# Denken in Systemen

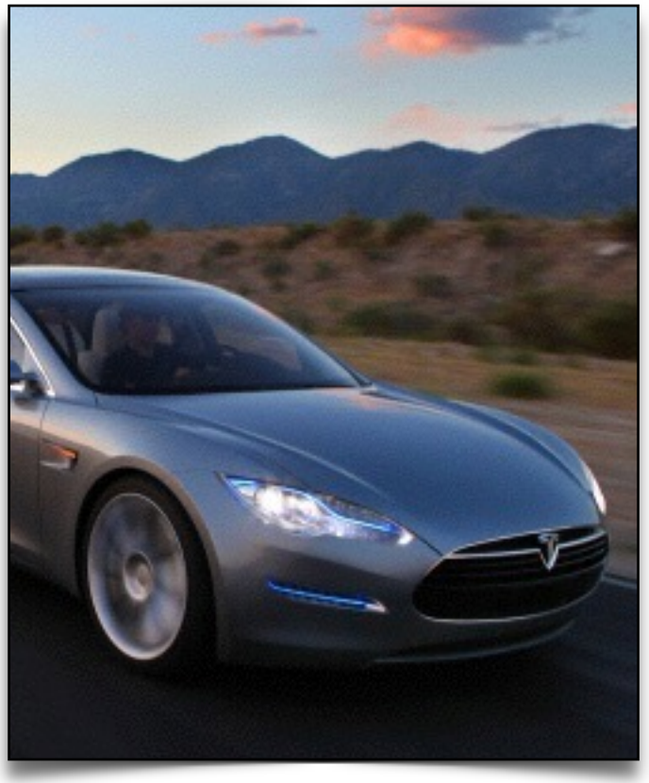
## oder:

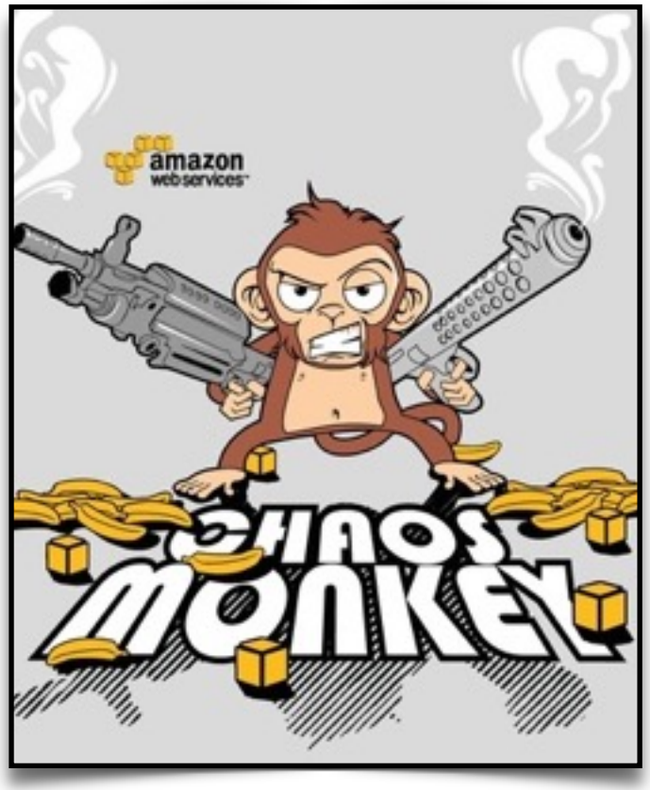
## Wie die Theorie ihre Unschuld verliert

Dr. Alexander Schatten

MASTER PERPETUAL HOURS
JAEGER-LECOULTRE

# Agenda




amazon
web services
CHAOS
MONKEY

# Überraschungen (in komplexen Systemen)

# Wölfe im Yellowstone-Nationalpark

- 1995 werden nach 70 Jahren Wölfe wieder eingeführt
- Wölfe jagen Wild, dessen Population stark zugenommen hatte
- Noch wichtiger: Das Wild ändert seine Verhaltensweise und vermeidet offene Flächen
- Die Vegetation ändert sich dadurch erheblich (Espe, Weide, Pappel, …)
- Verschiedene Vogelpopulationen wachsen wieder
- Biber kommen wieder, dies führt zu Wachstum bei
- Otter, Enten, Bisamratten und verschiedene Kleintiere dadurch
- mehr Raubvögel
- Bären tragen zu der Systemänderung (mit den Wölfen) bei (Beeren…)
- In Folge ändern sich Flüsse (weniger Mäander, stabilere Ufer, weniger Erosion, mehr Teiche,
- **Die Einführung einer Spezies verändert ein gesamtes Ökosystem sowie die Geographie der Region**

# (Trophic Cascades)

- Wale und Fisch / Krill
- Korallenriffe / Papageifisch / Schwämme

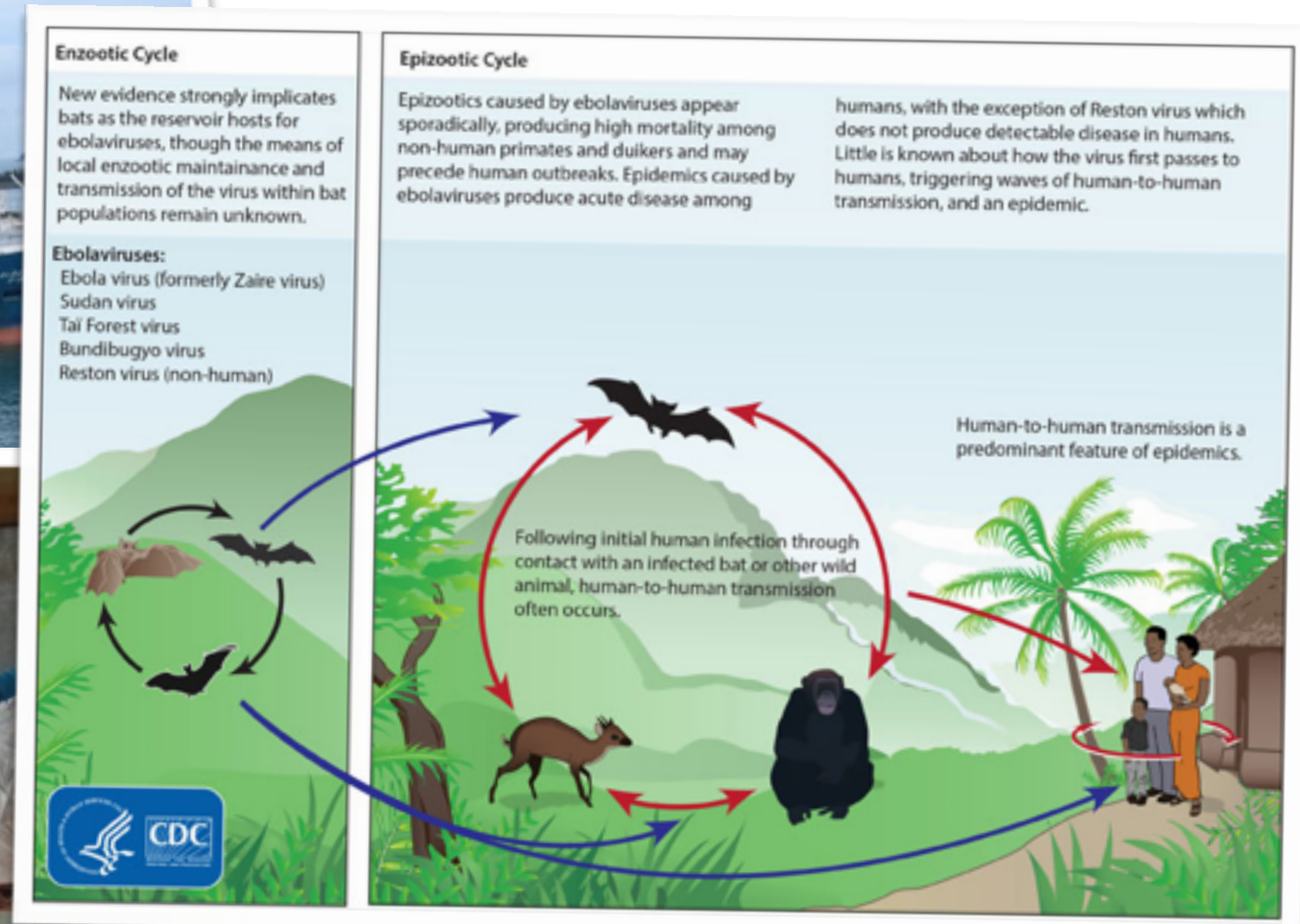
Runaway Cascades

- Elefanten / Savanne / Wüste
- Seeigel und Kelp –
  Seeotter hält Seeigel unter Kontrolle

Johan Rockström, Big World, Small Planet
http://www.nature.com/scitable/knowledge/library/trophic-cascades-across-diverse-plant-ecosystems-80060347
Ripple, Beschta, Trophic cascades in Yellowstone: The first 15 years after wolf reintroduction
Dobson, Yellowstone Wolves and the Forces That Structure Natural Systems

# Ebola in Westafrika?

Wikimedia Comm




Center for Disease Control

https://www.flickr.com/photos/121483302@N02/14632566347

# … und wer ist Schuld?

**Rupert Riedl – Umweltquiz** vor Ökologie-Studenten (70er, 80er Jahre)
aus: *Evolution und Erkenntnis (Piper, 1985)*.

Die Papierindustrie hat die Mur ruiniert:
**Wer ist Schuld?**

1. Der **Schleusenwärter** der Firma — er hat den Wasserhochstand nicht abgewartet. (Nun stieg ich in der Stufenleiter der Verantwortlichkeiten)
2. Der **Abteilungsleiter** — seine Direktiven waren zu wenig eindeutig
3. Der **Direktor** — er setzte die Priorität des Baus der Kläranlage nicht durch
4. Die **Besitzer der Anteilspapiere** — sie beeinflussen die Prioritätenliste
5. Die **Gewerkschaft** der Firma — sie setzen Vollbeschäftigung vor Kläranlagen
6. Die **Nachbarindustrie** — sie macht das gleiche Papier billiger
7. Die **deutsche Papierindustrie** — sie exportiert Papier noch billiger
8. Die **Konsumenten** — sie kaufen bei gleicher Qualität das billigere Papier
9. Die **Werbung** — sie empfiehlt stets bessere Qualität
10. Das **Handelsministerium** — es errichtet keine Schutzzölle
11. Die **EG** — sie nimmt uns bei Schutzzöllen Landwirtschaftsprodukte nicht ab. (Nun stieg ich wieder ab)
12. Das **Bautenministerium** — es soll statt Straßen Umweltanlagen fördern
13. Die **Gewerkschaften** — sie drängen auf Straßenbau (wegen der Pendler)
14. Der **Schleusenwärter** — er unterstützt die Gewerkschaft

**Die meisten Studenten hatten kein Problem einen "Schuldigen" anzugeben.**

"Diese Art *instinktiver Simplifikation* komplexer Ursachenzusammenhänge hat natürlich unsere ganze Zivilisation geprägt. Und so wird der Mangel an Instinkt von den Institutionen dieser Zivilisation nur noch verstärkt und gerechtfertigt."

**"Der menschliche Verstand ist nicht dazu geschaffen, komplexe Systeme zu verstehen"**

# Einen Schritt zurück – System? Nicht-linear? Komplex?

# Was ist ein System?

"A system is a set of things-people, cells, molecules, or whatever-interconnected in such a way that they produce their own pattern of behaviour over time."

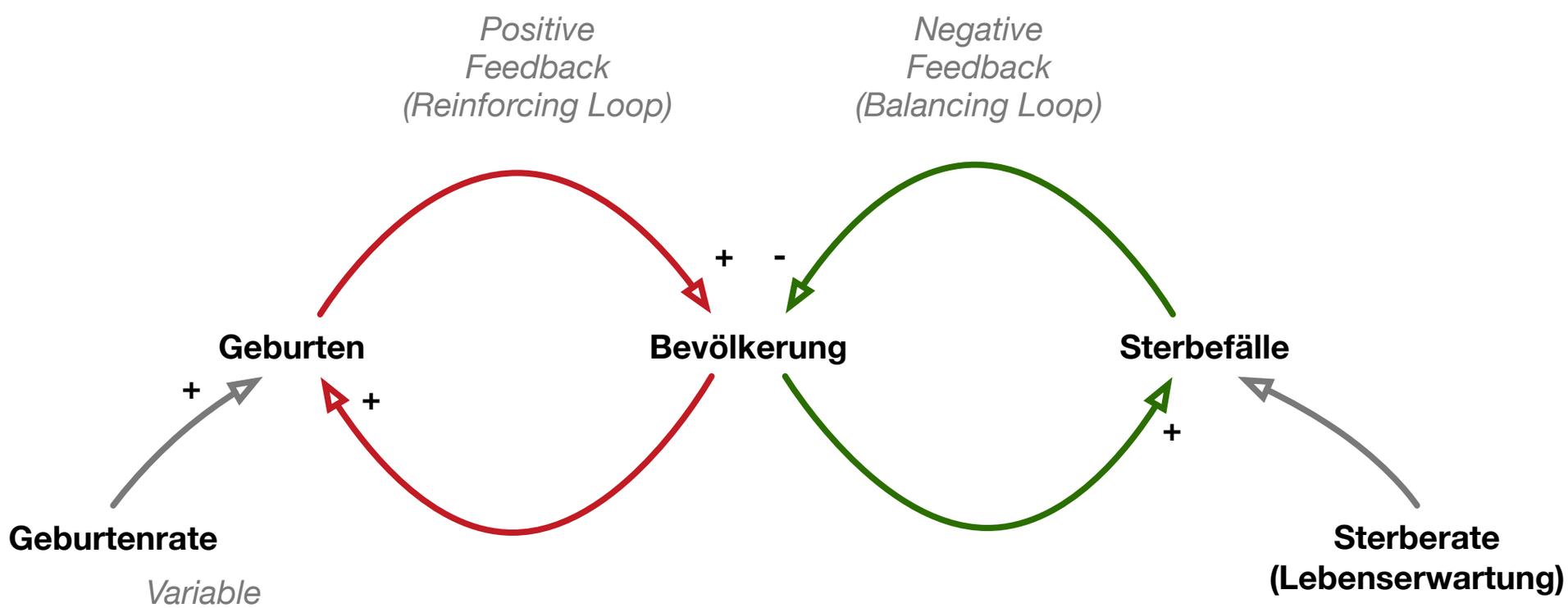
Donella Meadows, Thinking in Systems

"Ein System ist eine Menge von Dingen – Menschen, Zellen, Moleküle, oder was auch immer – verbunden in einer Weise, dass sie ein eigenständiges Verhalten über die Zeit entwickeln."

# Feedback-Schleifen

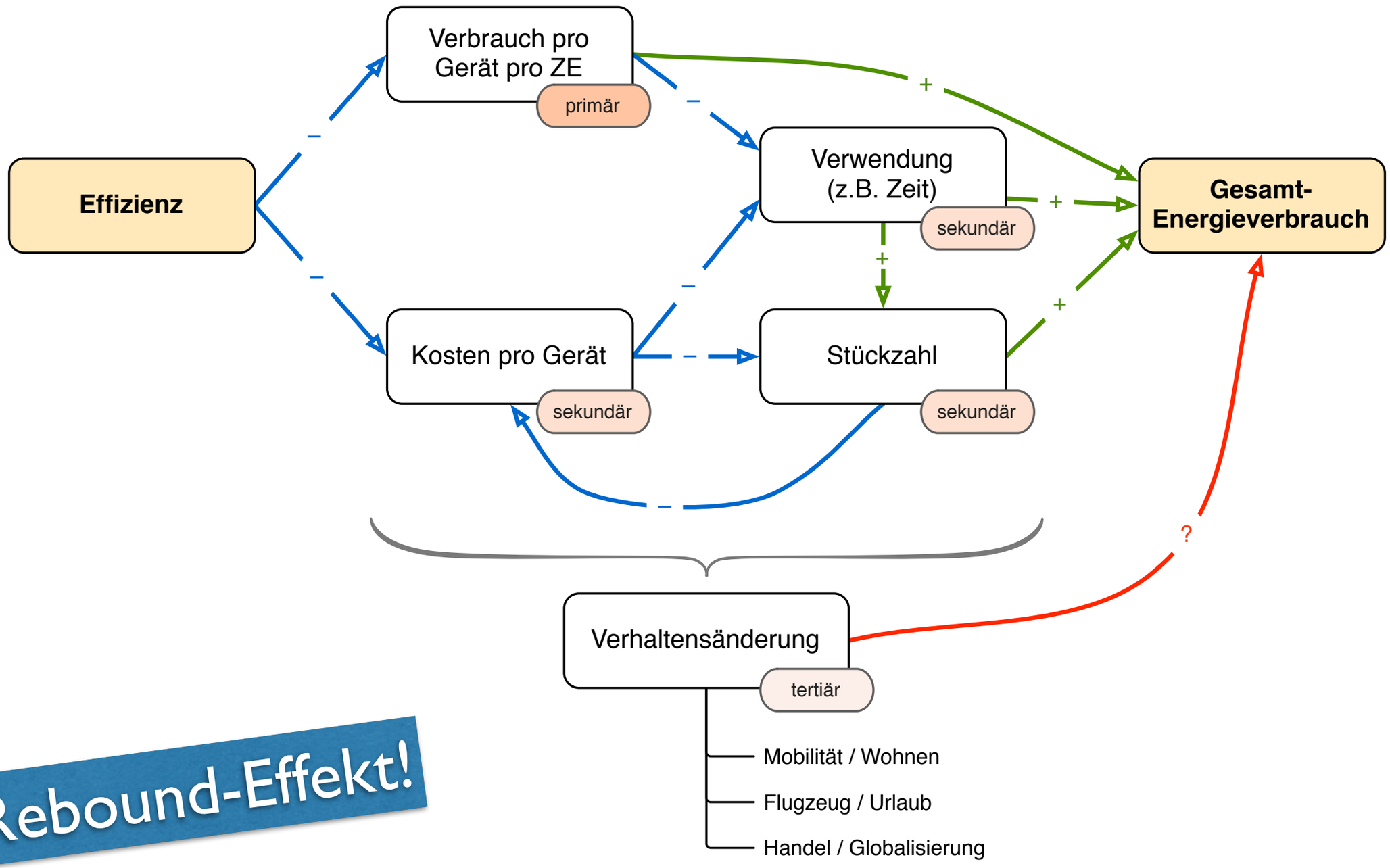
**Geburten**

**Bevölkerung**

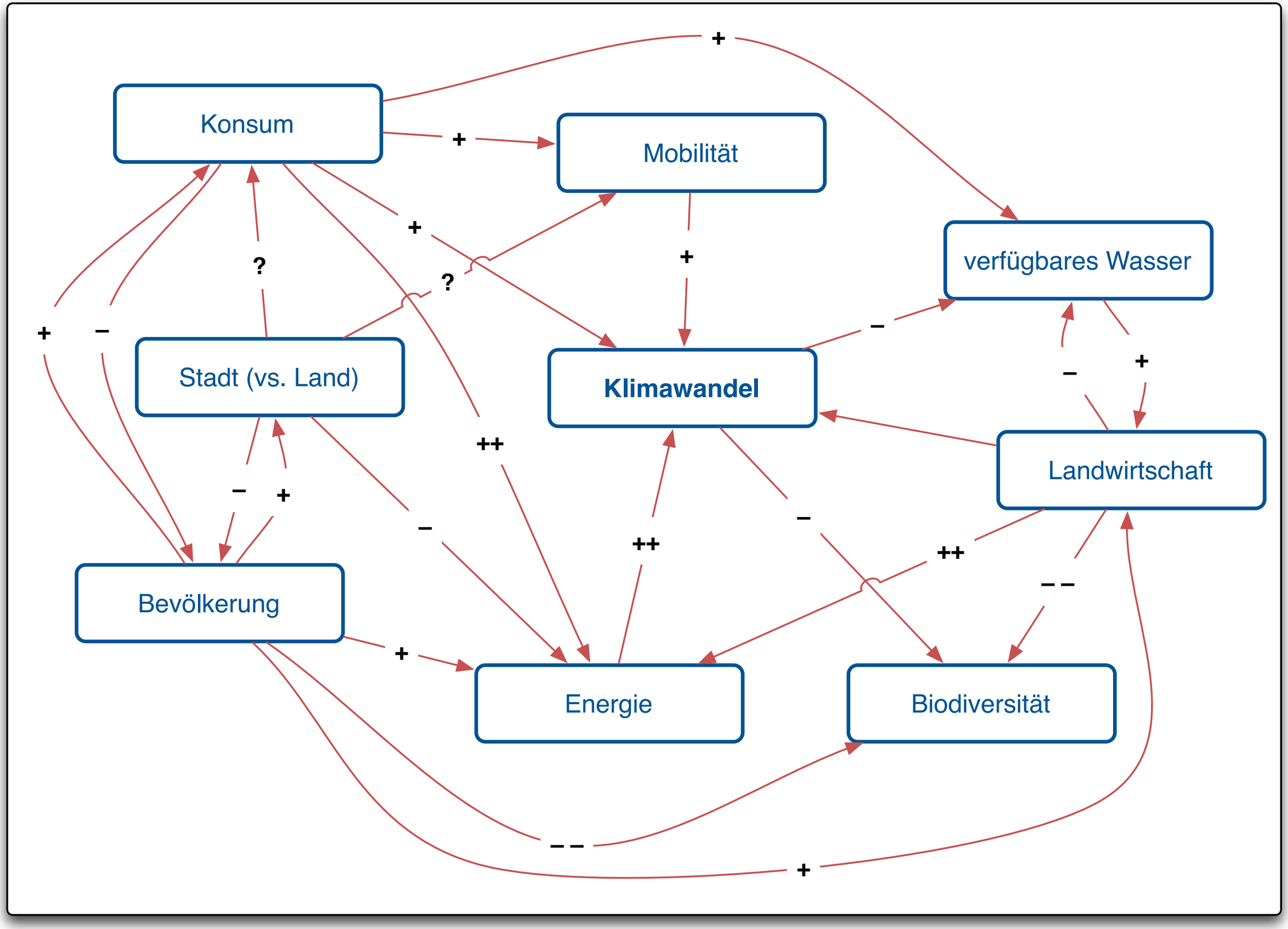

Positive
Feedback
(Reinforcing Loop)
Negative
Feedback
(Balancing Loop)
+
-
Geburten
Bevölkerung
Sterbefälle
+
+
+
Geburtenrate
Variable
Sterberate
(Lebenserwartung)

# System-Maps

Wie wirkt sich die Effizienz
(von Geräten) auf den
Gesamt-Energieverbrauch aus?

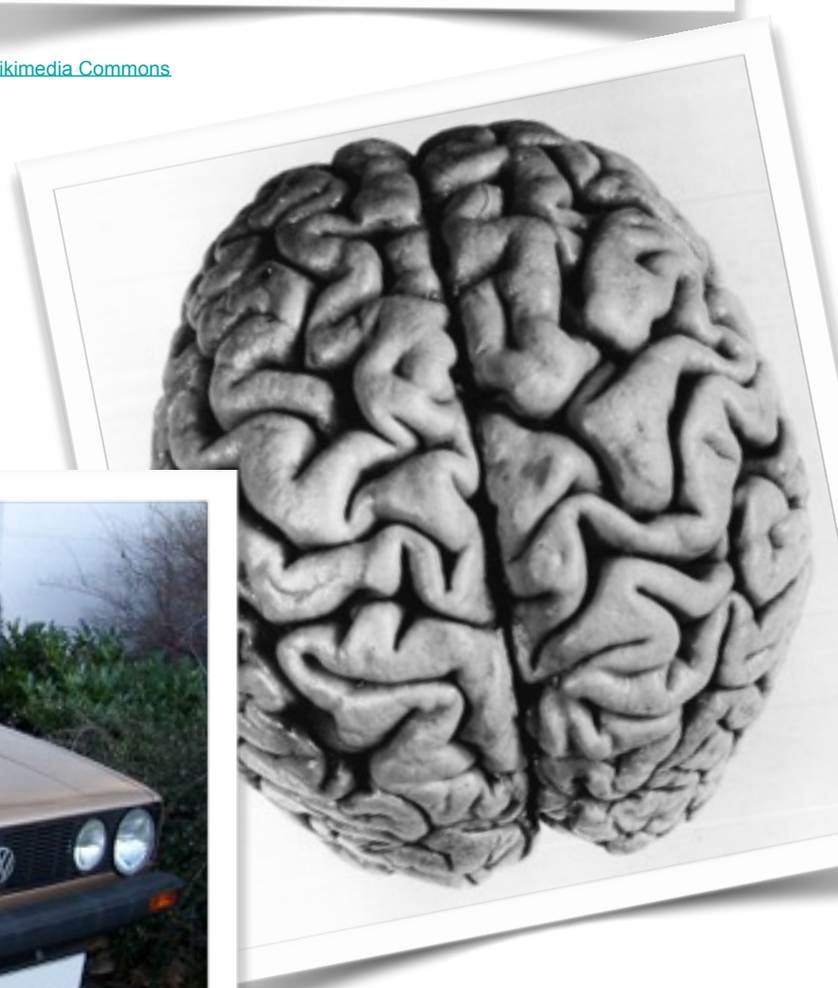


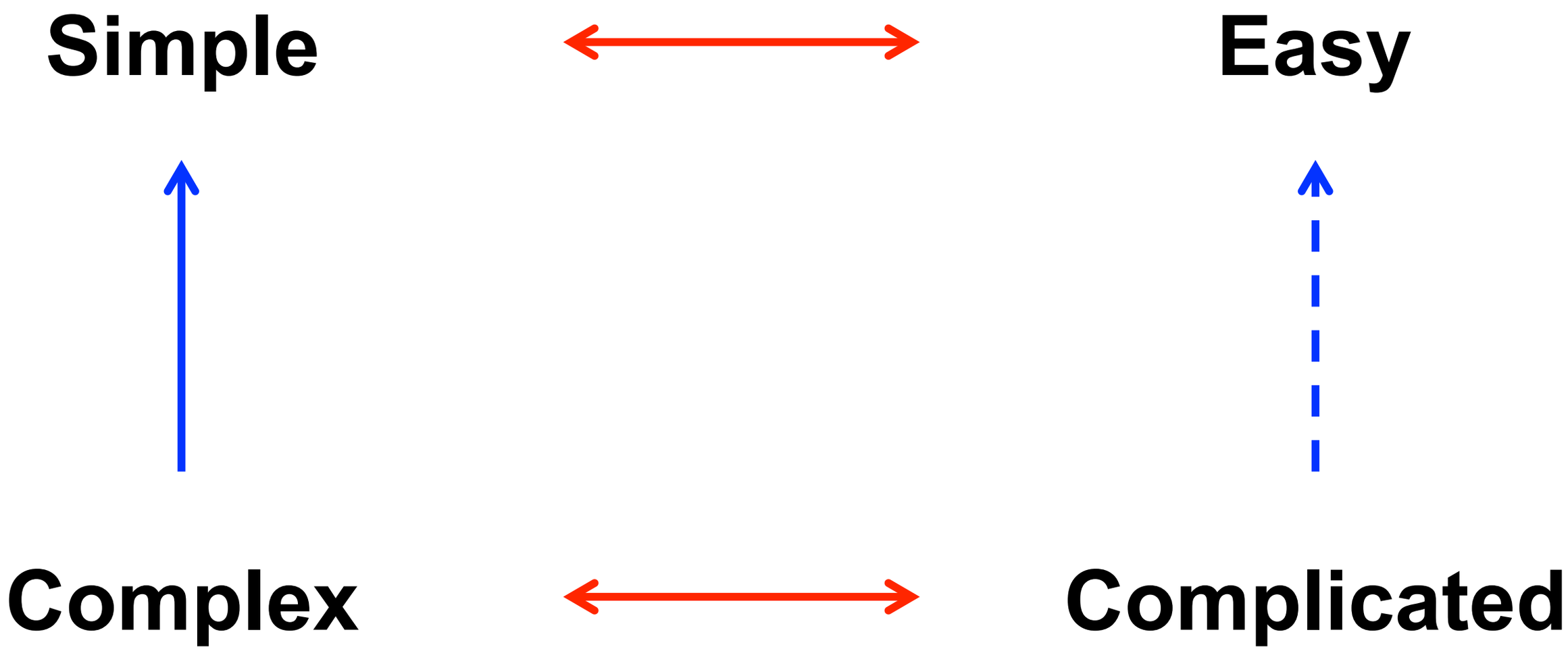

Rebound-Effekt!

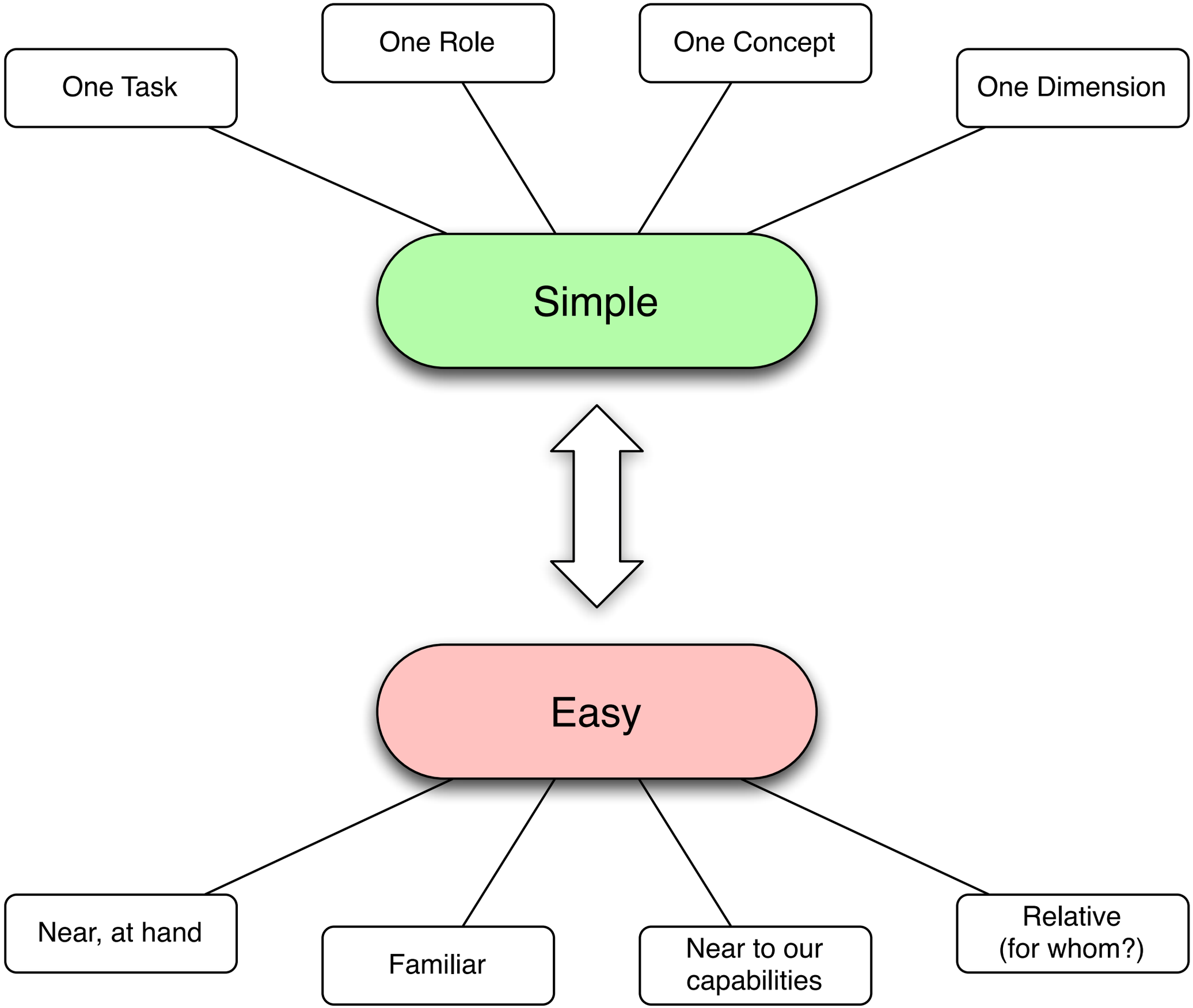

Konsum
Mobilität
verfügbares Wasser
Stadt (vs. Land)
Klimawandel
Landwirtschaft
Bevölkerung
Energie
Biodiversität
+
+
+
+
?
?
+
−
−
+
−
+
−
++
−
++
++
− −
− −
+

# Komplex?
# Kompliziert?

Wikimedia Commons




Simple
Easy
Complex
Complicated


One Task
One Role
One Concept
One Dimension
Simple
Easy
Near, at hand
Familiar
Near to our capabilities
Relative (for whom?)

“Angry Birds”

“Mensch ärgere dich nicht”

## Easy + Simple

“Ein Imbiss-Stand”

Raumsonde (Bahn)

Flugverkehr

## Complicated + Simple

Spieluhr, mechanische Uhr

Internet Dienste (Soll!)

Auto (1970)

Auto (heute)

Internet Dienste (häufig)

“Massive Multiplayer Online Games”

“Dame/Schach”

## Easy + Complex

Systemgastronomie (Lieferkette)

System der Imbiss-Stände einer Stadt

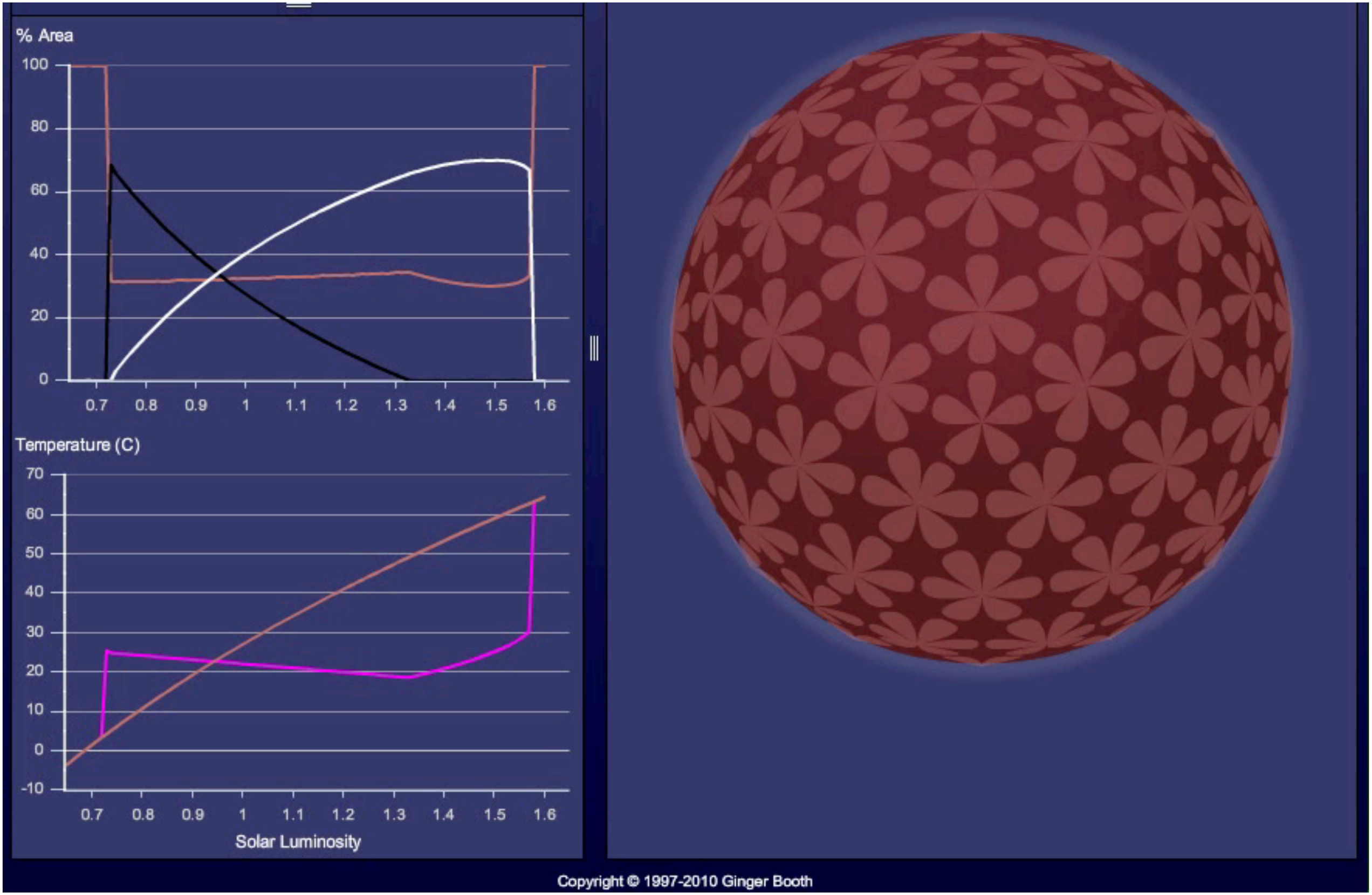
Kernkraftwerk (alt)

Finanzsystem

## Complicated + Complex

Klimasystem(e)

Ökosystem(e)


% Area
100
80
60
40
20
0
0.7
0.8
0.9
1
1.1
1.2
1.3
1.4
1.5
1.6
Temperature (C)
70
60
50
40
30
20
10
0
-10
0.7
0.8
0.9
1
1.1
1.2
1.3
1.4
1.5
1.6
Solar Luminosity
Copyright © 1997-2010 Ginger Booth

# Komplexe Systeme sind

- **Interdependent**, das heißt das isolierte Betrachten von Teilen hilft nicht das System-Verhalten zu verstehen und die Bedeutung der Teile sind nicht ohne Betrachtung des Systems zu verstehen
    - zeitliche Interdependenz (eine Variable abhängig von ihrer Vergangenheit)
    - horizontale Interdependenz (zwischen Variablen)
    - diagonale Interdependenz (eine V abhängig von der Vergangenheit anderer)
- Folge von **Interaktionen** zwischen vielen Teilen / Mehrfachverknüpfung / Rückkopplungsschleifen
- **dynamische** Netzwerke
- **nicht** durch "Formel" **vorhersagbar**
- oft **Systeme von Systemen** (z.B. Ökologie, Weltwirtschaft)

*"In the complex world, the notion of '**cause**' itself is suspect.; it is either nearly impossible to detect or not really defined.", Taleb (siehe Beispiel Rupert Riedl)*

# Komplexe Systeme verhalten sich…

- Folgen Attraktoren daher:
  - “Selbst-Heilend” (bis zu einem bestimmen Ausmaß!)
  - Sie “lieben” Zufall (kleine Änderungen)
  - Benötigen Ruhe nach Stress
- Ursache und Wirkung sind nicht durch einfache Zusammenhänge gegeben
- Schadhafte Komponenten lassen sich nicht leicht austauschen
- Zeigen unerwartetes Verhalten
- Wenn sie über bestimmte Grenzen (“Tipping Points” / Kippschalter) geschoben werden, kann Verhalten sich schlagartig ändern (neuer Attraktor, runaway etc.)

# Was ist neu?

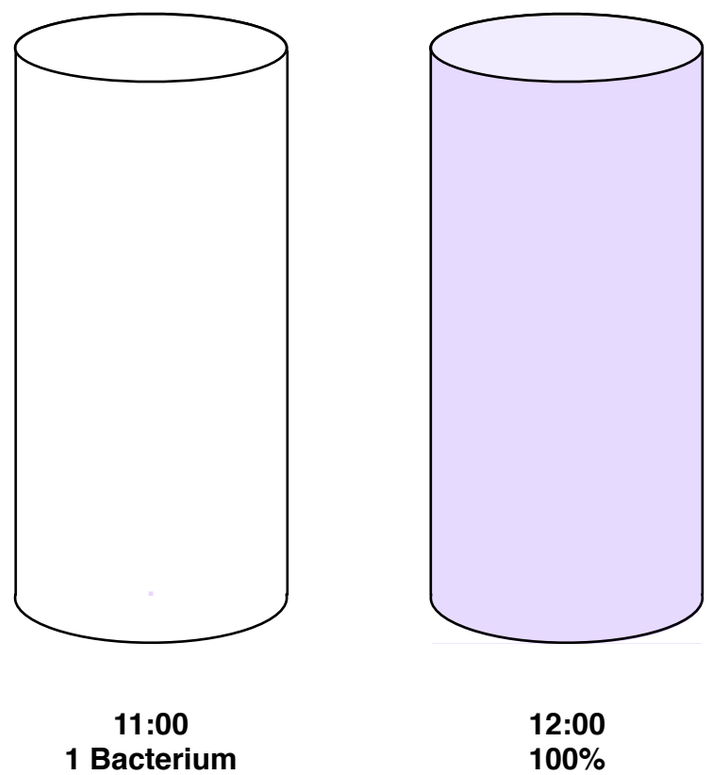
# Reduktionismus vs. Systemdenken

# Warum ist das alles wichtig (für mich)?

Fast alle interessanten bzw. für uns relevanten Prozesse sind systemisch und komplex (oder drohen es zu werden)

Fast alle modernen Technologien, vor allem Informations- und Kommunikationstechologien tragen zur Erhöhung der Komplexität bei

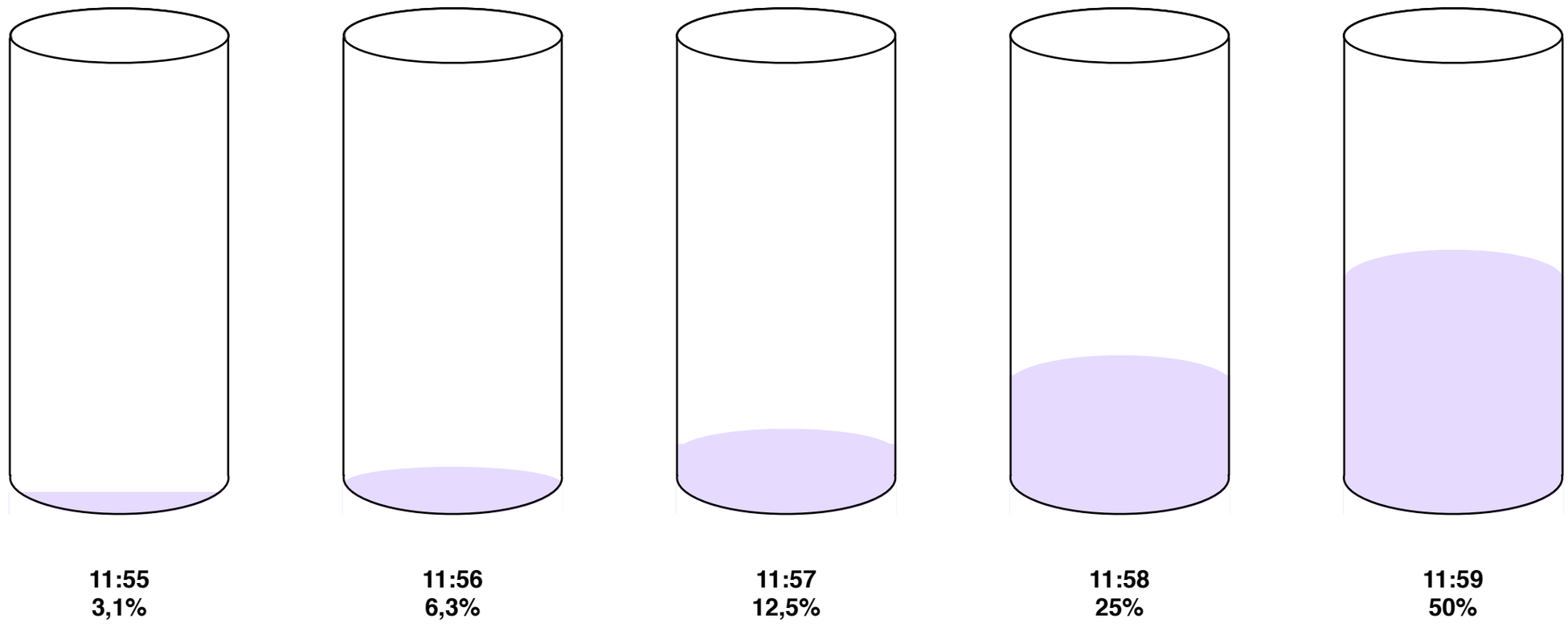
# Albert A. Bartlett




- bacteria growing steadily in a bottle
- double in number every minute
- at 11:00 one bacterium in the bottle
- at 12:00 bottle is full

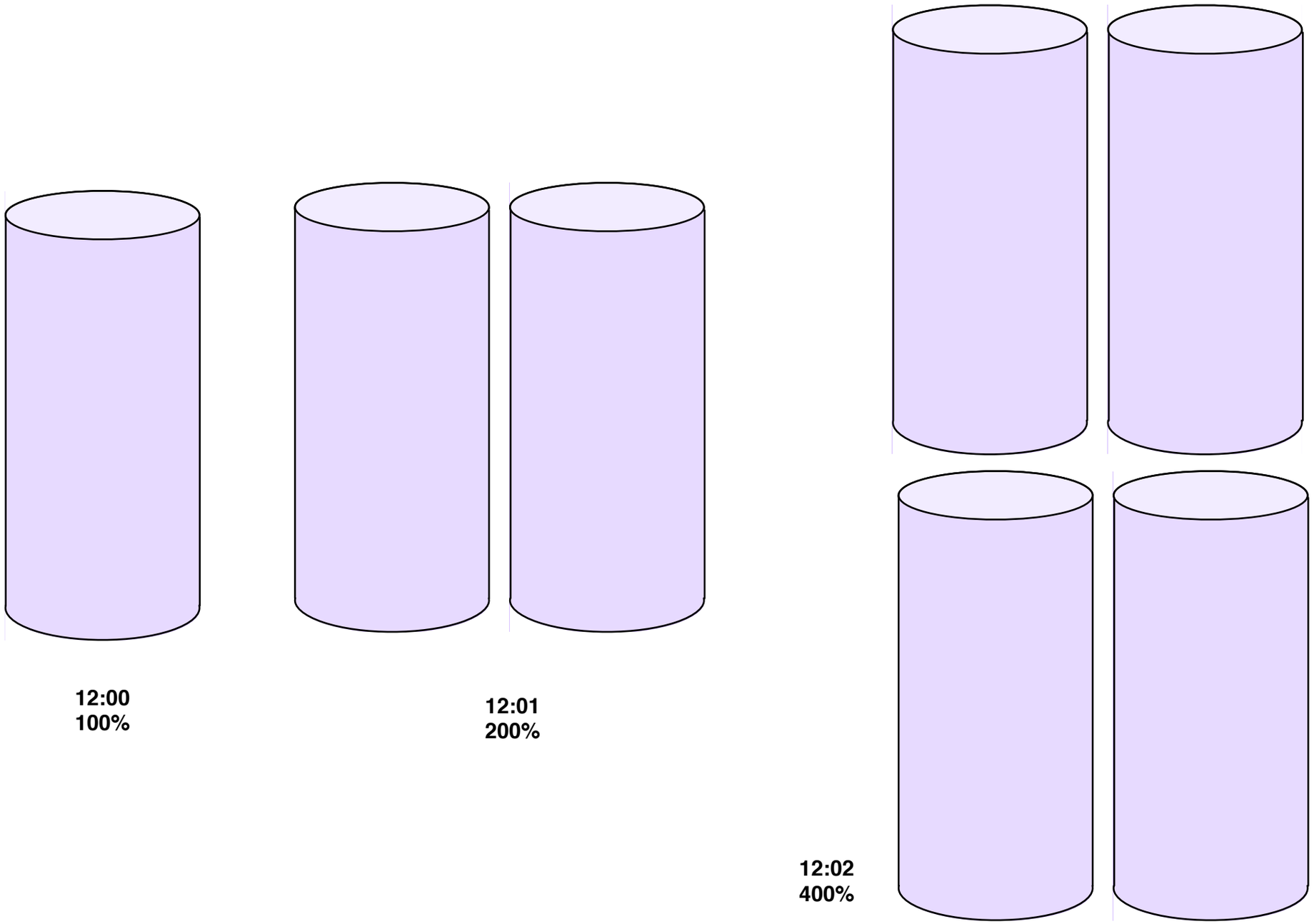
**At what time is bottle half full?**

**At what time would an average bacterium realise that they are running out of space?**

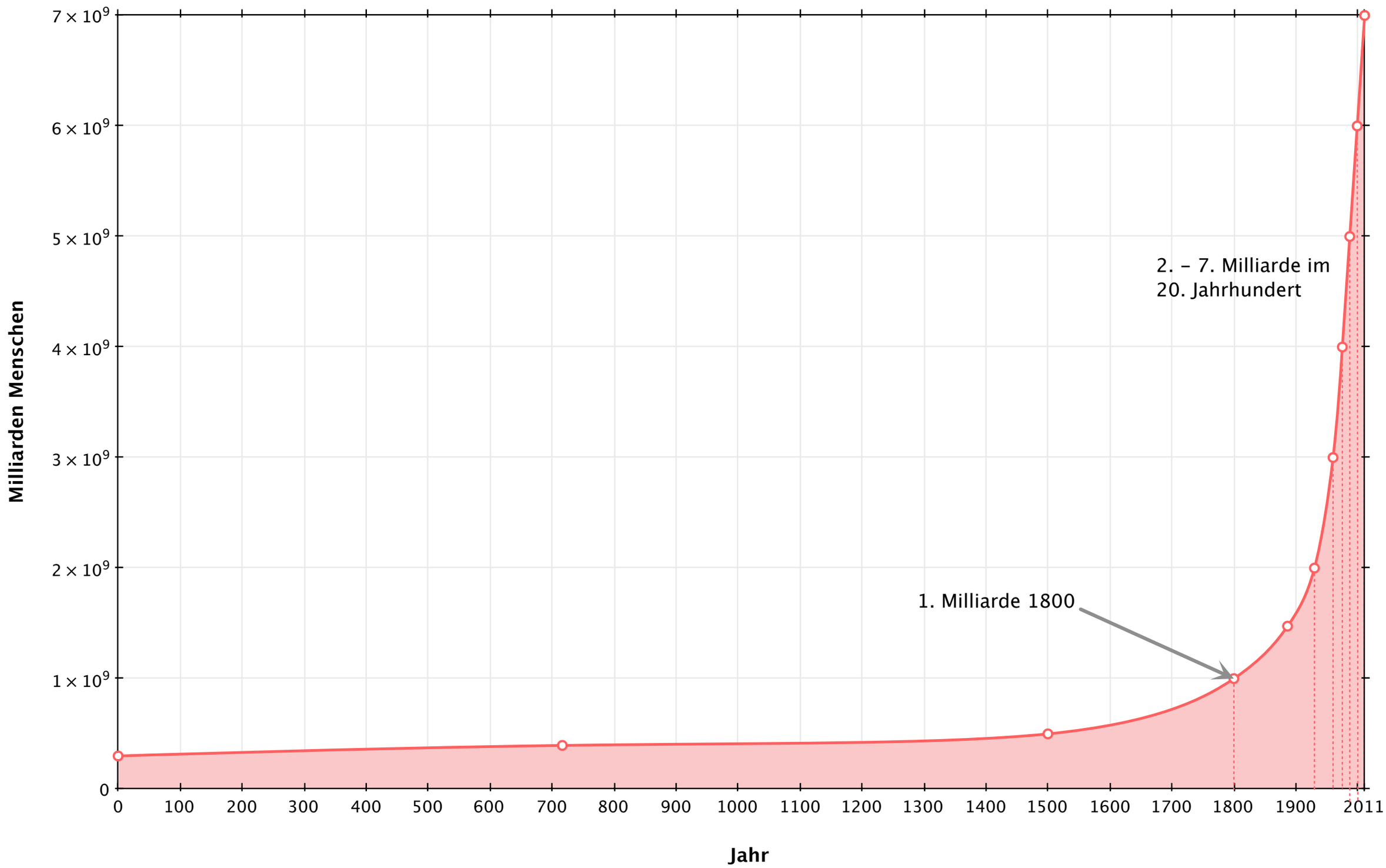



Now imagine: bacteria make expedition and **find three new bottles. Colossal discovery! Three times the resources they knew about.**

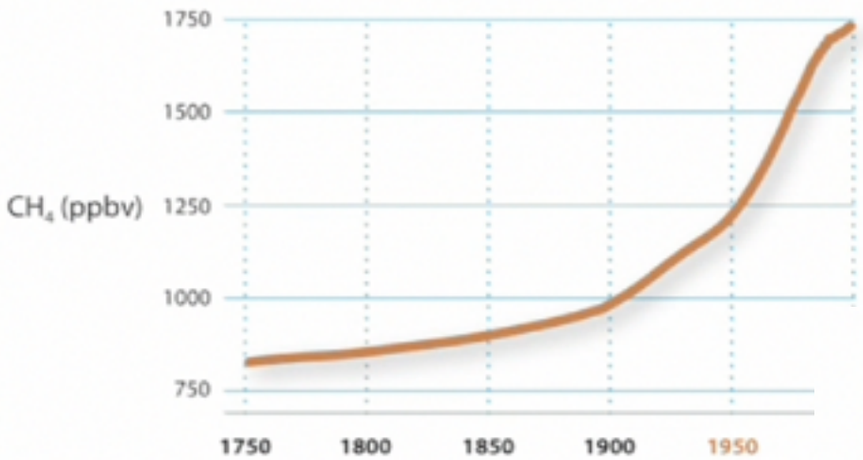
**How long can the growth continue as a result of the discovery of three new bottles?**


12:00
100%
12:01
200%
12:02
400%

# Exponentielles Wachstum: oft eine Folge komplexer Interaktionen und schwer in den Griff zu bekommen

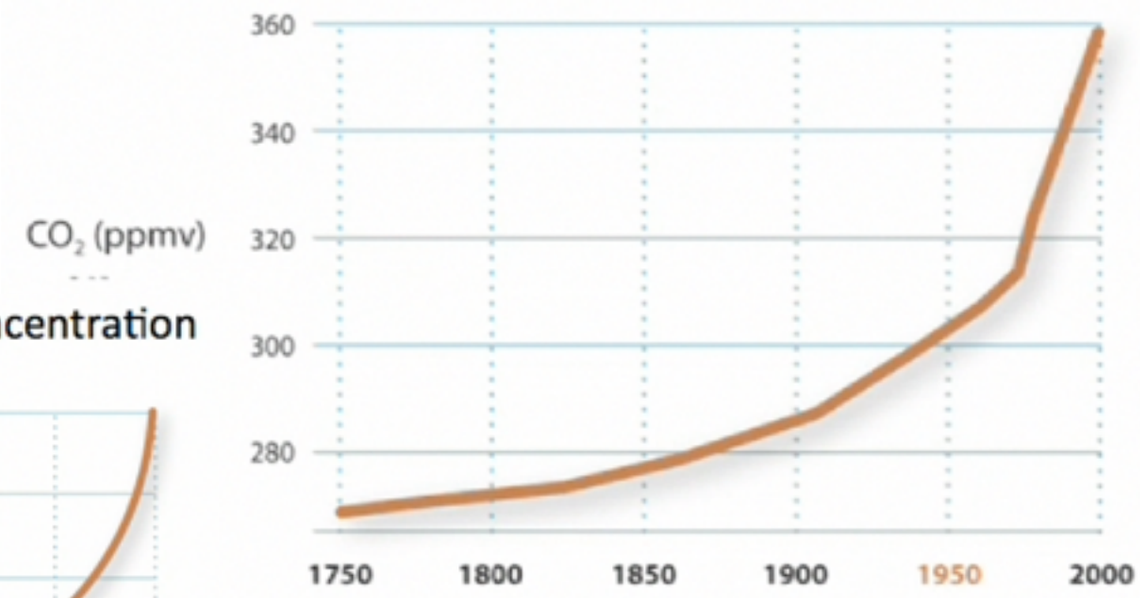


## Atmospheric $CH_4$ concentration



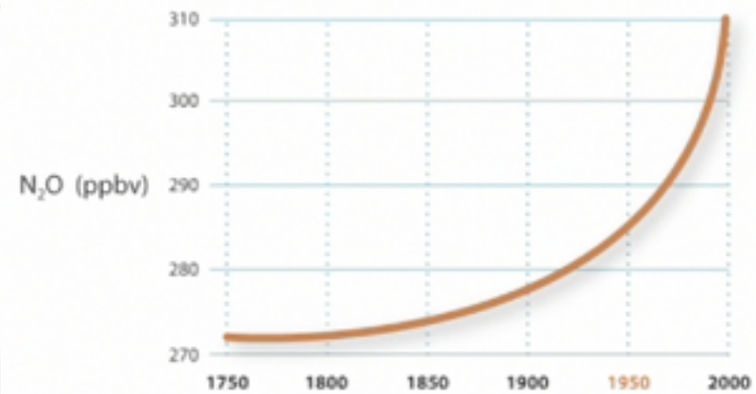

Blunier et al J Geophy Res 20: 2219-2222

## Atmospheric $CO_2$ concentration



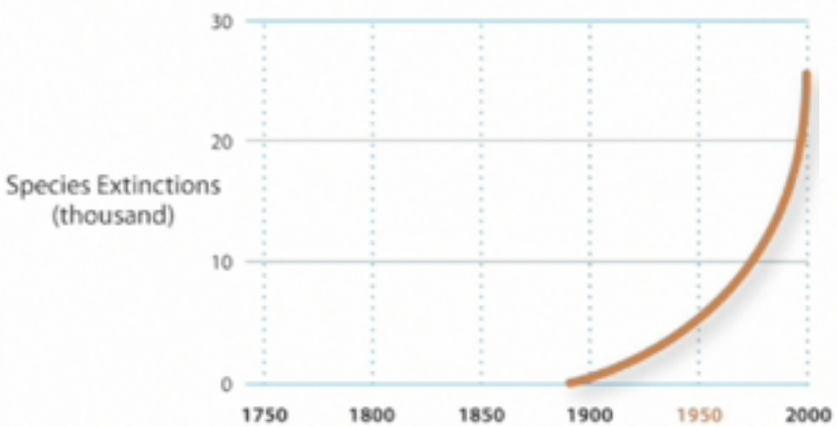

Etheridge et al. Geophys Res 101: 4115-4128

## Atmospheric $N_2O$ concentration



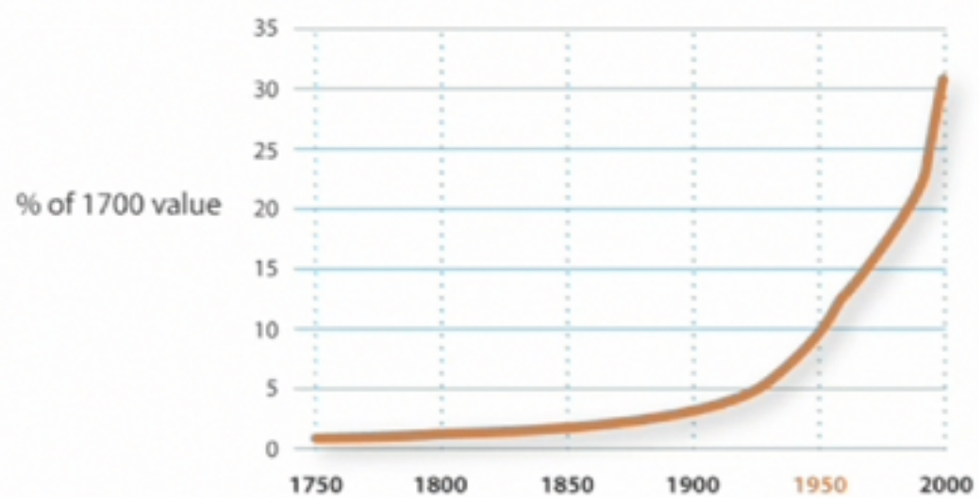

Machida et al Geophys Res Lett 22:2921-2925

## Species extinctions



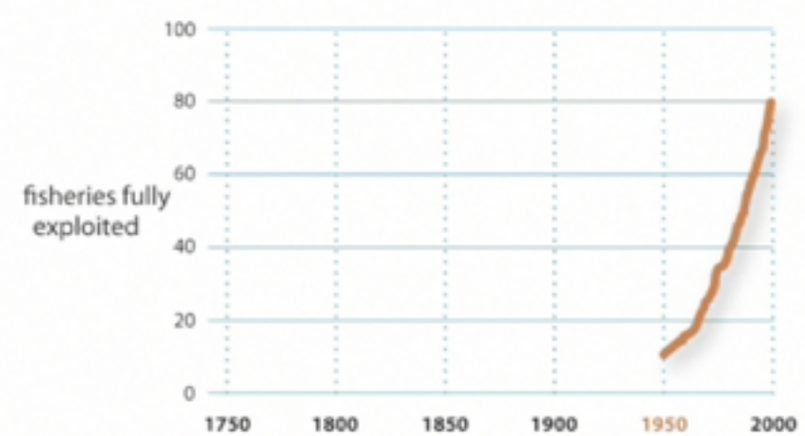

Wilson, the Diversity of Life.

## Tropical rainforest and woodland loss



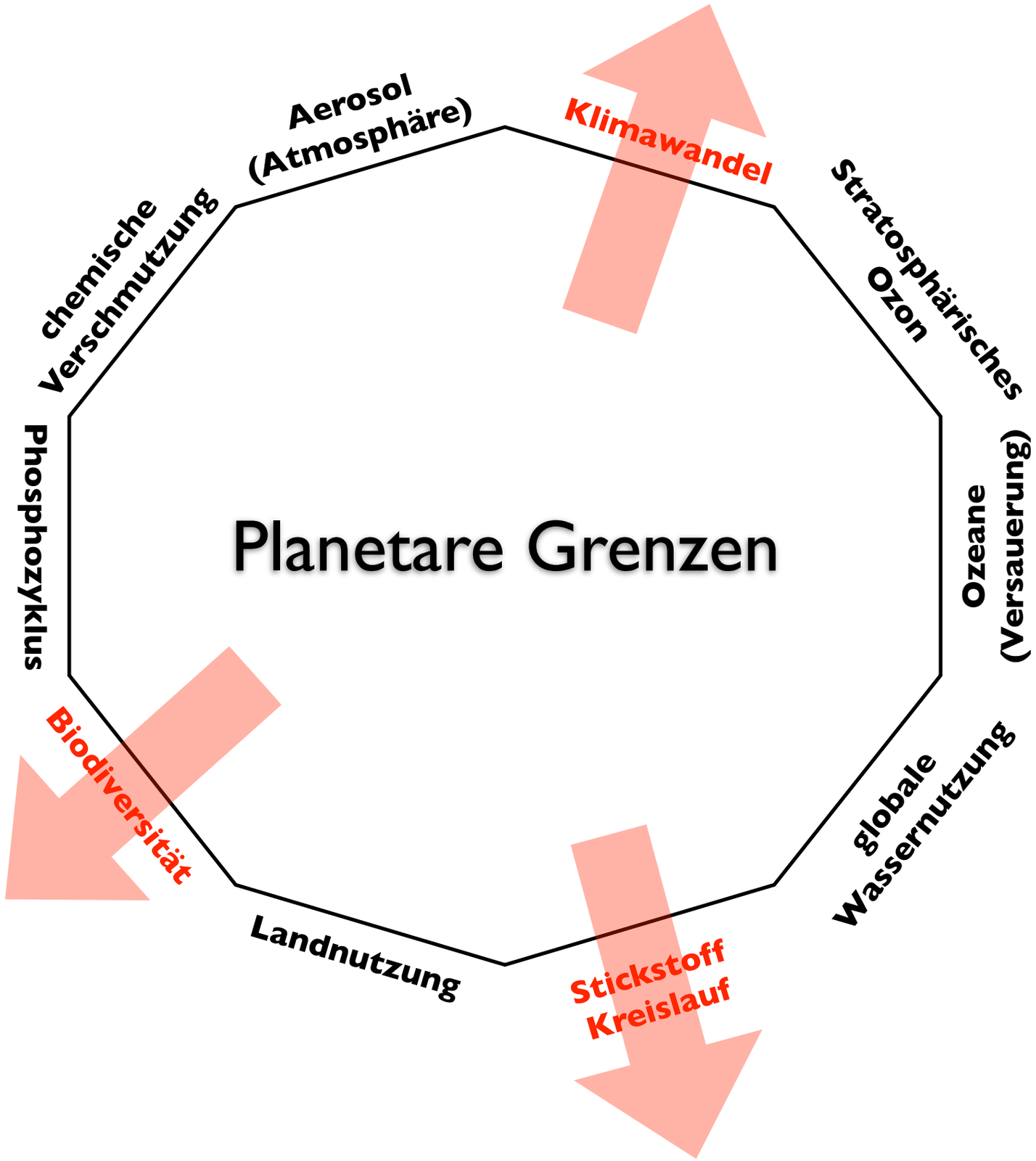

Richards, the Earth as transformed by human action, Cambridge University Press

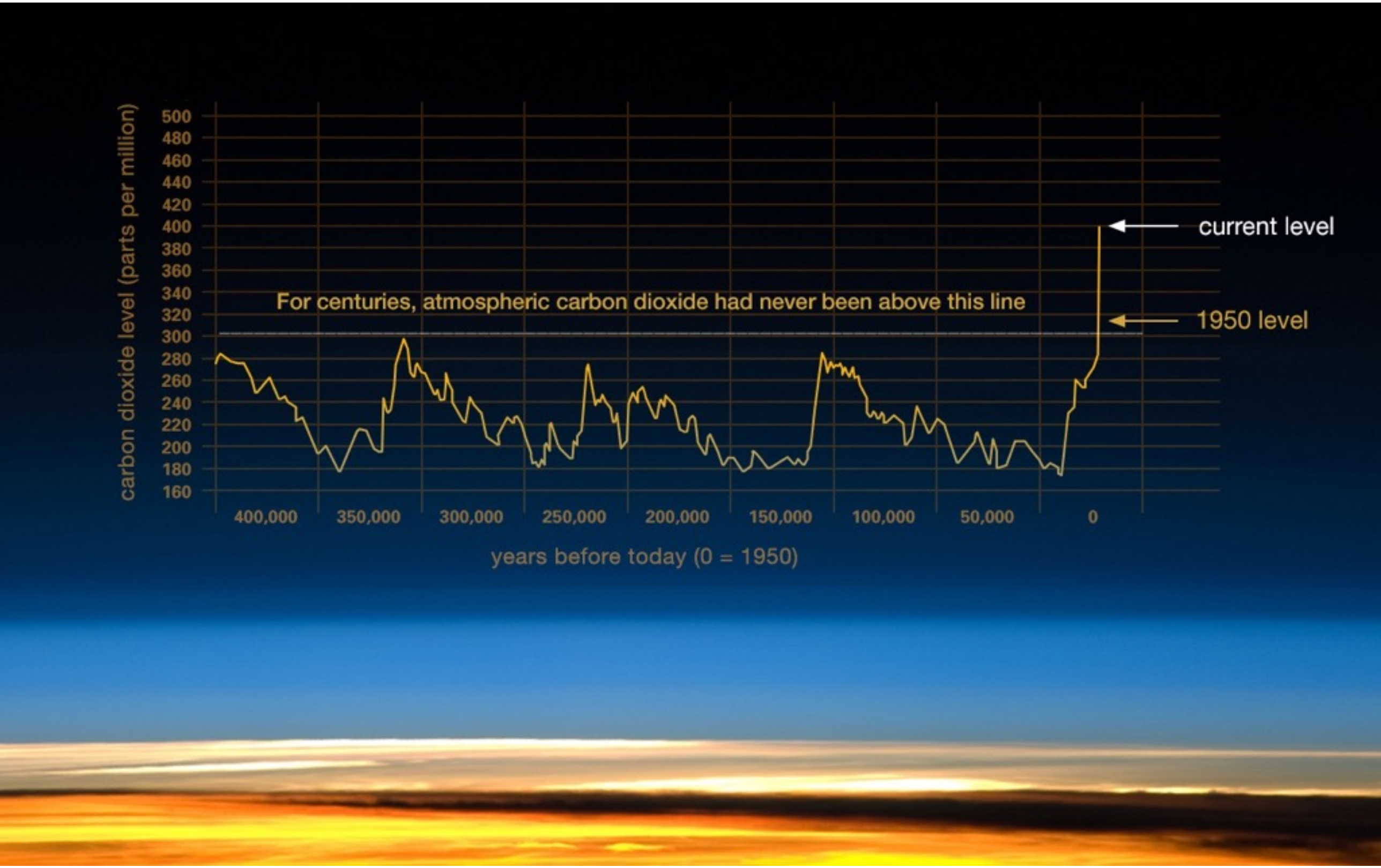
## Ocean ecosystems



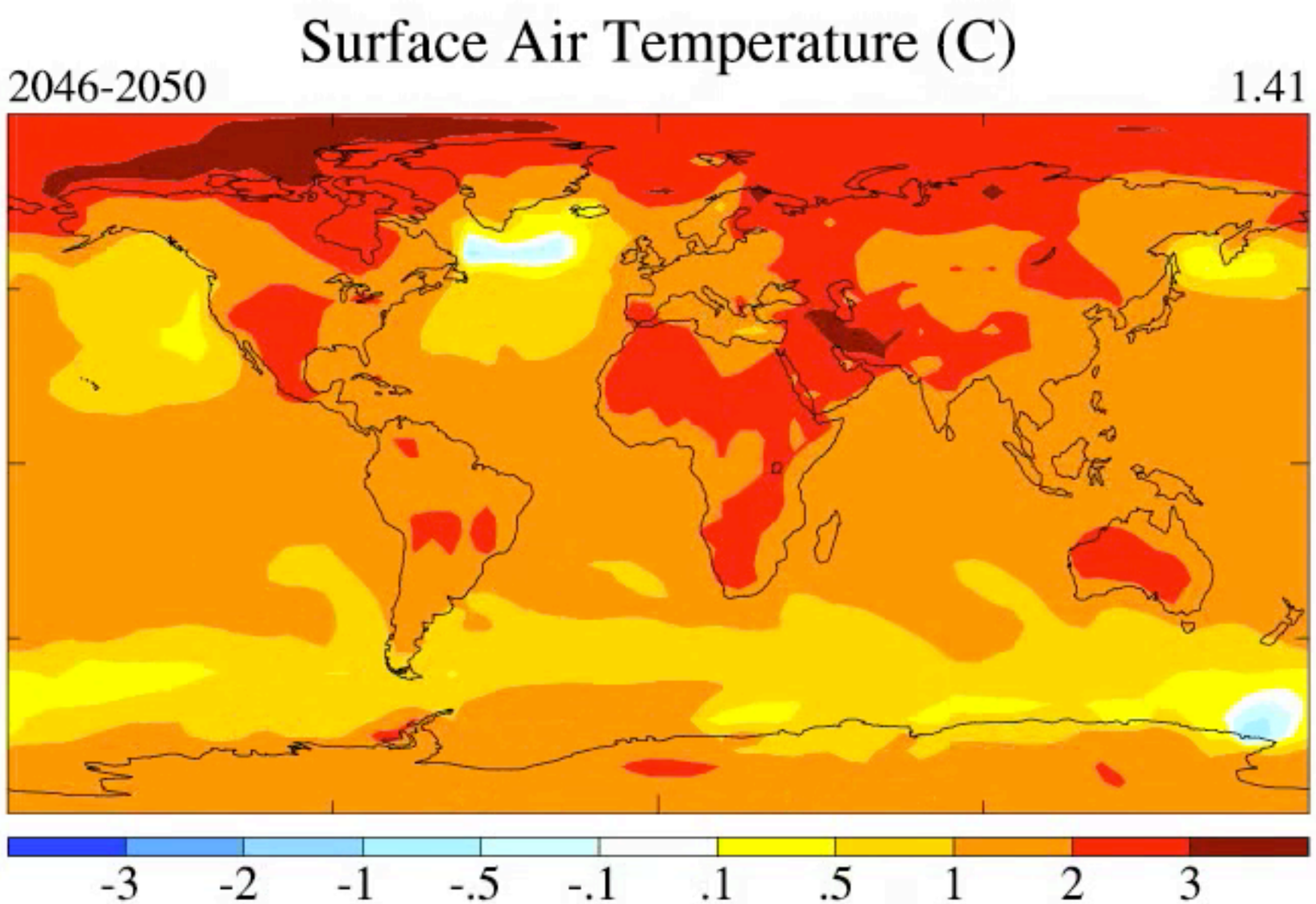

FAOSTAT 2002 Statistical database

Figures from
J. Rockström
(TED)


Planetare Grenzen
Aerosol (Atmosphäre)
Klimawandel
Stratosphärisches Ozon
Ozeane (Versauerung)
globale Wassernutzung
Stickstoff Kreislauf
Landnutzung
Biodiversität
Phosphozyklus
chemische Verschmutzung




Climate / NASA: http://climate.nasa.gov/climate_resources/24/


Surface Air Temperature (C)
2046-2050
1.41
-3
-2
-1
-.5
-.1
.1
.5
1
2
3

Wir leben im **Anthropozen**, das heißt wir Menschen sind zur geologischen Kraft des Planeten geworden.

Wir greifen mit exponentiell wachsender Geschwindigkeit in Systeme ein, die wir nicht verstehen.

---

*"If you are not confused,*
*you are not paying attention"*

Tom Peters

Und,
was können wir tun?

Unser Denken und Fühlen ist “linear”; wir haben größte Schwierigkeiten dynamische nicht lineare (und gar komplexe) Systeme zu verstehen und das Verhalten zu antizipieren.

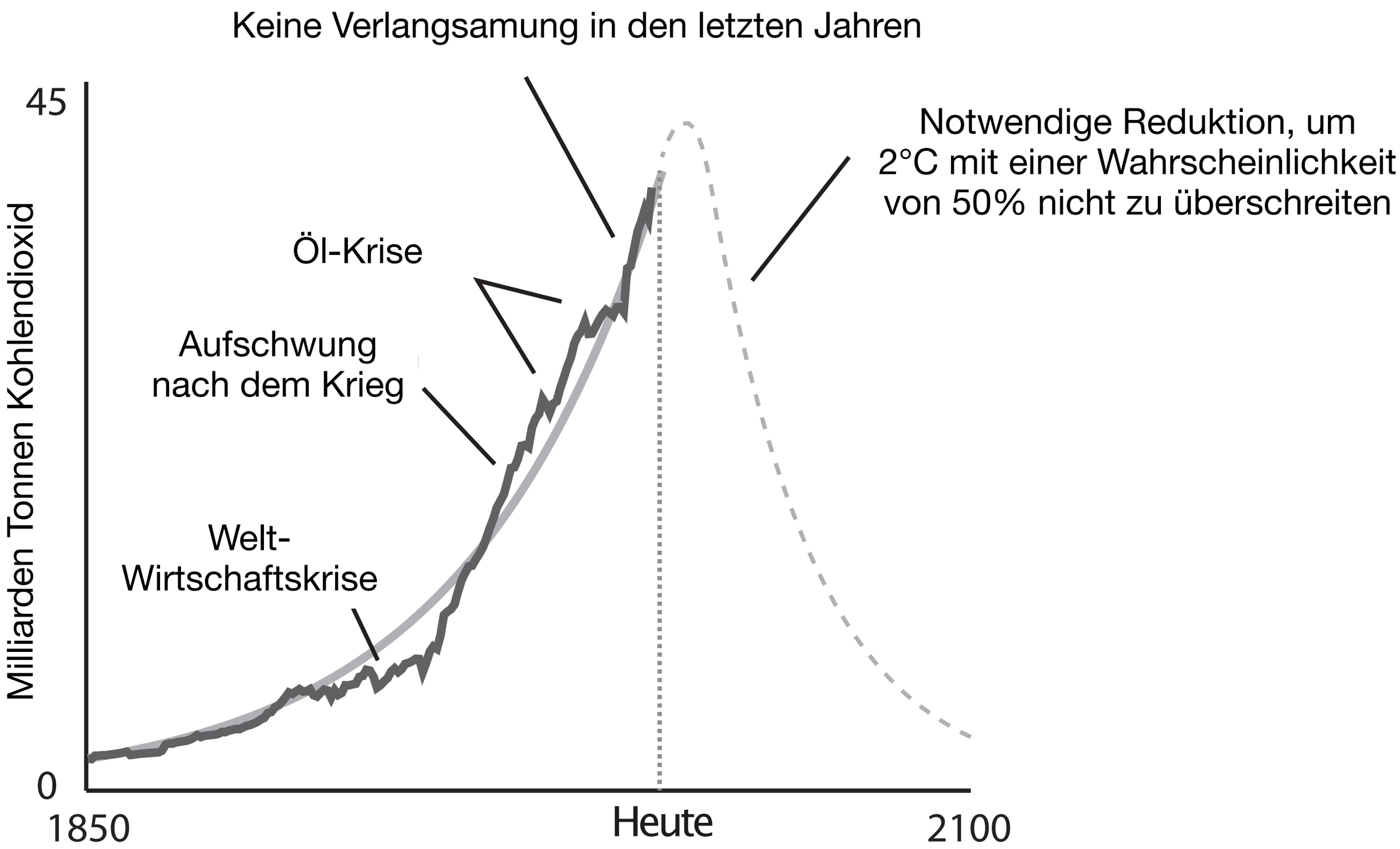
Bei Problemen, die aus systemischer (und komplexer) Interaktion entstehen gibt es keine einfachen Antworten!

# Was wir üblicherweise tun

- “Veschlimmbessern” durch den Glauben, komplexe Systeme zu verstehen und verbessern zu können
- Wissenschaft, beziehungsweise Nicht-Wissen nicht ernst nehmen
- Sich von der Resilienz komplexer Systeme täuschen lassen
- Ursache, Wirkung und Schuld falsch zuordnen
- Verbesserungsvorschläge, die das System noch komplexer machen (Die Medizin ist schlimmer als die Krankheit)
  - “Strassen gegen Stau”
  - Industrieanlagen mit immer mehr Komponenten
- Mit Konzepten, die in der Vergangenheit (unter anderen Rahmenbedingungen) funktioniert haben, die Probleme der Zeit “lösen” (Wirtschaftswachstum!)
- Und nicht zuletzt: Politiker wählen, die uns einfache Antworten auf komplexe Probleme geben

Beispiel: “Das Problem lässt sich durch höhere Effizienz und neue Technologien lösen?”

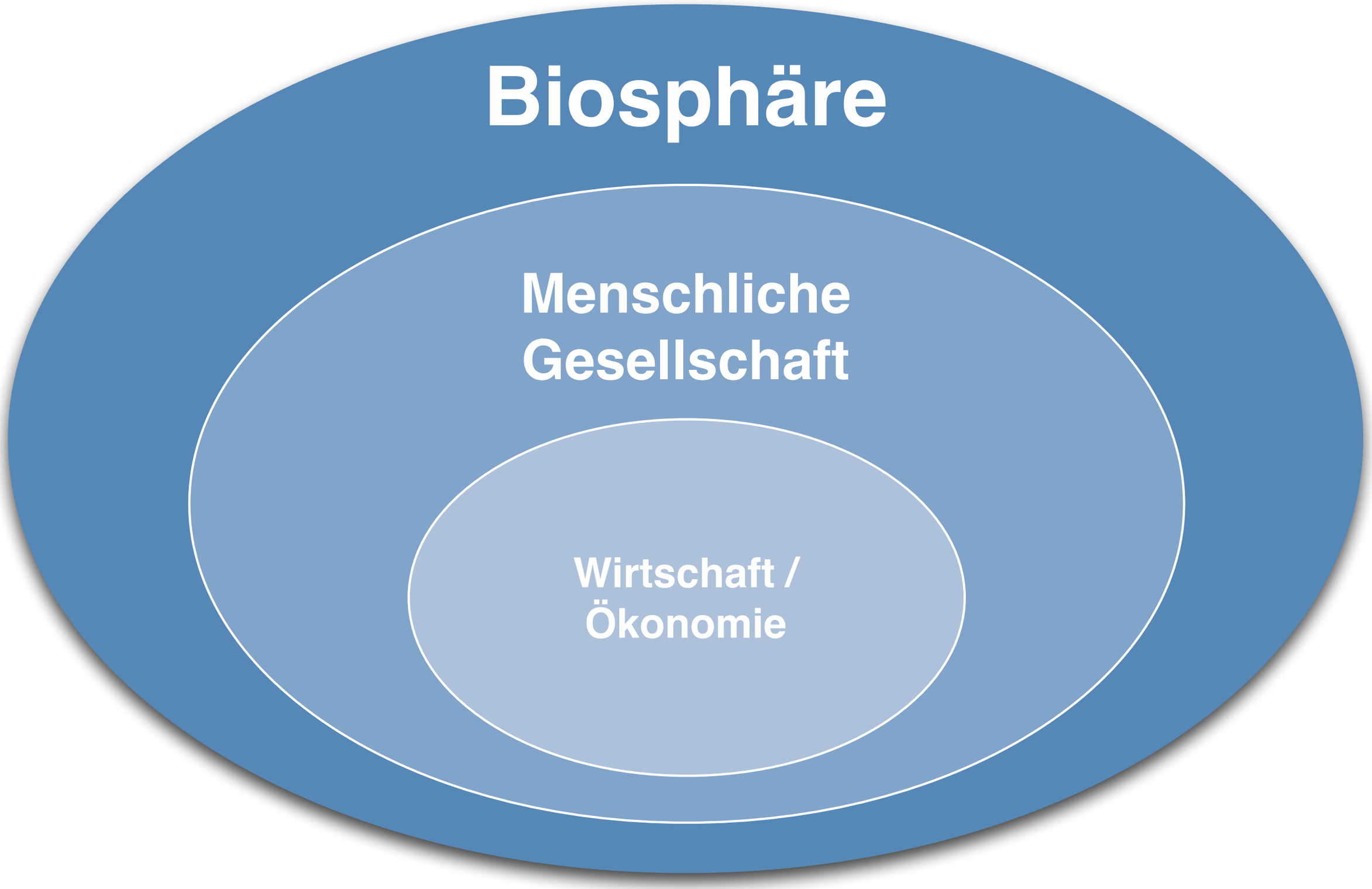
Entkopplung von Wirtschaftswachstum und Ressourcenverbrauch / Müllproduktion.


Keine Verlangsamung in den letzten Jahren
45
Milliarden Tonnen Kohlendioxid
Notwendige Reduktion, um
2°C mit einer Wahrscheinlichkeit
von 50% nicht zu überschreiten
Öl-Krise
Aufschwung
nach dem Krieg
Welt-
Wirtschaftskrise
0
1850
Heute
2100

# Was wir tun sollten

- Systemisches Denken! System(e) betrachten, nicht Einzelteile!
- Mit Überraschungen rechnen (Tipping Points)!
- Unkenntnis ernst nehmen! Wenn wir ein System kaum verstehen – möglichst wenig eingreifen (Ökosysteme, Klima!)
- Mit systemischer Komplexität umgehen
  - Komplexität reduzieren (wo katastrophale Fehler drohen) oder
  - Komplexität bewusst einsetzen (z.B. Universität)
  - Mit der Komplexität leben (lernen):
    Resiliente Systeme bauen statt traditionellem "Risiko-Management"
  - "Versuch und Irrtum" ernst nehmen
- "Nonsense-Detektor" einschalten
- Verantwortungsbewusste und intelligente Politiker wählen, die systemisches Denken verstehen!

**Noch einige Beispiele…**




Will Day, Sustainability Challenges, Cambridge (2011)

# Was macht Systeme resilient?

- Redundanz und Vielfalt
- Flexibilität der Einzelteile
- flache Organisation
- Negative Feedback Schleifen!
- Kleine Einheiten / kontrollierte Interaktion: Zusammenbruch eines Teils, darf das Gesamtsystem nicht bedrohen
  (“too big to fail” ist eine Garantie für Katastrophen)
- ständige Variabilität / Stress / Selektion

“Die rettende Idee besteht schlicht darin, dafür zu sorgen, dass die menschlichen und Berechnungsfehler beschränkt bleiben, und zu verhindern, dass sie sich im System ausbreiten”

Nassim Taleb

http://luckyrobot.com/netflix-chaos-monkey-keeps-movies-streaming/

**oder:**

BARCLAYS

Goldman Sachs

citi

Bank of America

Morgan Stanley

HSBC

BNP PARIBAS

“Wer steuert Wissenschaft und Technologie in einer Demokratie, wenn die Menschen nicht die geringste Ahnung davon haben?”, Carl Sagan

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit

http://www.schatten.info

@alex_buzz