

11. Metamodellierung und Technikräume

1

Prof. Dr. Uwe Aßmann
Technische Universität Dresden
Institut für Software- und
Multimediatechnik
<http://st.inf.tu-dresden.de>
Version 12-0.1, 06.10.12

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

- ▶ Ed Seidewitz. What models mean. IEEE Software, 20:26-32, September 2003.
 - 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
- ▶ 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>

- ▶ 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
- ▶ [MOF] Metaobject Facility. OMG. 1.4 and 2.0. 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



4

▶ **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**

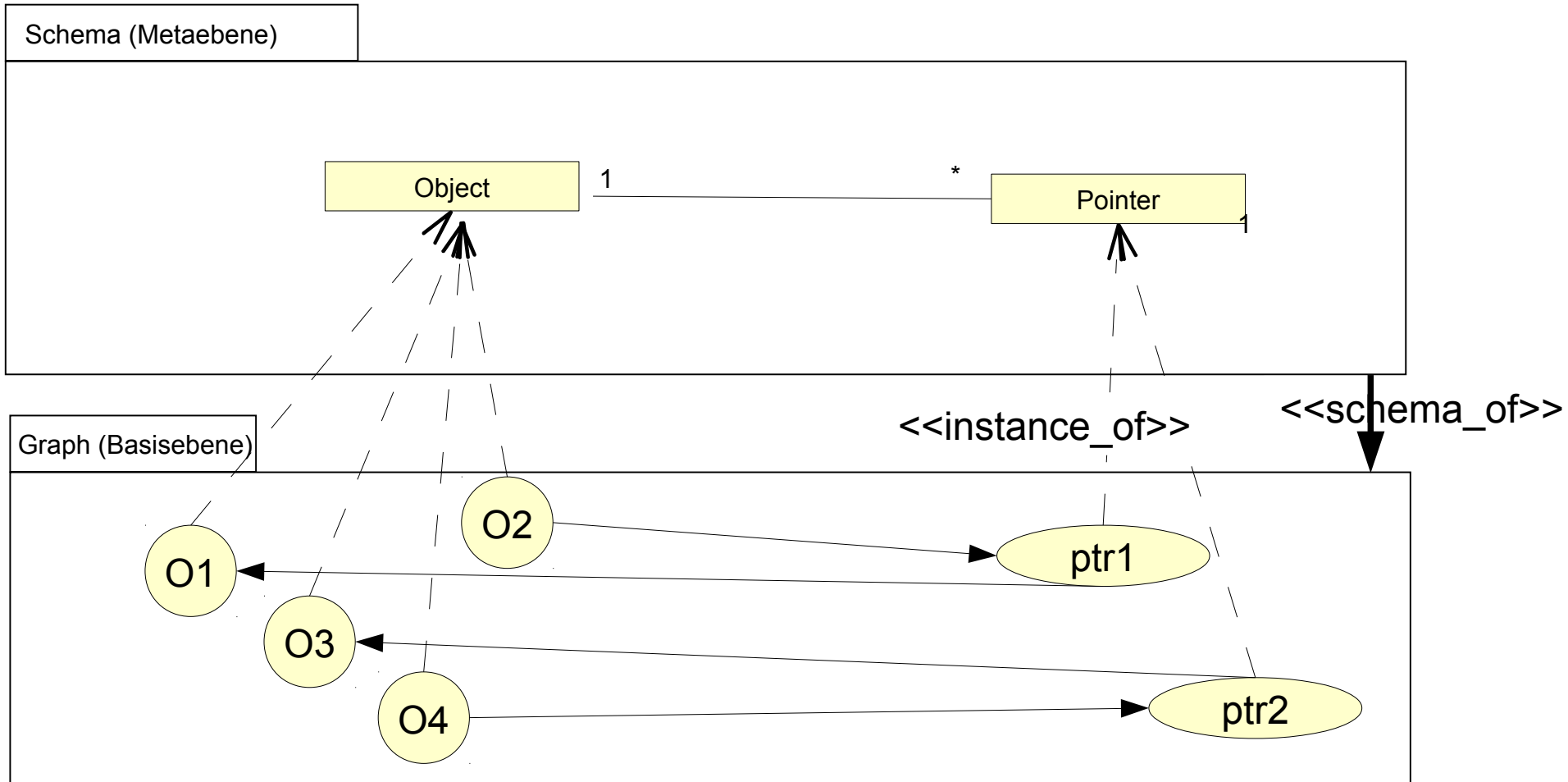
- **Architekturmodelle** Verteilung von Software-(Modell-)Bestandteilen nach bestimmten Anordnungen, Mustern(Pattern) bzw. Referenzmodellen (Client-Server, Web-Verteilung, ECMA-Referenzmodell, UI)
- **Software-Strukturmodelle** veranschaulichen den Aufbau der konkreten Software-Struktur im Lösungsbereich (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)

6

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



M_{i+1}

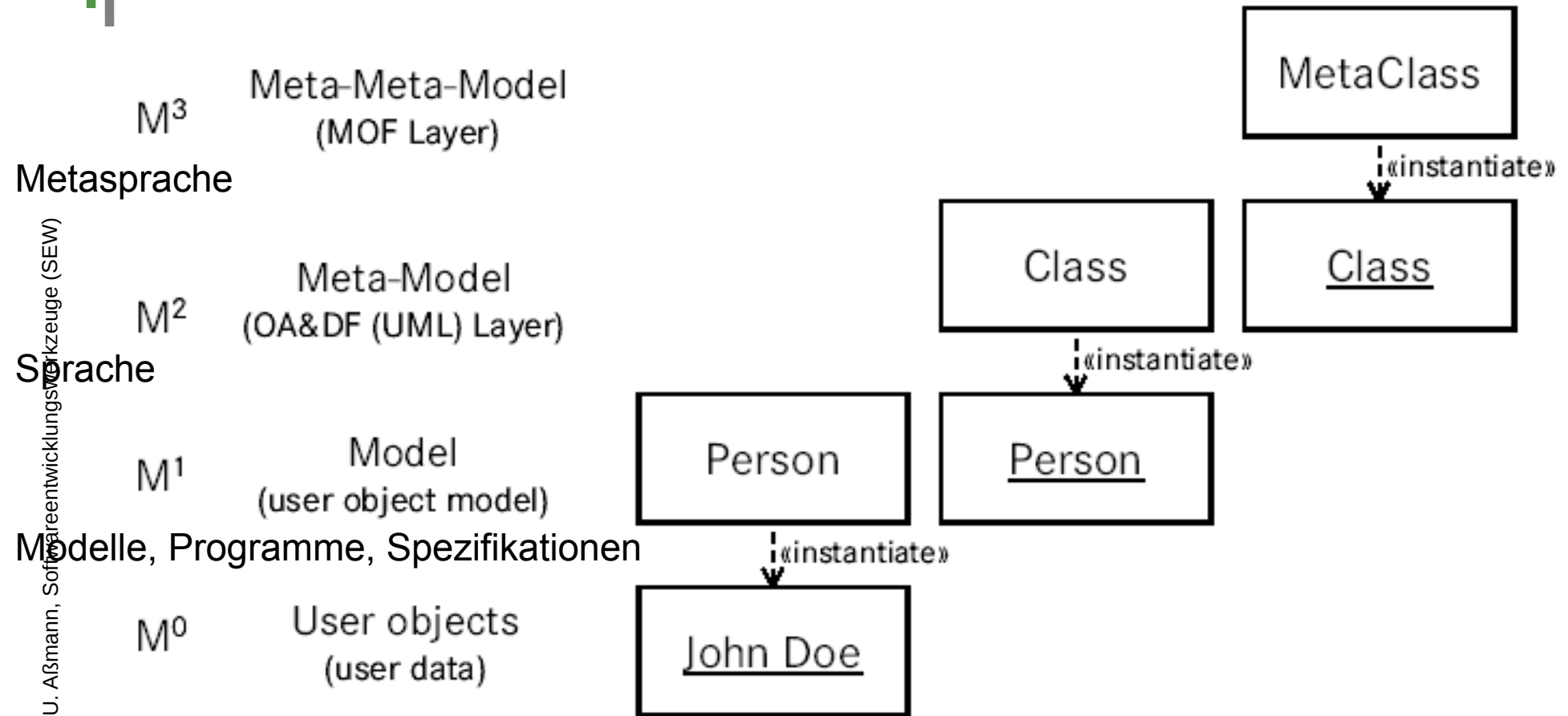
M_i

Prof. U. Ann, Softwareentwicklungswerkz (SEW)



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

7



Prof. U. Altmann, Softwareentwicklungswerkzeuge (SEW)

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

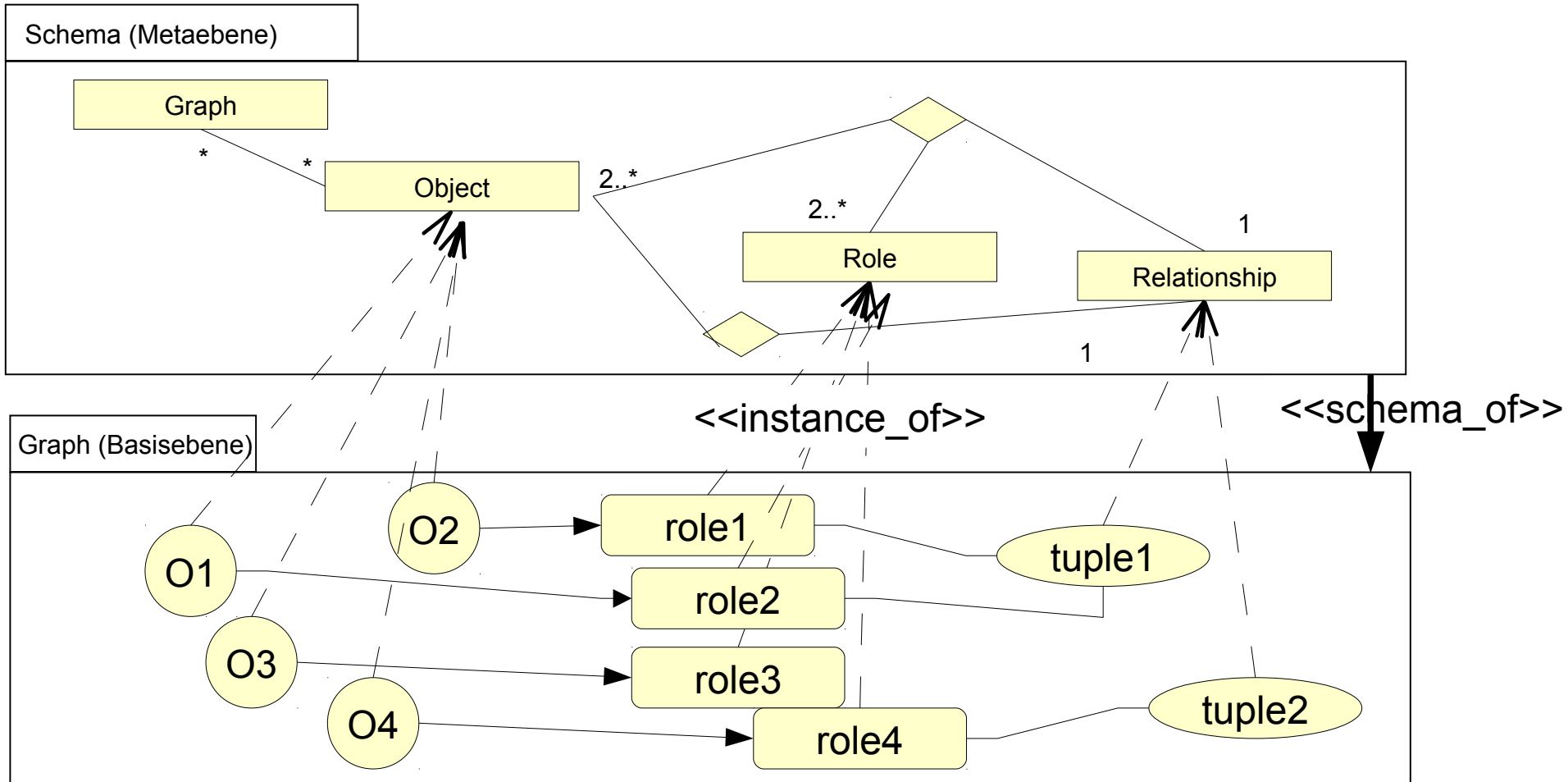
R. Dolk. Model management and structured modeling: the role of an information resource dictionary system. Communications of the ACM(CACM), 31:704-718, June 1988.



Typisierte Graphen (Modelle und Metamodelle)

8

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



M_{i+1}

M_i

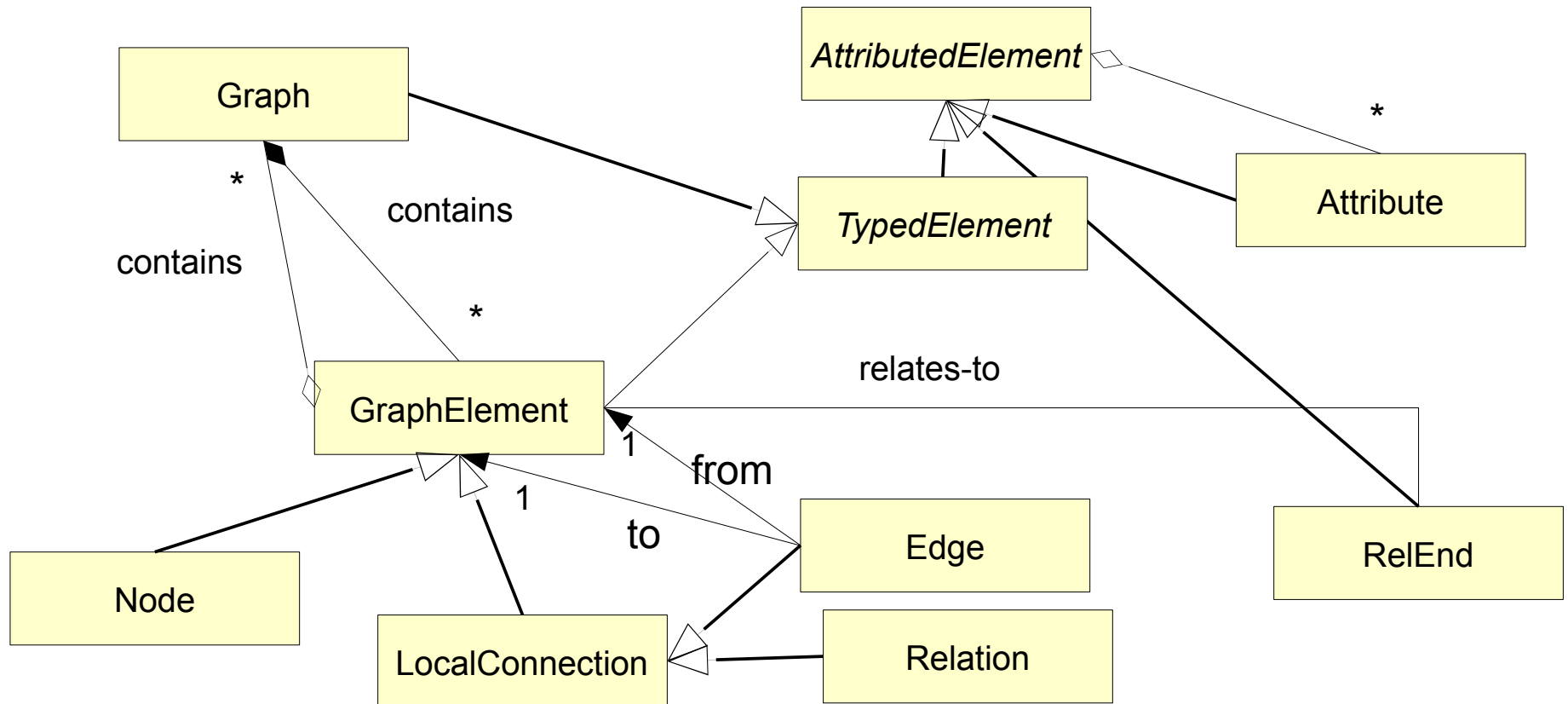
Prof. U. Ann, Softwareentwicklungswerkz (SEW)



GXL Graph eXchange Language

9

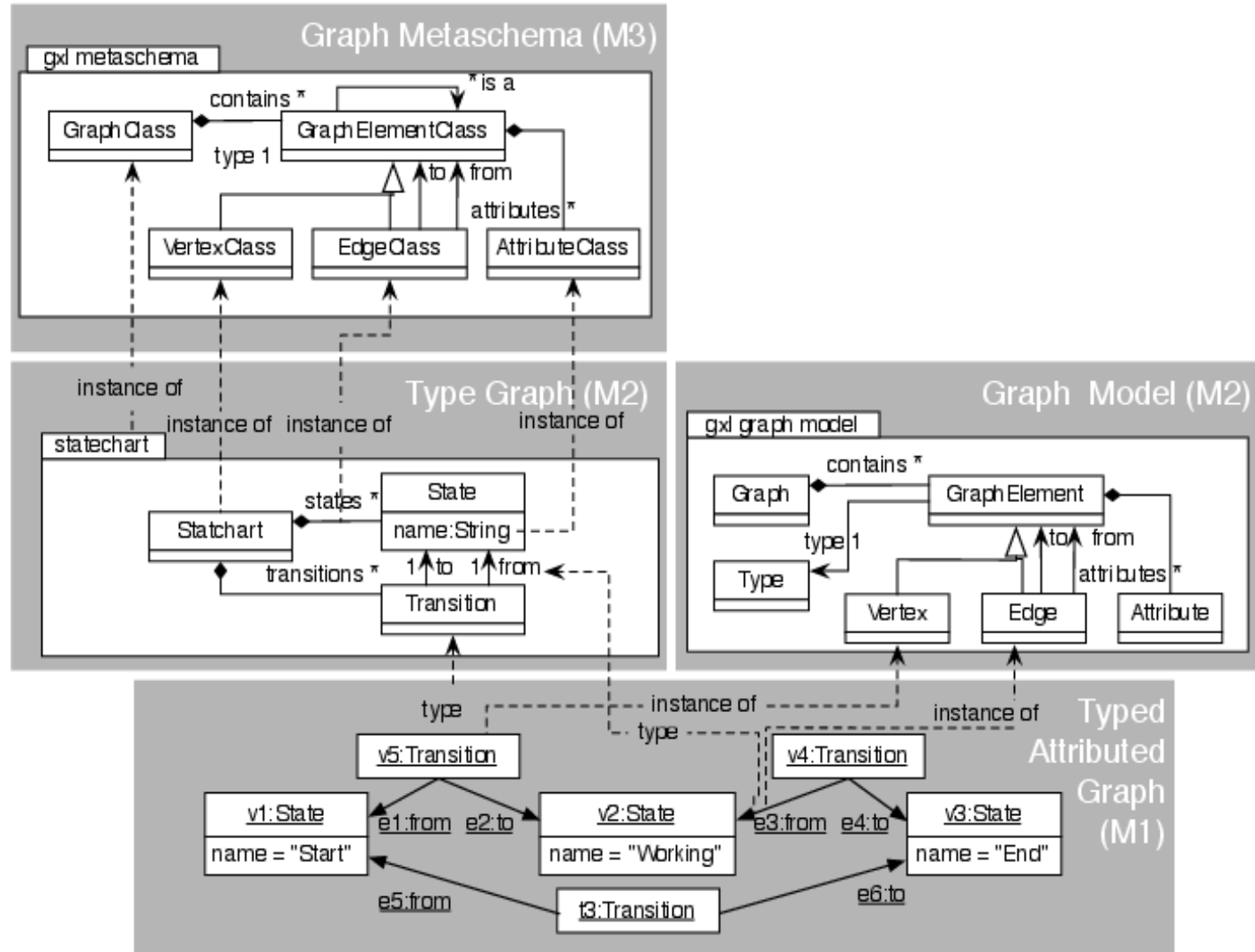
- ▶ GXL ist eine moderne Graph-Sprache (Graph-Austauschformat)
- ▶ Enthält Abstraktionen für Elemente von Graphen, die für generische Algorithmen genutzt werden können (flexible Navigation)



GXL-based Metamodel of Typed Attributed Graph

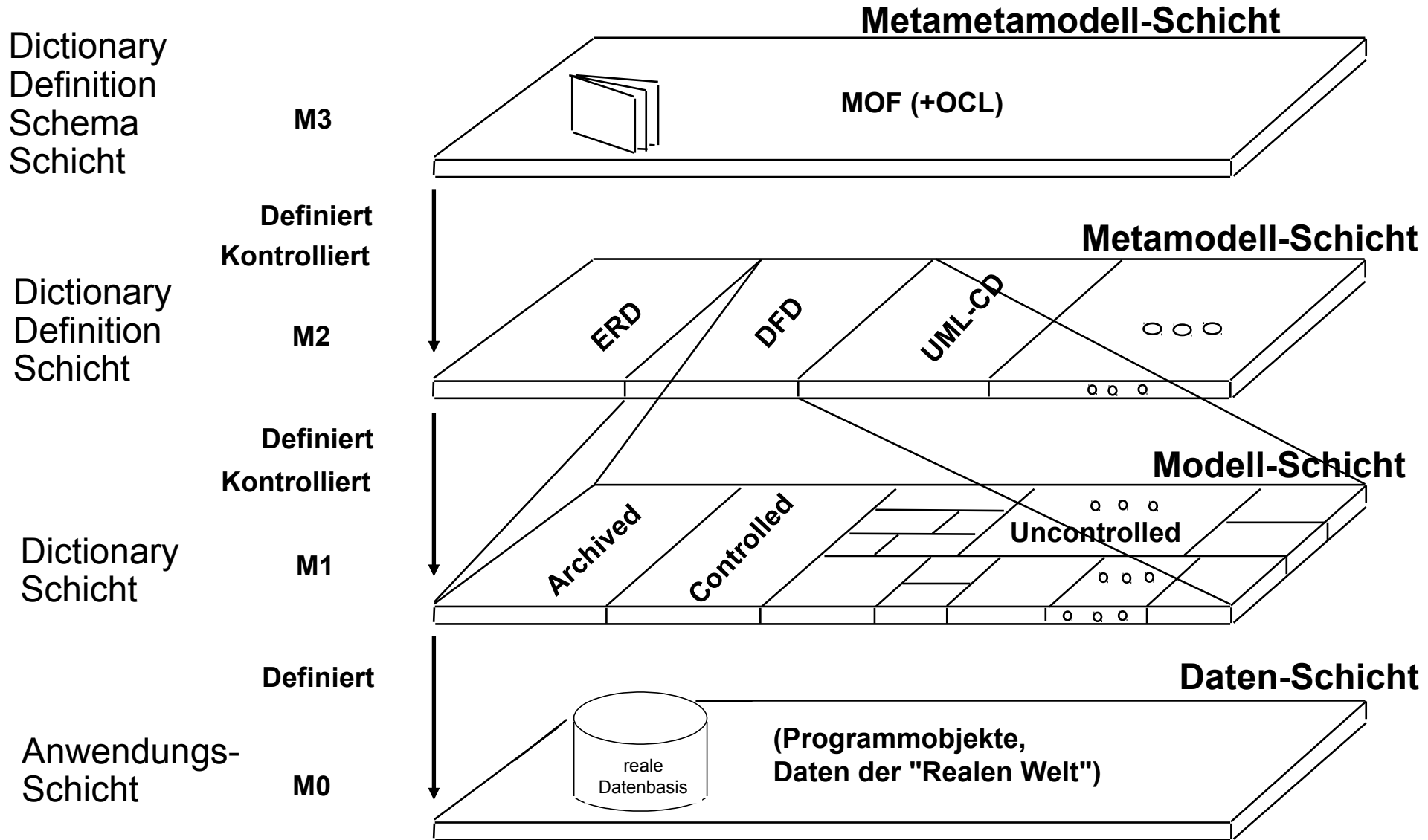
10

- ▶ GXL kann als Metasprache (Metametamodell) genutzt werden



IRDS/MOF Metahierarchie für Data Dictionaries

11



Paketierung

12

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

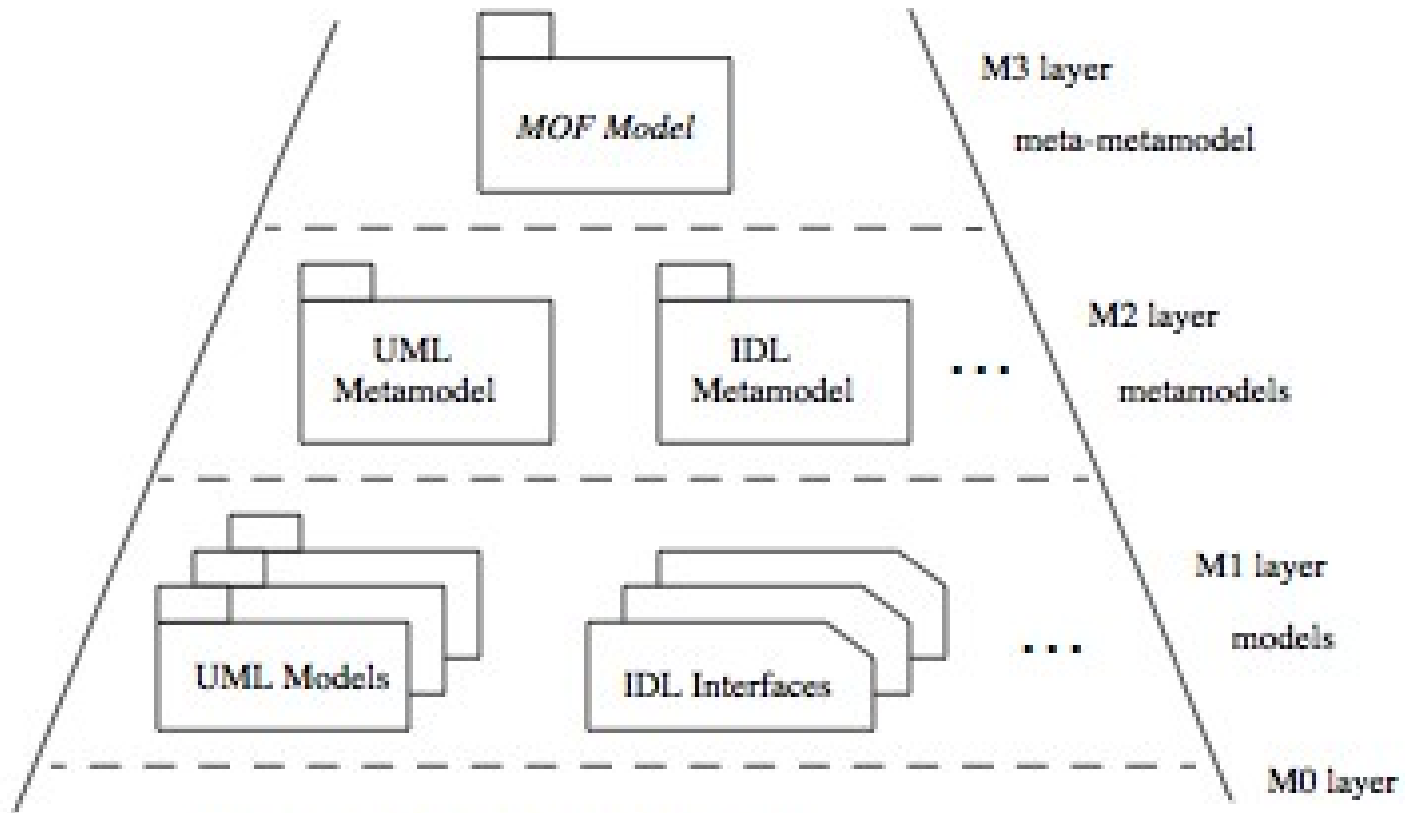


Figure 2-2 MOF Metadata Architecture

[MOF]

Das Metametamodel (Metasprache, Meta language)

13

- ▶ 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

14



Prof. U. Alsmann
Softwareentwicklungswerkzeuge (SEW)
Jan-Pieter
Breughel
(wikipedia)



Overview of Metalanguage MOF (CMOF: Complete MOF)

15

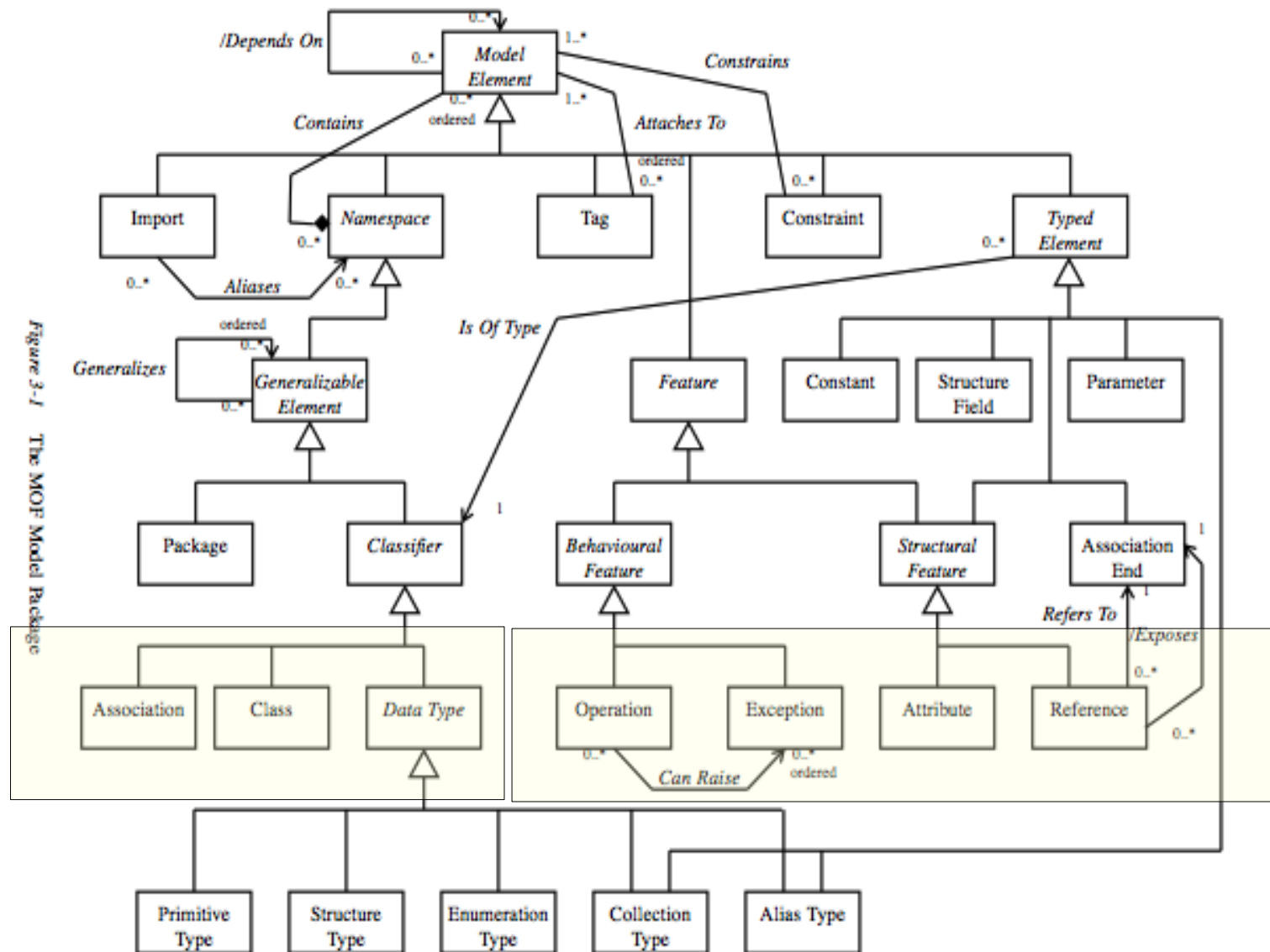
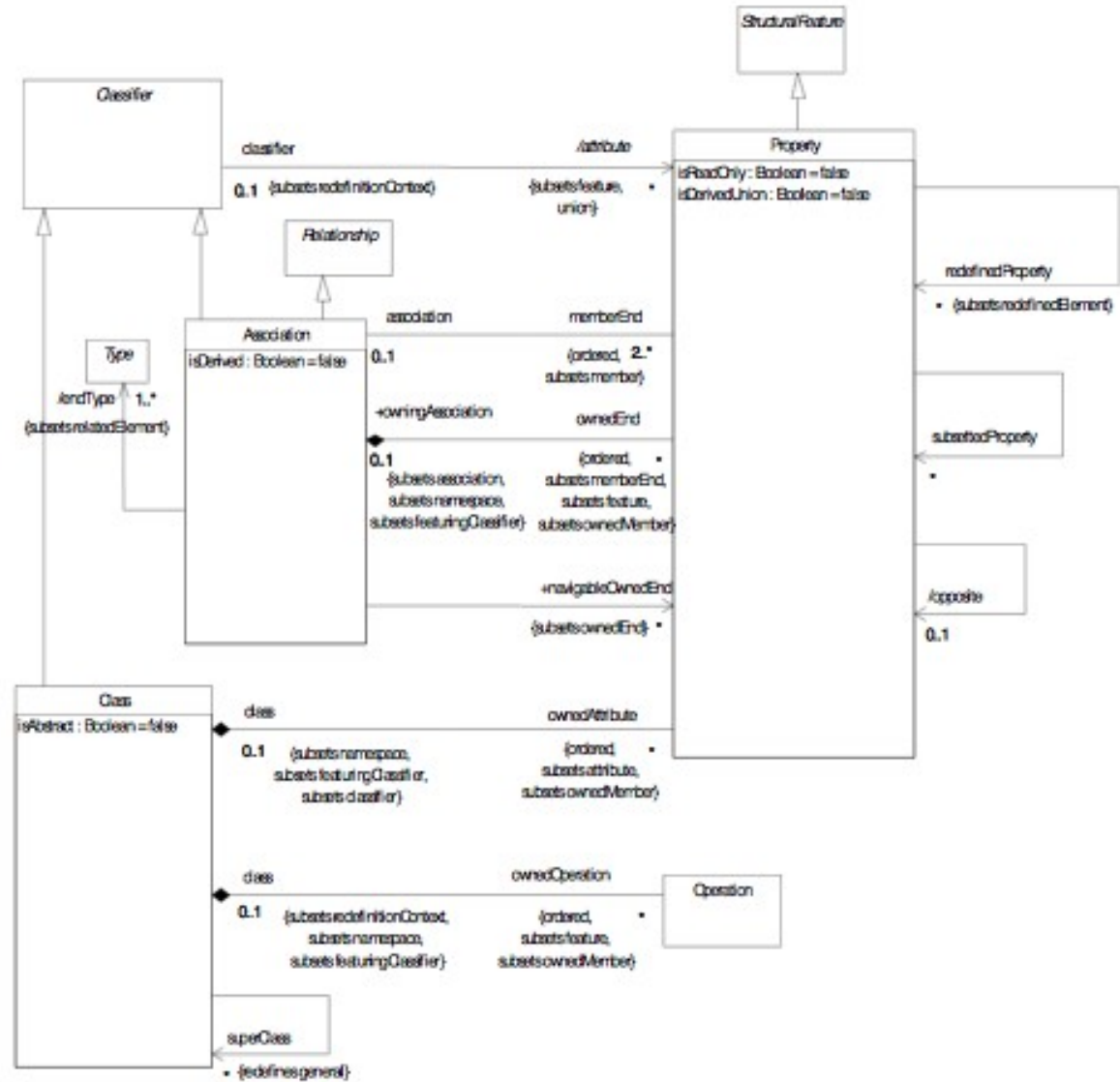


Figure 3-1 The MOF Model Package

UML Core

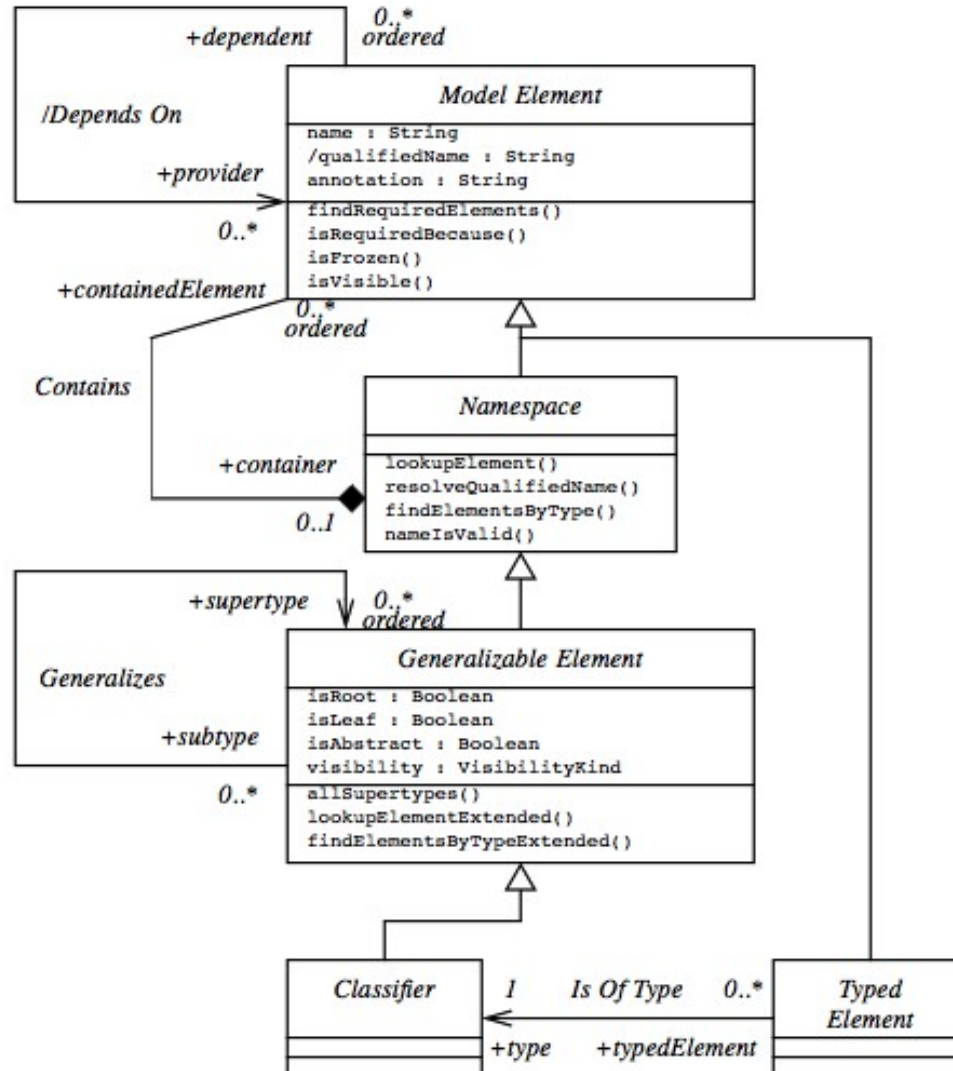
16

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



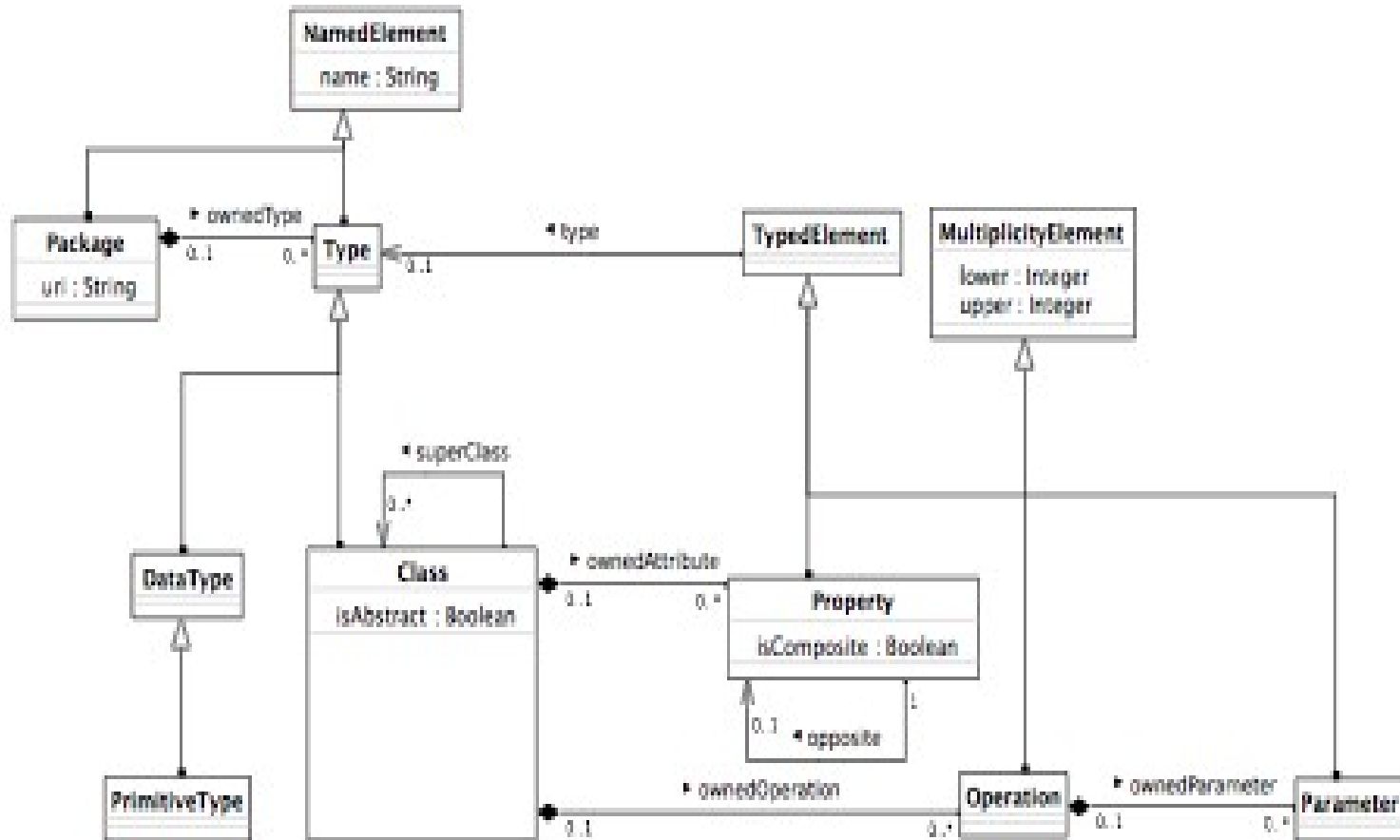
MOF Central Types

17



Central MOF Metaclasses with Associations

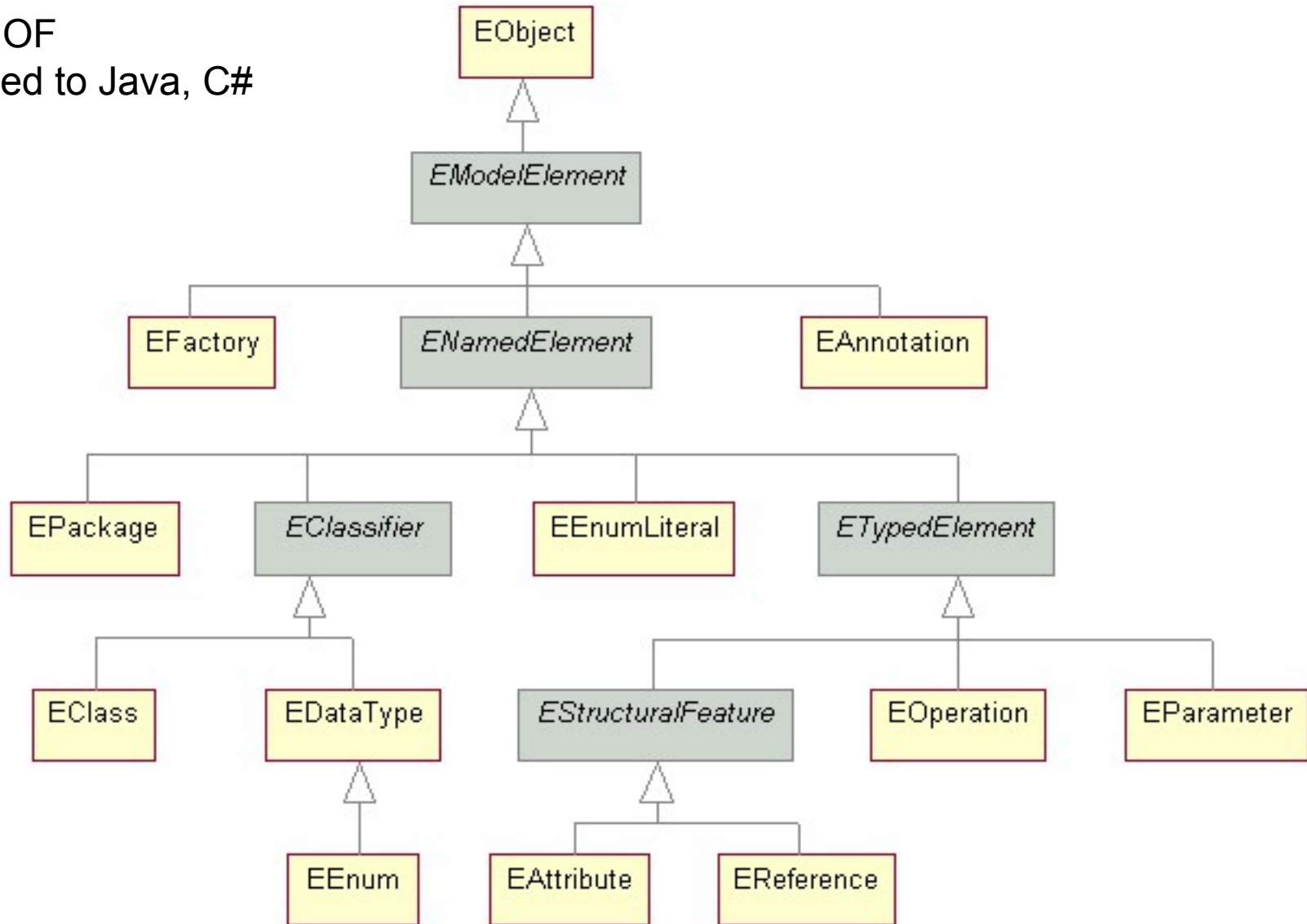
18



EMOF (Essential MOF)

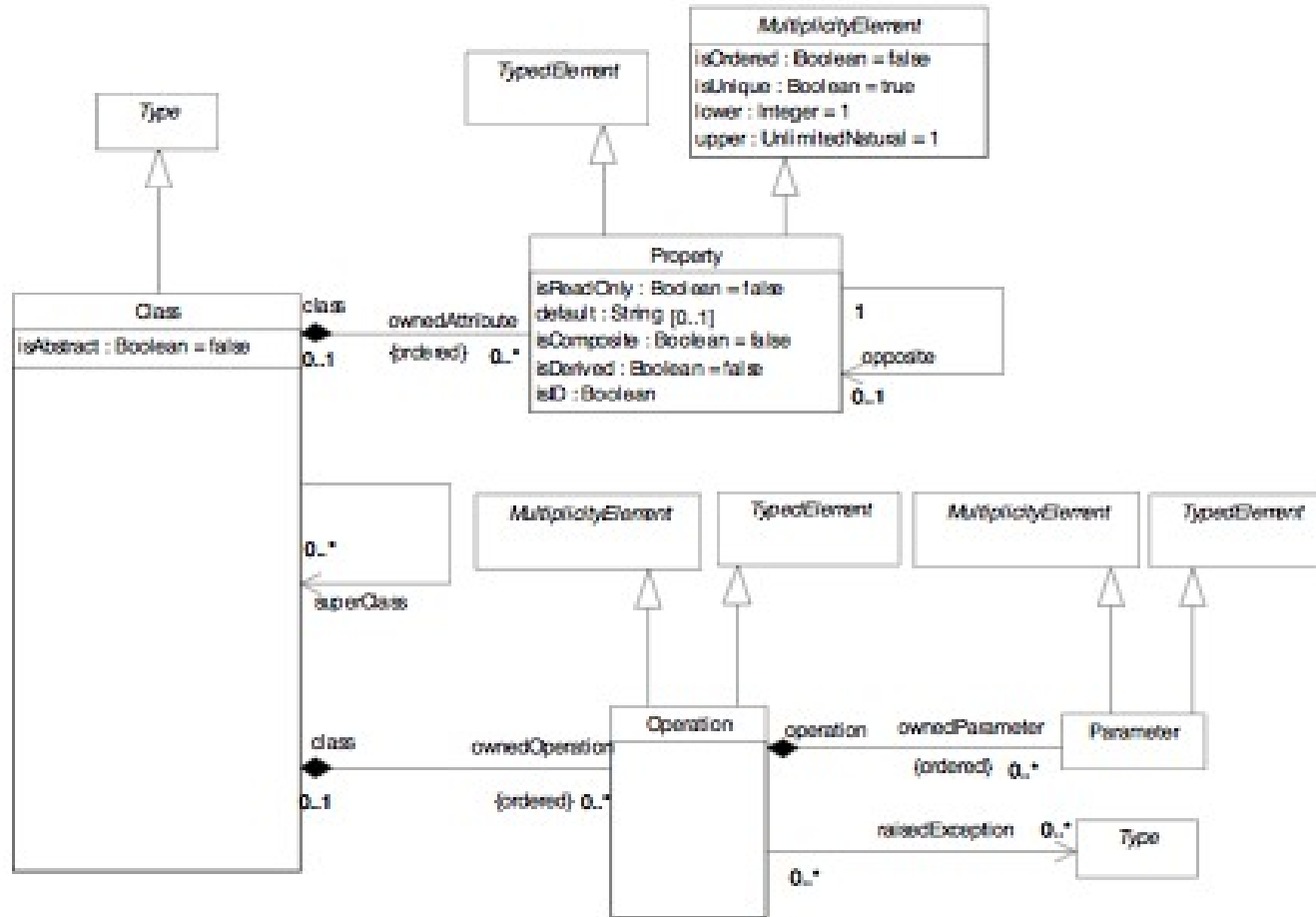
19

Subset of CMOF
Can be mapped to Java, C#



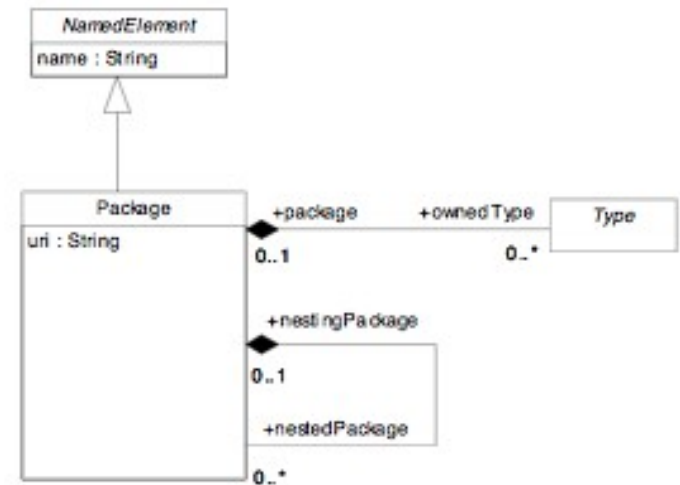
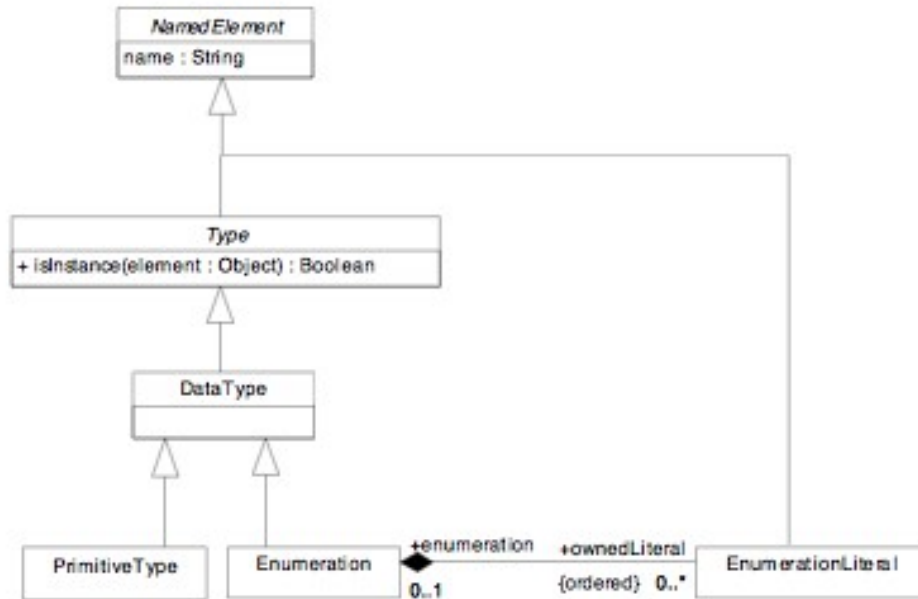
EMOF Classes in Detail

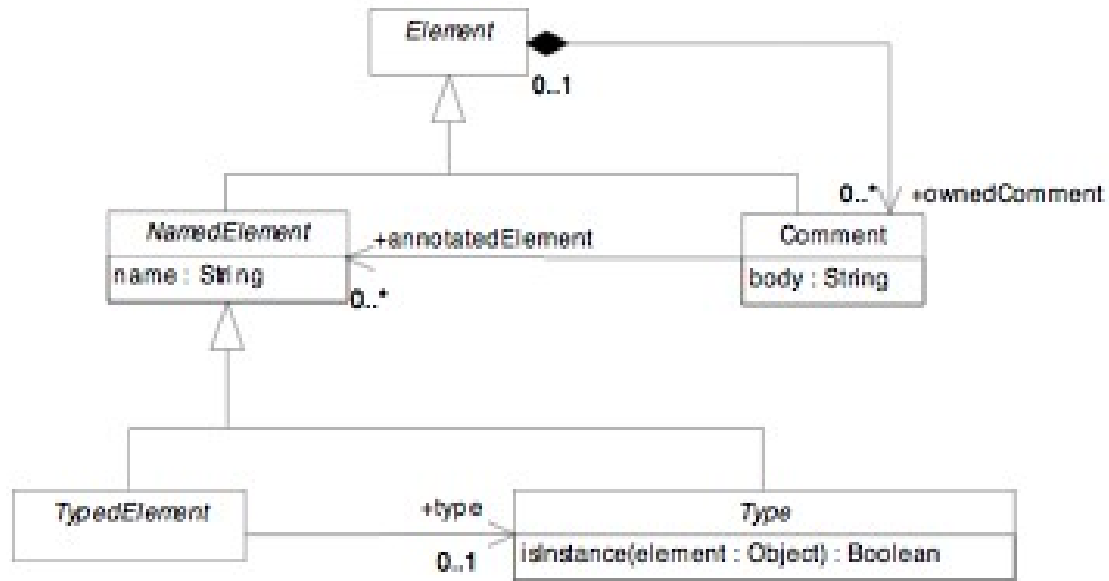
20



EMOF Data Types and Packages

21

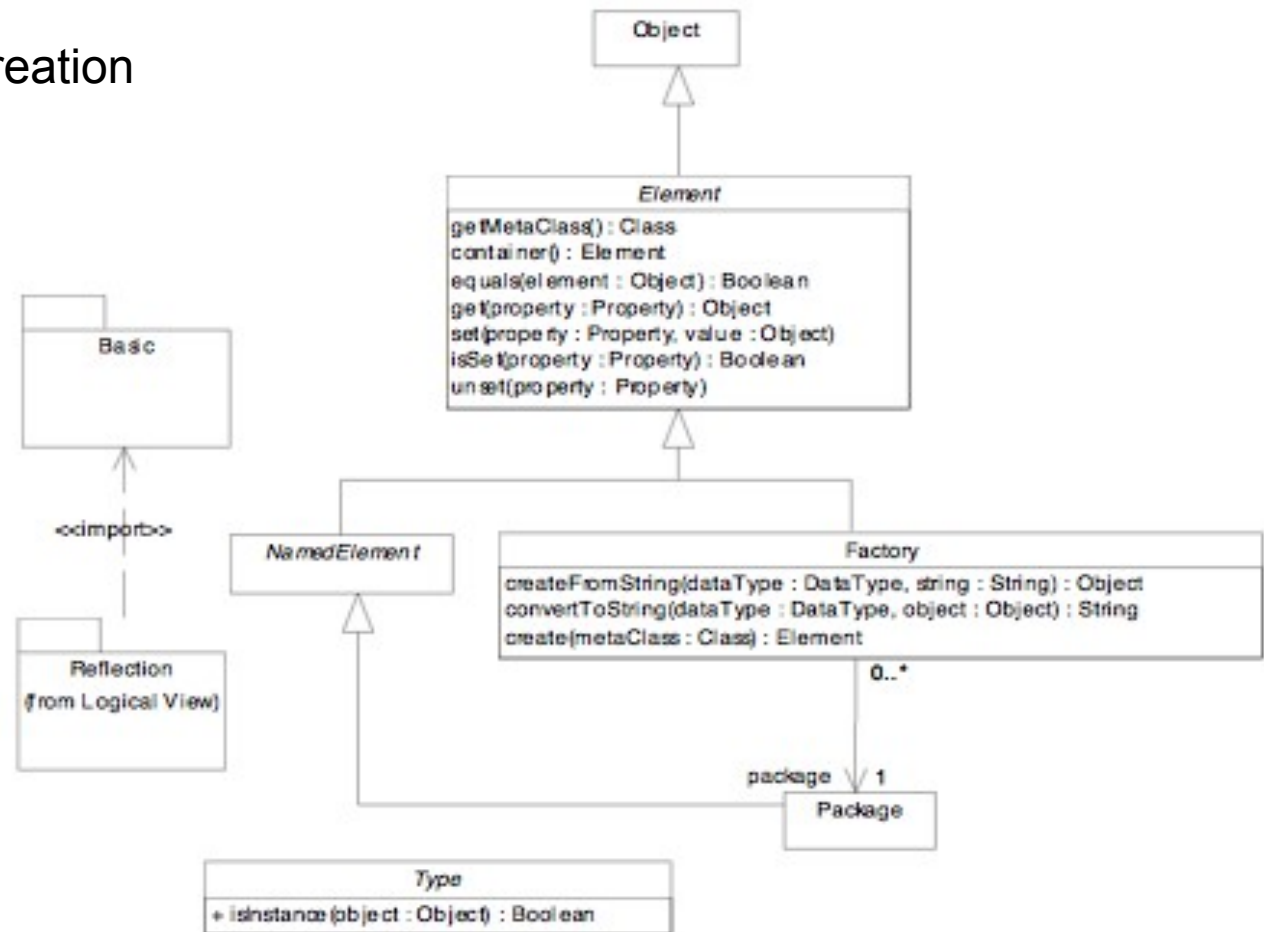




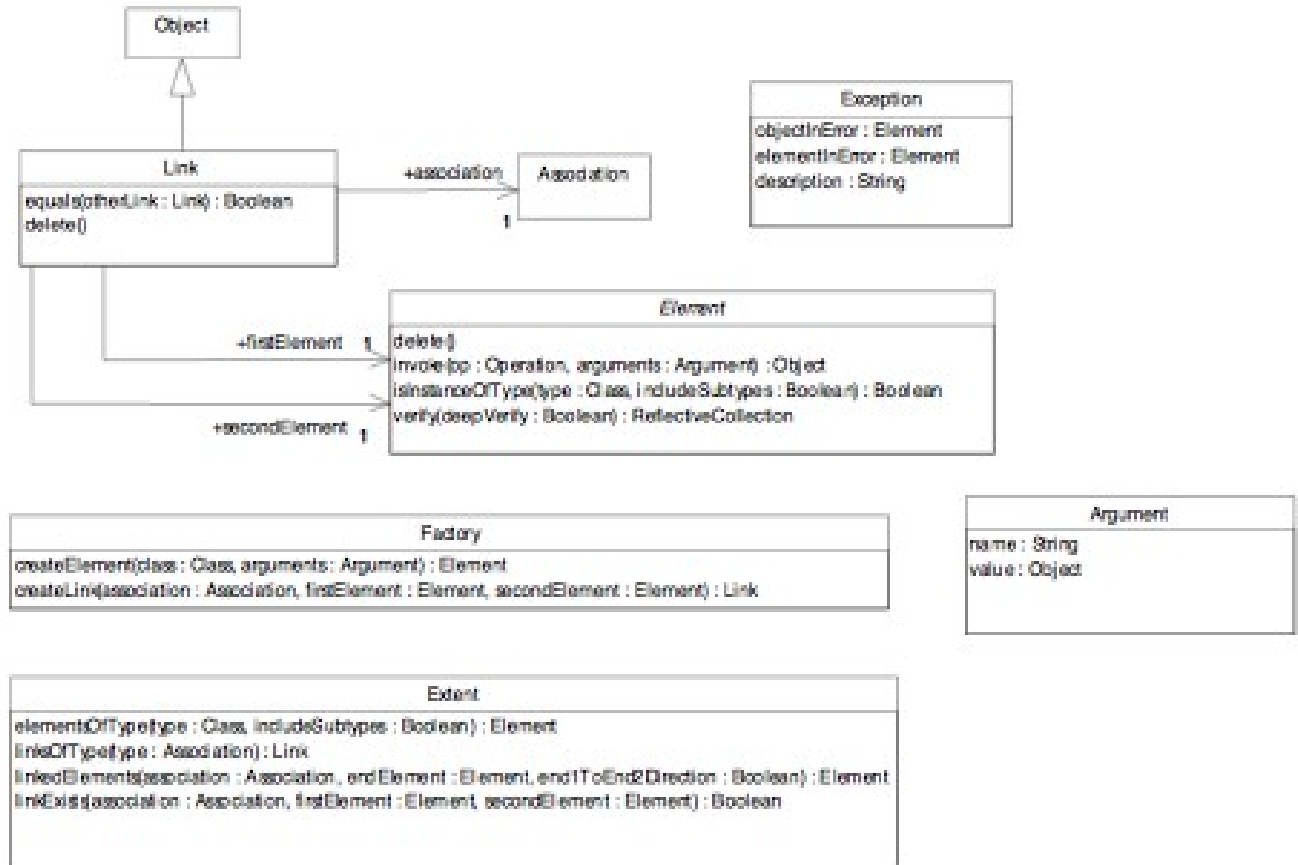
EMOF Reflection

23

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

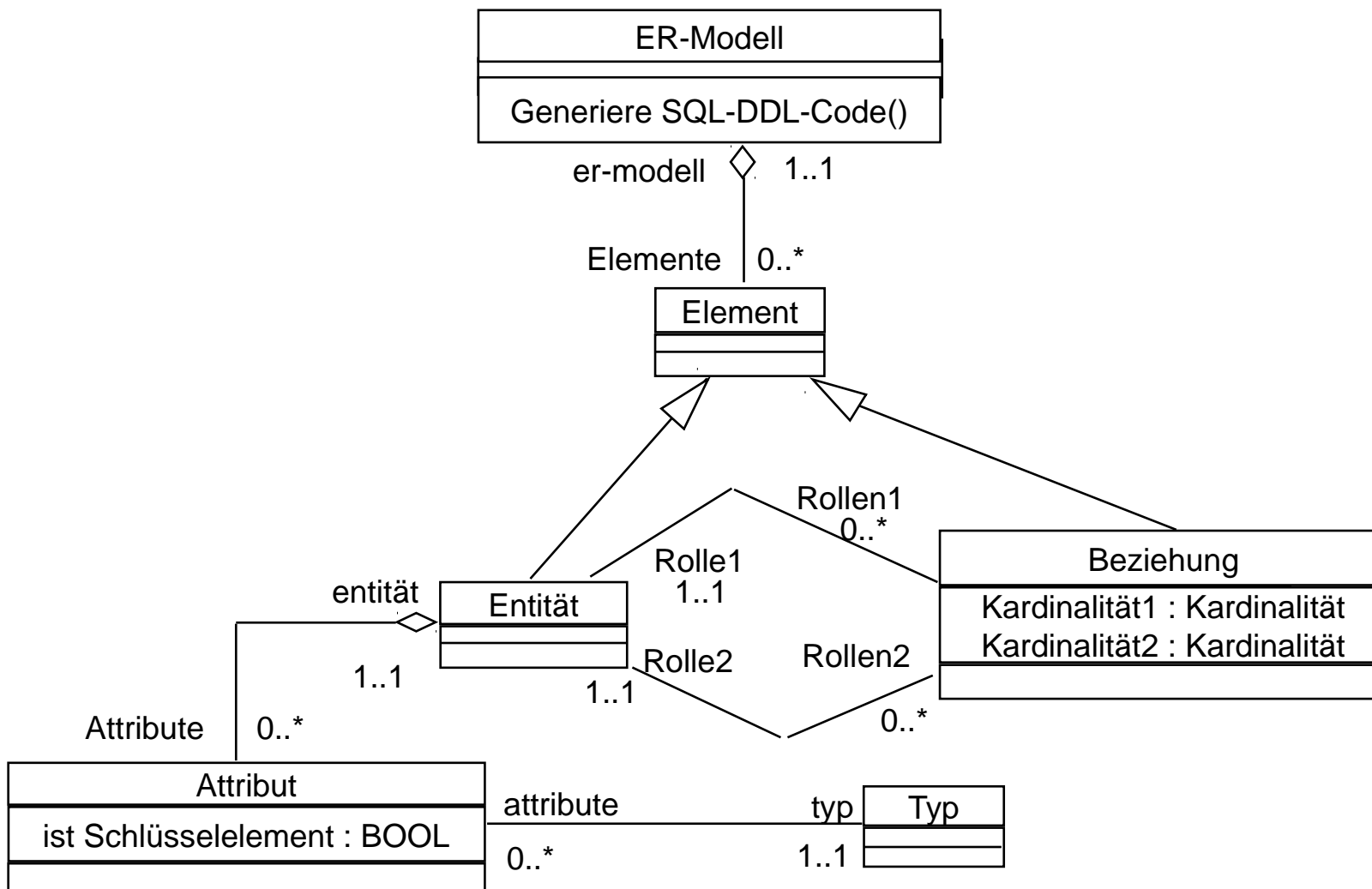


CMOF Reflection



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

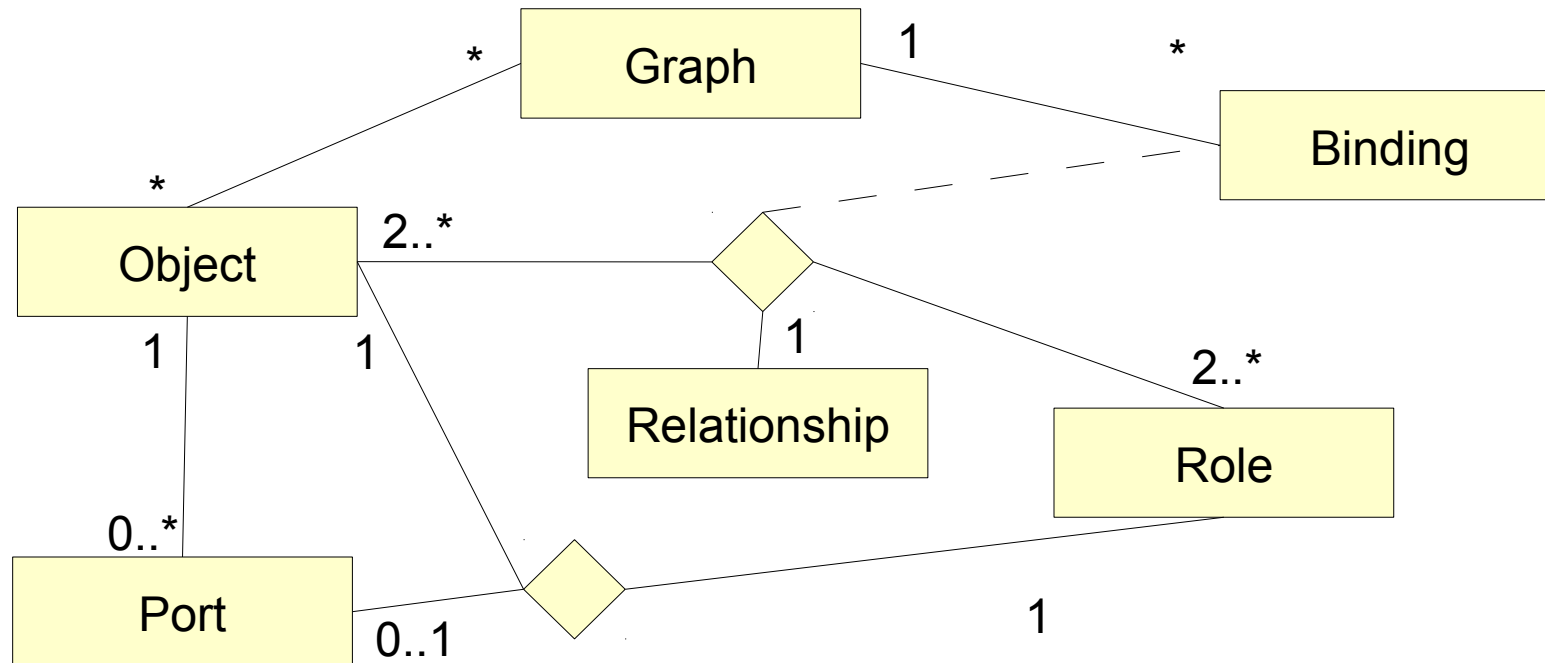
27



Graph Types in MetaEdit+

28

- ▶ [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

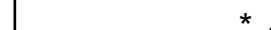
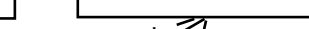
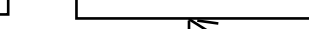
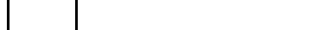
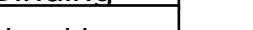
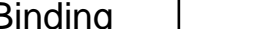
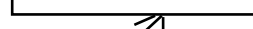
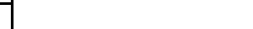
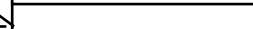
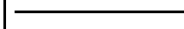
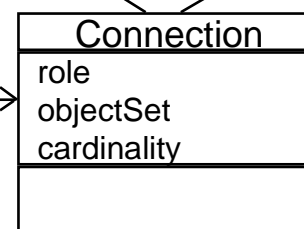
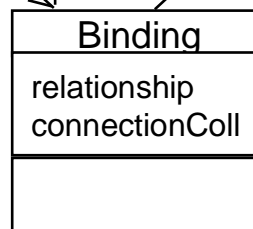
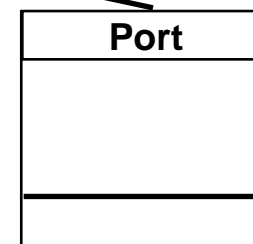
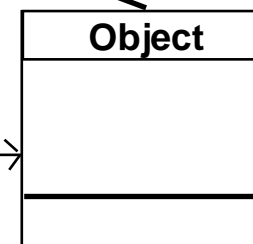
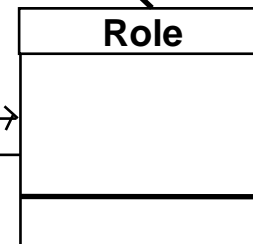
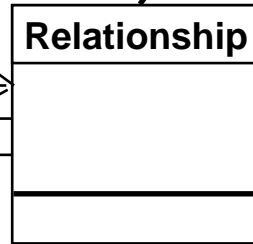
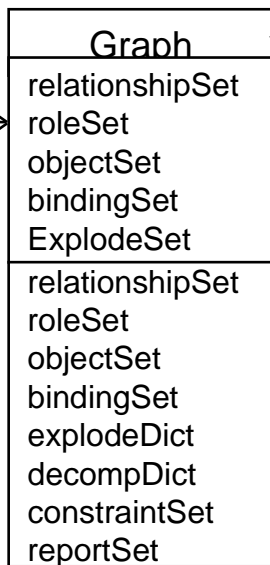
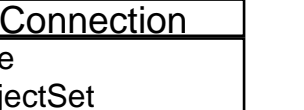
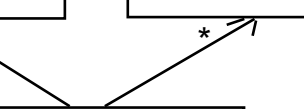
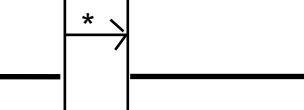
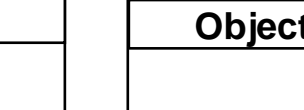
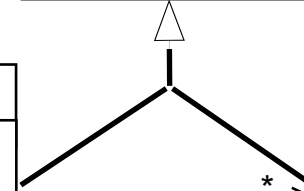
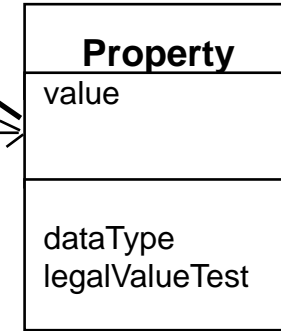
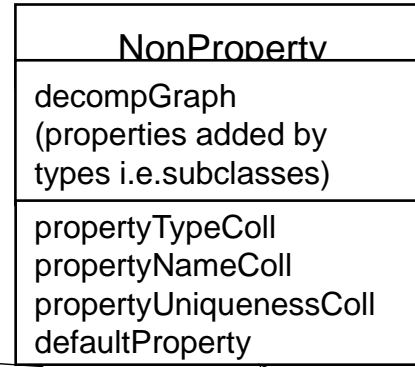
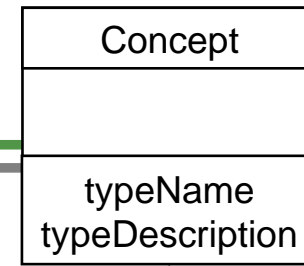


Metasprache von MetaEdit+

29

auf Basis der GOPRR Metasprache:

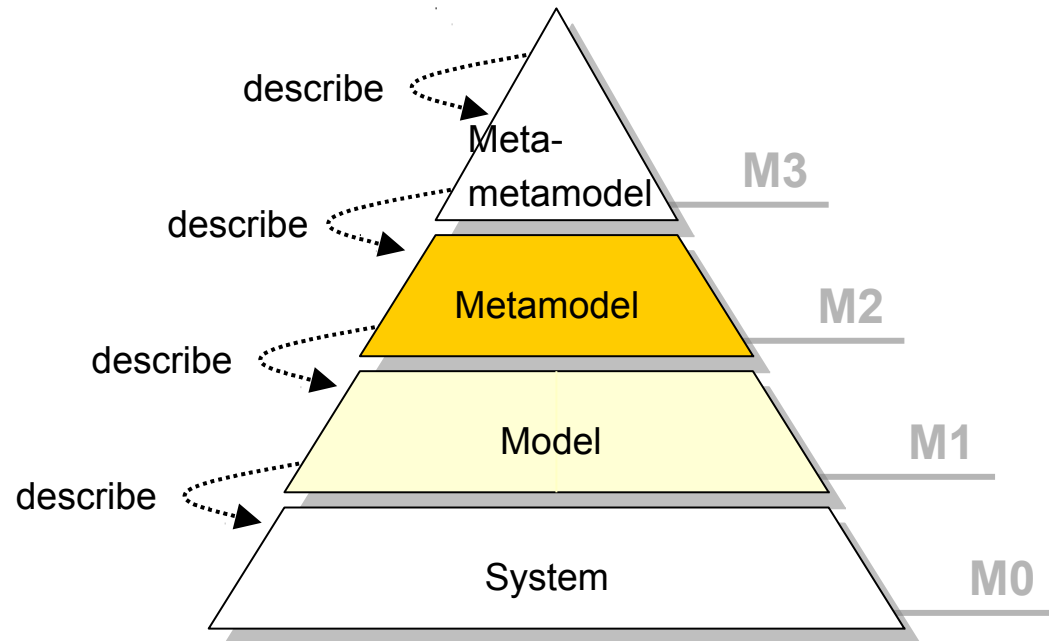
- **G**raph Objects
- **O**bject Objects
- **P**roperty Objects
- **R**elationship Objects
- **R**ole Objects



Motivation

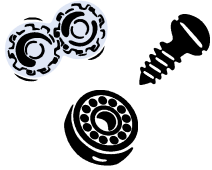
30

- ▶ 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



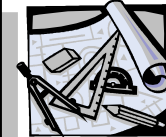
Metamodeling – Goals

31



Constraints

- Constraints for detailed definition of language
- Definition of erroneous states
- Rules to comply with special design guidelines



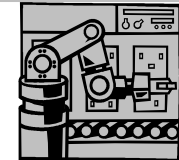
- (Meta-)Modeling of language constructs
- Definition of language structure
- Domain specific semantics

Metamodel

- Transformationen to repair erroneous models
- Conversion of incompatible models into design compliant models
- Automatic adaption to design guidelines

Abstract Syntax

Transformation



Model



Nutzen der Metamodell-Architektur für domänenspez. Sprachen

32

- ▶ 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 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

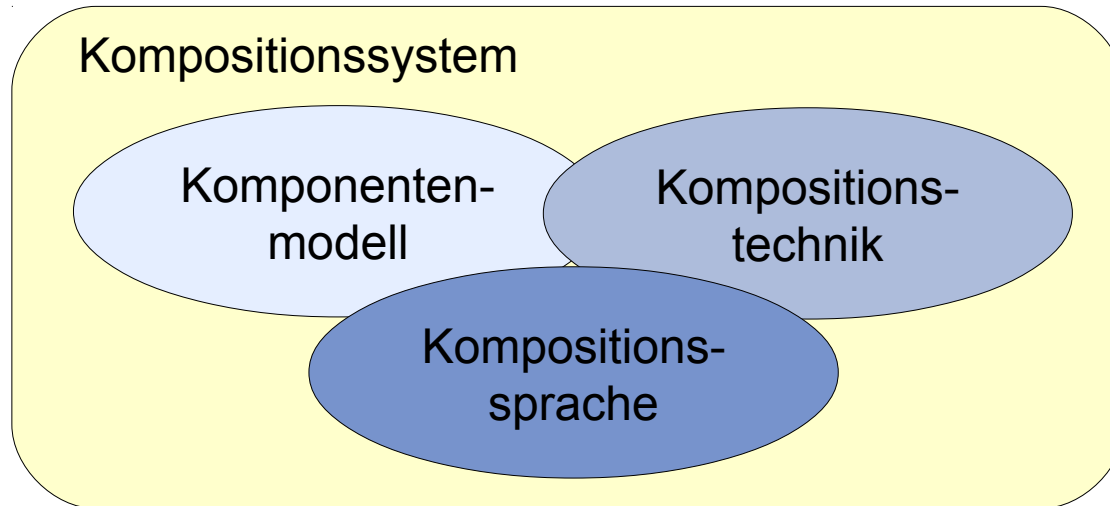
Quellen: <http://www.uni-koblenz.de/FB4/Institutes/IST/AGEbert/MainResearch/MetaTechnology/Kogge>
<http://www.cs.usask.ca/grads/vsk719/academic/856/project/node8.html>
<http://www.cs.ualberta.ca/~softeng/Theses/zhu.shtml>
<http://www.metacase.com/de/index.html>

11.3 Modell- und Metamodell-Komposition



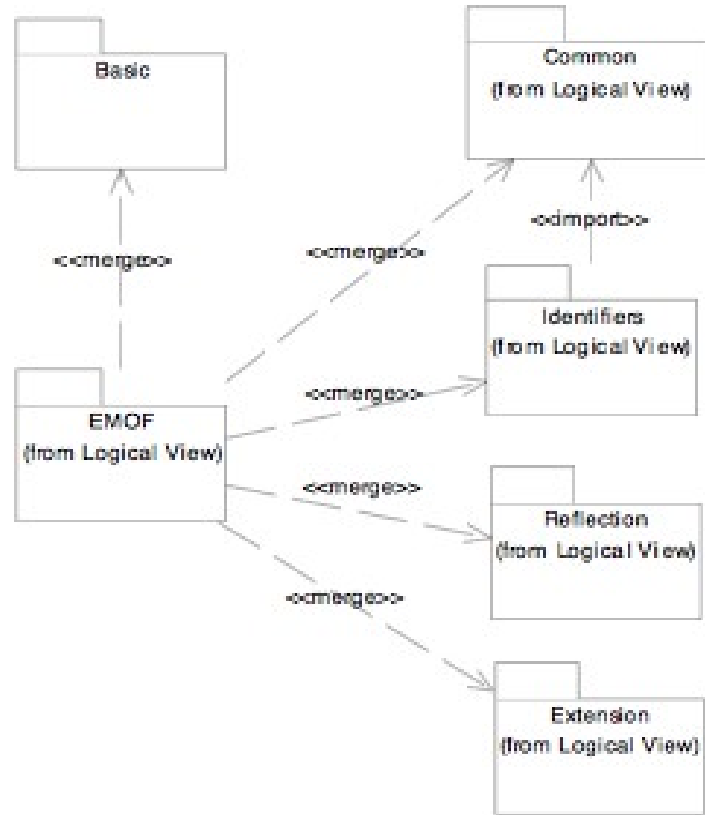
34

- ▶ 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



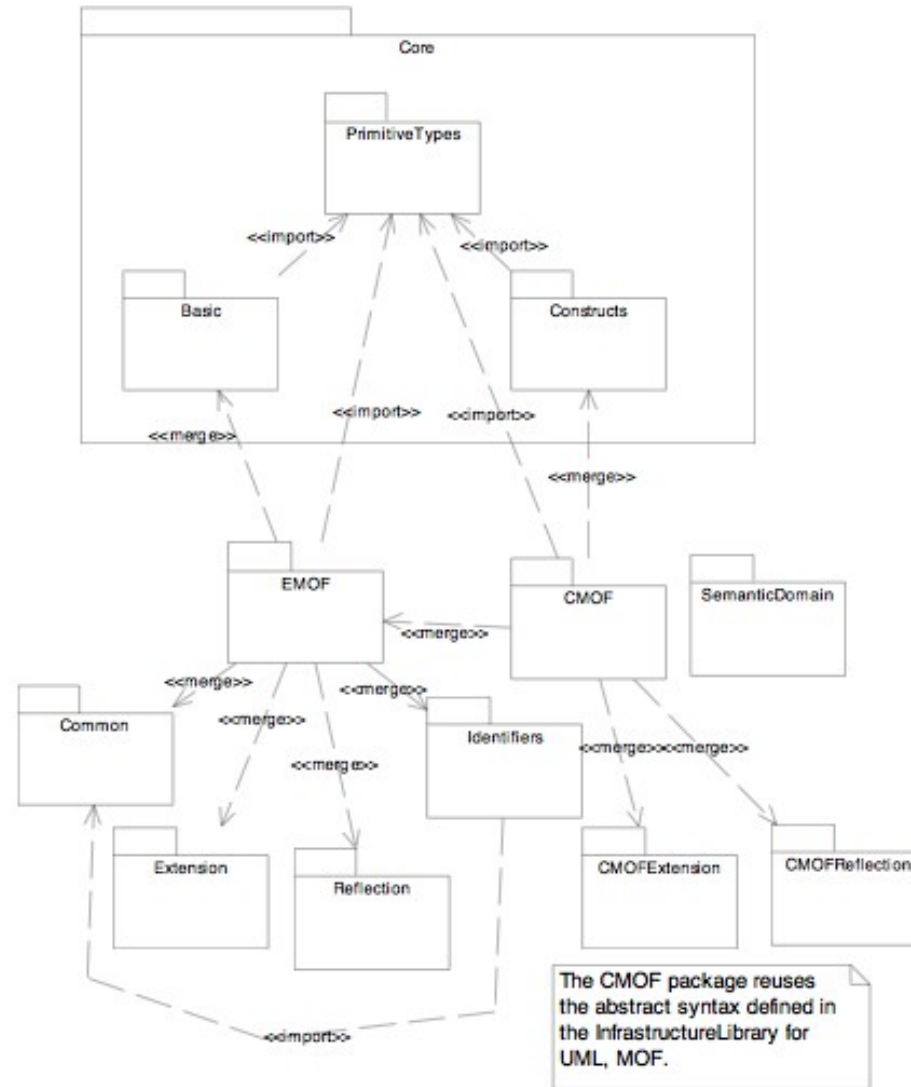
EMOF Classes Composition

36



CMOF Package Composition from UML Core and EMOF

37



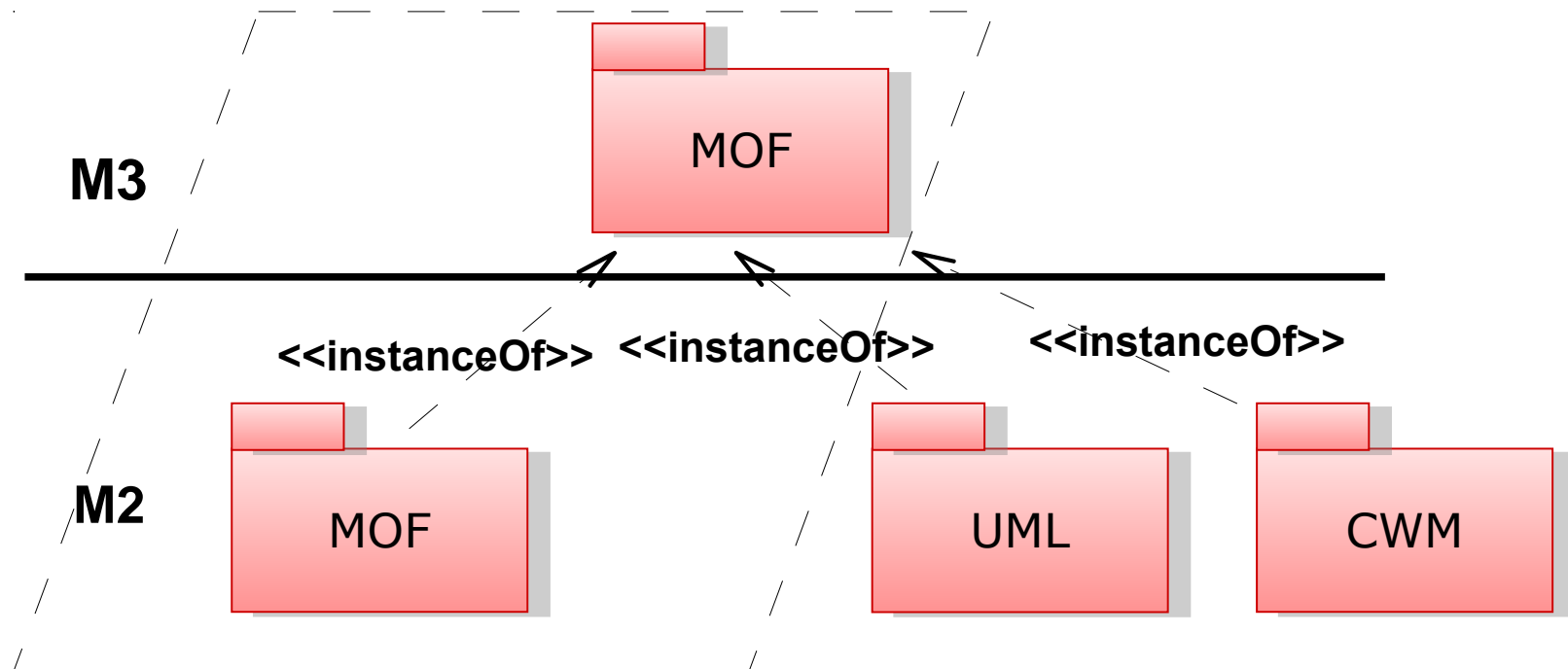
Ein Metamodell einer Datenstruktursprache aus M2 wird **angehoben (lifted, promoted)**, wenn es als Metasprache auf M3 genutzt wird

- ▶ 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

39

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



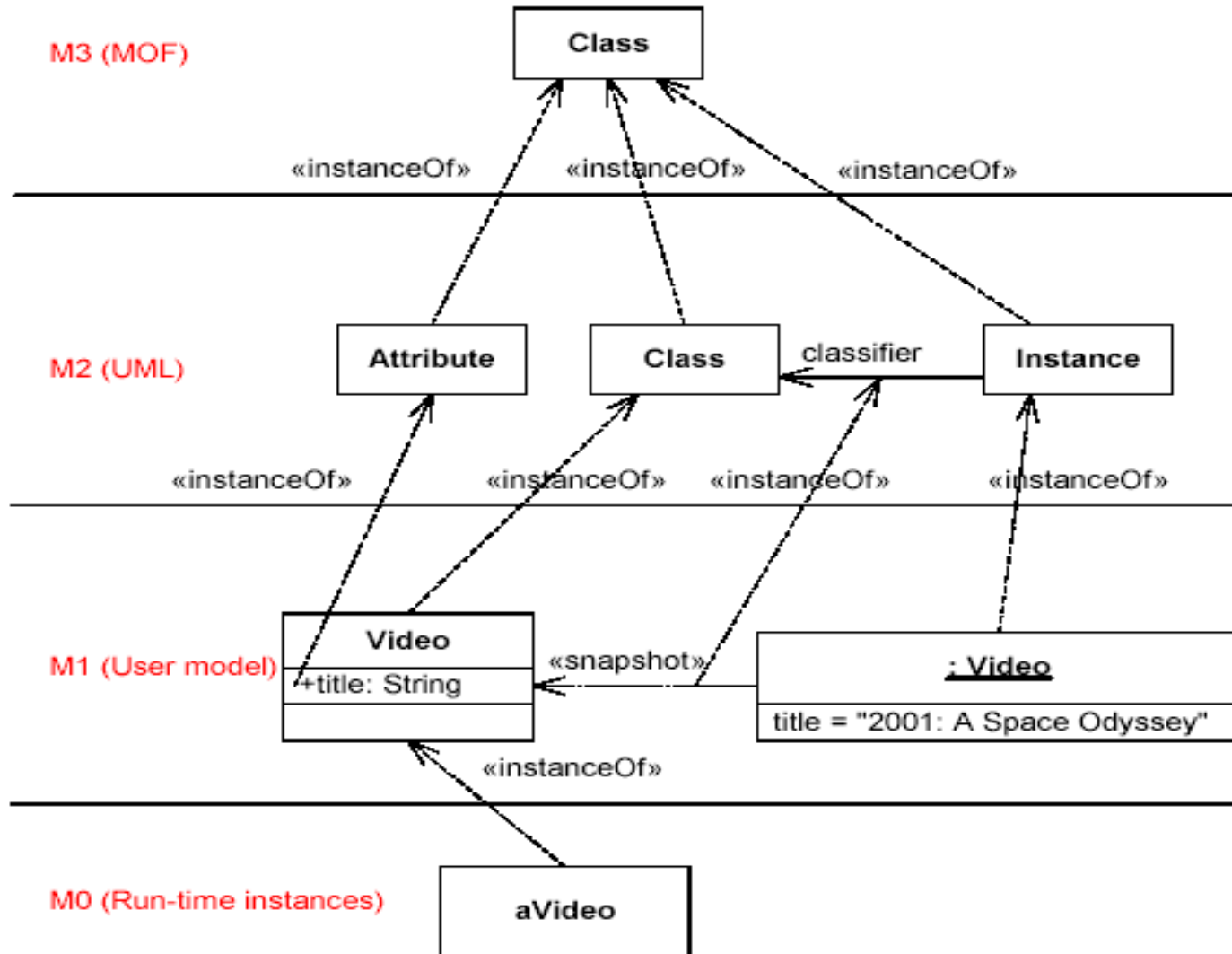
11.4 MOF und die UML-Metahierarchie



40

MOF-Metamodell-Hierarchie für UML

41



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



Bedeutung der UML-Metamodellierung für CASE

42

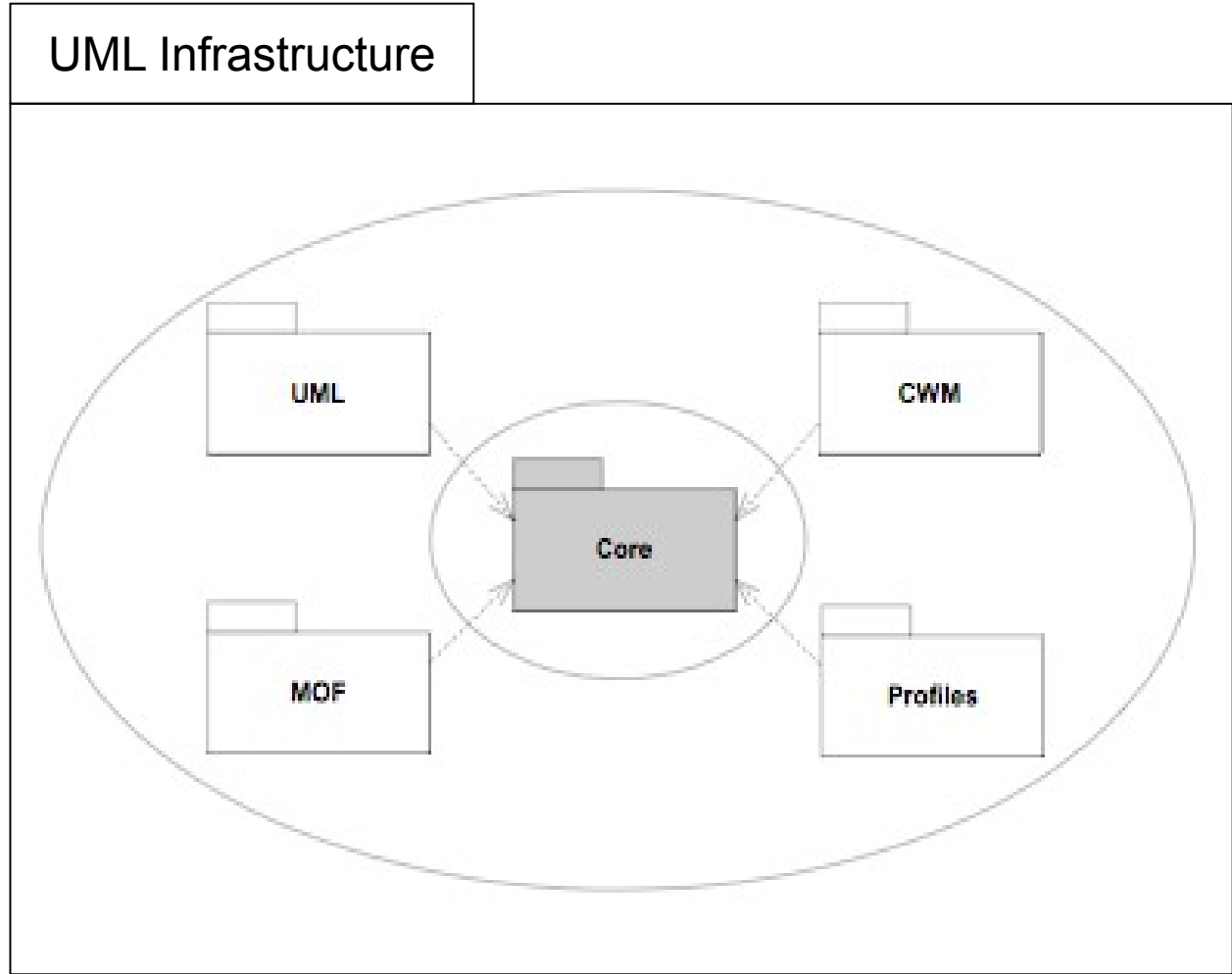
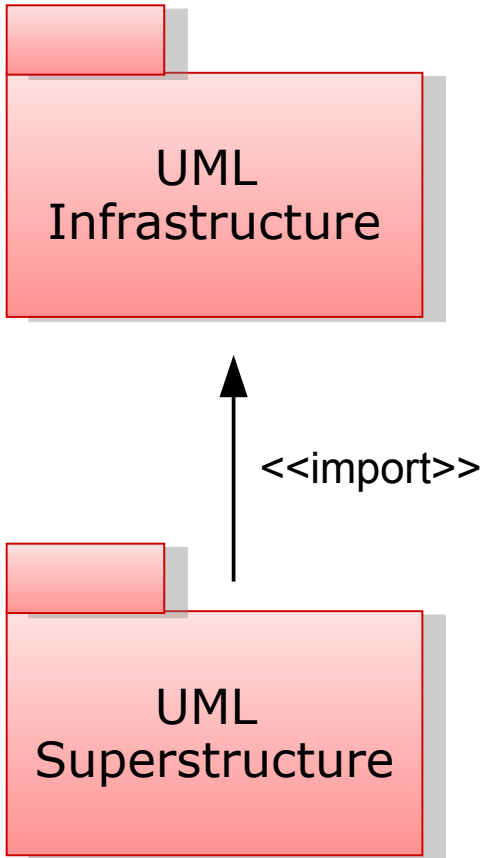
Das UML-Metamodell ist ein logisches (kein physikalisches oder Implementations-) Metamodell, mit

- ▶ 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

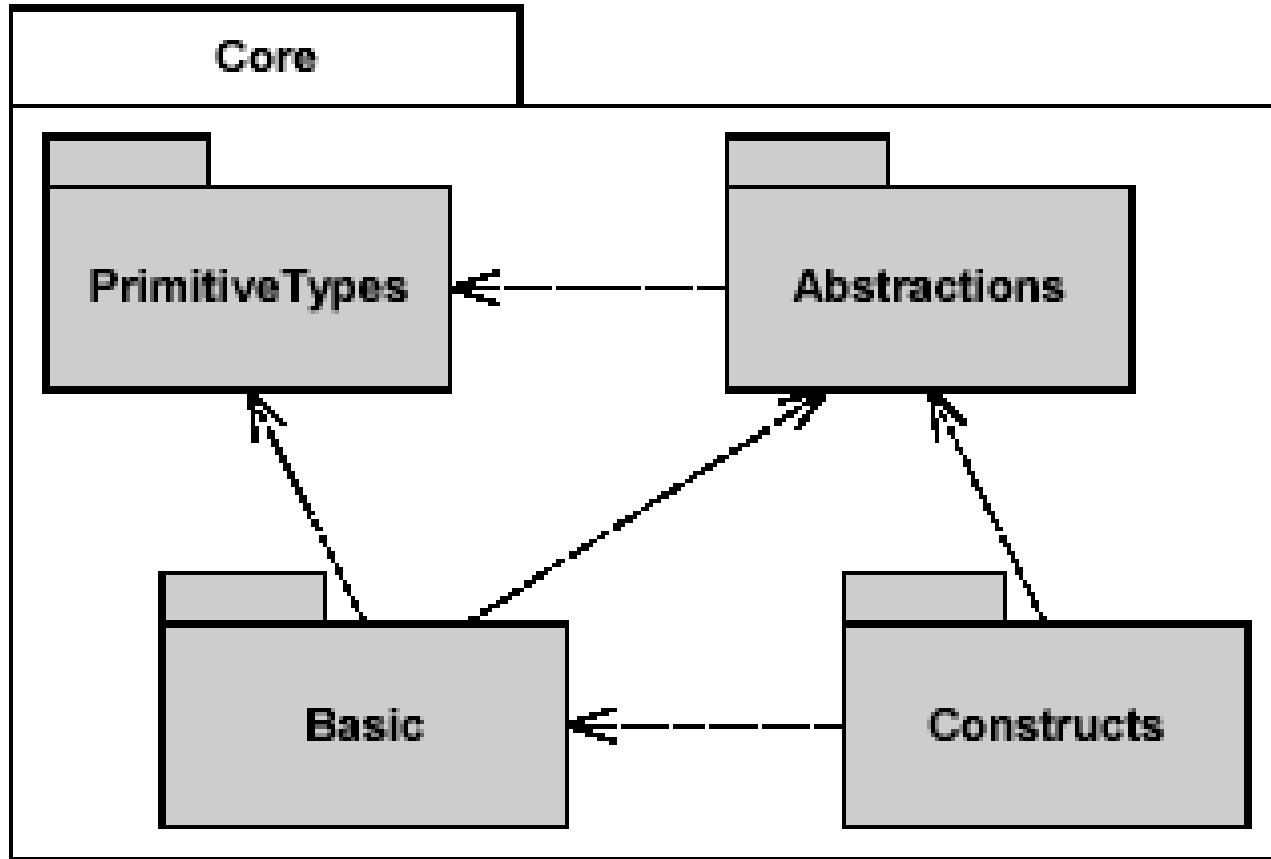
43

Prof. U. Alsmann, Softwareentwicklungswerkzeuge (SEW)



Core Package des UML-Metamodells (M2)

44



Basic: Grundkonstrukte für XMI

Constructs: Metaklassen für ooModellierung

Abstractions: abstrakte Metaklassen

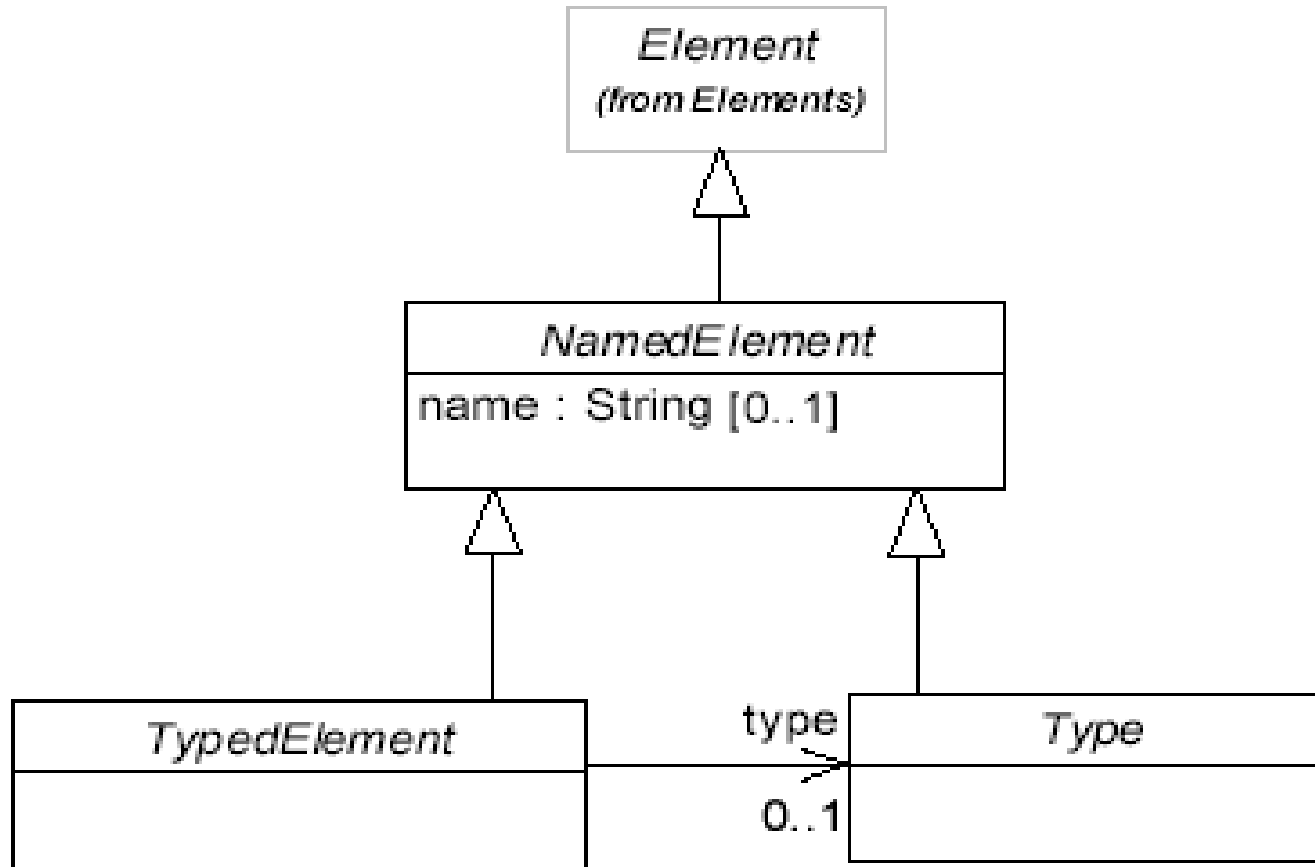
Primitive Types: vordefiniert im Metamodell

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



Package Basic: Types from CMOF

45



Die abstrakten Metaklassen dienen zum Benennen und zur Typdefinition von Elementen

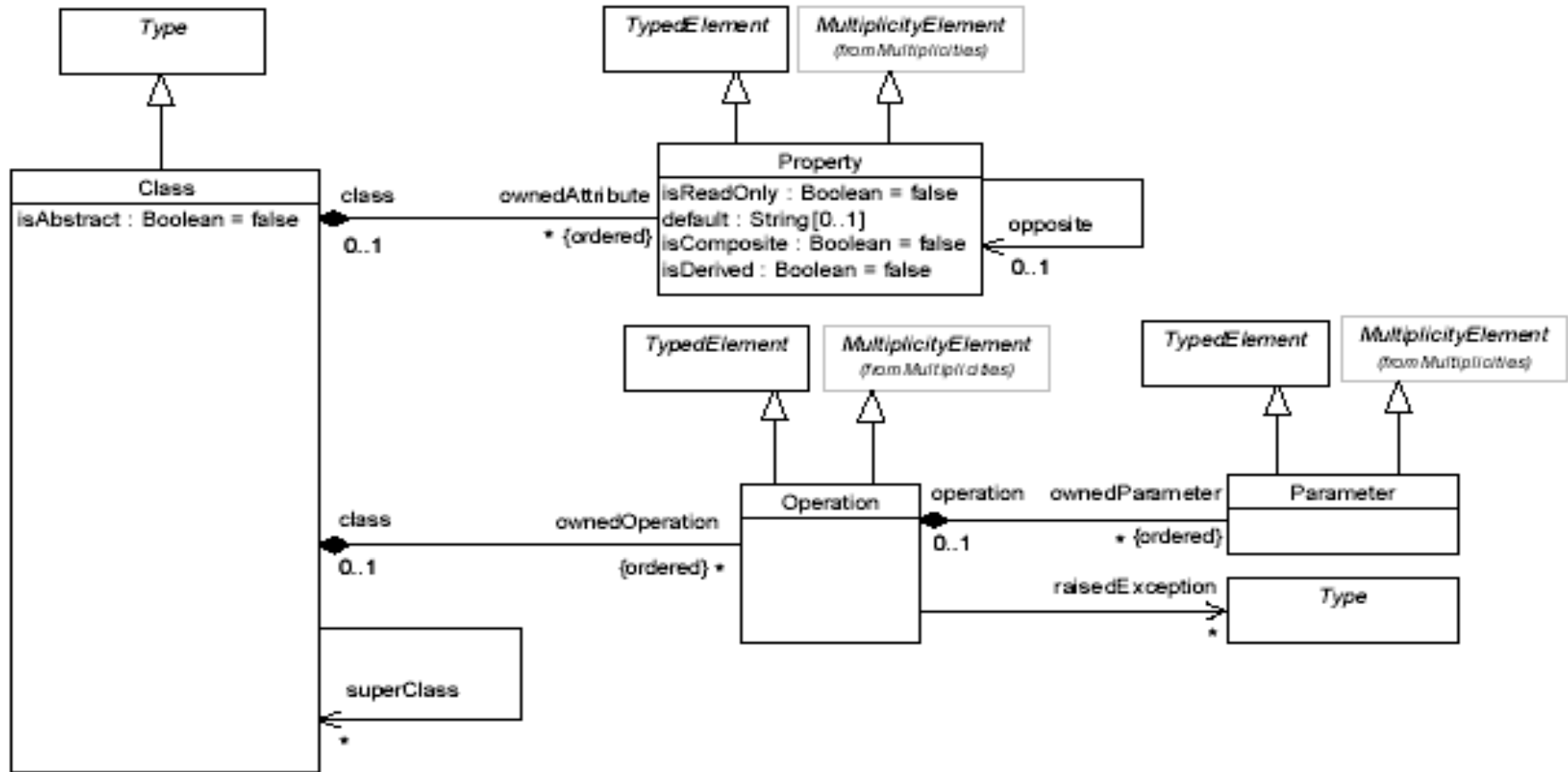
Quelle: UML 2.0 Infrastructure Specification; OMG Adopted Specification ptc/03-09-15



Package Basic: Classes

46

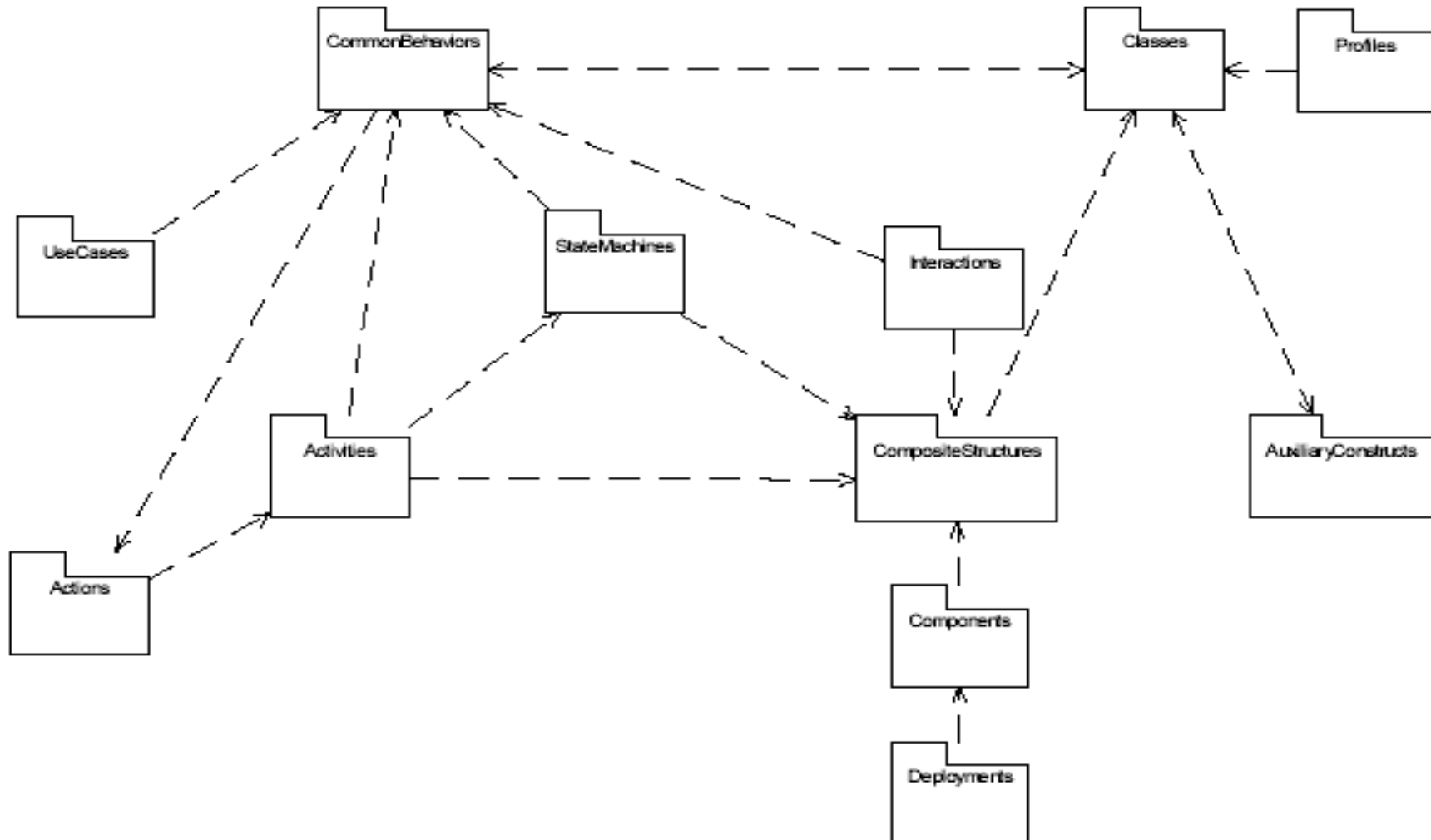
Definieren einer Klasse als Typ und Festlegung der weiteren Elemente zur klassenbasierten Modellierung



Package Composition UML 2.0 (M2)

47

Enthält alle Pakete zur systemstrukturierten und verhaltensorientierten Modellierung



11.5 Technikräume



48

..and technological spaces

- ▶ 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>

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

Technikräume über der Metahierarchie

| | Gramm arware (Strings) | | Table ware | | Treeware (Bäume) | | Graphw are/Mo delware | | | | Ontology- ware |
|----|----------------------------------|---|----------------------|--|--|------------------------------|-----------------------------|---------------------------|-----------------------|---------------------------|-------------------------------|
| | Strings | Text | Text- Tabell e | Relational e 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 Schema | XML Schema- beschreibun g, z.B. xhtml | NF2- Sche ma | UML- CD, -SC, OCL | UML, many others | CDIF- Sprache 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

52

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

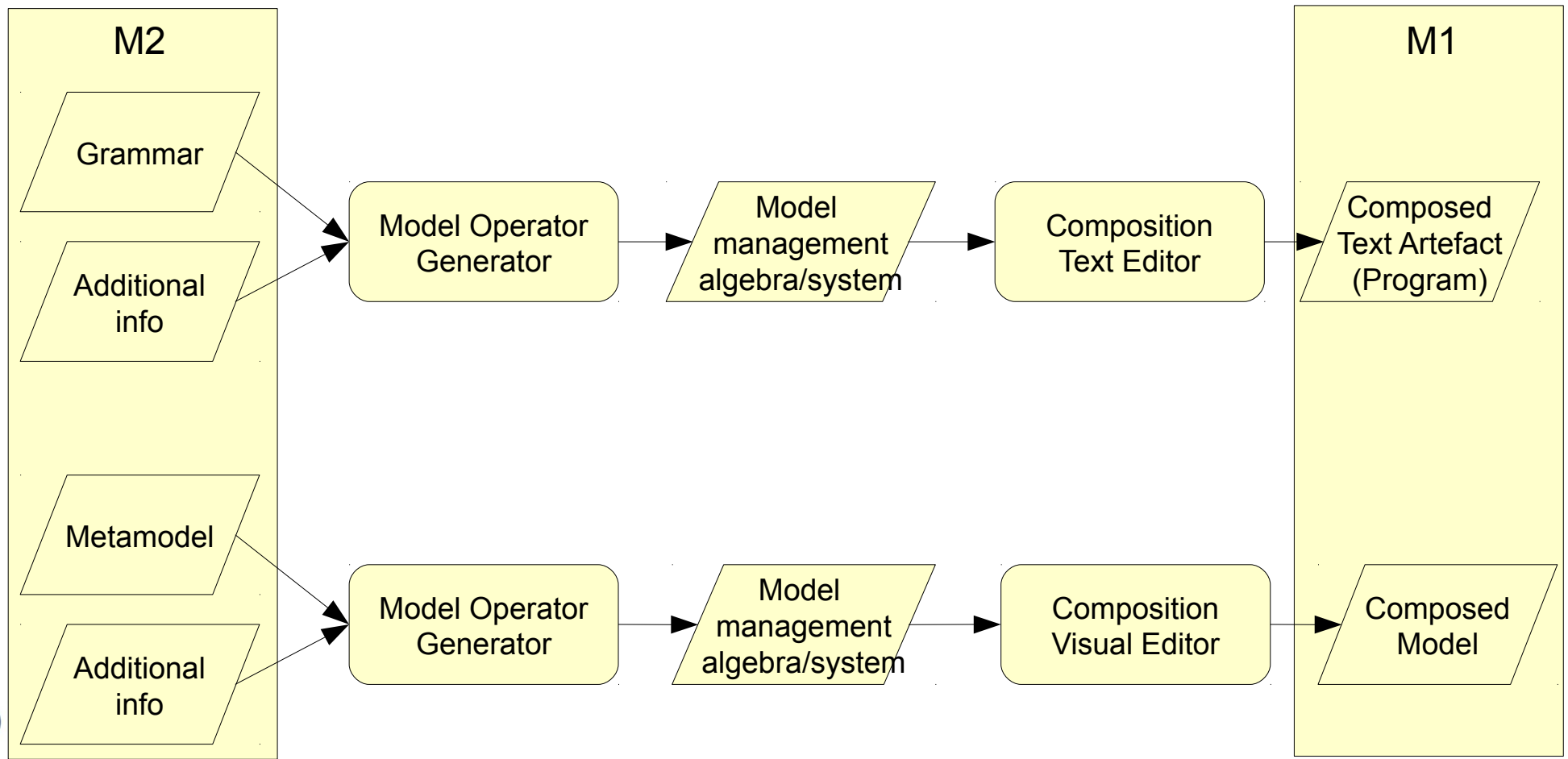


Abbildung von MOF-basierten Metamodellen auf andere Technikräume

53

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

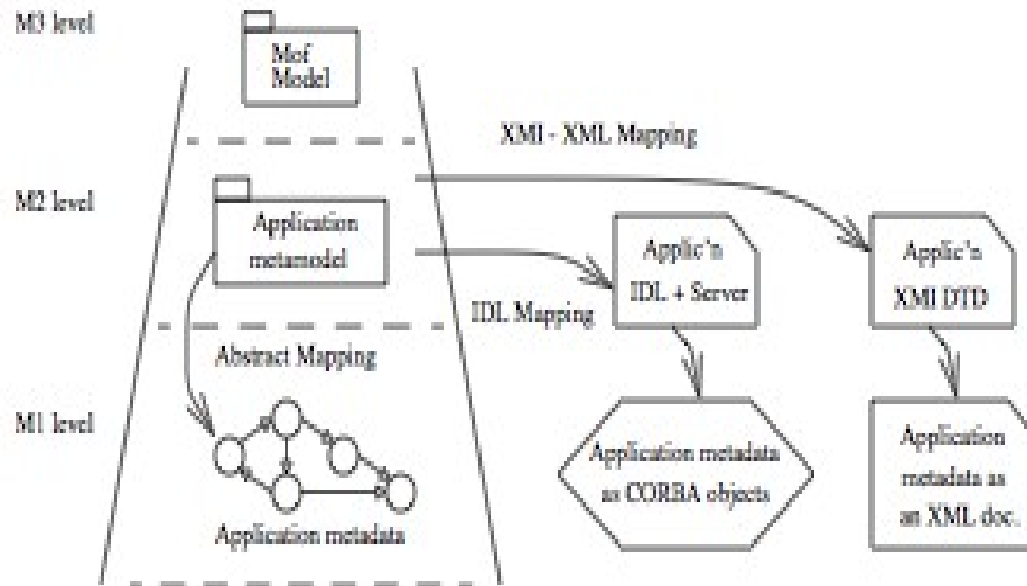


Figure 2-6 The function of MOF Technology Mappings

Ein **Multi-Technikraum-Werkzeug** ist ein Software-Werkzeug, das mehrere Technikräume zugleich nutzt.

- ▶ Heute setzen alle Werkzeuge auf einem Technikraum auf. Es werden aber viele Technikräume zugleich benutzt, um eine große Software zu konstruieren (XML, Java, C, csv, ...)
- ▶ Die Werkzeuge der Zukunft werden mehrere Technikräume zugleich beherrschen
- ▶ Technikraumbrücken müssen gebaut werden

Model Engineering ist das Brücken von Technikräumen und kooperative Arbeiten in mehreren zugleich.

- ▶ Bezin's Model Engineering Metapher: Die Welt besteht aus verschiedenen Dörfern, die durch Straßen verbunden sind. Jede Sorte von Ingenieur verwaltet ein bis mehrere Dörfer ("model villages", Technologieräume). Straßen und Brücken zwischen diesen Technologieräumen zu bauen, ist unsere Aufgabe
- ▶ Das Ziel der Vorlesung ist, Model Engineering begreiflich zu machen.

11.6 Megamodelle

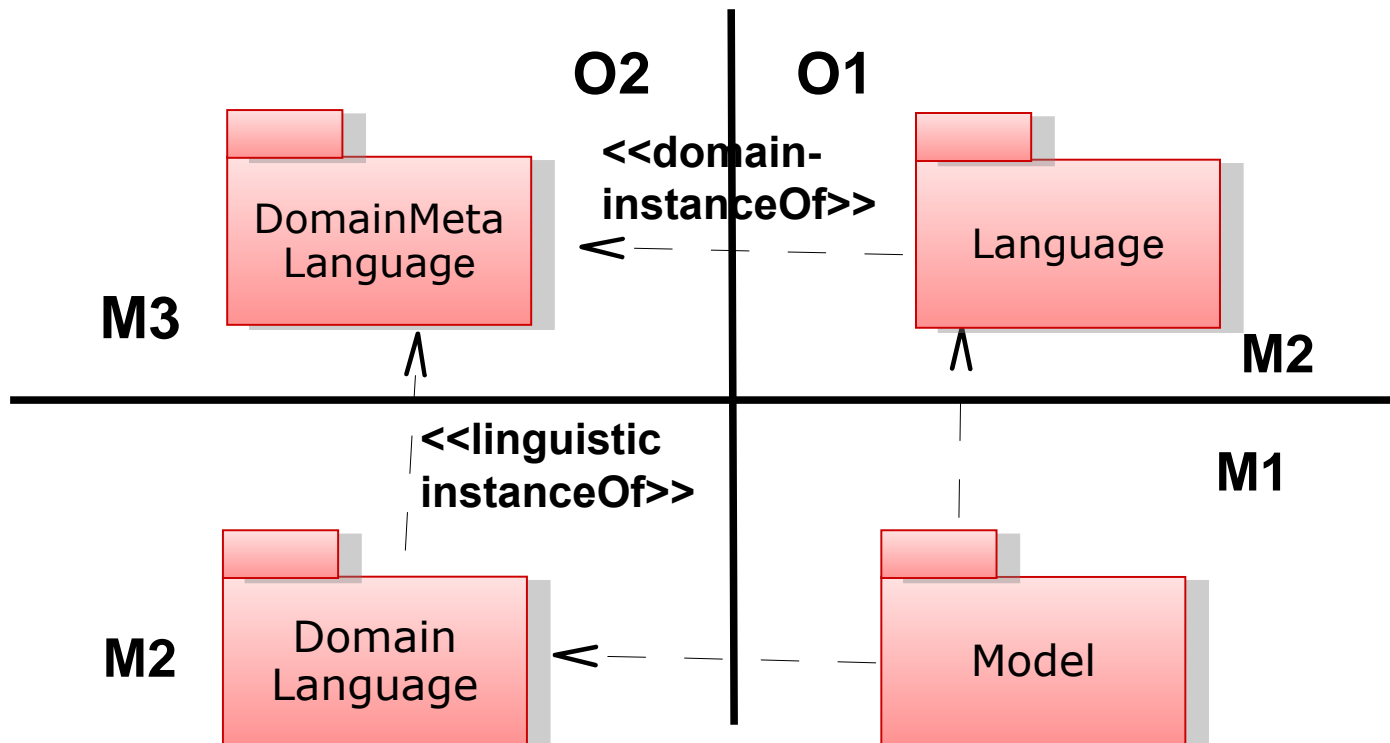


55

2-D Metamodellierung

56

- ▶ 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]



Eine stereotype instance-of-Struktur heißt **Megamodell** [Favre]



The End