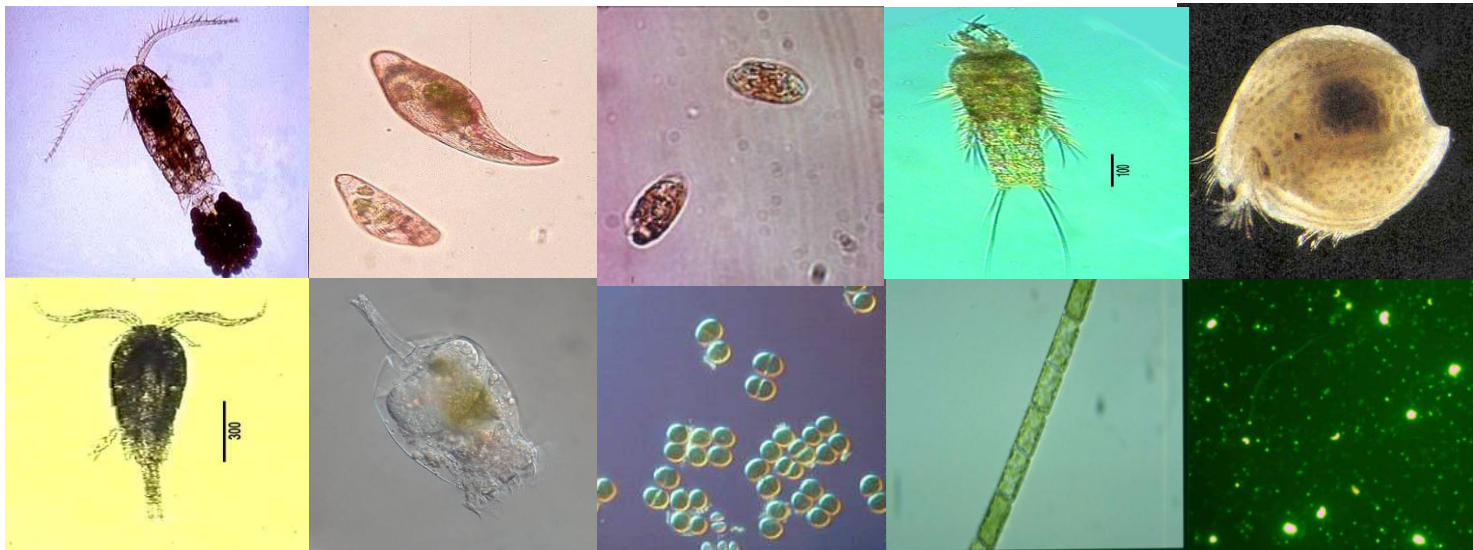
LANGE dataset van  
een COMPLEX voedselweb



Reinhard Heerkloss



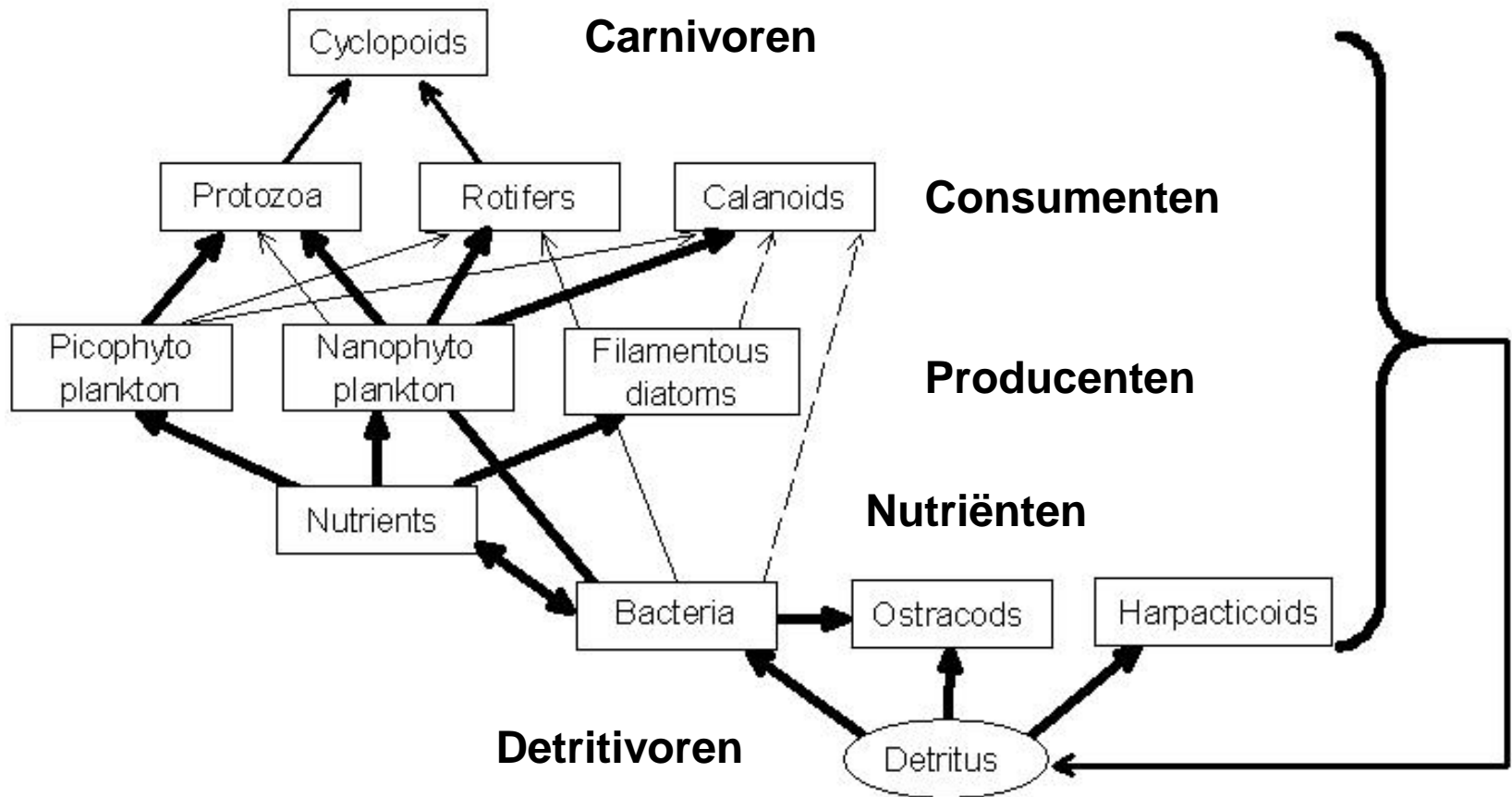
Gekweekt onder constante condities  
2.319 dagen lang (bijna 7 jaar)  
2x per week geteld!

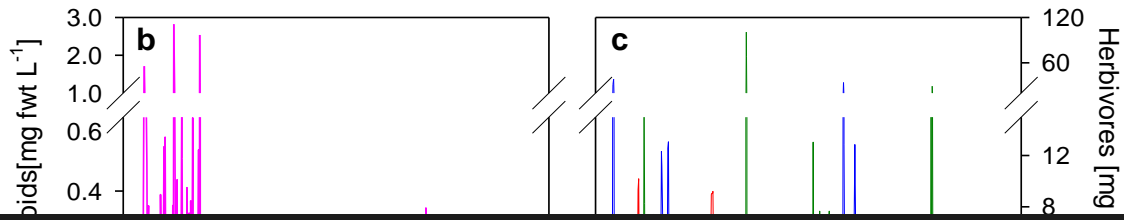


Dat is 100 tot 1000  
plankton generaties!

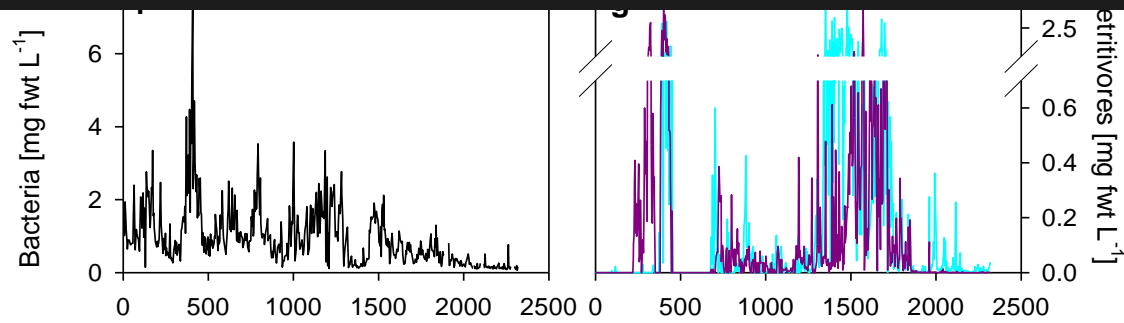


# Voedselweb





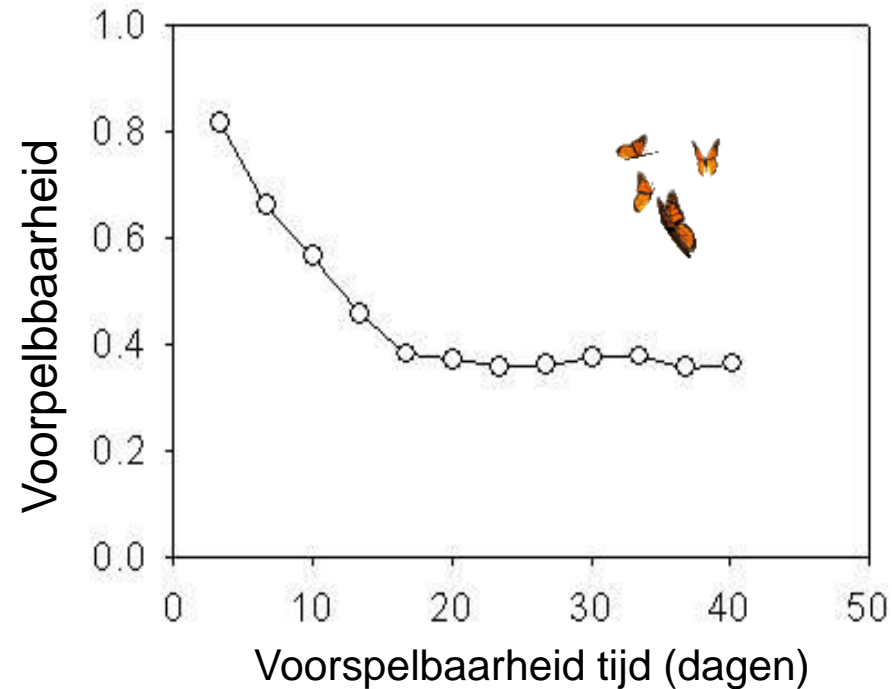
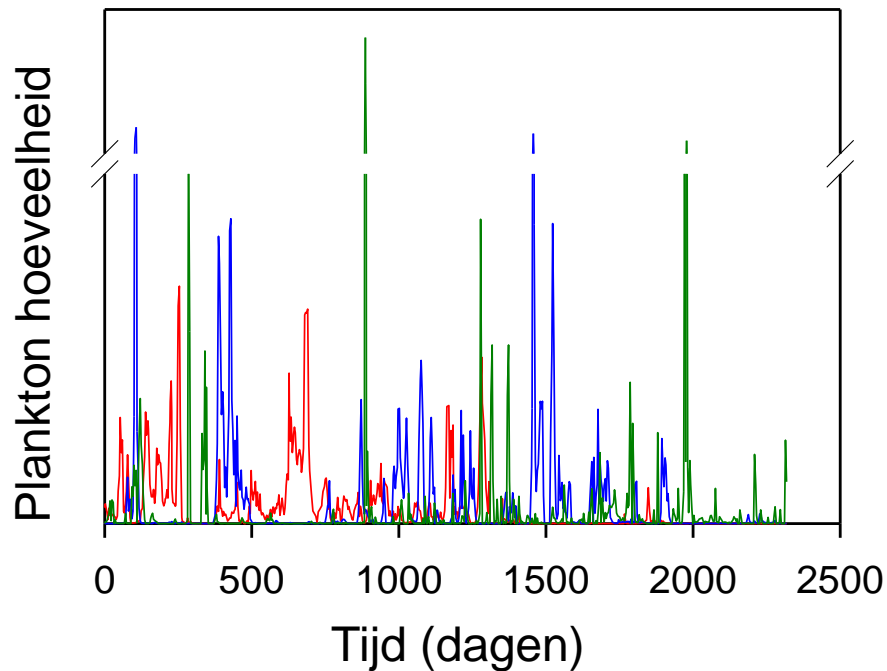
# CHAOS



Time [days]

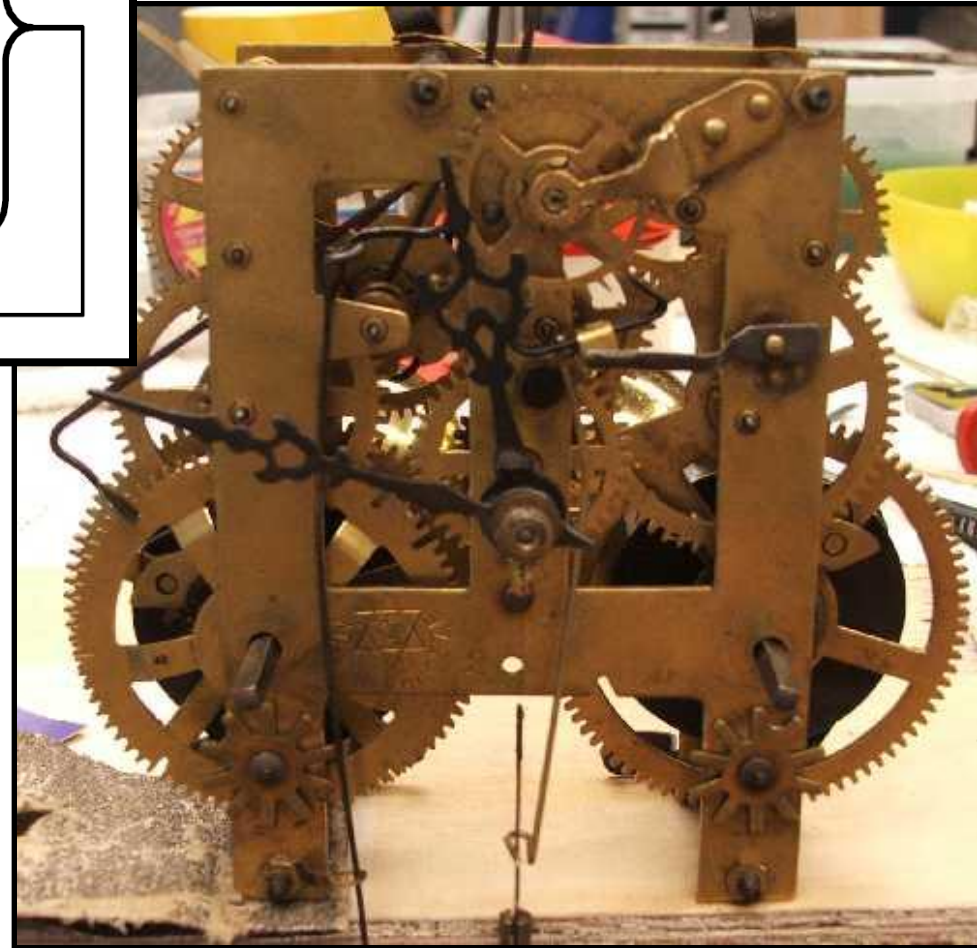
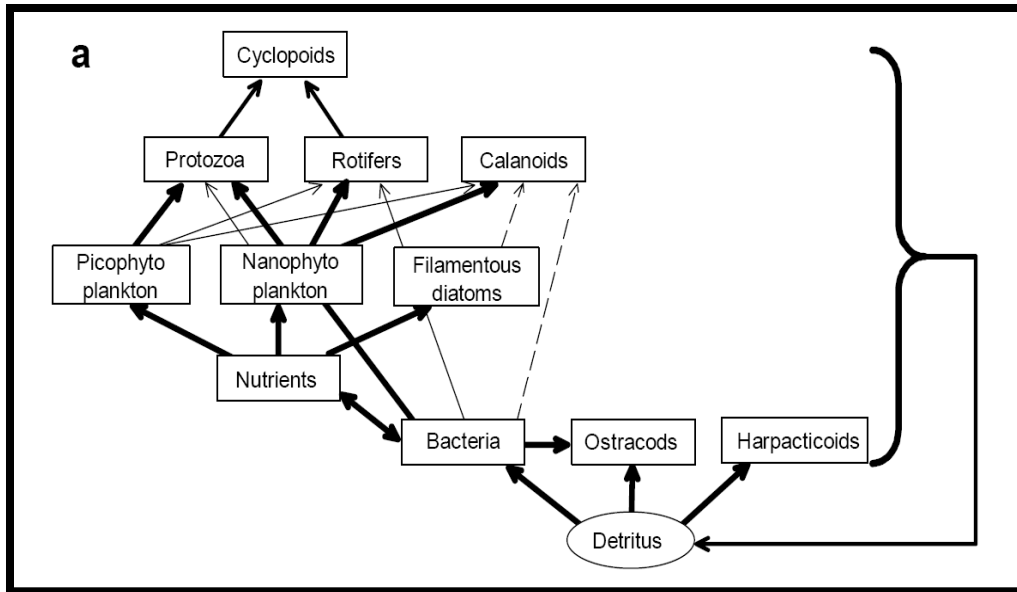
Predictability is limited to 5-15 generations!

Dit is de eerste keer dat chaos is aangetoond  
in een echt voedselweb.



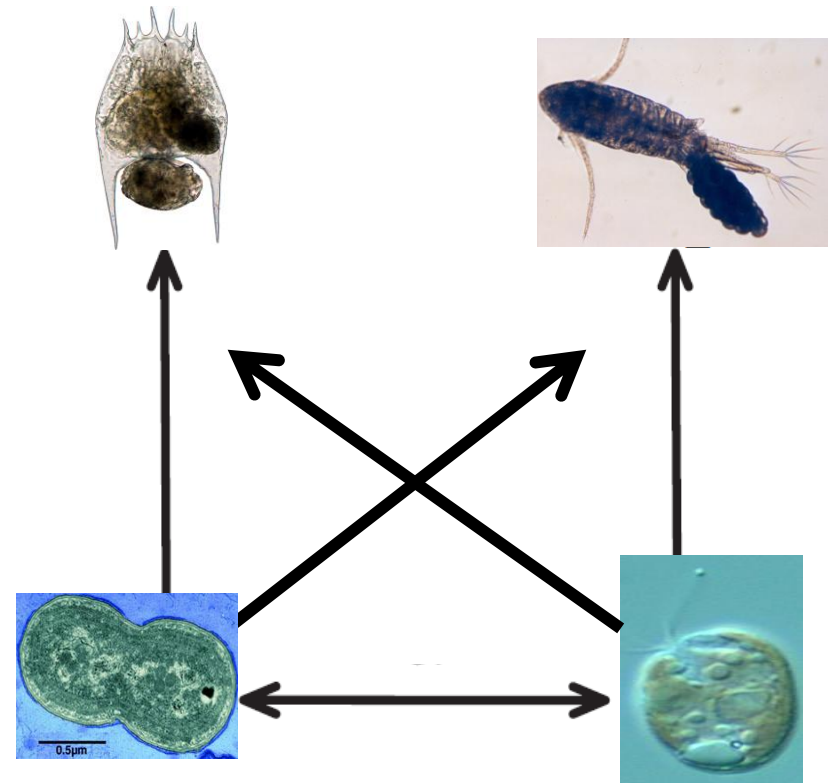
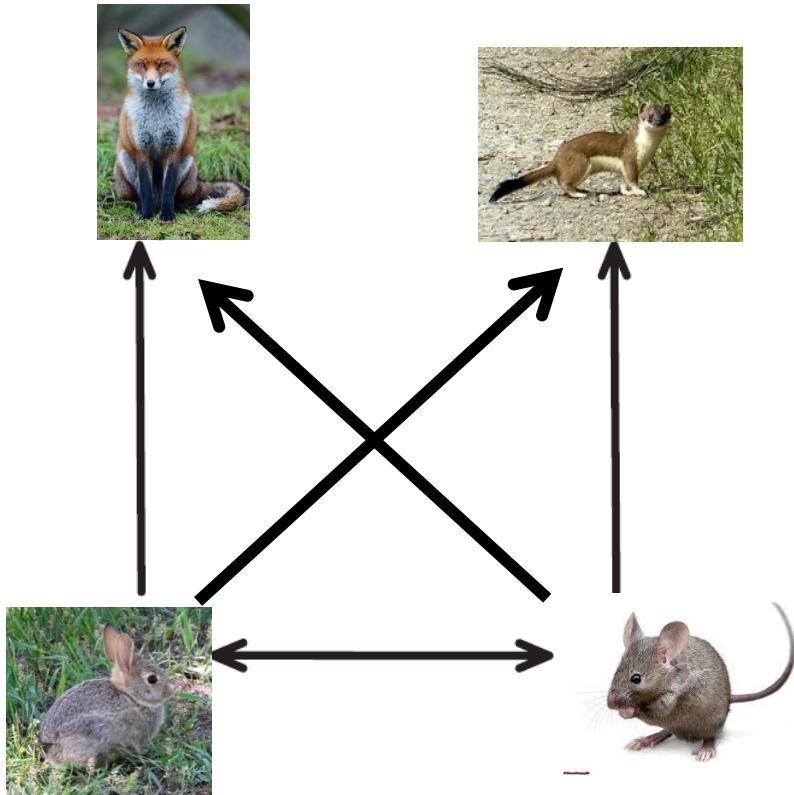
Voorspelbaarheid is beperkt tot 5-15 generaties!

# Wat zijn de drijvende mechanismen?



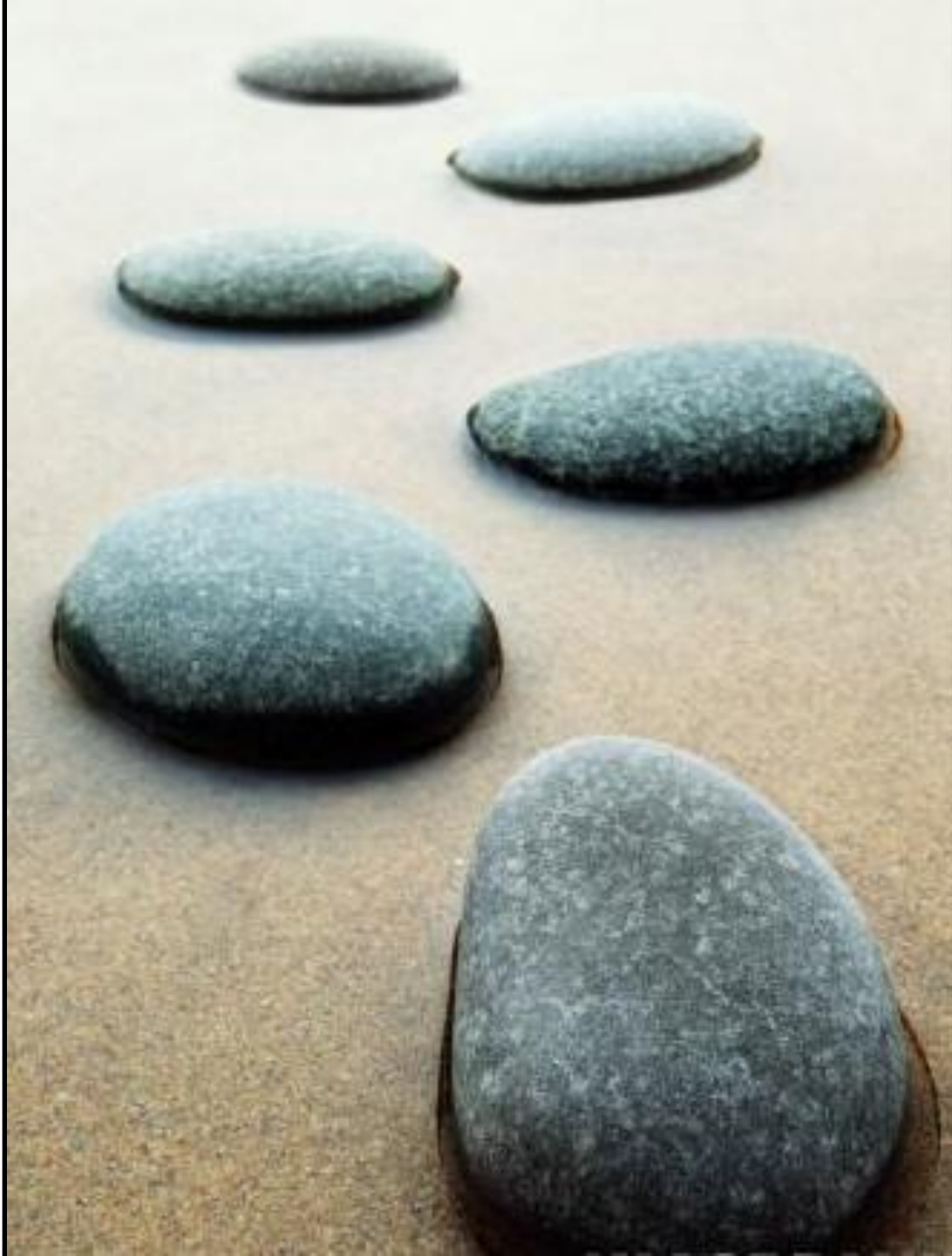
[Beninca et al, *Ecology Letters* 2009]

# Dominante mechanisme



Voedselweb van twee predatoren en twee prooien

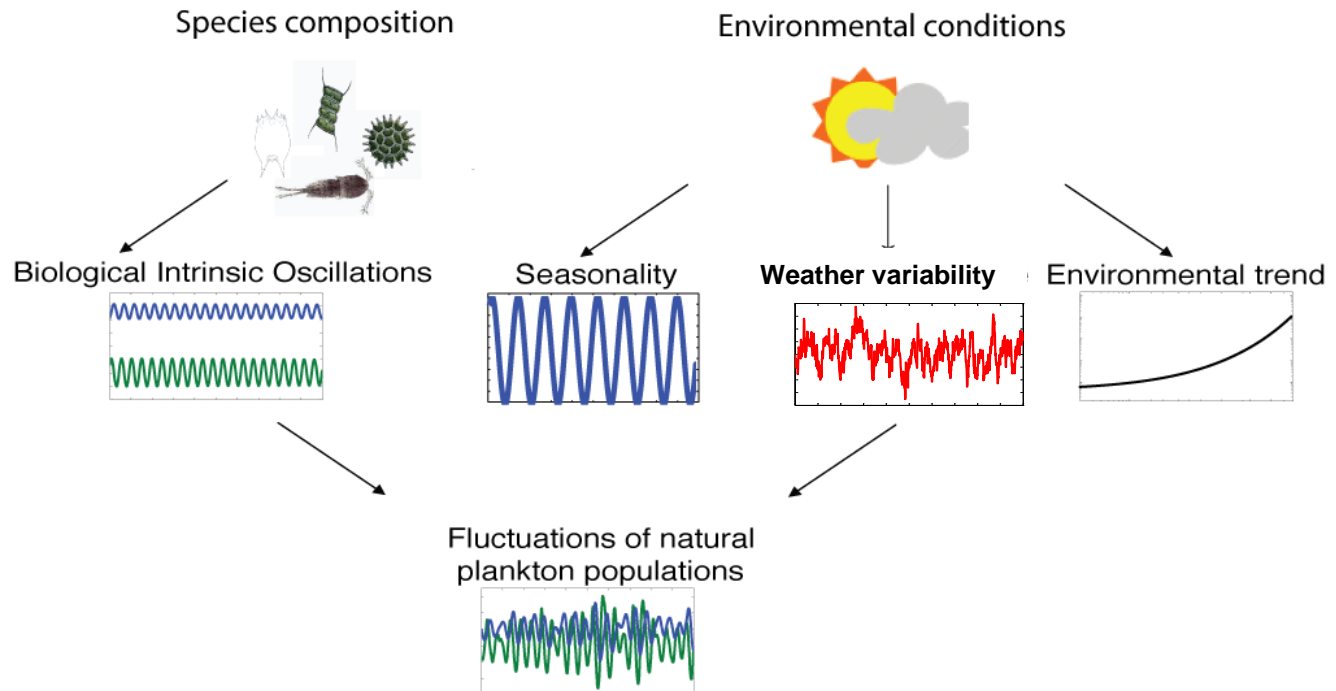
De volgende  
stap:  
Chaos theorie  
in de praktijk





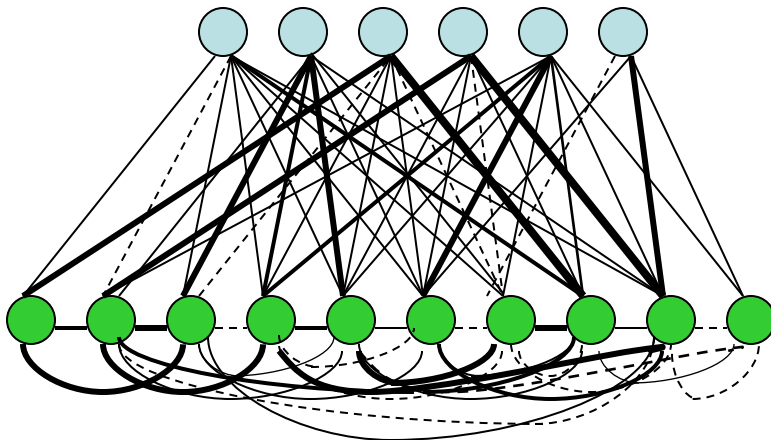
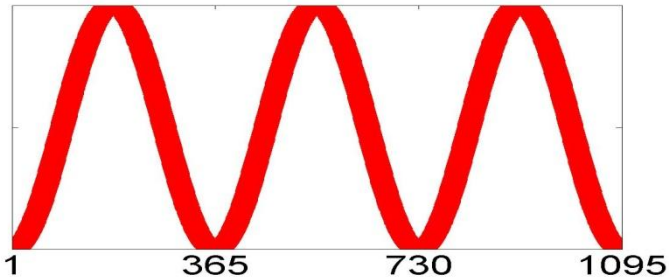
# Chaos onder veldcondities?

- Buiten het laboratorium zijn omstandigheden niet constant;
- Hoe beïnvloeden veldcondities de voorspelbaarheid van populaties?



# Effect seizoensvariatie op chaotische fluctuaties

Experiment met predator- prooi model

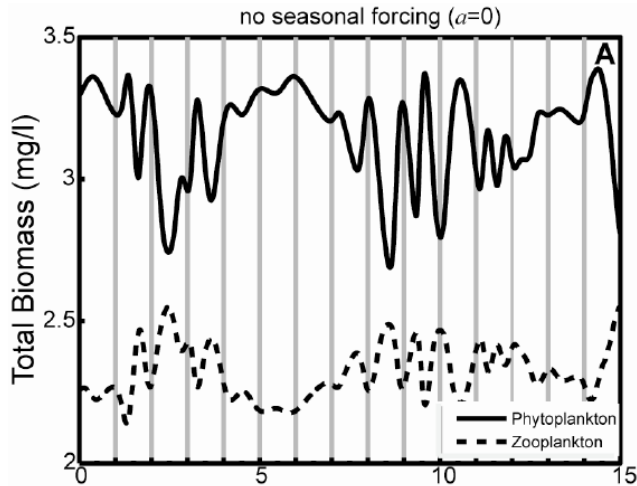


Processnelheden variëren met het seizoen

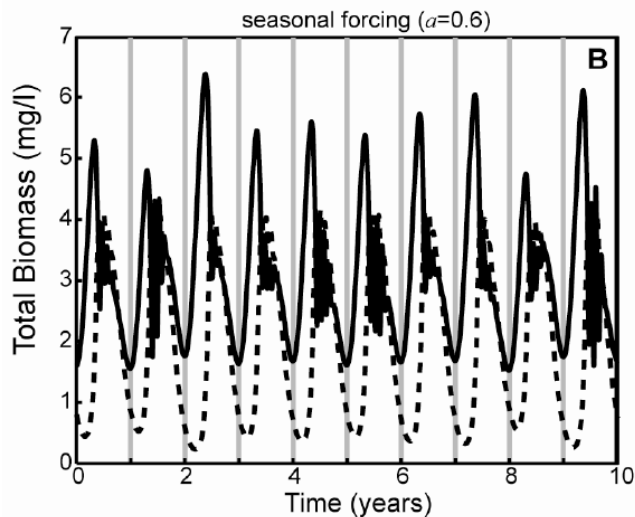
6 zooplankton soorten

10 fytoplankton soorten

# Modelresultaten met en zonder seizoensvariatie

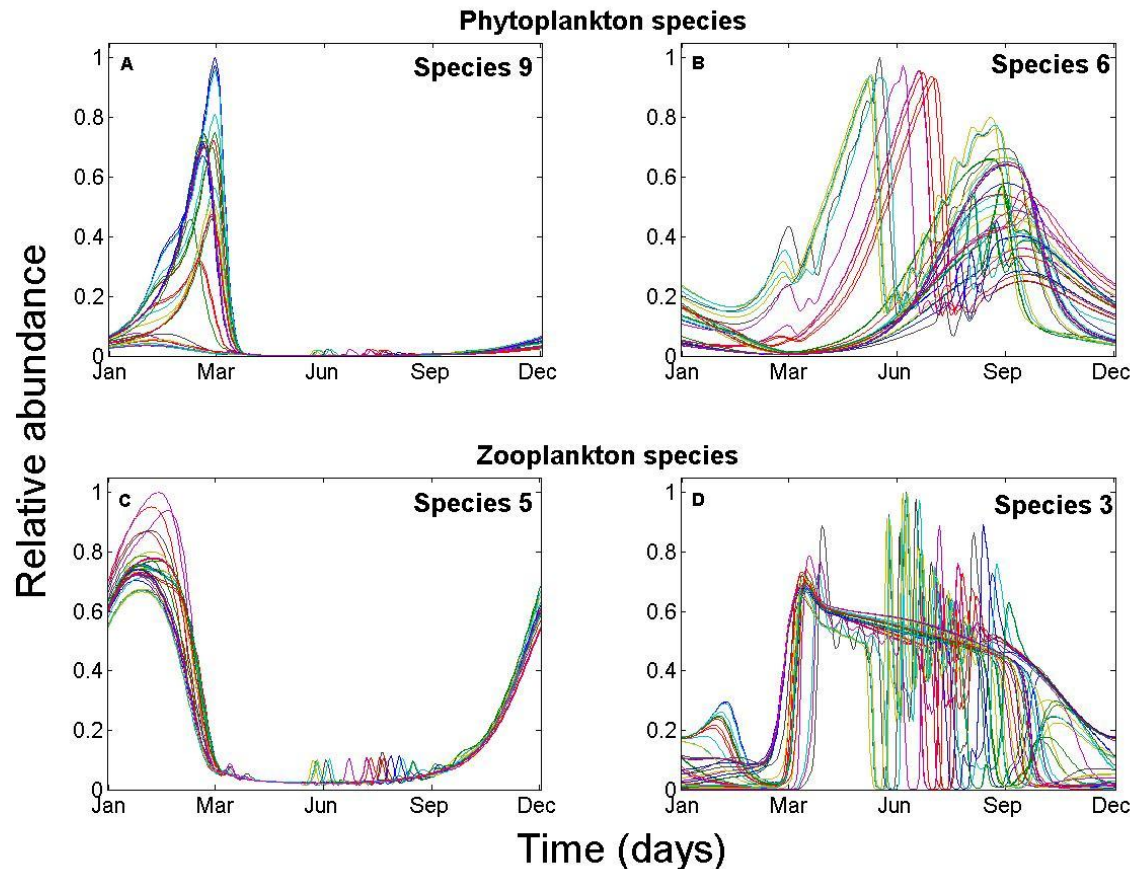


Zonder seizoensvariatie fluctueert **totale biomassa onregelmatig**.



Met seizoensvariatie ontstaat een **duidelijk seizoenspatroon in totale biomassa**, maar hoogte van pieken verschilt van jaar tot jaar.

# Modelresultaten soortensamenstelling

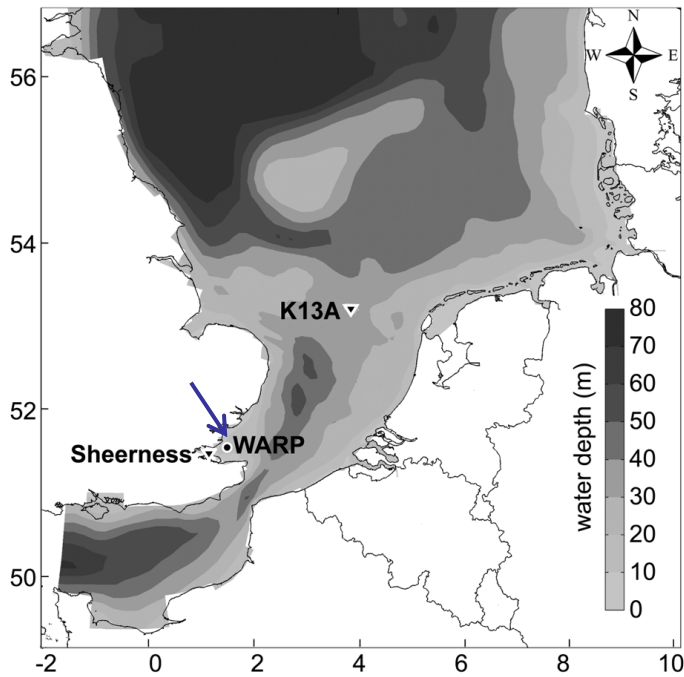


(kleuren geven  
verschillende jaren weer)

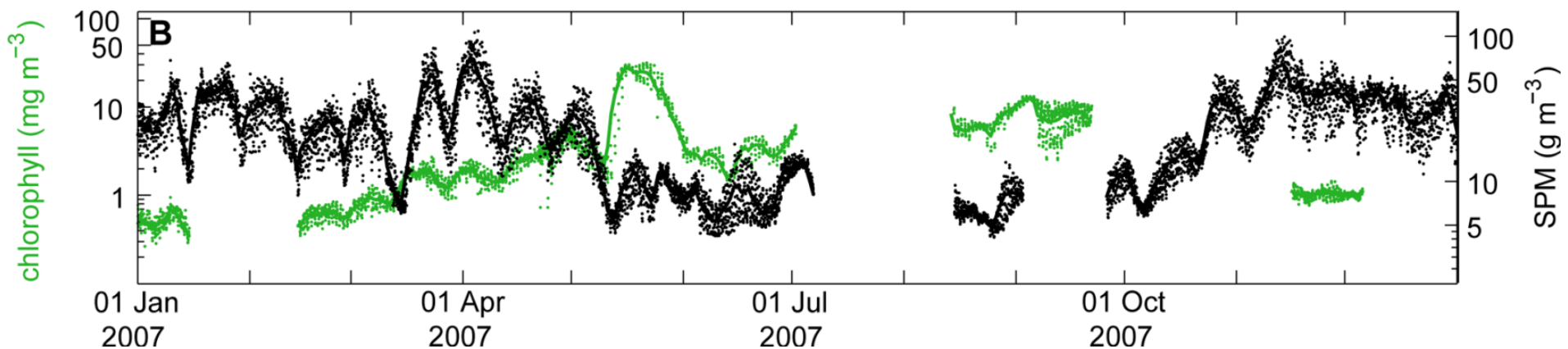
Grote verschillen van jaar tot jaar voor individuele soorten:

Aantallen, timing en seizoenspatroon

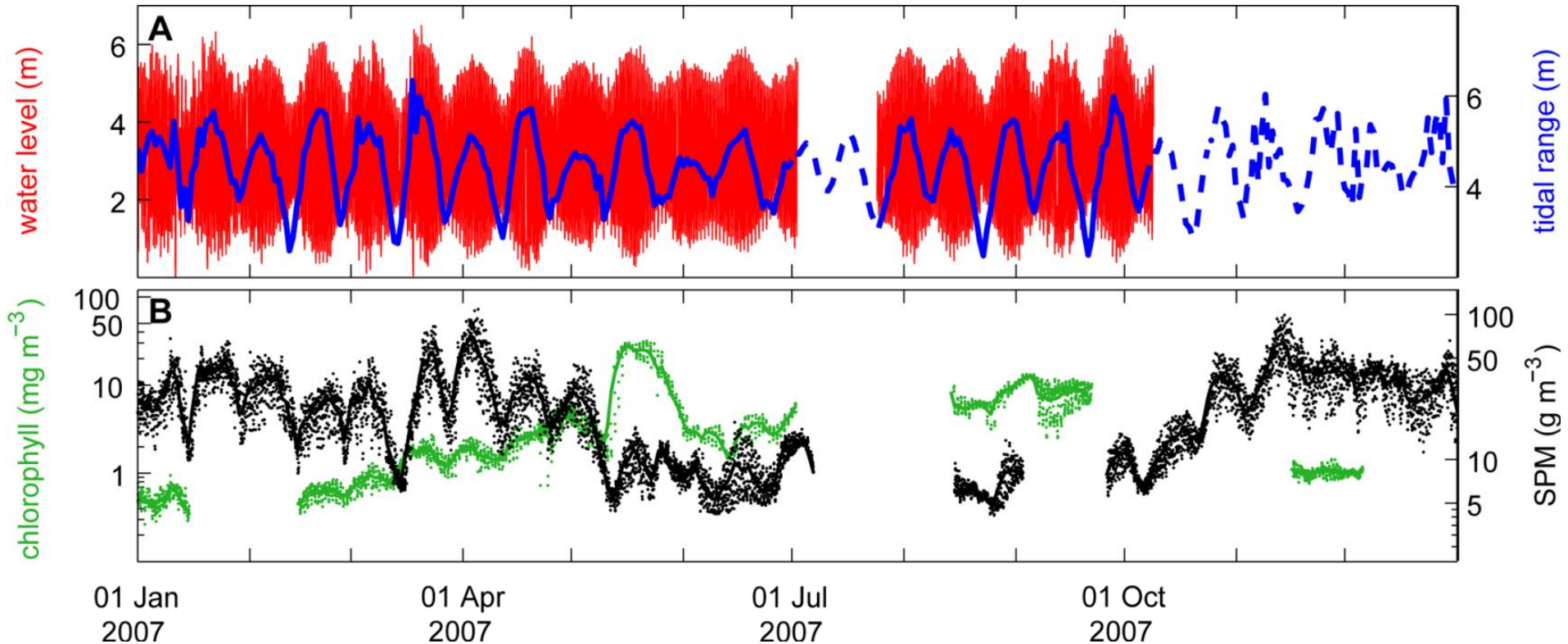
# Fytoplankton fluctuaties in de Noordzee: veldmetingen



- Chlorofyl is een maat voor fytoplankton biomassa
- SPM (Suspended Particulate Matter) is zwevend stof



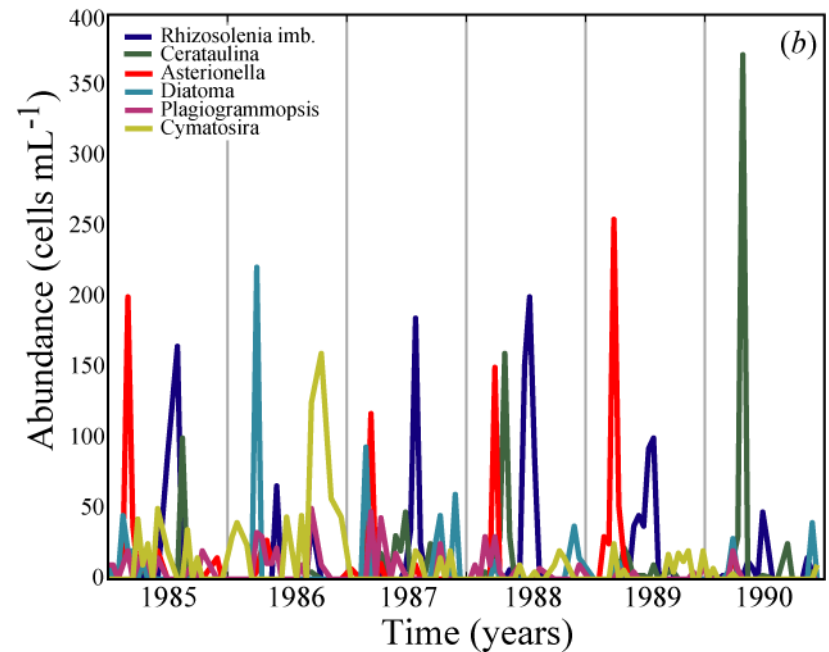
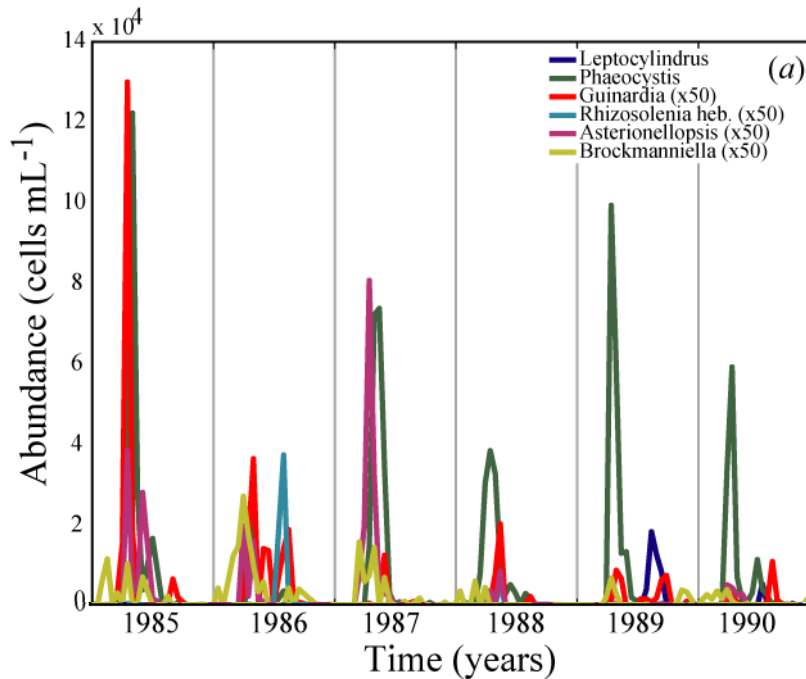
# Fytoplankton fluctuaties in de Noordzee: effect van getij



Conclusie: Algen zinken naar beneden als het water niet hard stroomt (bij dood tij), en wervelen weer op als het water harder heen en weer gaat stromen (bij springtij)



# Soortensamenstelling veldmetingen



Wekelijkse metingen van fytoplanktonsoorten bij Texel

Zien er chaotisch uit, maar chaos is in deze tijdserie (nog) niet aangetoond

# Fytoplankton fluctuaties in veldmetingen

- niet alleen door groei en sterfte
- maar ook door horizontale en verticale bewegingen

# Conclusies:

- Chaos leidt ook onder veranderende omgevingscondities tot lange termijn onvoorspelbaarheid van populaties;
- Individuele soorten minder voorspelbaar dan totale biomassa;
- Onder veldcondities worden fluctuaties veroorzaakt door een combinatie van externe factoren en intrinsieke voedselwebinteracties.

# Populaties zijn op langere termijn onvoorspelbaar

Is dat erg?



# Waarom zou je populaties willen voorspellen?

- Doelstellingen milieubeleid worden getoetst op aantallen van doelsoorten
- Visquota worden berekend uit bemonsteringen in het voorjaar
- Voorkomen gevolgen van giftige algenbloeien
- .....?

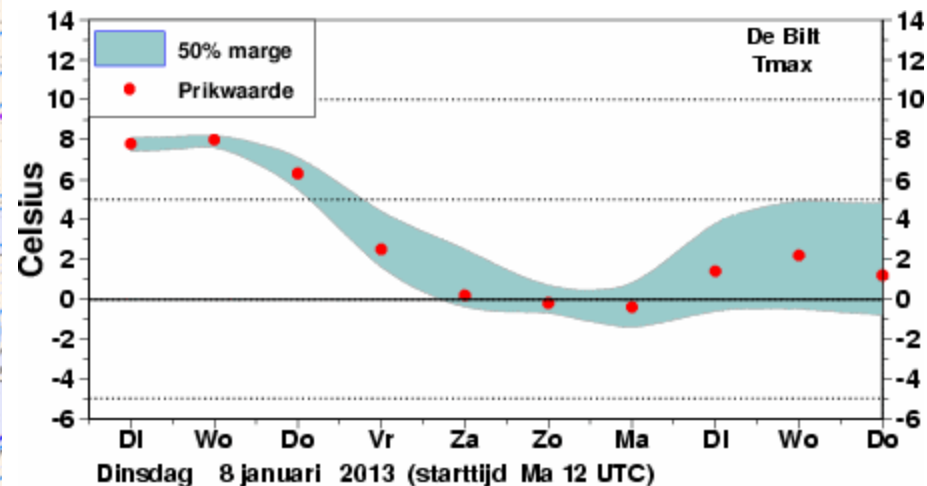
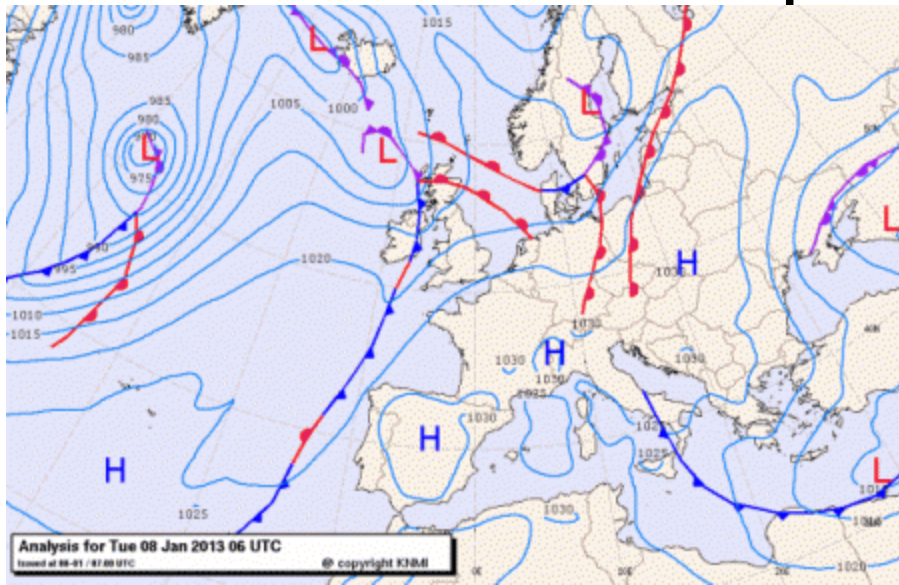




# Hoe kun je omgaan met onvoorspelbaarheid?

Aanpak in weersvoorspellingen:

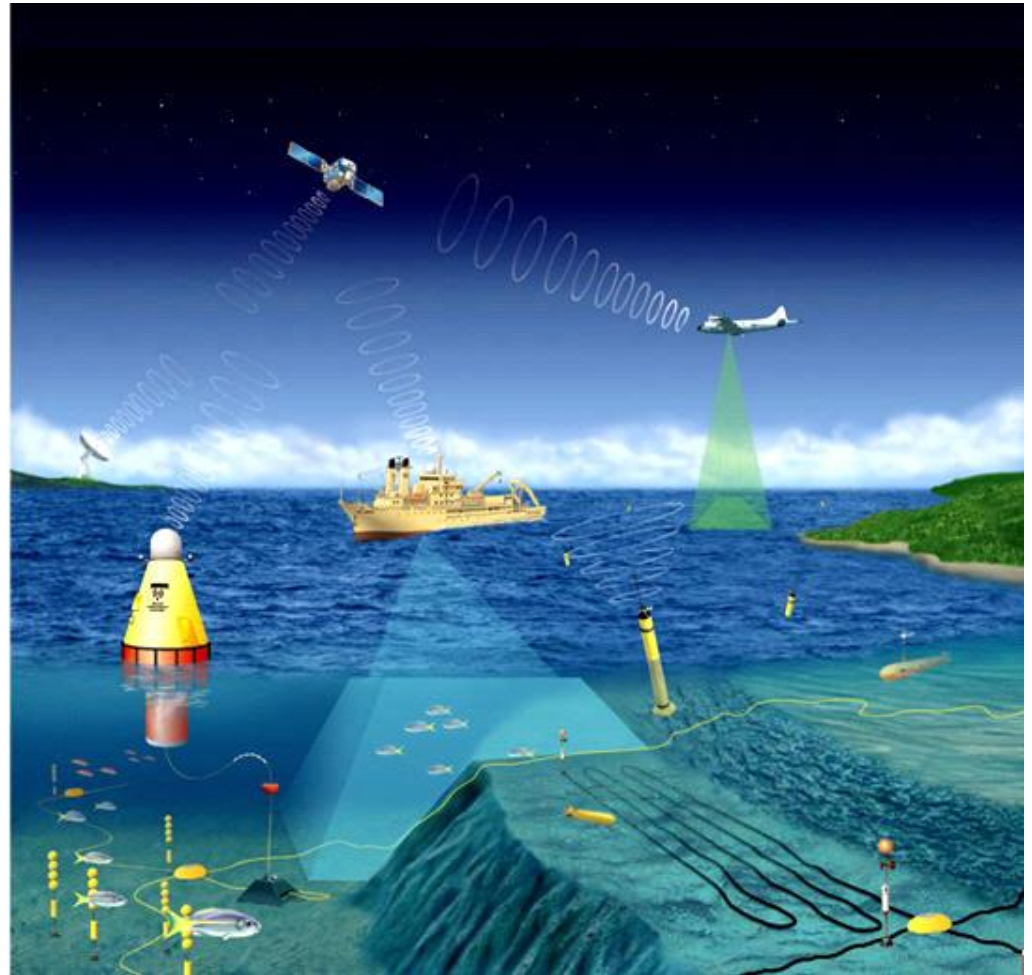
- Heel veel metingen doen
- Model updaten met nieuwe metingen
- Kort vooruit voorspellen





# Hoe kun je omgaan met onvoorspelbaarheid?

- Zelfde als in weersvoorspellingen? (bijv. NOAA)
- Geen beleidsdoelstellingen maken voor onvoorspelbare populaties?
- Anders?



# TAKE HOME MESSAGE



Zelfs als we alle interacties tussen  
soorten en hun omgeving perfect  
zouden kennen,

dan nog zouden we de ontwikkeling van  
populaties op de langere termijn niet  
kunnen voorspellen

# Discussie

- Hoe kun je een interessante biologische maken over chaostheorie?



**Met dank aan:**

Jef Huisman, Reinhard Heerkloss,  
Klaus Jöhnk, Pedro Branco,  
Marten Scheffer, Egbert van Nes,  
Naomi Greenwood,  
Stephen Ellner, Vasilis Dakos,  
Katja Philippart and Remi Laane