

# 11. Metamodellierung

Prof. Dr. Uwe Aßmann  
Technische Universität Dresden  
Institut für Software- und  
Multimediatechnik  
<http://st.inf.tu-dresden.de>  
Version 11-1.1, 20.10.11

- 1) Metamodellierung
- 2) Metasprachen und Metamodelle
- 3) Modell- und Metamodell-Komposition
- 4) MOF und die UML-Metahierarchie
- 5) Technikräume
- 6) Megamodelle

## Obligatorische Literatur

- ▶ Ed Seidewitz. What models mean. IEEE Software, 20:26-32, September 2003.
  - [http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs\\_all.jsp?arnumber=1231147&tag=1](http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=1231147&tag=1)
- ▶ Jean Bézivin. Model Driven Engineering: An Emerging Technical Space. In R. Lämmel, J. Saraiva, and J. Visser (Eds.): GTTSE 2005, LNCS 4143, pp. 36 - 64, 2006. Springer.
- ▶ Uwe Aßmann, Steffen Zschaler, and Gerd Wagner. Ontologies, meta-models, and the model-driven paradigm. In Coral Calero, Francisco Ruiz, and Mario Piattini, editors, Ontologies for Software Engineering and Technology. Springer, 2006.
  - [http://www.springer.com/computer/swe/book/978-3-540-34517-6?cm\\_mmc=Google-\\_-Book%20Search-\\_-Springer-\\_-0](http://www.springer.com/computer/swe/book/978-3-540-34517-6?cm_mmc=Google-_-Book%20Search-_-Springer-_-0)
- ▶ Steffen Staab, Tobias Walter, Gerd Gröner, and Fernando Silva Parreiras. Model driven engineering with ontology technologies. In Uwe Aßmann, Andreas Bartho, and Christian Wende, editors, Reasoning Web, volume 6325, Lecture Notes in Computer Science, pages 62-98. Springer, 2010.
  - <http://www.uni-koblenz.de/~staab/Research/Publications/2010/reasoningweb2010.pdf>

## Andere Literatur

- ▶ Kurtev, I., Bezivin, J., Aksit, M.: Technological Spaces: An Initial Appraisal. In: International Symposium on Distributed Objects and Applications, DOA Federated Conferences, Industrial track, Irvine. (2002)
- ▶ Model-based Technology Integration with the Technical Space Concept. Jean Bezivin and Ivan Kurtev. Metainformatics Symposium, 2005.
- ▶ Gašević, Dragan, Djuric, Dragan, Devedžic, Vladan. Model Driven Engineering and Ontology Development, 2nd ed., 2009, ISBN 978-3-642-00281-6
  - [http://www.springer.com/computer/swe/book/978-3-642-00281-6?cm\\_mmc=Google-\\_-Book%20Search-\\_-Springer-\\_-0](http://www.springer.com/computer/swe/book/978-3-642-00281-6?cm_mmc=Google-_-Book%20Search-_-Springer-_-0)
- ▶ [MOF] Metaobject Facility. OMG. 1.4 and 2.0. [www.omg.org](http://www.omg.org)
- ▶ [Nill] C. Nill. Analysis and Design Modeling Using Metaphorical Modeling Entities. A Modeling Language for the Tools and Materials Approach. Diplomarbeit Technische Universität Dresden, 2006.
- ▶ [Atkinson/Kühne] Colin Atkinson and Thomas Kühne. Model-driven development: A metamodeling foundation. IEEE Software, 20(5):36-41, 2003.
- ▶ [Favre] Jean-Marie Favre. Foundations of model (driven) (reverse) engineering: Models. Technical report, ADELE Team, Laboratoire LSR-IMAG Université Joseph Fourier, Grenoble, France, 2004. vol. 1-3.
- ▶ [Kendall] D. T. Chang and E. Kendall. Metamodels for RDF Schema and OWL. Proceedings of the First International Workshop on the Model-Driven Semantic Web (MDSW 2004), Monterey, USA, September 21, 2004.

## 11.1 Metamodellierung

# Modelle in der Softwaretechnik

## Prozessmodelle

- Phasenmodelle definieren Tätigkeiten und ihre Verknüpfung beim Ablauf großer Software-Entwicklungsvorhaben.
- Vorgehensmodelle unterscheiden Tätigkeiten (Aktivitäten) und von ihnen erzeugte Ergebnisse (Dokumente, Produkte) sowie ihr Zusammenwirken.

## Domänenmodelle

beschreiben den mittels der Methoden modellierten Problembereich (Analyse) aus der realen Welt des Anwenders.

## Systemmodelle

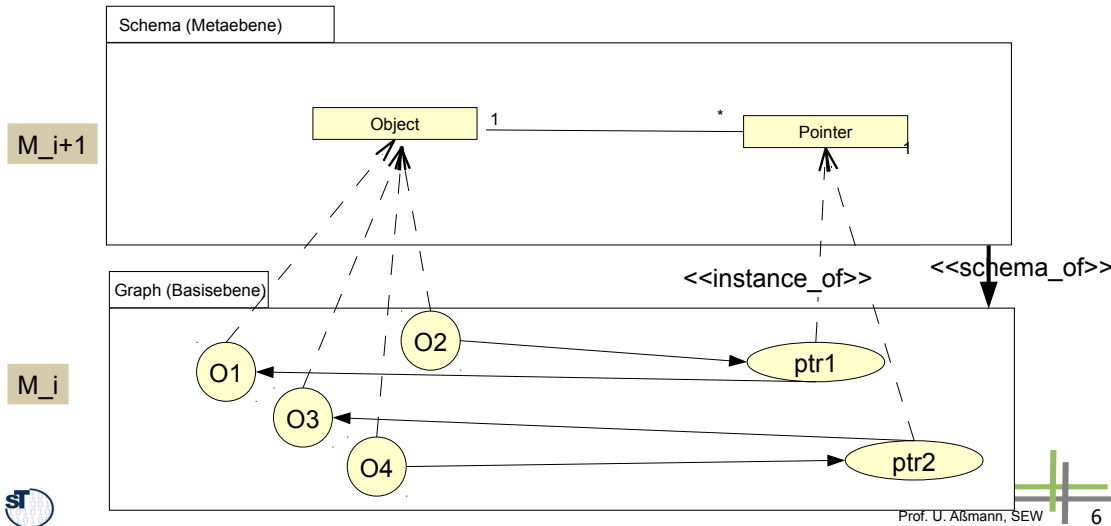
- Architekturmodelle Verteilung von Software-(Modell-)Bestandteilen nach bestimmten Anordnungen, Mustern(Pattern) bzw. Referenzmodellen (Client-Server, Web-Verteilung, ECMA-Referenzmodell, UI)
- Software-Strukturmodelle veranschaulichen den Aufbau der konkreten Software-Struktur im Lösungsbereich (Entwurf) (meist UML-CD).
- Datenmodelle illustrieren die Struktur von Daten (z.B. Relationales Modell)

## Metamodelle

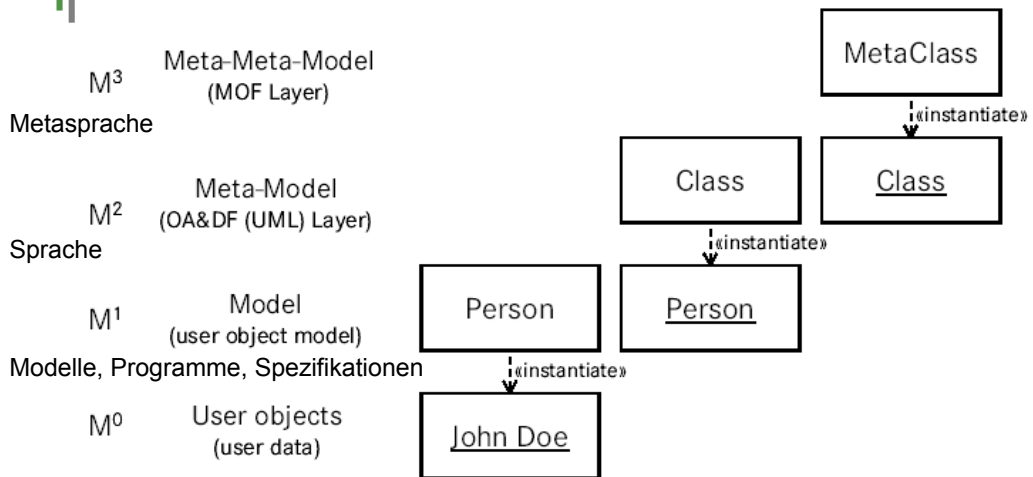
sind Modelle, deren Instanzen selbst Modelle sind. Sie beschreiben die Struktur von Prozess-, Domänen- und Systemmodellen

# Typisierte Objekte (Modelle und Metamodelle)

- Objekte können typisiert sein
- Unterscheide **Schemaebene (Meta-, Typeebene)** von **Instanzebene**



# OMG's 4-Schichten Metamodel Architektur (MOF-Metahierarchie (urspr. IRDS Metahierarchie))

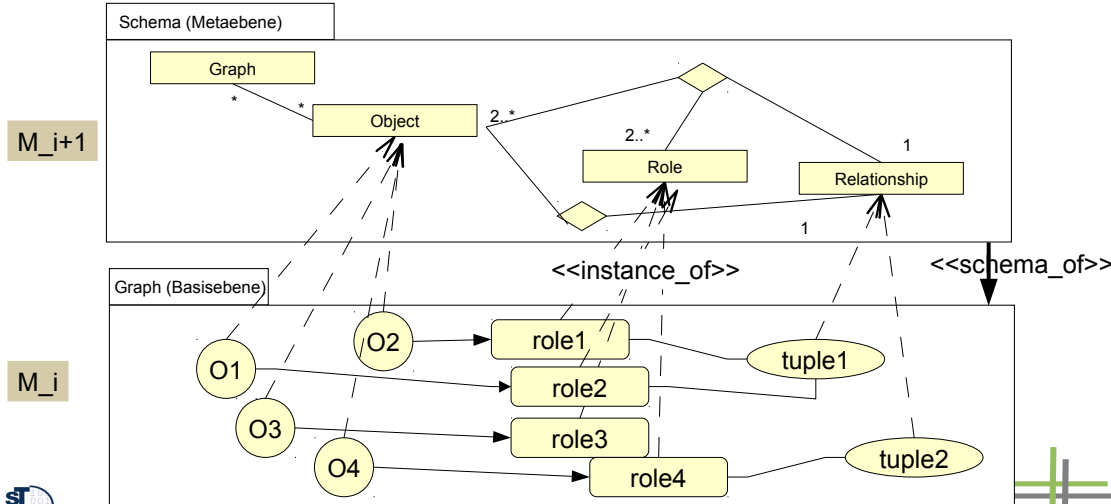


Quelle: Jeckle, M.: XML basierter Metadaten austausch; 6. Fachgruppentreffen „Objektorientierte Software-entwicklung“ der Gesellschaft für Informatik am 27.1.99 in München

R. Dolk. Model management and structured modeling: the role of an information resource dictionary system. Communications of the ACM(CACM), 31:704-718, June 1988.

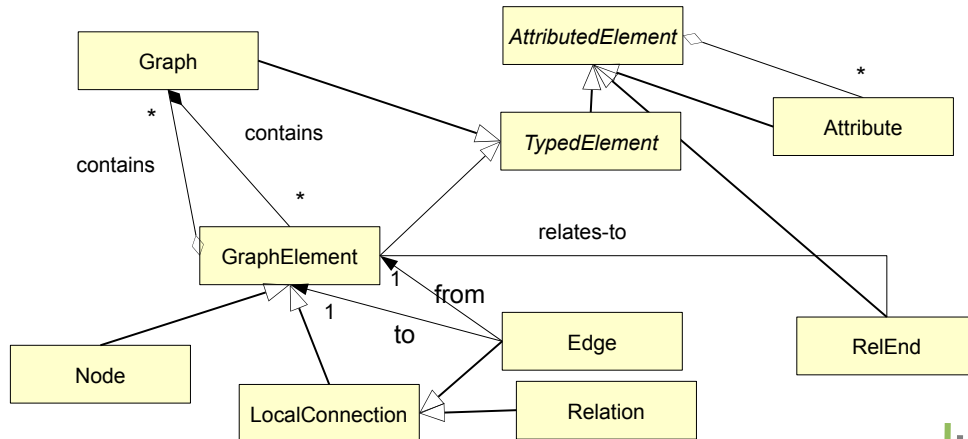
# Typisierte Graphen (Modelle und Metamodelle)

- Graphen können typisiert sein, aber die Schemata können unterschiedlich aussehen (→ Metamodellierung)
- Unterscheide **Schemaebene (Metaebene)** von **Instanzebene**



## GXL Graph eXchange Language

- ▶ GXL ist eine moderne Graph-Sprache (Graph-Austauschformat)
- ▶ Enthält Abstraktionen für Elemente von Graphen, die für generische Algorithmen genutzt werden können (flexible Navigation)

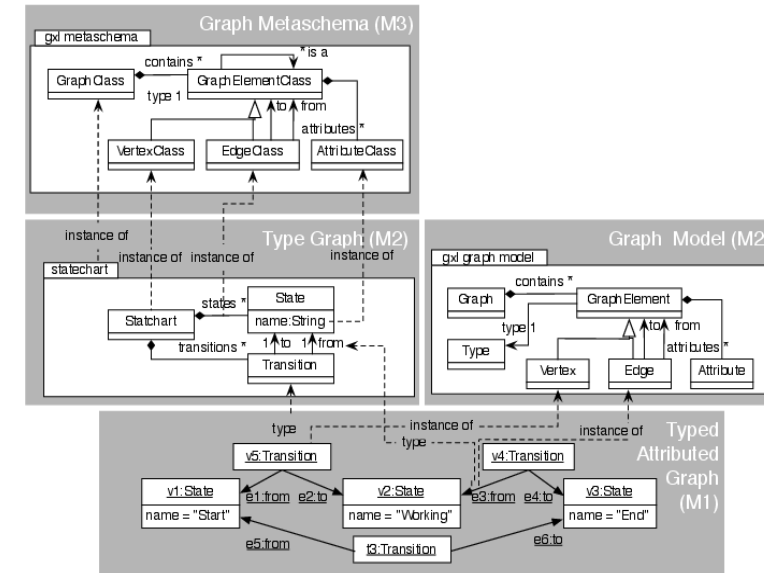


Richard C. Holt, Andy Schürr, Susan Elliott Sim, Andreas Winter. GXL: A graph-based standard exchange format for reengineering. Science of Computer Programming Volume 60, Issue 2, April 2006, Pages 149-170



## GXL-based Metamodel of Typed Attributed Graph

- ▶ GXL kann als Metasprache (Metametamodell) genutzt werden



## IRDS/MOF Metahierarchie für Data Dictionaries

Dictionary Definition Schema Schicht

M3

Metametamodell-Schicht

MOF (+OCL)

Definiert Kontrolliert

M2

Metamodell-Schicht

ERD DFD UML-CD

Dictionary Definition Schema Schicht

Definiert Kontrolliert

M1

Modell-Schicht

Archived Controlled Uncontrolled

Dictionary Schema Schicht

Definiert

M0

Daten-Schicht

reale Datenbasis (Programmobjekte, Daten der "Realen Welt")

Anwendungsschicht

## Paketierung

- ▶ Alle Schichten können in Pakete (Module) eingeteilt sein

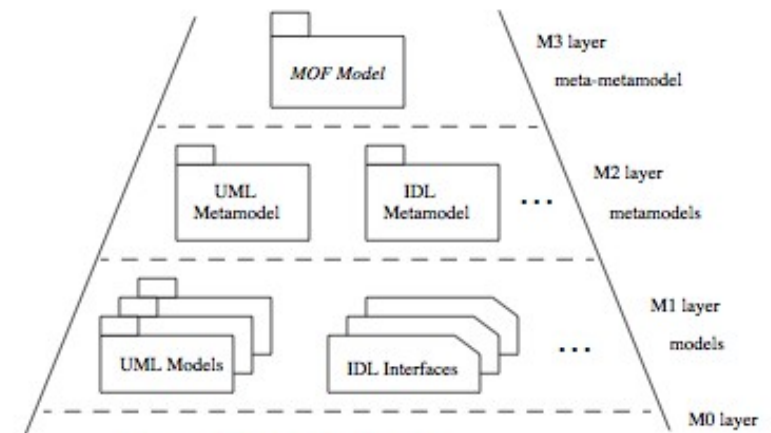


Figure 2-2 MOF Metadata Architecture

## Das Metametamodel (Metasprache, Meta language)

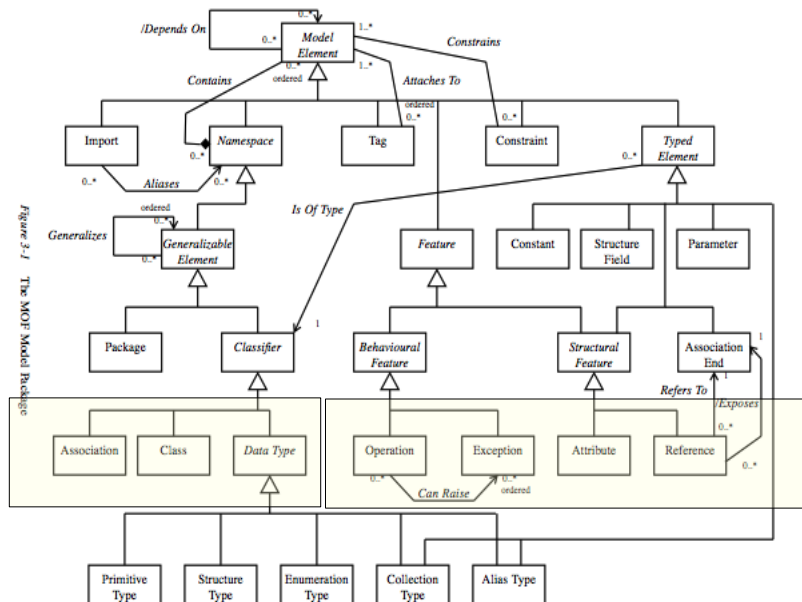
- Ein **Metametamodel** ist ein Graphschema einer Sprache
  - Es fasst die kontext-sensitive Syntax der Sprache (Konzepte (Metametaklassen), Relationen)
  - Es definiert Struktur, kein Verhalten
- Ein Metametamodel ist normalerweise schlank (minimalistisch)
- Ein einheitliches Metametamodel ist nicht in Sicht... (tower of babel)

## Tower of Babel Problem



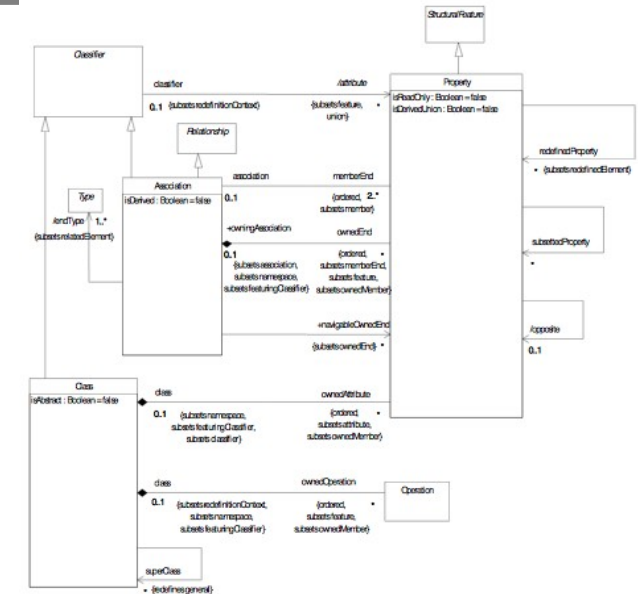
Jan-Pieter Breughel (wikipedia)

## Overview of Metalanguage MOF (CMOF: Complete MOF)

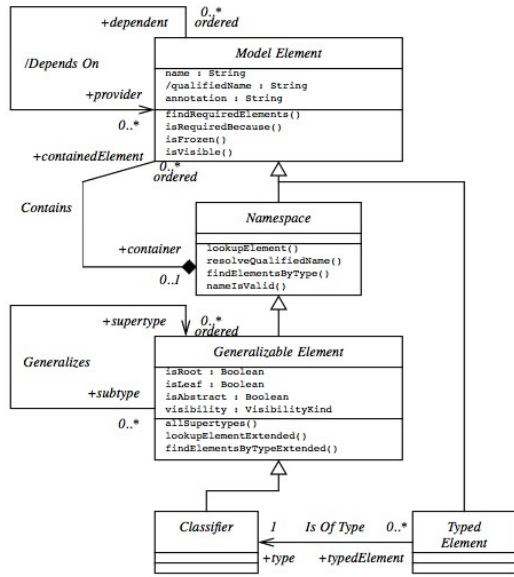


## UML Core

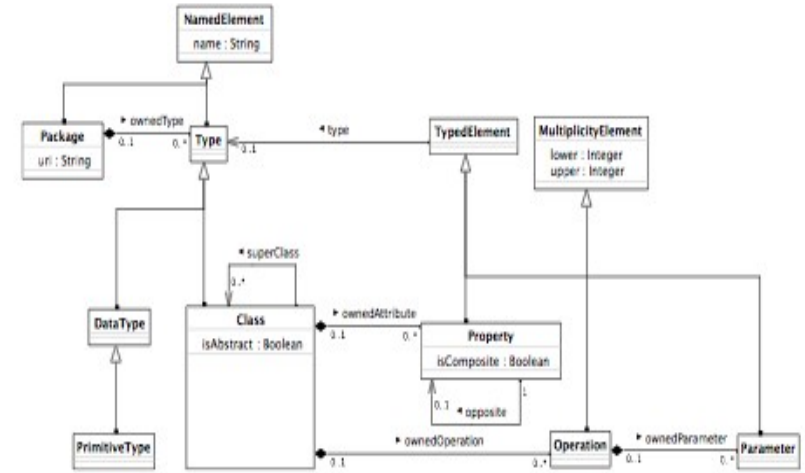
- UML core ist Teil von MOF, und auch Teil von UML-CD



# MOF Central Types

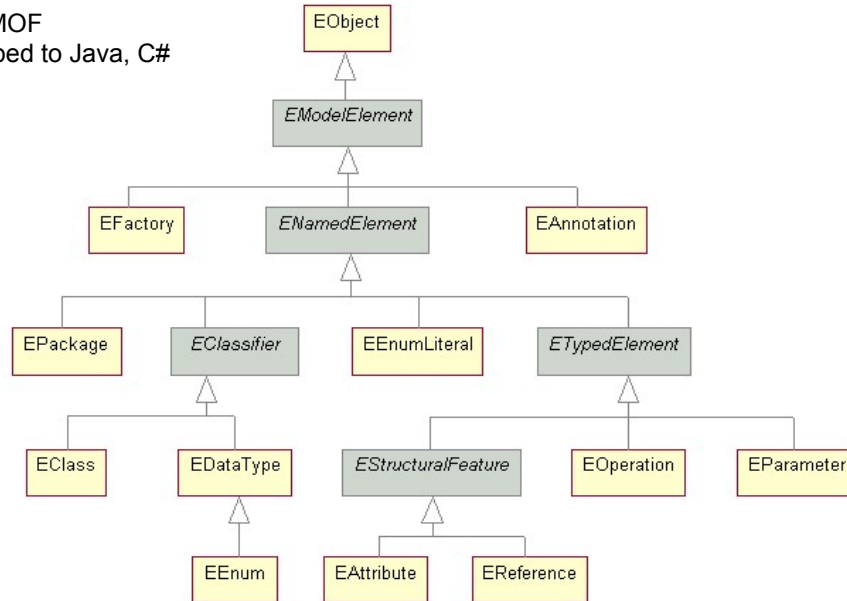


# Central MOF Metaclasses with Associations

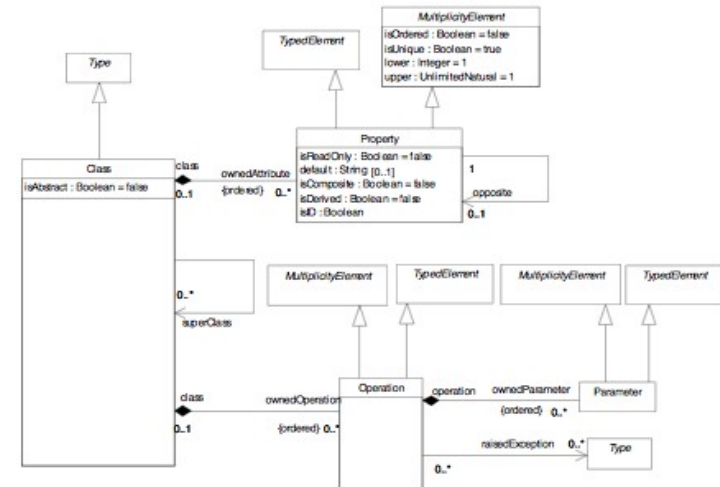


# EMOF (Essential MOF)

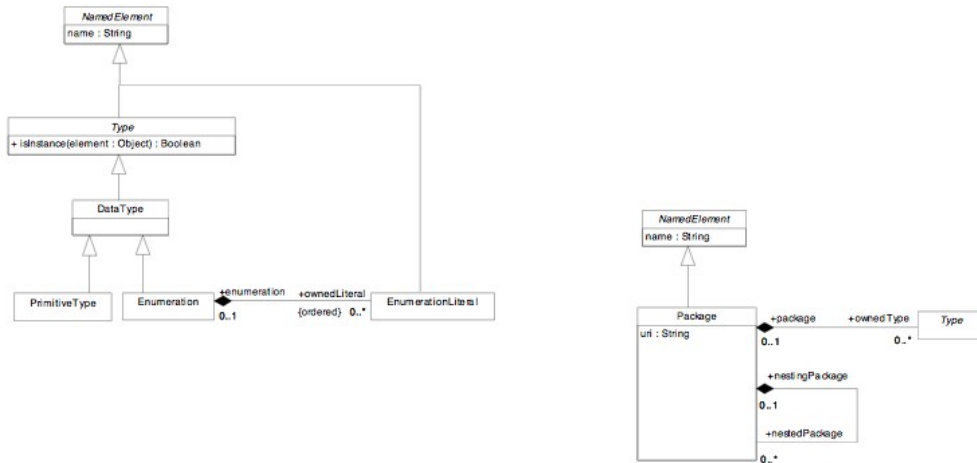
Subset of CMOF  
Can be mapped to Java, C#



# EMOF Classes in Detail



## EMOF Data Types and Packages



[MOF]

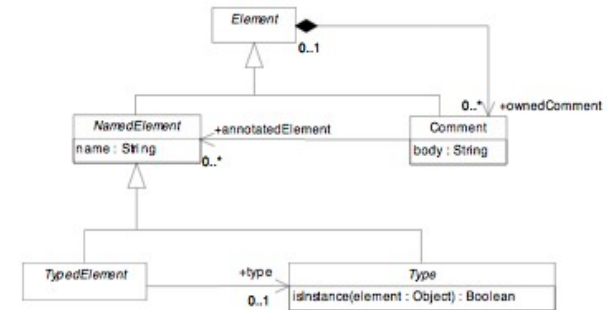
Prof. U. Aßmann, SEW

21



[MOF]

## EMOF Types

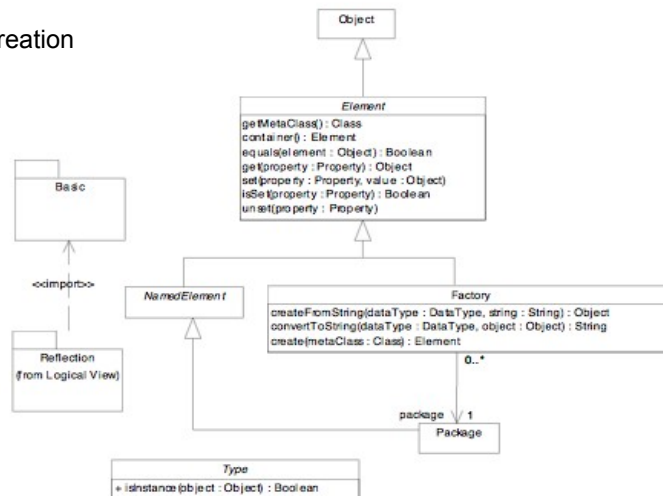


Prof. U. Aßmann, SEW

22

## EMOF Reflection

offers access to the metamodel  
(getMetaClass())  
provides a Factory, for creation  
of Class from String



[MOF]

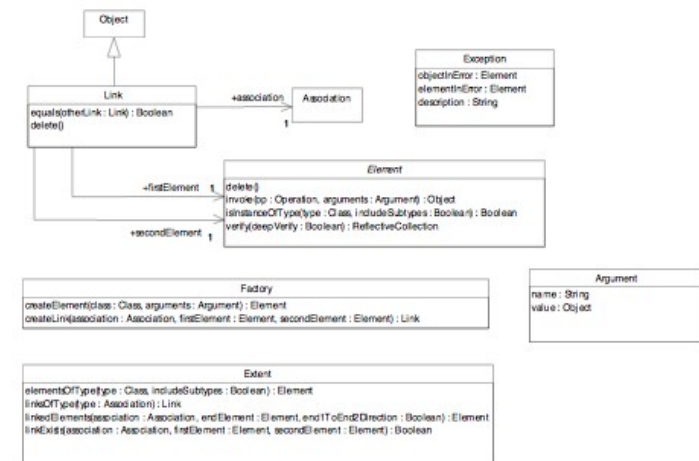
Prof. U. Aßmann, SEW

23



[MOF]

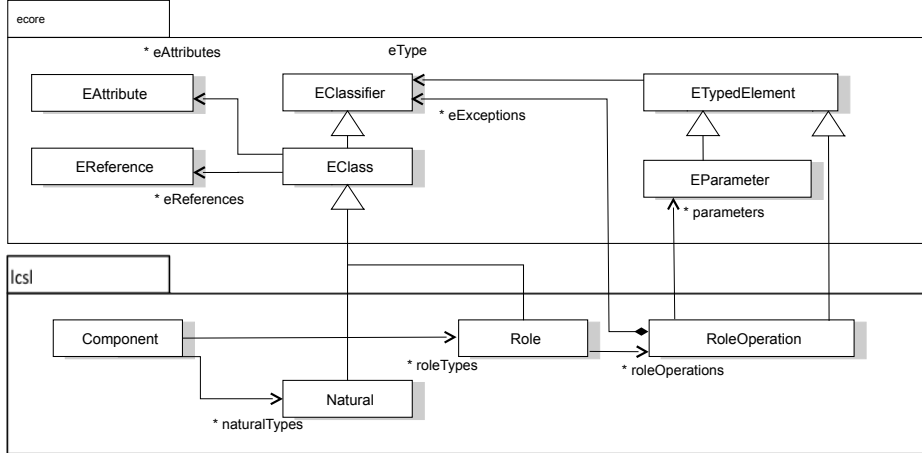
## CMOF Reflection



Prof. U. Aßmann, SEW

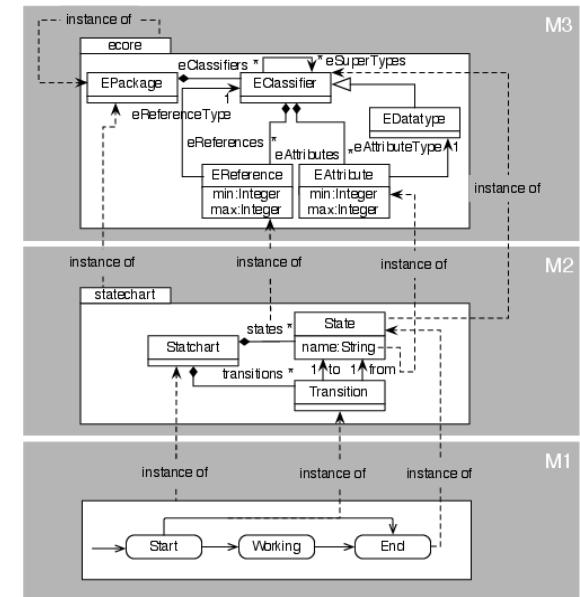
24

Icsl is a domain-specific language for component-based modeling (C. Wende)

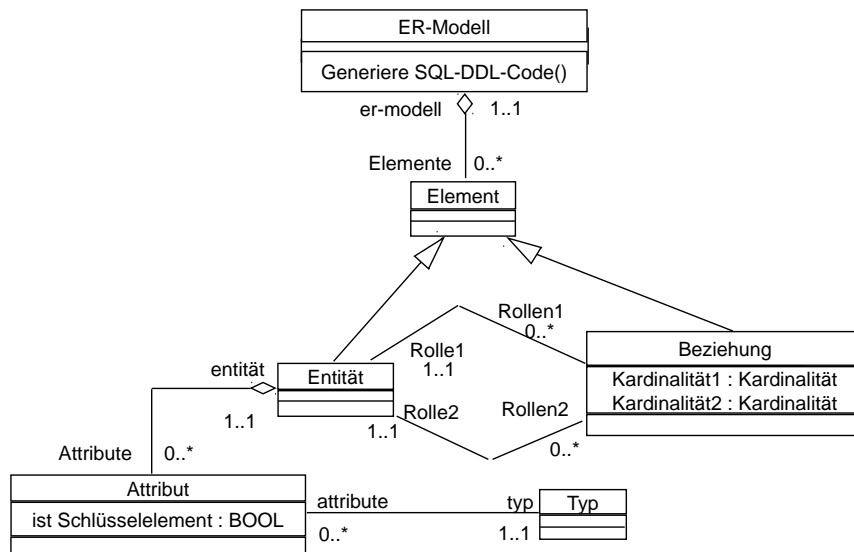


Ecore is the Eclipse implementation of EMOF, provided by the Eclipse Modeling Framework (EMF).

Here: a metamodel of statecharts (M2), a set of states and their transitions (M2), and the Ecore Metalanguage.

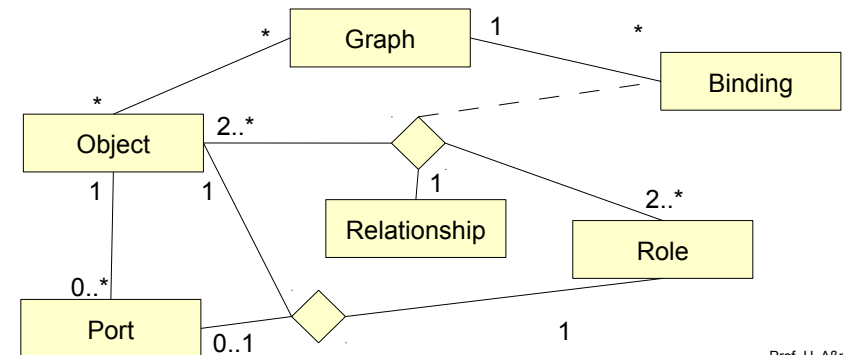


## Meta-Modell von EntityRelationship-Diagrammen (MOF ohne Vererbung)



## Graph Types in MetaEdit+

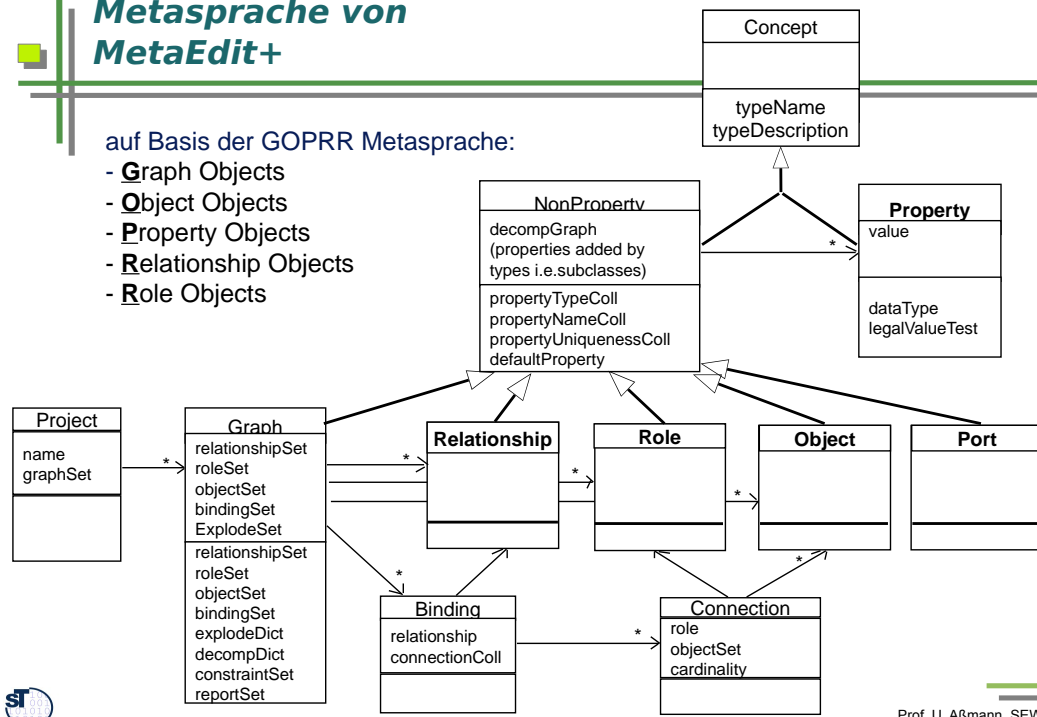
- ▶ [[www.metacase.com](http://www.metacase.com)]
- ▶ The tool MetaEdit+ uses a **graph schema (and metalanguage) GOPPR**:
  - Objects
  - Roles
  - Relationships
  - Allowed Bindings between all entities:
    - a binding consists of a relationship with roles and playing objects



## Metasprache von MetaEdit+

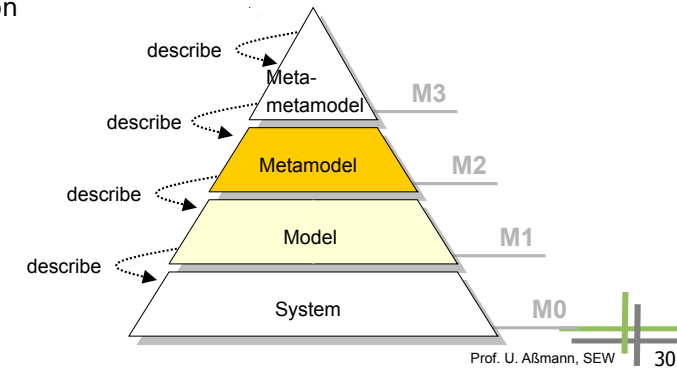
auf Basis der GOPRR Metasprache:

- Graph Objects
- Object Objects
- Property Objects
- Relationship Objects
- Role Objects

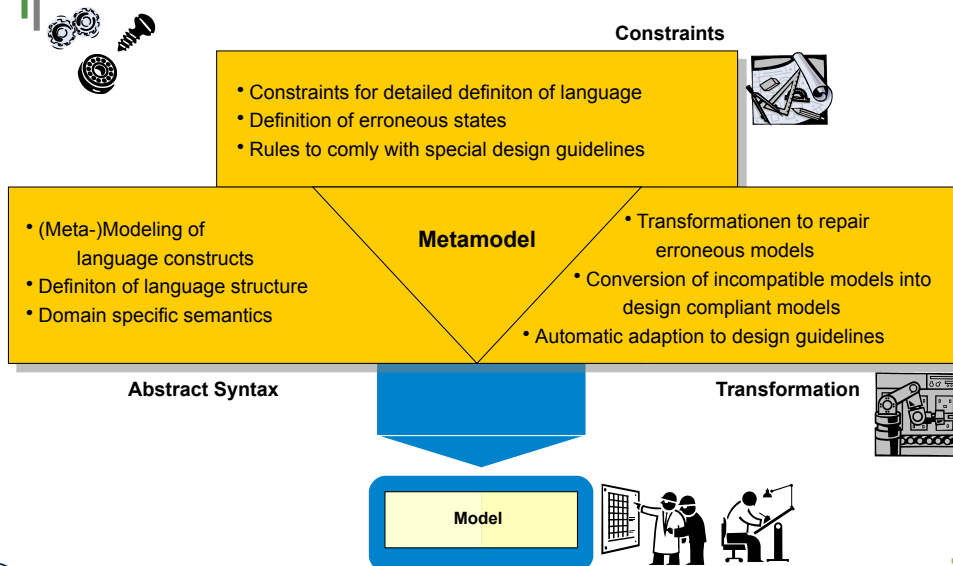


## Motivation

- ▶ Models are widely used in engineering disciplines
- ▶ Need for tool support that enables model-editing
- ▶ Domain experts want domain specific languages (DSL)
  - domain specific models
- ▶ do not build model editors from scratch each time
  - reuse functionality
  - use meta-information



## Metamodeling - Goals



## Nutzen der Metamodell-Architektur für domänenspez. Sprachen

- ▶ Mittels **Meta-Metamodellen (Metasprachen)** lassen sich definieren
  - beliebige Metamodelle konkreter Modellierungssprachen definieren.
  - Metamodelle von domänenspezifischen Sprachen (DSL)
- ▶ Auf Basis von Metaebenen können verschiedene Beschreibungssprachen ineinander **überführt** werden
  - Hierarchische Anordnung der einzelnen Modellebenen ermöglicht schrittweise Verfeinerung der semantischen Konzepte
  - Transformationsbrücken (z.B. mit EMFText, oder XMI)
- ▶ Metamodelle bieten:
  - prägnante, präzise Definition von Softwareobjekten und -dokumenten
  - Vertiefung semantischer Beziehungen und Regeln (Konsistenzprüfung)
  - automatisierte Implementation von Werkzeugen für zu unterstützende Methoden
  - Fähigkeit der Selbstbeschreibung und Überprüfbarkeit mit eigenen Mitteln



## Metamodelle für CASE

Metamodelle für CASE basieren auf textuellen oder graphischen **Beschreibungen einer Methode** oder einer **Notation**, aus deren Interpretation, Compiler und CASE-Werkzeuge **generiert, konfiguriert** oder **parametrisiert** werden können.

- Die auf Metamodellen beruhenden SEU werden oftmals auch als **Meta-CASE** bezeichnet.
  - Die Sprache, in der die Metamodelle erstellt werden, wird Metasprache genannt (Auf Ebene M3)
  - Sie beinhalten im Allgemeinen eine Technologie zum Entwickeln und zum Erzeugen von CASE.
  - unterstützen eine oder mehrere Entwicklungsmethoden
  - unterstützen automatisch (Generierung, funktionaler Aspekt) oder halbautomatisch (Modellierung, statischer Aspekt) die Entwicklung von CASE-Tools

Quellen: <http://www.uni-koblenz.de/FB4/Institutes/IST/AGEbert/MainResearch/MetaTechnology/Kogge>  
<http://www.cs.usask.ca/grads/vsk719/academic/856/project/node8.html>  
<http://www.cs.ualberta.ca/~softeng/Theses/zhu.shtml>  
<http://www.metacase.com/de/index.html>

Prof. U. Aßmann, SEW 33

## 11.3 Modell- und Metamodell-Komposition

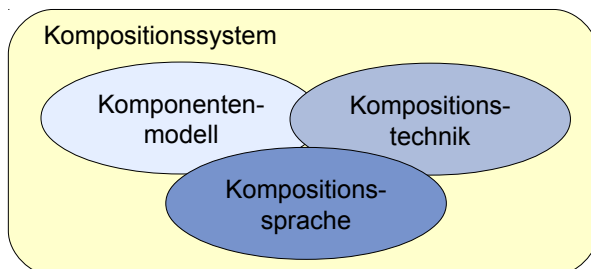
SEW, © Prof. Uwe Aßmann

34

## Einfaches Kompositionssystem für Modelle

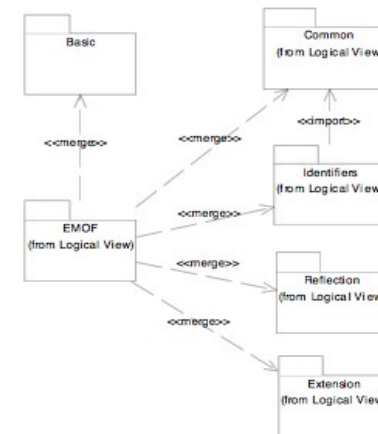
- Modelle und Metamodelle können in **Pakete** eingeteilt werden.
- Pakete sind Module, ein einfaches **Komponentenmodell** (siehe CBSE)
- Kompositionstechnik mit Kompositionsoperatoren auf Paketen (sehr einfache **Modellalgebra**):
  - use (import)
  - merge (union)
  - instance-of

→ heute werden Metamodelle aus Paketen komponiert



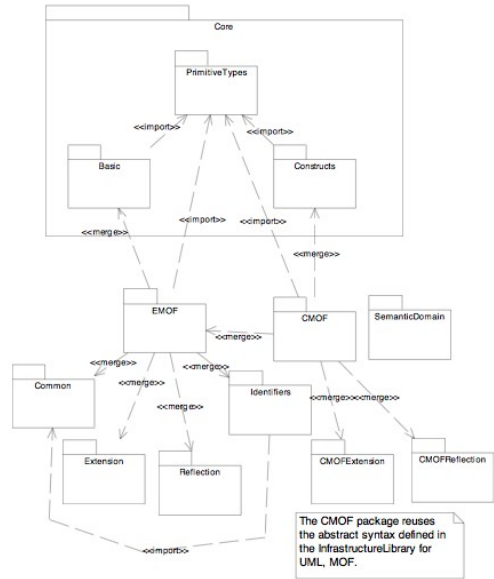
Prof. U. Aßmann, SEW 35

## EMOF Classes Composition



[MOF]

Prof. U. Aßmann, SEW 36

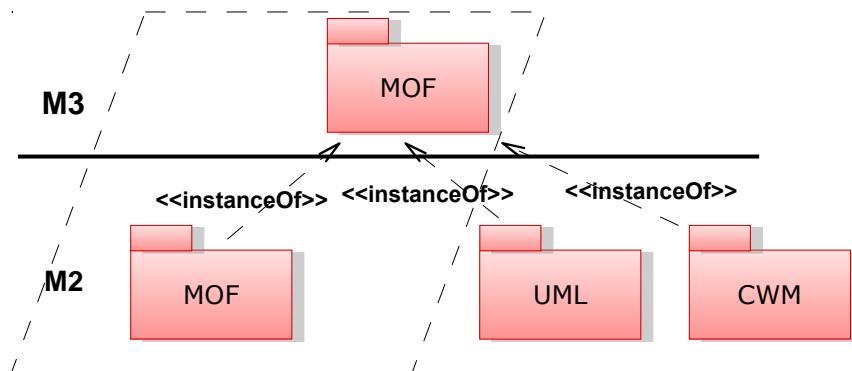


Ein Metamodell einer Datenstruktursprache aus M2 wird **angehoben (lifted, promoted)**, wenn es als Metasprache auf M3 genutzt wird

- ▶ MOF ist eigentlich eine einfache DDL (Datendefinitionssprache, Struktursprache) für Graphen
  - Man kann es auf M2 nutzen, um mit Paket-Merge neue Sprachen zu definieren, z.B. wie bei UML
  - Man kann es auf M3 nutzen, um Metamodelle als Instanzen zu bilden

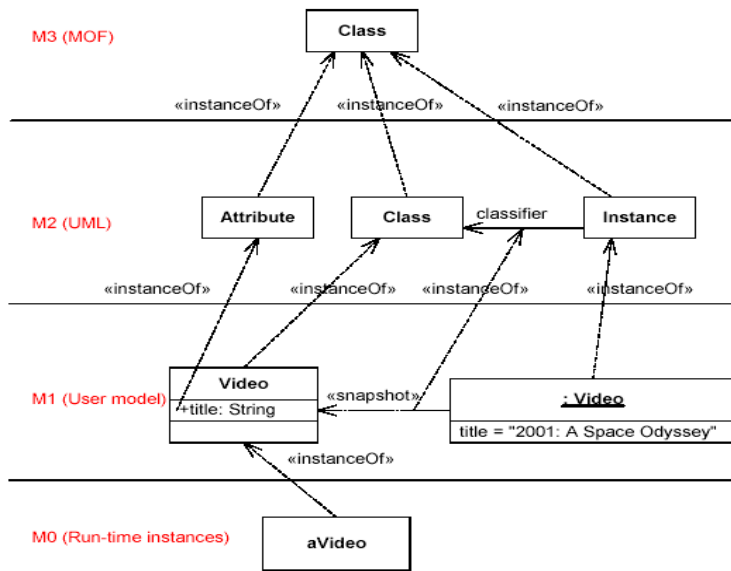
## Von MOF abgeleitete Metamodelle

- ▶ MOF ist **selbstbeschreibend**, d.h. die Struktur von MOF ist in MOF spezifiziert
- ▶ MOF ist *angehoben (lifted)*, weil auf M2 und M3 verwendbar



## 11.4 MOF und die UML-Metahierarchie

# MOF-Metamodell-Hierarchie für UML



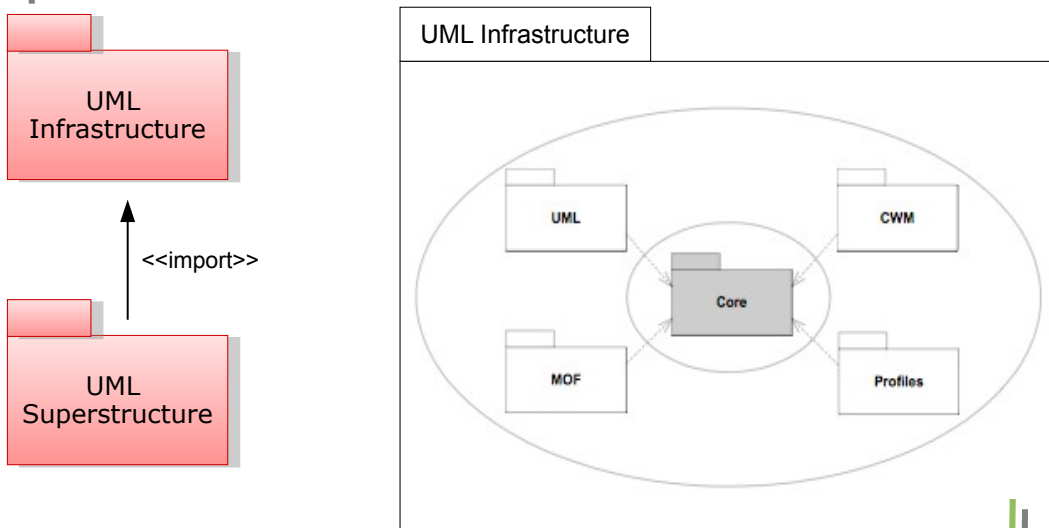
Quelle: UML 2.0 Infrastructure Specification; OMG Adopted Specification ptc/03-09-15

# Bedeutung der UML-Metamodellierung für CASE

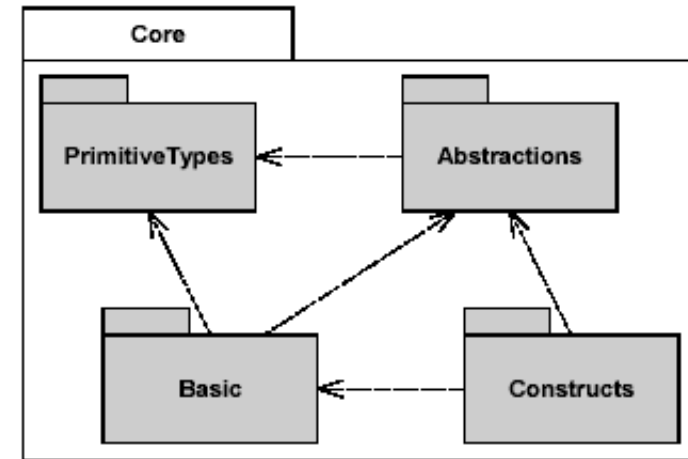
Das UML-Metamodell ist ein logisches (kein physikalisches oder Implementations-) Metamodell, mit

- ▶ aufgebaut aus **Paketen**, die komponiert werden können
- ▶ aufgebaut auf die **CMOF**-Paketstruktur
- ▶ einheitliche **Struktur** (kontextsensitive Semantik) für alle darzustellenden Diagramminstanzen, wie Statecharts (SC), Message Sequence Charts (MSC), etc.
- ▶ **Schema für Repositories** zur einheitlichen Datenbeschreibung
- ▶ **Austauschformat XMI** für CASE-Werkzeugdaten
- ▶ Nutzung für Non-Standard-Applikationen möglich, wie multimediale und Echtzeit-Applikationen

# Struktur von UML auf M2



# Core Package des UML-Metamodells (M2)



**Basic:** Grundkonstrukte für XMI

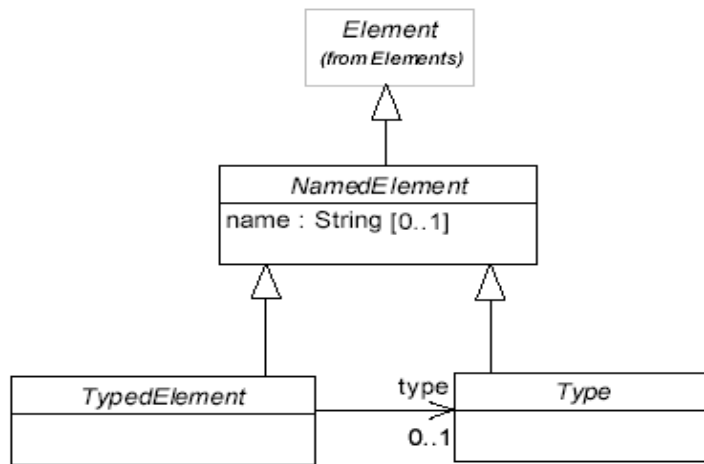
**Constructs:** Metaklassen für ooModellierung

**Abstractions:** abstrakte Metaklassen

**Primitive Types:** vordefiniert im Metamodell

Quelle: UML 2.0 Infrastructure Specification; OMG Adopted Specification ptc/03-09-15

## Package Basic: Types from CMOF



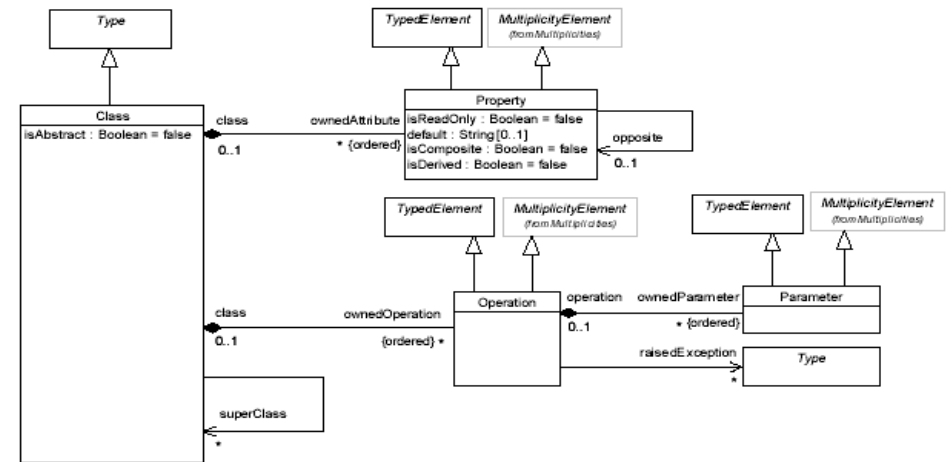
Die abstrakten Metaklassen dienen zum Benennen und zur Typdefinition von Elementen

Quelle: UML 2.0 Infrastructure Specification; OMG Adopted Specification ptc/03-09-15

Prof. U. Aßmann, SEW 45

## Package Basic: Classes

Definieren einer Klasse als Typ und Festlegung der weiteren Elemente zur klassenbasierten Modellierung

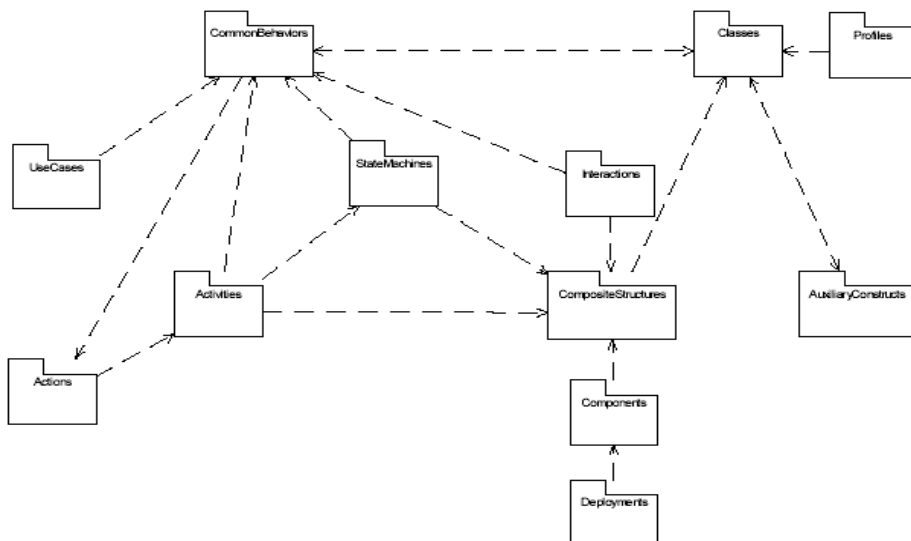


Quelle: UML 2.0 Infrastructure Specification; OMG Adopted Specification ptc/03-09-15

Prof. U. Aßmann, SEW 46

## Package Composition UML 2.0 (M2)

Enthält alle Pakete zur systemstrukturierten und verhaltensorientierten Modellierung



Quelle: UML 2.0 Infrastructure Specification; OMG Adopted Specification ptc/03-09-15

Prof. U. Aßmann, SEW 47

## 11.5 Technikräume

..and technological spaces

SEW, © Prof. Uwe Aßmann

48

## Technikraum

Ein **Technikraum** (technical space) ist eine Plattform (Raum) zum Management von Modellen, durch eine Metasprache (auf M3) geprägt

- Ein Technikraum stellt Daten (auf M0), Code und Modelle (auf M1) sowie Sprachen (auf M2) zur Verfügung
  - Code und Modelle können mit den Operatoren einer **Modell-Algebra** manipuliert werden
  - Diese Operatoren bilden elementare Werkzeuge und können in komplexe Werkzeuge eingebettet werden
- SEU und MetaCASE unterstützen nur einen Technikraum
- Achtung, ein Technologieraum kann mehrere Technikräume enthalten:
  - Compiler community: Grammarware, Tree-Ware, Graph-Ware

Werkzeuge nur dann kombinierbar, wenn sie im gleichen Technikraum leben

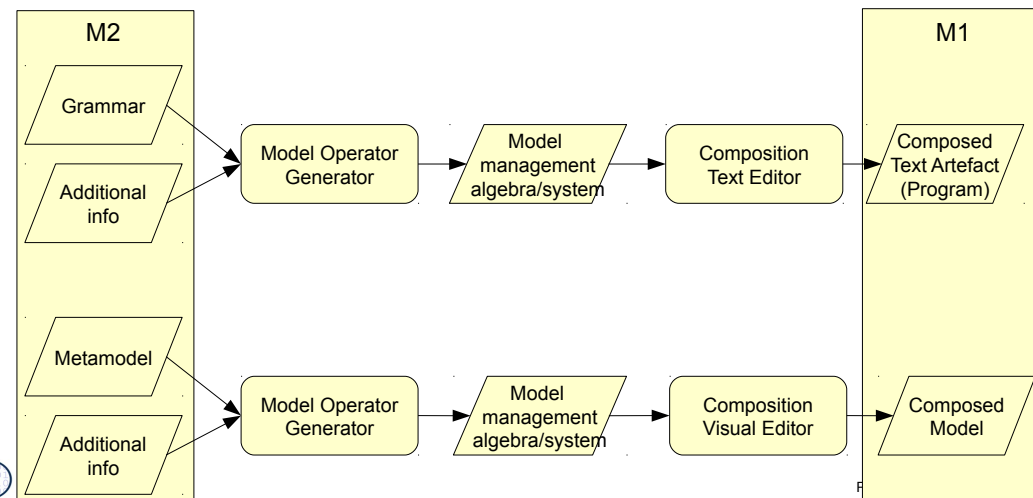
- A **technological space** is a working context with a set of associated concepts, body of knowledge, tools, required skills, and possibilities.
  - It is often associated to a given user community with shared know-how, educational support, common literature and even workshop and conference regular meetings.
  - Ex. compiler community, database community, semantic web community
  - [Technological Spaces: an Initial Appraisal. Ivan Kurtev, Jean Bézivin, Mehmet Aksit. CoopIS, DOA'2002 Federated Conferences, Industrial Track. (2002) <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.109.332&rep=rep1&type=pdf>]
- A **technical space** is a model management framework accompanied by a set of tools that operate on the models definable within the framework.
  - [Model-based Technology Integration with the Technical Space Concept. Jean Bezivin and Ivan Kurtev. Metainformatics Symposium, 2005.] <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.106.1366&rep=rep1&type=pdf>]

## Technikräume über der Metahierarchie

	Gramm arware (Strings )		Table ware		Treeware (Bäume)		Graphw are/Mo delware				Ontology- ware
	Strings	Text	Text- Tabell e	Relationa le Algebra	XML	NF2	MOF	Eclipse	CDIF	MetaEdit +	OWL-Ware
M3	EBNF	EBNF		CWM (common warehous e model)	XSD	NF2- Sprac he	MOF	Ecore	ERD	GOPPR	RDFS OWL
M2	Grammati k einer Sprache	Grammat ik mit Zeilentre nnern	csv- header	Relationa les Schem a	XML Schem a- beschreib ung, z.B. xhtml	NF2- Sche ma	UML- CD, -SC, OCL	UML, many others	CDIF- Sprac he n	UML, many others	HTML XML MOF UML DSL
M1	String, Program m	Text in Zeilen	csv Datei	Relatione n	XML- Dokumente	NF2- Baum relatio n	Klassen, Program me	Klassen, Program me	CDIF- Modelle	Klassen, Program me	Fakten (T- Box)
M0	Objekte				dynamische Semantik im Browser		Objektnet ze				A-Box (RDF- Graphen)

## Modelmanagement im Technikraum

- Eine **Modelmanagement-Umgebung** verwaltet Modelle eines Technologieraums mit einer einheitlichen einsortigen Modell-Algebra
  - Operatoren und Werkzeuge auf M1 können aus M2 generiert werden



## Abbildung von MOF-basierten Metamodellen auf andere Technikräume

MOF Mappings relate an M2-level metamodel specification to other M2 and M1-level artifacts, as depicted in Figure 2-6.

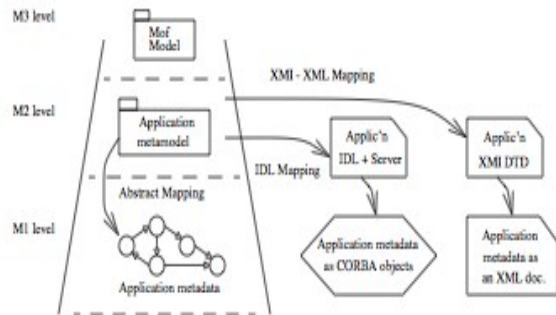
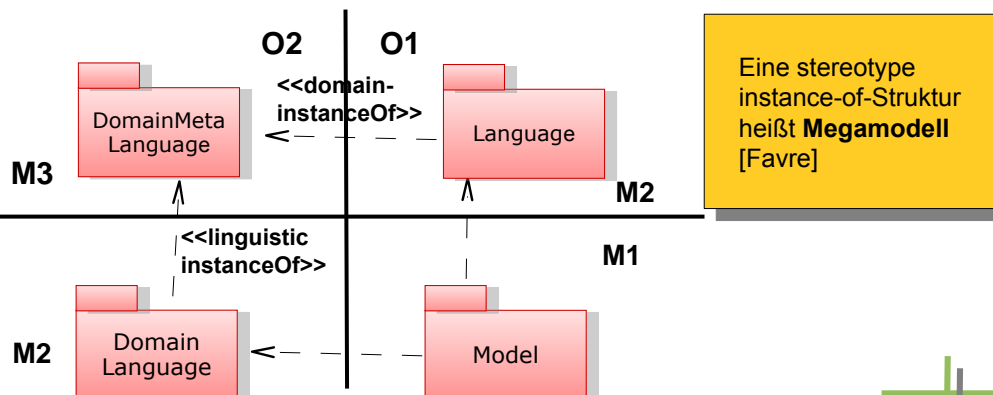


Figure 2-6 The function of MOF Technology Mappings

## 11.6 Megamodelle

## 2-D Metamodellierung

- Die Metahierarchie ist nicht die einzige Meta-Struktur.
- Man kann instance-of auch 2-dimensional anordnen. Dann ist jedes Modellelement instanz dreier Metaklassen, von der Sprache, der domänenspez. Sprache und der domänenspez. Metasprache
- [Atkinson/Kühne]



The End