

Mathe für Nachhaltigkeit?

Gesellschaft modellieren und mit Gesellschaft diskutieren

Ringvorlesung Mathematikerinnen und Informatikerinnen heute
12.7.2022

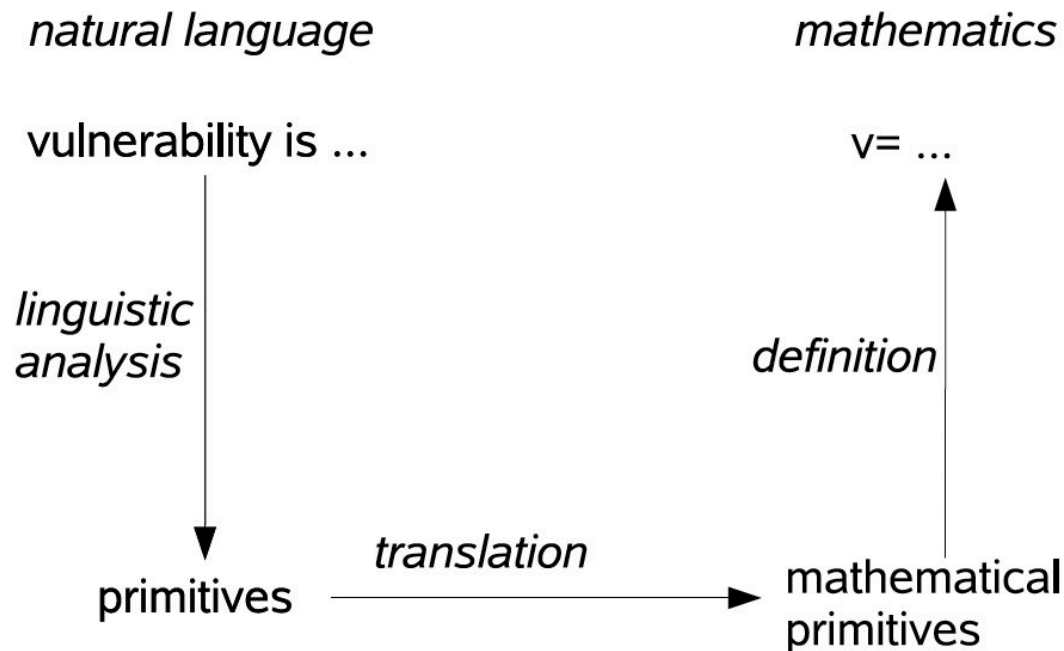
Werdegang (I)

- Mathematikstudium (mit Nebenfach Italienisch) an der HU Berlin
- Erasmus-Austausch VU Amsterdam
- studentische Hilfskraft bei Prof. Föllmer
- Diplomarbeit Kontext: Daten aus Eisbohrkernen, schnelle Übergänge zwischen verschiedenen Klimaregimes

- Promotionsstelle am Potsdam Institut für Klimafolgenforschung
- EU-Projekt
- Promotion an der FU Berlin

Mathematik “als Sprache”

- “vulnerability to climate change”
- jede Menge Definitionen, Literatur zu Klimawandel, Armut, Katastrophenschutz, ...
- Formalisierung: explicitness, standardisation, generality (Suppes, 1968)

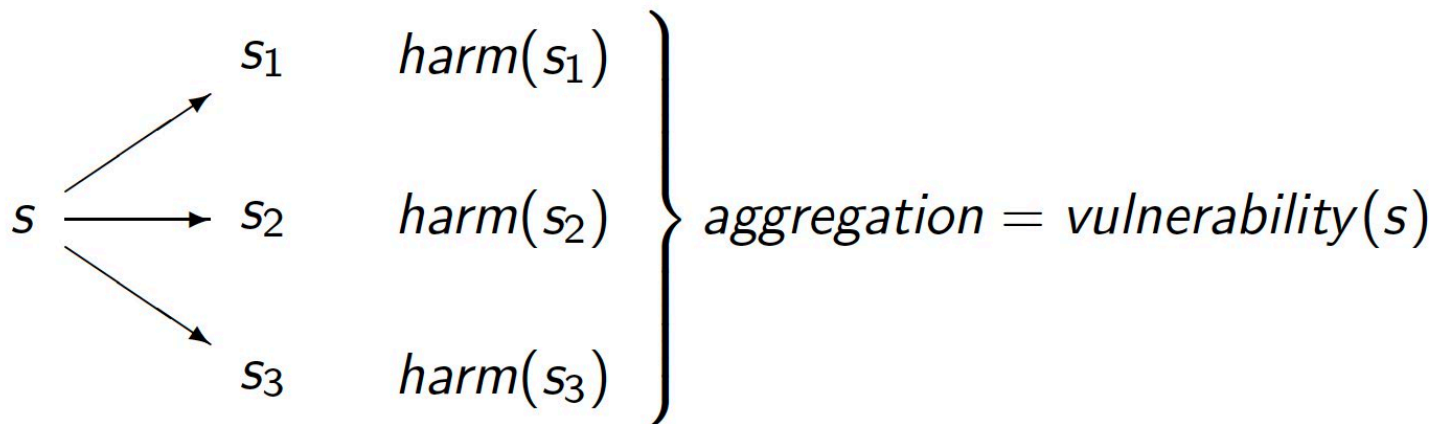


Analyse

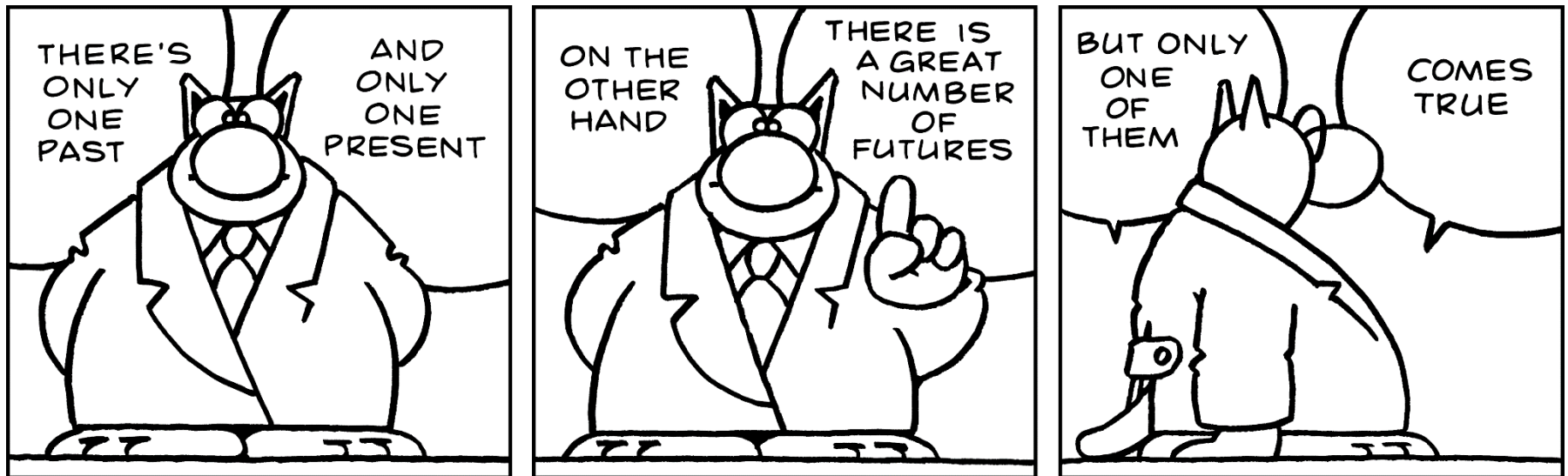
source	(graded) property	dimensions	who is vulnerable		uncertain future	risk	action	harm	cause of harm	other
Timmerman, 1981	V. is the degree	to which	a system				acts adversely			
		to				the occurrence			of hazardous a event.	
Blaikie et al, 1994	The characteristics	of	a person or a group	in terms of their	capacity to		anticipate, cope with, resist and recover	from the impact	of natural a hazard.	
	V. is a measure	of	a person or group	's	exposure			to the effects	of a natural hazard,	
	including the degree	to which	they		can		recover	from the impact	of that event.	
Bohle et al., 1994	V. is best described as	an aggregate measure of human welfare	that integrates social, economic and political		exposure to			a potential range of harmful perturbations.		
Turner et al., 2003	V. is the degree	to which	a system, subsystem, or system component		is likely to experience					
				due to	exposure to				a hazard,	either a perturbation or stress/stressor.
ISDR, 2004	V. refers to	the conditions	determined by physical, social, economic, and environmental	factors or processes which increase	the susceptibility					
		of a	community					to the impact	of hazards.	
Calvo & Dercan, 2005	V. is used as	the magnitude		of		the threat		of poverty,		measured ex-ante, before
				the veil of	uncertainty					has been lifted.

Darstellung

- Zustand jetzt: $s \in S$
- mögliche zukünftige Zustände: $m: S \rightarrow \mathcal{P}(S)$, also $m(s) \subseteq S$
- Bewertung von Schaden $h: S \rightarrow H$, wobei H eine Menge mit partieller Ordnung
- Vulnerabilität $v(s) = g(\{h(s') \mid s' \in m(s)\})$, wobei $g: \mathcal{P}(H) \rightarrow \mathbb{R}$, Bedingungen an g zu definieren, bspw monoton



Philippe Geluck's Le Chat zu Zukünften



Wahrscheinlichkeit?



1/8



1/12



1/20

Probabilitas enim est gradus certitudinis, & ab hac differt ut pars á toto.
(Bernoulli, vor 1705)

Formalisierung von Wahrscheinlichkeit...



- nutzt Maßtheorie
 - Ereignisse als Teilmengen einer Menge
 - paarweise disjunkte Mengen
- $$P(\bigcup_{i=1}^{\infty} A_i) = \sum_{i=1}^{\infty} P(A_i)$$
- nur bestimmte Teilmengen zugelassen (σ -Algebra)

es gibt noch andere...

- subjektive Wahrscheinlichkeit als “degree of belief”
- alles, was objektiv wahr oder falsch sein kann, aber eine Person nicht weiß, hat Wkeit für diese Person
- Wettschema: 1 Euro wenn wahr, 0 wenn falsch
Einsatz entspricht Wkeit
- Kohärenz: Wetten auf mehrere Ereignisse, p_i
Wettbüro darf keine Möglichkeit haben, eine Auswahl zu treffen, mit der es sicher gewinnt
- Kohärenz entspricht Additivität
- ABER: nur endliche Additivität
- σ -Algebra wird überflüssig, vieles wird schwieriger zu beweisen
- intuitiver: endlich vs unendlich / (endlich & abzählbar unendlich) vs überabzählbar
- Gleichverteilung auf \mathbb{N}



$$P\left(\bigcup_{i=1}^n A_i\right) = \sum_{i=1}^n P(A_i)$$

Werdegang (II)

- Wechsel in andere Arbeitsgruppe am PIK
- Forschungsfrage: win-win Klimapolitik?
- Learning by doing: Elemente der Wirtschaftswissenschaften, agent-based modelling (ABM)

- März 2011 Geburt meiner ersten Tochter, schrittweise wieder angefangen zu arbeiten
- Mentoring Programm der Leibniz-Gemeinschaft

Green Growth

World Bank, 2012

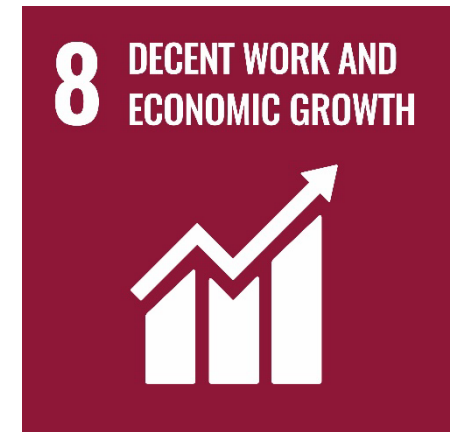
OECD, 2009



+



+



Green Growth in Modellen?

- ... Klimapolitik -> ökonomische Kosten
- “Trittbrettfahren”

- standardisierte Darstellung von ökonomischen Akteur*innen
 - repräsentative Firma/Haushalt
 - keine Netzwerke
 - keine ungewollte Arbeitslosigkeit
 - ...

- Agenten-basierte Modelle: mehr Freiheiten

Entwicklungen modellieren

typisches Beispiel Wachstumsprozess

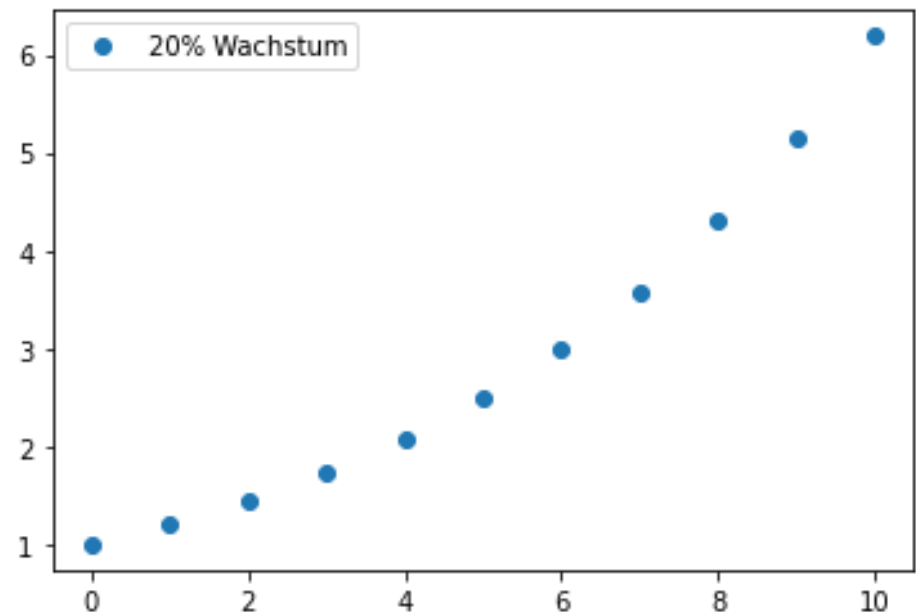
- ▶ $x \in \mathbb{R}_+$ Menge der möglichen Zustände
- ▶ Zeitindex $t \in [0, T]$, Startwert x_0
- ▶ $x_{t+1} = (1 + r) * x_t$

dynamisches System:

Zustandsraum X
(Menge der möglichen Zustände)

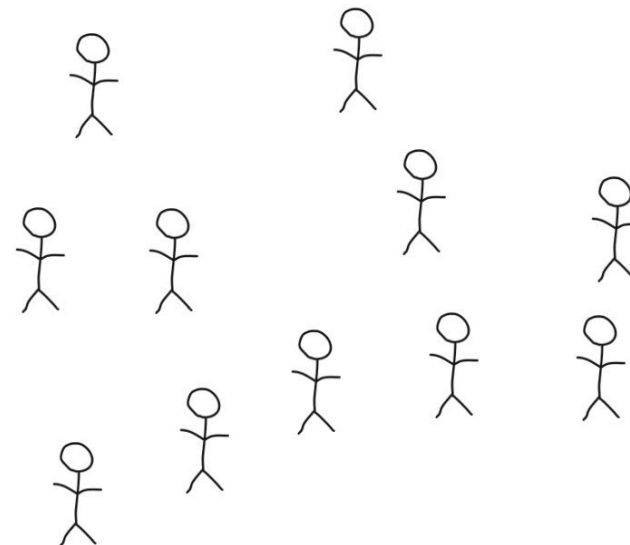
Dynamik $f: X \rightarrow X$

in diskreter Zeit



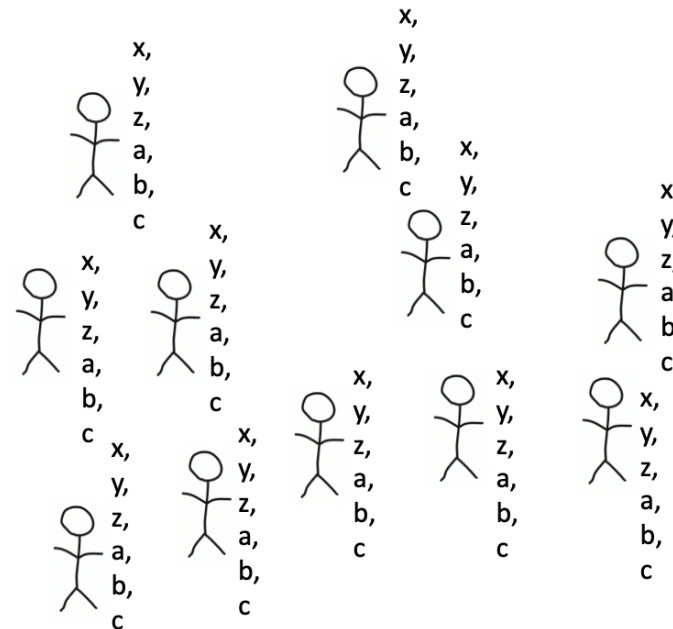
ABM

- System auf Mikro-Ebene darstellen, Elemente und deren Interaktionen definieren
- wiederholte Interaktionen simulieren, Entwicklung des Systems beobachten
- Gesellschaft: Personen, Gruppen von Personen, Akteur*innen aus Politik, Verwaltung, Wirtschaft...
- Akteur*in in realer Welt -> Darstellung auf dem Computer heißt “agent”



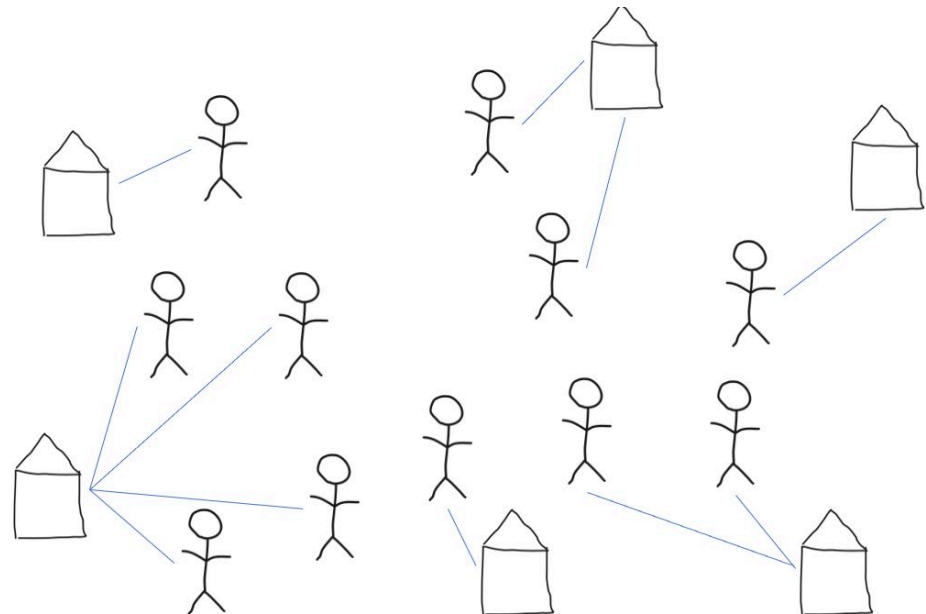
ABM

- System auf Mikro-Ebene darstellen, Elemente und deren Interaktionen definieren
- wiederholte Interaktionen simulieren, Entwicklung des Systems beobachten
- Gesellschaft: Personen, Gruppen von Personen, Akteur*innen aus Politik, Verwaltung, Wirtschaft...
- Akteur*in in realer Welt -> Darstellung auf dem Computer heißt “agent”
- Eigenschaften



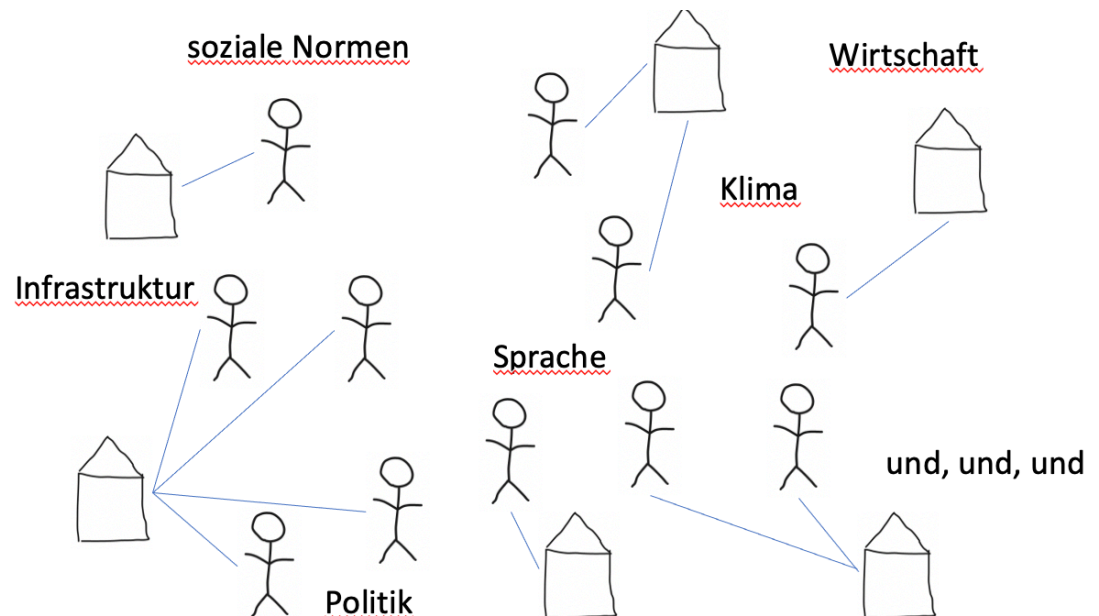
ABM

- System auf Mikro-Ebene darstellen, Elemente und deren Interaktionen definieren
- wiederholte Interaktionen simulieren, Entwicklung des Systems beobachten
- Gesellschaft: Personen, Gruppen von Personen, Akteur*innen aus Politik, Verwaltung, Wirtschaft...
- Akteur*in in realer Welt -> Darstellung auf dem Computer heißt “agent”
- Eigenschaften
- soziale Struktur



ABM

- System auf Mikro-Ebene darstellen, Elemente und deren Interaktionen definieren
- wiederholte Interaktionen simulieren, Entwicklung des Systems beobachten
- Gesellschaft: Personen, Gruppen von Personen, Akteur*innen aus Politik, Verwaltung, Wirtschaft...
- Akteur*in in realer Welt -> Darstellung auf dem Computer heißt “agent”
- Eigenschaften
 - soziale Struktur
 - gemeinsame Umwelt
- Zustandsraum aufwändig
- Dynamik in vielen Schritten

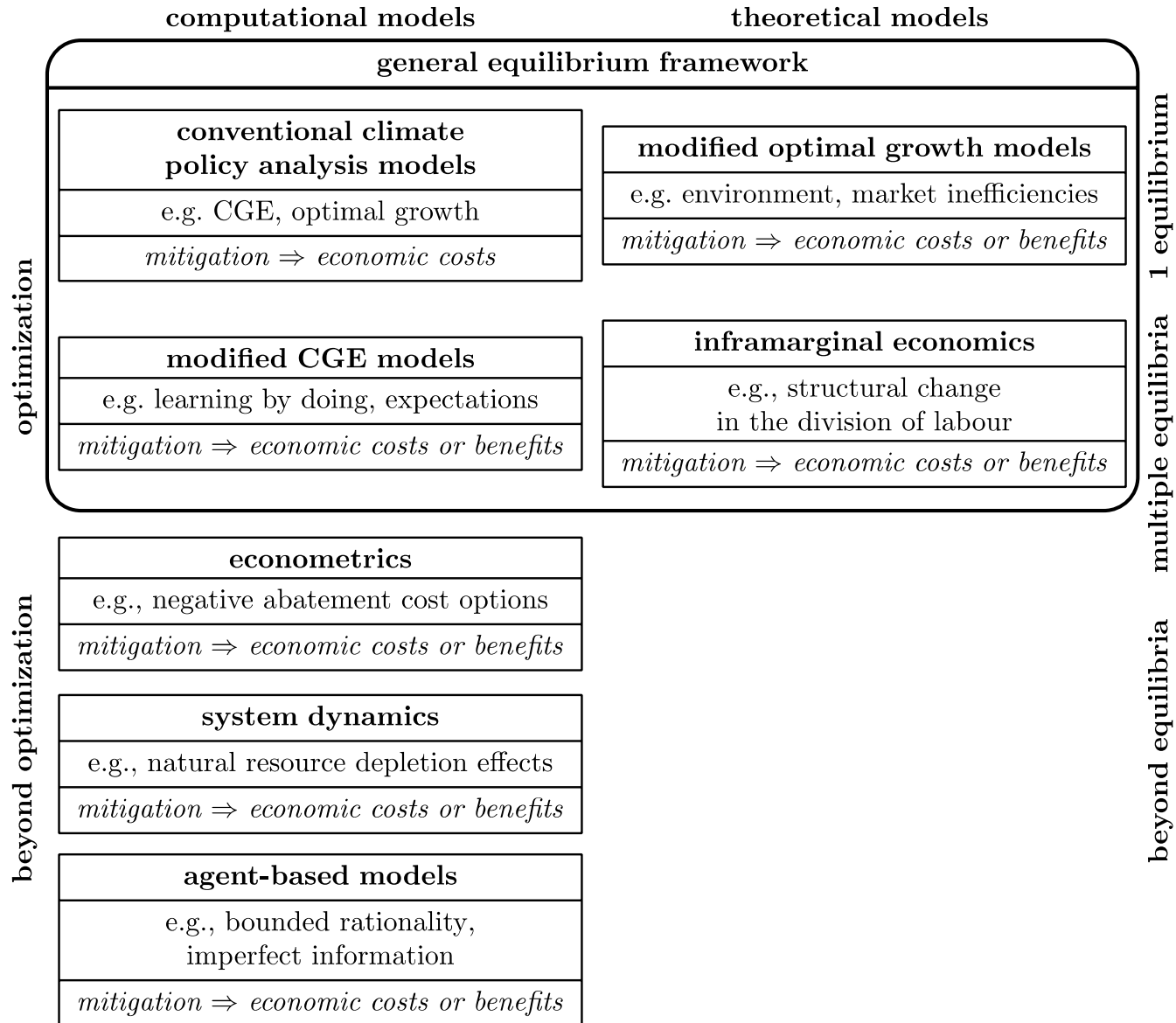


Werdegang (III)

- Wechsel (mit der Arbeitsgruppe) zum Global Climate Forum
- Learning-by-doing Forschungsanträge
- Sommer 2013



- Schrittweise Wiedereinstieg 2014



Wolf et al., 2016

Werdegang (IV)

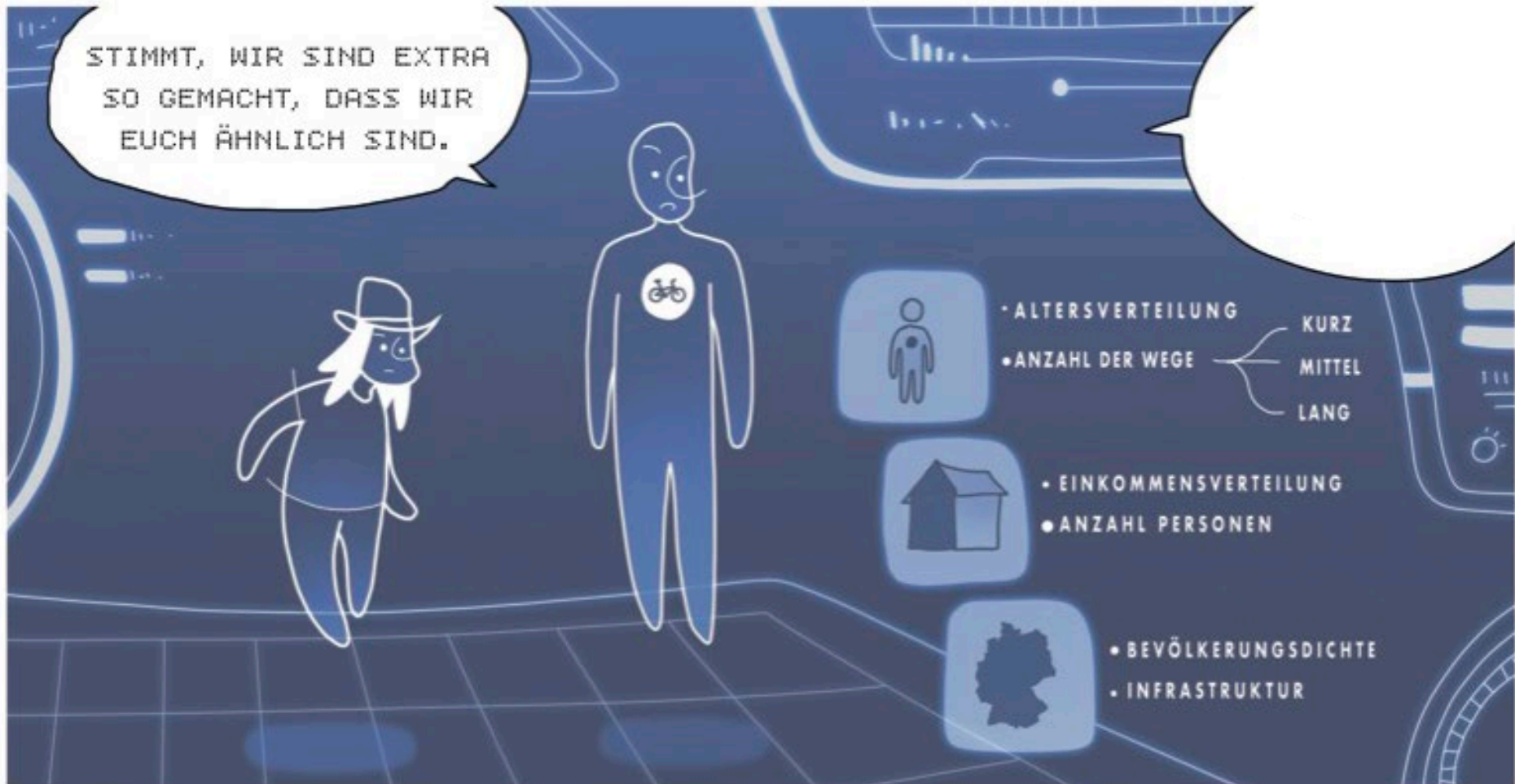
- EU Projekt Center of Excellence for Global Systems Science
- High Performance Computing, Mobilität
- Learning by doing: Netzwerken

- Decision Theatre
- Wissenschaftskommunikationsprojekt Dahrendorf Preis
- Comic

- MATH+ junior research group “Mathematics for Sustainability Transitions”
 - Green Growth ABM wieder aufgenommen
 - MATH+ Kooperation: neue Themen
 - Schule@DecisionTheatreLab
 - Learning by doing: Lehre, Abschlussarbeiten, ...







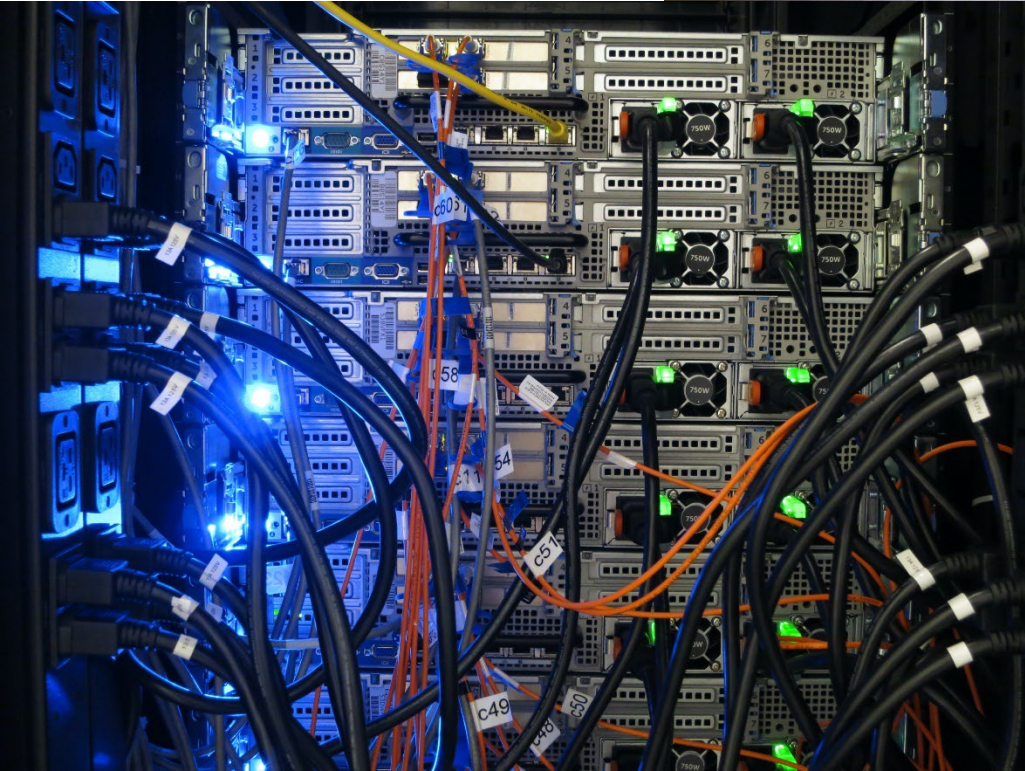
synthetische Bevölkerung

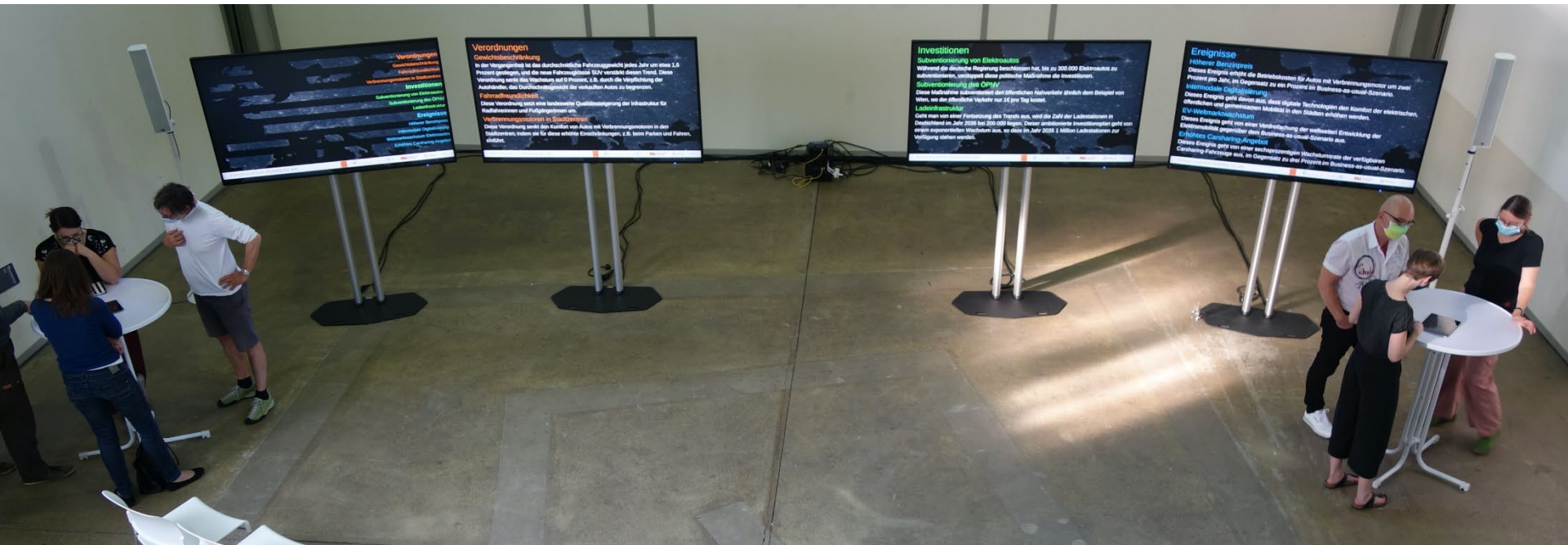
- Menge der Agenten auf dem Computer stellt Gruppe der Akteur*innen statistisch korrekt dar
- Randverteilungen gegeben (statistische Ämter etc)
- kleinere Stichproben für gemeinsame Verteilung (Zensus-, Surveydaten)
- Verfahren zur Erstellung von synthetischen Bevölkerungen, z.B. iterative proportional fitting

Dynamik

- Personen tauschen sich mit anderen aus
- treffen Mobilitätswahl basierend auf verschiedenen Faktoren (z.B. Kosten, Komfort)
- Haushalt muss Kosten “genehmigen”
- Auswahl kann Umwelt beeinflussen (mehr Ladestationen, wo mehr E-Autos)
- iterativ, 360 “Monate” (2005-2035)

Berechnung





Verordnungen
Gemeinschaftssteuer
 - Erhöhung der Körperschaftsteuer
 - Erhöhung der Einkommensteuer
Investitionen
 - Subventionierung von Elektroautos
 - Subventionierung von E-Cars
Ereignisse
 - Höherer Benzinspreis
 - Erhöhter CO₂-Ausstoß
 - Erhöhter CO₂-Ausstoß

Verordnungen
Gemeinschaftssteuer
 In der Vergangenheit ist die durchschnittliche Fahrzeuglänge jedes Jahr um etwa 1,5 Prozent gestiegen, was die durchschnittliche CO₂-Emission erhöht hat. Diese Veränderung stellt die Verbraucher mit 0 Prozent, z.B. durch die Verpflichtung der Automobilhersteller, das Durchschnittsgewicht der verkauften Autos zu begrenzen.
Fahrerlaubnis
 Diese Verordnung ist eine landesweite Qualitätssteigerung der Infrastruktur für Radfahrerinnen und Radfahrerinnen.
Verbreitungsstellen in Städten
 Diese Verordnung stellt den Kontakt von Autos mit Verkehrsmitteln in den Städten sicher, um für diese wichtige Einrichtungen, z.B. beim Parken und Fahren, sicher zu sein.

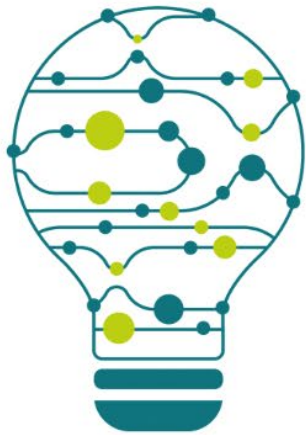
Investitionen
Subventionierung von Elektroautos
 Während die deutsche Regierung Investitionen hat, bis zu 300.000 Euro auszugeben zu unterstützen, unterstützt diese politische Maßnahme die Investitionen.
Subventionierung von E-Cars
 Diese Maßnahme subventioniert den individuellen Netznutzung durch den Einsatz von E-Cars, um die öffentliche Verkehr nur 2€ pro Tag kostet.
Ladestationen
 Gibt man sich einer Fortsetzung des Trends aus, wird die Zahl der Ladestationen in Deutschland im Jahr 2020 um 200.000 steigen. Dieser enorme Investitionsbedarf wird von einigen europäischen Ländern aus, so dass im Jahr 2020 1 Million Ladestationen zur Verfügung stehen werden.

Ereignisse
Höherer Benzinspreis
 Dieses Ereignis erhöht die Betriebskosten für Autos mit Verbrennungsmotor um zwei Prozent pro Jahr im Gegensatz zu ein Prozent im Busfahren als umweltfreundliche.
Erhöhter CO₂-Ausstoß
 Dieses Ereignis geht davon aus, dass digitale Technologien den Konsum der elektrischen, elektronischen und gemischten Produkte in den Städten erhöhen werden.
Erhöhter CO₂-Ausstoß
 Dieses Ereignis geht von einer Umkehrung der weltweiten Entwicklung der Erhöhten CO₂-Ausstoß aus.
Erhöhter CO₂-Ausstoß
 Dieses Ereignis geht von einer technologischen Hochleistungsrate der verfügbaren Leistungsfähigkeit aus, im Gegensatz zu dem Prozess im Busfahren als umweltfreundliche.









Schule@ DecisionTheatre Lab

Gefördert durch



**Berlin University
Alliance**

Wissenschaftliche Koordination: Ariane Beier, TU Berlin, MATH+
Decision Theatres/Sprecherin: Dr. Sarah Wolf, FU Berlin
Teaching and Learning: Dr. Luise Fehlinger, HU Berlin
Diversity: Prof. Dr. Heike Solga, FU Berlin
Gender Equality: Dr. Anina Mischau, FU Berlin
Kommunikation: Beate Rogler, TU Berlin, MATH+

Danke!

Fragen?

Kolmogorov's axioms

- ▶ use measure theory,
- ▶ (Ω, \mathcal{A}, P)
 - ▶ Ω is a set
 - ▶ \mathcal{A} is a σ -algebra over Ω
 - ▶ P is a measure on \mathcal{A} with $P(\Omega) = 1$
- ▶ a set of subsets of Ω , such that
 - ▶ $\Omega \in \mathcal{A}$
 - ▶ $A \in \mathcal{A} \Rightarrow A^c \in \mathcal{A}$
 - ▶ $A_1, A_2, \dots \in \mathcal{A} \Rightarrow \bigcup_{i=1}^{\infty} A_i \in \mathcal{A}$
- ▶ a function from sets to non-negative numbers, such that
 - ▶ $P : \mathcal{A} \rightarrow [0, 1]$
 - ▶ $A_1, A_2, \dots \in \mathcal{A}$ pairwise disjoint, then $P(\bigcup_{i=1}^{\infty} A_i) = \sum_{i=1}^{\infty} P(A_i)$, “ σ -additivity”



(1903-1987)

Interpretation

- ▶ Ω represents the possibilities, one $\omega \in \Omega$ “true”
- ▶ subsets of Ω represent events, A takes place if the true $\omega \in A$
- ▶ $P(\Omega) = 1$ represents certainty
- ▶ σ -algebra \mathcal{A} ? observable events
- ▶ mathematically motivated, due to problem:
a *measure* can be defined on the powerset of an infinite Ω *only if* concentrated in at most countably many points
- ▶ choice in measure theory: restrict the domain of definition to a σ -algebra small enough to avoid the problem
- ▶ “axioms, classical and statistical measurements provide approximations to a more and more complete description of probability”
- ▶ Kolmogorov interested in the mathematical theory



Modelle fehlten

- ... Klimapolitik -> ökonomische Kosten
- “Trittbrettfahren”

- standardisierte Darstellung von ökonomischen Akteur*innen
 - Produktion: Kapital und Arbeit, Firmen maximieren Profit -> Angebot
 - Konsum: Haushalte maximieren Nutzen -> Nachfrage
 - Löhne und Preise dabei als gegeben betrachtet
- Arrow und Debreu: Existenz von Gleichgewichten: “Angebot = Nachfrage”
- Reduktion auf “repräsentative Firma/Haushalt”, ein Gleichgewicht, neue Optimierung in dessen Nähe mit Klimapolitik als zusätzlicher Bedingung