

Vom Experiment zur Simulation: Experimentierbox zur Klimamodellierung

Motivation

- **Anthropogener Klimawandel** als zentrale Herausforderung [1]
 - begleitet von Fehlvorstellungen und Fehlinformationen [2]
- **Klimamodelle** prägen die gesellschaftliche Debatte und bleiben eine „Black Box“
- **Nebenfachpraktikum (Bio/Chemie):** Python-Einführung ist etabliert, ein **inhaltlicher Anwendungsfall fehlt**
- **Didaktische Rekonstruktion** [3] als Grundlage der Entwicklung:
 - **Interesse** am geplanten Versuch **hoch**
 - **Klimamodelle kaum bekannt**, teils als „Buzzword“ erlebt

Energiebilanzmodell:

Ziel: Messung, Modellierung und Simulation als einen Erkenntnisprozess erfahrbar machen

$$C \frac{dT}{dt} = \dot{E}_{in} - \dot{E}_{out}$$

$$C \cdot \frac{dT}{dt} = (1 - \alpha) \cdot S \cdot A \tau_{SW} - \varepsilon \cdot \sigma \cdot A (1 - f_{trap}) (T^4 - T_{amb}^4) - U(T - T_{amb})$$

Systemisches Denken

- **Systemisches Denken:** komplexe Realitäten **modellieren**, Systeme **analysieren**, Verhalten und Folgen **abschätzen** [4]
- **Schlüsselkompetenz der Bildung für nachhaltige Entwicklung**
- **Forschungslücke** [5]: von 255 empirischen Studien zum systemischen Denken in der STEM-Bildung stammen **8 aus der Physik**
- **Stärken** der Experimentierbox:
 - Systemgrenze und Energieflüsse **physisch lokalisierbar**
 - Modellannahmen **experimentell überprüfbar**

Erhebung: bestehende Instrumente sind für ökologische und geographische Kontexte validiert
→ **Adaption für die Klimaphysik nötig**

- α – Albedo
- C – Wärmekapazität
- U – Wärmeübergang
- f_{trap} – „Treibhauseffekt“
- T – gemessene Temperatur
- T_{amb} – Umgebungstemperatur
- A – bestrahlte Oberfläche
- S – Bestrahlungsstärke
- ε – Emissionsgrad
- τ_{SW} – Transmission

Mixed-Methods → Interviews
Concept Maps
Kompetenztest

Interventionsstudie
Prä-Post-Design

Experiment

- Messung der Temperaturentwicklung
→ Modellierung und Simulation mit Python
- ESP32 zum Auslesen verschiedener Sensoren
 - (IR-)Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Strahlungsleistung
- Didaktische Rahmung: Wissenschaftliches Arbeiten
→ **Ziel:** Aussagen über das Verhalten eines Systems treffen

Beobachten → Modellieren → Parametrisieren → Simulieren → Validieren

- **Komplexität der Modellgrößen** ermöglicht **verschiedene experimentelle Zugänge**

T T_{amb}
 A

Temperatursensoren innen und außen, Fläche aus der Geometrie des Aufbaus

Geometrie und Temperatur

Zustandsgrößen des Systems

S α
 τ_{SW}

Strahlungsmessung mit Solarzellen, kalibriert gegen eine Thermosäule
Z. B. τ_{SW} aus dem Verhältnis der Strahlung mit und ohne Abdeckung

Strahlungsmessung

Was in das System eintritt

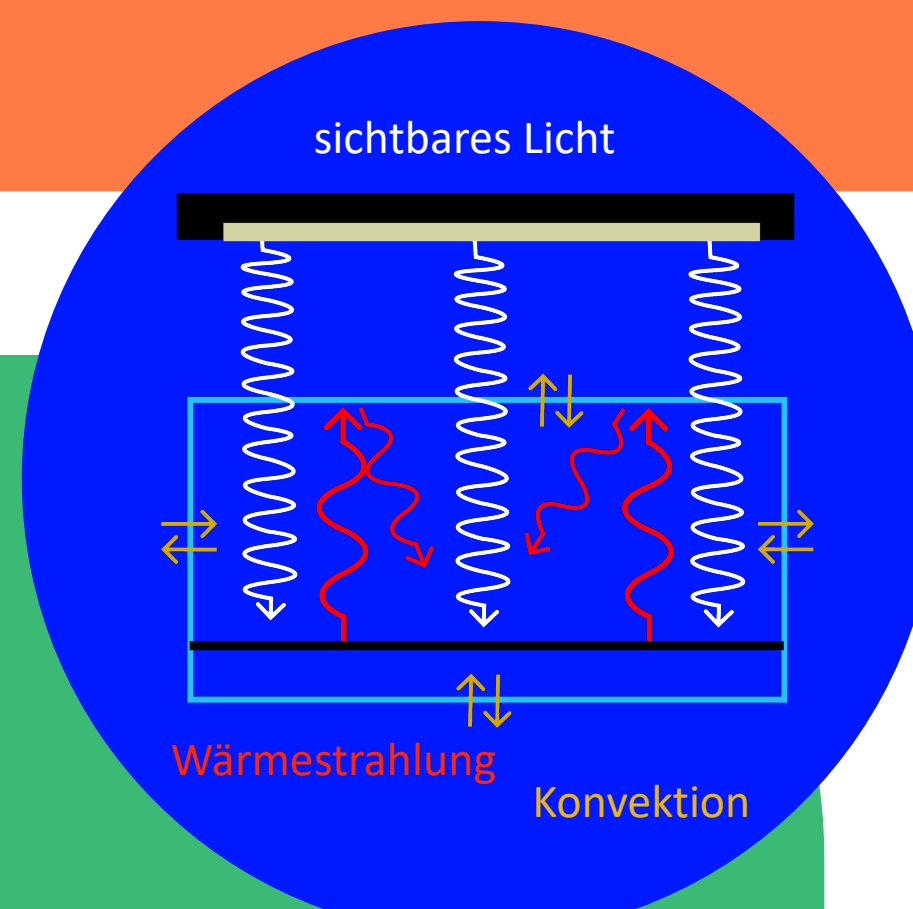
U f_{trap}
 ε C

Abkühlung mit Zeitkonstante $\tau = \frac{C}{U}$ bei ausgeschalteter Lampe
Z. B. ε aus Unterschied der Zeitkonstanten von PE und Alufolie als Deckel

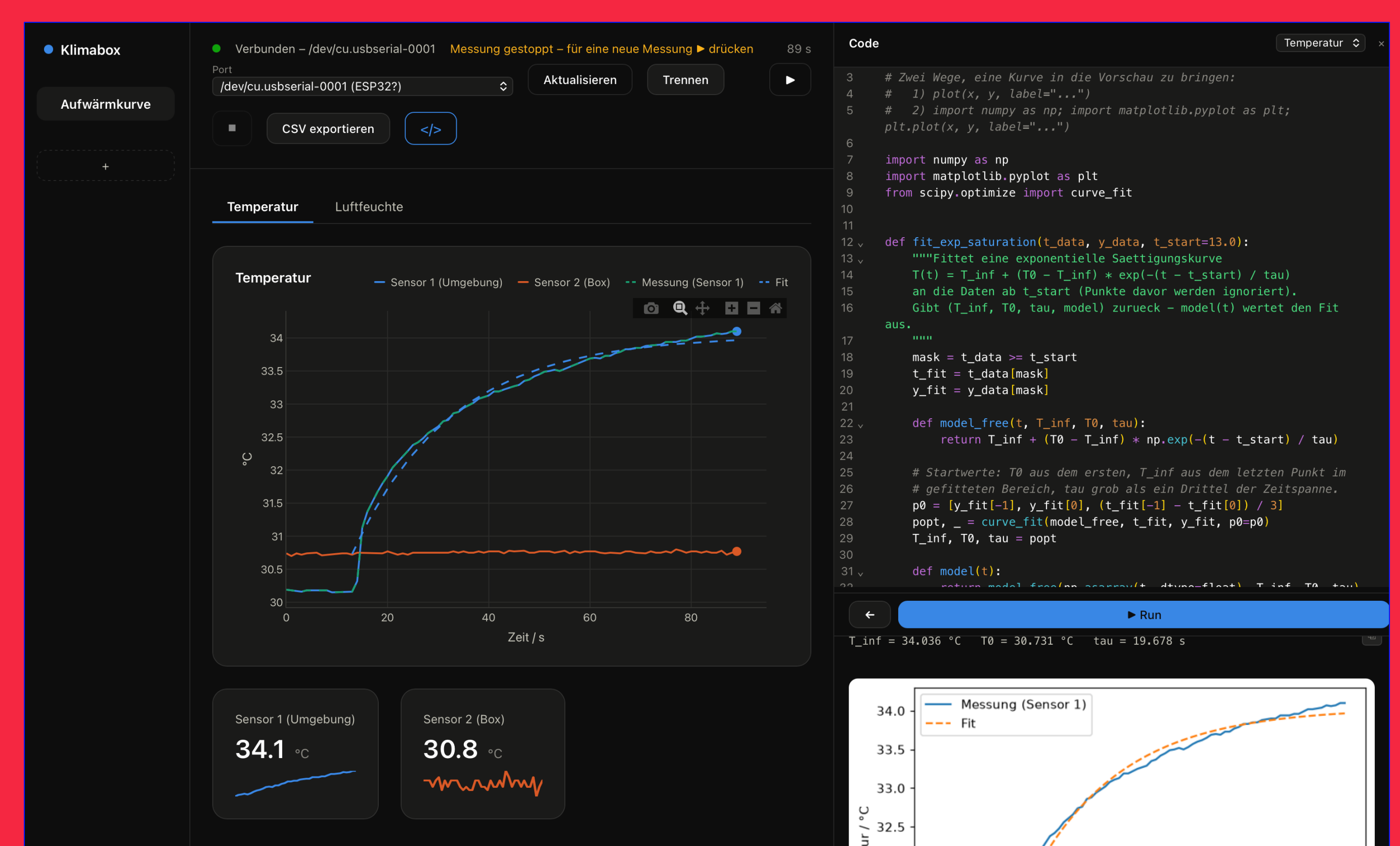
Abkühlkurve

Was das System verlässt

Modellgrößen



Climalab



Diagrammbereich
Vergleich mit Simulation
Messungen
Daten-Export
Sensoren

Code-Umgebung
Python
Modellierung
Simulation

[1] IPCC (2023): Climate Change 2023: Synthesis Report. Genf: IPCC.
[2] Wildbichler, S.; Haagen-Schützenhöfer, C.; Schubatzky, T. (2025): Students' ideas about the underpinnings of climate change. Studies in Science Education 61(1), 117–169. [3] Kattmann, U. et al. (1997): Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion. ZfD 3(3), 3–18. [4] Hoffmann, T. et al. (2022): Zehn Stufen zum systemischen Denken. Bonn: Engagement Global. [5] Bielek, T. et al. (2023): Characterising the Literature on the Teaching and Learning of System Thinking and Complexity in STEM Education. Journal for STEM Education Research 6(2), 199–231.

Ausblick

- Optimierung des Aufbaus
 - Sensorik, Lampe, Messdauer, Wanddämmung
- **Umsetzung** in einen **Praktikumsversuch**
 - Didaktische Reduktion, Designentscheidungen, Anleitungen
- **Adaption** eines **Kompetenztests** für klimaphysikalische Kontexte
 - **Mixed-Methods-Design** und **Pilotierung** der Instrumente
 - **Übertragbarkeit:** Schülerlabor, Projektkurse, Lehrkräftebildung

Erprobungen
ab WS 26/27

Interesse an einer Zusammenarbeit?



Maximilian Kühlkamp

AG Prof. Dr. Heinke
I. Physikalisches Institut IA
RWTH Aachen University

KONTAKT
kuehlkamp@physik.rwth-aachen.de