

PROSEMINAR — SS 2026

Angewandte Systemwissenschaft

Lektion 3: Von Null zum Modell

Stift & Papier — Wir modellieren gemeinsam

David Maier

Institut für Umweltsystemwissenschaften

Universität Graz



Kurzer Rückblick

Was wir bisher gelernt haben

Lektion 1: Experiment

Du/Sie-Entscheidung als
performatives Experiment —
Feedback, Emergenz, Koordination,
Pfadabhängigkeit intuitiv erlebt.

Lektion 2: Theorie

Systemwissenschaft als Meta-
Wissenschaft, Wicked Problems,
Systemeigenschaften, Komplexität,
Modellierungsansätze.

Heute

Vom Verstehen ins Tun — wir bauen
gemeinsam ein erstes Modell, ganz
ohne Computer.

Heute: Wir gehen vom *Verstehen* ins *Tun* — wir bauen gemeinsam ein erstes Modell, ganz ohne Computer.

Warum modellieren?

“Students should learn that all decisions are made on the basis of models. Most models are in our heads. Mental models are not true and accurate images of our surroundings, but are only sets of assumptions and observations gained from experience.”

— Jay W. Forrester (1994)

Mentale Modelle & ihre Grenzen

Wir modellieren immer

- Jede Entscheidung basiert auf einem **Modell**
- Meistens sind diese Modelle **im Kopf** — unbewusst
- Mentale Modelle sind nützlich, aber **unvollständig**

Probleme mentaler Modelle

- **Lücken** — wir kennen nicht alle Variablen
- **Widersprüche** — unsere Annahmen passen nicht zusammen
- **Dynamik** — wir können Rückkopplungen schlecht im Kopf verfolgen

Lösung: Modelle *explizit* machen — aufschreiben, aufzeichnen, formalisieren. Dann können wir sie prüfen, diskutieren und verbessern.

Der Modellierungszyklus

- ➊ **Zweck festlegen** — Welche Frage wollen wir beantworten?
↓
- ➋ **System definieren** — Grenze ziehen, Inputs & Outputs identifizieren
↓
- ➌ **Zerlegen** — Komponenten & Beziehungen sichtbar machen
↓
- ➍ **Modell bauen** — Vereinfachte Darstellung zeichnen / formalisieren
↓
- ➎ **Prüfen & Iterieren** — Ergibt das Sinn? Was fehlt? → Zurück zu Schritt 2

“Decomposition and modeling go hand in hand in systems analysis. Both are needed to ferret out the understanding we seek.”

— Mobus & Kalton (2015)

Schritt 1: System definieren

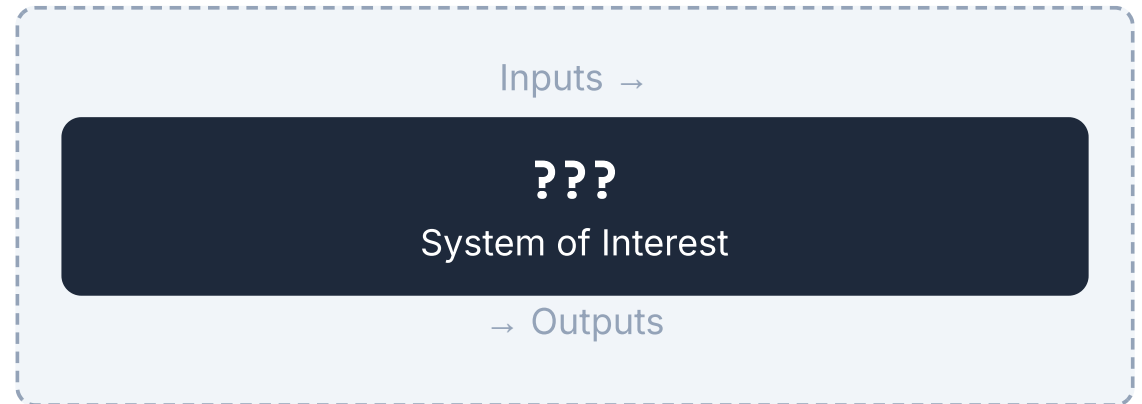
Grenze ziehen

Die Grenze bestimmt, was zum System gehört und was zur **Umgebung**.

- **Was gehört dazu?** — Komponenten innerhalb der Grenze
- **Was ist außen?** — Quellen und Senken
- **Was überquert die Grenze?** — Inputs & Outputs (Flüsse von Materie, Energie, Information)

Mobus & Kalton (2015), Kap. 12

Die "Black Box"



Am Anfang ist das System eine "Black Box" — wir kennen nur Ein- und Ausgänge.

Schritt 2: Zerlegen (Dekomposition)

Ziel: Die Black Box öffnen — aus ??? werden sichtbare Komponenten und Beziehungen.

Das “Mikroskop”

- Was sind die **Teile** des Systems?
- Welche **Prozesse** laufen ab?
- Welche **Bestände** (Stocks) gibt es?
- Wie sind die Teile **verbunden**?

Dekomposition ist **rekursiv**: Jede Komponente kann selbst wieder zerlegt werden.

Mobus & Kalton (2015), Kap. 12

Wann aufhören?

Wenn die Funktion einer Komponente **einfach und bekannt** ist:

Zusammenführen — mehrere Inputs, ein Output

Aufteilen — ein Input, mehrere Outputs

Puffern — speichern und weitergeben

Schritt 3: Beziehungen sichtbar machen

Nachdem wir die Komponenten kennen, zeichnen wir die **Verbindungen** zwischen ihnen.

Einfache Regeln

- **Variablen** als Begriffe aufschreiben
- **Pfeile** zeigen Einfluss: $A \rightarrow B = \text{"A beeinflusst B"}$
- **+ oder –** am Pfeil: verstärkend oder dämpfend?
- **Schleifen** suchen — wo kommt ein Pfad zu seinem Ausgangspunkt zurück?

Zwei Arten von Schleifen

Verstärkend (R)

Mehr → noch mehr → noch mehr...

Beispiel: Zinsen → Kapital → noch mehr Zinsen

Ausgleichend (B)

Mehr → Gegenreaktion → weniger...

Beispiel: Hunger → Essen → kein Hunger

Diese informellen Diagramme nennt man **Causal Loop Diagrams** (CLDs) — ein Standardwerkzeug aus der System Dynamics.

Jackson (2024), Kap. 6 · Senge (1990)

Schritt 4: Vereinfachen & Hinterfragen

“All models are incomplete reductions of the real system so can never really represent any kind of ultimate knowledge. Understanding is not some kind of absolute property. It is a question of relative understanding.”

— Mobus & Kalton (2015)

Was gehört rein?

- Was ist **wesentlich** für unsere Frage?
- Welche Variablen haben den **größten Einfluss**?
- Welche Rückkopplungen **treiben das Verhalten**?

Was lassen wir weg?

- Details, die für die Frage **irrelevant** sind
- Variablen, die sich **kaum ändern**
- Beziehungen, die **zu schwach** sind

Achtung: Vereinfachung ist *unvermeidlich* — aber sie muss **bewusst** geschehen. Jede Vereinfachung ist eine Entscheidung darüber, was wichtig ist.

Jetzt seid ihr dran!

Wir durchlaufen den Modellierungszyklus gemeinsam — mit **Stift und Papier**.

“Any fool can know. The point is to understand.”

— Albert Einstein (zugeschrieben)

Übung: Studienabbruch an Universitäten

Unsere Frage

“Warum brechen Studierende ihr Studium ab — und was hält die Abbruchrate stabil oder verstärkt sie?”

Schritt 1: Grenze ziehen

- **System:** Eine österreichische Universität
- **Inputs:** Studienanfänger, Finanzierung, Lehrende
- **Outputs:** Absolvent:innen, Abbrecher:innen
- **Umgebung:** Arbeitsmarkt, Bildungspolitik, Gesellschaft

Schritt 2: Komponenten finden

Aufgabe: Schreibt 2 Minuten lang alle Variablen auf, die eurer Meinung nach den Studienabbruch beeinflussen.

Beispiele: Arbeitsbelastung, Motivation, finanzielle Situation, soziales Netzwerk, Betreuungsqualität, Prüfungsangst, Pendeldistanz...

Übung: Beziehungen zeichnen

Schritt 3 & 4: Vom Brainstorm zum Diagramm

Anleitung

1. Wählt die **5–8 wichtigsten** Variablen aus
2. Schreibt sie als **Kreise/Kästchen** auf das Papier
3. Zeichnet **Pfeile** zwischen Variablen, die sich beeinflussen
4. Markiert: **+** (verstärkend) oder **–** (dämpfend)
5. Sucht **Schleifen** — wo geht es im Kreis?
6. Markiert Schleifen als **R** oder **B**

Mögliche Schleifen

R: Arbeitsbelastung ↑ → Stress ↑ → Prüfungsversagen ↑ → Nachprüfungen ↑ → Arbeitsbelastung ↑↑

B: Abbruchrate ↑ → öffentliche Aufmerksamkeit ↑ → Universität investiert in Beratung → Abbruchrate ↓

Achtung: Pfeile können auch **verzögert** wirken — Investitionen in Beratung zeigen erst nach Semestern Wirkung.

Was haben wir entdeckt?

Diskussionsfragen

- Welche **Schleifen** habt ihr gefunden?
- Gibt es **überraschende** Verbindungen?
- Wo gibt es **Verzögerungen** (Delays)?
- Wo wäre ein guter **Hebelpunkt** (Leverage Point) für eine Intervention?
- Was habt ihr **weggelassen** — und warum?

Typische Erkenntnisse

Feedback dominiert: Einfache Ursache-Wirkung reicht nicht — Schleifen erzeugen eigene Dynamik.

Grenzen sind Entscheidungen: Unterschiedliche Grenzen führen zu unterschiedlichen Modellen.

Vereinfachung ist schwer: Man muss entscheiden, was wichtig ist — und das ist subjektiv.

“Systems analysis is still very much as much an art as a scientific procedure.”

— Mobus & Kalton (2015)

Vom Papier zum Computer

Wir haben heute ein **konzeptuelles Modell** gebaut. Aber um wirklich zu verstehen, wie das System sich *verhält*, brauchen wir den nächsten Schritt:

“The human mind is best in the early stages ... structuring the problem, recognising the variables involved and considering the linkages between them. [But] the human mind is deemed inadequate for grasping the dynamic, often counterintuitive behaviour to which the interacting loops and the lags give rise.”

— Jackson (2024), Kap. 6

Heute

Konzeptuelles Modell
(Stift & Papier)

Nächste Woche

Python-Grundlagen
(Let the Bits Roll)

Danach

Agentenbasiertes Modell
(Simulation)

Jackson (2024), Kap. 6

Zusammenfassung & Ausblick

Heute gelernt

- **Mentale Modelle** — jeder modelliert, aber unbewusst und fehlerhaft
- **Modellierungszyklus** — Zweck → System → Zerlegen → Modell → Prüfen
- **Grenze & Dekomposition** — Black Box öffnen, Komponenten finden
- **Beziehungen & Schleifen** — verstärkend (R) und ausgleichend (B)
- **Vereinfachung** — bewusst weglassen ist Teil des Modellierens

Nächstes Mal

Lektion 4: Let the Bits Roll — Einführung in Python. Wir übersetzen unser Papiermodell in Code.

Bis dahin: VSCode installieren, GitHub-Account anlegen, Copilot aktivieren. Alles auf der Kurs-Website!

“Building and running models in simulation is the final step in coming to an understanding of systems of interest ”