

Programmierung als Leitbild in der Theorie der Ökosysteme

Baltasar Trancón y Widemann
Michael Hauhs



UNIVERSITÄT
BAYREUTH

15. Kolloquium Programmiersprachen und
Grundlagen der Programmierung

12.–14. Oktober 2009



Programmierung ??



[Wikimedia Commons](#)

Ökosysteme ??

- ▶ Umweltwissenschaft in Theorie-Krise!
 - ▶ Krisensymptome in der Computer-Modellierung
Erkennbar für Informatiker
- ▶ Anlass zum Paradigmenwechsel?
 - ▶ Rolle, Aufgaben und Möglichkeiten von Theorie
Metaphern aus Softwaretechnik und Programmanalyse
 - ▶ konkrete Alternativen
Formalisten aus Semantik von Programmiersprachen

- ▶ Umweltwissenschaft in Theorie-Krise!
 - ▶ Krisensymptome in der Computer-Modellierung
Erkennbar für Informatiker
- ▶ Anlass zum Paradigmenwechsel?
 - ▶ Rolle, Aufgaben und Möglichkeiten von Theorie
Metaphern aus Softwaretechnik und Programmanalyse
 - ▶ konkrete Alternativen
Formalisten aus Semantik von Programmiersprachen

39. Jahrestagung der GfÖ, 14.–18. September 2009, Bayreuth

600 Teilnehmer

30 Einzelsymposien

250 Vorträge

6 -fach parallel

200 Poster

4 Sitzungstage

1 theoretisches Thema



K. Jax, M. Wichmann, T. Heger, D. DeAngelis:
Empirical Ecology and Ecological Theory: **Does the
cooperation fail?** (Plenumsdiskussion)

Ausblick

Details

Krise

Perspektiven
Agenten

Rückblick

39. Jahrestagung der GfÖ, 14.–18. September 2009, Bayreuth

600 Teilnehmer

30 Einzelsymposien

250 Vorträge

6 -fach parallel

200 Poster

4 Sitzungstage

typische sonstige Vortragstitel



M. Rabus, C. Laforsch:

Growing large and bulky in the presence of the enemy:
An inducible morphological defence in *daphnia magna*
against the predatory tadpole shrimp *triops cancriformis*.

Die Physik der Umwelt

- ▶ Zeitliche Koinzidenz
 - ▶ Blütezeit der klassischen Physik
Lagrange, Laplace, Hamilton
 - ▶ Gründerzeit der Umweltwissenschaft
Humboldt, Darwin, Haeckel
- ▶ Import des Forschungsprogramms
 - ▶ Bausteine, Prozesse, Zustand
 - ▶ Abbildung des Permanenten,
Vorhersage des Wandels
- ▶ Physikalische Metaphern
 - ▶ Kapazität, Potential, Fluss, Stabilität, ...

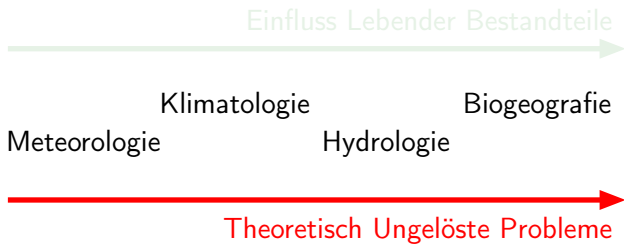
Die Theoretische Krise der Umweltwissenschaften

„Physikalismus“ – „Biologismus“

Programmierung
als Leitbild in der
Theorie der Öko-
systeme

Trancón, Hauhs

Unterschiedlicher Erfolg in Teildisziplinen



Ausblick

Details

Krise
Perspektiven
Agenten

Rückblick

Ursachenforschung

Komplexität Umwelt eben viel komplexer als Physik

Präzision Messverfahren noch zu ungenau

Paradigma Leben erfordert andere Konzepte

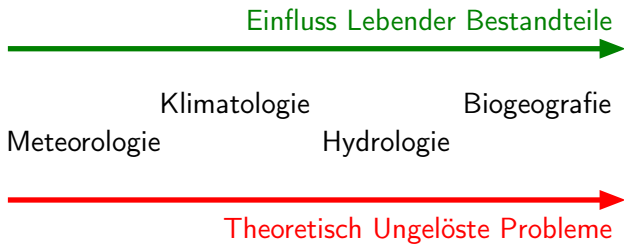
Die Theoretische Krise der Umweltwissenschaften

„Physikalismus“ – „Biologismus“

Programmierung
als Leitbild in der
Theorie der Öko-
systeme

Trancón, Hauhs

Unterschiedlicher Erfolg in Teildisziplinen



Ausblick

Details

Krise

Perspektiven
Agenten

Rückblick

Ursachenforschung

Komplexität Umwelt eben viel komplexer als Physik

Präzision Messverfahren noch zu ungenau

Paradigma Leben erfordert andere Konzepte

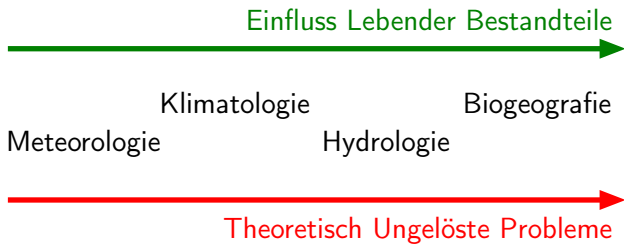
Die Theoretische Krise der Umweltwissenschaften

„Physikalismus“ – „Biologismus“

Programmierung
als Leitbild in der
Theorie der Öko-
systeme

Trancón, Hauhs

Unterschiedlicher Erfolg in Teildisziplinen



Ausblick

Details

Krise
Perspektiven
Agenten

Rückblick

Ursachenforschung

Komplexität Umwelt eben viel komplexer als Physik

Präzision Messverfahren noch zu ungenau

Paradigma Leben erfordert andere Konzepte

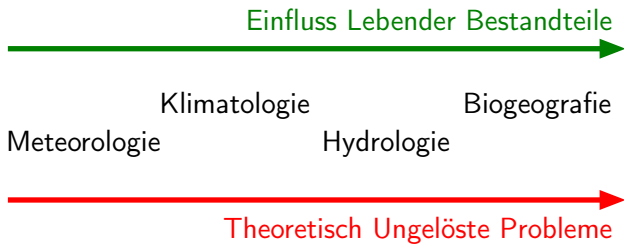
Die Theoretische Krise der Umweltwissenschaften

„Physikalismus“ – „Biologismus“

Programmierung
als Leitbild in der
Theorie der Öko-
systeme

Trancón, Hauhs

Unterschiedlicher Erfolg in Teildisziplinen



Ausblick

Details

Krise

Perspektiven
Agenten

Rückblick

Ursachenforschung

Komplexität Umwelt eben viel komplexer als Physik

Präzision Messverfahren noch zu ungenau

Paradigma Leben erfordert andere Konzepte

Die Theoretische Krise der Umweltwissenschaften

Wissenschaft ohne Theorie

Programmierung
als Leitbild in der
Theorie der Öko-
systeme

Trancón, Hauhs

Akademische Forschung

- ▶ Phänomenologie
- ▶ Inverse Modellierung
 - ▶ Rekonstruktion,
Vorhersage
 - ▶ Equifinalitätsproblem
- ▶ Agentenbasierte
Modellierung

Praktische Nutzungstraditionen

- ▶ Domestikation
- ▶ Land-, Forstwirtschaft

Gegenseitiges Misstrauen

Theorie heuristisches Erfahrungswissen durch fundierte Erklärungen ersetzen

Praxis Forschung entweder relevant oder rigoros

Ausblick

Details

Krise
Perspektiven
Agenten

Rückblick

Die Theoretische Krise der Umweltwissenschaften

Wissenschaft ohne Theorie

Programmierung
als Leitbild in der
Theorie der Öko-
systeme

Trancón, Hauhs

Akademische Forschung

- ▶ Phänomenologie
- ▶ Inverse Modellierung
 - ▶ Rekonstruktion,
Vorhersage
 - ▶ Equifinalitätsproblem
- ▶ Agentenbasierte
Modellierung

Praktische Nutzungstraditionen

- ▶ Domestikation
- ▶ Land-, Forstwirtschaft

Gegenseitiges Misstrauen

Theorie heuristisches Erfahrungswissen durch fundierte Erklärungen ersetzen

Praxis Forschung entweder relevant oder rigoros

Ausblick

Details

Krise
Perspektiven
Agenten

Rückblick

Verhalten von Lebewesen...

... für Physiker

nichtlinear

unstetig

... für Informatiker

logisch
regelbasiert
strategisch
algorithmisch

Vorhersage von Verhalten?

In fact, continuity of [the evolution mapping] seems to be necessary in order that one be able to make accurate predictions.

R. Geroch: *Mathematical Physics* (1985)

Verhalten von Lebewesen...

... für Physiker

nichtlinear

unstetig

... für Informatiker

logisch
regelbasiert
strategisch
algorithmisch

Vorhersage von Verhalten?

In fact, continuity of [the evolution mapping] seems to be necessary in order that one be able to make accurate predictions.

R. Geroch: *Mathematical Physics* (1985)

Inverse Modellierung

- ▶ Gegeben
 - ▶ ein Datensatz
 - ▶ eine (parametrische) Schar von Modellkandidaten
- ▶ Finde den optimalen/plausibelsten Kandidaten
 - ▶ Inferenz & Interpretation von Parameterwerten
 - ▶ Reproduktion der Daten
 - ▶ Inter-/Extrapolation?

Equifinalitätsproblem

- ▶ Optimierungsproblem nicht effektiv/eindeutig lösbar
- ▶ schmaler Grat zwischen *unterparametrisiert* (nicht lösbar) und *überparametrisiert* (nicht falsifizierbar)
- ▶ Kandidatenmenge offen

Inverse Modellierung

- ▶ Gegeben
 - ▶ ein Datensatz
 - ▶ eine (parametrische) Schar von Modellkandidaten
- ▶ Finde den optimalen/plausibelsten Kandidaten
 - ▶ Inferenz & Interpretation von Parameterwerten
 - ▶ Reproduktion der Daten
 - ▶ Inter-/Extrapolation?

Equifinalitätsproblem

- ▶ Optimierungsproblem nicht effektiv/eindeutig lösbar
- ▶ schmaler Grat zwischen *unterparametrisiert* (nicht lösbar) und *überparametrisiert* (nicht falsifizierbar)
- ▶ Kandidatenmenge offen

Komplexitätsargument

Umweltsysteme sind zu komplex für unmittelbar erfolgreiche physikalische Modelle.

Erklärungsanspruch

Ein System ist verstanden, wenn seine internen Prozesse identifiziert und rekonstruiert sind.

Anti-Empirie

Nutzungskompetenz (aus Erfahrung) ist zu ersetzen durch Vorhersagbarkeit (aus Erklärung).

Komplexitätsargument?

Softwaresysteme sind zu komplex für denotationelle Semantik.

Erklärungsanspruch

Ein System ist verstanden, wenn seine internen Prozesse identifiziert und rekonstruiert sind.

Anti-Empirie

Nutzungskompetenz (aus Erfahrung) ist zu ersetzen durch Vorhersagbarkeit (aus Erklärung).

Komplexitätsargument?

Softwaresysteme sind zu komplex für denotationelle Semantik.

Erklärungsanspruch?

Ein Programm ist verstanden, wenn das reverse engineering seines Codes abgeschlossen ist.

Anti-Empirie

Nutzungskompetenz (aus Erfahrung) ist zu ersetzen durch Vorhersagbarkeit (aus Erklärung).

Komplexitätsargument?

Softwaresysteme sind zu komplex für denotationelle Semantik.

Erklärungsanspruch?

Ein Programm ist verstanden, wenn das reverse engineering seines Codes abgeschlossen ist.

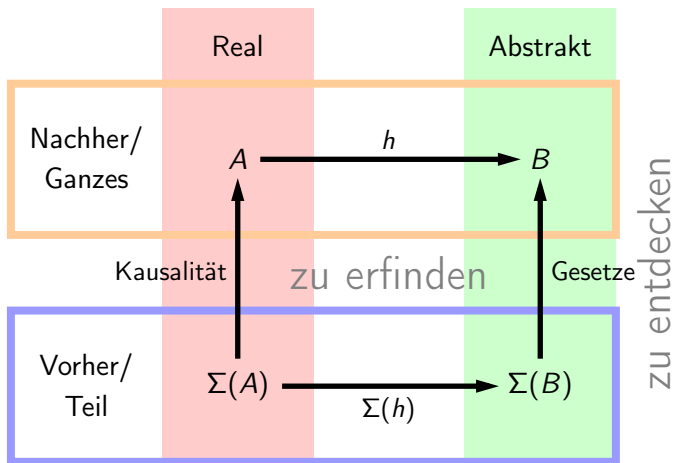
Anti-Empirie?

Die beste Dokumentation ist der Quellcode.

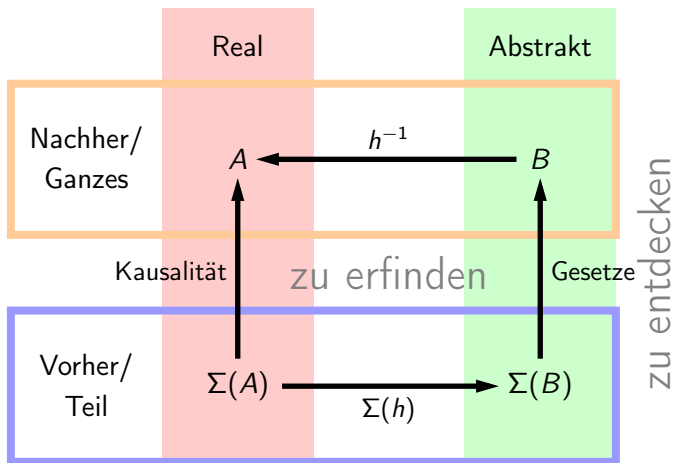
Übersicht: duale semantische Kategorien

	Algebra	Coalgebra
Operation	$\Sigma(A) \rightarrow A$	$A \rightarrow \Sigma(A)$
Referenz	initial	final
	Syntax	Semantik
Datenstrukturen	Bäume	Graphen
Generalisiert	Terme	Automaten
Berechnung	Rekursion	Corekursion
	Termination	Produktivität
Logik	Induktion	Coinduktion
	Gleichungen	modal

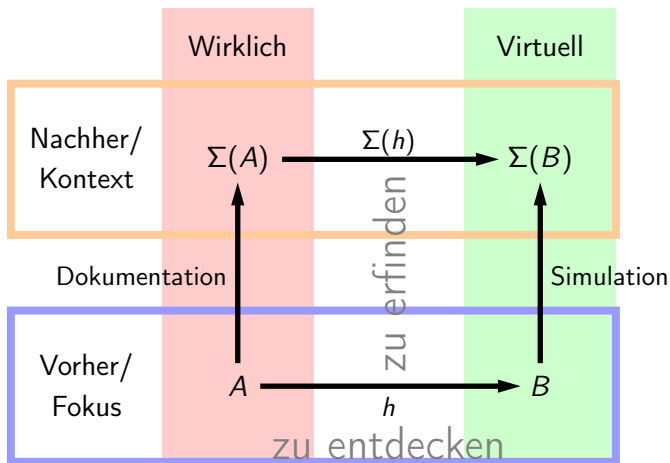
Algebraische Modellbildung nach R. Rosen (1991)



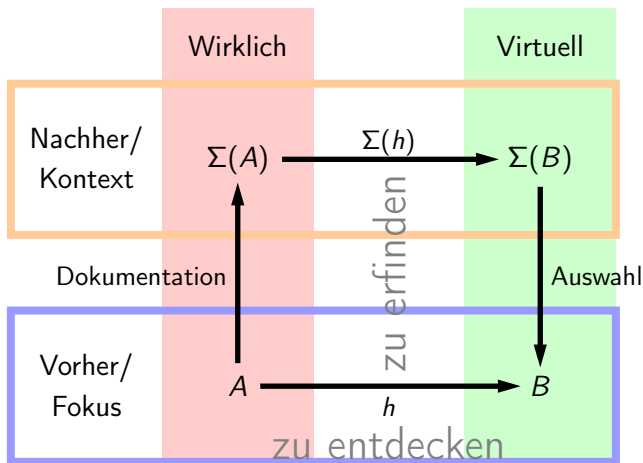
Test (Vorhersage)



Dualisierung: Coalgebra



Test (Strategie)



Modelle in finaler Coalgebra

- ▶ Die Metapher *black box* ernst nehmen
- ▶ Schnittstelle statt Aufbau
- ▶ Verhalten statt Entstehung
- ▶ Equifinalität verschwindet in finalen Modellen
- ▶ Vollständigkeit statt Symmetrie
- ▶ Bewertung/Strategie statt Vorhersage
- ▶ Kommunikation statt Erklärung

Ausblick

Details

Krise

Perspektiven

Agenten

Rückblick

Beispiel: Nichttriviale Strategie

- ▶ Dreifelderwirtschaft: Winterfrucht, Sommerfrucht, Brache
- ▶ Wesentlicher Motor des Wohlstands im MA
- ▶ Konkrete Prozesse ab 19. Jhd Forschungsthema
 - ▶ Nährstoffspeicher, Erosionskontrolle, Schädlingszyklen, ...

Beispiel: Verhaltensbasierte Klassifikation

Rekonstruktion von Vegetationskarten aus dem Spektrum der zeitlichen Variabilität von Satellitenbildern

(Diplomarbeit H. Frey)

Beispiel: Nichttriviale Strategie

- ▶ Dreifelderwirtschaft: Winterfrucht, Sommerfrucht, Brache
- ▶ Wesentlicher Motor des Wohlstands im MA
- ▶ Konkrete Prozesse ab 19. Jhd Forschungsthema
 - ▶ Nährstoffspeicher, Erosionskontrolle, Schädlingszyklen, ...

Beispiel: Verhaltensbasierte Klassifikation

Rekonstruktion von Vegetationskarten aus dem Spektrum der zeitlichen Variabilität von Satellitenbildern

(Diplomarbeit H. Frey)

Beispiel: Modallogische Begriffe

nachhaltig — eine Ressource nutzend, ohne sie zu erschöpfen oder dauerhaft zu schädigen

Beispiel: Model Checking als umwelttechnische Metapher

Modell	Theorie	Test auf
Verfahren	Vorschrift	Compliance
Strategie	Ziel	Wirksamkeit
Wirklichkeit	Erwartung	Expertise

Beispiel: Modallogische Begriffe

nachhaltig — eine Ressource nutzend, ohne sie zu erschöpfen oder dauerhaft zu schädigen

$$\Box \Diamond \textit{nutzen} \wedge \Box \neg \textit{schaden}$$

Beispiel: Model Checking als umwelttechnische Metapher

Modell	Theorie	Test auf
Verfahren	Vorschrift	Compliance
Strategie	Ziel	Wirksamkeit
Wirklichkeit	Erwartung	Expertise

Beispiel: Modallogische Begriffe

nachhaltig — eine Ressource nutzend, ohne sie zu erschöpfen oder dauerhaft zu schädigen

$$\underbrace{\square \diamond \textit{nutzen}}_{\text{liveness}} \wedge \underbrace{\square \neg \textit{schaden}}_{\text{safety}}$$

Beispiel: Model Checking als umwelttechnische Metapher

Modell	Theorie	Test auf
Verfahren	Vorschrift	Compliance
Strategie	Ziel	Wirksamkeit
Wirklichkeit	Erwartung	Expertise

Beispiel: Modallogische Begriffe

nachhaltig — eine Ressource nutzend, ohne sie zu erschöpfen oder dauerhaft zu schädigen

$$\underbrace{\square \diamond \textit{nutzen}}_{\text{liveness}} \wedge \underbrace{\square \neg \textit{schaden}}_{\text{safety}}$$

Beispiel: Model Checking als umwelttechnische Metapher

Modell	Theorie	Test auf
Verfahren	Vorschrift	Compliance
Strategie	Ziel	Wirksamkeit
Wirklichkeit	Erwartung	Expertise

Agenten-/Individuenbasierter Experimentalaufbau

- ▶ Individualisierte Agenten
- ▶ interagieren mit ihrer Umgebung
- ▶ nach einfachen (ad-hoc) Regeln
- ▶ in einer geschlossenen virtuellen Welt;
- ▶ emergent entsteht Struktur und Kollektivverhalten.

Syllogismus

Naturphänomen A wurde beobachtet
Agentenmodell B erzeugt ähnliche Muster

Modell B erklärt Phänomen A

Verdacht

- ▶ Verwechslung von Kategorien

Erklärung \leftrightarrow Implementierung
abstrakt \leftrightarrow virtuell

- ▶ Kombination der „zu entdeckenden“ Achsen
 - ▶ Konstruktion ohne Vorhersage
 - ▶ Repräsentation ohne Strategie

Syllogismus?

Spezifikation A ist gegeben
Programm B genügt diesen Anforderungen

Programm B erklärt Spezifikation A

Verdacht

- ▶ Verwechslung von Kategorien

Erklärung \leftrightarrow Implementierung
abstrakt \leftrightarrow virtuell

- ▶ Kombination der „zu entdeckenden“ Achsen
 - ▶ Konstruktion ohne Vorhersage
 - ▶ Repräsentation ohne Strategie

Syllogismus?

Spezifikation A ist gegeben
Programm B genügt diesen Anforderungen

Programm B erklärt Spezifikation A

Verdacht

- ▶ Verwechslung von Kategorien

Erklärung \leftrightarrow Implementierung
abstrakt \leftrightarrow virtuell

- ▶ Kombination der „zu entdeckenden“ Achsen
 - ▶ Konstruktion ohne Vorhersage
 - ▶ Repräsentation ohne Strategie

Beispiel

Why and how birds in colonies often breed in striking synchrony is an unsolved question. [...]

We propose that social tranquility at the time of laying can be achieved if a bird's stress level is partly determined by the agitation of its neighbours. [...]

*We **tested** our hypotheses using a generic individual-based model [...]*



R. Jovani, V. Grimm:

Breeding synchrony in colonial birds: from local stress to global harmony.

Proc. R. Soc. B (2008).

- ▶ Umweltwissenschaft in Theorie-Krise!
 - ▶ Krisensymptome in der Computer-Modellierung
Erkennbar für Informatiker:
Erklärung \leftrightarrow Implementierung
- ▶ Anlass zum Paradigmenwechsel?
 - ▶ Rolle, Aufgaben und Möglichkeiten von Theorie
Metaphern aus Softwaretechnik und Programmanalyse:
Schnittstellen, model checking
 - ▶ konkrete Alternativen
Formalismen aus Semantik von Programmiersprachen:
(Co)Algebra
- ▶ Mehr theoretische Informatiker (besonders Bereich Programmiersprachen) in die Ökologie!
- ▶ Fragen?

- ▶ Umweltwissenschaft in Theorie-Krise!
 - ▶ Krisensymptome in der Computer-Modellierung
Erkennbar für Informatiker:
Erklärung \leftrightarrow Implementierung
- ▶ Anlass zum Paradigmenwechsel?
 - ▶ Rolle, Aufgaben und Möglichkeiten von Theorie
Metaphern aus Softwaretechnik und Programmanalyse:
Schnittstellen, model checking
 - ▶ konkrete Alternativen
Formalismen aus Semantik von Programmiersprachen:
(Co)Algebra
- ▶ Mehr theoretische Informatiker (besonders Bereich Programmiersprachen) in die Ökologie!
- ▶ Fragen?

- ▶ Umweltwissenschaft in Theorie-Krise!
 - ▶ Krisensymptome in der Computer-Modellierung
Erkennbar für Informatiker:
Erklärung \leftrightarrow Implementierung
- ▶ Anlass zum Paradigmenwechsel?
 - ▶ Rolle, Aufgaben und Möglichkeiten von Theorie
Metaphern aus Softwaretechnik und Programmanalyse:
Schnittstellen, model checking
 - ▶ konkrete Alternativen
Formalismen aus Semantik von Programmiersprachen:
(Co)Algebra
- ▶ Mehr theoretische Informatiker (besonders Bereich Programmiersprachen) in die Ökologie!
- ▶ Fragen?

- ▶ Umweltwissenschaft in Theorie-Krise!
 - ▶ Krisensymptome in der Computer-Modellierung
Erkennbar für Informatiker:
Erklärung \leftrightarrow Implementierung
- ▶ Anlass zum Paradigmenwechsel?
 - ▶ Rolle, Aufgaben und Möglichkeiten von Theorie
Metaphern aus Softwaretechnik und Programmanalyse:
Schnittstellen, model checking
 - ▶ konkrete Alternativen
Formalismen aus Semantik von Programmiersprachen:
(Co)Algebra
- ▶ Mehr theoretische Informatiker (besonders Bereich Programmiersprachen) in die Ökologie!
- ▶ Fragen?