

Systeme, Komplexität – und wie Menschen damit umgehen können

Streiflichter



Wechselwirkungen menschlichen Handelns und natürlicher Systeme

Beispiele

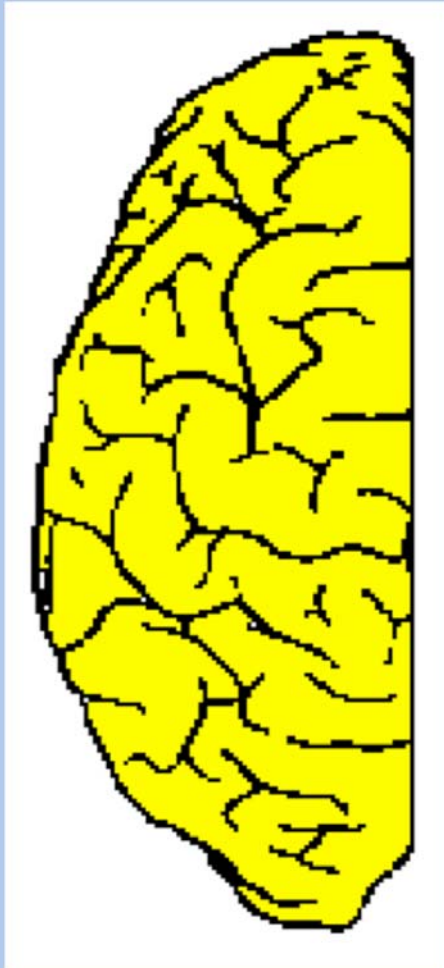
„Wie kaum ein anderer Bereich widerspiegelt der Abfall das Wirtschaftswachstum und den Lebensstil einer Gesellschaft. Im Vergleich zum Jahr 1950 produzieren wir heute weltweit die siebenfache Menge an Gebrauchsgütern und entziehen unserem Planeten die fünffache Menge an Rohstoffen.“ BUWAL

Weltuntergang: Franz Hohler



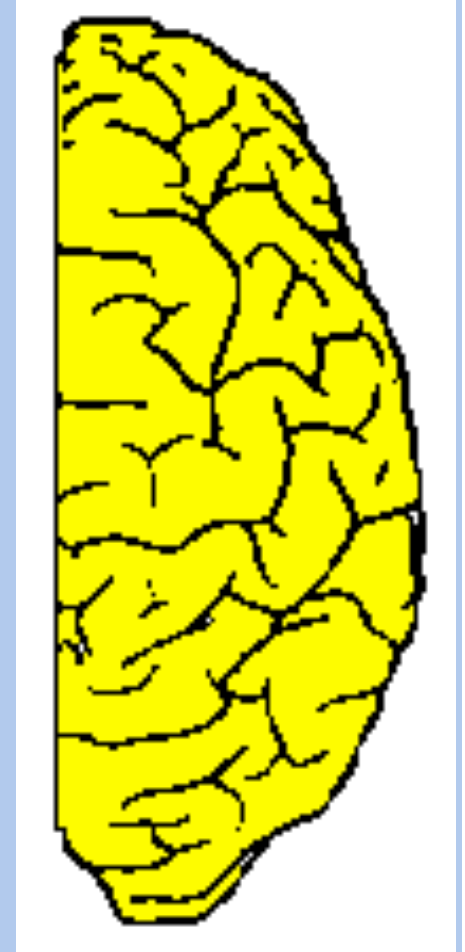
Umweltprobleme sind unbeabsichtigte Folgen menschlichen Handelns

Motivation



**Umweltprobleme verlangen nach
analytischen und synthetischen
sowie dynamischen
Untersuchungsmethoden und
Erklärungsansätze**

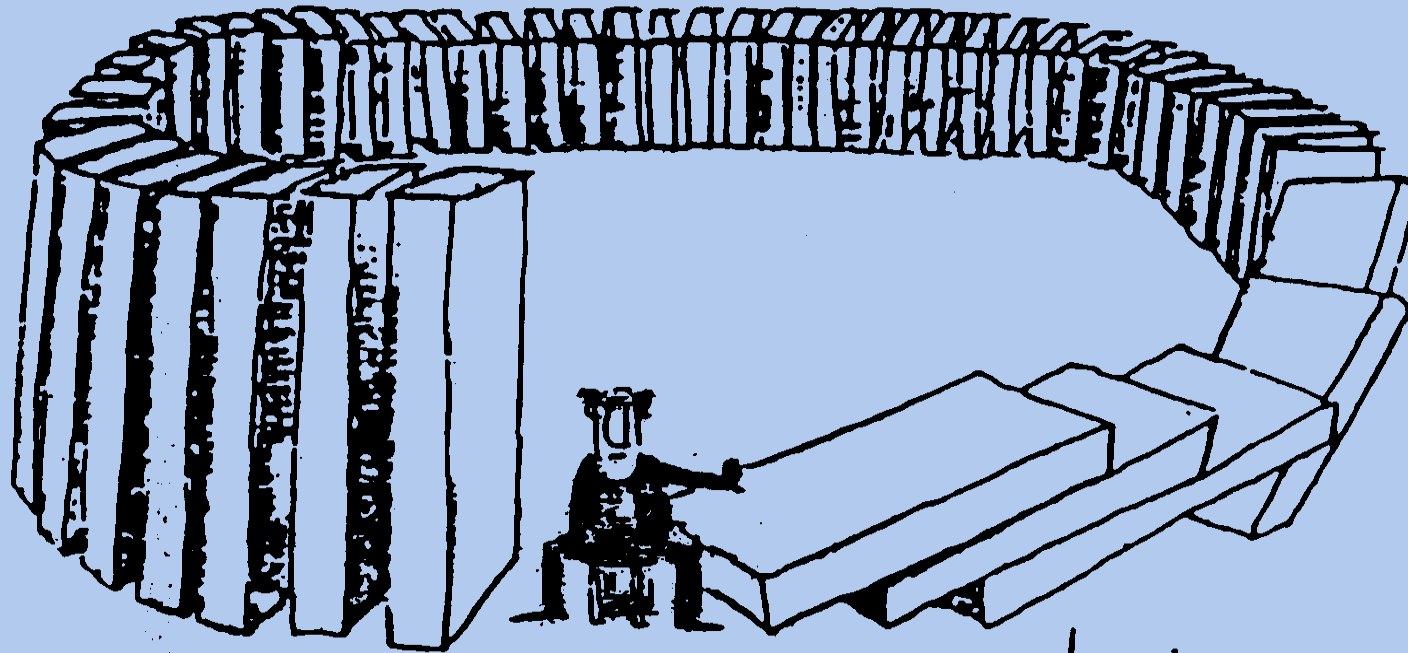
”



Gesetze der unbeabsichtigten Nebenfolgen unseres Handelns besser verstehen

We have met the enemy and he is us.“

Pogo



„Anything that can go wrong will go wrong.“

Murphy

Ziele

Die Studierende ...

- ... können wichtige Begriffe der Systemtheorie erklären.
- ... können wichtige Strömungen verschiedener Systemansätze mit ihren Vertretern nennen und unterscheiden.
- ... kennen Anwendungsgebiete und Instrumente des Systemansatzes.
- ... kennen Vorteile und Grenzen von (Simulations-) Modellen.
- ... haben anhand von Beispielen Einblick erhalten, wie (Simulations-) Modelle für Wissenschaft und Politikberatung fruchtbar gemacht werden können.
- ... haben Lust bekommen, mit Systemansätzen und Simulationsmodellen zu experimentieren.

Allgemeine Merkmale von Systemen/1

(nach Bossel 1992 und Ossimitz 2000)

Griech. Systema = das Zusammengestellte

Bestandteile eines Systems:

- Systemelemente
- Beziehungen zwischen den Elementen (Relationen)
- Systemgrenze zur Umwelt „Identität“ (Unterscheidung endogene und exogene Bestandteile)
- Funktion oder Zweck
- Systemverhalten, zeitliche, kontinuierliche Veränderung der Variablen (Systemdynamik)

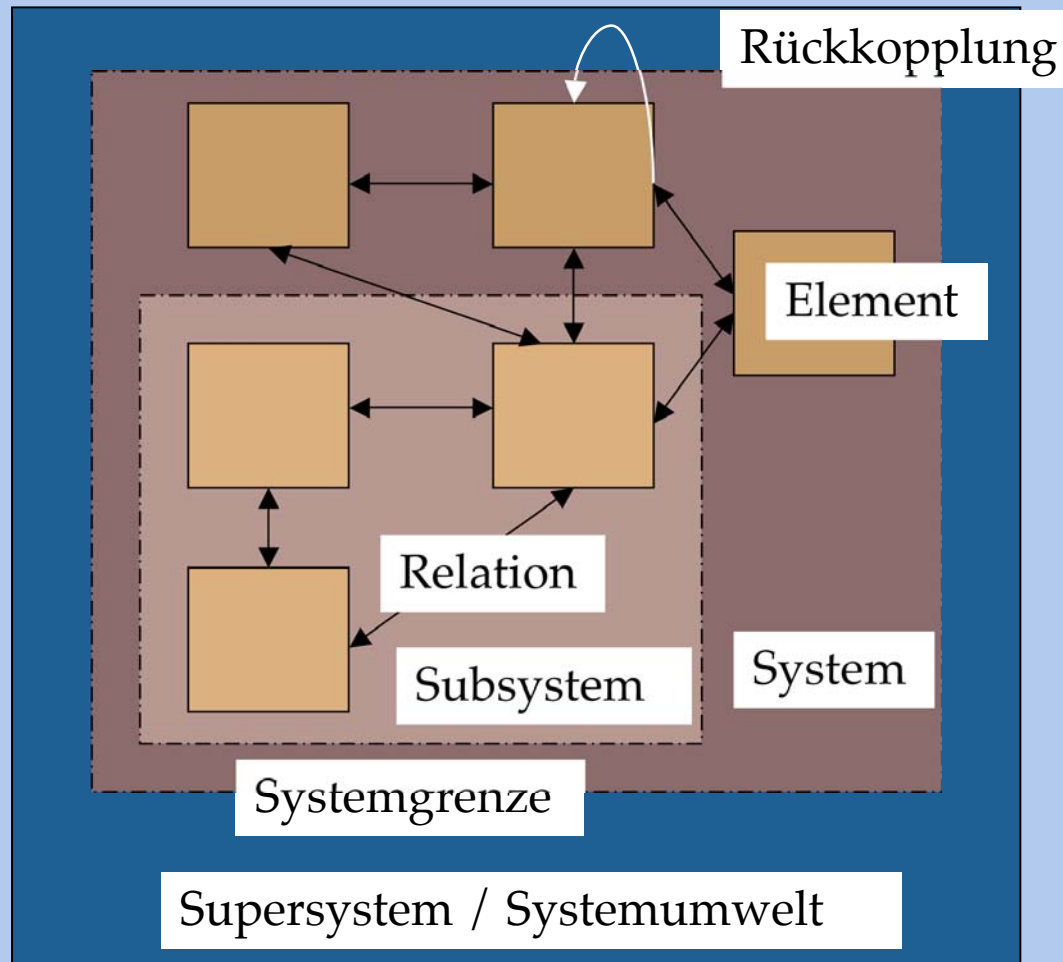
Allgemeine Merkmale von Systemen/1

(nach Bossel 1992 und Ossimitz 2000)

Systemstruktur

Das Objekt besteht aus einer bestimmten Konstellation von Systemelementen und Wirkungsverknüpfungen (Relationen), die seine Funktion bestimmen.

Systemstruktur



Allgemeine Merkmale von Systemen/2

Systemzweck

Das Objekt erfüllt eine bestimmte Funktion, d.h. es lässt sich durch einen Systemzweck definieren, den wir als Beobachter in ihm erkennen.

Allgemeine Merkmale von Systemen/3

Systemintegrität

Das Objekt verliert seine Systemidentität, wenn seine Systemintegrität zerstört wird. Ein System ist nicht teilbar, d.h. es existieren Elemente und Relationen in diesem Objekt, deren Herauslösung oder Zerstörung die Erfüllung des ursprünglichen Systemzwecks, d.h. der Systemfunktion nicht mehr erlauben würde: Die Systemidentität hätte sich verändert oder wäre gänzlich zerstört.

„Das Ganze ist mehr als die Summe seiner Teile“
Ludwig von Bertalanffy

„We are coming to realize that the interactions between system components can be more important than the components.“
Forrester

Unterscheidung: System von Dingen

Objekt	Elemente	Beziehungen	Grenze	Zweck	Dynamik
Sanduhr					
Sandhaufen					
Volks- wirtschaft					
Objekt in „Weltunter- gang“					

Gesetzmässigkeiten von Systemen 1

- Wenn man eine Variable beeinflusst, beeinflusst man alles andere auch.
- Nicht nur das Problem analysieren, sondern auch das System in welchem es eingebettet ist.
- Symptome zu behandeln nützt nichts, wenn die Ursache nicht behoben wird (Kredit aufnehmen, statt sparen)
- Eingriffe haben Neben- und Spätfolgen, welche zu mehr Schaden als Nutzen führen können

Gesetzmässigkeiten von Systemen 2

- Heutige Probleme kommen von gestrigen Lösungen
 - Je stärker du das System störst, umso heftiger antwortet es
 - Eine Intervention kann das Problem zuerst verstärken bevor es besser wird (Wurzelbehandlung statt nur Aspirin)
 - Ursache und Wirkung sind häufig zeitlich und örtlich voneinander getrennt (*Kleine Übung*)
- ☞ Dynamische Analyse von Systemen ist wesentlich (Statische versus dynamische Systemanalyse)

Verschiedene Systemansätze

(nach Klir 1991 und Ossimit 2000)

1. Mathematik-Physik: Newton, Differentialgleichungen
2. **Allgemeine Systemtheorie:** Bertalanffy, Rapoport
3. Ökologischer Ansatz: Lotka, Volterra, Vester
4. **Kybernetik:** Norbert Wiener, Ashby; Regelungs- und Steuerungsmechanismen
5. **System Dynamics:** Forrester, Modellierung von Systemen
6. Systemisches Management: Senge, Gomez, Probst
7. Kommunikationstheoretischer Ansatz: Watzlawick
8. **Soziologische Systemansätze:** Weber, Parsons, Luhmann
9. Konflikttheoretischer Systemansatz: Schwarz
10. Ökonomische Systemansätze: Keynes, Phillips
11. Technische Systemansätze: Watt
12. **Psychologische Systemansätze:** Lewin, Barker, Powers, ...

Wie kann man Systeme statisch abbilden

Drei Systemkonzepte nach Ropohl

- Das funktionale Konzept: Blackbox-Modell (Input, Zustände, Output)
- Das strukturelle Konzept: Whitebox-Modell (Elemente, Relationen)
- Das hierarchische Konzept (Subsystem, System, Supersystem)

Modellverständnis wenn Blackbox

Gesellschaftliche
Trends

Verkehrs- und Raum-
entwicklungsindikatoren

Durchschnittsmensch

Input-
Variablen



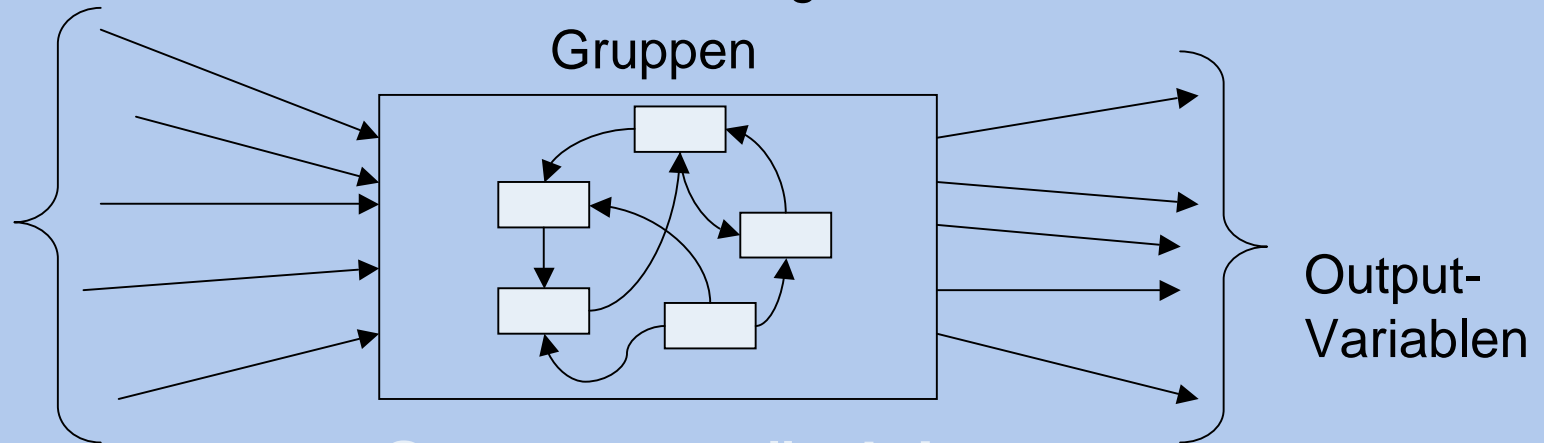
Modellverständnis wenn Whitebox

Gesellschaftliche
Trends

Verkehrs- und Raum-
entwicklungsindikatoren

Input-
Variablen

Verhaltenshomogene
Gruppen



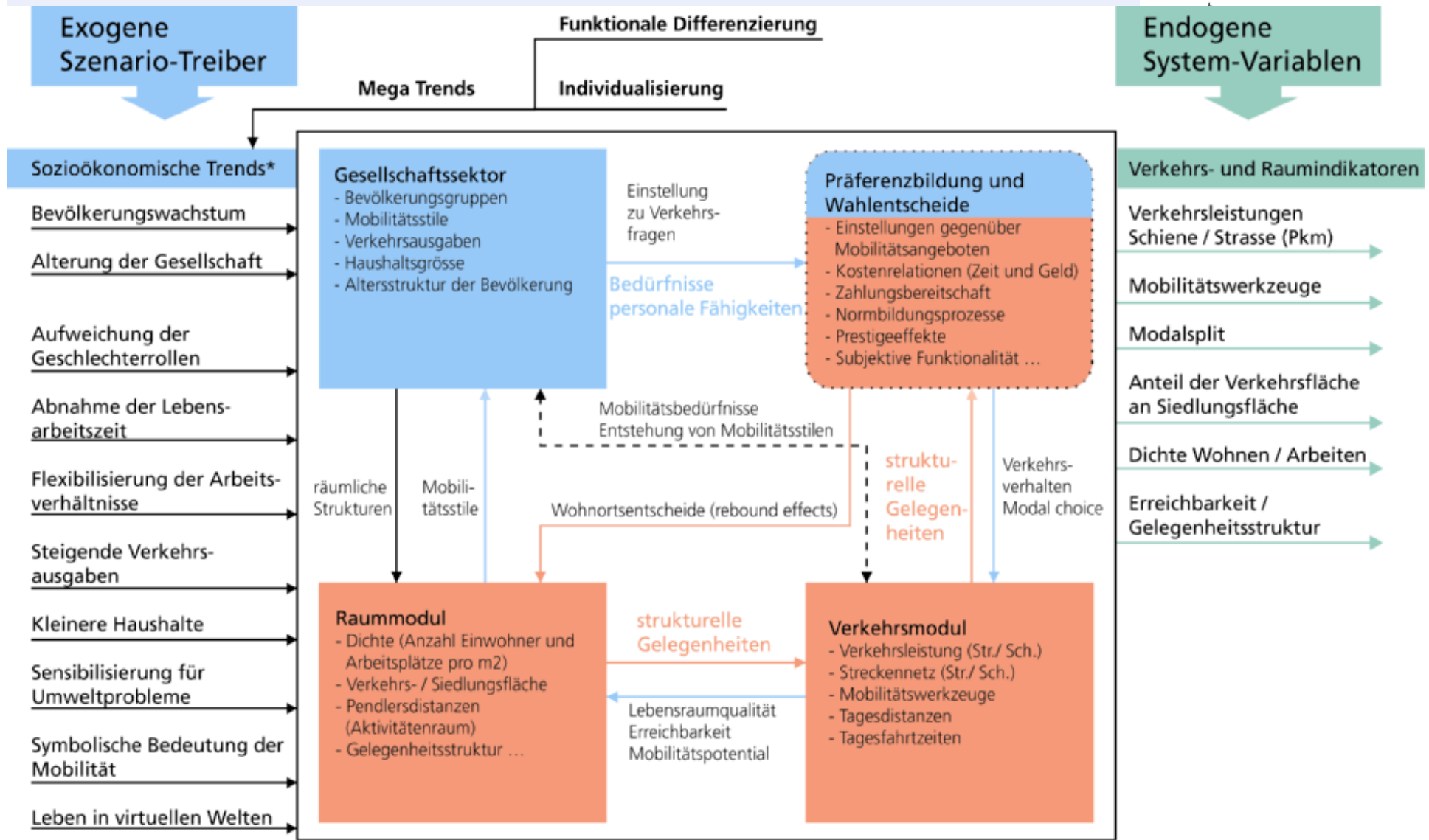
Systemverständnis

Output-
Variablen

Entwicklungstrends

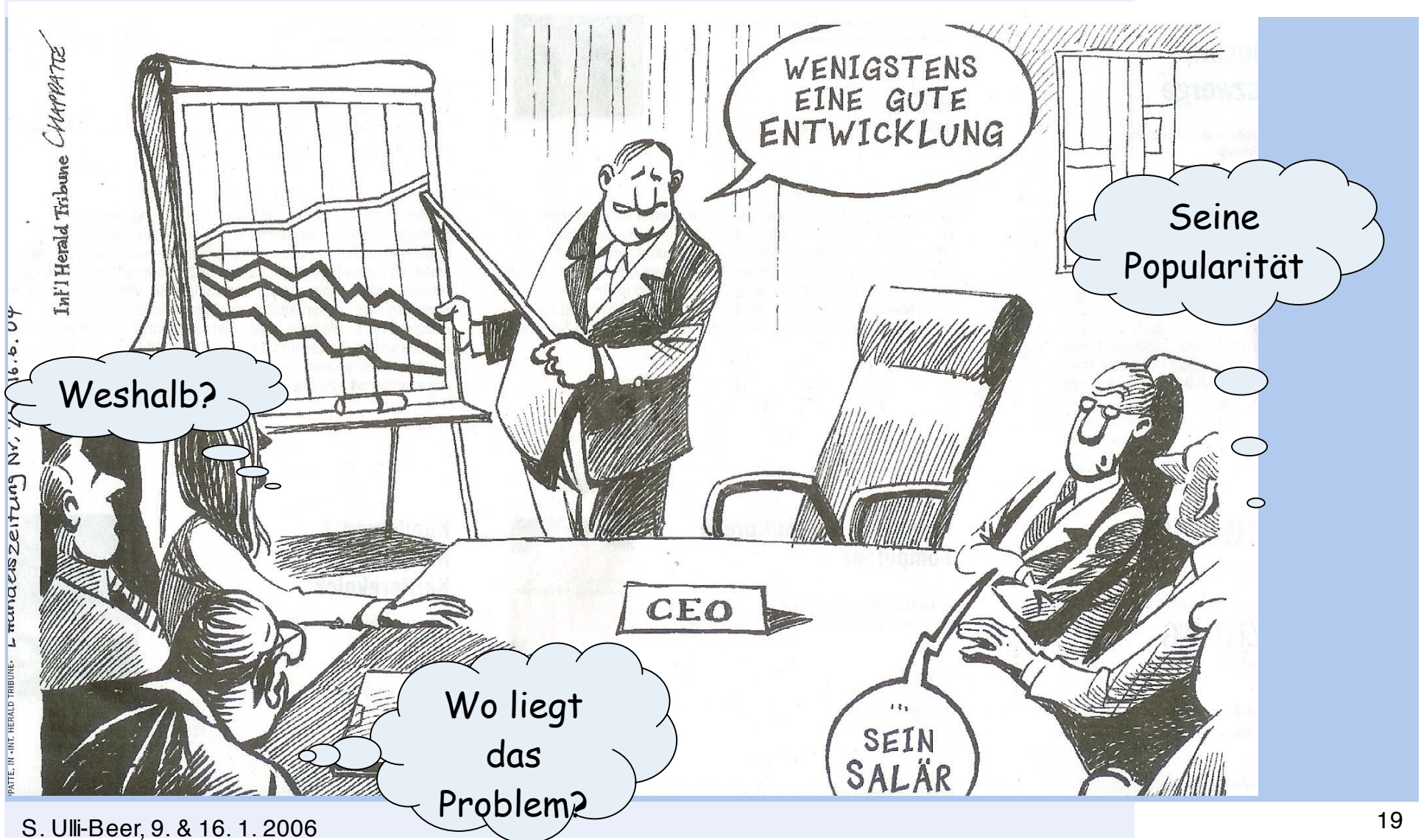
Entwicklungskorridore

Modellansicht: Hierarchisch



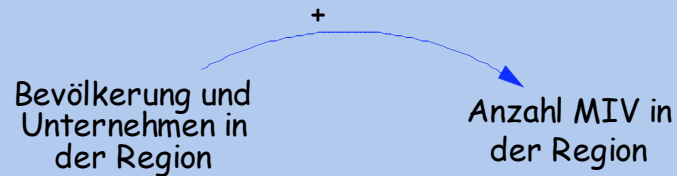
* Ko-Evolution zwischen ökonomischen, technologischen und sozialen Entwicklungen

Systemverhalten – Referenzindikatoren

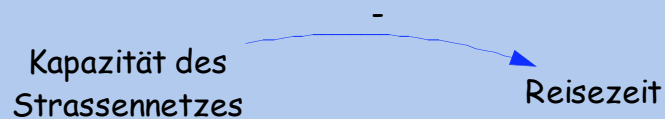


Wie kann man Prozesse abbilden? (Modellsemantik)

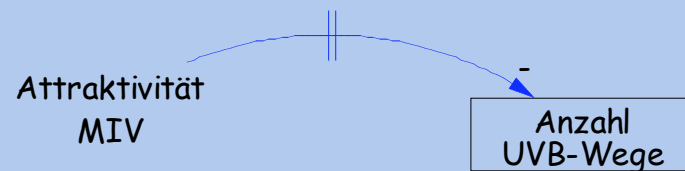
Gleichgerichteter Einfluss von X auf Y



Entgegengesetzter Einfluss von X auf Y

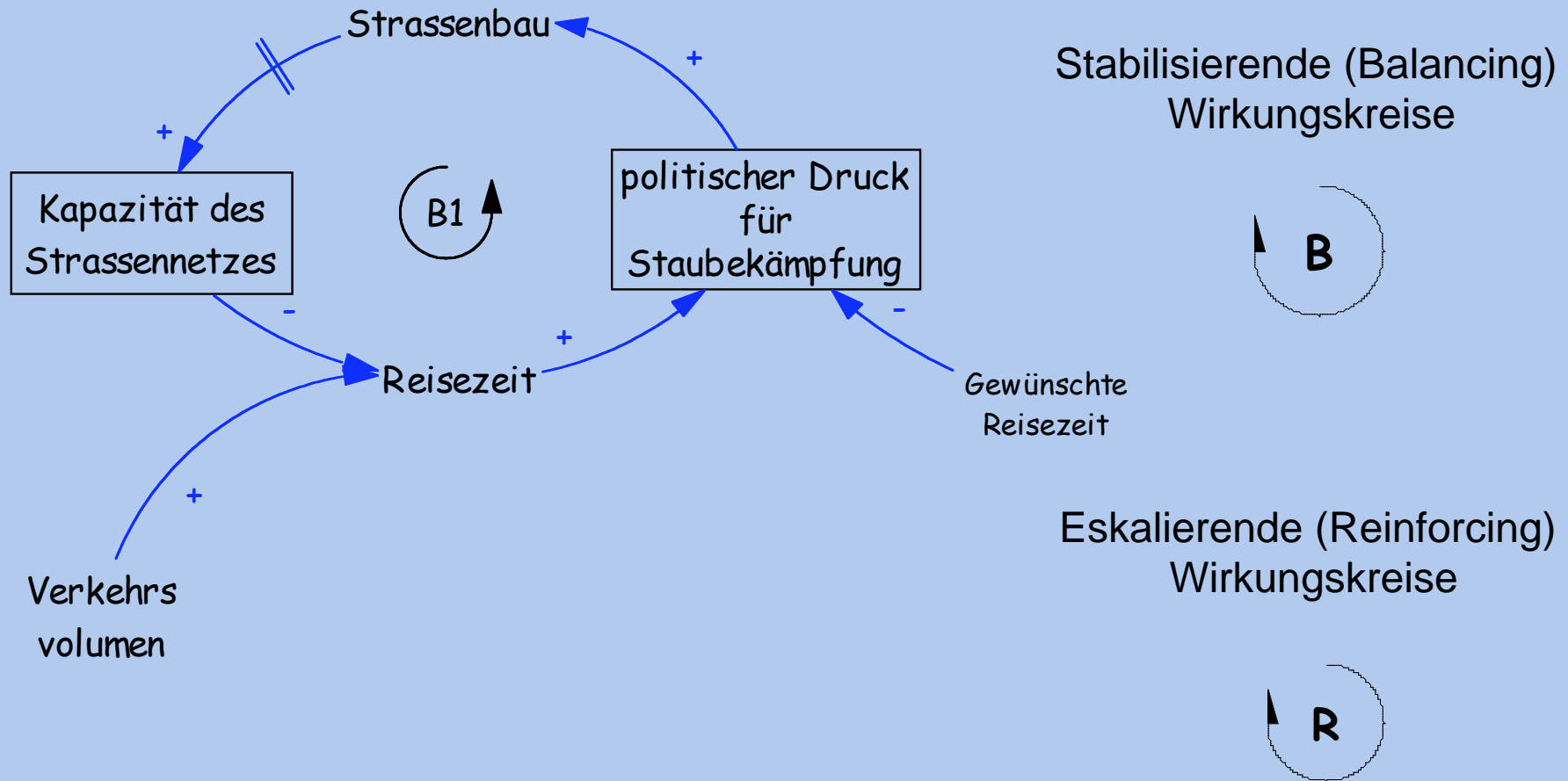


**Kennzeichnung von Zeitverzögerungen
(delay marker)**

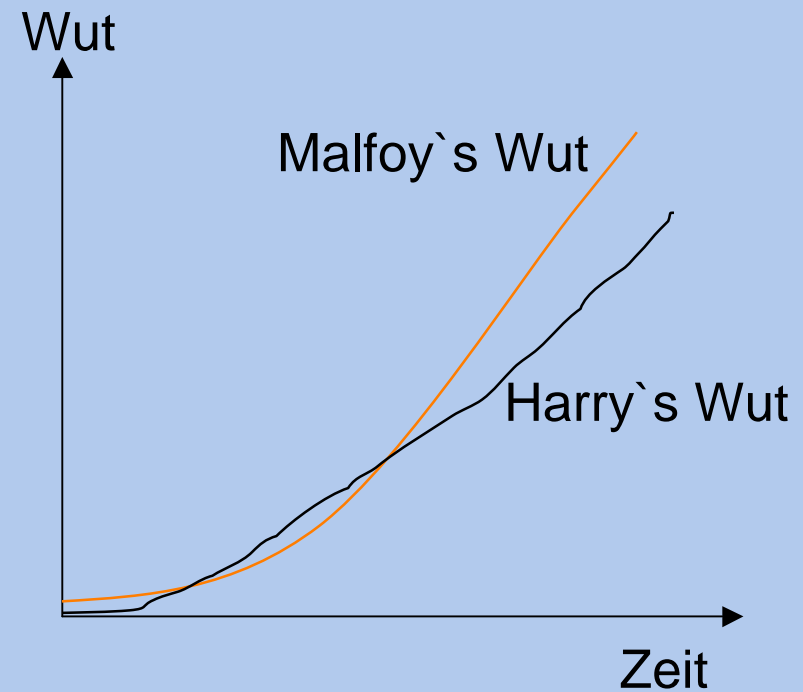
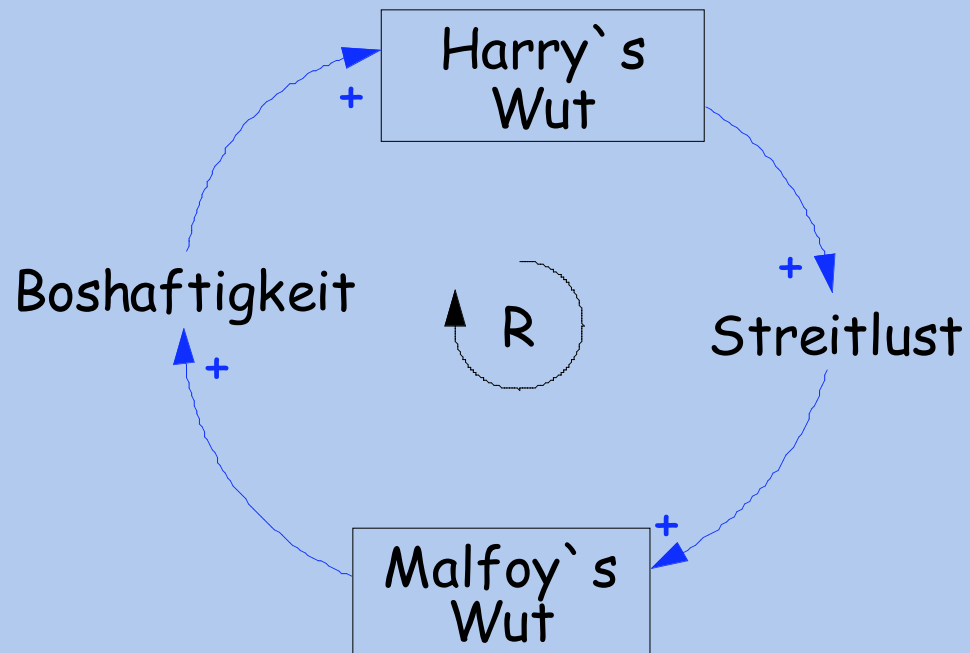


**Box: eine akkumulierte
Grösse (Integralfunktion)**

Wie kann man Prozesse abbilden? (Rückkoppelungskreise: Causal Loop Diagrams)



Attribute und Prozesse bestimmen Systemverhalten



Ausblick

Dörner, D. (1996): Der Umgang mit Unbestimmtheit und Komplexität und der Gebrauch von Computersimulationen

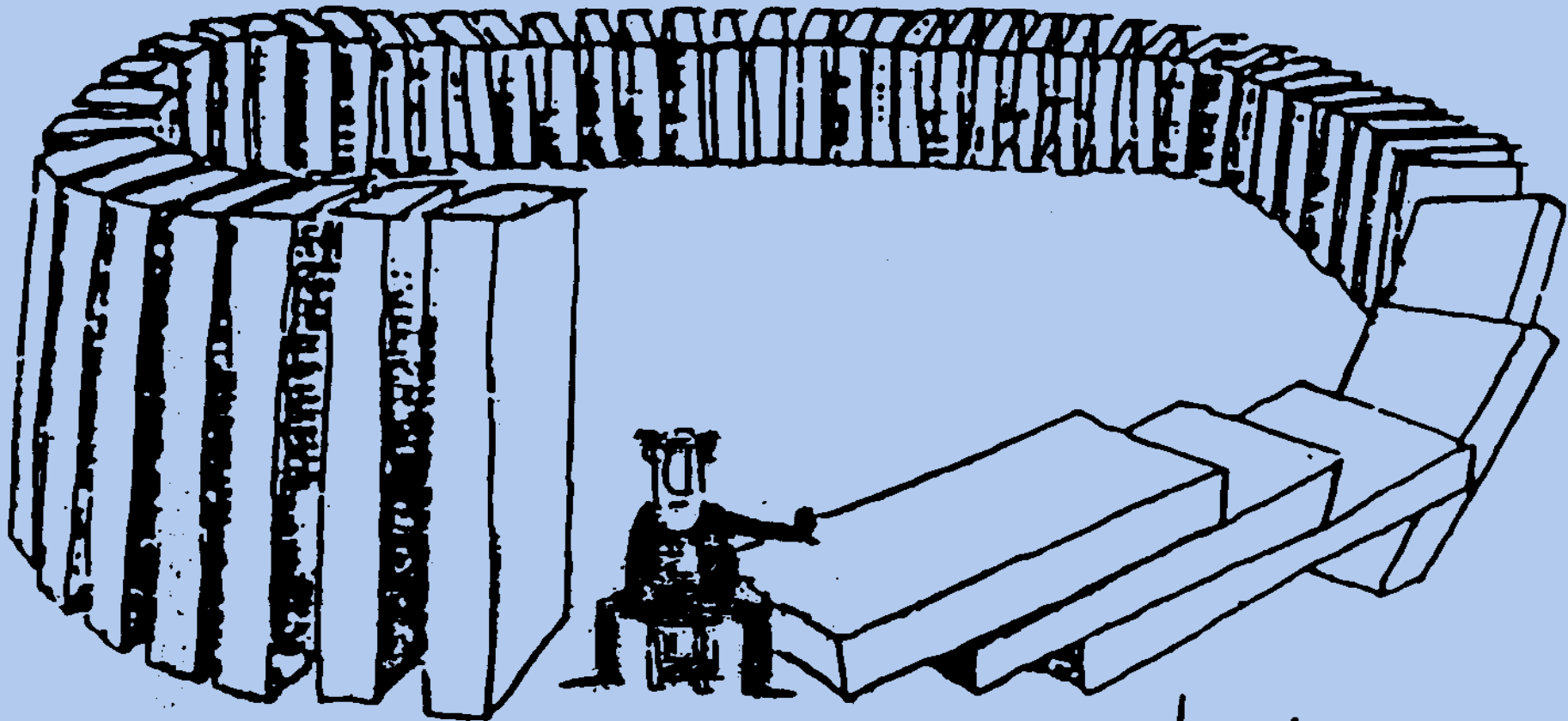
1. **W**as sind für Sie die wichtigsten Aussagen des Autors?
2. **W**elches sind die wichtigsten Schwierigkeiten, die Menschen haben im Umgang mit komplexen Systemen (wenn sie sie steuern sollen)?
3. **W**ie ist der Autor zu seinen Aussagen gekommen (Methoden)?
4. **W**as würden Sie kritisieren?
5. **W**elche Fragen stellen sich oder sind offen geblieben?

Ausblick

Sterman, J. (2001): System Dynamics Modeling: Tools for Learning in a Complex World

Laptop mitbringen, wer möchte.

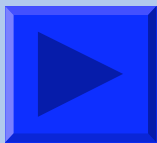
Wie können Menschen mit Komplexität umgehen?



Wie können Menschen mit Komplexität umgehen?

Komplexität

- Ein aus der modernen Systemtheorie stammender Begriff
- Die **Eigenschaft** eines Systems oder Modells, die die **Beschreibungen seines Gesamtverhaltens** in einer beliebigen Sprache erschwert, selbst wenn man **vollständige Informationen** über seine Einzelkomponenten und ihre Wechselwirkungen besitzt.
- **Komplexität ist eine subjektive Größe:** Die Komplexität eines Systems kann nur relativ zum Abstraktionsgrad der Beobachtung bestimmt werden – Objektivierung eine Aufgabe der Wissenschaft
- Das Gegenteil von Komplexität ist Einfachheit.
- Abgrenzung von **Kompliziertheit**, was die Anzahl der Elemente in einem System quantifiziert.



•Beispiel: Weltuntergang: Franz Hohler

Eigenschaften dynamisch komplexer System (Casti 1994, Sterman 2001)

- Keine zentrale Steuereinheit - Selbstorganisation
- Viele kommunizierende Einheiten
- Nichtlinearität
- Viele Rückkoppelungen innerhalb des Systems
- Zeitliche Verzögerungen
- Pfadabhängigkeiten
- Trade-offs
- Policy Resistenz
- Ein komplexes System ist irreduzible,
d.h. das System ist mehr als die Summe aller Teile
- Es treten Emergenzphänomene auf (z.B. Intuition)

Intuitive Komplexitätsmasse

(Flückiger & Rauterberg 1995)

Unverständlichkeit bezeichnet das Mass der Unfähigkeit einer „Versuchsperson“ einen Sachverhalt über ein System in ihr „mentales Modell“ zu integrieren oder in Übereinstimmung zu bringen.

Hindernisse: grosser Lernaufwand, prinzipielle Unmöglichkeit

Dimensionen:

trivial, verständlich, schwer verständlich, unverständlich

Intuitive Komplexitätsmasse

(Flückiger & Rauterberg 1995)

Schwierigkeit wird sowohl durch die Unverständlichkeit und als auch durch die implizite Forderung zur Bewältigung einer Aufgabe (Zielerreichung) bestimmt. (Wie schwer fällt es einer Versuchsperson etwas mit einem System zu tun?)

Je grösser die Unverständlichkeit, desto grösser ist auch die Schwierigkeit die Aufgabe zu lösen.

Dimensionen: einfach, angemessen, schwierig, unmöglich

Fragen

1. **W**as sind für Sie die wichtigsten Aussagen des Autors?
2. **W**elches sind die wichtigsten Schwierigkeiten, die Menschen haben im Umgang mit komplexen Systemen (wenn sie sie steuern sollen)?
3. **W**ie ist der Autor zu seinen Aussagen gekommen (Methoden)?
4. **W**as würden Sie kritisieren?
5. **W**elche Fragen stellen sich oder sind offen geblieben?

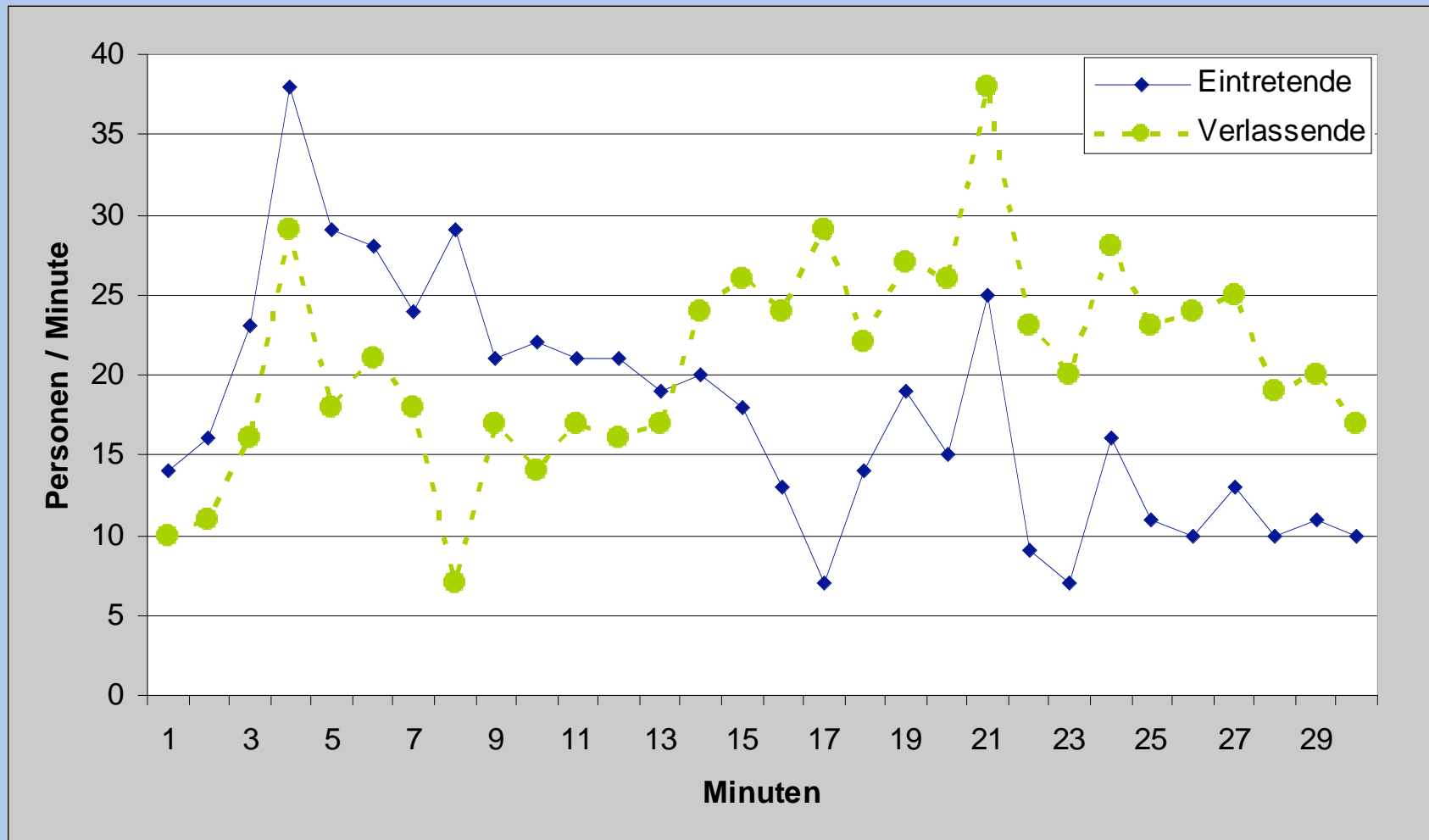
Hauptthemen

- „KUL-Welten“ vs. „Alltagswelten“
- „Wirkliches“ Umweltbewusstsein ist Einsicht in KUL-Welten
- Beschreibung der Fehlertendenzen
- Ursachen der Fehler
- Computersimulationen als Trainingsmethode

Inadäquate Denkmuster

- Unzulänglichkeiten beim Erfassen der Charakteristika von Zeitabläufen
 - > Lineare und Strukturextrapolation
 - > Aktionismus, Über- oder Unterdosierungen
- Vernachlässigung von Neben- und Fernwirkungen
- Reduktive Hypothesenbildung
- Handeln nach dem „Reparaturdienst-Prinzip“
- „Ballistisches Handeln“ (keine Evaluation der Wirkung)
- Keine Selbstreflexion
- ...

Kleine Übung: Kundenströme im Einkaufszentrum 1



Kleine Übung: Kundenströme im Einkaufszentrum 2

1. In welcher Minute war der **netto Zufluss** an Personen in den Laden am grössten?

Minute _____

Kann nicht beantwortet werden.

2. In welcher Minute war der **netto Weggang** an Personen aus dem Laden am grössten?

Minute _____

Kann nicht beantwortet werden.

3. In welcher Minute **waren am meisten** Personen im Laden?

Minute _____

Kann nicht beantwortet werden.

4. In welcher Minute **waren am wenigsten** Personen im Laden?

Minute _____

Kann nicht beantwortet werden.

Ursachen

- Begrenzte Kapazität des bewussten Denkens
- Unvollkommenheit des Gedächtnisses
- Übergewicht der aktuellen Probleme bzw. Ziele
- Schutz des eigenen Kompetenzgefühls

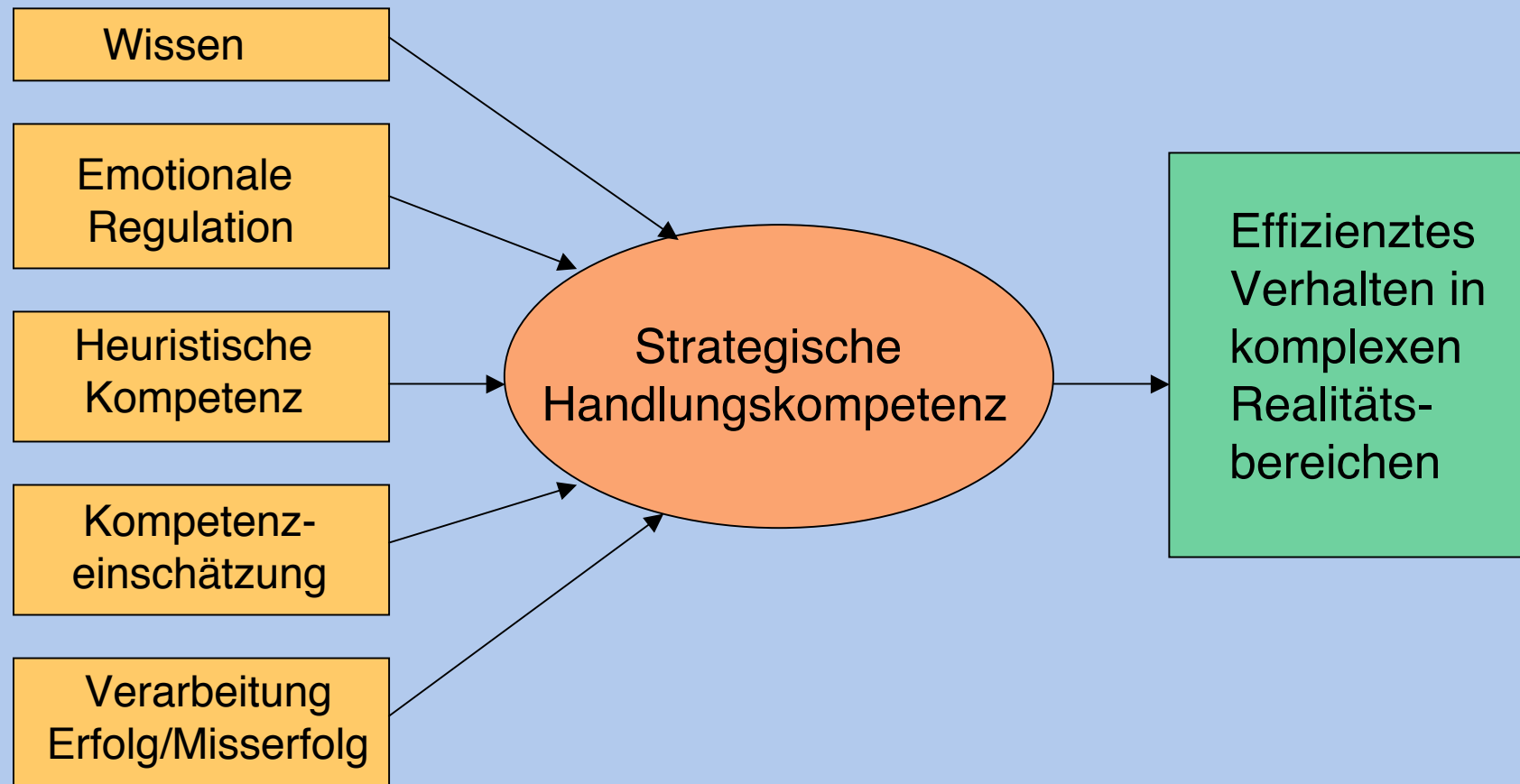
Umweltbewusstsein

“Einsicht in die Gefährdung der natürlichen Lebensgrundlagen des Menschen durch diesen selbst, verbunden mit der Bereitschaft zur Abhilfe”
(z.B. Sachverständigenrat für Umweltfragen, 1978, S. 445)

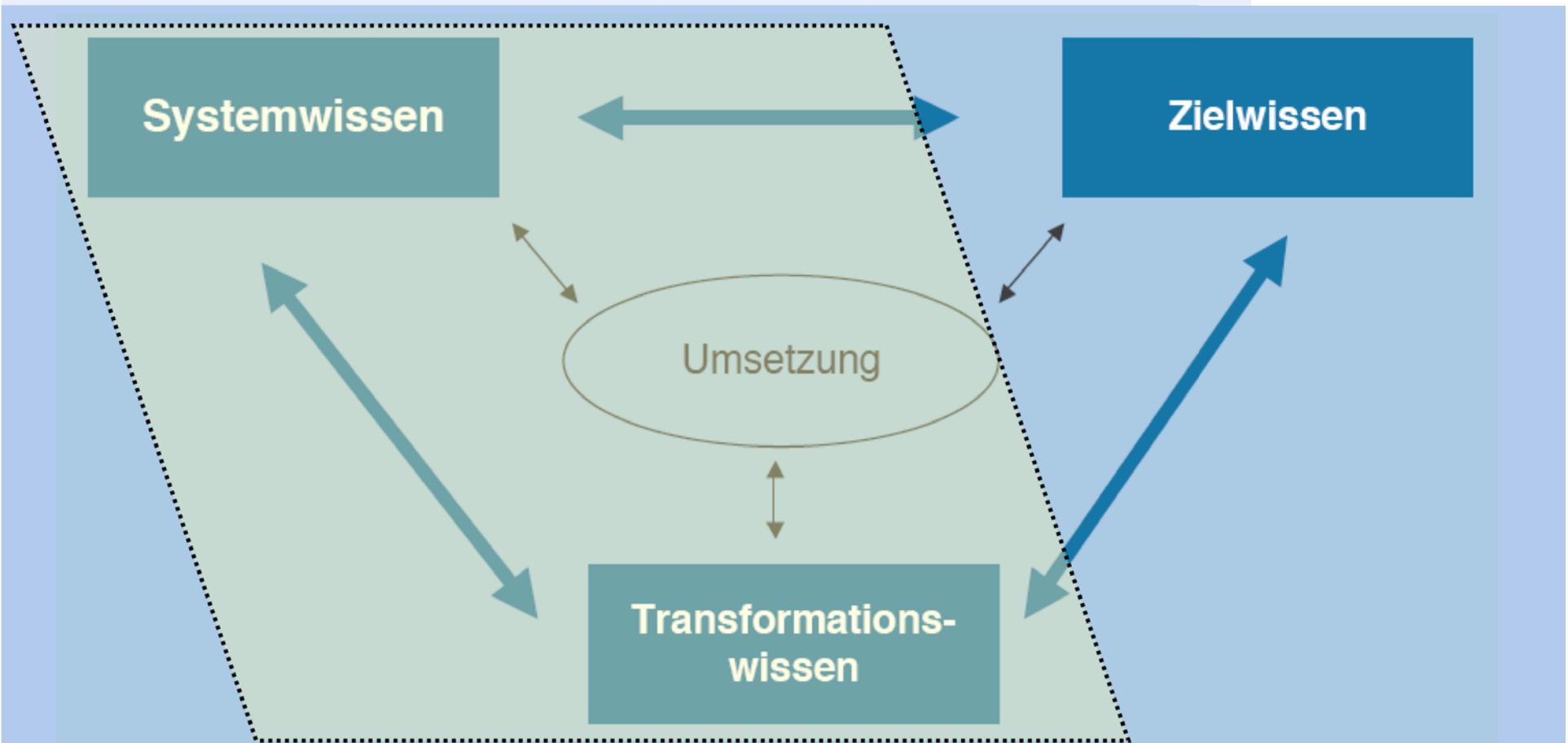
Komponenten:

- Wissen
- Werte
- Handlungsbereitschaft

Facetten einer strategischen Handlungskompetenz









Modellsimulation und Entscheidungsunterstützung in komplexen Kontexten



CLD Visualisierung der dynamischen Hypothese







Stärken von Simulationsmodellen

-  **Boundary Object** (Kommunikationstool – Visualisierung und Formalisierung von Systemvorstellungen, Einigung über problematische Entwicklungen zwischen Entscheidungsträgern)
-  **Micro World** (Analyserahmen für Szenariestudien sowie für Politik- und Strategieanalysen)
-  **Fördert vor allem Systemverständnis und Transformationswissen** (weniger Zielwissen >> Optimierungsmodelle besser geeignet)
-  **Aufzeigen von “hochwirksamen Interventionspunkten”** für das Erreichen politischer Ziele
-  **Orientierungshilfe** für eine langfristige Erfolgssicherung, welche sich an Eigengesetzlichkeiten ökonomischer und sozialer Entwicklungen orientiert.
-  **Grundlage für ein Monitoring-System:** Indikatoren und Frühwarnsignale der Marktentwicklung und Wirksamkeit politischer Interventionen, Sensibilisierung für Trendbrüche

Grundlegende Simulationsmodelle mit typischen Verhaltensweisen (Streiflicht)

<http://www.albany.edu/~gpr/Papers.html>

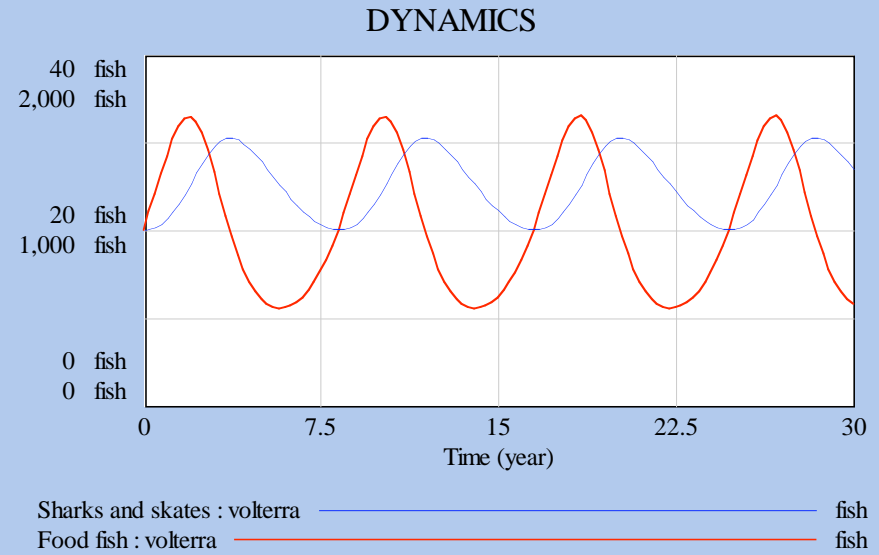
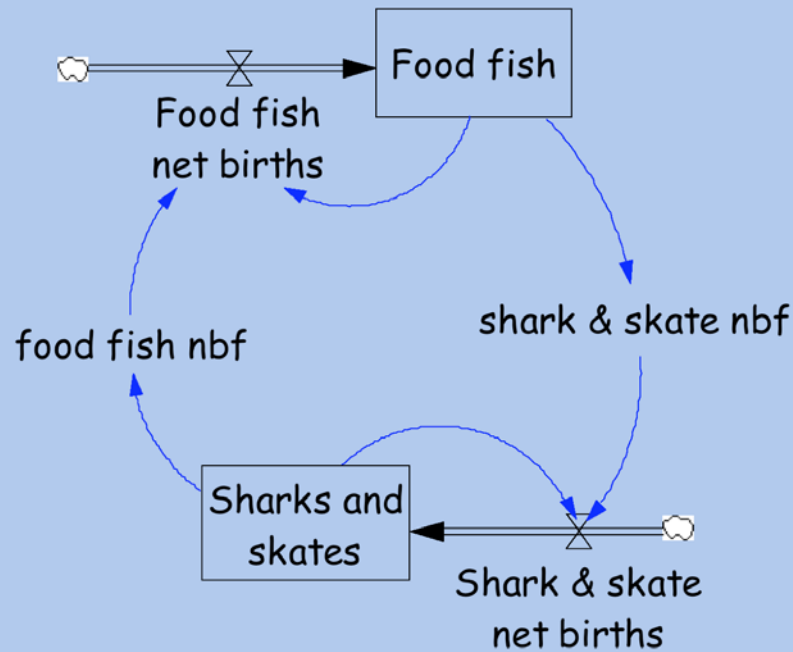
- Haushaltsdefizit 
- Begrenzte Bevölkerungsdynamik 
- Bass-Modell 
- Lotka-Volterra (1920, Beute-Räuber-Modelle) 

(Wesentliche Eigenschaft von Räuber-Beute-Systemen, nämlich deren Tendenz zur Oszillation mit einer Verschiebung von einer viertel Periode)

Download einer einfachen Vensim-Version:

<http://www.vensim.com/freedownload.html>

Beute-Räuber-Modell



SYRENE

- > **Lantermann, E.-D., Döring-Seipel, E., Schmitz, B., Schima, P. (2000): SYRENE. Umwelt- und Systemlernen mit Multimedia. Göttingen etc.: Hogrefe**
 - SYRENE ist ein Multimedia Lehr-/Lernmittel (CD und Begleitbuch)
 - Es will Wissen über komplexe Mensch-Umwelt-Systeme vermitteln und die Lernenden in „Strategischer Handlungskompetenz“ im Umgang mit solchen Systemen befähigen. Es knüpft an die Untersuchungen von Dörner an.
 - **➔ *Buch und CD befinden sich in der IKAÖ-Bibliothek.***

Aktuelle Anwendungsbeispiele von Computersimulationen für die Politikanalyse und Strategiebildung

- Ulli-Beer (2006) Citizens Choice and Public Management: A System Dynamics Model for Recycling Management at the Local Level (Dissertation), Shaker-Verlag, Aachen.

Nach der Lehre von System Dynamics:

- **F**orrester, J. W. (1961): Industrial Dynamics. MIT
- **R**ichardson, G. P. (1981): Introduction to System Dynamics Modeling with Dynamo. MIT. Pegasus.
- **S**terman, J. D. (2000): Business Dynamics: System Thinking and Modeling for a Complex World. Irwin/McGraw-Hill. New York

Citizens' Choice and Public Policy

A System Dynamics Model for Recycling Management at the Local Level

<http://www.unisg.ch/www/edis.nsf/wwwDisplayIdentifier/2918>



**Lokales Recyclingmanagement
als unternehmerische Herausforderung
für die Schaffung
zukunftsfähiger Recyclingmärkte**

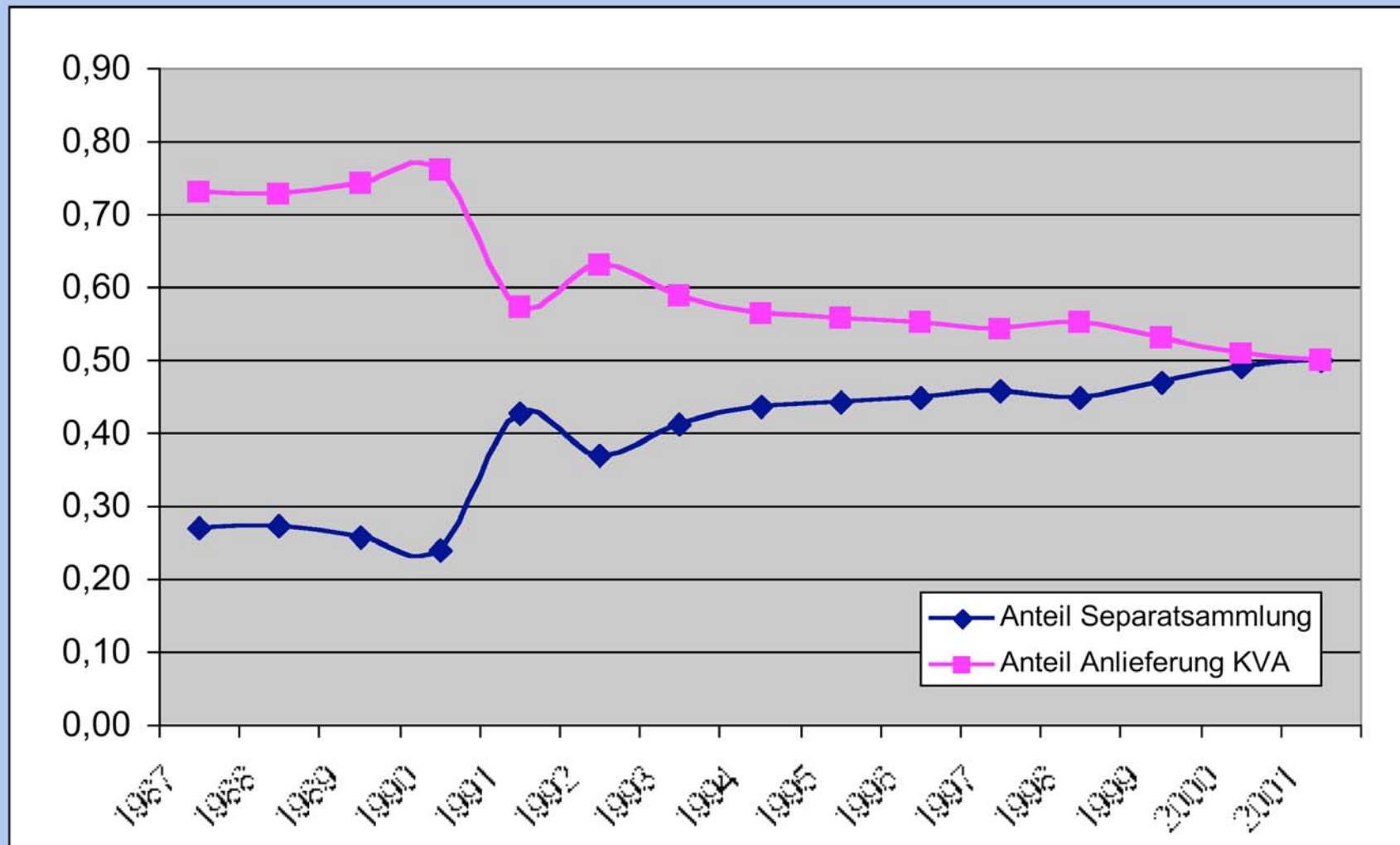
Systemorientierte Management-Regel

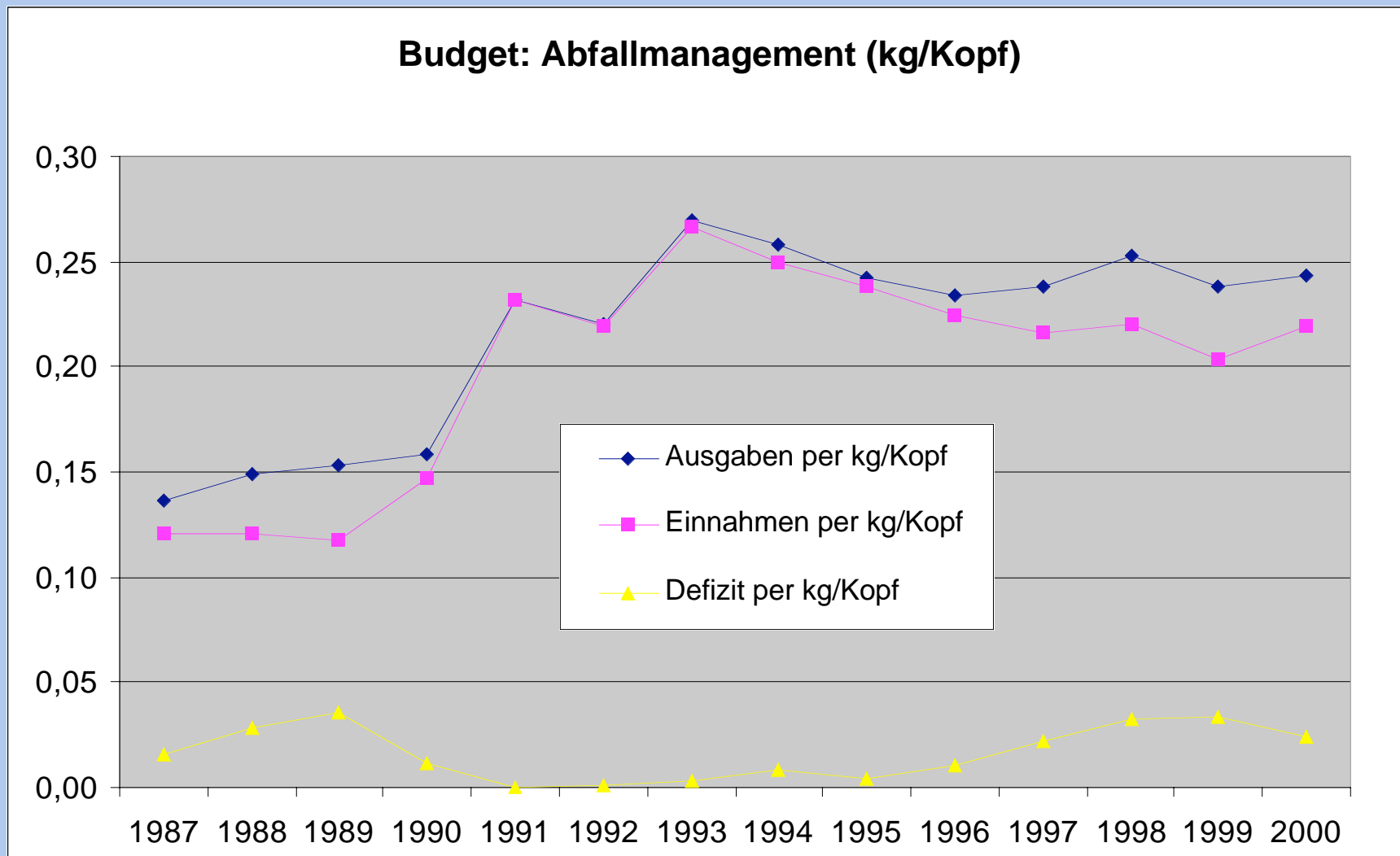
„The result of a **management process** cannot be better than **the model** on which it is based, except by chance!

Conant and Ashby 1981

Model = Vorstellung über die Funktionsweise eines sozialen Systems (als mentales Model oder Simulationsmodell)

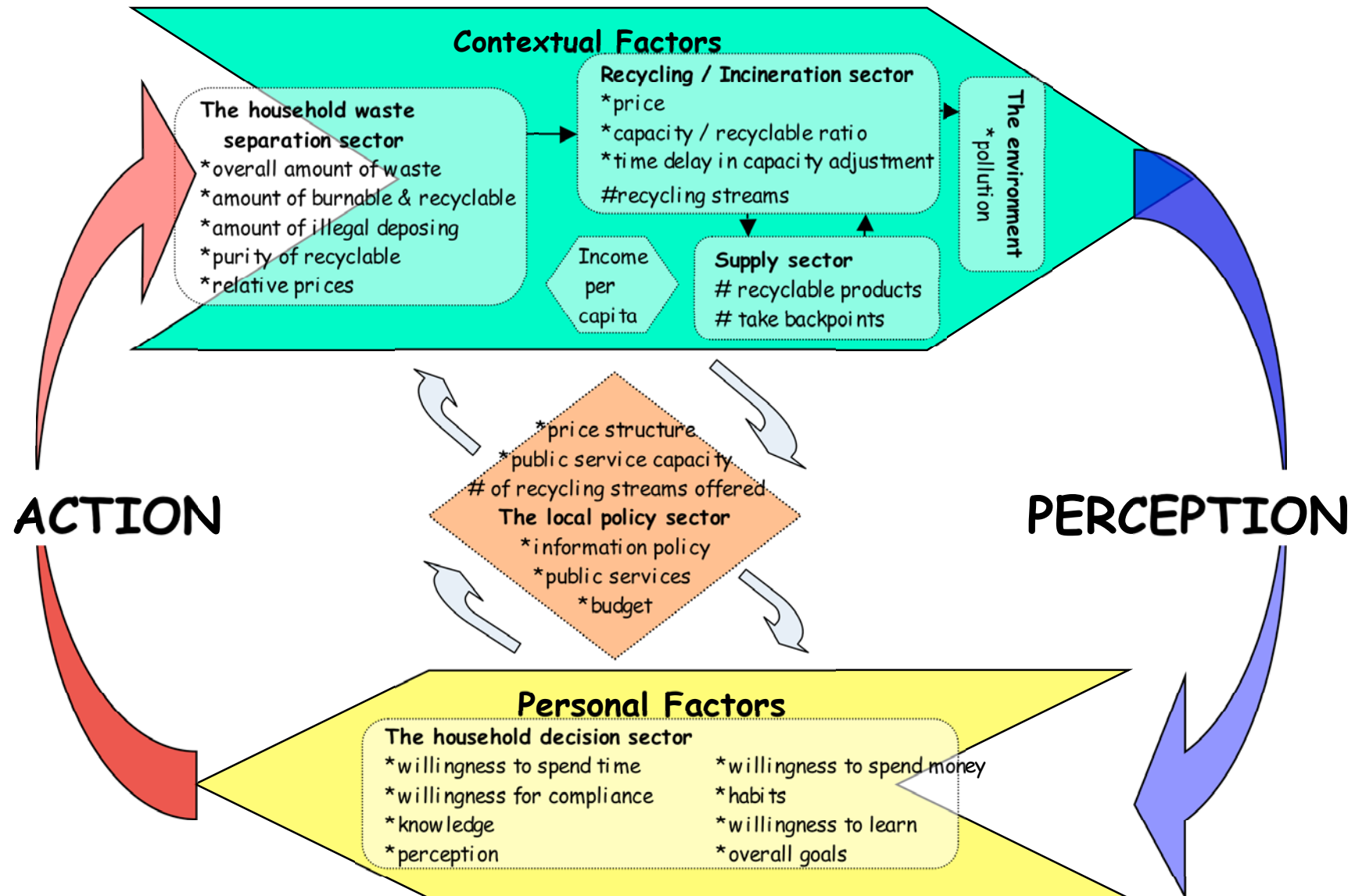
Entwicklung Separatsammlung (Ittigen)





Abfallmanagement als Feedback-System

Theoretischer Bezugsrahmen



Zirkuläre Prozesse steuern die Diffusion von Abfalltrennungsgewohnheiten

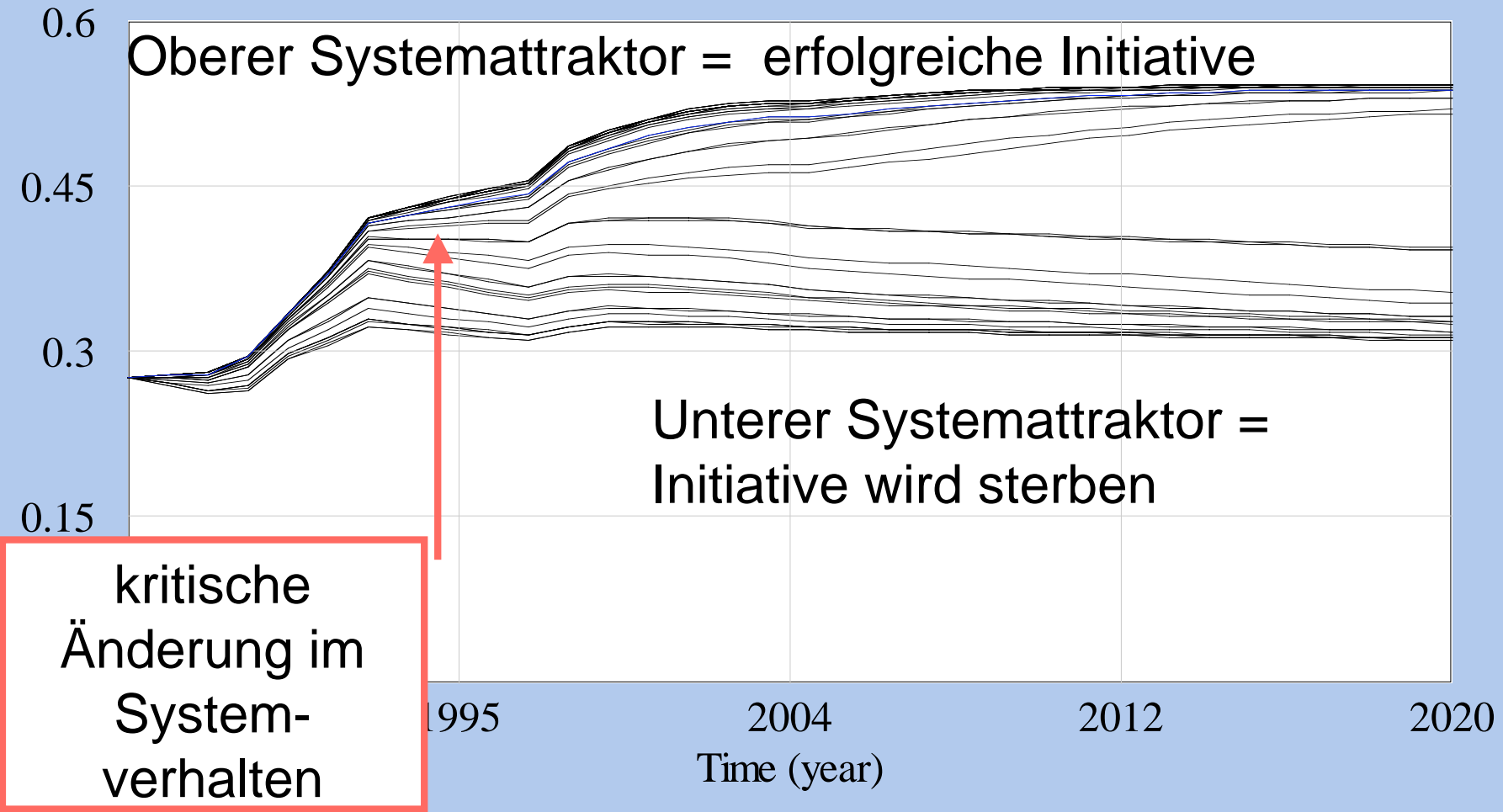


Tipping point und politische Sensitivität: Unsicherheit durch „Akzeptanz der Zeitkosten“

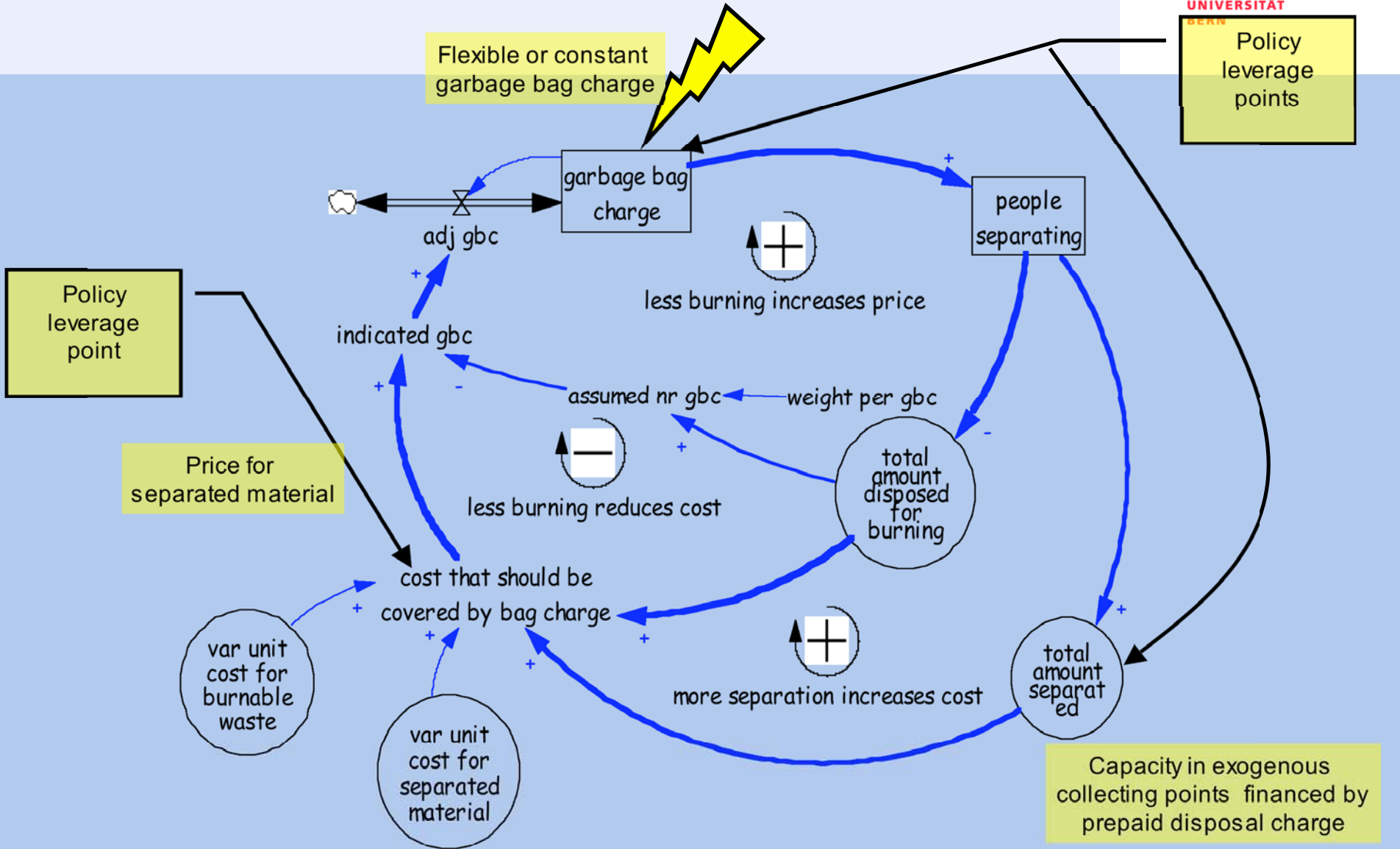
sens max accep t pt & c gbc

Uncertainty range 0.8 – 3 hours/week

fraction separated



Zirkuläre Prozesse kontrollieren Preise und Mengen

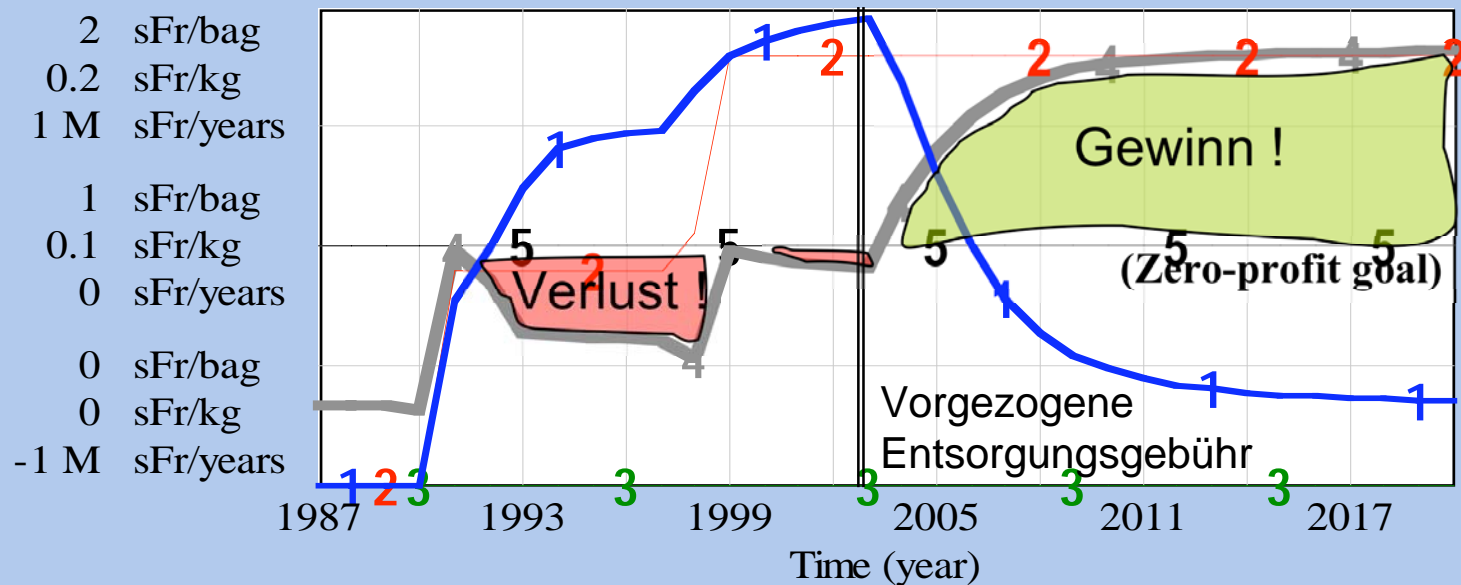


Erfolgsrechnung als irreführender Performance-Indikator

Vorgezogene Entsorgungsgebühr mit **konstanter** Sackgebühr

(rote Linie – keine dynamische Preisanpassung)

PRICE AND BUDGET



garbage bag charge : Impl p tax w constant bc	— 1 — 1 — 1 —	sFr/bag
garbage bag charge exogenous : Impl p tax w constant bc	— 2 — 2 — 2 —	sFr/bag
price separation : Impl p tax w constant bc	— 3 — 3 — 3 —	sFr/kg
profit solid waste management : Impl p tax w constant bc	— 4 — 4 — 4 —	sFr/years
non profit threshold : Impl p tax w constant bc	— 5 — 5 — 5 —	sFr/years

All decisions are based on models ... and all models are wrong!

Paper: J. D. Sterman (2002): All models are wrong: reflections on becoming a systems scientist; Jay Wright Forrester Prize Lecture. System Dynamics Review 18(4):501-531

oder

<http://www.schulphysik.de/java/physlet/applets/kopernikus.html>

oder

Einstein-Zitat: The whole of science is nothing more than the refinement of everyday thinking.