

PROSEMINAR — SS 2026

# Angewandte Systemwissenschaft

Lektion 2: Einführung in die Systemwissenschaft

David Maier

Institut für Umweltsystemwissenschaften

Universität Graz



# Rückblick: Euer erstes Experiment

---

## Letzte Woche: Duzen oder Siezen?

### Struktur

Machtasymmetrien, unsichtbare Regeln, Hierarchie — wer entscheidet?

### Dynamik

Feedback-Schleifen, Kipppunkte, Pfadabhängigkeit — was passiert danach?

### Kontext

Systemgrenzen, Übertragbarkeit, unbeabsichtigte Folgen — wo gilt das?

**Heute:** Wir formalisieren die Konzepte, die ihr letzte Woche **intuitiv** angewandt habt. Die Du/Sie-Entscheidung bleibt unser Referenzbeispiel.

# Von der Erfahrung zur Theorie...

Bevor wir modellieren, müssen wir verstehen, **was** wir modellieren und **warum**.

*“It is soberly true that science has, to date, succeeded in solving a bewildering number of relatively easy problems, whereas the hard problems, and the ones which perhaps promise most for man’s future, lie ahead.”*

— Warren Weaver (1948)

# Was ist Systemwissenschaft?

## Eine Meta-Wissenschaft

Systemwissenschaft untersucht nicht *bestimmte* Systeme (physikalische, biologische, soziale...), sondern **allgemeine Eigenschaften, Dynamiken und Verhaltensweisen von Systemen als solchen**.

## Weavers drei Problemtypen

### Einfache Probleme

Wenige Variablen, analytisch lösbar

### Unorganisierte Komplexität

Viele Variablen, statistisch  
behandelbar

### Organisierte Komplexität

Viele **wechselwirkende** Variablen  
→ **Systemwissenschaft**

Mobus & Kalton (2015), Kap. 1 · Weaver (1948) via Jackson (2024), Kap. 2

# Quick Check

---

Denkt an das Du/Sie-Experiment von letzter Woche:

# Warum brauchen wir Systemwissenschaft?

*“[Descartes’ Methode:] jede Schwierigkeit in so viele Teile wie möglich zu zerlegen ... beim Einfachsten zu beginnen ... und allmählich zum Komplexesten aufzusteigen.”*

— René Descartes (1637)

## Das Problem: Reduktionismus

- Fragmentiertes Wissen in **Silos**
- Spezialisierung erzeugt blinde Flecken
- Komplexe Probleme (Klima, Ressourcen, Gesundheit) sind *multi-kausal*

## Die Lösung: Systemdenken

- **Integrative** Perspektive
- Verbindungen zwischen Disziplinen erkennen
- Muster sichtbar machen, die in einzelnen Disziplinen verborgen bleiben

“There is no way of seeing reality that is not dependent on a perspective — no point of view that is absolute and universal.” — *Carlo Rovelli (2021)*

# Lineares vs. Systemisches Denken

---

## Beispiel: Rauchen

### Lineare Sicht

Person entscheidet sich zu rauchen

↓

Rauch gelangt in die Lunge

↓

Krebs

### Systemische Sicht

Gehirnentwicklung im Jugendalter, Gruppendruck, Unternehmensmarketing, Nikotinmanipulation, Lobbying, Tabakanbau, Agrochemie, Flussverschmutzung, Versicherungskosten, Steuerpolitik...

Eine “persönliche Entscheidung” ist eingebettet in ein **Netzwerk verflochtener Faktoren**.

**Bezug zum Experiment:** Auch eure Du/Sie-Entscheidung war keine rein persönliche Wahl — sie war eingebettet in Hierarchie, Konventionen, Gruppendynamik und institutionellen Kontext.

# Wicked Problems

**Wicked Problems** (Rittel & Webber, 1973) sind Probleme, die sich grundsätzlich von "zahmen" technischen Problemen unterscheiden.

## Merkmale

- Schwer eindeutig zu **formulieren**
- Keine "richtige" oder "falsche" Lösung — nur **besser oder schlechter**
- Jedes Problem ist **im Wesentlichen einzigartig**
- Multiple, **interdependente Ursachen**
- Lösungen haben **irreversible Konsequenzen**

## Beispiele

Klimawandel

Gesundheitssysteme

Armut & Ungleichheit

Stadtplanung

→ Genau die Probleme, für die wir **Systemwissenschaft** brauchen.

# Quick Check

---

War unsere Du/Sie-Entscheidung ein "Wicked Problem"?

# Was ist ein System?

## Definition

Ein System ist ein **Ganzes**, bestehend aus **wechselwirkenden Komponenten**, die untereinander in einer Weise verbunden sind, die sich von ihren Beziehungen zu anderen Elementen unterscheidet. Dieser Unterschied definiert eine **Grenze** (Boundary).

*“A system is a set of things — people, cells, molecules, or whatever — interconnected in such a way that they produce their own pattern of behavior over time.”*

— Donella Meadows (2008)

**Kernidee:** Systemhaftigkeit (*systemness*) ist eine **rekursive Eigenschaft** — Systeme bestehen aus Subsystemen, die selbst wieder Systeme sind.

# Eigenschaften von Systemen

---

## Grenze (Boundary)

Definiert, was zum System gehört und was zur Umgebung.  
Kann physisch (Zellmembran) oder konzeptuell sein.

## Komponenten

Die Teile des Systems — selbst wiederum Systeme mit eigenen Eigenschaften und Interaktionspotentialen.

## Relationen & Netzwerke

Verbindungen zwischen Komponenten: Flüsse von Materie, Energie und Information.

## Emergenz

“Das Ganze ist mehr als die Summe seiner Teile.” —  
Aristoteles. Systemeigenschaften, die aus dem  
Zusammenspiel entstehen.

## Hierarchie

Systeme sind in strukturellen und funktionalen Hierarchien  
organisiert — Subsysteme innerhalb von Systemen.

## Umgebung (Environment)

Quellen und Senken: Systeme tauschen Materie, Energie  
und Nachrichten mit ihrer Umgebung aus.

# Bouldings Hierarchie der Komplexität

| Ebene | Name                    | Beispiel                     |
|-------|-------------------------|------------------------------|
| 1     | Strukturen & Rahmen     | Kristallgitter               |
| 2     | Uhrwerke                | Sonnensystem                 |
| 3     | Kontrollmechanismen     | Thermostat                   |
| 4     | Offene Systeme          | Biologische Zelle            |
| 5     | Niedere Organismen      | Pflanze                      |
| 6     | Tiere                   | Elefant                      |
| 7     | Menschen                | Selbstbewusstsein, Sprache   |
| 8     | Soziokulturelle Systeme | Nationen, Organisationen     |
| 9     | Transzendente Systeme   | "Unausweichliche Unbekannte" |

**Achtung:** Theorien einer *niedrigeren* Ebene dürfen nicht auf *höhere* Ebenen übertragen werden — z.B. eine Organisation wie eine Maschine zu behandeln

# Systeme sind überall

*“Virtually everything in the universe, including the universe itself, is a system!”*

— Mobus & Kalton (2015)

## Vier Arten, Systeme zu betrachten

### Systeme in der Welt

Ontologisch — reale physische Systeme (Ökosysteme, Organismen, Maschinen)

### Systeme im Kopf

Epistemologisch — mentale Modelle, unser Verständnis der Welt

### Systeme in der Abstraktion

Mathematisch — formale Beschreibungen, Gleichungen, Graphen

### Systeme in Software

Computationale Modelle — Simulationen, die “ein Eigenleben entwickeln”

# Was macht ein System komplex?

## Cilliers' 10 Merkmale komplexer Systeme

- ❶ Große Anzahl an Elementen mit **dynamischer Interaktion**
- ❷ Interaktionen sind **reichhaltig** — jedes Element beeinflusst viele andere
- ❸ Interaktionen sind **nicht-linear** — kleine Ursachen, große Wirkungen
- ❹ Interaktionen hauptsächlich mit **unmittelbaren Nachbarn**
- ❺ Jede Interaktion kann **direkt oder indirekt rückgekoppelt** werden
- ❻ Gesamtverhalten **nicht vorhersagbar** durch Einzelverhalten
- ❼ Systemgrenzen sind **schwer oder unmöglich zu definieren**
- ❽ Konstanter **Energiefluss** erhält die Organisation
- ❾ Komplexe Systeme **evolvierten** — ihre Vergangenheit prägt die Gegenwart
- ❿ Elemente sind sich des **Gesamtverhaltens nicht bewusst**

"Complex systems have two natures: orders far from complete randomness, but these orders are not simple." — *Kita (2021)*

Cilliers (1998) via Jackson (2024), Kap. 2 · Kita in Metcalf et al. (2021), Kap. 9

# 12 Prinzipien der Systemwissenschaft

---

❶ **Systemhaftigkeit** — Alles ist ein System aus Systemen

❷ **Hierarchie** — Strukturelle und funktionale Ebenen

❸ **Netzwerke** — Relationen zwischen Komponenten

❹ **Dynamik** — Verhalten auf mehreren Zeitskalen

❺ **Komplexität** — Verschiedene Arten und Stufen

❻ **Evolution** — Systeme entwickeln sich weiter

❼ **Information** — Systeme kodieren Wissen

❽ **Regulation** — Feedback-basierte Stabilität

❾ **Modelle** — Systeme enthalten Modelle anderer Systeme

❿ **Selbstmodelle** — Komplexe Systeme modellieren sich selbst

⓫ **Verstehbarkeit** — Systeme können verstanden werden

⓬ **Verbesserbarkeit** — Systeme können verbessert werden

Prinzipien 1–5 gelten für alle Systeme · Prinzipien 6–12 besonders für **komplexe adaptive Systeme**

Mobus & Kalton (2015), Kap. 1

# Von Systemen zu Modellen...

Wir verstehen, was Systeme sind. Aber **wie arbeiten wir mit ihnen?**

# Was ist ein Modell?

## Definition

Ein Modell ist eine **vereinfachte Darstellung** eines Systems in einem **anderen Medium** (z.B. Computerprogramm, Gehirn, Papier), die nur die **wesentlichen Elemente** enthält und an der Tests durchgeführt (Fragen gestellt) werden können.

*“All decisions are made on the basis of models. Most models are in our heads. [...] Mental models have serious shortcomings.”*

— Jay W. Forrester (1994)

“Models should be judged in terms of **usefulness** rather than as representations of the ‘real world’. The world changes, in part due to the influence on it of models made of it.” — Jackson (2024)

# Wozu brauchen wir Modelle?

---

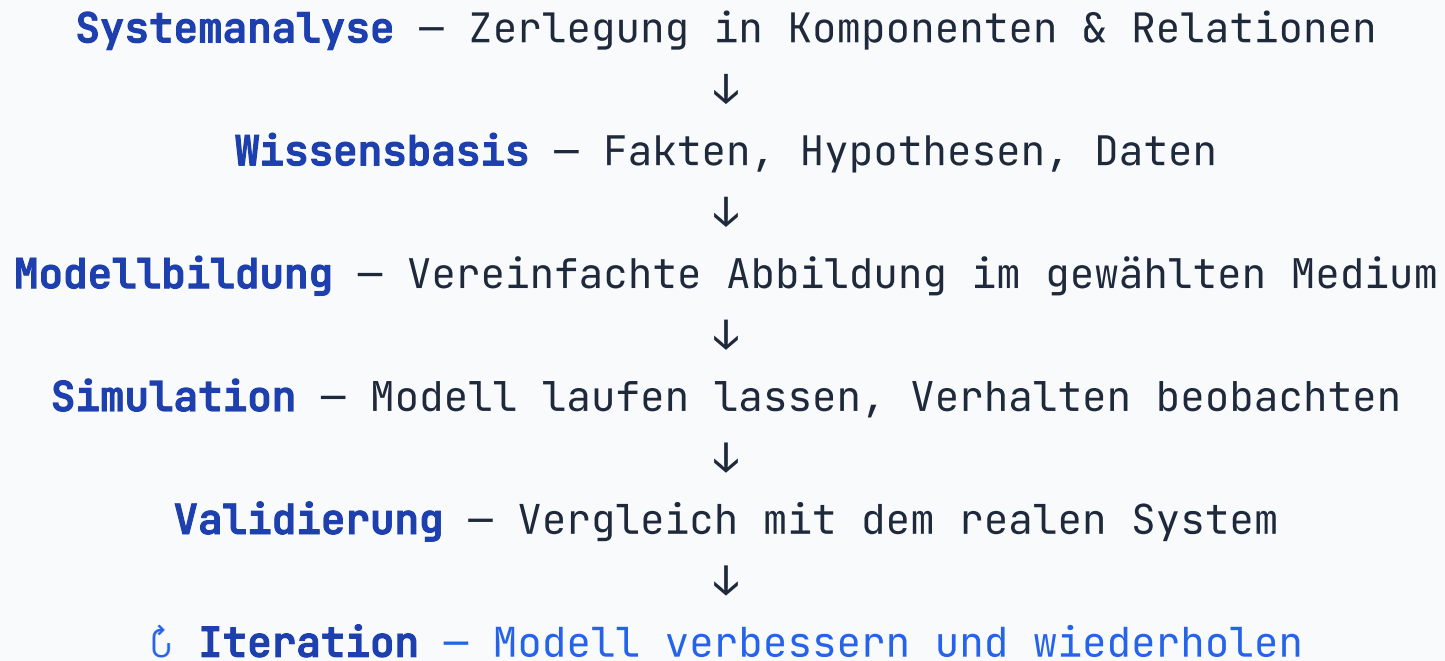
- 1 **Vorhersage** — Wie verhält sich das System unter bestimmten Bedingungen?
- 2 **Szenario-Tests** — Was passiert, wenn wir Parameter verändern? ("What-if")
- 3 **Verständnis überprüfen** — Produziert unser Modell dasselbe Verhalten wie das reale System?
- 4 **Design testen** — Parameter eines Entwurfs prüfen, bevor wir ihn bauen.
- 5 **Steuerung** — Eingebettete Modelle in Kontrollsystemen (Regelungstechnik).

*"Simulation is a third way of doing science. Unlike deduction, it does not provide theorems. Unlike induction, the data comes from a rigorously specified set of rules rather than direct measurement of the real world."*

— Robert Axelrod (1997)

# Wie modellieren wir?

## Von der Analyse zum Modell



*“...to keep oneself unattached in the arena of paradigms, to realise that no paradigm is ‘true’, that every one is a tremendously limited understanding of an immense and amazing universe.” — Donella Meadows (2008)*

# Modellierungsansätze

---

## Vier Arten von Modellen

- **Physische Modelle** Maßstabsgetreue Nachbauten  
(Windkanal)
- **Mathematische Modelle** Gleichungssysteme,  
analytische Lösungen
- **Statistische Modelle** Korrelation  $\neq$  Kausalität!
- **Computermodele** Iterative Simulation, die häufigste  
Form heute

## Drei zentrale Ansätze

### System Dynamics

**Causal Loop Diagrams** (CLDs) zur Visualisierung, **Stock & Flow**-Diagramme für Simulation. Gegründet von Jay Forrester.

### Agentenbasierte Modellierung

Autonome Agenten mit einfachen Regeln → emergentes Gruppenverhalten. **Mikro**-Verhalten erzeugt **Makro**-Muster. "Keep It Simple!" (Axelrod)

### Operations Research

Optimierung komplexer Systeme mit mathematischen Methoden.

# Zusammenfassung & Ausblick

---

## Heute gelernt

- **Systemwissenschaft** — eine Meta-Wissenschaft für organisierte Komplexität
- **Wicked Problems** — warum lineares Denken scheitert
- **System** — ein Ganzes aus wechselwirkenden Komponenten mit Grenze
- **Komplexität** — Bouldings Hierarchie, Cilliers' 10 Merkmale
- **Modellierung** — iterativer Prozess, Simulation als "dritter Weg"

## Nächstes Mal

**Lektion 3:** Von Null zum Modell — wir entwickeln gemeinsam mit Stift und Papier ein erstes Systemmodell.

**Bis dahin:** Technische Einrichtung vorbereiten (VSCode, GitHub-Account, Copilot).