

Wahre Aussagen trotz falscher Annahmen?

Wissenschaftliche Modelle und ihr Einfluss auf die Gesellschaft

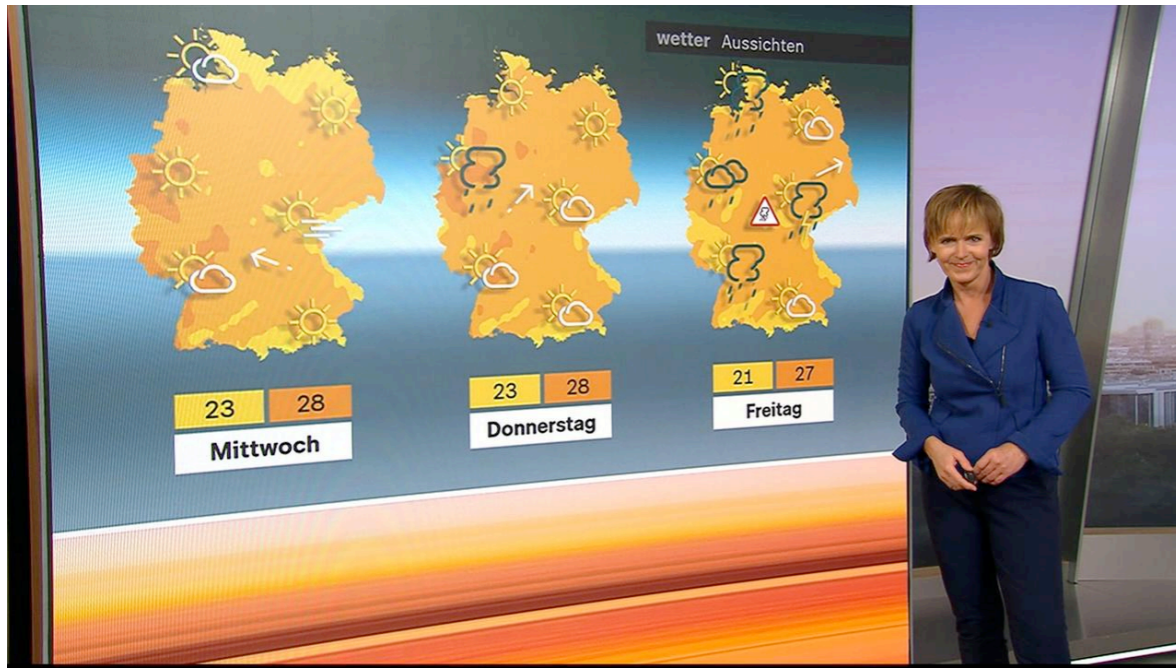
19.06.2023, Flensburger Ringvorlesung “Wahrheit”

Prof. Dr. Claudius Gräbner-Radkowitzsch

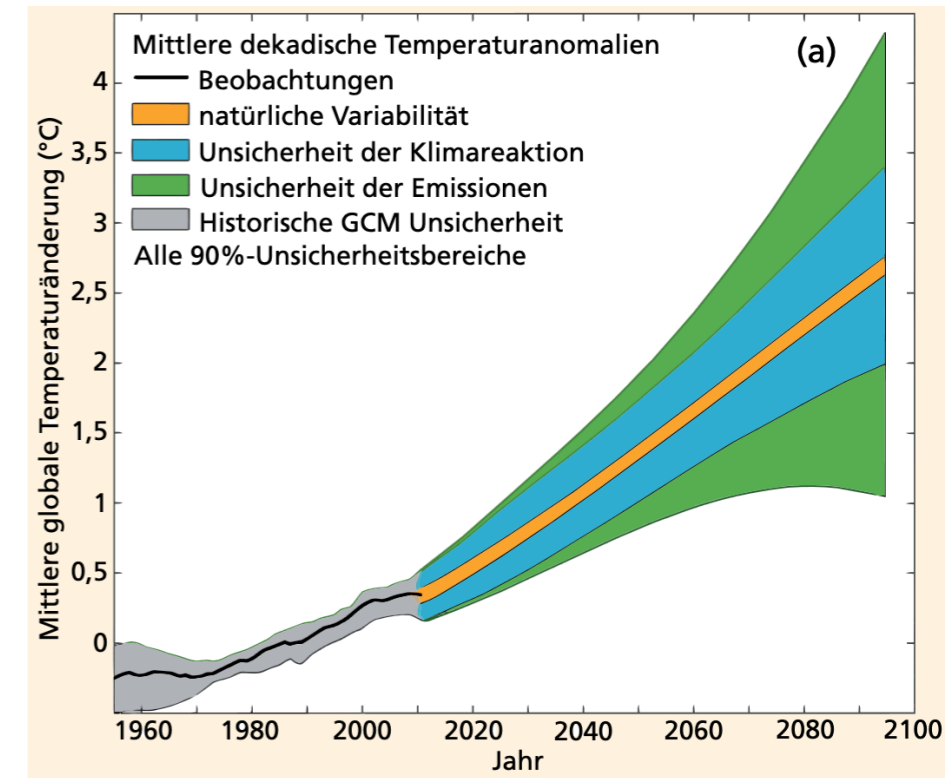
Europa-Universität Flensburg & Institut für die Gesamtanalyse der Wirtschaft (JKU Linz)

www.claudius-graebner.com | [@ClaudiusGraebner](https://twitter.com/ClaudiusGraebner) | claudius@claudius-graebner.com

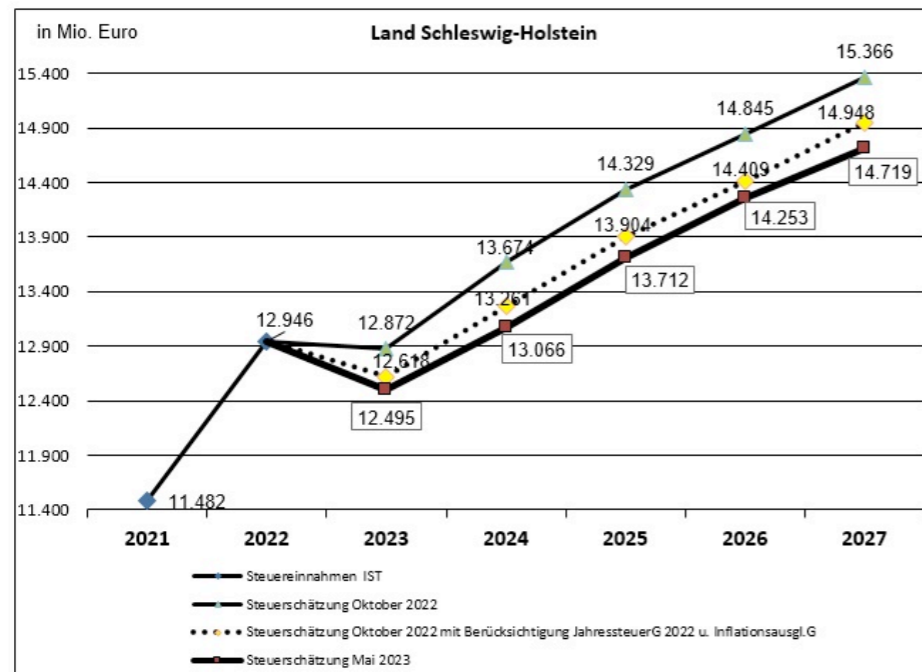
Zur Relevanz von Modellen in der Gesellschaft



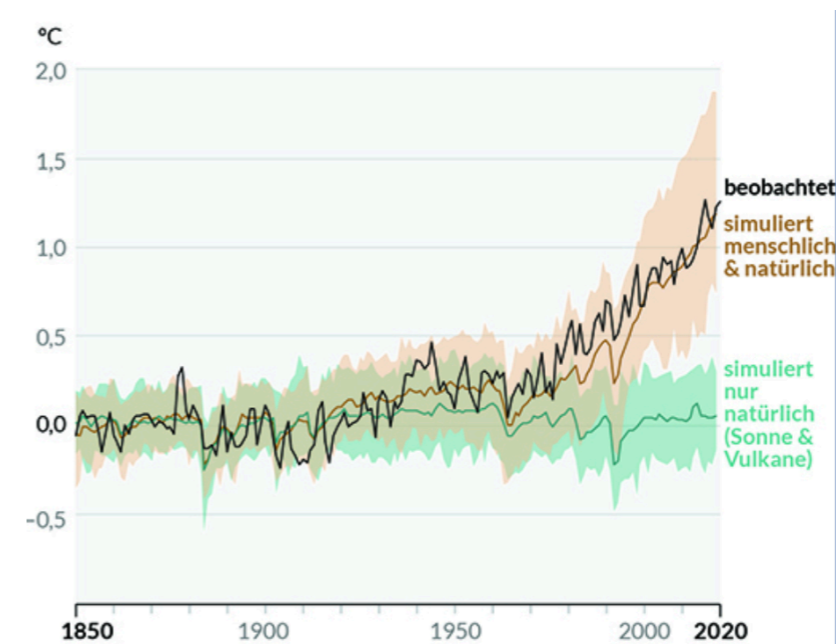
Quelle: ZDF Mediathek [1].



Quelle: IPCC [2].



Quelle: Landesportal Schleswig-Holstein [3].



Quelle: IPCC [4].

Kontroversen um Modelle und Politikgestaltung

Corona-Prognosen: Was erwartet uns im Herbst?

Stand: 02.09.2022, 11:21 Uhr

Mit welchen Corona-Fallzahlen müssen wir im Herbst und Winter rechnen? Wie gefährlich wird die Pandemie bei welchen Virus-Varianten? Prognosen und Modelle - ein Überblick. Quelle: WDR [5].



Cornelius Roemer
@CorneliusRoemer

Das zeigt die Debatte um die Modellierer. Selbst wenn man kommuniziert, dass die Modelle ein Schätzintervall haben, kehren gewisse "Journalisten" das unter den Tisch und tun so, als ob die Modellvorhersagen zu 100% richtig liegen müssten.

Quelle: Twitter [6].

“ Es ist unverantwortlich von diesen Ökonomen, [die] Auswirkungen [eines Gasembargos] in irgendwelchen mathematischen Modellen zusammenzurechnen.

Quelle: dpa [7].



Leitfragen

- Was sind Modelle und welche Rolle spielen sie in der Wissenschaft?
- Inwiefern können Modelle wahr oder falsch sein?
- Was sind Kernelemente eines angemessenen Umgangs mit Modellen in der Gesellschaft?

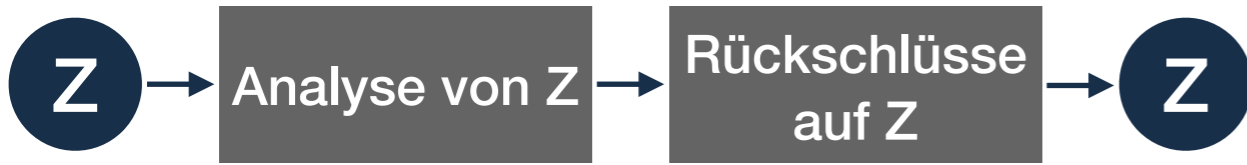
Was ist ein Modell?

Was macht ein Modell aus?

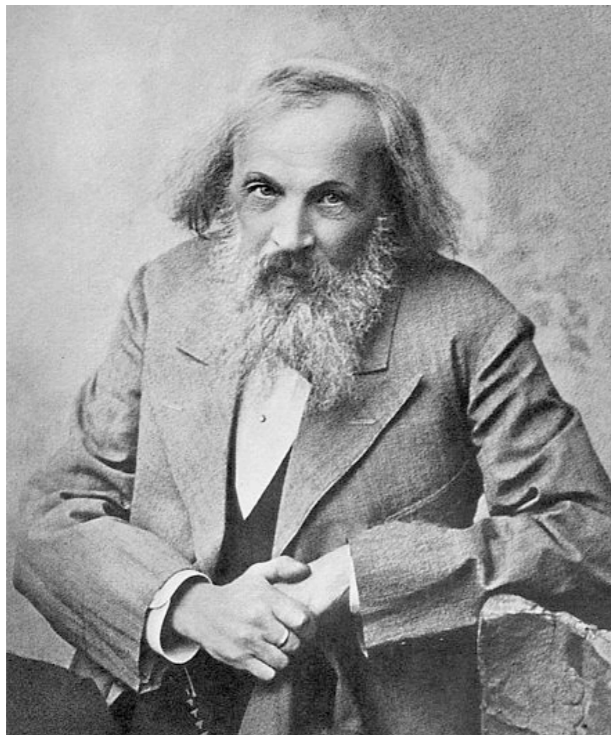
Zur Relevanz von Modellen in der Wissenschaft

Z : Zielsystem der wiss. Untersuchung

Abstrakt-direkte Forschung



| Reihen | Gruppe I. R ² O | Gruppe II. RO | Gruppe III. R ² O ³ | Gruppe IV. RH ⁴ RO ² | Gruppe V. RH ³ R ² O ⁵ | Gruppe VI. RH ² RO ³ | Gruppe VII. RH R ² O ⁷ | Gruppe VIII. RO ⁴ |
|--------|-------------------------------|------------------|--|--|---|--|--|-----------------------------------|
| 1 | H=1 | | | | | | | |
| 2 | Li=7 | Be=9,4 | B=11 | C=12 | N=14 | O=16 | F=19 | |
| 3 | Na=23 | Mg=24 | Al=27,3 | Si=28 | P=31 | S=32 | Cl=35,5 | |
| 4 | K=39 | Ca=40 | —=44 | Ti=48 | V=51 | Cr=52 | Mn=55 | Fe=56, Co=59, Ni=59, Cu=63 |
| 5 | (Cu=63) | Zn=65 | —=68 | —=72 | As=75 | Se=78 | Br=80 | |
| 6 | Rb=85 | Sr=87 | ?Yt=88 | Zr=90 | Nb=94 | Mo=96 | —=100 | Ru=104, Rh=104, Pd=106, Ag=108 |
| 7 | (Ag=108) | Cd=112 | In=113 | Sn=118 | Sb=122 | Te=125 | J=127 | |
| 8 | Cs=133 | Ba=137 | ?Di=138 | ?Ce=140 | — | — | — | |
| 9 | (—) | — | — | — | — | — | — | |
| 10 | — | — | ?Er=178 | ?La=180 | Ta=182 | W=184 | — | |
| 11 | (Au=199) | Hg=200 | Tl=204 | Pb=207 | Bi=208 | — | — | Os=195, Ir=197, Pt=198, Au=199 |
| 12 | — | — | — | Th=231 | — | U=240 | — | |



Dmitri Iwanowitsch Mendelejew

Legende

- Symbol: Ordnungszahl, Atomgewicht, Name, Elektronegativität, Dichte
- Serie (Flächenfarbe): Alkalimetalle, Erdalkalimetalle, Übergangsmetalle, Actinoide, Metalle, Halbmetalle, Nichtmetalle, Halogene, Edelgase, unbestimmt
- Dichte: rot = kg / m³, schwarz = kg / dm³, grau = unbestimmt
- Schraffur: durchgehend = natürliches Element, schraffiert = künstliches Element

Gruppe

Lanthanoide

Actinoide

Bilder: wikimedia [8], [9], [10].

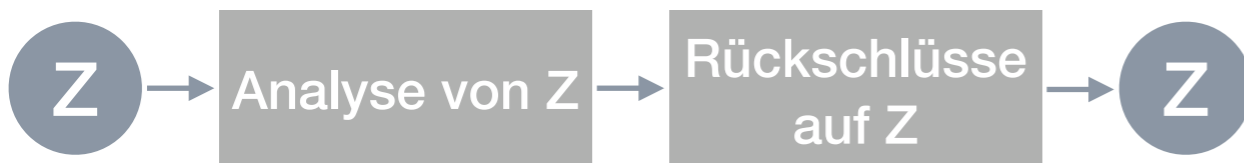
Was macht ein Modell aus?

Zur Relevanz von Modellen in der Wissenschaft

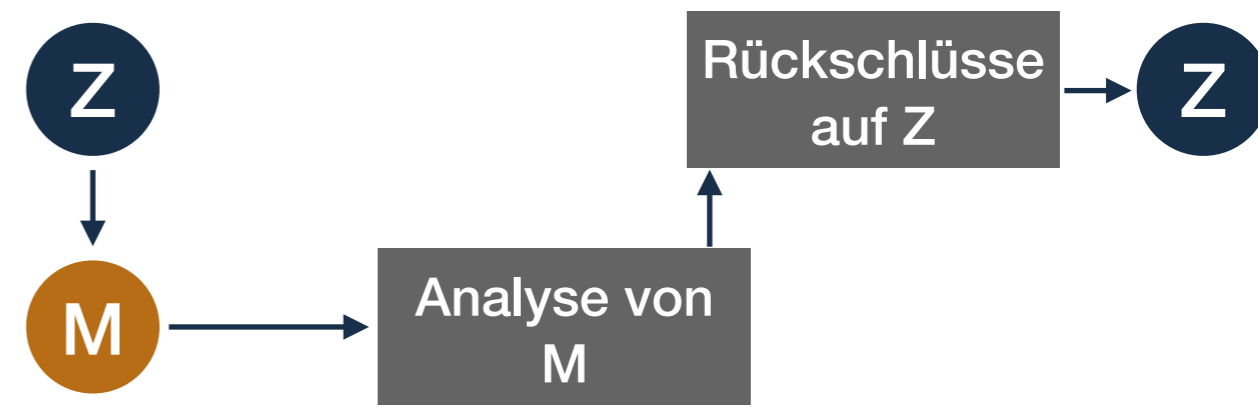
Z : Zielsystem der wiss. Untersuchung

M : Repräsentation des Zielsystems

Abstrakt-direkte Forschung



Modell-basierte Forschung



$$\frac{dx}{dt} = \alpha x - \beta xy,$$

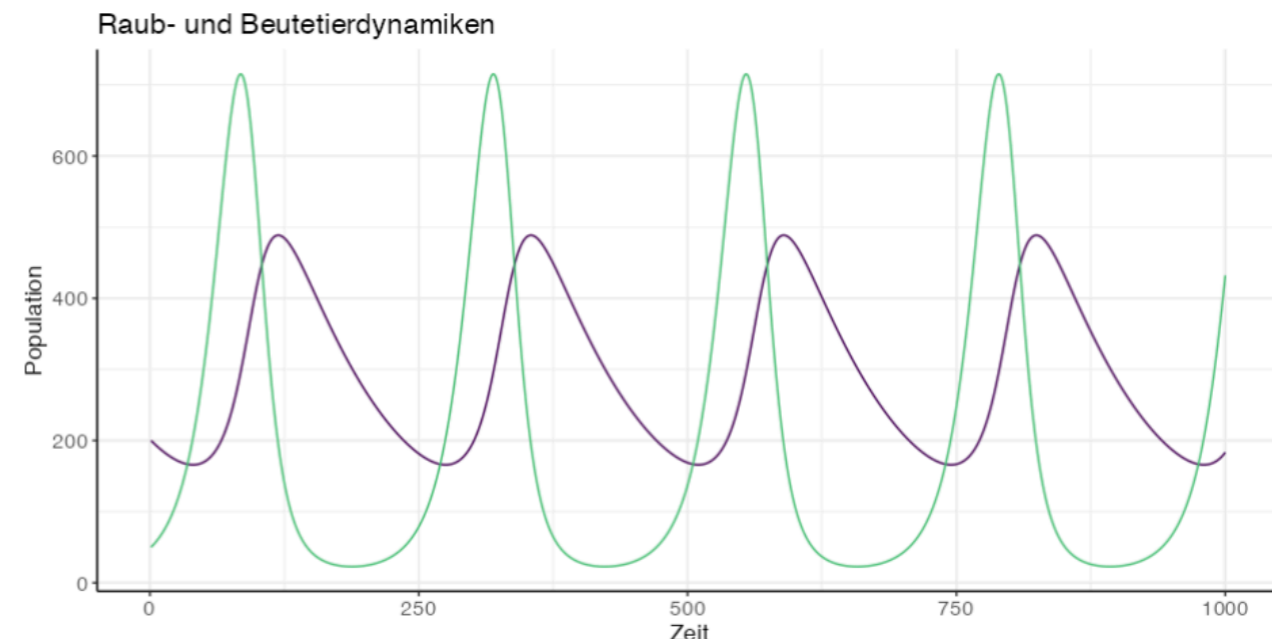
$$\frac{dy}{dt} = \delta xy - \gamma y,$$



Vito Volterra



Quelle: wikimedia [11],[12]

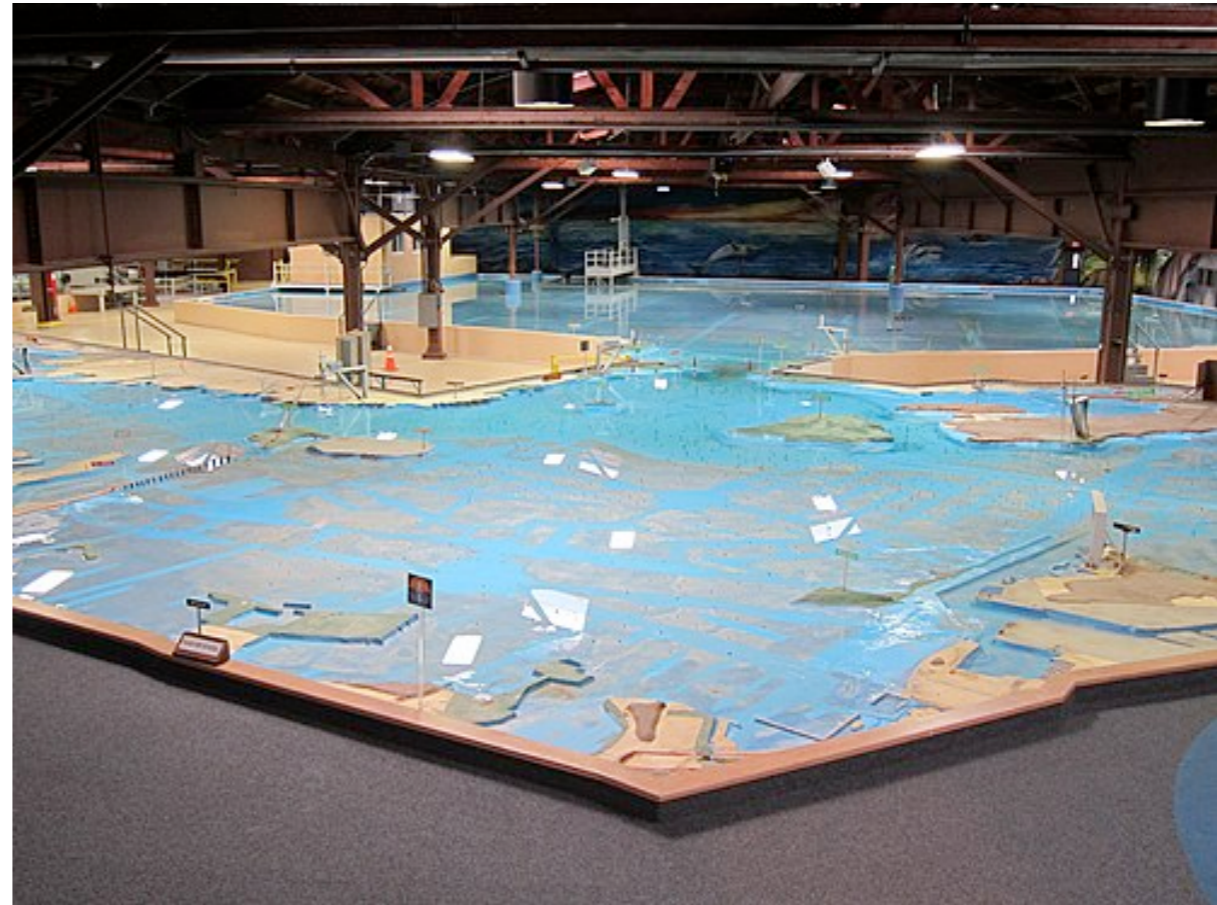


Was ist ein Modell?

Konkrete Modelle

Bestehen aus: physikalischem Material

Beschrieben durch: Wörter



Quelle: wikimedia [13], [14]

Was ist ein Modell?

Konkrete Modelle

Bestehen aus: physikalischem Material
Beschrieben durch: Wörter

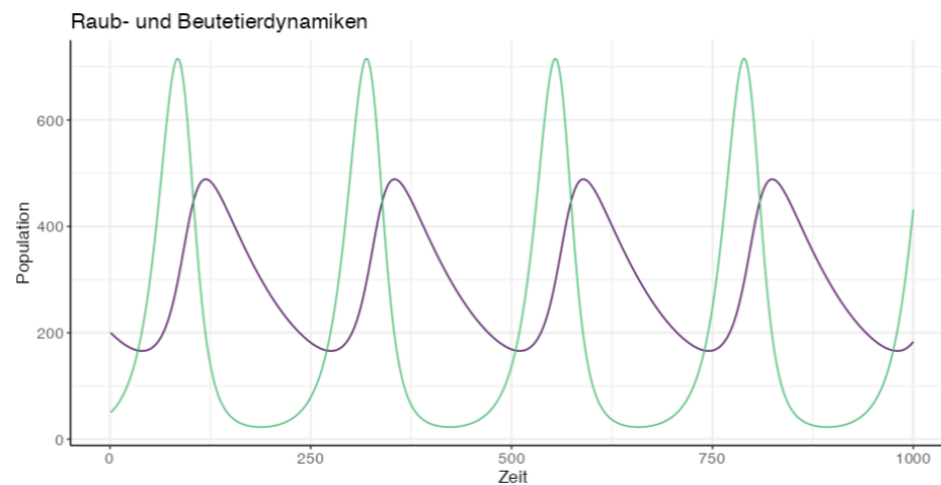


Mathematische Modelle

Bestehen aus: math. Objekten
Beschrieben durch: Formeln

$$\frac{dx}{dt} = \alpha x - \beta xy,$$

$$\frac{dy}{dt} = \delta xy - \gamma y,$$



THEO. 4: Any finite game has a symmetric equilibrium point.

Proof: First we note that

$S_{i\alpha} = \sum_{j=1}^n \pi_j \alpha_{ij}$ has the property $(S_{i\alpha})^\phi = S_{j\alpha}$ where $j = i^\psi$, so that the n-tuple $\alpha = (S_{1\alpha}, S_{2\alpha}, \dots, S_{n\alpha})$ is fixed under any χ ; hence any game has at least one symmetric n-tuple.

If $\alpha = (s_1, \dots, s_n)$ and $\alpha = (t_1, \dots, t_n)$ are symmetric then $\frac{\alpha + \alpha}{2} = (\frac{s_1 + t_1}{2}, \dots, \frac{s_n + t_n}{2})$ is so too because $\alpha^\chi = \alpha \Leftrightarrow s_j = (s_i)^\phi$ where $j = i^\psi$, hence $\frac{s_j + t_j}{2} = \frac{(s_i)^\phi + (t_i)^\phi}{2} = (\frac{s_i + t_i}{2})^\phi$, hence $(\frac{\alpha + \alpha}{2})^\chi = \frac{\alpha + \alpha}{2}$.

This shows that the set of symmetric n-tuples is a convex subset of the space of n-tuples since it is obviously closed.

Now observe that for each λ the mapping $\alpha \rightarrow \alpha'(\alpha, \lambda)$ used in the proof of existence theorem was intrinsically defined. Therefore, if $\alpha_2 = \alpha'(\alpha_1, \lambda)$ and χ is an automorphism of the game we will have $\alpha_2^\chi = \alpha'(\alpha_1^\chi, \lambda)$. If α_1 is symmetric $\alpha_1^\chi = \alpha_1$ and therefore $\alpha_2^\chi = \alpha'(\alpha_1, \lambda) = \alpha_2$. Consequently this mapping maps the set of symmetric n-tuples into itself.

Since this set is a cell there must be a symmetric fixed point α_λ . And, as in the proof of the existence theorem we could obtain a limit point α^* which would have to be symmetric.

Was ist ein Modell?

Konkrete Modelle

Bestehen aus: physikalischem Material
Beschrieben durch: Wörter



```
class Firm:
    def __init__(self):
        self.kind = "firm"
        self.id = identifier

    def update_firm_accounts(self, leftover_supply, agg_demand,
                            agg_supply, avg_price):
        sales = max(0, self.inventory[-1] - leftover_supply)
        returns = sales * self.price[-1]
        self.inventory[-1] -= sales
```

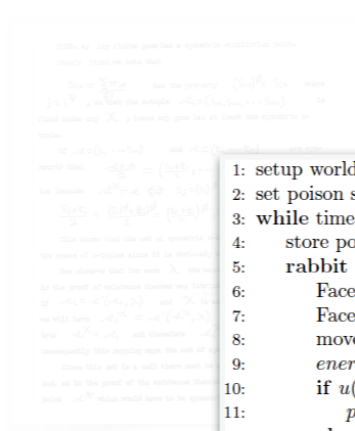
Mathematische Modelle

Bestehen aus: math. Objekten
Beschrieben durch: Formeln

$$\frac{dx}{dt} = \alpha x - \beta xy,$$
$$\frac{dy}{dt} = \delta xy - \gamma y,$$

Algorithmische Modelle

Bestehen aus: Prozeduren
Beschrieben durch: Wörter/Code



```
1: setup world and initialize rabbits
2: set poison schedule u
3: while time steps < total_sim_time do
4:   store population and grass levels
5:   rabbit routine:
6:     Face left by random amount up to 45 degrees
7:     Face right by random amount up to 45 degrees
8:     move forward 1 unit
9:     energy = energy - move_cost
10:    if u(t-1) = 1 then
11:      p_eff = (1 - p_deg)p_eff
12:    else
13:      p_eff = p_eff + p_deg(p_max - p_eff)
14:    end if
15:    if u(t) = 1 and rand(0,1) < p_eff then die end if
16:    if grass? = 1 here then
17:      energy = energy + food_energy
18:      grid cell: grass? = 0
19:    end if
20:    if energy > birth_threshold then
21:      energy = energy/2
22:      create new rabbit here
23:      new rabbit moves
24:    end if
25:    if energy <= 0 then die end if
26:  end routine
27:  for all grid cells with grass? = 0 do
28:    if rand(0,1) < gamma then grass? = 1 end if
29:  end for
30:  advance one time step
31: end while
32: write data to file
```

▷ simulates 'wiggling' movement
▷ efficacy degrades on repeated use
▷ efficacy increases if not used
▷ probability of being poisoned
▷ energy is halved for reproduction
▷ rabbit inherits location and energy values from parent

Was ist ein Modell?

Konkrete Modelle

Bestehen aus: physikalischem Material
Beschrieben durch: Wörter

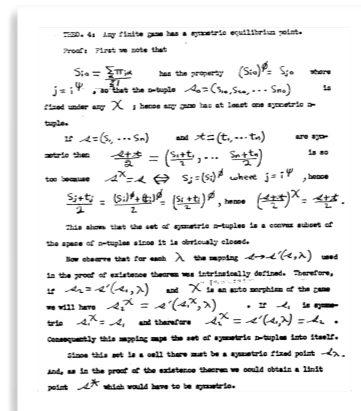


Mathematische Modelle

Bestehen aus: math. Objekten
Beschrieben durch: Formeln

$$\frac{dx}{dt} = \alpha x - \beta xy,$$

$$\frac{dy}{dt} = \delta xy - \gamma y,$$

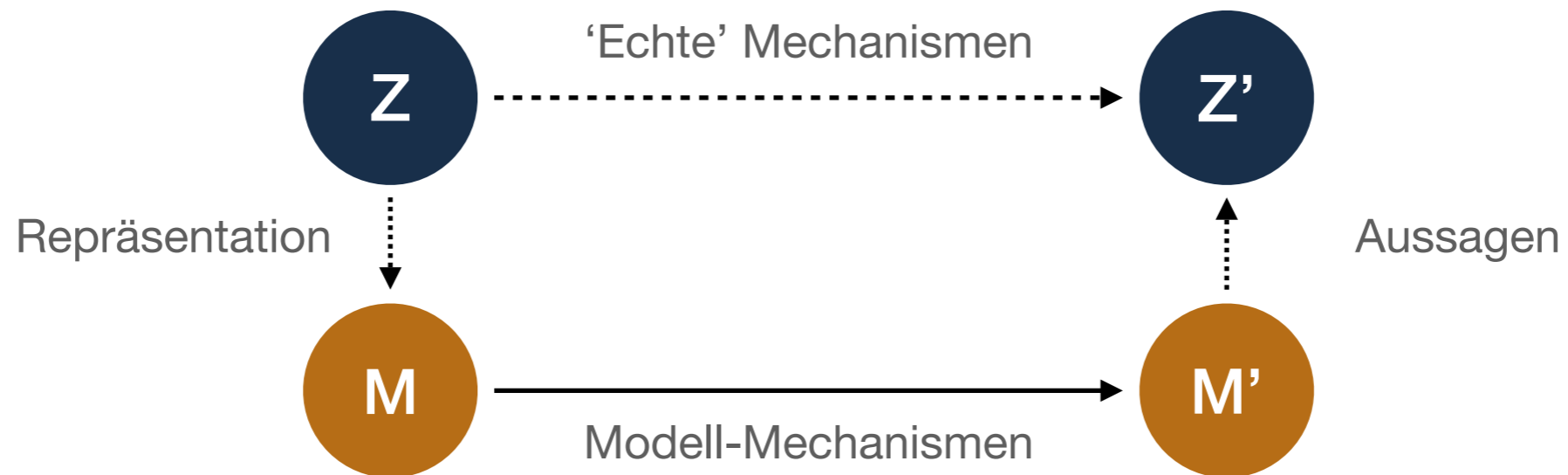


Algorithmische Modelle

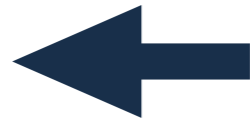
Bestehen aus: Prozeduren
Beschrieben durch: Wörter/Code

```
class Firm:
    def __init__(self):
        self.kind = "firm"
        self.id = identifier

    def update_firm_accounts(self, leftover_supply, agg_demand,
                           agg_supply, avg_price):
        sales = max(0, self.inventory[-1] - leftover_supply)
        returns = sales * self.price[-1]
        self.inventory[-1] -= sales
```



Exkurs: zur Philosophie der Repräsentation



- Modelle repräsentieren ihr Ziel
- Ziele repräsentieren kein Modell
- Wann ist etwas eine (gute) Repräsentation?

Große Ähnlichkeit
zwischen
Wissenschaftsphilosophie
&
Philosophie der Kunst



Quelle: wikimedia [18]

Qualität und Zweck von Modellen

Welche Modelle sind die besten?

$$\frac{dx}{dt} = \alpha x - \beta xy,$$

$$\frac{dy}{dt} = \delta xy - \gamma y,$$

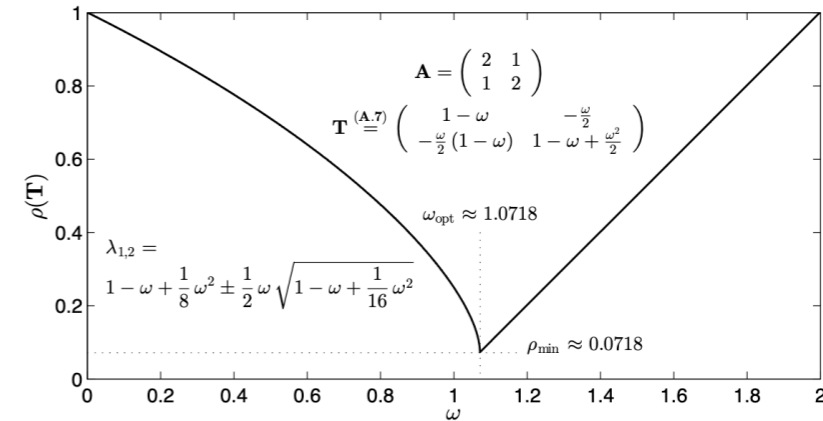


Figure A.1: Spectral radius $\rho(\omega) = \rho(\mathbf{T}(\omega))$ of the iteration matrix (A.7) derived from the matrix $\mathbf{A} = \begin{pmatrix} 2 & 1 \\ 1 & 2 \end{pmatrix}$. The spectral radius results with $\rho(\omega) = \max(|\lambda_1(\omega)|, |\lambda_2(\omega)|)$, where $\lambda_1(\omega)$ and $\lambda_2(\omega)$ are the eigenvalues of \mathbf{T} .

$$= \det(\mathbf{D} + \omega \mathbf{L})^{-1} \cdot \det((1 - \omega) \mathbf{D} - \omega \mathbf{R})$$

$$= \frac{1}{\det(\mathbf{D})} \cdot (1 - \omega)^J \cdot \det(\mathbf{D})$$

$$= (1 - \omega)^J .$$

From this it results $|\lambda_1 \lambda_2 \dots \lambda_J| = |(1 - \omega)^J| = |1 - \omega|^J$ and from (A.11) also $|\lambda_1 \lambda_2 \dots \lambda_J| \leq \rho(\mathbf{T})^J$. It is therefore $|1 - \omega|^J \leq \rho(\mathbf{T})^J$ and simply $|1 - \omega| \leq \rho(\mathbf{T})$. A convergent matrix $\mathbf{T}(\omega)$ requires $\rho(\mathbf{T}) < 1$ and thus $|1 - \omega| < 1$, i.e.

$$0 < \omega < 2 \tag{A.13}$$

 **Modellgüte abhängig vom Zweck**

Die zwei großen Ziele von Modellen

Modelle zum Zwecke der **Erklärung**

- Warum ist es zu einem Ereignis gekommen?
- **Welche kausalen Mechanismen operieren im Zielsystem?**

Modelle zum Zwecke der **Vorhersage**

- **Wie wird sich das System in Zukunft entwickeln?**
- Wie (un)sicher sind Aussagen über zukünftige Zustände?

Modelle zur Erklärung

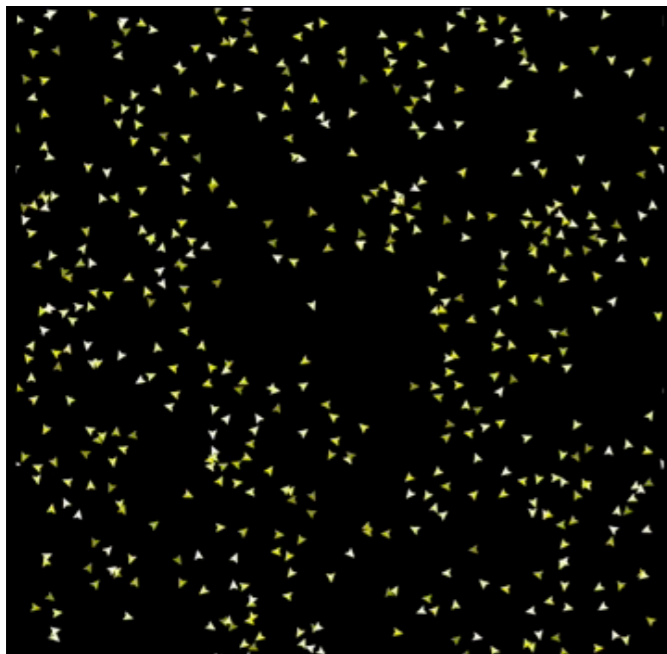


- Wie schaffen es Vögel in derart komplexen Strukturen zu fliegen?

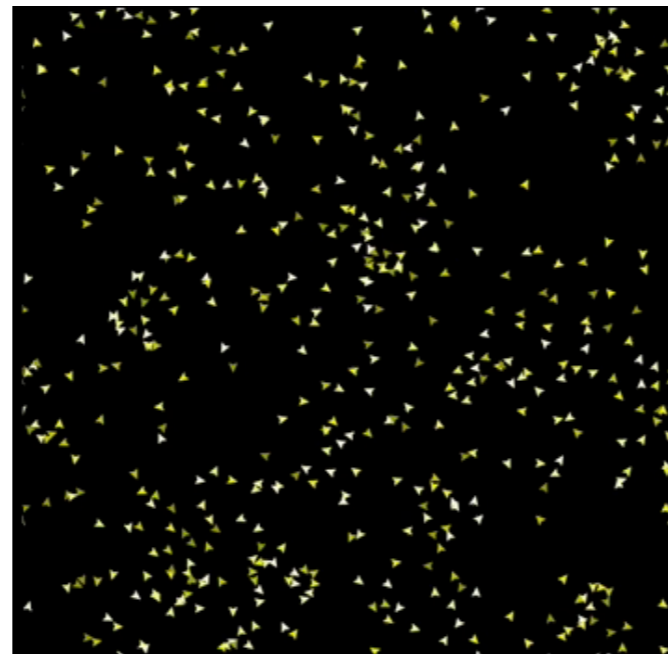
Quelle: [National Geographic](#) [19].

Modelle zur Erklärung

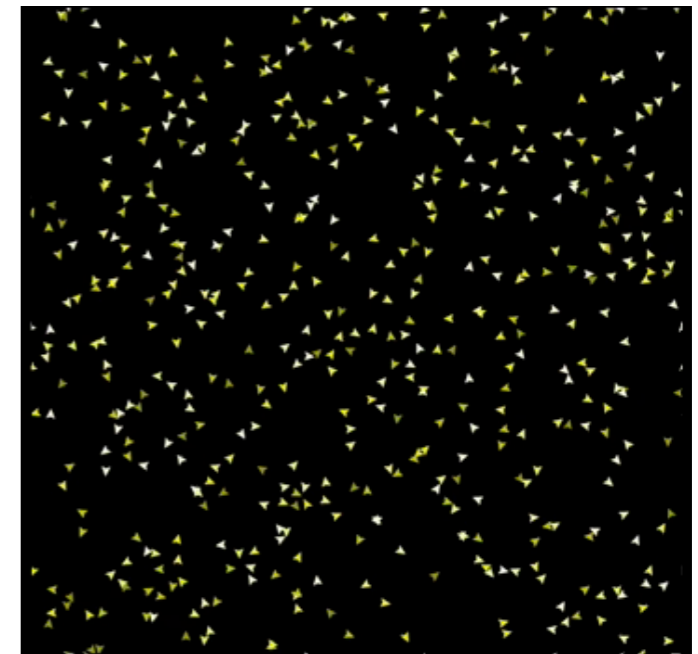
- Algorithmischen Model: **simple Verhaltensinstinke** der einzelnen Vögel → **Emergenz komplexer Makrostrukturen**



Mindestabstand: 1 Feld



Mindestabstand: 1 Feld



Mindestabstand: 3 Felder

- Modell gibt “**so-kann-es-sein**”-Erklärung, aber taugt nicht zur Vorhersage
- Herausforderung: “so-kann-es-sein”-Erklärung \neq “**so-ist-es**”-Erklärung

Modelle zur Vorhersage

- Vorhersage der Kreditausfallwahrscheinlichkeit oder Versicherungsrisiken
 - Input: verschiedenste Kundeneigenschaften
 - Output: Wahrscheinlichkeit des Ausfalls/Risikos → Preis Kredit/Versicherung
- Modell-Mechanismen (Input → Output) weitgehend unverstanden
 - Modell sagt vorher was passiert, aber nicht wie und warum

- Problem: 'rassistische' Algorithmen
 - Problem²: Unklarheit über Modell-Mechanismen
- Nicht-Berücksichtigung ethnischer/geschlechtlicher Variablen kann Problem verschärfen → Verständnis notwendig

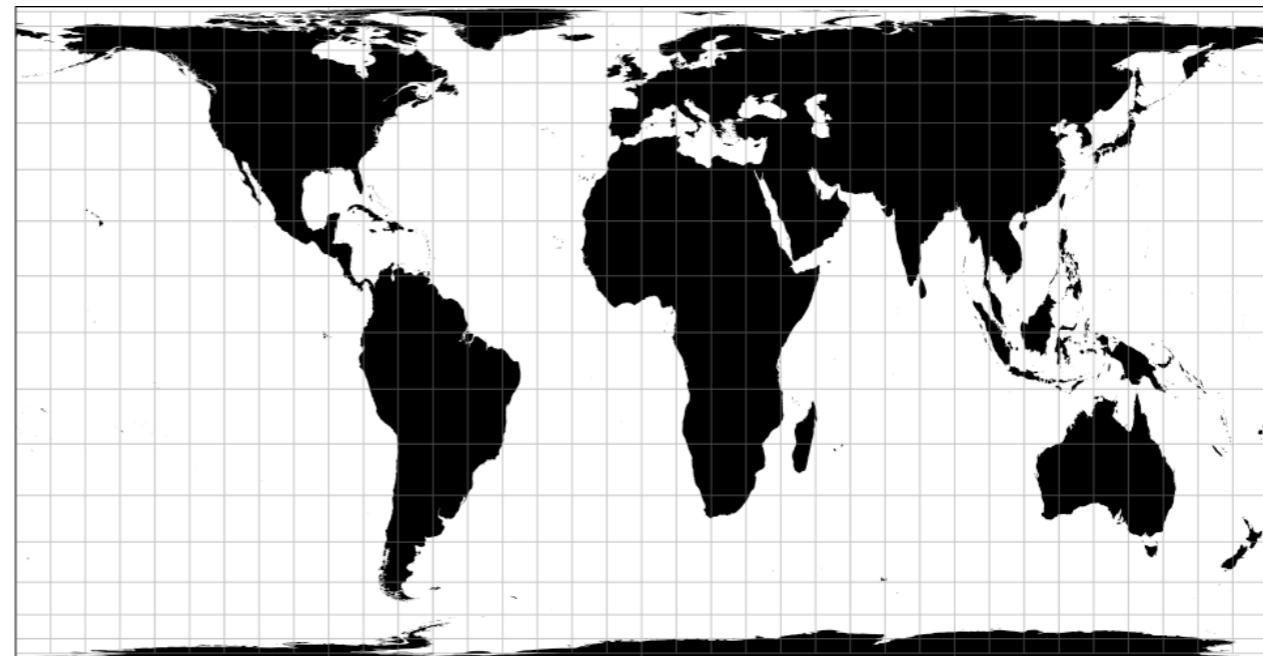
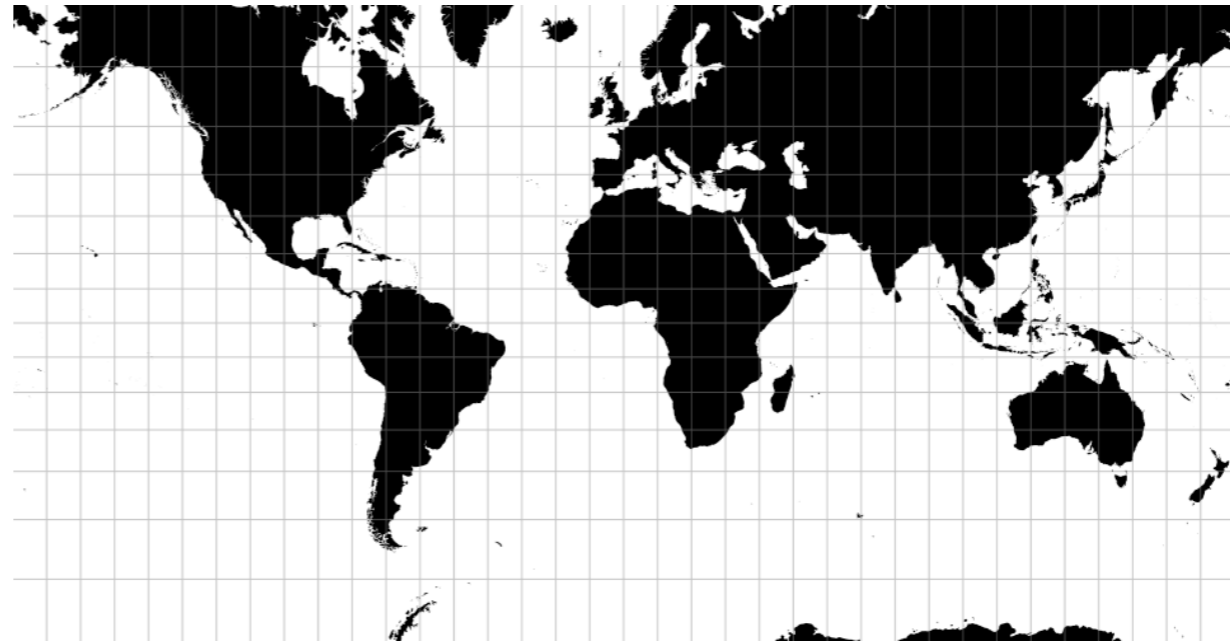
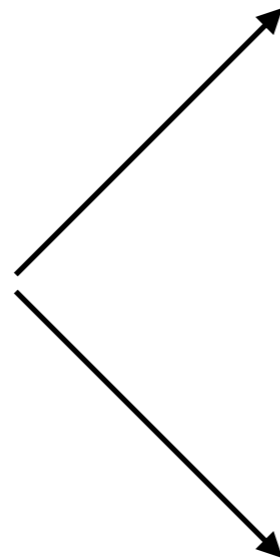


Quelle: [Angwin et al. \(2017\)](#) [20].

Modelle und Wahrheit

Modelle und Wahrheit

Zweck der abstrakten Repräsentation

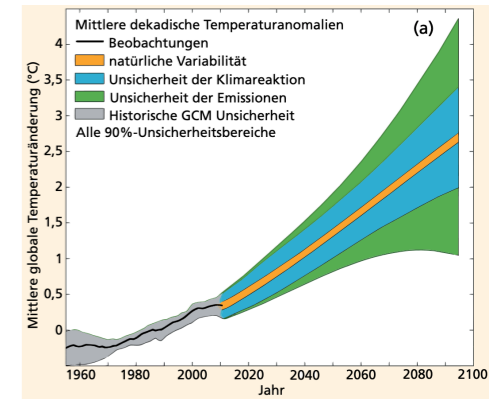
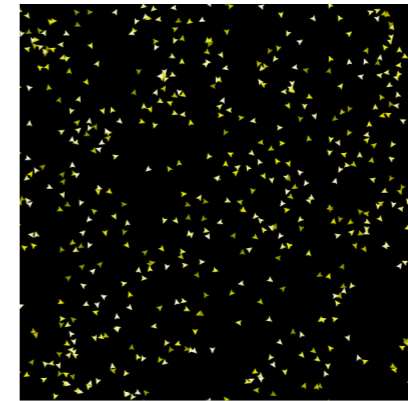


Quelle: wikimedia [21], Github [22]

Modelle und Wahrheit

Zweck von Modellen

- Modelle beinhalten immer falsche *Annahmen*
- Modelle sind nicht wahr oder falsch → Aussagen sind es



Quelle: IPCC.

“Unsere Wahrheit ist der Schnittpunkt unabhängiger Linien.”

Richard Levins

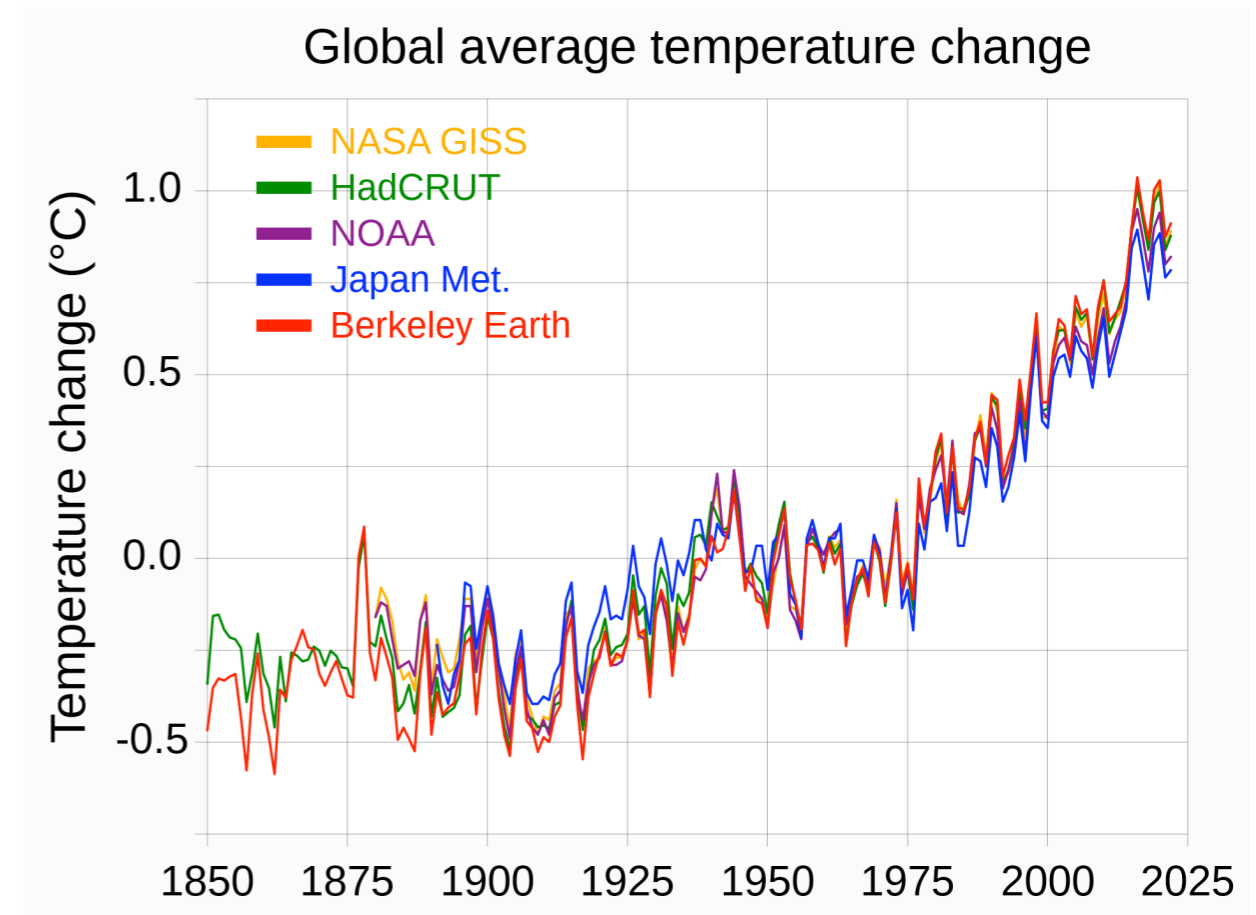
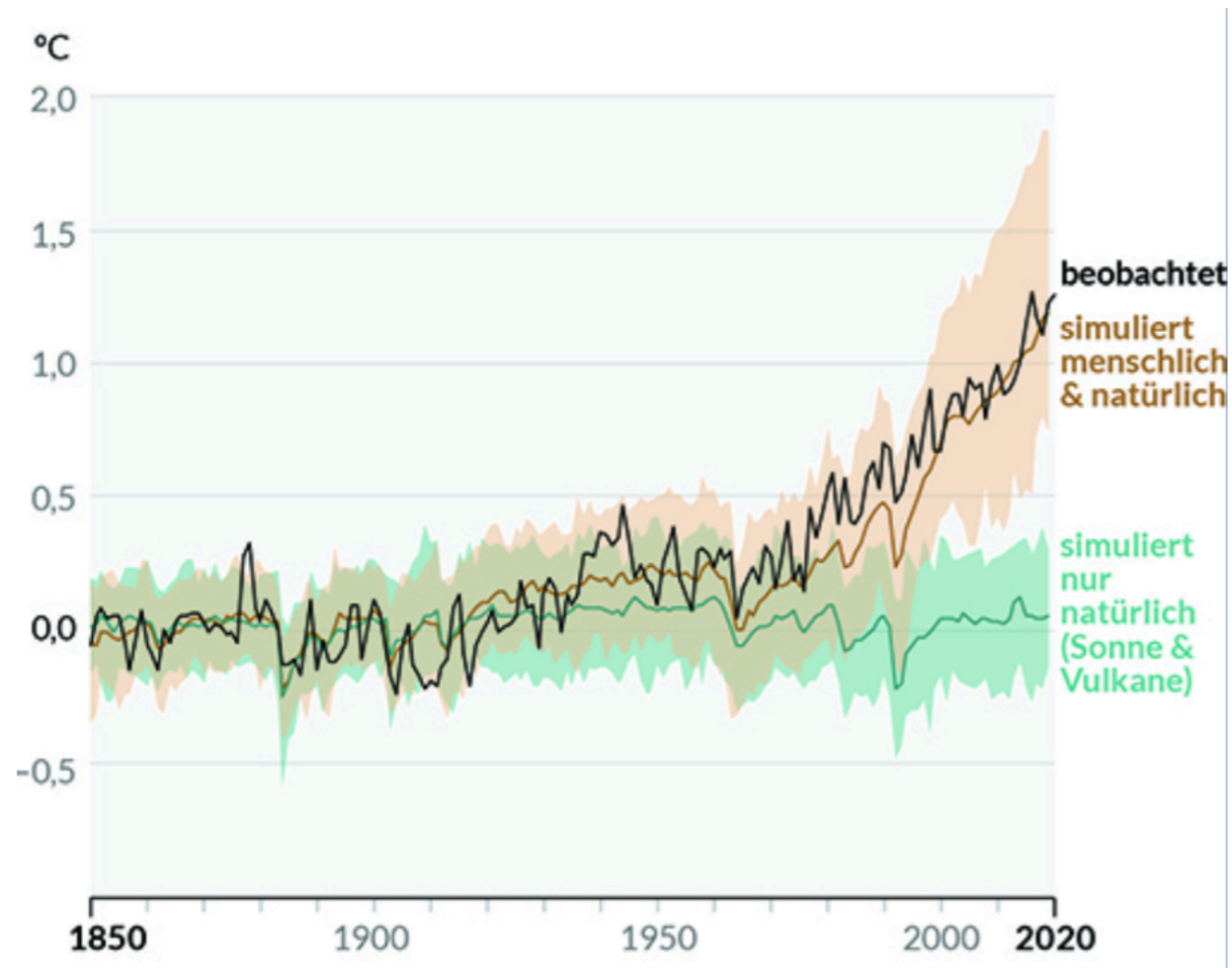


**Zentrale Rolle der Modellierenden, der
Kommentierenden, der kritischen Öffentlichkeit und
ihrer Institutionen**

Zwei abschließende Beispiele

Gibt es einen Klimawandel und warum?

Breiter und hierarchieunabhängiger Konsens



ENVIRONMENTAL RESEARCH
LETTERS

LETTER

Greater than 99% consensus on human caused climate change
in the peer-reviewed scientific literature

Mark Lynas^{1,*}, Benjamin Z Houlton² and Simon Perry³

- Große Modellvielfalt
- Eher inklusiver und egalitärer Diskurs

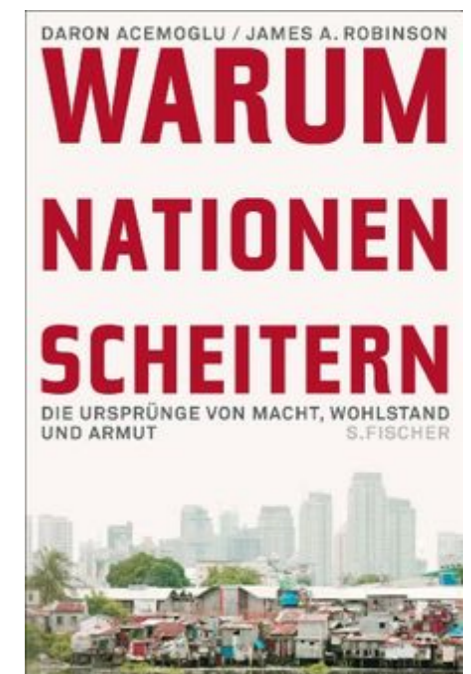
Warum sind manche arm und andere reich?

Die unversöhnliche Debatte über sozial-ökologische Transformationen

“ Es geht großteils um **Anreize** und Möglichkeiten. Ein Land entwickelt keinen Wohlstand, wenn es Menschen keinen Anreiz gibt zu investieren und um innovativ und produktiv zu sein. [...]

Der Kolonialismus war ausbeuterisch, aber die meisten Elemente afrikanischer Gesellschaften, die schlecht für Wachstum sind, blieben unverändert. [...] Es gibt [zum Beispiel] noch immer **Regeln**, wo es kein **privates Eigentum an Land** gibt.”

Acemoglu (2019)



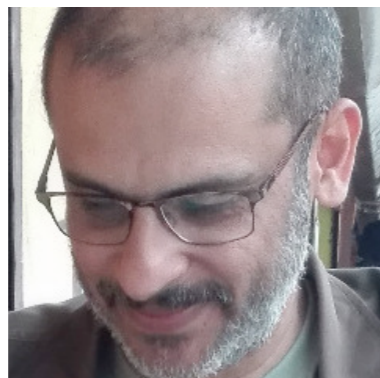
Warum sind manche arm und andere reich?

Die unversöhnliche Debatte über sozial-ökologische Transformationen

“ Es geht großteils um **Anreize** und Möglichkeiten. Ein Land entwickelt keinen Wohlstand, wenn es Menschen keinen Anreiz gibt zu investieren und um innovativ und produktiv zu sein. [...]



“ Betrachtet man die Geschichte, so wird deutlich, dass sich der Reichtum der Länder mit hohem Einkommen aus Aneignungsprozessen aus dem Rest der Welt speist. Das war während der Kolonialzeit klar, aber es gilt auch heute noch.”

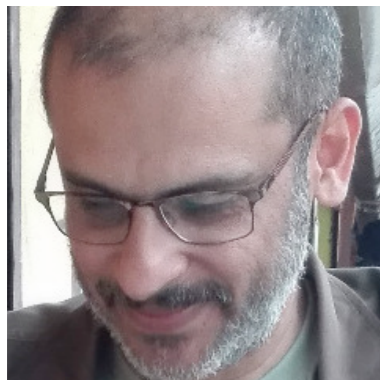


Hickel et al. (2021, p. 1030;
eigene Übersetzung [28])

Warum sind manche arm und andere reich?

Die unversöhnliche Debatte über sozial-ökologische Transformationen

“ Es geht großteils um **Anreize** und Möglichkeiten. Ein Land entwickelt keinen Wohlstand, wenn es Menschen keinen Anreiz gibt zu investieren und um innovativ und produktiv zu sein. [...]



“ Betrachtet man die Geschichte, so wird deutlich, dass sich der Reichtum der Länder mit hohem Einkommen aus Aneignungsprozessen aus dem Rest der Welt speist.”



- Getrennte und antagonistische Communities
- Machtasymmetrien und gefährliche Universalismen
- (Noch) keine konstruktive Modellvielfalt

Abschluss und Zusammenfassung

- **Was sind Modelle und welche Rolle spielen sie in der Wissenschaft?**
 - Modell-basierte und abstrakt-direkte Forschung
 - Es gibt nicht “das beste” Modell
- **Inwiefern können Modelle wahr oder falsch sein?**
 - Modelle an sich sind weder wahr noch falsch
 - Einige Annahmen sind notwendigerweise falsch
 - Aussagen, die sich aus Modellen können wahr/falsch/plausibel sind
- **Was sind Kernelemente eines angemessenen Umgangs mit Modellen in der Gesellschaft?**
 - Fallibilismus, Pluralismus und kritisch-konstruktiver Debatte

Quellen

- [1]: <https://www.zdf.de/nachrichten/zdf-morgenmagazin/so-wird-das-wetter-am-dienstag-134.html>
- [2]: https://www.de-ipcc.de/media/content/IPCC_AR5_WGI_FAQ_deutsch.pdf
- [3]: https://www.schleswig-holstein.de/DE/landesregierung/ministerien-behoerden/VI/_startseite/Artikel2023/230516_MaiSteuerschätzung.html
- [4]: <https://www.de-ipcc.de/360.php>
- [5]: <https://www1.wdr.de/nachrichten/themen/coronavirus/corona-pandemie-herbst-winter-100.html>
- [7]: <https://www.sueddeutsche.de/medien/olaf-scholz-anne-will-tv-kritik-1.5555043?reduced=true>
- [8]: https://en.wikipedia.org/wiki/MONIAC#/media/File:MONIAC_computer.jpg
- [9]: https://en.wikipedia.org/wiki/U.S._Army_Corps_of_Engineers_Bay_Model#/media/File:USCAE_Bay_Model_-_San_Francisco_Bay_Detail.jpg
- [10]: https://de.wikipedia.org/wiki/Periodensystem#/media/Datei:Periodensystem_Einfach.svg
- [11]: <https://ccl.northwestern.edu/netlogo/models/Flocking>
- [17]: https://library.princeton.edu/special-collections/sites/default/files/Non-Cooperative_Games_Nash.pdf
- [18]: <https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Misthaufen.jpg>
- [19]: https://www.youtube.com/watch?v=V4f_1_r80RY
- [20]: <https://www.propublica.org/article/minority-neighborhoods-higher-car-insurance-premiums-white-areas-same-risk>
- [21]: [https://en.wikipedia.org/wiki/Earth#/media/File:The_Blue_Marble_\(remastered\).jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Earth#/media/File:The_Blue_Marble_(remastered).jpg)
- [22]: <https://github.com/d3/d3-geo-projection/>
- [23]: <https://www.hsph.harvard.edu/news/features/in-memoriam-richard-levins-ecologist-biomathematician-and-philosopher-of-science/>
- [25]: <https://www.derstandard.de/consent/tcf/story/2000111097369/warum-oesterreich-reich-ist-china-reicher-wird-und-afrika-grossteils>
- [26]: <https://www.eurekalert.org/multimedia/574799>
- [27]: <https://harris.uchicago.edu/news-events/news/professor-james-robinson-discusses-corruption-ukraine>
- [28]: <https://doi.org/10.1080/13563467.2021.1899153>

Zum Weiterlesen

- Was Modelle sind und wie sie repräsentieren:
 - Weisberg, M. (2013). *Simulation and Similarity*. Oxford University Press.
 - Frigg, R., & Nguyen, J. (2017). Models and Representation. In L. Magnani & T. Bertolotti (Eds.), *Springer Handbook of Model-Based Science* (pp. 49–102). Springer.
- Zur Evaluation von Modellen:
 - Gräbner, C. (2018). How to Relate Models to Reality? An Epistemological Framework for the Validation and Verification of Computational Models. *Journal of Artificial Societies and Simulation*, 21(3). <https://doi.org/10.18564/jasss.3772>
- Zum Thema Pluralismus:
 - Gräbner, C., & Strunk, B. (2020). Pluralism in economics: Its critiques and their lessons. *Journal of Economic Methodology*, 27(4), 311–329. <https://doi.org/10.1080/1350178x.2020.1824076>
- Zum Experimentieren mit simplen agentenbasierten Modellen:
 - Netlogo: <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/index.shtml>