

URANIA

Bildung mit Begegnung

Nachhaltigkeit ENERGIE ENTROPIE

Wilhelm Richard Baier



ENTROPIE

Die biologisch-physikalische
Voraussetzung für Nachhaltigkeit
und ihre Vermittlung



Dissipation (Rauch)

Steady State (Flamme)

Energiereservoir (Wachs)

Beispiel Kerze



Inhalt

- 1) Ordnung und Unordnung
- 2) Das also ist Entropie
- 3) Leben als dissipatives System
- 4) Gleichgewichte und Ungleichgewichte
- 5) Wachstum und Regelkreise
- 6) Energieflüsse
- 7) Praktische Konsequenzen (Nachhaltigkeitsziele)

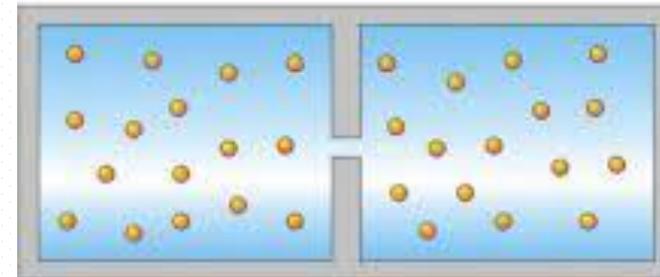
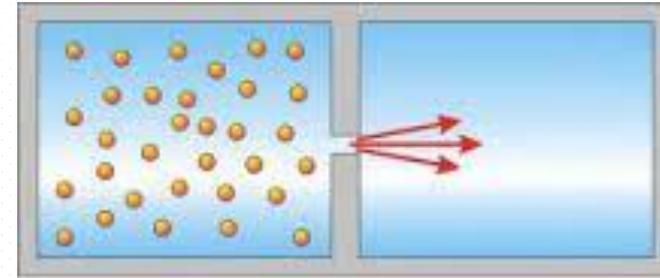
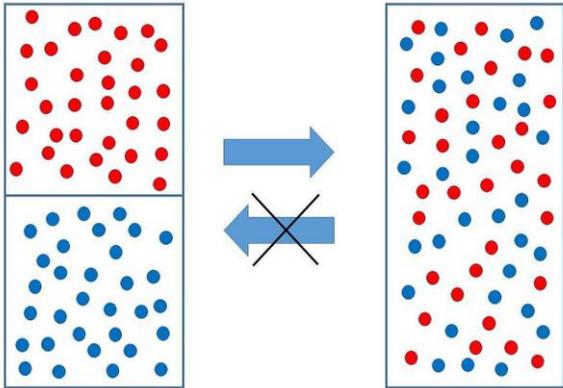


Thermodynamische Ordnung:
strukturiert, komplex, inhomogen,
im „Ungleichgewicht“ (**arbeitsfähige Energie!**)

Thermodynamische Unordnung:
unstrukturiert, homogen, dissipativ,
im „Gleichgewicht“ (**nicht arbeitsfähige Energie!**)

Ordnung & Unordnung

Der natürliche Lauf der Dinge

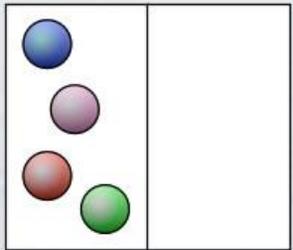


Ordnung & Unordnung

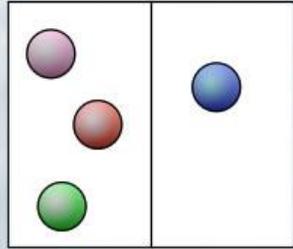
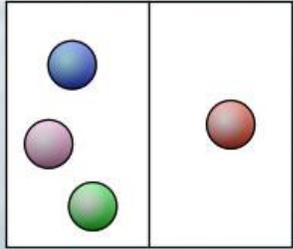
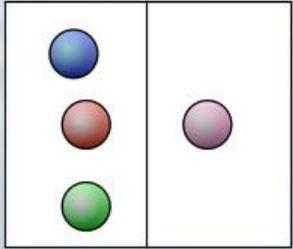
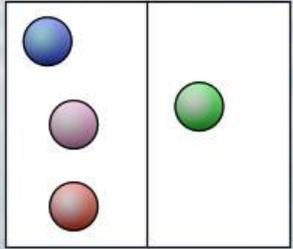
Statistische Mechanik

oder

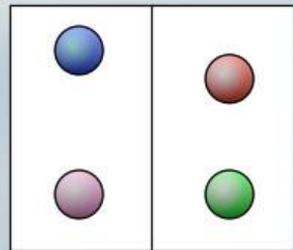
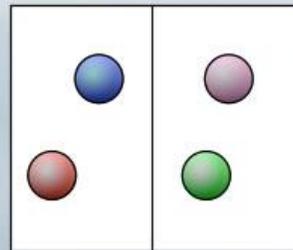
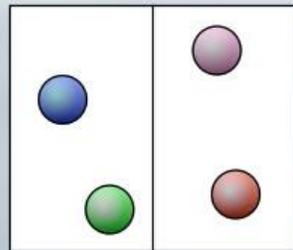
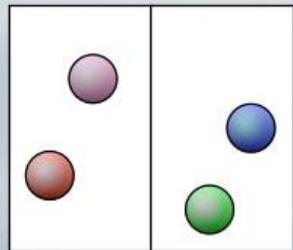
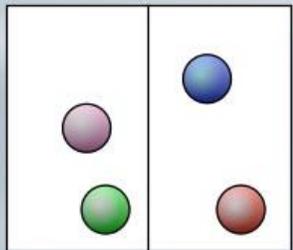
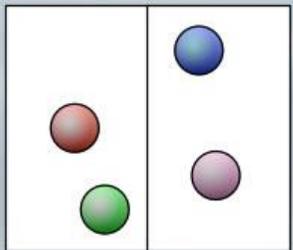
Gesetz der großen Anzahl



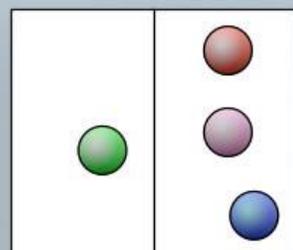
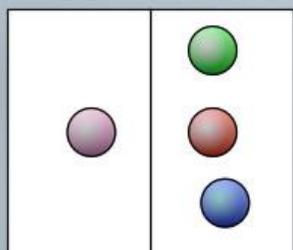
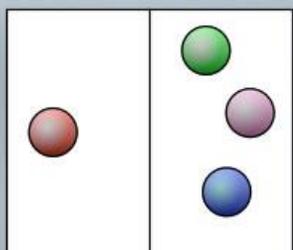
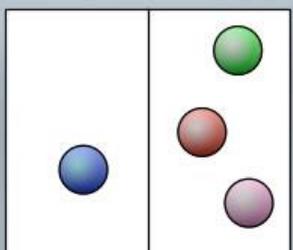
$$W = 1/16$$



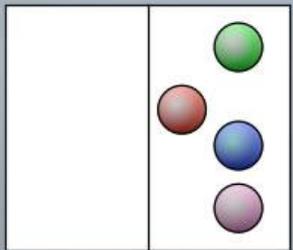
$$W = 4/16$$



$$W = 6/16$$



$$W = 4/16$$



$$W = 1/16$$

Energie

Aristoteles

Energetik

Julius R. Mayer

Entropie

Rudolf Clausius

- 1) **Alles strebt nach maximaler Unordnung**
- 2) **Es gibt keinen Wirkungsgrad von 100%**
- 3) **Es gibt kein Perpetuum mobile 2. Art**
- 4) **Die arbeitsfähige Energie wird entwertet**
- 5) **Nichts hält ewig**
- 6) **Unumkehrbarkeit der Zeitrichtung (Zeitpfeil)**

Entropie: Definitionen



Grüne Pflanzen 275 t/ha

Tiere (oberirdisch) 0,004 t/ha (~ 4 kg/ha)

Bodenorganismen 1 t/ha

Biomasse in t/ha pro Sommer

Eichen-Hainbuchen-Wald

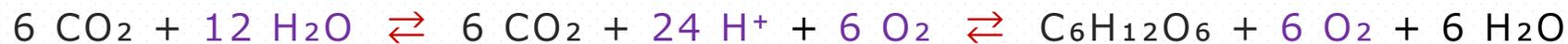


Wasserspaltung: $\sim 3 \times 10^{12}$ Joul pro Jahr
 $\sim 1,7 \times 10^{11}$ t Trockenmasse

Nur etwa *ein bis drei Prozent* der Sonnenenergie wandelt die Photosynthese in chemische Energie um!

Knallgasreaktion: ~ 2822 kJ/mol Glucose
 36 ATP pro Zuckermolekül

Photosynthese & Atmung



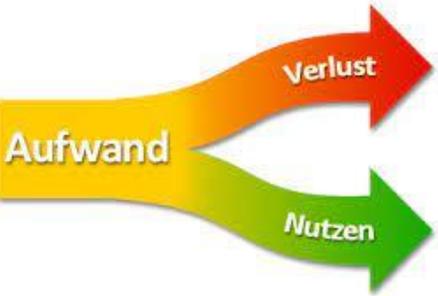
Nahrungspyramide





Lebewesen sind umweltoffene, sich im thermodynamischen „Ungleichgewicht“ befindliche Systeme, die unter Energie- und Materiezufuhr von außen geordnete Strukturen hervorbringen. Leben frisst Ordnung in Form von hochwertiger Energie und erzeugt dadurch mehr Unordnung in Form von Abwärme und Fäkalien, als es selbst darstellt. Ein Organismus stirbt, wenn sich in ein thermodynamisches Gleichgewicht einstellt!

Dissipatives Leben



Energiefluss in der Nahrungspyramide

prozentueller
Energieanteil

0,01%

Spitzen-
prädatoren



0,1%

Tertiär-
konsumenten



1%

Sekundärkonsumenten



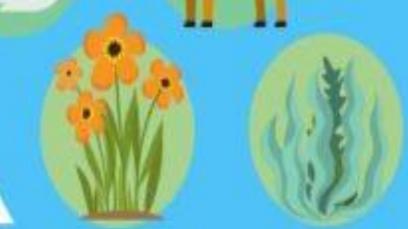
10%

Primärkonsumenten

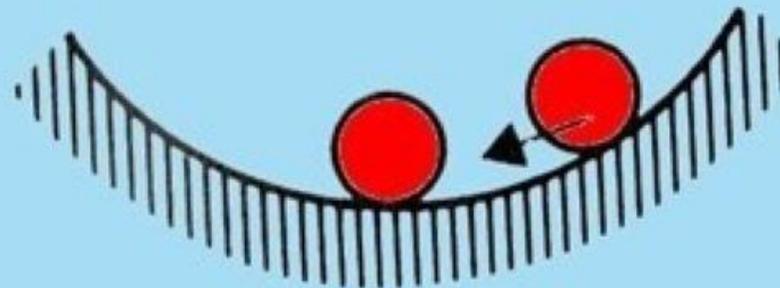


100%

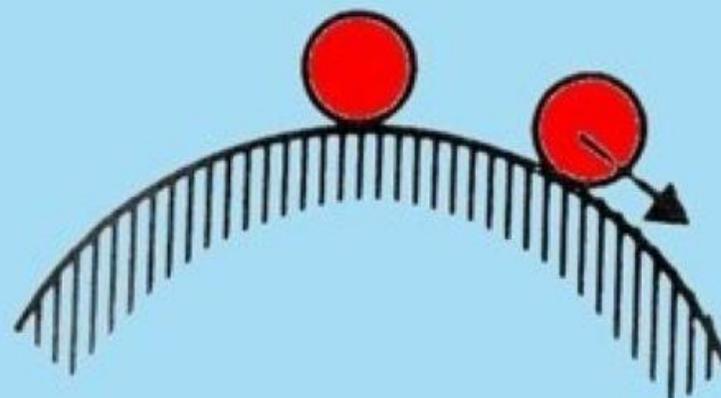
Produzenten



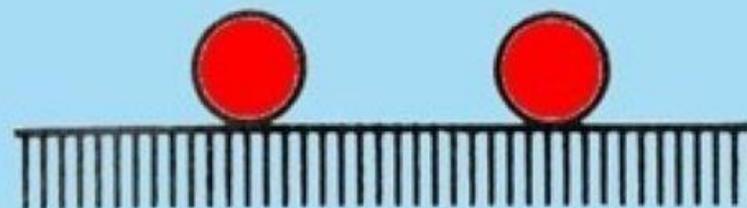
Gleichgewichte



stabiles
Gleichgewicht

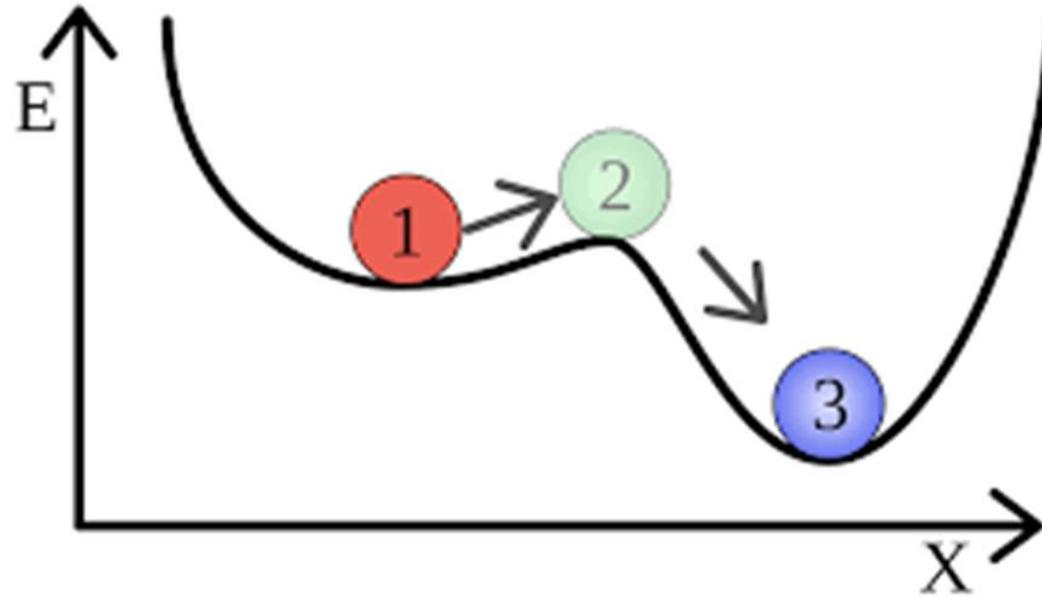


instabiles (labiles)
Gleichgewicht

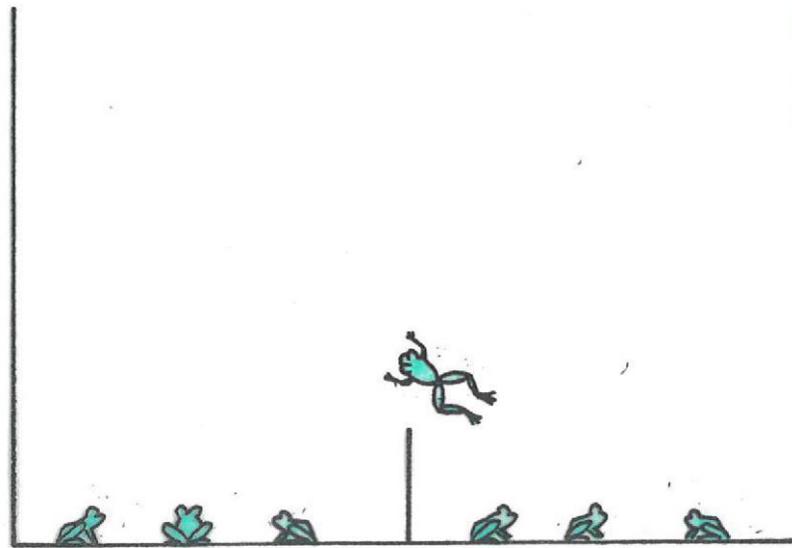


indifferentes
Gleichgewicht

Biomoleküle
=
organische
Verbindungen

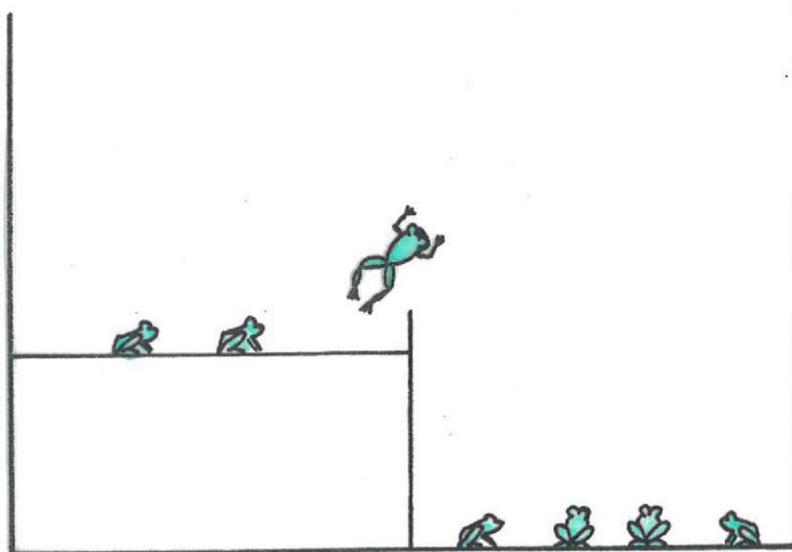


Metastabiles Gleichgewicht



$A \sim B$ (bei gleichen Energieniveaus)

Dynamisches Gleichgewicht



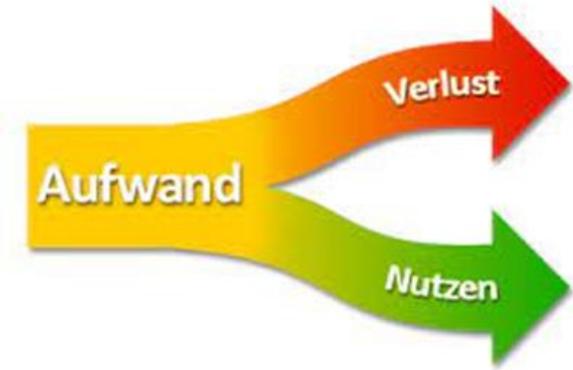
$A < B$ (bei verschied. Energieniveaus)

Dissipation (Emissionen)

Steady State (Flamme)

Energiequelle (Wachs)

Beispiel Kerze



ΠΑΝΤΑ ΡΕΙ

"Es ist unmöglich, zweimal in denselben Fluss zu springen. Auch wenn wir in dieselben Flüsse steigen, fließt immer anderes Wasser herbei.

Heraklit

URANIA

Bildung mit Begegnung

„Steady State“
(Fließgleichgewicht)
stets im
Ungleichgewicht!

Ohne Rückkopplung



Negative Rückkopplung

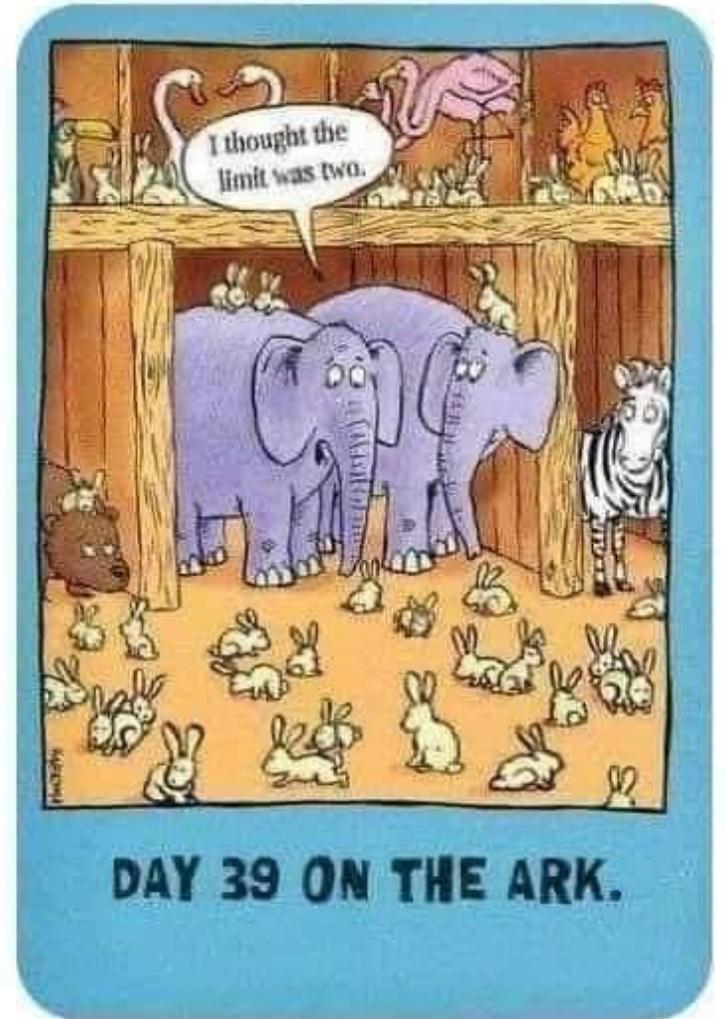
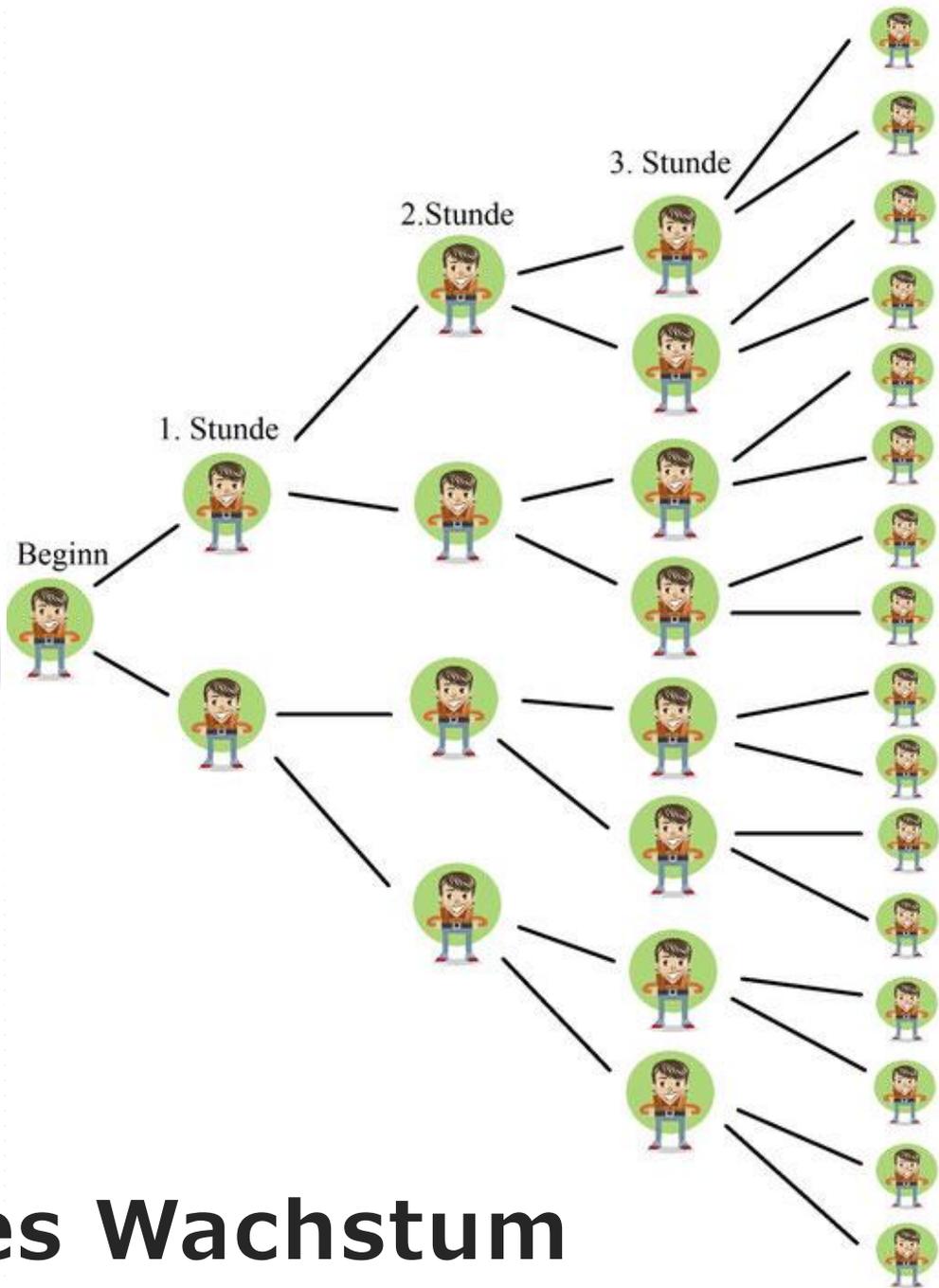
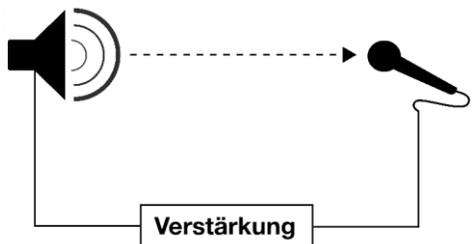


Positive Rückkopplung

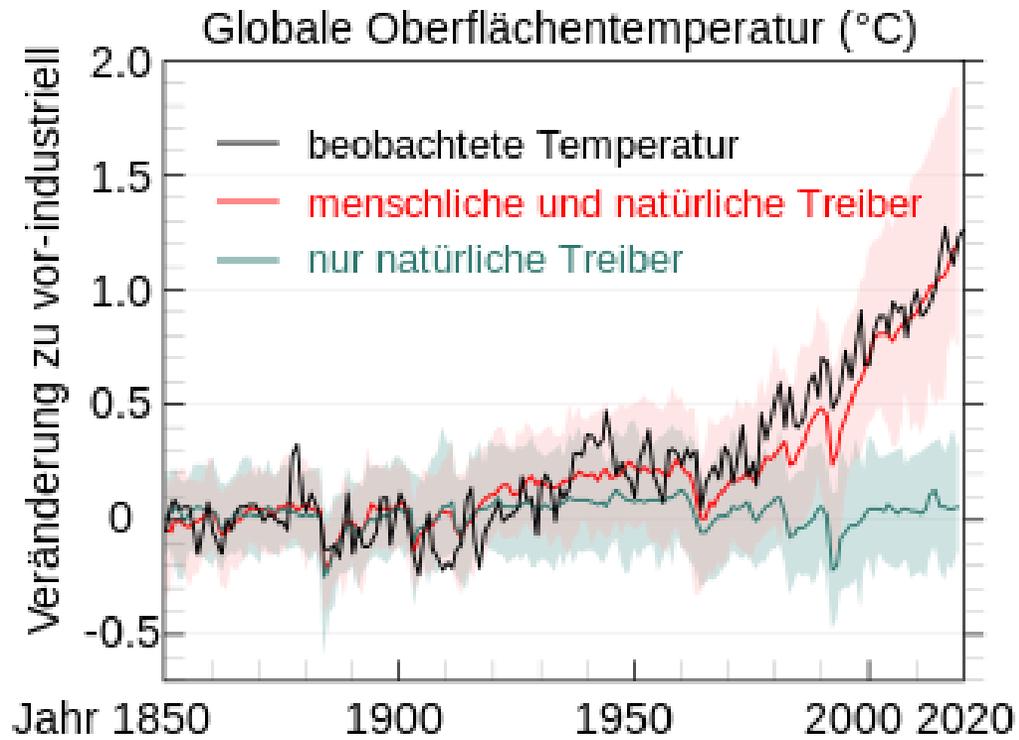


Regelkreise (Kybernetik)

URANIA
Bildung mit Begegnung



Exponentielles Wachstum



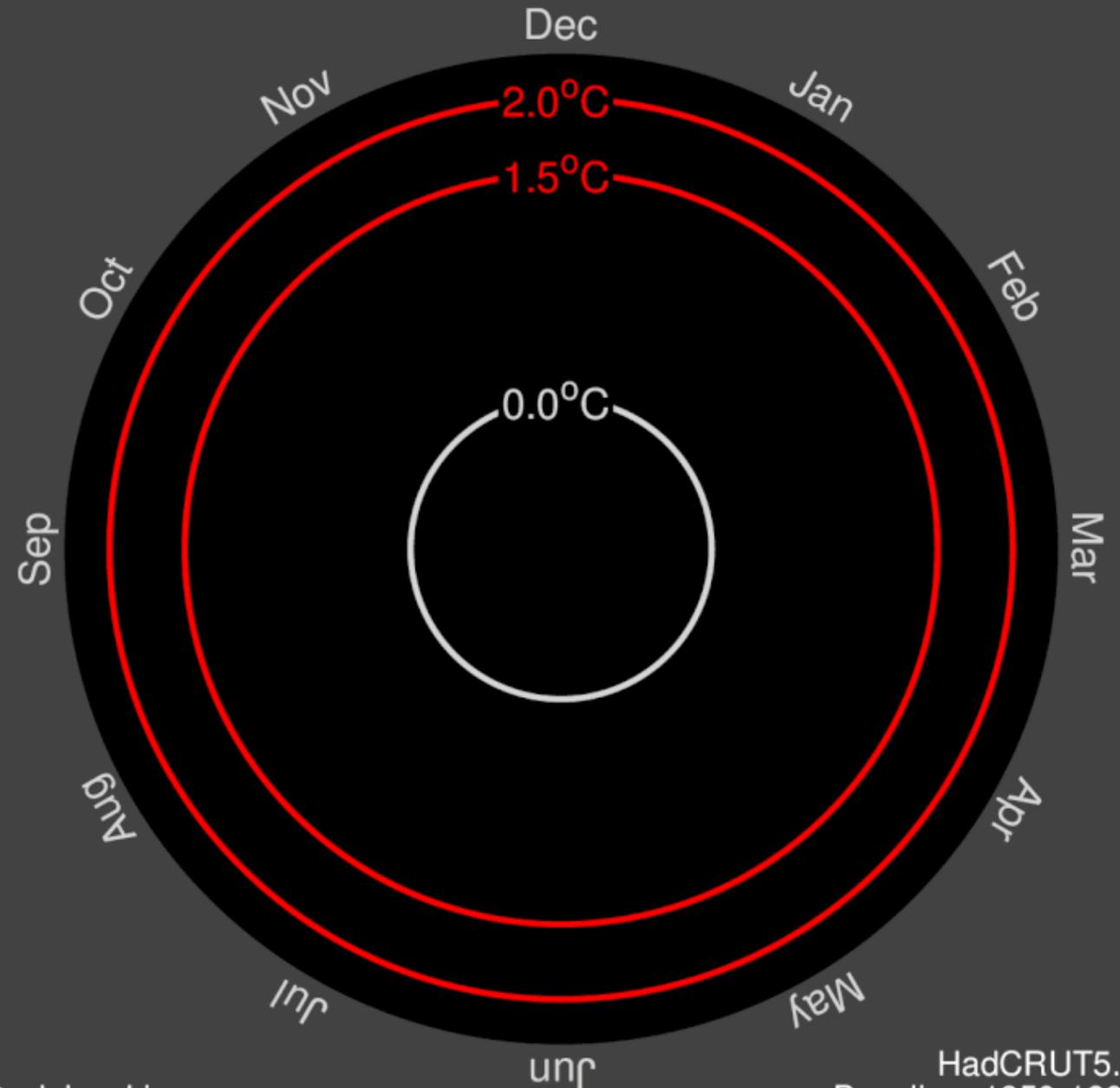
Von Ed Hawkins, a climate scientist in the National Centre for Atmospheric Science at the University of Reading.

<https://www.climate-lab-book.ac.uk/spirals/>, CC BY-SA 4.0

<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=98315505>

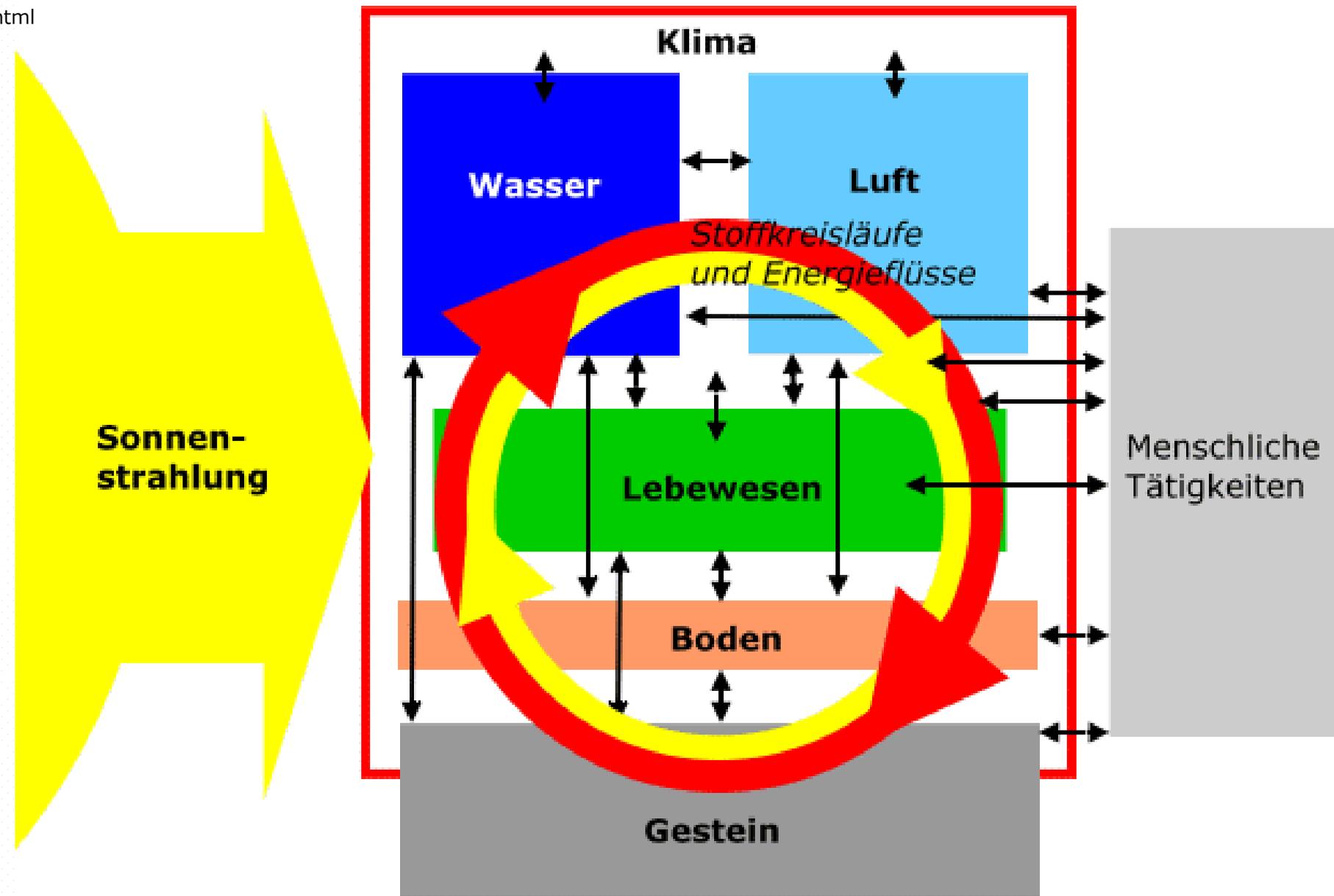
https://de.wikipedia.org/wiki/Globale_Erw%C3%A4rmung

Global temperature change (1850-2020)



@ed_hawkins

HadCRUT5.0
Baseline: 1850-1900



Globaler Energiefluss

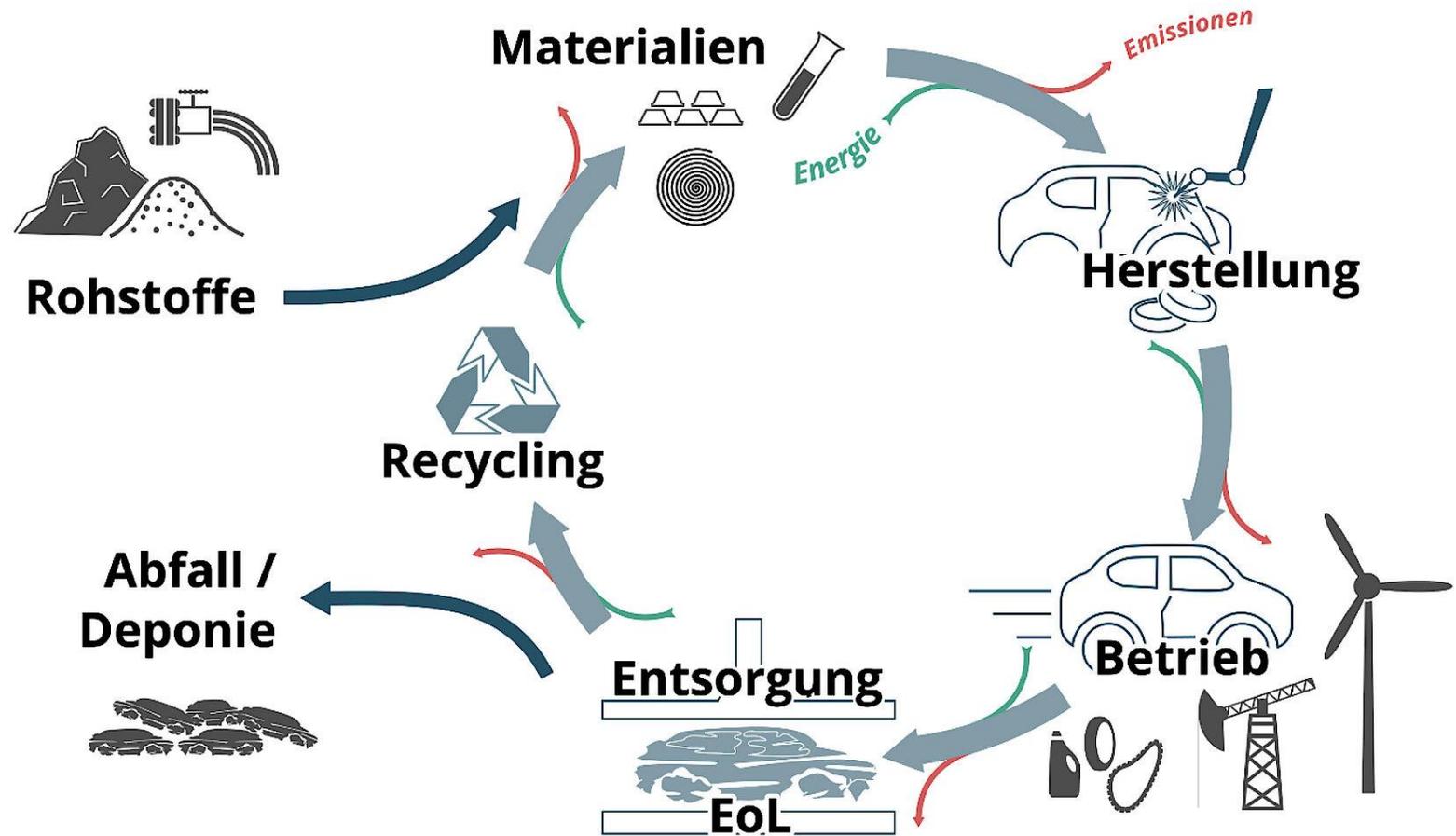
URANIA

Bildung mit Begegnung



Wirkungsgrad eines Ottomotors
(<https://www.ibiza-forum.de/>)

Lebenszyklus eines Pkw



Quelle: Umweltbundesamt

umweltbundesamt^U



1) Suffizienz:

Verringerung von Produktion und Konsum
„Enkeltauglichkeit“

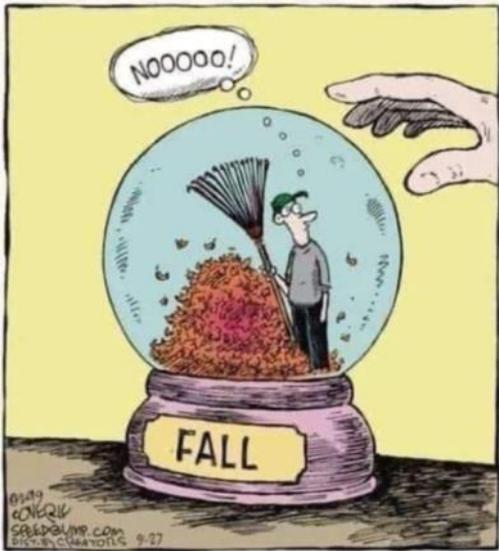
2) Effizienz:

ergiebigere Nutzung von Material und Energie
(z.B. Steigerung des Outputs bei gleichem Input)

3) Konsistenz:

naturverträgliche Stoffkreisläufe,
Wiederverwertung, Müllvermeidung

Nachhaltigkeitsziele



And with our rapidly increasing prosperity and power, each person is having more impact on the environment.

This is creating large stresses on the biosphere, some of which are completely unprecedented.

This may, in turn, create threats to our continued existence.

Toby Ord

The Precipice: Existential Risk and the Future of Humanity, 2020

Konsequenzen?

Überlegen Sie einmal, wie viele Dinge von der Kugelschreibermine bis zum Auto zu Ihrem täglichen Leben gehören, welche Fülle von Produkten in gigantischen Industrieunternehmen Sekunde für Sekunde die vollautomatischen Fertigungsstraßen verlässt.

Ausnahmslos alles, was jetzt vor ihrem geistigen Auge vorbeizieht, ist potenzieller Müll. Morgen oder übermorgen sind diese Dinge abgenutzt oder Sie werden sie einfach nicht mehr brauchen und fortwerfen.

Felix R. Paturi 1974



If we recognize that it is not one's neighbors who are the enemy, but misery, ignorance, and the cold indifference of natural law – then we can solve all the problems that face us. We can deliberately choose to have no catastrophes at all.

Isaac Asimov 1979

