

Was ist Bedeutung? Der Beitrag der Informatik zu einem sinnvollen Verständnis von Semantik als Interaktionssemantik [1].

”There is nothing more practical than a good theory.”, James C. Maxwell (1831-1879)

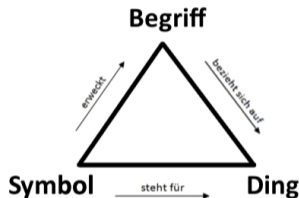
Johannes Reich, johannes.reich@sap.com

2025-02-24

- 1 Einführung
- 2 Systeme und Information
- 3 Interaktive Systeme: Interaktion, Koordination,
- 4 Interaktionssemantik
- 5 Zusammenfassung

Zwei Modelle von Bedeutung: Abbildung vs. Gebrauch

Bedeutung als Abbildung (Aristoteles, Saussure, Pierce, Ogden & Richards, Morris...)

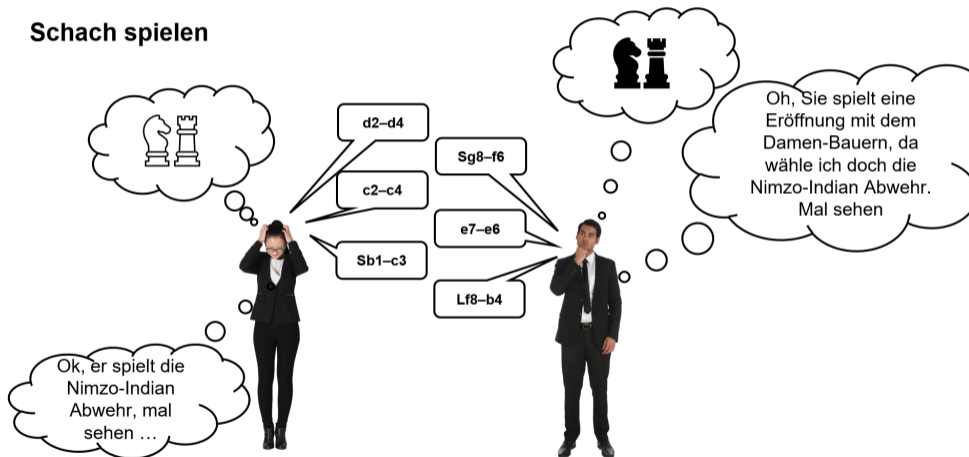


Quelle: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=16975987>

Bedeutung als Regeln des Gebrauchs (Wittgenstein) [5] (Absatz 43): "Man kann für eine große Klasse von Fällen der Benützung des Wortes »Bedeutung« – wenn auch nicht für alle Fälle seiner Benützung – dieses Wort so erklären: Die Bedeutung eines Wortes ist sein Gebrauch in der Sprache. "

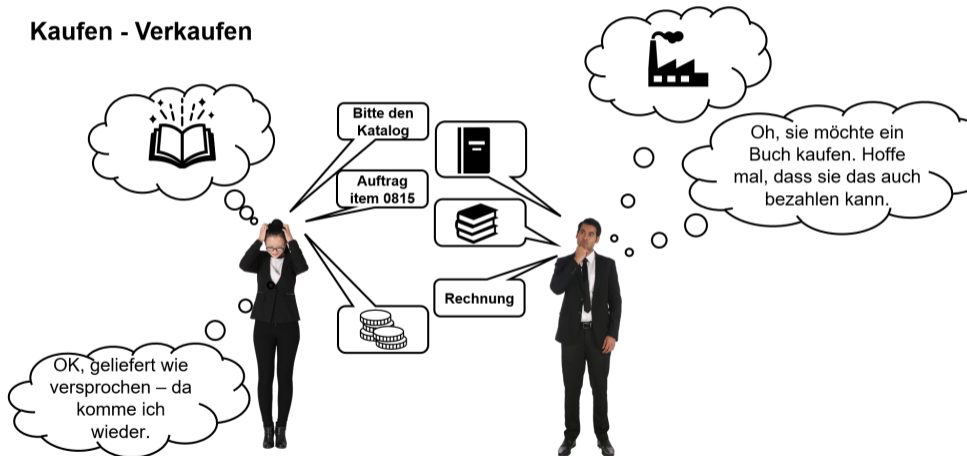
Die Bedeutung der ausgetauschten Dinge beim Schachspielen

Schach spielen



Die Bedeutung der ausgetauschten Dinge beim Kaufen/Verkaufen

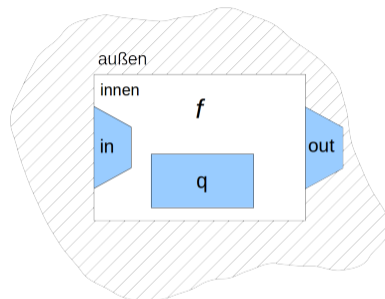
Kaufen - Verkaufen



Die Bedeutung der ausgetauschten Dinge - erste Zusammenfassung

- Der Dialog ist identisch, unabhängig davon ob er zw. Maschinen oder Menschen stattfindet.
- Die Interaktion ist
 - Zeichen-vermittelt,
 - nichtdeterministisch,
 - zustandsbehaftet,
 - bidirektional und
 - asynchron.
- Die Interaktion kann durch ein Protokoll beschrieben werden. Dies ist eine Menge von Regeln.
- Die Unbestimmtheit der Interaktion (= Protokoll) lässt sich durch "Entscheidungen" ausfüllen.
- Darüber hinaus sind keine weiteren Konzepte notwendig.

Systeme



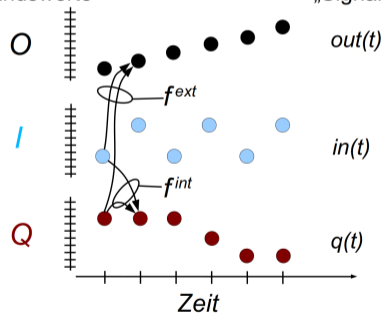
Zustand

System mit Funktion f

$$\begin{pmatrix} q(t') \\ out(t') \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} f^{int}(q(t), in(t)) \\ f^{ext}(q(t), in(t)) \end{pmatrix}$$

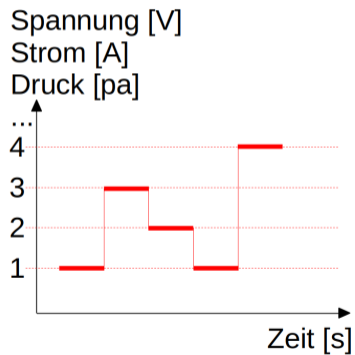
Menge der
Zustandswerte

Zustandsfunktionen
„Signale“

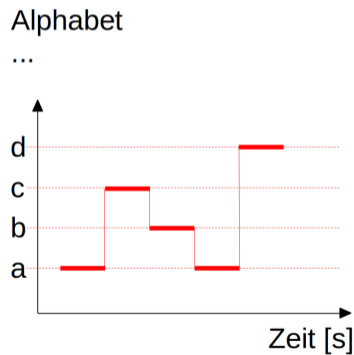


Informationen

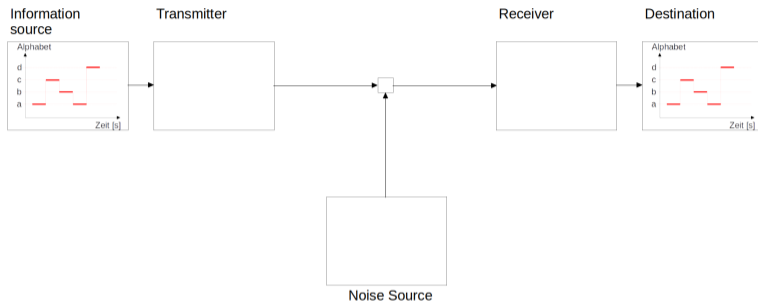
A) Physikalische Perspektive



B) Informatische Perspektive

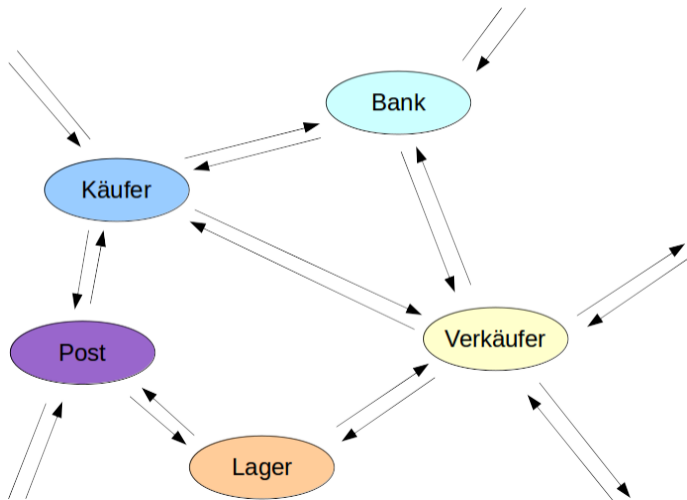


Informationsübertragung a la Claude E. Shannon[3]



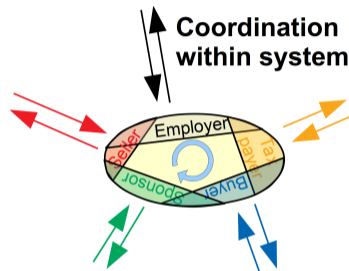
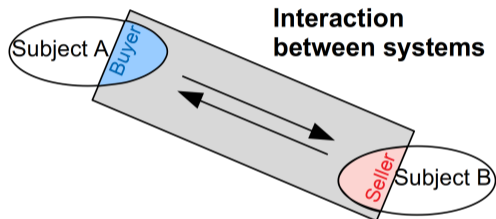
- Die Verabredung, welche unterschiedlichen Zustandswerte mit welchen Zeichen zu identifizieren sind, geht der Informationsübertragung voraus!
- Es werden nur Informationen transportiert, keine Bedeutung: *"Frequently the messages have meaning; that is they refer to or are correlated according to some system with certain physical or conceptual entities. These semantic aspects of communication are irrelevant to the engineering problem."* [3]

Interaktive Systeme in nichthierarchischen Interaktionsnetzwerken



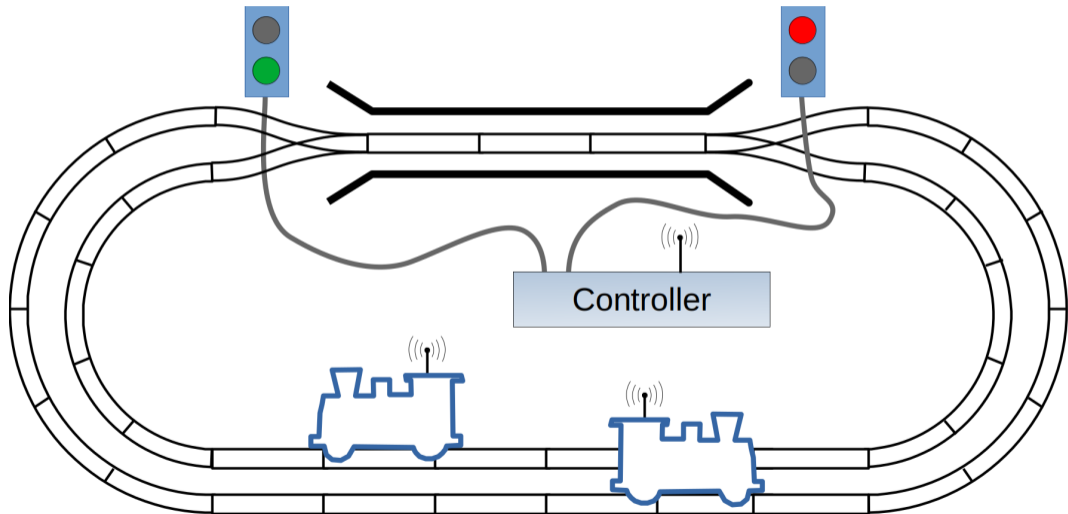
Problem: Knoten (=Systeme) und Kanten (=Interaktionen) sind nicht unabhängig voneinander.

Das Rollenkonzept interaktiver Systeme: Interaktion und Koordination

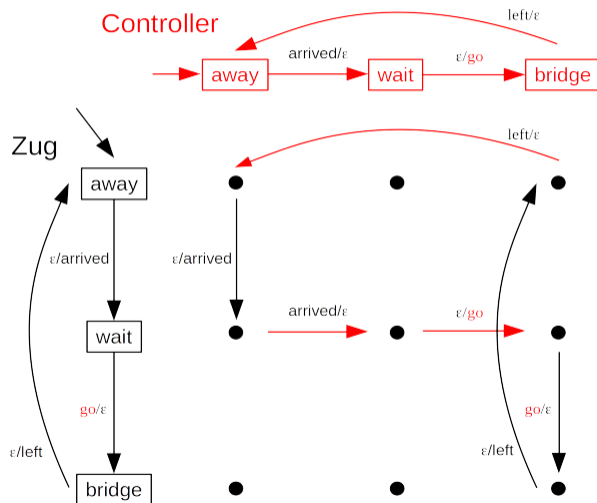


- **Rolle:** Gemeinsamer Baustein für Interaktion und System
- Eine Rolle ist die **Projektion** eines interaktiven Systems auf eine Interaktion.
- **Externe Komposition:** Ergebnis ist eine Interaktion zwischen Systemen (= Protokoll)
- **Interne Komposition:** Ergebnis ist eine Koordination innerhalb eines Systems

Das Beispiel der einspurigen Eisenbahnbrücke



Die Interaktion zwischen Zug und Controller



Notation: Für $p, q \in Q$, $i \in I^\epsilon$ und $o \in O^\epsilon$ schreiben wir für $(i, o, p, q) \in \Delta$ auch:

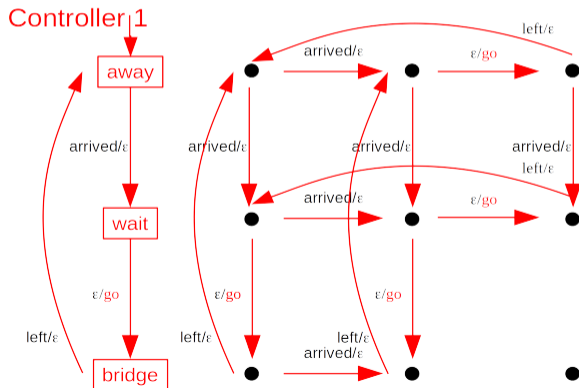
$$p \xrightarrow{i/o} q$$

Restriktion: Die Interaktion führt zur Restriktion der Transitionsrelation des Produktautomaten, d.h. es fallen Transitionen weg.

Die Koordination beider Zug-Interaktionen im Controller



Restriktion Die Koordination führt zur Restriktion der Transitionsrelation des Produktautomaten, d.h. es fallen Transitionen weg.



Entscheidungen ...

- ... sind ein zusätzliches, "fiktives" Eingabealphabet, um nichtdeterministische Interaktionen zu determinieren.
- ... sind eindeutig und unterschiedlich zu allen Zeichen von I , O und Q eines Systems.
- ... dienen dazu, die Beschreibung der Interaktion von interaktiven Systemen lokal zu begrenzen bzw. abzuschließen.
- ... lassen sich in verschiedene Klassen einteilen:
 - 'Spontan' vs. 'Auswahl'
 - Durch das Erfolgskriterium 'forciert' vs. 'frei'.
- ... bleiben in Protokollen unbestimmt. D.h. Rollen verbergen die Bestimmung der Entscheidungen.

Interaktive Systeme - Zusammenfassung

- Die Interaktion zwischen interaktiven Systemen ist in der Regel
 - Zeichen-vermittelt
 - nichtdeterministisch,
 - zustandsbehaftet und
 - asynchron.
- Interaktive Systeme bilden in ihren Interaktionen keine Supersysteme aus
- Konzept der Rolle als Projektion eines Systems auf seine Interaktion als gemeinsamer Baustein für
 - Interaktion als externe Komposition zu Protokollen.
 - Koordination als interne Komposition zu Systemen.
- Konzept der Entscheidungen als zusätzliches fiktives Eingabealphabet zur Bestimmung der Aktionen.

Formale Semantik am Beispiel des Aussagenkalküls

Syntax: Die Regeln für den Aufbau von Ausdrücken sind:

- ① " w " und " f " sind Ausdrücke;
- ② jede Variable " p ", " q ", etc. ist eine Ausdruck;
- ③ sind $\$a$ und $\$b$ Ausdrücke, dann sind auch " $\neg \$a$ ", " $\$a \vee \b " und " $\$a \wedge \b " Ausdrücke.

Semantik: Die Interpretation eines Ausdrucks $\$a$, $\mathcal{I}_b(\$a)$ ist gegeben durch:

- ① einer Belegung aller Variablen mit Wahrheitwerten: $b : V \rightarrow \{\text{wahr}, \text{falsch}\}$
- ② einer rekursiven Vorschrift, die die Bedeutung der Ausdrücke bestimmt:
 - ① $\mathcal{I}_b("w") = \text{wahr}$; $\mathcal{I}_b("f") = \text{falsch}$;
 - ② $\mathcal{I}_b("p") = b("p")$;
 - ③ $\mathcal{I}_b("\neg \$a") = \text{wahr}[\text{falsch}]$, wenn $\mathcal{I}_b(\$a) = \text{falsch}[\text{wahr}]$;
 - ④ $\mathcal{I}_b("\$a \vee \$b") = \text{wahr}$, wenn $\mathcal{I}_b(\$a) = \text{wahr}$ oder $\mathcal{I}_b(\$b) = \text{wahr}$;
 - ⑤ $\mathcal{I}_b("\$a \wedge \$b") = \text{wahr}$, wenn $\mathcal{I}_b(\$a) = \text{wahr}$ und $\mathcal{I}_b(\$b) = \text{wahr}$.

Interaktionssemantik - Idee

Übertragung der Idee der formalen Semantik auf die Interaktion

- Belegung: Die Werte aller Zustandsfunktionen zu einem Zeitpunkt t .
- Interpretation: Abbildung von Zustandswerten auf Zustandswerte durch Systeme

Problem: In nichtdeterministischen Interaktionen ist die Transitionsrelation einer Rolle nicht eindeutig

Lösung: Determinierung mit einem zusätzlichen Eingabealphabet - den Entscheidungen

Die Bedeutung eines Eingabezeichens i zusammen mit einer Entscheidung d bei einem gegebenen Zustandswert p ergibt sich durch das Ausgabezeichen o und den neuen Zustandswert q :

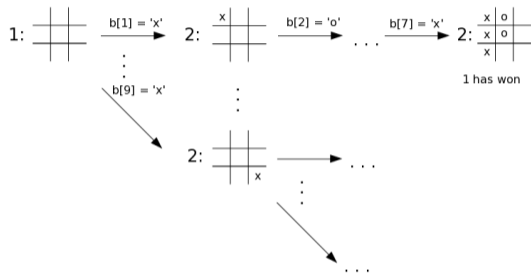
$$(o, q) = \text{Interp}_p(i, d).$$

Interaktionssemantik - einfache Folgerungen

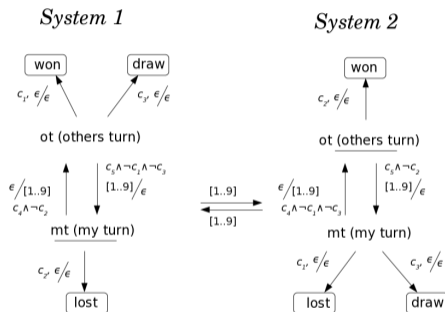
- **Vorstellung:** Das Erteilung der Bedeutung von Information ist synonym mit ihrer Verarbeitung. Information, die nie verarbeitet wird, ist 'bedeutungslos'.
- Zunächst ist das Reden über 'Bedeutung' nur eine andere Form der Betrachtung einer Interaktion mit neuem Vokabular, etwa 'Verstehen'.
- ⇒ Entscheidungen rücken in den Fokus des Interesses (ϵ -Hülle aller Zustände unter derselben Entscheidung); ausgetauschte Zeichen dienen nur der Kopplung.
- ⇒ Protokoll + Entscheidungen = Spiel in Interaktionsform.
- ⇒ Spieltheorie als Theorie der Bedeutung von Entscheidungen.

Das Spiel Tic Tac Toe

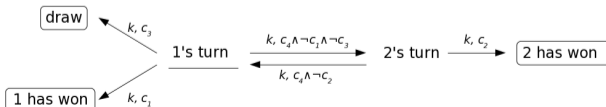
Extensive Form:



Interaktive Form:



Entscheidungsautomat auf ϵ -Hüllen



Semantik in der natürlichen Sprache

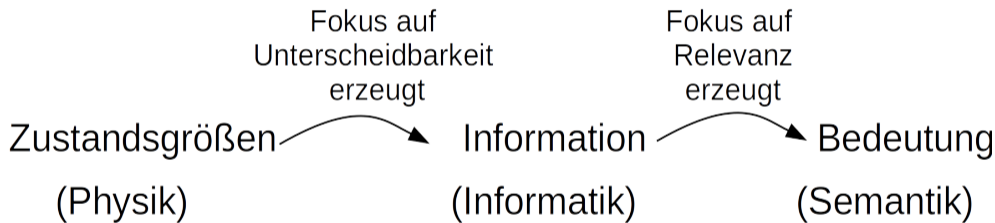
"Henne-Ei"-Problem: Eine zielgerichtete Interaktion mit einem anderen Menschen erfordert gegenseitiges Verständnis \Leftrightarrow Die Herstellung eines gegenseitigen Verständnisses erfordert eine zielgerichtete Interaktion. **"Simultaneous interaction and understanding (SIAU)"-Problem.**

Vergleichbar: "Simultaneous Localization and Mapping (SLAM)"-Problem (z.B. [4]): Um die eigene Position in einem Gelände zu bestimmen, brauche ich eine Karte \Leftrightarrow Um eine Karte zu bestimmen, muss ich meine eigene Position kennen.

Lösung: Ein internes Modell wird durch beständigen Kontakt mit der Umgebung iterativ zunehmend verbessert.

- \Rightarrow Für die interne Modellbildung ist es notwendig **"Relevantes"** von **"Irrelevantem"** zu unterscheiden.
- \Rightarrow Wegen der vielen notwendigen Entscheidungen steht das 'Verstehende Subjekt' im Zentrum.

Verhältnis von Physik, Informatik, Semantik



Relevanz für IT-Applikationsarchitektur

- Es gibt keine 'nicht-semantische' vs. 'semantische' Verarbeitung von Informationen / Applikationen.
- Viele '**geschichtete**' **Applikationsmodelle** sind – soweit sie sich auf die Verarbeitung von Informationen beziehen – semantischer Natur [ob sie wollen oder nicht]; bekanntestes Beispiel: OSI-Modell.
- Konzept eines *Interfaces* als "*Alles was es bedarf, um einen Kompositionsoperator zu befüllen*".
- Die **eloquente Applikation**: Man kann die Interaktion von der Applikation nicht trennen. Mit entsprechenden Folgen für das Design von Applikationen vs. "Integration-Servern".
- Angeblich "**semantische Technologien**" sind gar keine solchen, etwa Ontologien.
- Besseres Verständnis des **sehr großen Erfolgs** bestimmter Ansätze (etwa SEPA-Protokolle) vs. dem **sehr geringem Erfolg** anderer Ansätze (etwa VWS im Industrie 4.0 Kontext)

Relevanz für Ökonomie

- **Geld-Modell:[2]** Erweiterung des Interaktionsmodells um ein einfaches mentales Modell ("Präferenzen") sowie einen Tauschfaktor ('Geld') in allen relevanten Interaktionen
⇒ vollständig subjektive Präferenzen werden intersubjektiv vergleichbar (wenn alle gleichviel Geld haben).
- **Semantik von Geld:** Die Bedeutung von Geld ergibt sich aus seinem Gebrauch (Belohnung, Anerkennung, Bestechung, Quid-pro-Quo, ...)
- **Semantik von Vergütung:** Für was bekomme ich eigentlich mein Geld?






Zusammenfassung

- Aus informatischer Sicht werden nur Informationen transportiert, Bedeutung wird durch Interpretation erteilt.
- Das Modell der Semantik als Abbildung findet sich in der formalen Semantik, etwa in Programmiersprachen oder Ontologien.
- Das Modell der Semantik als Gebrauch findet sich in der Interaktionssemantik, wenn wir so über die Interaktion sprechen wollen.
- Die Spieltheorie wird damit zu einer Theorie der Bedeutung von Entscheidungen.
- Unsere Sprache lässt sich als iterative Lösung des 'Henne-Ei'-Problems verstehen, dass einerseits eine zielgerichtete Interaktion gegenseitiges Verständnis erfordert und andererseits die Herstellung eines gegenseitigen Verständnisses eine zielgerichtete Interaktion erfordert (engl. 'simultaneous interaction and understanding' (SIAU) Problem).
- Konkrete Auswirkungen auf Informatik, Ökonomie, KI, ...

⇒ **"Epoche der Semantik"**: Rückbezüglichkeit, Relevanz – Irrelevanz, Verstehen, Fokus auf Was wir tun.

Danke!

Fragen?

-  J. Reich.
Verwirrende Informatik IV – Semantik.
Informatik Spektrum, 46:189–196, 2023.
-  J. Reich and M. Härterich.
Money as a mechanism to intersubjectively compare entirely subjective preferences.
HAL, July 2024.
preprint, <https://hal.science/hal-04663410>.
-  C. E. Shannon and W. Weaver.
The Mathematical Theory of Communication.
Urbana, University of Illinois Press, 1949.
-  S. Thrun, W. Burgard, and D. Fox.
Probabilistic Robotics.
The Mit Press, 2005.
-  L. Wittgenstein.
Philosophische Untersuchungen. Kritisch-genetische Edition.

Wissenschaftliche Buchgesellschaft. Frankfurt, 2001.