

## Kap. 3: Modelle und Grundlagen der Modellierung

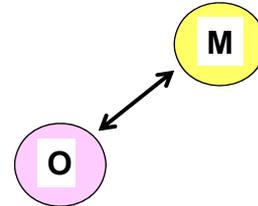
- **Modellieren – wozu?**
- **Modelle: Definitionen**
- **Modell und Original**
- **Modelle und ihre Darstellung**
- **Modelle als Vor- und Nachbilder**
- **Statische und dynamische Modellierung**
- **Ontologien**
- **Literatur**

### WS 2019/20 : Programm

Datum	Sitzung	Thema	B/M	Bearb.
<b>2019</b>				
17.10.	1	Vorbesprechung V0		
24.10.	2	Vorlesung 1: Systemtheorie, Systeme und ihre Klassifizierung		
31.10.		fällt aus		
7.11.	3	Vorlesung 2: Physiological Computing Systems		
14.11.	4	Vorlesung 3: Modelle und Modellierung		
21.11.	5	Vorlesung 4: Systematische Entwicklung autonomer Systeme		
28.11.	6	Vorlesung 5: Modellbildung und Simulation für dynamische Systeme		
5.12.	7a	Systemzoo	B	J.Sammer
	7b	Umweltsysteme	M	Ellwanger
12.12.	8a	Kooperation und Konkurrenz (Axelrod)	B	Kuhn
	8b	Modellierung sozialer Systeme / Netzwerke / Medien	M	Derks
19.12.	9	Simulation als Spiel (Beer Game)	B	Franz
<b>2020</b>				
9.1.	10a	Agentensysteme: Grundlagen, Multi-Agentensysteme	B	Al Shool
	10b	Ameisen-Algorithmen, Schwarm-Intelligenz	B	Quitt
16.1.	11a	Evolutionäre Algorithmen	M	Waldinger
	11b	Modellierung von KI-Systemen, Neuronale Netze	M	Frey
23.1.	12a	Lernende Maschinen, "denkende Maschinen"	M	Ott
	12b	Formale Modellierung adaptiver Systeme	M	Siegert
30.1.	13a	Visionen und Grenzen der KI	M	Prinz
	13b	Roboter-Ethik	M	Speer
6.2.	14	Abschlussdiskussion, Zukunftsvisionen		

## Wozu Modellieren?

- Menschliche kreative Tätigkeit: ohne Modelle *undenkbar*
- Reale Welt steckt voller *komplexer* Zusammenhänge
- Modell erlaubt, *vereinfachende, reduzierende Sicht* auf einen Teil davon (das "*Original*") herzustellen und sich daran zu orientieren.



- Komplexe geistige Aufgaben: nur lösbar, wenn man sich nacheinander auf *ausgewählte Aspekte* konzentrieren kann.
- Mit Hilfe von Modellen kann man:
  - *Überblick* über komplexe Strukturen gewinnen,
  - Informationen und Erfahrungen sammeln,
  - Alternativen bewerten, Vergleiche anstellen, Schlüsse ziehen,
  - Entscheidungen treffen, Strategien entwickeln, ...
  - .. - die *für die Bearbeitung des Originals von Nutzen* sind,
  - .. - die sich an diesem selbst nicht (so leicht) vollziehen lassen.

## Zum Modellbegriff: Definitionsversuche

**Model:** A semantically closed abstraction of a system (cf. [UML 99], Glossary)

**Vorsicht:** "semantically closed" ist nicht näher definiert, sehr vager "Semantik"begriff  
Gemeint (?): eine gewisse Kohärenz des Modells.

**Model:** An abstraction of a physical system with a certain purpose (cf. [UML 03], Glossary)

**Vorsicht:** Muss es immer "*physical*" sein? Immer ein „*System*“? Ist „*Abstraktion*“ einziges Merkmal?

**Modell:** Idealisierte, vereinfachte, in gewisser Hinsicht ähnliche Darstellung eines Gegenstands, Systems oder sonstigen Weltausschnitts mit dem Ziel, daran bestimmte Eigenschaften des Vorbilds besser studieren zu können. (vgl. [HBB+ 94])

**Achtung!** "Vorbild" ist dabei *nicht zeitlich* zu verstehen. Modelle können sowohl *nach einem Vorbild* oder *als Vorbild* für ein zu erstellendes Produkt oder System gebildet werden (vgl.unten).

## Modellbegriff / Merkmale

### Herkunft des Modellbegriffs:

**modulus** (lat): Maß, Regel, Form, Muster, Vorbild

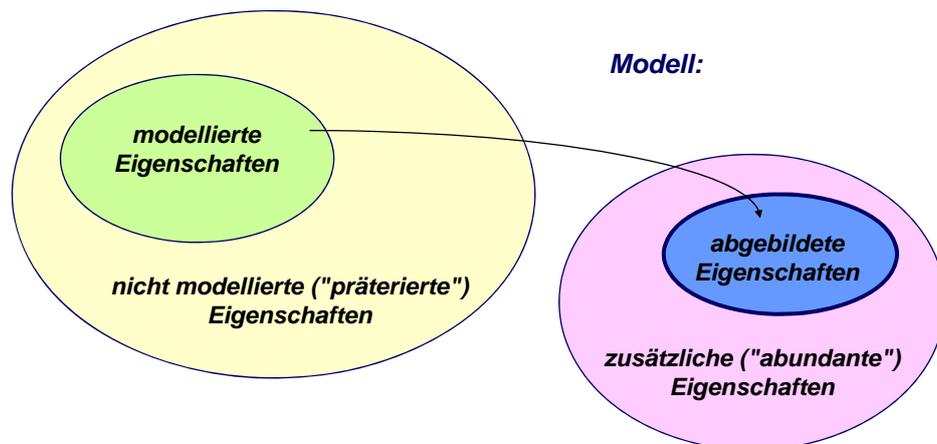
### Merkmale von Modellen (n. Stachowiak [Sta 73], vgl. auch: Ludewig [Lud 02]):

- (A) **Abbildungsmerkmal:** Ein Modell steht immer für etwas anderes, das "Original" - ohne Original kein Modell
- (R) **Reduktionsmerkmal:** Ein Modell weist nicht alle Eigenschaften des Originals auf, sondern nur einige - und auch die möglicherweise in veränderter, "ähnlicher" Form
- (P) **Pragmatisches Merkmal:** Ein Modell hat den Zweck, unter bestimmten Bedingungen und bezüglich bestimmter Fragestellungen das Original zu ersetzen.

5

## Original und Modell (n. Stachowiak)

### Original:



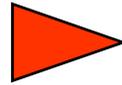
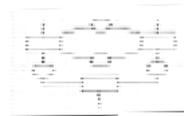
6

## System / Modell / Original

### Original (System)



### Modell



*Relation* O ▷ M

- "System" ... oder besser: "*Original*"? (⇒ *Stachowiak*)
- "System" setzt bestimmte Eigenschaften voraus, "*Original*" bezeichnet dagegen eine *Rolle*.

- Ein "*Modell*" repräsentiert immer ein Original
  - als Stellvertreter
  - mit seinen abgebildeten Eigenschaften

7

## Modell und Original

.. sind vielleicht "ähnlich", aber oft in vielerlei Hinsicht sehr unterschiedlich!

Beispiel: *Person* ▶ *Photo*

- Modelle betonen bestimmte Aspekte der Realität und stellen andere in den Hintergrund: ein Modell kann die Realität nie vollständig erfassen.
- Ein Modell arbeitet mit Annahmen und Vereinfachungen.
- Modelle sind häufig nicht eindeutig (in Bezug auf das modellierte Original)



Foto von <http://www.kmmod.com/cschiffer/>



Weiteres Beispiel: *Landschaft* ▶ *Landkarte*

- Eine Landkarte kann als Modell (= Vereinfachung) nie alle Aspekte der abgebildeten Landschaft enthalten.
- Surreales "Gegenbeispiel": *Umberto Eco: Die Karte des Reiches im Maßstab 1:1*, s. [Eco 93]

8

## Original und Modell: Eigenschaften

- Das Original existiert möglicherweise nicht in der (konkreten, materiellen) Realität → *fiktives* Original.

*Beispiel:*

- Ein Modell kann selbst wieder Original für ein (weiteres) Modell sein  
→ *Modellketten* oder - *kaskaden, Metamodelle*

*Beispiel:*

- Eigenschaften des Originals finden sich entweder (möglicherweise in veränderter Form) im Modell wieder - oder werden unterdrückt ("abstrahiert")  
→ *nicht modellierte ("präterierte") Eigenschaften*

*Beispiel:*

- Eigenschaften des Modells sind entweder (möglicherweise in veränderter Form) aus dem Original abgeleitet - oder treten neu hinzu  
→ *zusätzliche ("abundante") Eigenschaften*

*Beispiel:*

## Original und Modell: Eigenschaften

- Das Original existiert möglicherweise nicht in der (konkreten, materiellen) Realität → *fiktives* Original.

*Beispiel: Modell der Stadt Entenhausen*

- Ein Modell kann selbst wieder Original für ein (weiteres) Modell sein  
→ *Modellketten* oder - *kaskaden, Metamodelle*

*Beispiele: UML-Metamodell (für die Kategorien von UML-Modellelementen) / Klassifikation von Dynamik-Modellen*

- Eigenschaften des Originals finden sich entweder (möglicherweise in veränderter Form) im Modell wieder - oder werden unterdrückt ("abstrahiert")  
→ *nicht modellierte ("präterierte") Eigenschaften*

*Beispiel: Puppe – ähnlich, aber ohne "Fleisch und Blut"*

- Eigenschaften des Modells sind entweder (möglicherweise in veränderter Form) aus dem Original abgeleitet - oder treten neu hinzu  
→ *zusätzliche ("abundante") Eigenschaften*

*Beispiel: Gebäudemodell aus Pappe: Klebstoff*

## Beispiele von Modellen

### *außerhalb der Informatik:*

- Geographie:
- Architektur:
- Mathematik:
- Physik / Chemie:
- Biologie:
- Spielzeug:
- Mode / Unterhaltung:

...

### *in der Informatik:*

-

-

-

- ...

## Beispiele von Modellen

### *außerhalb der Informatik:*

- Geographie: Land-, See-, Himmelskarten
- Architektur: Blaupausen, Modelle für Gebäude u. andere Bauwerke
- Mathematik: Graphen, Verbände, Algebraische Strukturen (Modell „Gruppe“)
- Physik / Chemie: Atomium, Molekularstrukturen, chem. Elemente
- Biologie: DNS-Struktur, Doppel-Helix
- Spielzeug: Eisenbahnen, Autos, Puppenhäuser, ..
- Mode / Unterhaltung: Ersatzperson

- ...

### *in der Informatik:*

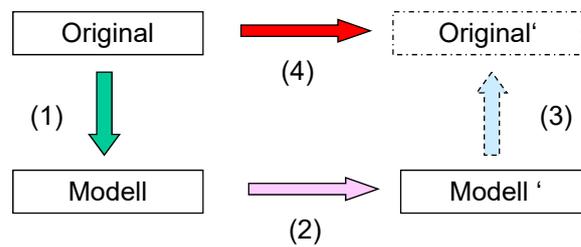
- Daten- und Prozessmodelle, Vorgehensmodelle
- Architekturmodelle
- Analyse- und Entwurfsmuster

- ...

## Modellmethode

Die **Modellmethode** vollzieht **sich in vier Schritten**:

- (1) **Auswahl**: Herstellung eines dem Original entsprechenden Modells
- (2) **Bearbeitung** des Modells, um neue Informationen über Original und Modell zu gewinnen (Modellversuch)
- (3) **Schluss** auf Informationen über das Original (meist Analogieschluss)
- (4) (ggf.) **Durchführung** der Aufgabe am Original.



13

## Zum Modellbegriff: Verwandte Begriffe

**System:**

**Theorie:**

**Vergleich, Analogie, Metapher:**

**Paradigma:**

**Zeichen, Symbol:**

**Werkzeug:**

--> vgl. auch Ludewig [Lud 02]

14

## Zum Modellbegriff: Verwandte Begriffe

- System:** Schwerpunkt liegt auf verallgemeinerbaren Eigenschaften (z.B. Komponenten-Struktur, Emergenz), ist i. A. kein Vor-/Nachbild.
- Theorie:** stützt sich i. A. auf ein oder mehrere Modell(e), macht hypothetische Aussagen über den modellierten Bereich.
- Vergleich, Analogie, Metapher:** Modell ist mehr: repräsentiert ein Original und dessen (wichtige) Eigenschaften, wird analysiert und bearbeitet.
- Paradigma:** Denkweise, Leit-Beispiel. Kann als "Modell" (i.S. von Beispiel, Muster) für Ableitungen dienen.
- Zeichen, Symbol:** hat bloße Repräsentations-Funktion; Modell soll dagegen ähnlich, analysier- und bearbeitbar sein und Ableitungen ermöglichen.
- Werkzeug:** Ein Modell kann (mit) als Werkzeug bei einem Projekt eingesetzt werden. Ein Werkzeug kann mit Modellen arbeiten, z.B. auf einer bestimmten Modellvorstellung aufbauen, ist aber i.A. selbst kein Modell.

--> vgl. auch Ludewig [Lud 02]

## Analogien / Metaphern in Modellen

### Beispiele:

- System "zoo"
- „Gefangenen“-Dilemma
- „Ameisen“-Algorithmen („Pheromone“)
- „Genetische“ Algorithmen („Mutation“, „Selektion“, „Kreuzung“)
- „Neuronale“ Netze („Neuronen“, „Synapsen“, „feuern“)
- „Agenten“-systeme
- Lohhausen (→ D. Dörner)
- „Roboter“-Schwärme



## Abgrenzung des Modellbegriffs

### Modell vs. Darstellung

- Problem: Nicht-Unterscheidung zwischen (kognitiven) Modell und seiner Darstellung, z.B. werden Diagramme als "Modelle" bezeichnet.
- Mögliche Lösung: unterscheiden zwischen *kognitiven* Modell (als struktureller Vorstellung) und seiner Darstellung ("*Modell-Repräsentation*")

### Modell vs. Sprache

- Problem: Nicht-Unterscheidung zwischen Beschreibungs*mittel* (= Sprache) bzw. Beschreibungs*muster* und dem, *was* damit beschrieben wird.  
Beispiel: *Entity/Relationship (E/R-) "Modell"* – ist eine Diagrammtechnik (Sprache), mit der man *Datenmodelle* (Artefakte) herstellen kann.

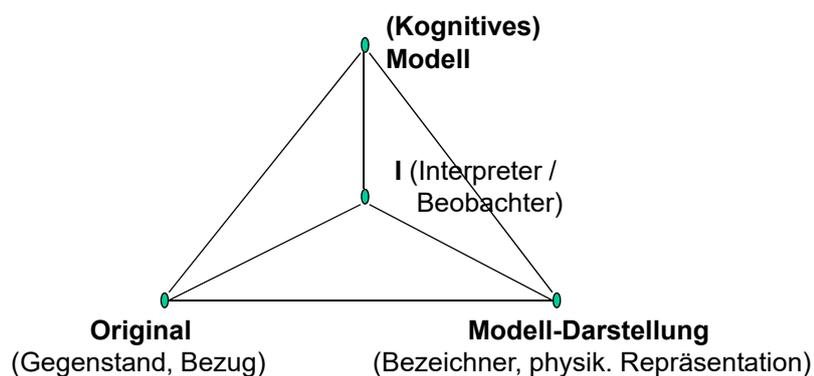
Abweichendes Verständnis in der *mathematischen Logik*:

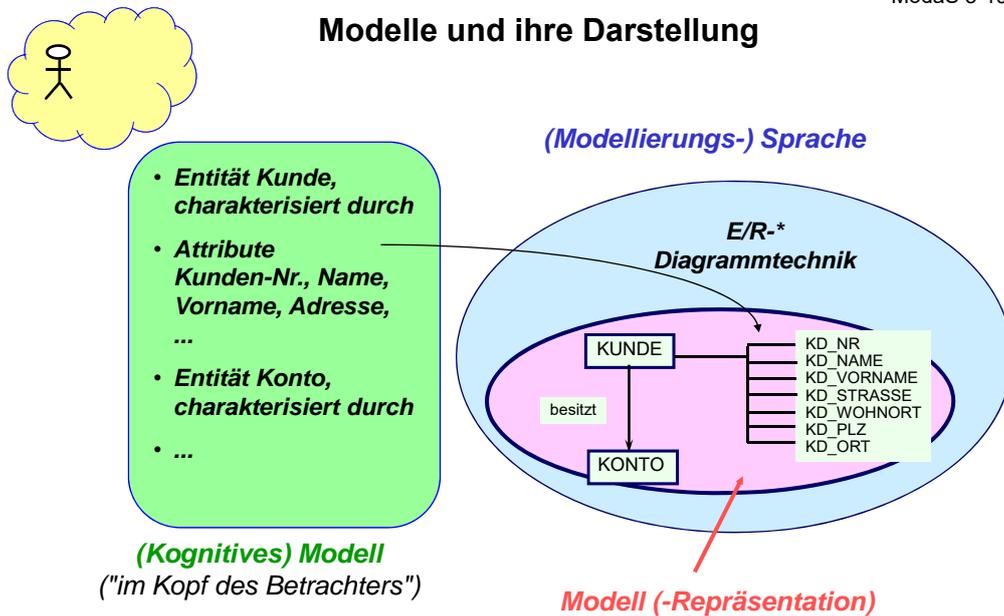
**Modell** = Interpretation eines Axiomensystems, bei der alle Axiome dieses Systems wahre Aussagen darstellen.

*n. Meyers Neues Lexikon (1993), zit. nach [K-K 14]*

1/

## Original - Modell - Repräsentation





\* E/R: Entity/Relationship, vgl. [Che 76]

19

## Modellierungssprache UML

### **Unified Modelling Language (UML):**

- entwickelt aus verschiedenen Ansätzen mit (vorwiegend) graphischen Elementen, seit 1997, Standard der OMG (*Object Management Group*)
- gestattet Darstellung mittels verschiedener **Sichten**, u.a. ...

#### **(a) für die statische Systemstruktur:**

- *Klassen-/Objekt-Diagramme (Class/Object diagram)*

#### **(b) für das dynamische Verhalten:**

- *Anwendungsfall-Diagramme (Use Case diagram)*
- *Interaktions- / Sequenzdiagramme (Interaction / Sequence diagram)*
- *Zustandsdiagramme (State diagram)*
- *Aktivitäts-Diagramme (Activity diagram)*

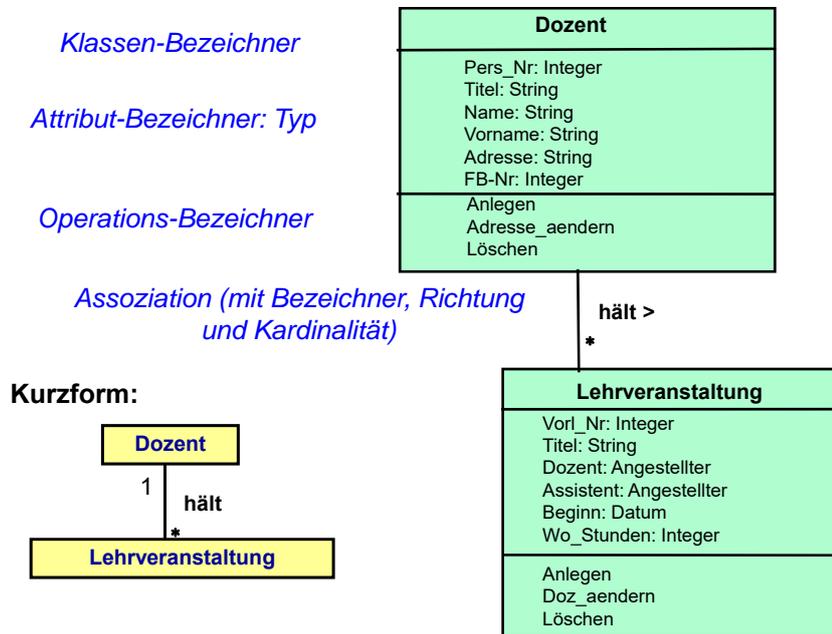
#### **(c) für die System-Umsetzung:**

- *Komponenten- / Verteilungs-Diagramme (Component /Deployment diagram)*

vgl.: [https://de.wikipedia.org/wiki/Unified\\_Modeling\\_Language](https://de.wikipedia.org/wiki/Unified_Modeling_Language)

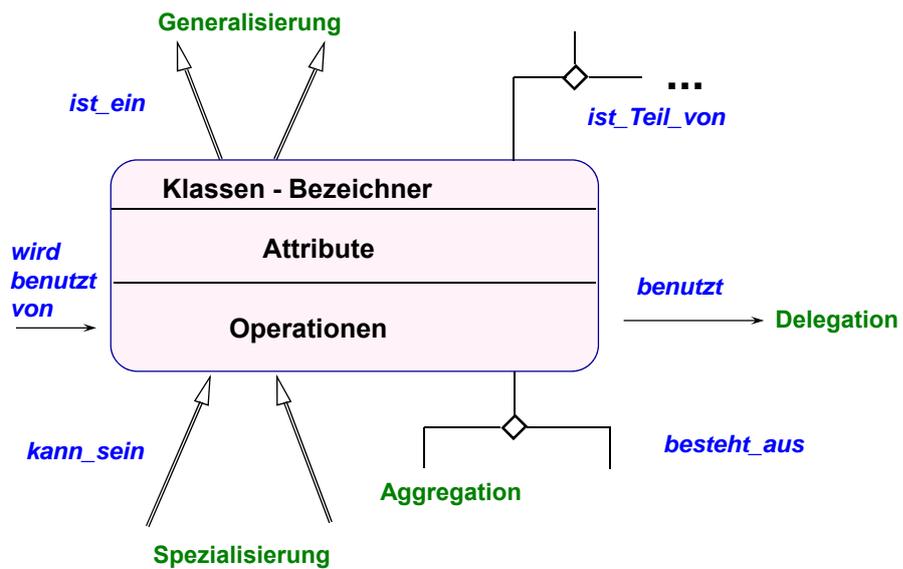
## Beispiel eines UML-Klassendiagramms

ModaS 3-21



## Klassen und Klassenbeziehungen (Zusammenfassung)

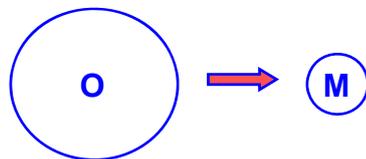
ModaS 3-22



## Nähere Charakterisierung der Original-Modell-Relation

Vom Original wird "*abstrahiert*". Was bedeutet das genau?

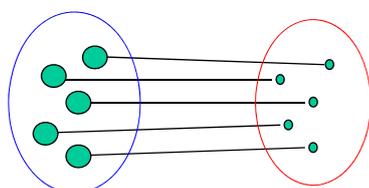
- *Weglassen*: Modell enthält *weniger Details* als das Original
- *Verkleinern*: Modell ist "*kleiner*" (= einfacher) als das Original
- *Übertragen*: Modell befindet sich in einem *anderen Bereich* als das Original
- Wesentlicher Bestandteil der Abstraktion: *Projektion*



23

## Arten von Projektion

- Projektion kann in *zweierlei Hinsicht* erfolgen:



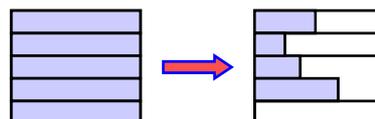
Original-Bereich **O**

Modell-Bereich **M**

(1) Verkürzung der Eigenschaften

⇒ *Merkmals-Projektion*

(*feature projection*)  $O \triangleright_i M$



*Beispiel*: Städte in Landkarte

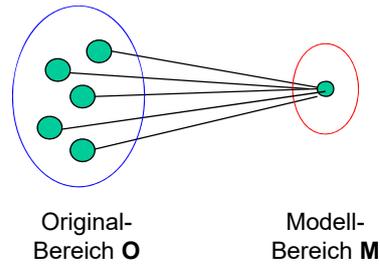
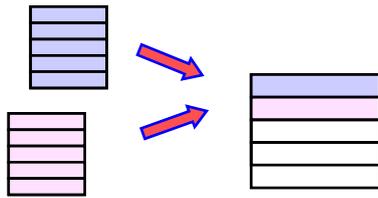
24

## Stellvertreter-Projektion

(2) Repräsentation einer Menge von Elementen durch einen Platzhalter

⇒ *Stellvertreter-Projektion*

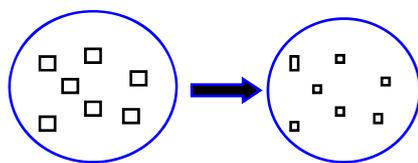
(placeholder projection)  $O \triangleright_t M$



*Beispiele:* (1) Wähler und *Wahlkreise / Abgeordnete*  
 (2) (statistische) *Balken- / Kreisdiagramme* – 1 Balken oder Kreis steht (mit seiner Größe) für eine Menge von Gegenständen / Personen etc.

## Token- vs. Typ-Modelle

- *Zweierlei* Projektion führt zu *zweierlei Arten* von Modellen:

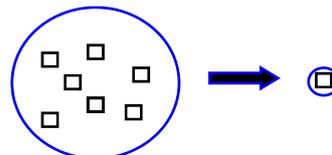


(1) *Token-Modelle*  $O \triangleright_i M$

- abgeleitet von *feature projection*
- Anzahl der *Exemplare* bleibt *gleich*
- Anzahl und Details der Attribute werden reduziert

(2) *Typ-Modelle*  $O \triangleright_t M$

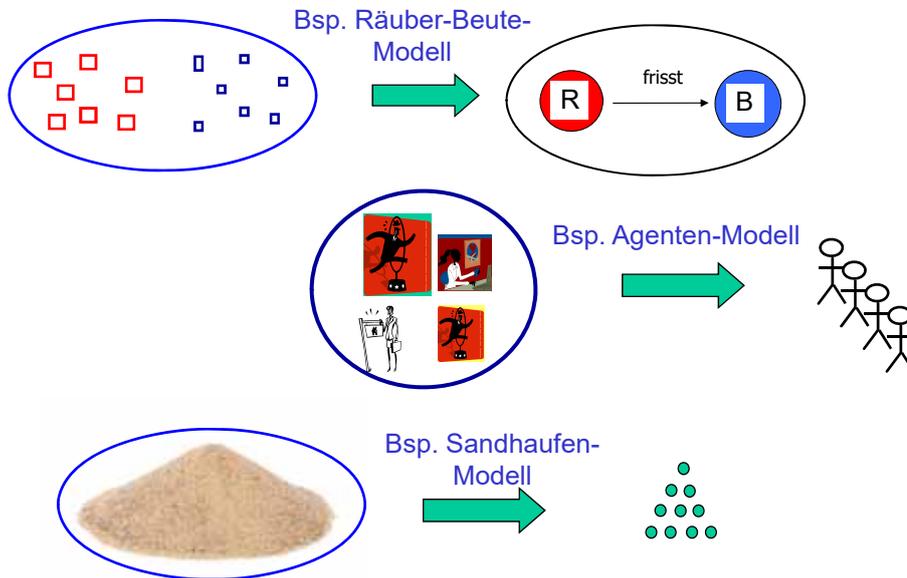
- abgeleitet von *placeholder projection*
- Anzahl der *Exemplare* wird auf 1 Stellvertreter *reduziert*



Alternative Notation:  $O \triangleright M$

*Beispiele ?*

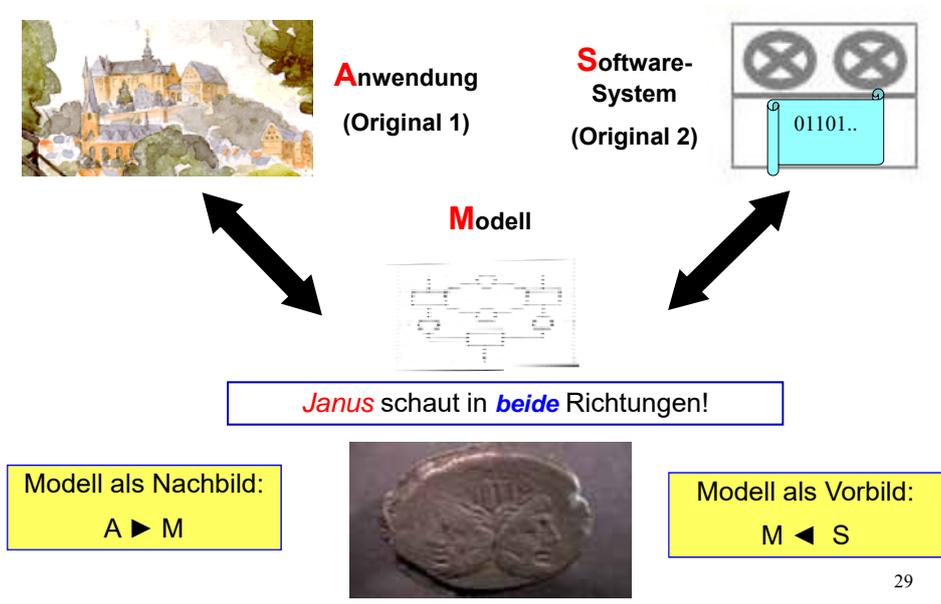
## Token- vs. Typ-Modelle: Beispiele



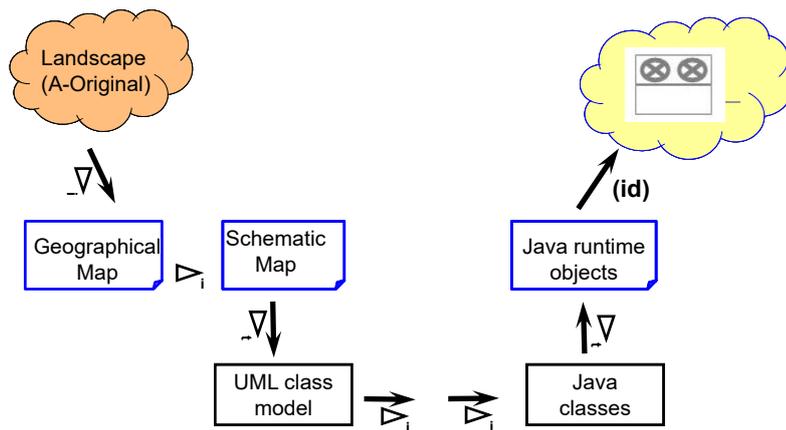
## Unterscheidungen von Modellen

- nach **Zweck**:
  - . *Deskriptive* (Abbild-) / *präskriptive* (Vorbild-) / *transiente* Modelle
  - . *Experimentelle*, *explorative* Modelle
  - . *Idealisierende* / *Vorhersage-/ Erklärungs-Modelle*
  - . *Kausale* Modelle
  - . *Prognostische* (--> Prototypen, Simulationen)
  - . *Konstitutive* Modelle
  - . *Dokumentations-* Modelle,
  - . *Lehr-* und *Spielmodelle*

### Deskriptive vs. präskriptive Modelle



### (Token- und Typ-)Modelle als Vor-/Nachbilder: Beispiel

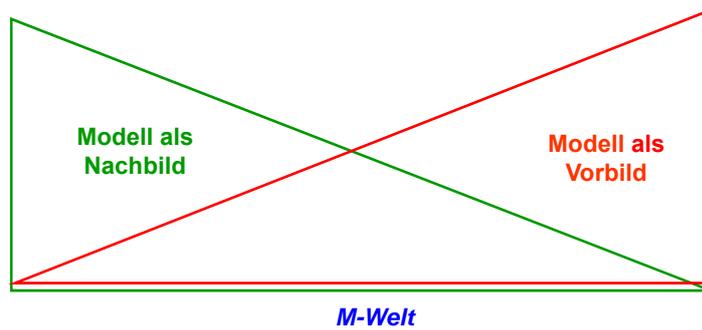
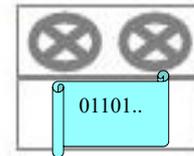


### Vor- und Nachbild-Anteil der Modelle

A-Welt



S-Welt



31

### Modelle – statisch vs. dynamisch

Verschiedene Modelltypen helfen, *unterschiedliche Aspekte* hervorzuheben:

- **Statische Modelle**

- Gegenstands- / Objektmodelle
- Strukturmodelle
- Entitätsmodelle
- Klassenmodelle

- **Dynamische Modelle**

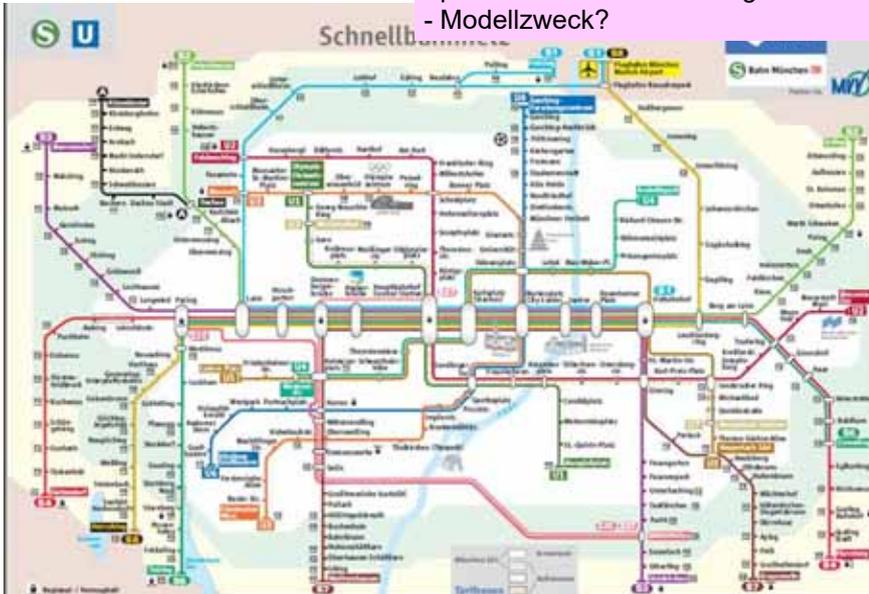
- Vorgehensmodelle
- Aktions- / Aktivitätsmodelle
- Prozessmodelle
- Zustandsmodelle

32

## Modell: *Schnellbahn- netz München*

Fragen:

- statisch oder dynamisch?
- präterierte / abundante Eigenschaften?
- Modellzweck?



33

## Eigenschaften des Beispielmodells (MVV)

ModaS 3-34

### **statisch:**

- *Gegenstands- / Strukturmodell (Token-Modell)* für Netz mit Linien, Knoten und statischen (d.h. räumlichen, nicht zeitlichen) Verknüpfungen.
- *Dynamik* des Systems ist nicht abgebildet - keine einzelnen Züge, Fahrzeiten, Korrespondenzen (Anschlüsse), etc.

### **Modellauswahl:**

- *präteriert*: dynamische Eigenschaften, Züge, Zugläufe, Anschlüsse, Wagenlauf, Standplätze etc.
- *abundant*: (falsche) geographische Ausrichtungen (z.B. „Knicks“ in U3 und U6 n. Süden)

### **Modellzweck:**

- Für die *Zielgruppe* (= MVV-Benutzer) Linienverläufe, Knoten (Umsteigepunkte) und Verknüpfungen visuell darstellen und damit Orientierung im System schaffen

34

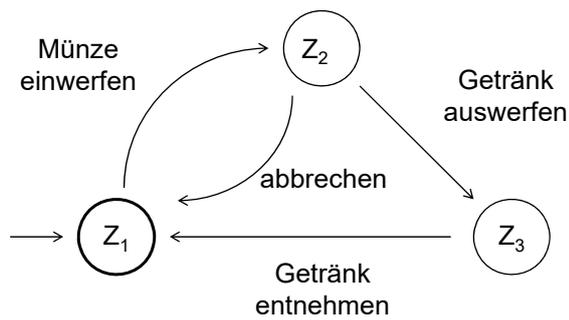
**Exkurs: S-Bahnnetz München 2030 (wie es sein könnte)**



Qu.: H. Schleich, Bayr. Rundfunk

- Südring:** 3 neue Stationen mit 3 U-Verknüpfungen
- Nordring:** 8 neue Stationen mit 2 S- und 4 U-Verknüpfungen

**Einfaches dynamische Modell:  
Endlicher (deterministischer) Automat**



- Fragen:
- statisch oder dynamisch?
  - präterierte / abundante Eigenschaften?
  - Modellzweck?

## Eigenschaften des Beispielmodells (Getränke-Automat)

**dynamisch** (– aber statische Darstellung):

- **Zustandsmodell** (*Typ-Modell*) für (sehr) einfache Getränkeautomaten.
- **Dynamik** des Systems steckt in Zuständen, Zustandsübergängen etc.

**Modellauswahl:**

- **präteriert**: physikalische, materielle Eigenschaften: Gehäuse, Zubehör, Stromversorgung, Münzen, Getränke, ...
- **abundant**: graphische Symbole (Kreise, Pfeile); auch: Reihenfolge 1,2,3

**Modellzweck:**

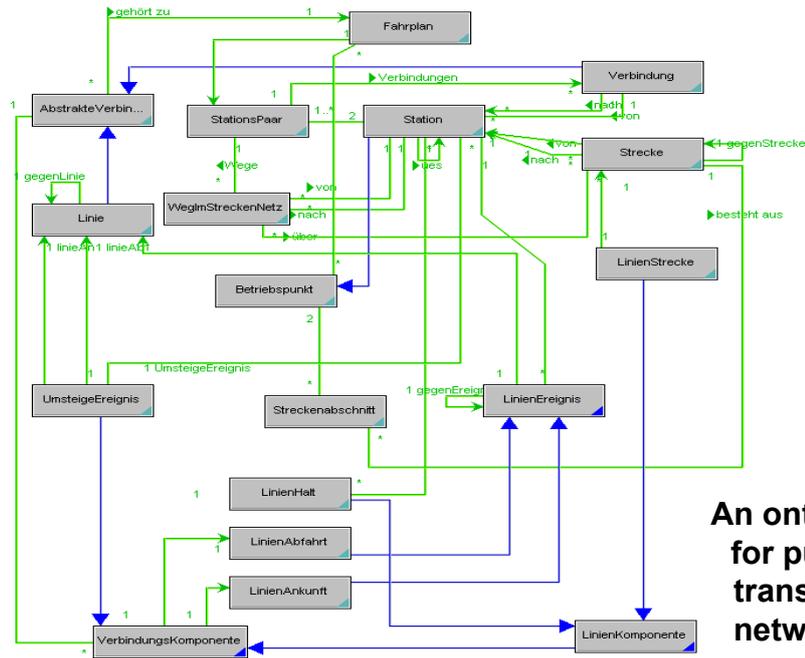
- Für die **Zielgruppe** (= Programmierer, Simulations-Ersteller) Abläufe, ihre Zusammenhänge und Kausalitäten darstellen, um richtige (=beabsichtigte) Funktionsweise zu verifizieren

37

## Ontologie

- **Ontologie** (von griech:  $\tau\omicron\ \omicron\upsilon$ ) = Lehre vom **Seienden**.
- In der Informatik (anfänglich in der KI, J. McCarthy, um 1970) bezeichnet O. die **formale Beschreibung eines Wissens- (bzw. Gegenstands)bereichs** zur gemeinsamen Nutzung von (vorwiegend automatisierten) Anwendungen
- T. Gruber: **Ontology** = "**a formal explicit specification of a shared conceptualisation**" [Gru 93].
- O. ist also ein „**Modell im Großen**“, das vielfältigen Nutzungen dient und automatisiert be-/verarbeitet werden kann.
- Eine Ontologie beschreibt einen Gegenstandsbereich mit Hilfe
  - einer standardisierten **Terminologie** (Taxonomie),
  - **Beziehungen** (zwischen den Begriffen der Taxonomie),
  - **Ableitungsregeln** (zum Verbinden der Begriffe)
- Pro Wissensbereich gibt es (mindestens!) eine Ontologie  
→ viele "**Ontologien**" (im Plural!) sind notwendig

38



An ontology for public transport networks

### Ontologie vs. Modell

<b>Modell</b>	<b>Ontologie</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• auf <i>ein</i> Projekt / <i>eine</i> Anwendung bezogen</li> <li>• (vorwiegend) für <i>menschliche</i> Leser (SW-Entwickler) bestimmt</li> <li>• in natürlicher, semi-formaler oder formaler <i>Sprache</i> beschrieben (Bsp.: E/R-Sprache, UML, Petri-Netze, Zustandsdiagramme)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>gemeinsame</i> Wissensbasis für <i>viele</i> Projekte / Anwendungen</li> <li>• (vorwiegend) für <i>automatische</i> Anwendungen (Agenten, Roboter, .. bestimmt)</li> <li>• <i>formal</i> definiert (Bsp.: Description Logic, XML, RDF, OWL)</li> </ul>

**beiden gemeinsam:**

- *konzeptuelles Abbild* (Vor- oder Nachbild) eines Gegenstandsbereichs ("Originals", vgl. Stachowiak [Sta 73])

## Literatur

ModaS 3-41

- [Bos 04] H. Bossel: Systeme, Dynamik, Simulation: Modellbildung, Analyse und Simulation komplexer Systeme. Books on Demand, Norderstedt/Germany, 2004
- [B-S 04] M. Broy, R. Steinbrüggen: Modellbildung in der Informatik. Springer 2004
- [Che 76] P.P. Chen: The entity/relationship model - Toward a unified view of data. *ACM Transact. on DB Systems Vol. 1, no. 1*, pp 9-36 (1976)
- [DIN 82] DIN 44300: Informationsverarbeitung - Begriffe. Beuth-Verlag, Berlin 1982
- [Dör 84] D. Dörner: Modellbildung und Simulation, in: E. Roth (Hg.): Sozialwissenschaftliche Methoden. Oldenbourg-Verlag 1984, S. 337-350
- [Eco 93] U. Eco: Platon im Striptease-Lokal: Parodien und Travestien, dtv 1993
- [Gru 93] T. Gruber: A translation approach to portable ontologies. *Knowledge Acquisition*, 5(2), pp. 199-220 (1993)
- [HBB+94] Hesse, W., Barkow, G., v. Braun, H., Kittlaus, H.B., Scheschonk, G.: Terminologie der Softwaretechnik - Ein Begriffssystem für die Analyse und Modellierung von Anwendungssystemen, *Informatik- Spektrum* 17.1, S. 39-47 u. 17.2, S. 96-105 (1994)
- [Hes 02] W. Hesse: Das aktuelle Schlagwort: Ontologie(n). in: *Informatik-Spektrum* 25.6, S. 477-480 (2002)
- [Hes 06] W. Hesse: Modelle - Janusköpfe der Software-Entwicklung - oder: Mit Janus von der A-zur S-Klasse. *Proc. Modellierung 2006*, pp. 99-113. Springer LNI P-82 (2006)

41

ModaS 3-42

## Literatur (Forts.)

- [Hes 08] W. Hesse: Engineers discovering the "real world" – From Model-driven to Ontology-based Software Engineering (Invited Talk). *Proc. 7th Int. Conf. on Inf. Systems UNISCON 2008*; Springer LNBIP 5, pp. 136-147 (2008)
- [Hes 14] W. Hesse: Ontologie und Weltbezug. *Informatik-Spektrum* 37.4, pp. 298-307 (2014)
- [H-M 08] W. Hesse, H.C. Mayr: Modellierung in der Softwaretechnik: eine Bestandsaufnahme *Informatik-Spektrum* 31.5, pp. 377-393 (2008)
- [K-K 14] U. Kastens, H. Kleine Büning: Modellierung – Grundlagen und formale Methoden. 3. Aufl. Hanser 2005
- [Lud 02] J. Ludewig: Modelle im Software Engineering - eine Einführung und Kritik. In: M. Glinz et. al (Hrsg.): *Proc. Modellierung 2002*. LNI P-12 Koellen-Verlag 2003
- [Pre 86] A. Prestel: Einführung in die Mathematische Logik und Modelltheorie. Vieweg, Braunschweig 1986.
- [Scn 97] H.J. Schneider (Hrsg.): *Lexikon Informatik und Datenverarbeitung, Version 4.0*, Oldenbourg 1997
- [Sta 73] H. Stachowiak: *Allgemeine Modelltheorie*. Springer, Wien 1973
- [Tab 06] P. Tabeling: *Softwaresysteme und ihre Modellierung*
- [Tro 90] K. Troitzsch: *Modellbildung und Simulation in den Sozialwissenschaften*. Westdeutscher Verlag 1990.
- [UML 06] *OMG Unified Modelling Language Specification Version 2.0*, 2006. [www.uml.org/#UML2.0](http://www.uml.org/#UML2.0)

42