

## 53. Integration of Heterogeneous Tools, Exchange Formats, Language Mappings, and Macromodels

Prof. Dr. Uwe Aßmann

Technische Universität Dresden

Institut für Software- und  
Multimediatechnik

<http://st.inf.tu-dresden.de>

Version 20-0.1, 29.01.22

- 1) Software Factories
- 2) Data Integration
- 3) Exchange Formats
- 4) Appendix
  - 1) ECMA-Referenzmodell
  - 2) Frameworks zur Werkzeug-  
integration (PCTE)



DRESDEN  
concept  
Exzellenz aus  
Wissenschaft  
und Kultur

# References

- ▶ ECMA, Reference Model for Frameworks of Software Engineering Environments, Technical Report 55, 3rd Edition, Juni 1993
  - <http://www.ecma-international.org/publications/files/ECMA-TR/TR-055.pdf>
- ▶ Richard C. Holt, Andreas Schürr, Susan Elliot Sim, and Andreas Winter. GXL: A graph-based standard exchange format for reengineering. Science of Computer Programming, 60(2):149-170, April 2006.
  - <http://www.gupro.de/GXL/Publications/publications.html>

# The Book of the MOST Project (2008-11)

4

Model-Driven Software Development in Technical Spaces (MOST)



**MOSTPROJECT**

<http://most-project.eu>

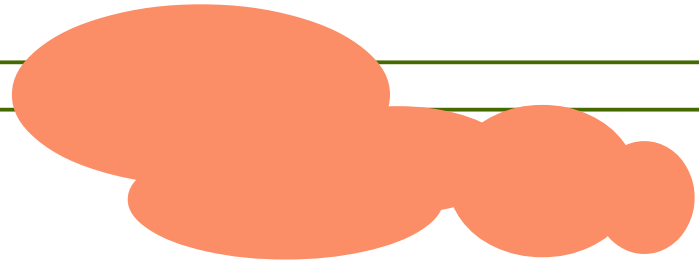
# Motivation

- ▶ Industry assembles thousands of tools for different purposes that have not been designed for each other (*interoperability problem*)
- ▶ Many IDE (MetaCASE and MetaCPSE) live in several technical spaces (heterogeneous software factories)
- ▶ Model-driven software engineering can help somewhat by data connection with model transformation bridges (*model-driven interoperability*)

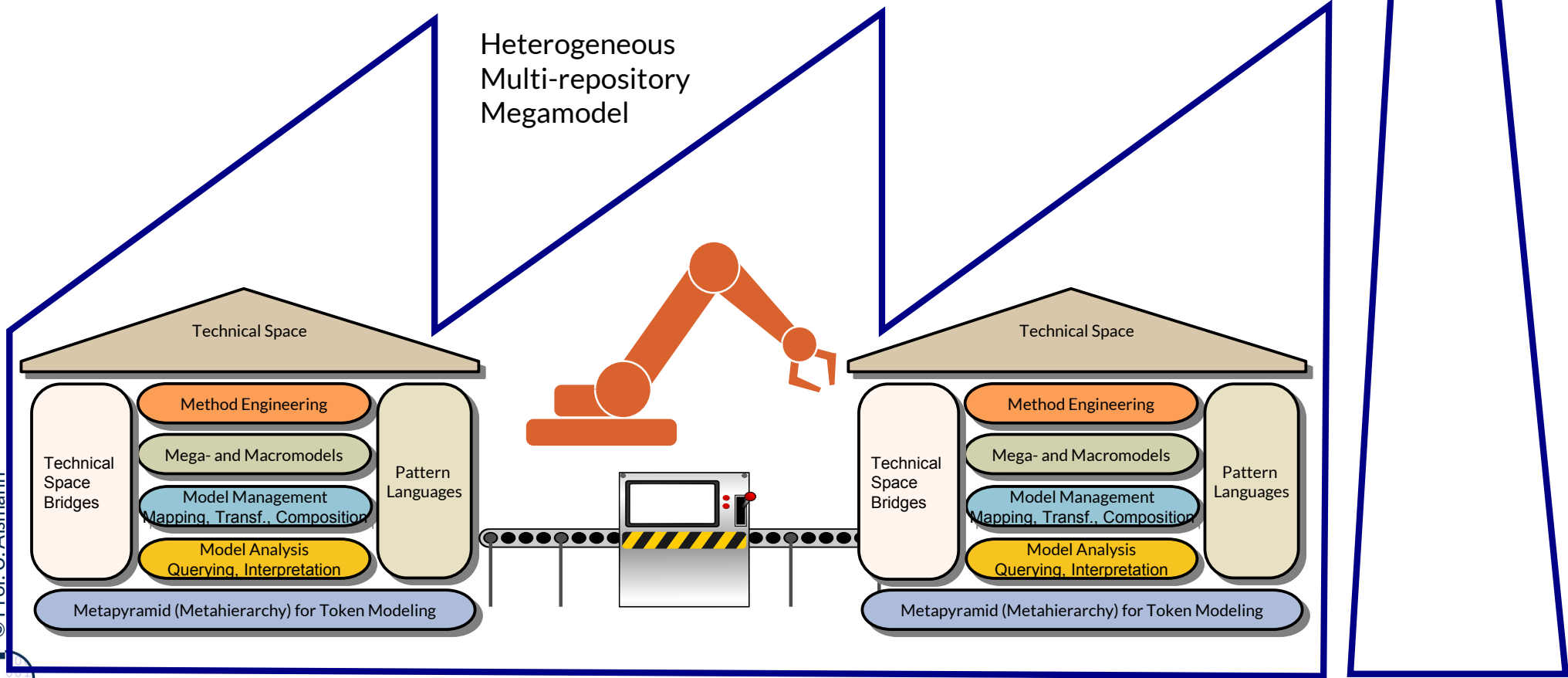
# 53.1 Software Factories with Heterogeneous Repositories



# Q13: A Software Factory's Heart: the Multi-TS Megamodel



Software Factory



- ▶ A **software factory** is a modeling environment for the production of software product lines.
  - The software factory maintains a set of repositories for models in different languages and connects them to one macromodel:
  - **Mono-repository**: all models of the megamodel in one repository, requiring one technical space
  - **Multi-repository**: models in different repositories
  - **Heterogeneous multi-repository**: models in different repositories, with many technical spaces
- ▶ Software factories are big integrated MDSD environments coupling many tools and materials
  - A **pure software factory** creates software with software
    - Example: UML tool, SysML tool
  - A **systems software factory** creates a system in soft- and hardware (with software)
    - Example: PreeVision, ASCET, Cadence Silicon Compiler
- ▶ Often, multi-repository software factories result from ***data connection*** of already existing tools (tool integration)

## 53.3 Data Connection with Exchange Formats



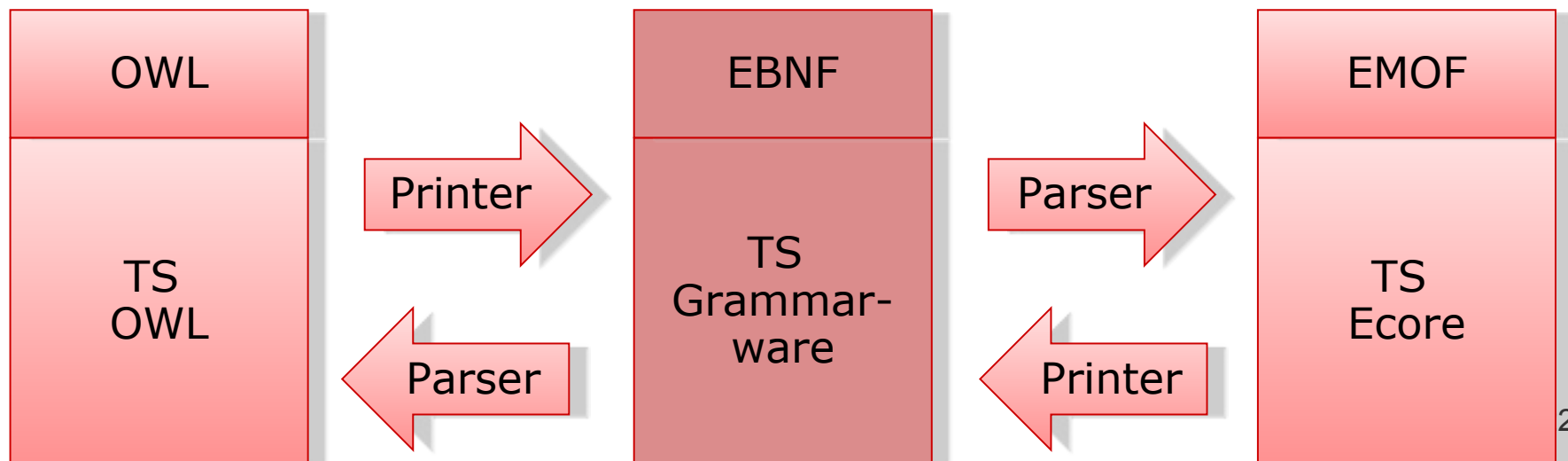


# Exchange Formats use Normative Concrete Syntax

- ▶ **Data Connection (Datenverbindung)** between repositories relies on a *semantic relationship of the data*
  - Identical M2-Metamodel
  - Metamodels can be mapped isomorphically (1:1) (**language mapping**)
  - Metamodels can be mapped homomorphically (n:m, n:1), e.g., language A is a subset of language B or vice versa
- ▶ Exchange format are text-based with a **normative concrete syntax**, because the syntax is normed (standardized) and not user-centered
  - Grammarware, XMLWare are the most popular technical spaces
  - From the language mappings, parsers and prettyprinters are generated

# Transformative TS-Bridges with Concrete Syntax

- ▶ A **transformative Technical-Space-Bridge** (TS-Bridge, TS bridge) offers
  - An exchange format in normative concrete syntax (e.g., via TS Grammarware)
  - A generation technique for printers and parsers
- ▶ Techniques for normative concrete Syntax
  - Text: EMFText: normative concrete syntax for Ecore/EMOF
  - Text: Xtext: normative concrete syntax for Ecore/EMOF
  - CDIF: normative concrete syntax für ERD
  - JSON: text-based normative concrete syntax



# Exchange Format CDIF (CASE Data Interchange Format)

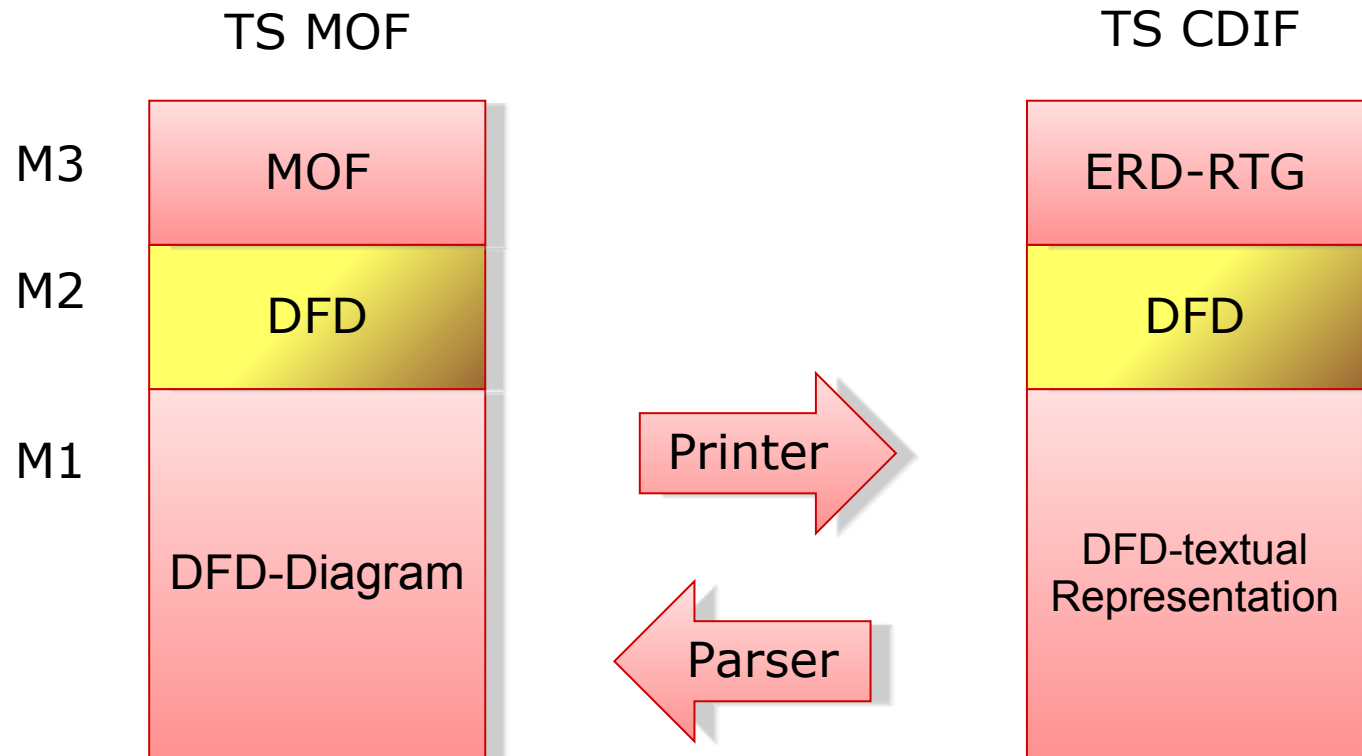
## Example: Specification of DFD

- ▶ CDIF is a historic exchange format for CASE tools based on metalanguage ERD
- ▶ The standard CDIF uses RTG for the definition of types, a textual notation of ERD (ERD-Text)
- ▶ Example: Specification of DFD in ERD-RDT (keywords in boldface, defined non-terminals in typewriter, used non-terminals in italics):

```
# Schema definition of Data-Flow Diagrams
obj_dfd      (dataFlowDiagram dfd_title {dfd_element} )
dfd_title    (dfdTitle @dfd_title_id dfd_title_name )...
dfd_element  dfd_bubble | dfd_store | dfd_term | dfd_tb |
              dfd_csc | dfd_flow
dfd_bubble   (process pt pt @process_id process_name
              inst_num [process_type] )
@process_id  (processID string )
process_name (processName string )
process_type (processType string )
dfd_store    (store pt pt store_name inst_num )
store_name   (storeName string )
```

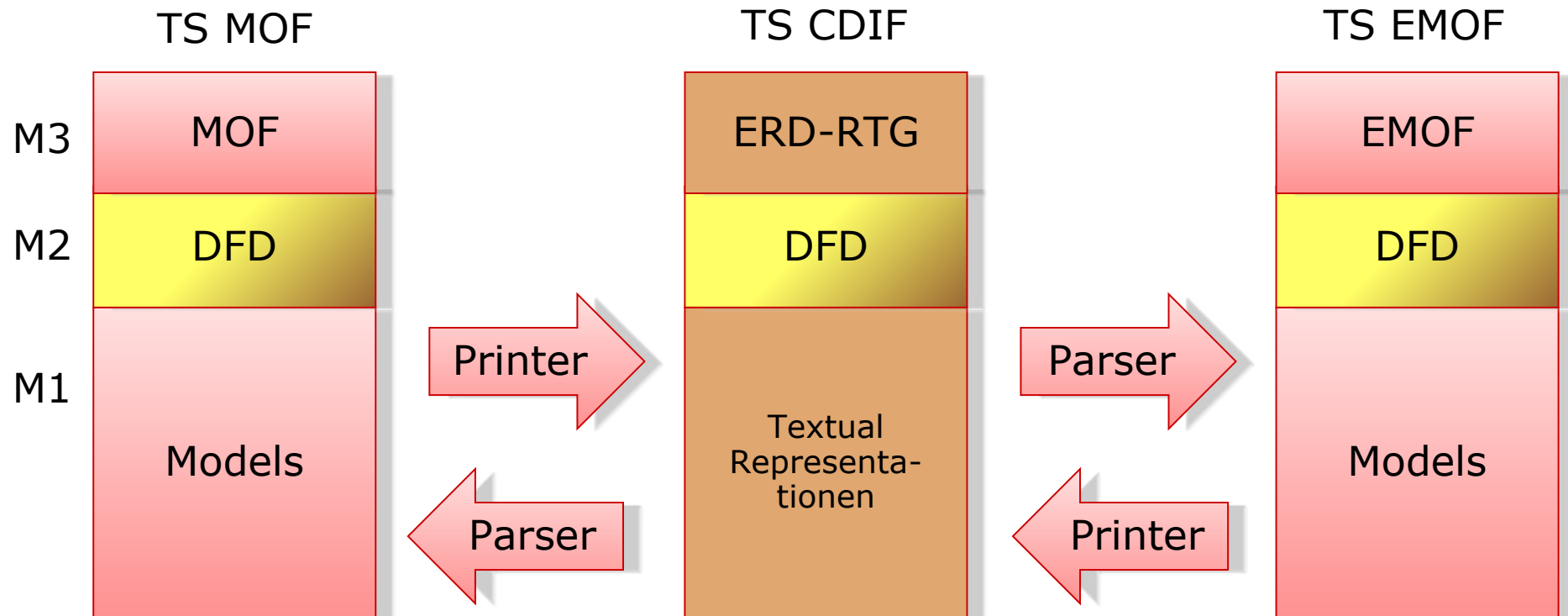
# Exchange Format CDIF

- ▶ CDIF defines a normative textual syntax für ERD (ERD-RTG)



# Transformative TS-Bridges via CDIF

- ▶ TS-Bridges (via CDIF) generate parser und printer
- ▶ Here: TS MOF to EMOF



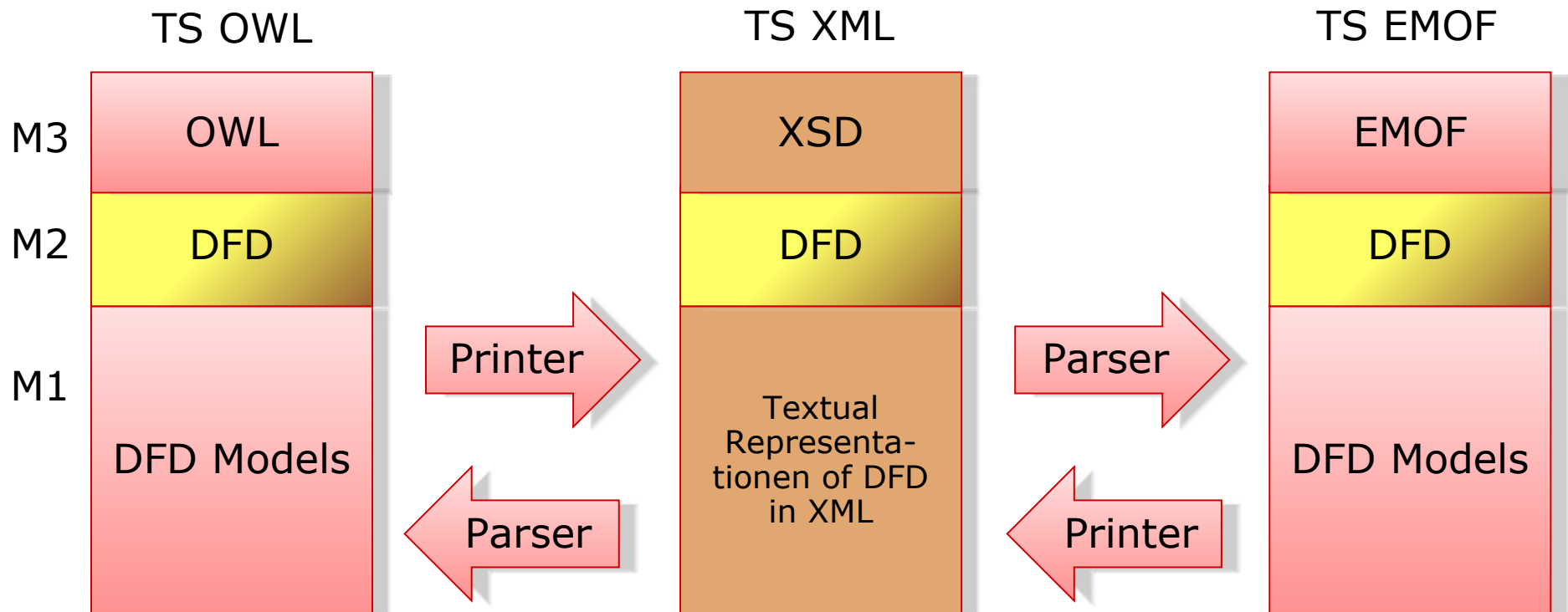
## 53.3.2 Transformation Bridges between Technical Spaces

A transformation bridge serves for data exchange between tools, also in different TS



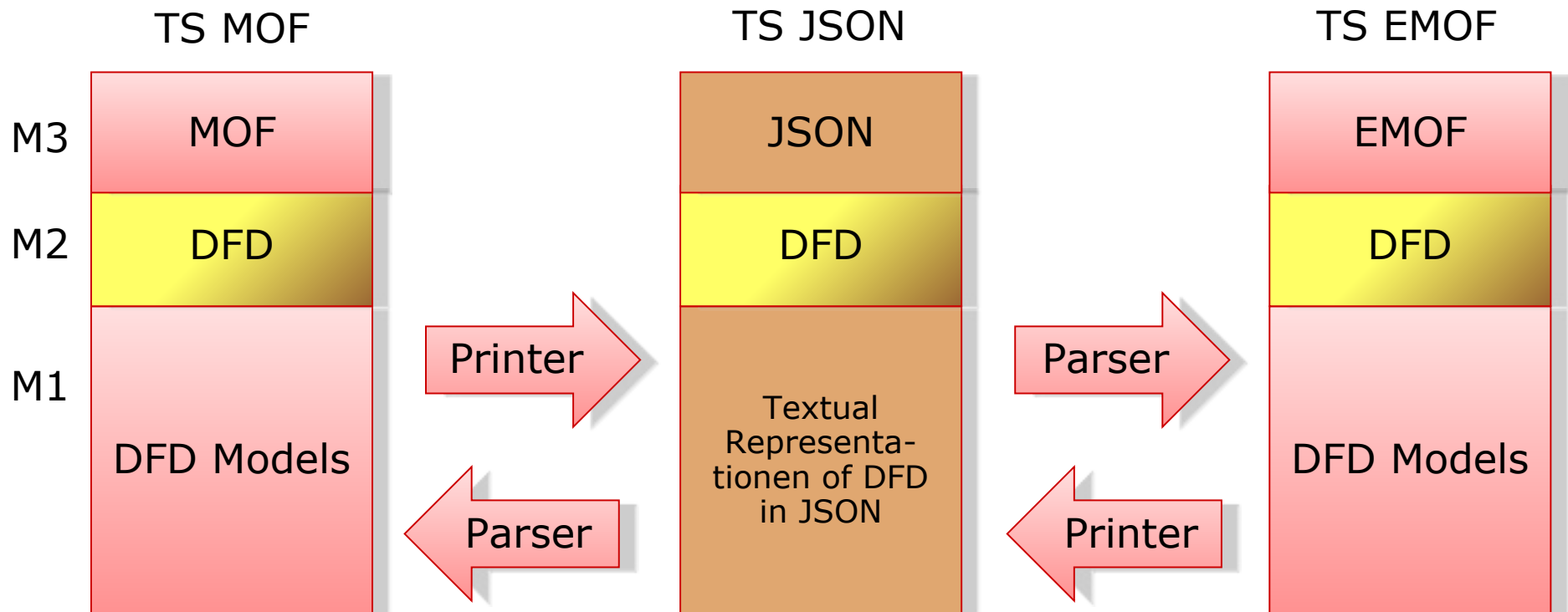
# Transformative TS-Bridges via XML

- ▶ XML is a normalized concrete syntax
  - Again, because of indeterministic spanning trees, a linearized normalized concrete syntax is possible
- ▶ However, good for exchange!



# Transformative TS-Bridges with JSON

- ▶ JSON (Java Script Object Notation) has established as simple exchange format for record trees (attributed trees) <http://www.json.org/>  
<http://www.ietf.org/rfc/rfc4627.txt?number=4627>
- ▶ Basically, it is like XML, but better readable





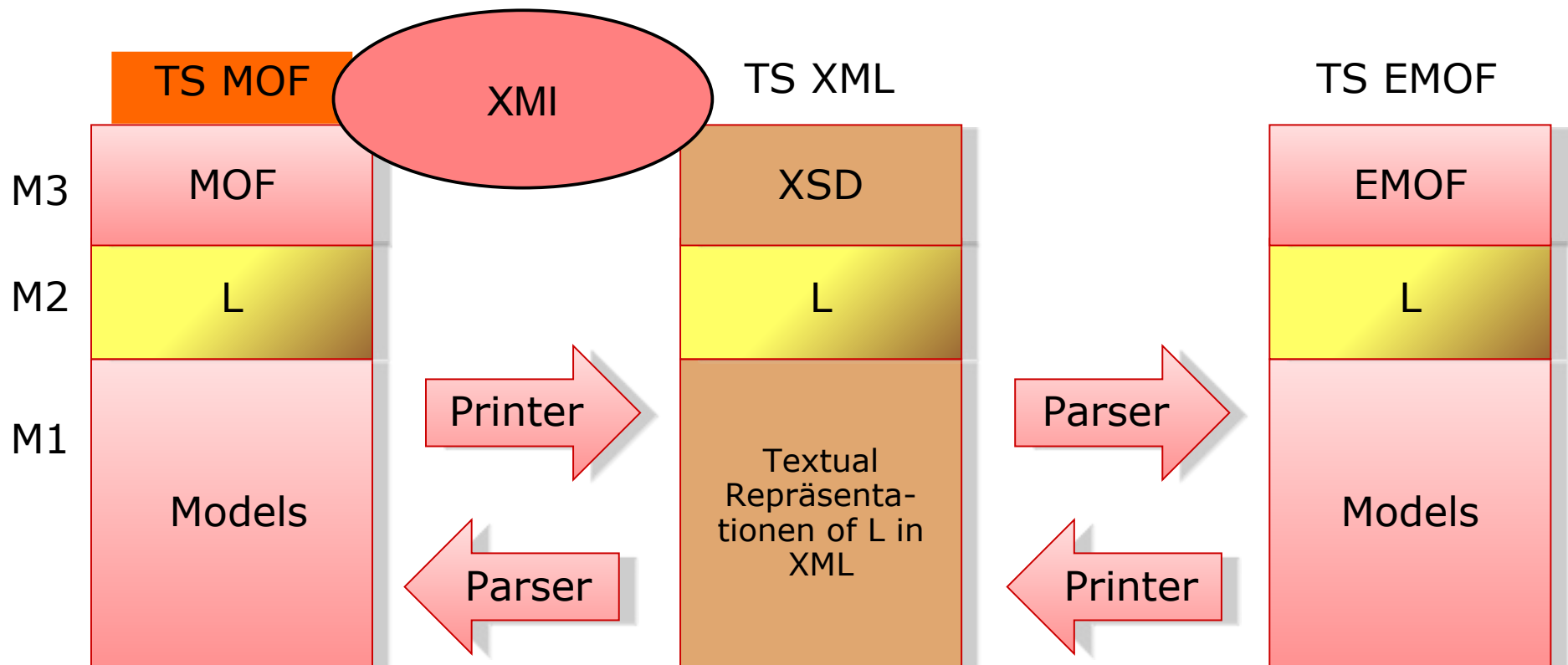
# Exchange Format XMI

## XML Metadata Interchange Format

- ▶ **XML Metadata Interchange (XMI)** is an OMG-Standard for an exchange format
  - Version 2.1 (formal/2005-09-01)
  - Metalanguage MOF
  - generic „Stream“ format
- ▶ Problem:
  - Graph-based models must determine a spanning tree (for the XML link tree)
  - There are several spanning trees (Indeterminism)
  - No full compatibility between tools!

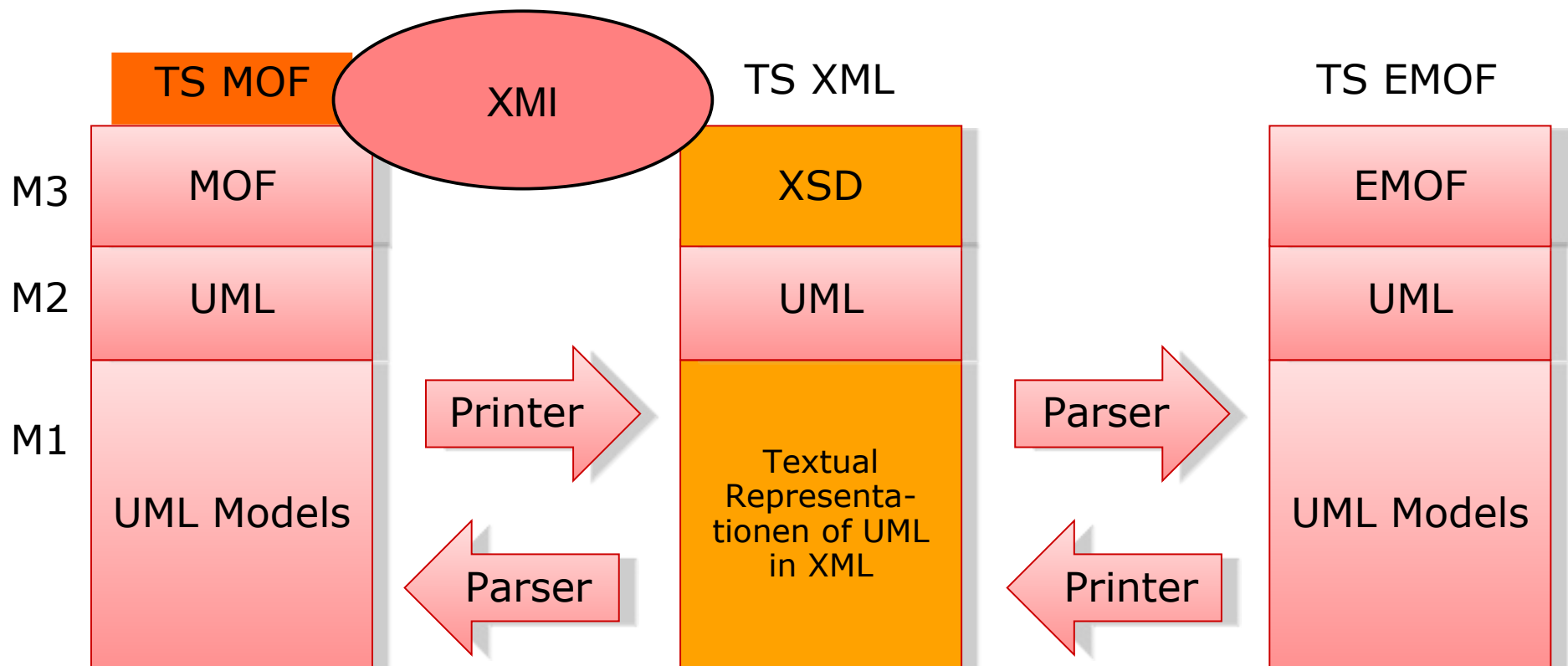
# XMI: Transformative TS-Bridge

XMI is a TS-Bridge between the TS MOF and other TS via XSD/XML



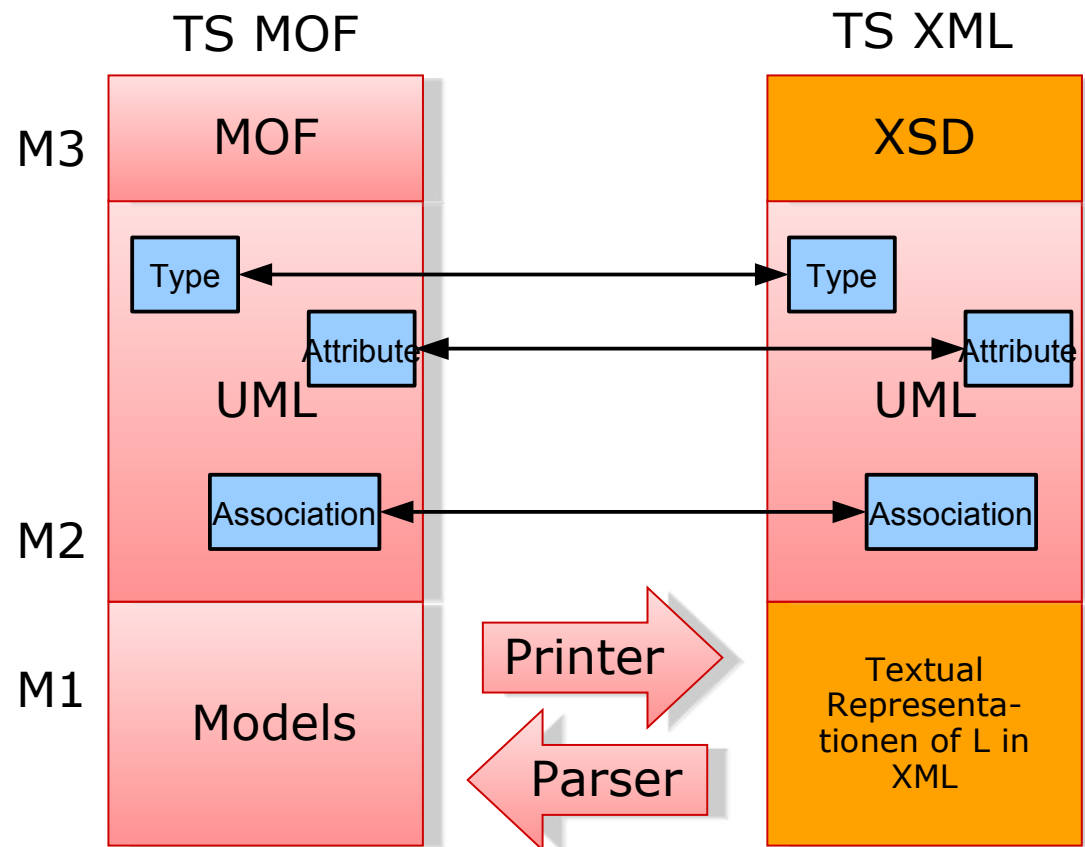
# XMI: Transformative TS-Bridge for UML

- ▶ Often, XMI is only used for UML. Then, XMI is an UML-Bridge



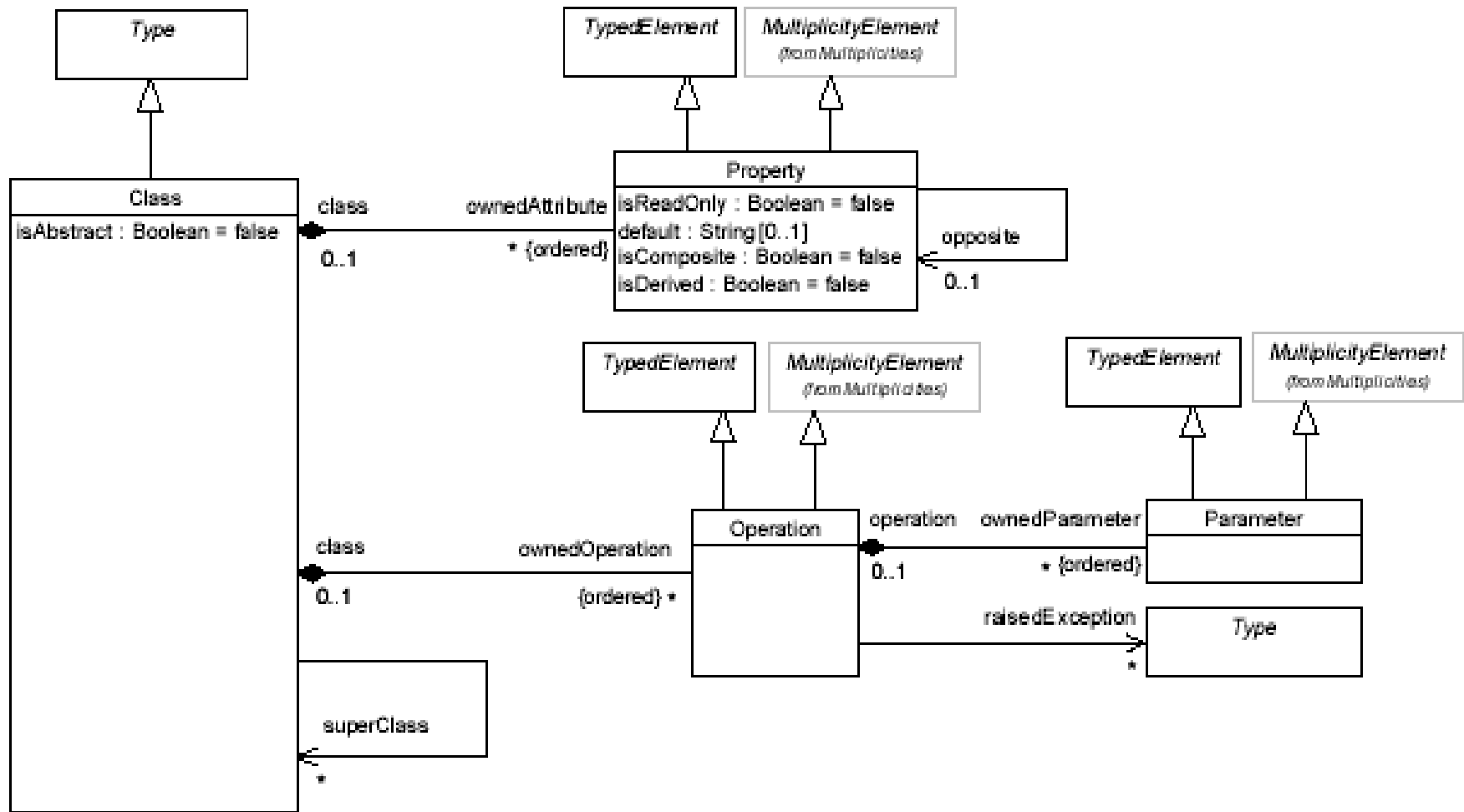
# Relation MOF – UML: XMI Language Mappings

- ▶ XMI has as a basis the UML metamodel specified both in MOF und XSD
  - Between these metamodel a **bidirectional, isomorphic language mapping** is given
  - Printer and parser are generated from this mapping



# Remember: Classes and Properties in UML-Core

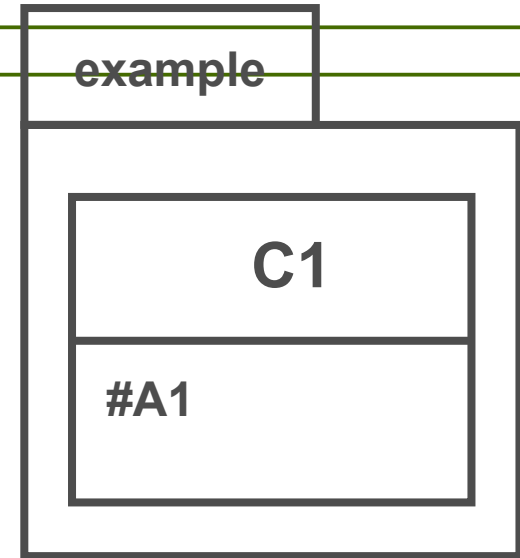
## Metamodel for Class and Property



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

# Example of an XMI-Instance: Coding of an UML-Class

```
<?xml version = „2.0“?>
<!DOCTYPE XMI SYSTEM "uml.dtd">
<XMI xmi.version=„2.0“>
<XMI.Header>
  <XMI.Metamodel name=„UML“ href=„UML.xml“/>
  <XMI.Model name=„example“ href=„example.xml“/>
</XMI.Header>
<XMI.Content>
<Core.Basic.NamedElement.name>example</Core.Basic.NamedElement.name>
  <Core.Basic.Class>
    <Core.Basic.NamedElement.name>C1</Core.Basic.NamedElement.name>
    <Core.Basic.feature>
      <Core.Basic.Property>
        <Core.Basic.NamedElement.name>A1</Core.Basic.NamedElement.name>
        <Core.Sasic.NamedElement.visibility xmi.value=“protected“/>
      </Core.Basic.Property>
      [<Core.Basic.Operation> ... </Core.Basic.Operation>]
    </Core.Basic.feature>
  </Core.Basic.Class>
</XMI.Content>
</XMI>
```



UML Metaclasses

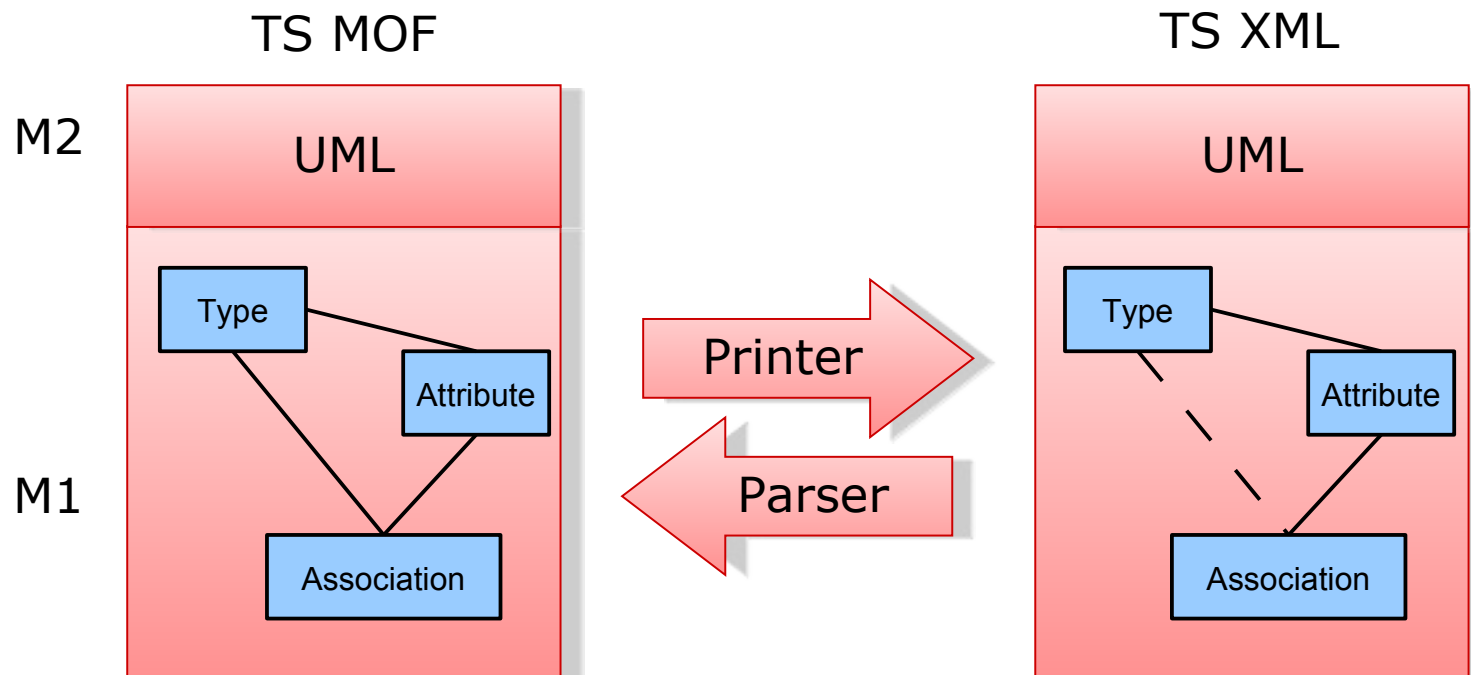


(adopted from: [www.jeckle.de/xmi\\_ex1.htm](http://www.jeckle.de/xmi_ex1.htm))



# Problem: Normative Spanning Tree for Graph Models

- ▶ UML and MOF are graph-based, while XML is based on link trees
- ▶ XML must resolve some links as name references (i.e., revert name analysis)
  - For the UML or MOF-Model, a spanning tree must be found (e.g., along aggregations)
  - All links not in this spanning tree are represented by name references (secondary links), but **not in the XML tree**
- ▶ Spanning trees are indeterministic. Thus different linearizations for one graph model possible



## 53.4 Transformation Bridges between different Technical Spaces



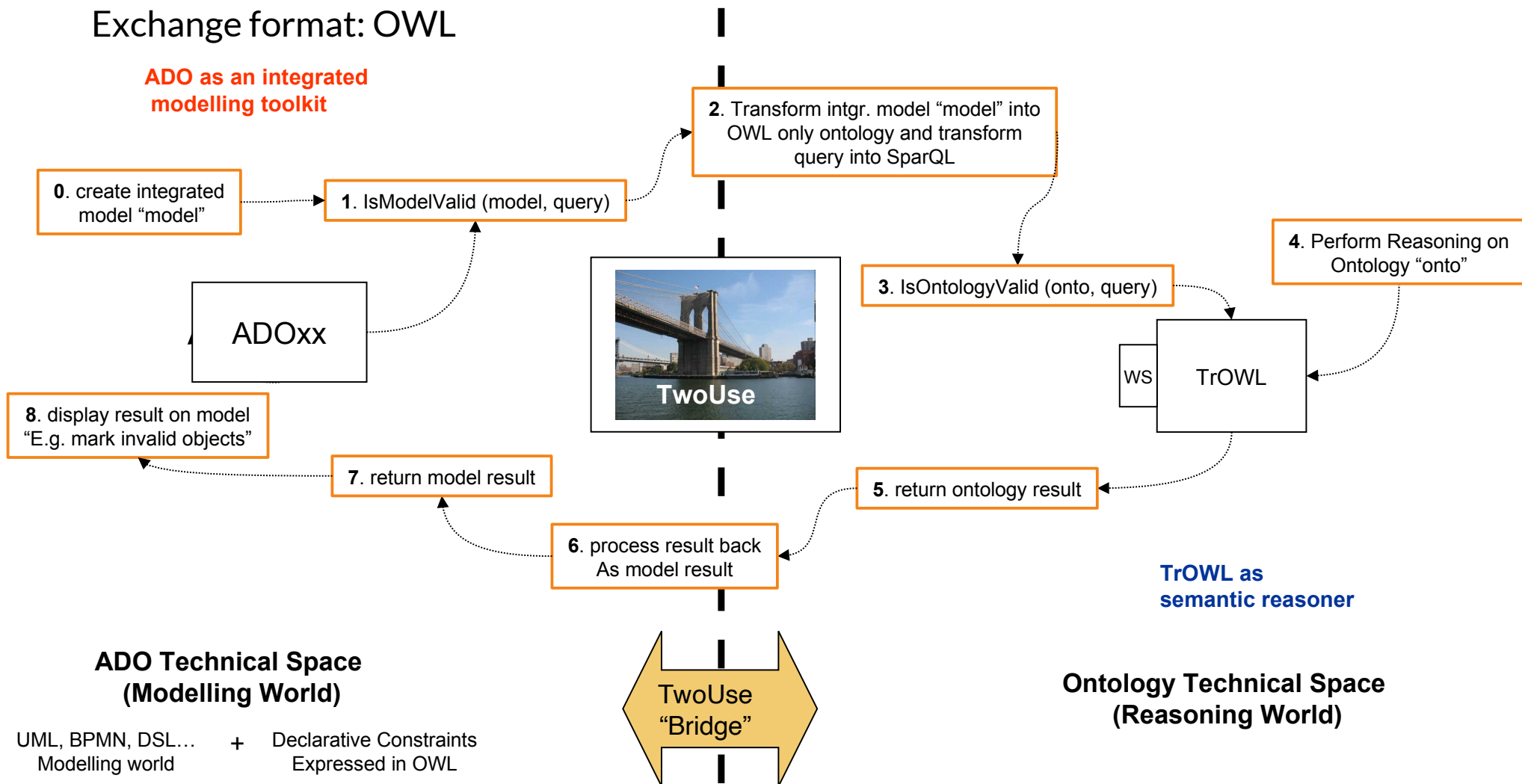


# Example: Transformation Bridge Between ADO und OWL

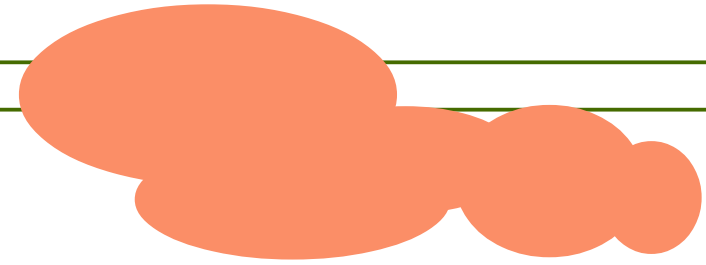
TwoUse (U Koblenz) is a transformation bridge between TS ADO (BOC Wien) and TrOWL (OWL, Uni Aberdeen)

Exchange format: OWL

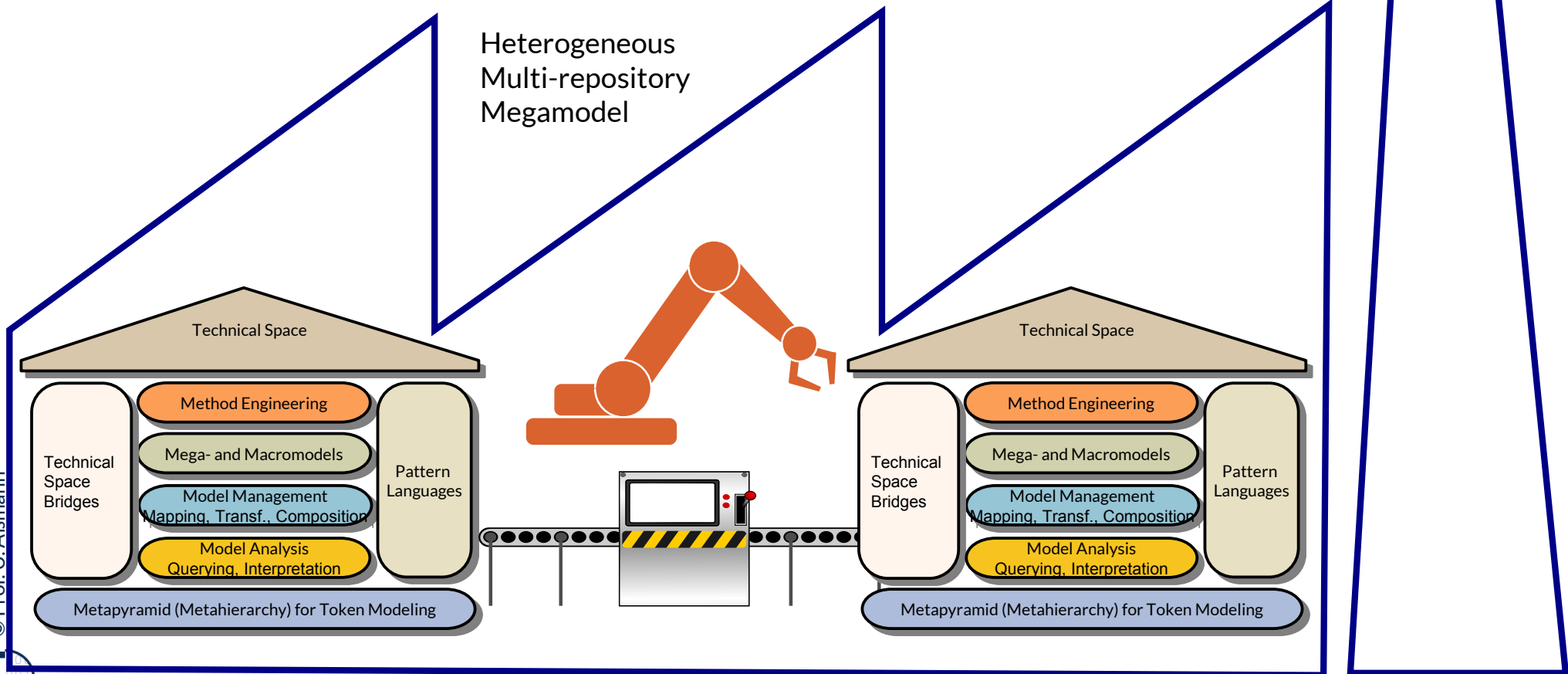
ADO as an integrated modelling toolkit



# Q13: A Software Factory's Heart: the Multi-TS Megamodel



## Software Factory



# What did we learn?

- ▶ Tools can be integrated via
  - Repository integration (data sharing)
  - Stream-based exchange
  - Datenfluss-gesteuerte
- ▶ Software Factories (Software MDSD tools, System Engineering tools) are composed from simpler modeling tools *and their materials*
- ▶ This notion of “software factory” is due to Prof. Hartmut Fritzsche.

# The End

- ▶ Why is data sharing the fastest way to integrate tools?
- ▶ Explain different forms of language mappings. What is mapped to each other?
  - What is an isomorphic mapping? A homomorphic mapping?
- ▶ Compare JSON with XML. What is different, what is similar?
- ▶ Explain, why a tree-based exchange format such as XML, has advantages over EBNF based exchange formats.
- ▶ Explain, why XML is not perfect as exchange format.

# 53.A.1 Beispiel einer Referenzarchitektur für Werkzeug- Umgebungen: Das ECMA Referenzmodell für SEU

.. Der ECMA-Toaster



DRESDEN  
concept  
Exzellenz aus  
Wissenschaft  
und Kultur

- ▶ Weltweite Normierung der Informationstechnologie und Nachrichtentechnik
  - Mehr als 365 ECMA-Standards
  - 2/3 sind als internationale Standards und/oder technische Reports angenommen worden.
  
- ▶ Ziele:
  - Zusammenarbeit mit nationalen, europäischen und internationalen Normierungsorganisationen über die Standardisierung of Kommunikationstechnologien (ICT) und Verbraucherelektronik (CER).
  - korrekten Gebrauch of Standards anregen und kontrollieren.
  - Veröffentlichung of Standards und technischer Reports, Unterstützung ihrer Verbreitung auch in elektronischer Form
  
- ▶ ECMA hat u. a. folgende Technischen Ausschüsse:
  - TC 32: Kommunikation, Netze und Systemverbindungen
  - TC 39: Programmieren und Script-Sprachen
  - TC 43: Universal 3D (U3D)
  - TC 12: Sicherheit

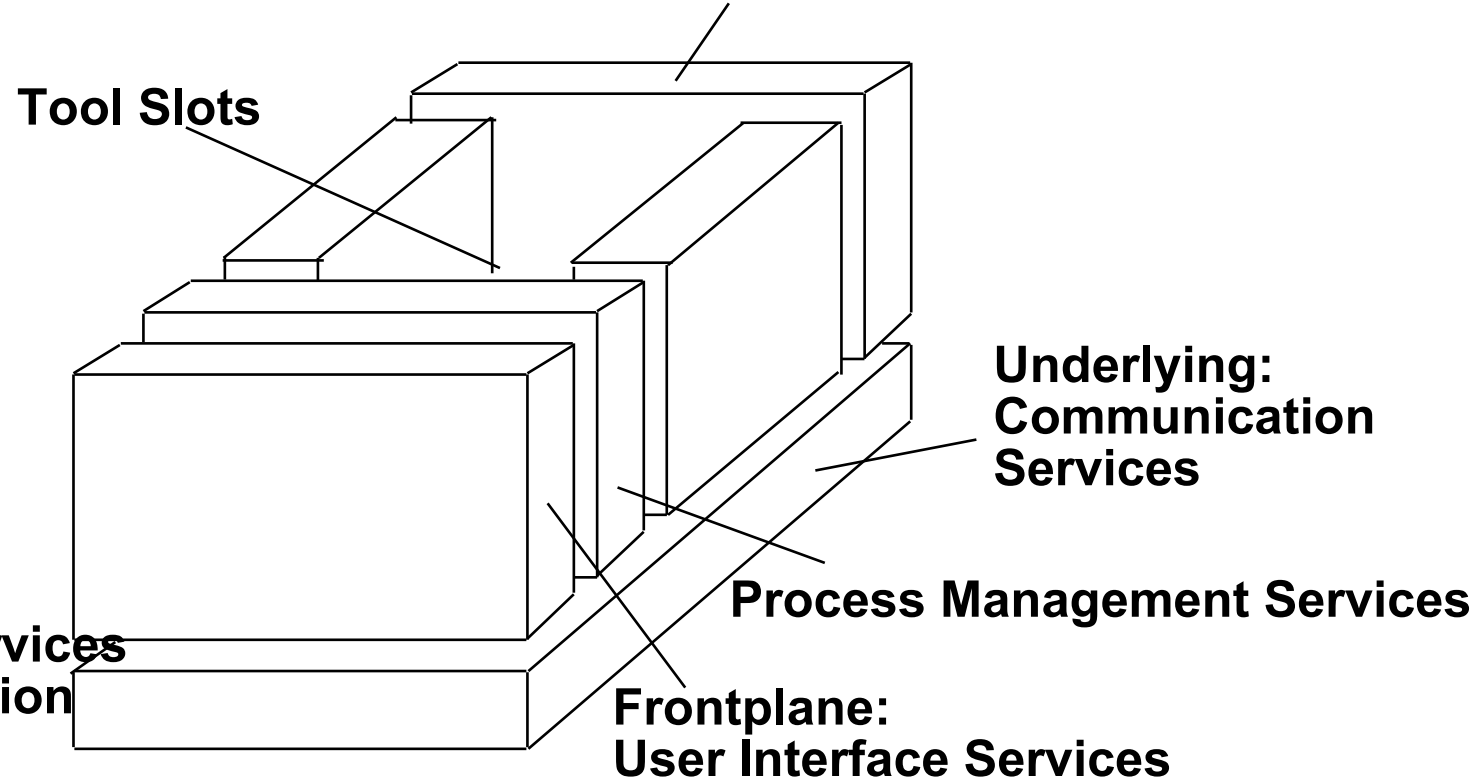
Quelle: <http://www.ecma-international.org/>



# ECMA-Referenzmodell („ECMA Toaster“)

- ▶ Der ECMA Toaster nutzt eine Service-orientierte Architektur (SOA), kann also verteilt sein
- ▶ Seine Dienste sind mehr oder weniger in jeder SEU vorhanden

**Backplane: Object Management Services (Repository)**



**Quelle:** ECMA, Reference Model for Frameworks of Software Engineering Environments, Technical Report 55, 3rd Edition, Juni 1993

<http://www.ecma-international.org/publications/files/ECMA-TR/TR-055.pdf>

# Sichten auf Dienste des ECMA-Referenzmodells

4.4

Model-Driven Software Development in Technical Spaces (MOST)

<b>externe Sicht</b>	beWritet die externe Nutzung des Dienstes durch andere Dienste bzw. durch Werkzeuge od. den Nutzer
<b>konzeptionelle Sicht</b>	beWritet die Semantik (Funktionalität), ohne Implementierung oder Verfügbarkeit für den Nutzer zu beachten
<b>interne Sicht</b>	beWritet die spezifische implementation (Betriebssystem, andere Tools) für die Dienstauführung
<b>Sicht auf Operationen</b>	führt die Menge of Operationen eines Dienstes auf, die zur Erreichung der Funktionalität (konzeptionelle Sicht) benötigt wird
<b>Sicht auf Typen</b>	beWritet das Datenmodell des Dienstes einschließlich der Informationen über dieses Datenmodell (Metamodell)
<b>Sicht auf Regeln</b>	beWritet Regelmenge, die mögliche Menge der Operationen (Sicht auf Operat.) und annehmbare Zustände der Daten definiert
<b>Sicht auf Dienst-zu-Dienst-Beziehungen</b>	anhand typischer Beispiele wird gezeigt, wie ein Dienst mit einem anderen kommunizieren kann



# ECMA Benutzungsschnittstelle

## USER INTERFACE SERVICES

ECMA stellt eine Reihe of UI-Diensten (services, Schnittstellen) zur Verfügung, die zur Gewährleistung der Benutzungsschnittstellen-Integration und der konsistenten Bedienung of Anwendungen benötigt werden.

- ▶ **User Interface Metadata Service** dient der Definition, Steuerung und Handhabung of Schemata zur Unterstützung der Benutzungsschnittstelle
- ▶ **Session Service** gewährleistet volle Funktion, unabhängig of Nutzer oder Hardwareumgebung
- ▶ **Security Service** gewährleistet Sicherheitsanforderungen, wie Nutzerauthentifikation, Dunkelsteuerung unbenutzbarer Funktionen u. a.
- ▶ **Profile Service** gestattet mögliche Veränderungen, wie z. B. Systemeinstellungen (Farbe), Menge zu verwendender Werkzeuge u.a.
- ▶ **User Interface Name and Location Service** stellt fest, wer sich wo zum System Zutritt verschafft hat (logging in)
- ▶ **Internationalization Service** stellt nationale Besonderheiten (z. B. Zeichensätze, Datumsformate) zum Zugriff auf das Rechnersystem bereit und gewährleistet ihre Konvertierbarkeit zwischen unterschiedlichen Ländern.

# ECMA Prozessverwaltung

## Process Management Services

Die **Process Management Services** definieren und organisieren die Ausführung aller Werkzeuge:

- ▶ **Process Definition Service** definiert aus den im Repository gespeicherten Projektdaten die Bedingungen zur Ausführung neuer Aktivitäten
- ▶ **Process Control Service** steuert Prozesse im allgemeinen auf dem Niveau eines bestimmten Vorgehensmodells zur Beeinflussung anderer Prozesse, wodurch der Nutzer entsprechend seiner role unterstützt wird
- ▶ **Process Enactment Service** unterstützt und bietet Möglichkeiten der Steuerung vorher definierter Aktivitäten (Analyse-, Hilfe-, Simulationsfunktionen)
- ▶ **Process Visibility and Scoping Service** legt zum Zwecke der Kommunikation und Koordination Sichtbarkeit, Zeitpunkt und Ort of Aktivitätsteilen für andere Aktivitäten fest
- ▶ **Process State Service** sammelt und wertet Ereignisse of Aktivitäten während ihrer Ausführung aus, die für die Koordination und spätere Entscheidungsplanung anderer Projektaktivitäten notwendig sind
- ▶ **Process Ressource Management Service** verwaltet das Festlegen of Ressourcen zur Ausführung definierter Prozesse für Werkzeuge und Nutzer

# ECMA Werkzeugdienste (Tool Services)

- ▶ Werkzeuge können in den ECMA Toaster eingesteckt werden bzw. ausgetauscht werden
  - Die gesamte Toolmenge soll nach außen hin durch eine **einzige Schnittstelle** repräsentiert werden.
  - Die Menge der Tools soll den **Softwareentwicklungsprozess vollständig abdecken**.
- ▶ Die Werkzeuge kommunizieren über den *Communication Service* oder *Object Management Service*
- ▶ Wenn Werkzeuge in die SEU **integriert** werden, ist zu prüfen, ob sie Frameworkdienste bieten.
  - Wenn ja, ist zu entscheiden, diese Dienste weiterhin separat zu ermöglichen oder doch auf die Dienste des SEU-Frameworks überzugehen.
- ▶ Um für alle Werkzeuge ein **gleiches Erscheinungsbild** zu erhalten, müssen Basisdienste und Dienste eines SEU-Framework nach standardisierten Vorschriften realisiert werden.

# ECMA Repository (Repositorium)

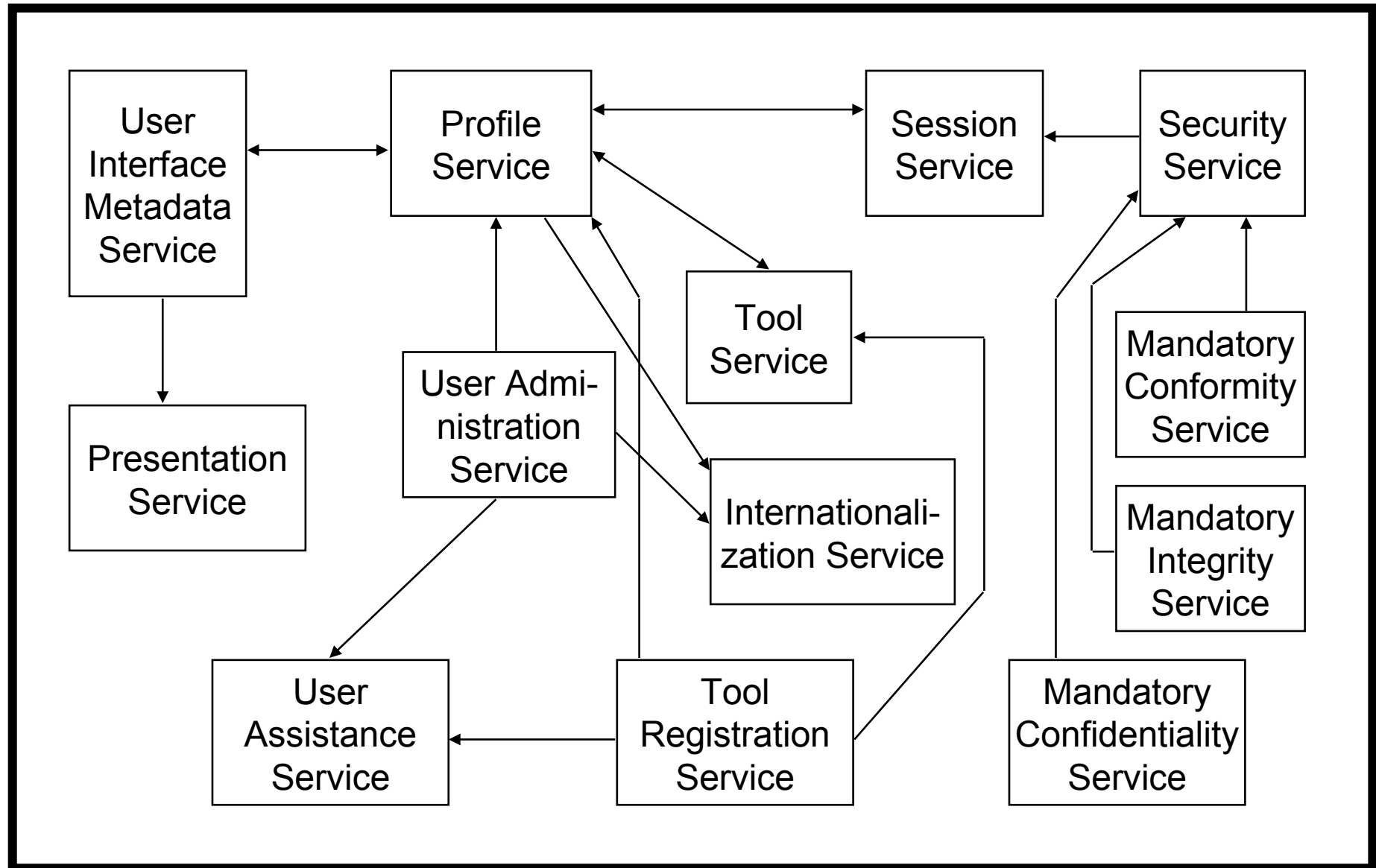
## Object Management Services

Die **Object Management Services** dienen der Definition, der Speicherung, der Handhabung, der Verwaltung und dem Zugriff auf Objekte/Dokumente (Dateien, Programme, Bibliotheken, Projekte, Geräte usw.):

- ▶ **Metadata Service** gestattet die Definition, Steuerung und Handhabung of Schemata und sonstigen Metadaten (Reflektion, Introspektion)
- ▶ **Data Storage and Persistence Service** unterstützt das persistente Anlegen und Speichern of Objekten nach der MetadatenbeWriteung
- ▶ **Relationship Service** erlaubt die Definition und Handhabung of Beziehungen zwischen Objekten und Objekttypen.
- ▶ **Derivation Service** (Bau-Management) legt die Wege fest, welche Objekte of anderen abgeleitet sind (z. B. Generation Objektcode aus Quellcode ähnlich Make-Files).
- ▶ **Concurrency Service** sichert den gleichzeitigen Zugriff für Nutzer und Prozesse zum gleichen Objekt der Repository (Transaktionen, Synchronisation)
- ▶ **Version Service** unterstützt das Anlegen, Zugreifen und Verbinden of Objekt- und Konfigurationsversionen der SEU.

- ▶ Die **Policy Enforcement Services** sind für Sicherheitsaspekte, Integritätsüberwachung und Verwaltungsfunktionen zuständig:
  - **Mandatory Confidentiality Service** legt auf eigenen Wunsch Zugriffsrechte und Sicherheitsanforderungen (geheim, str. geheim) für Objektinformationen fest.
  - **Mandatory Integrity Service** gestatten den Schutz of SEU-Objekten vor unauthorisierten Änderungen, z. B. Eintragung "read only" usw.
  - **Mandatory Conformity Service** überwacht alle Aktivitäten zur Einhaltung of Konformitätsanforderungen, die z.B. aus der Qualitätssicherung stammen.
- ▶ Die **Communication Services** dienen der Kommunikation zwischen Werkzeugen, zwischen Basisdiensten sowie Diensten verschiedener SEU.
  - Basismechanismen sind Nachrichten (Punkt-zu-Punkt, Broadcast, Multicast), Betriebssystemaufrufe, Remote Procedure Calls und der Datenaustausch
- ▶ Die **Framework Administration** und **Configuration Services** übernehmen die sorgfältige Installation der SEU und ihre laufende Pflege u.a.:
  - **Tool Registration Service** übernimmt das An- und Abmelden neuer Tools.
  - **User Administration Service** unterstützt das An- und Abmelden of Nutzern zum System<sup>2</sup>

# ECMA Toaster: Abhängigkeiten zwischen Diensten



## 53.A.2 Ein Metamodellgesteuertes Framework zur Werkzeugintegration (PCTE)

Mit eigenem Technikraum und Metasprache PCTE-OBS

<http://ieeexplore.ieee.org/iel3/2107/7595/00313508.pdf?arnumber=313508>

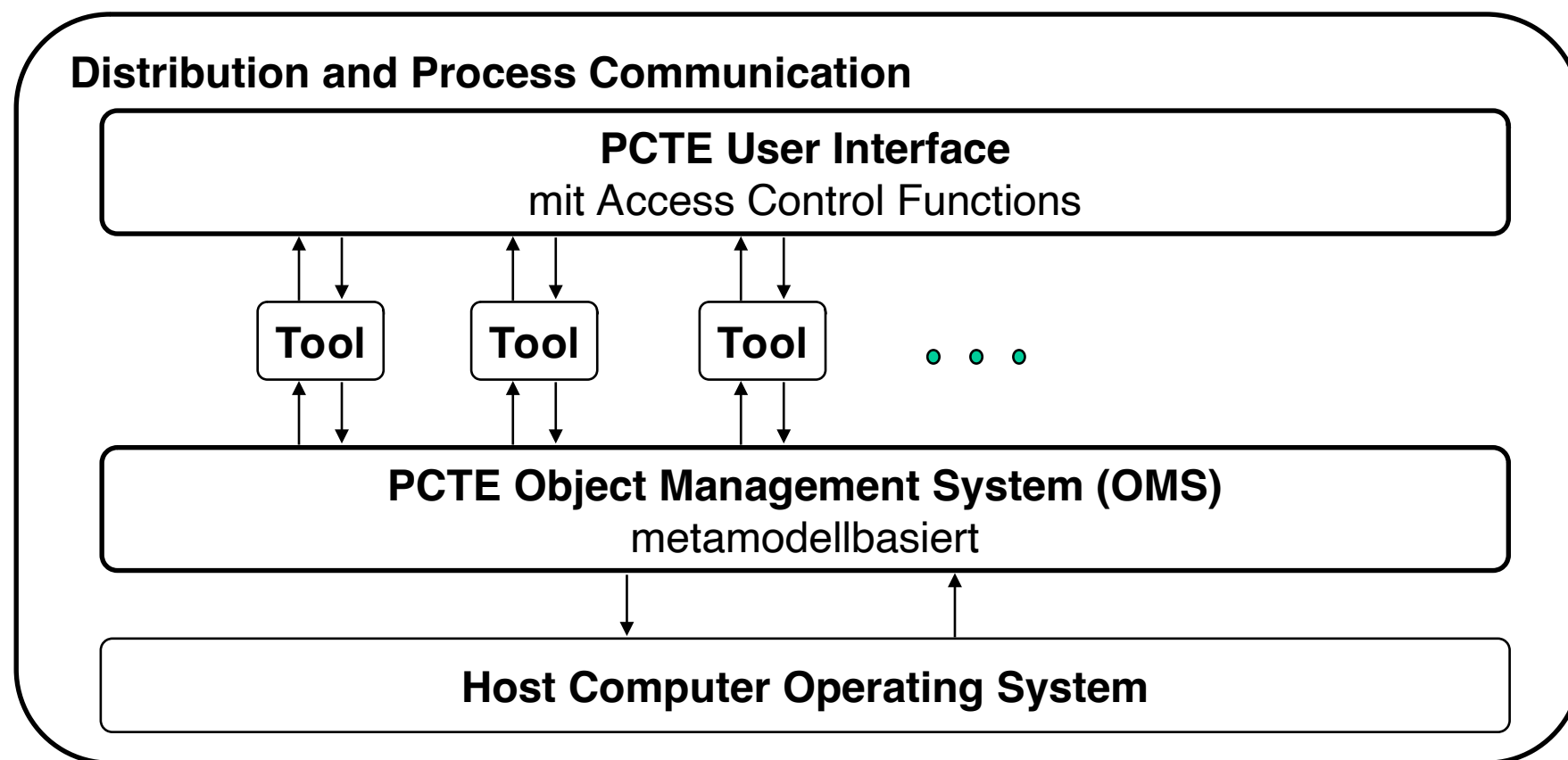
<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.94.8315&rep=rep1&type=pdf>



DRESDEN  
concept  
Exzellenz aus  
Wissenschaft  
und Kultur

# Portable Common Tool Environment (PCTE+, HPCTE)

- ▶ PCTE ist eines der historisch ersten metamodelldgesteuerten Werkzeugintegrationsframeworks
- ▶ PCTE erfüllt den Schnittstellenstandard der ECMA - unterstützt systemunabhängigen Zugriff auf Werkzeuge und Repository





**PCTE** stellt eine Menge hochintegrierter Basisdienste bereit, die eine vielseitige Grundlage für verteilte Software-Entwicklungsumgebungen (SEU) bilden

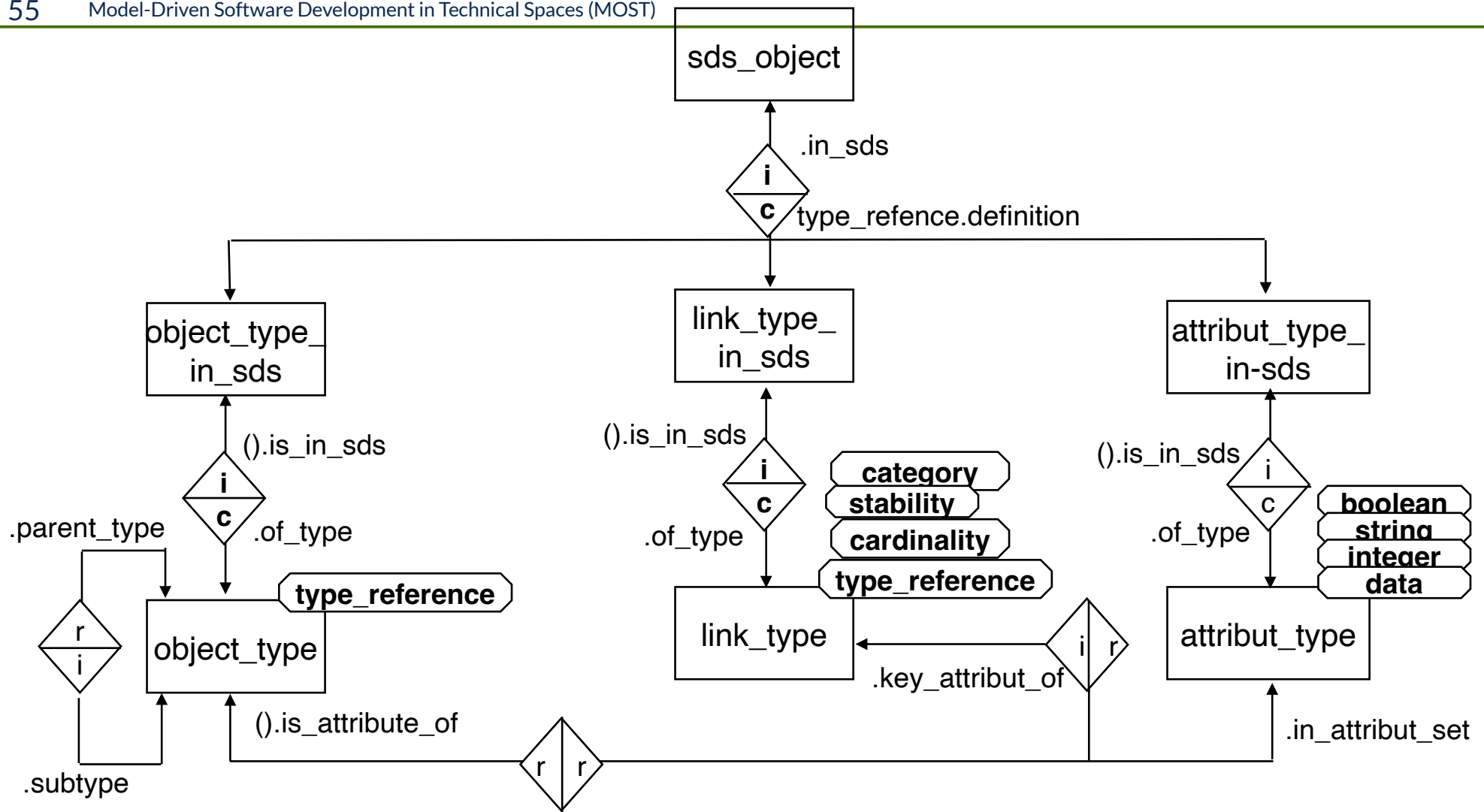
- **verteiltes DBMS** basierend auf dem ERD mit Erweiterungen, wie zusammengesetzte Objekte, Versionen, Mehrfachvererbung, dynamisch kreierte Sichten, eingebettete Transaktionen usw.;
- ein **exklusives Ausführungssystem**, welches Prozeßhierarchien, Vererbung of offenen Files, Prozeßkommunikation über Pipes und Nachrichtenwarteschlangen gestattet. Werkzeuge können als Shell-Skript geschrieben und in mehreren Fenstern unterstützt werden.
- **verteilte Dienste**, d.h. Objektbasis und Prozesse sind transparent verteilt, Replikation of Objekten sowie Schema-Management sind ebenfalls dezentralisiert.
- **erweiterbare Sicherheitsmerkmale**, wie Vertraulichkeit, geschützte Zugriffssteuerung für individuelle Objekte, Revisionsfähigkeit.

**Quelle:** <http://pi.informatik.uni-siegen.de/pi/hpcte/hpcte.html>

# PCTE-OMS-Modell (Object Management System)

- ▶ Das OMS stellt Datentyp- und Datenspeichermöglichkeiten sowie Concurrency-Control-Mechanismen zur Verfügung,
  - definiert statische Informationen, die in der **object base** (Repositoryum aller persi-stenten Daten) gehalten werden,
  - liefert Konzepte für die Softwareentwicklung, wie beispielsweise die (Typ-)Vererbung der objektorientierten Modelle.
- ▶ Das OMS ist metamodel-gesteuert. Es enthält **Typdefinitionen**, die in **Schema Definition Sets (SDS, Metamodellen)** beschrieben werden:
  - **Objekte**: Entitäten, auf denen Operationen der Werkzeuge ausgeführt werden. Instanzen können Dokumente, Textfiles, Quell- oder Objektcode, Task aber auch Geräte und Nutzer sein.
  - **Links (Assoziationen)**: gerichtete Beziehungen zwischen (Ursprungs-) und (Ziel-)Objekt (bidirektional)
  - **Attribute**: beWriteen Objekte und Links näher. Sie enthalten einen bestimmten Wertetyp und können sowohl Schlüssel- als auch normales Attribut sein.
- ▶ Die DDL **PCTE-OMS** ist **geliftet** (selbstreferenzierend, in sich selbst spezifiziert, DDL ist geliftet als Metasprache)

# PCTE-OMS Metasprache ist eine Erweiterung of ERD (Vererbung, Komposition)

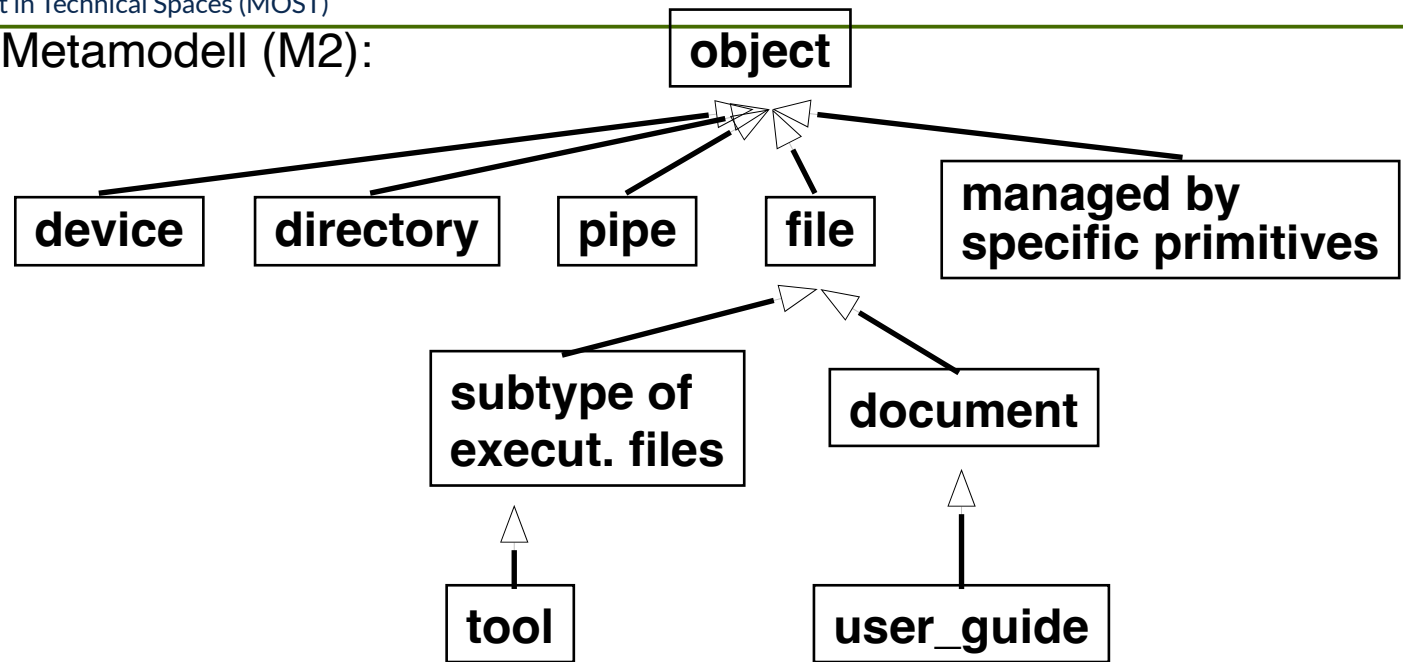


Link-Typ Kategorien: **c** composition  
**r** reference  
**i** implicit  
**s** system implicit,

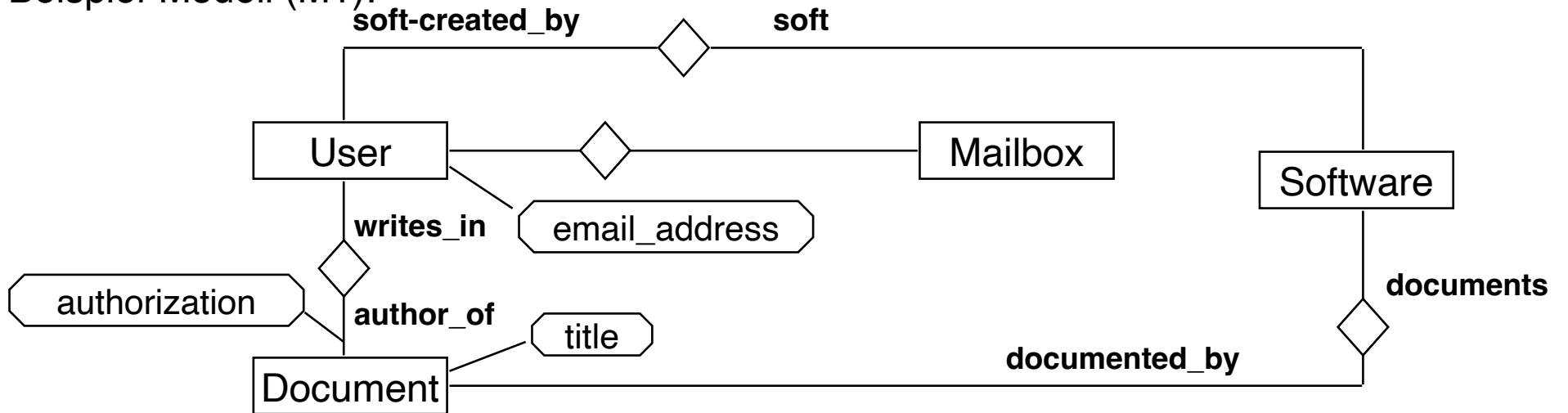
bei Anlegen eines neuen Objekts in Referenz zum existierenden.  
 zwischen Ursprungs- und Zielobjekt  
 kann z.B. reverse link für einen angelegten Link sein  
 automatisch vom System (PCTE-OMS) gesetzt.

# PCTE-Objekt-Strukturen mit erweitertem ERD

PCTE DDL Metamodell (M2):



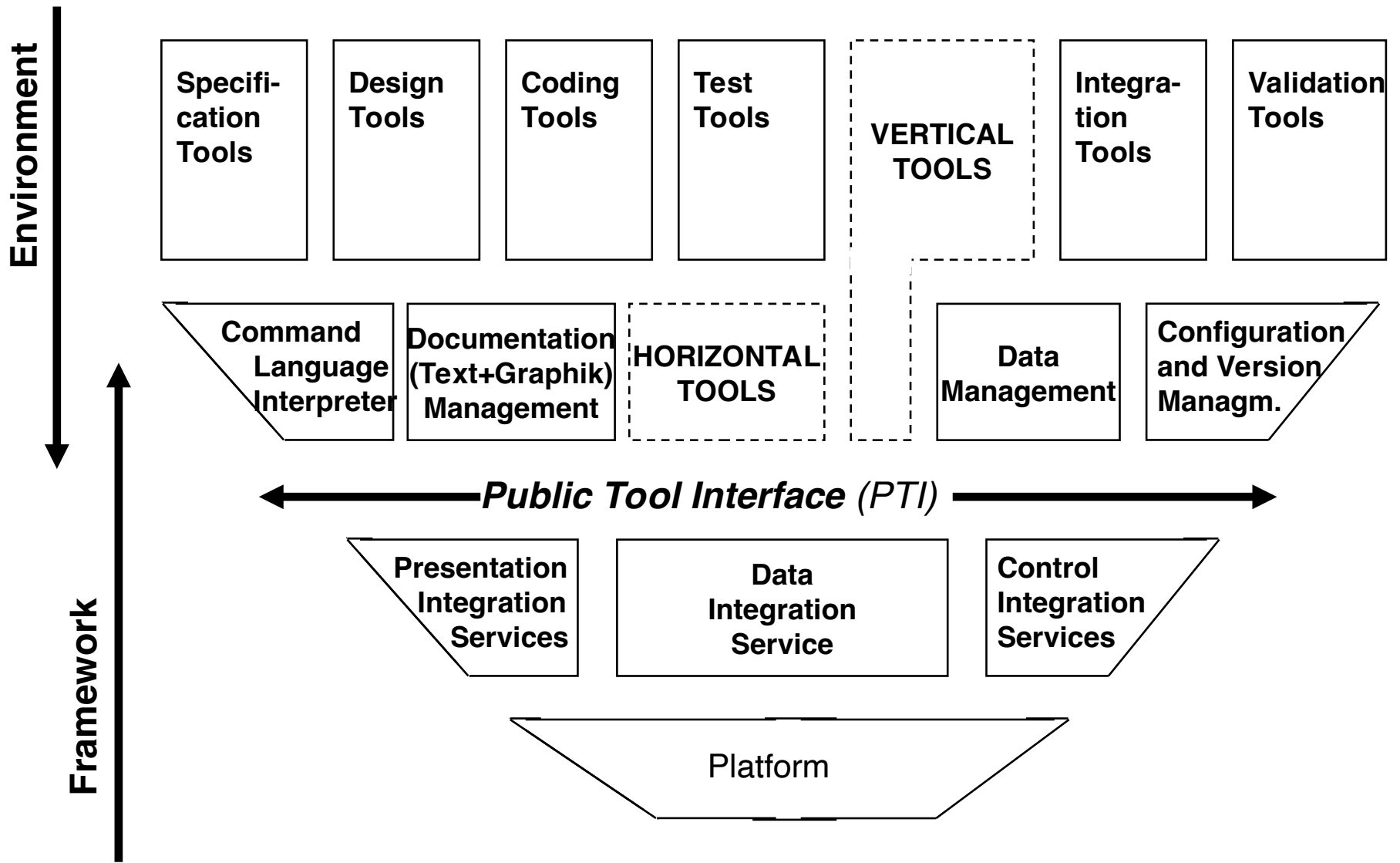
Beispiel-Modell (M1):



# Emeraude PCTE Framework

[http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs\\_all.jsp?arnumber=182066](http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs_all.jsp?arnumber=182066)

<http://www.springerlink.com/content/g111t41326211512/>



# More PCTE Implementations

- ▶ PACT PCTE Implementation
  - Thomas, Ian. Tool integration in the pact environment. In Proceedings of the 11th International Conference on Software Engineering, pages 13-22, May 1989.
- ▶ HPCTE implementation of University of Siegen
  - Java API
  - Supports views on the repository
  - <http://pi.informatik.uni-siegen.de/pi/hpcte/hpcteapps.html>

## 53. Integration of Heterogeneous Tools, Exchange Formats, Language Mappings, and Macromodels

Prof. Dr. Uwe Aßmann

Technische Universität Dresden

Institut für Software- und  
Multimediatechnik

<http://st.inf.tu-dresden.de>

Version 20-0.1, 29.01.22

- 1) Software Factories
- 2) Data Integration
- 3) Exchange Formats
- 4) Appendix
  - 1) ECMA-Referenzmodell
  - 2) Frameworks zur Werkzeug-  
integration (PCTE)



DRESDEN  
concept  
Exzellenz aus  
Wissenschaft  
und Kultur

# References

- ▶ ECMA, Reference Model for Frameworks of Software Engineering Environments, Technical Report 55, 3rd Edition, Juni 1993
  - <http://www.ecma-international.org/publications/files/ECMA-TR/TR-055.pdf>
- ▶ Richard C. Holt, Andreas Schürr, Susan Elliot Sim, and Andreas Winter. GXL: A graph-based standard exchange format for reengineering. Science of Computer Programming, 60(2):149-170, April 2006.
  - <http://www.gupro.de/GXL/Publications/publications.html>



# The Book of the MOST Project (2008-11)



# Motivation

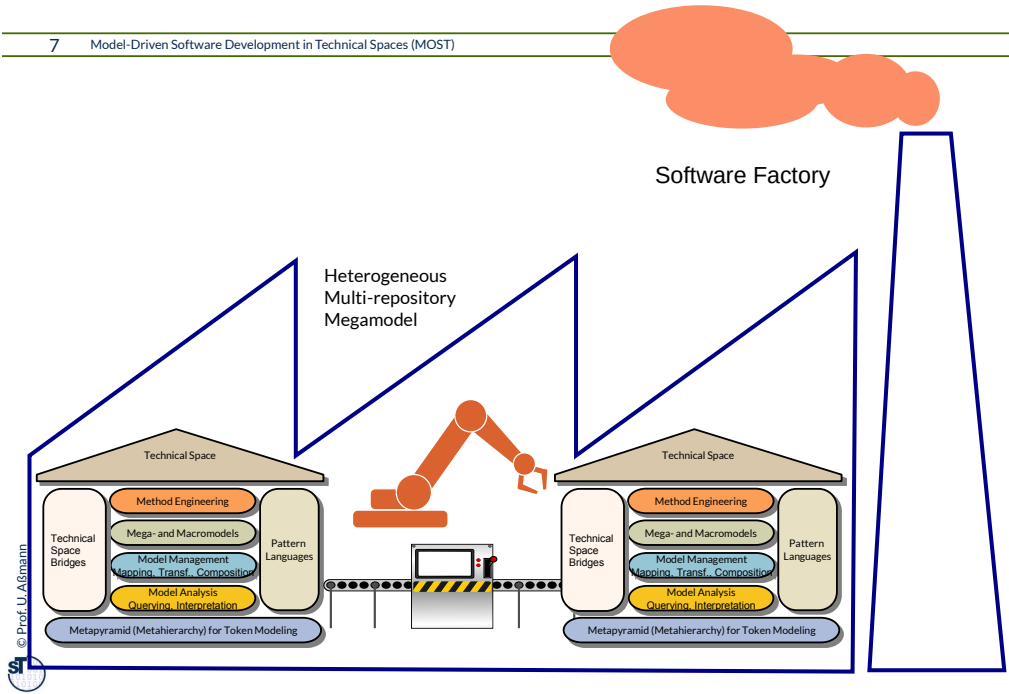
- ▶ Industry assembles thousands of tools for different purposes that have not been designed for each other (*interoperability problem*)
- ▶ Many IDE (MetaCASE and MetaCPSE) live in several technical spaces (heterogeneous software factories)
- ▶ Model-driven software engineering can help somewhat by data connection with model transformation bridges (*model-driven interoperability*)



## 53.1 Software Factories with Heterogeneous Repositories



# Q13: A Software Factory's Heart: the Multi-TS Megamodel



- ▶ A **software factory** is a modeling environment for the production of software product lines.
  - The software factory maintains a set of repositories for models in different languages and connects them to one macromodel:
  - **Mono-repository**: all models of the megamodel in one repository, requiring one technical space
  - **Multi-repository**: models in different repositories
  - **Heterogeneous multi-repository**: models in different repositories, with many technical spaces
- ▶ Software factories are big integrated MDSD environments coupling many tools and materials
  - A **pure software factory** creates software with software
    - Example: UML tool, SysML tool
  - A **systems software factory** creates a system in soft- and hardware (with software)
    - Example: PreeVision, ASCET, Cadence Silicon Compiler
- ▶ Often, multi-repository software factories result from **data connection** of already existing tools (tool integration)



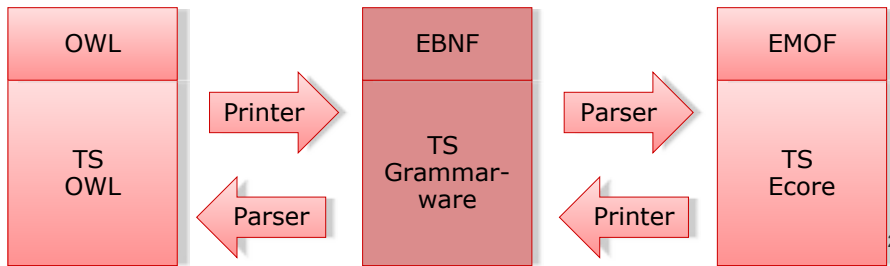
## 53.3 Data Connection with Exchange Formats



- ▶ **Data Connection (Datenverbindung)** between repositories relies on a *semantic relationship of the data*
  - Identical M2-Metamodel
  - Metamodels can be mapped isomorphically (1:1) (**language mapping**)
  - Metamodels can be mapped homomorphically (n:m, n:1), e.g., language A is a subset of language B or vice versa
- ▶ Exchange format are text-based with a **normative concrete syntax**, because the syntax is normed (standardized) and not user-centered
  - Grammarware, XMLWare are the most popular technical spaces
  - From the language mappings, parsers and prettyprinters are generated

# Transformative TS-Bridges with Concrete Syntax

- ▶ A **transformative Technical-Space-Bridge** (TS-Bridge, TS bridge) offers
  - An exchange format in normative concrete syntax (e.g., via TS Grammarware)
  - A generation technique for printers and parsers
- ▶ Techniques for normative concrete Syntax
  - Text: EMFText: normative concrete syntax for Ecore/EMOF
  - Text: Xtext: normative concrete syntax for Ecore/EMOF
  - CDIF: normative concrete syntax für ERD
  - JSON: text-based normative concrete syntax





# Exchange Format CDIF (CASE Data Interchange Format)

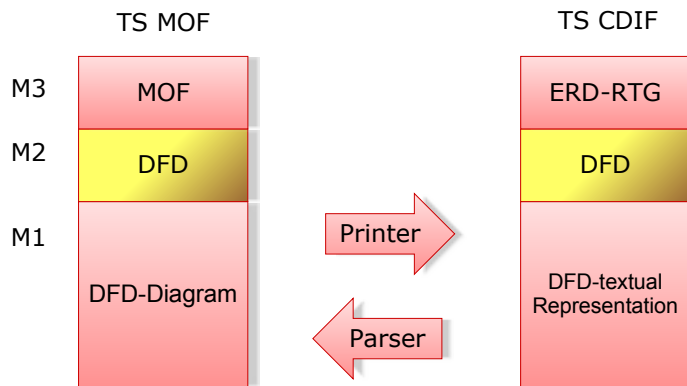
## Example: Specification of DFD

- ▶ CDIF is a historic exchange format for CASE tools based on metalanguage ERD
- ▶ The standard CDIF uses RTG for the definition of types, a textual notation of ERD (ERD-Text)
- ▶ Example: Specification of DFD in ERD-RDT (keywords in boldface, defined non-terminals in typewriter, used non-terminals in italics):

```
# Schema definition of Data-Flow Diagrams
obj_dfd      (dataFlowDiagram dfd_title {dfd_element} )
dfd_title    (dfdTitle @dfd_title_id dfd_title_name )...
dfd_element  (dfd_bubble | dfd_store | dfd_term | dfd_tb |
              dfd_csc | dfd_flow )
dfd_bubble   (process pt pt @process_id process_name
              inst_num [process_type] )
@process_id  (processID string )
process_name (processName string )
process_type (processType string )
dfd_store    (store pt pt store_name inst_num )
store_name   (storeName string )
```

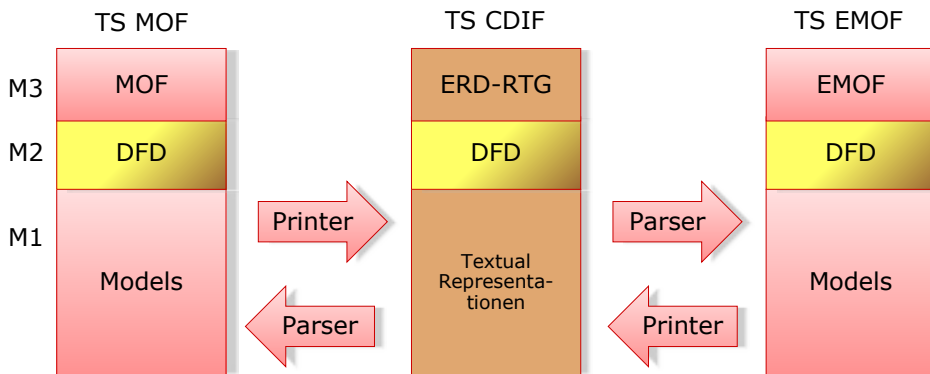


- ▶ CDIF defines a normative textual syntax für ERD (ERD-RTG)



# Transformative TS-Bridges via CDIF

- ▶ TS-Bridges (via CDIF) generate parser und printer
- ▶ Here: TS MOF to EMOF



## 53.3.2 Transformation Bridges between Technical Spaces

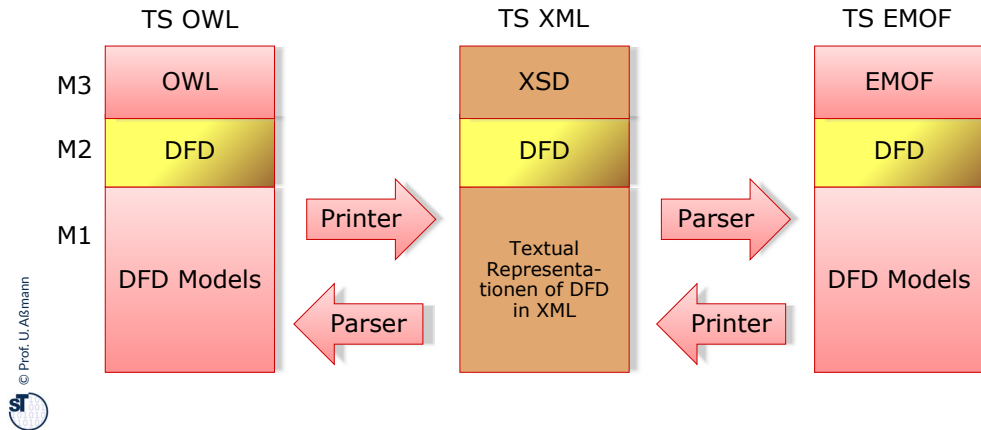
A transformation bridge serves for data exchange  
between tools, also in different TS



DRESDEN  
concept  
Exzellenz aus  
Wissenschaft  
und Kultur

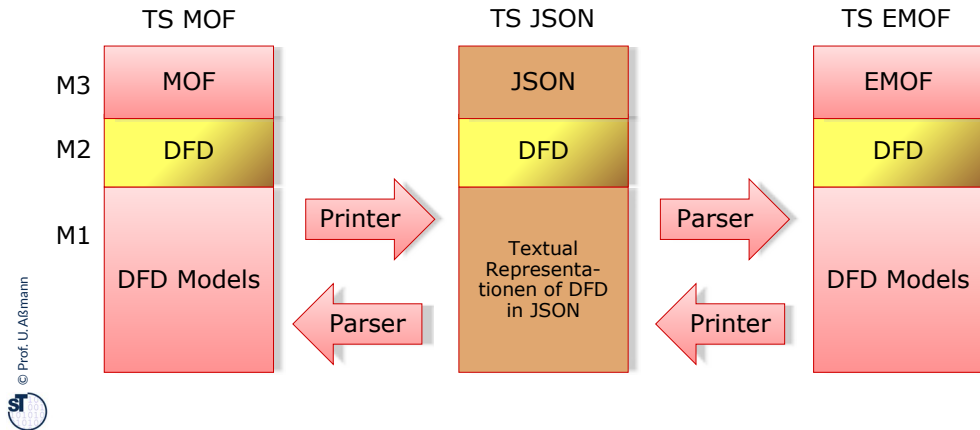
# Transformative TS-Bridges via XML

- ▶ XML is a normalized concrete syntax
  - Again, because of indeterministic spanning trees, a linearized normalized concrete syntax is possible
- ▶ However, good for exchange!



# Transformative TS-Bridges with JSON

- ▶ JSON (Java Script Object Notation) has established as simple exchange format for record trees (attributed trees) <http://www.json.org/>  
<http://www.ietf.org/rfc/rfc4627.txt?number=4627>
- ▶ Basically, it is like XML, but better readable



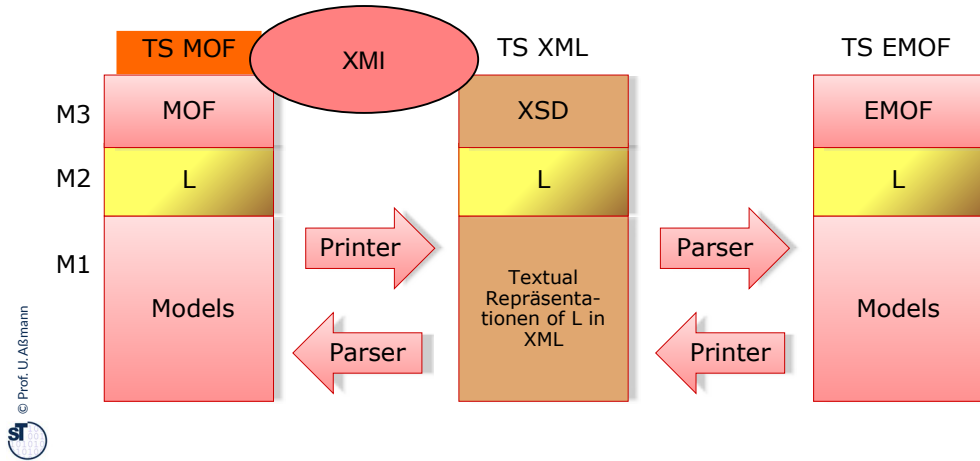
# Exchange Format XMI

## XML Metadata Interchange Format

- ▶ **XML Metadata Interchange (XMI)** is an OMG-Standard for an exchange format
  - Version 2.1 (formal/2005-09-01)
  - Metalanguage MOF
  - generic „Stream“ format
- ▶ **Problem:**
  - Graph-based models must determine a spanning tree (for the XML link tree)
  - There are several spanning trees (Indeterminism)
  - No full compatibility between tools!

# XMI: Transformative TS-Bridge

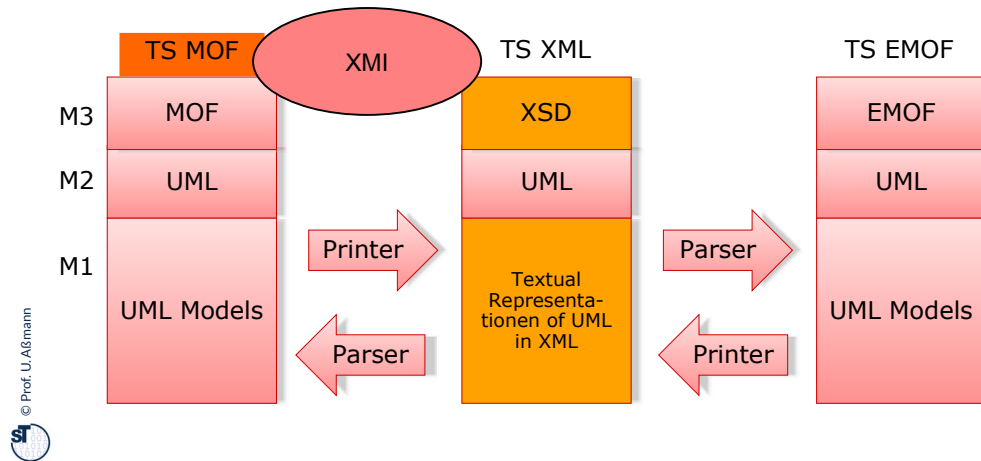
XMI is a TS-Bridge between the TS MOF and other TS via XSD/XML





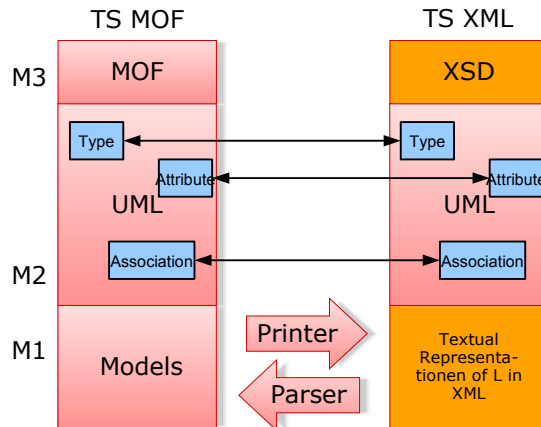
# XMI: Transformative TS-Bridge for UML

- ▶ Often, XMI is only used for UML. Then, XMI is an UML-Bridge



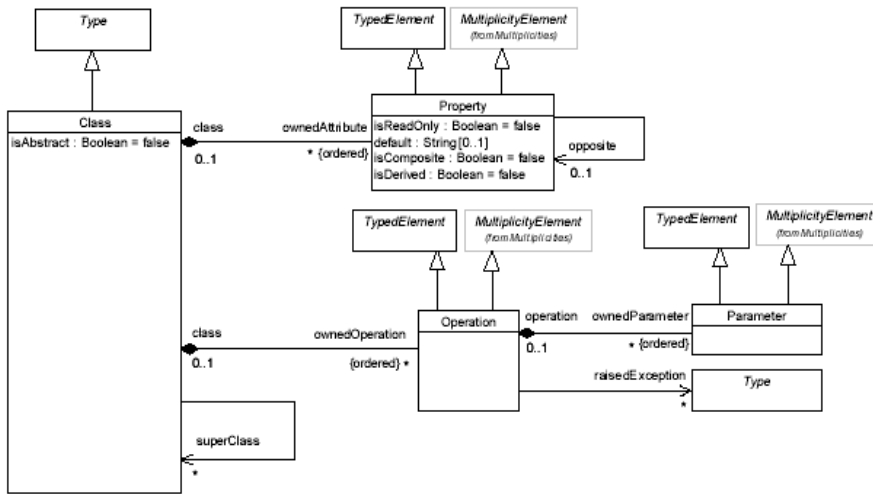
# Relation MOF – UML: XMI Language Mappings

- ▶ XMI has as a basis the UML metamodel specified both in MOF und XSD
  - Between these metamodel a **bidirectional, isomorphic language mapping** is given
  - Printer and parser are generated from this mapping



# Remember: Classes and Properties in UML-Core

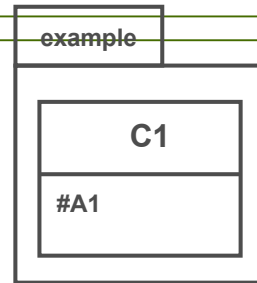
## Metamodel for Class and Property



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

## Example of an XMI-Instance: Coding of an UML-Class

```
<?xml version = „2.0“?>
<!DOCTYPE XMI SYSTEM "uml.dtd">
<XMI xmi.version=„2.0“>
<XMI.Header>
  <XMI.Metamodel name=„UML“ href=„UML.xml“/>
  <XMI.Model name=„example“ href=„example.xml“/>
</XMI.Header>
<XMI.Content>
<Core.Basic.NamedElement.name>example</Core.Basic.NamedElement.name>
  <Core.Basic.Class>
    <Core.Basic.NamedElement.name>C1</Core.Basic.NamedElement.name>
    <Core.Basic.feature>
      <Core.Basic.Property>
        <Core.Basic.NamedElement.name>A1</Core.Basic.NamedElement.name>
        <Core.Sasic.NamedElement.visibility xmi.value=“protected“/>
      </Core.Basic.Property>
      [<Core.Basic.Operation> ... </Core.Basic.Operation>]
    </Core.Basic.feature>
  </Core.Basic.Class>
</XMI.Content>
</XMI>
```

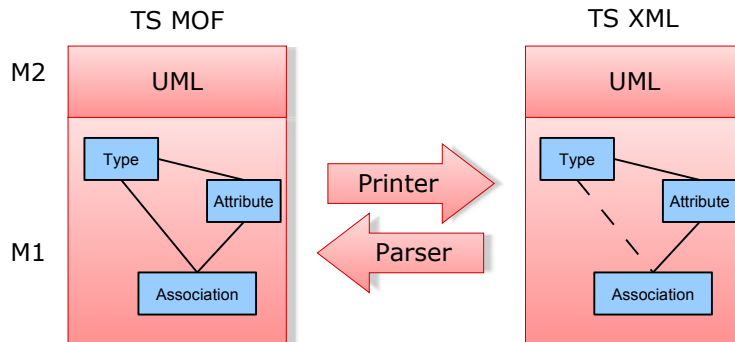


UML Metaclasses

(adopted from: [www.jeckle.de/xmi\\_ex1.htm](http://www.jeckle.de/xmi_ex1.htm))

# Problem: Normative Spanning Tree for Graph Models

- ▶ UML and MOF are graph-based, while XML is based on link trees
- ▶ XML must resolve some links as name references (i.e., revert name analysis)
  - For the UML or MOF-Model, a spanning tree must be found (e.g., along aggregations)
  - All links not in this spanning tree are represented by name references (secondary links), but **not in the XML tree**
- ▶ Spanning trees are indeterministic. Thus different linearizations for one graph model possible





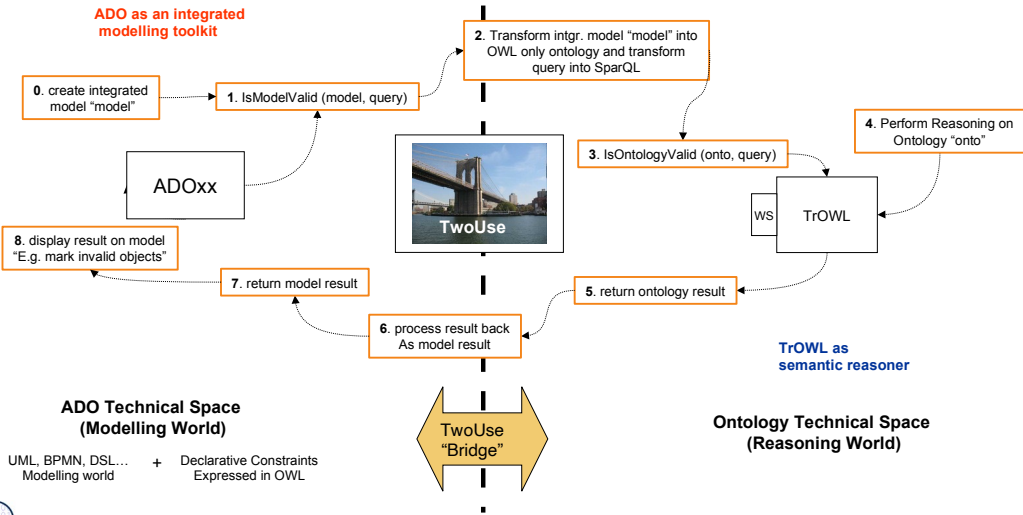
## 53.4 Transformation Bridges between different Technical Spaces



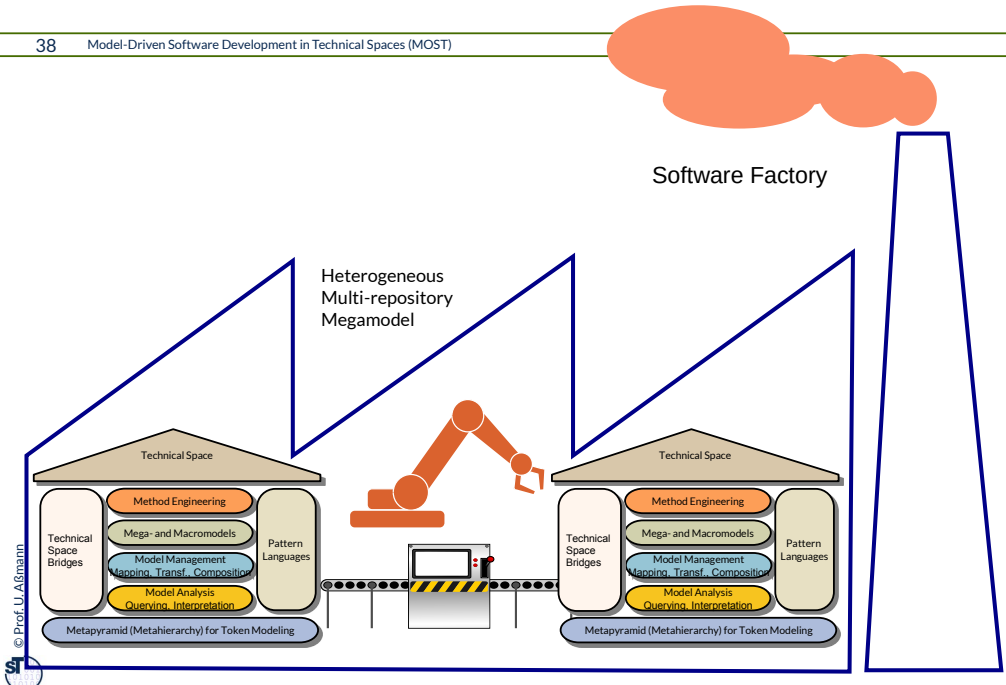
# Example: Transformation Bridge Between ADO und OWL

TwoUse (U Koblenz) is a transformation bridge between TS ADO (BOC Wien) and TrOWL (OWL, Uni Aberdeen)

Exchange format: OWL



# Q13: A Software Factory's Heart: the Multi-TS Megamodel





## What did we learn?

- ▶ Tools can be integrated via
  - Repository integration (data sharing)
  - Stream-based exchange
  - Datenfluss-gesteuerte
- ▶ Software Factories (Software MDSD tools, System Engineering tools) are composed from simpler modeling tools *and their materials*
- ▶ This notion of “software factory” is due to Prof. Hartmut Fritzsche.

# The End

- ▶ Why is data sharing the fastest way to integrate tools?
- ▶ Explain different forms of language mappings. What is mapped to each other?
  - What is an isomorphic mapping? A homomorphic mapping?
- ▶ Compare JSON with XML. What is different, what is similar?
- ▶ Explain, why a tree-based exchange format such as XML, has advantages over EBNF based exchange formats.
- ▶ Explain, why XML is not perfect as exchange format.



## 53.A.1 Beispiel einer Referenzarchitektur für Werkzeug- Umgebungen: Das ECMA Referenzmodell für SEU

.. Der ECMA-Toaster



DRESDEN  
concept  
Existenz aus  
Wissenschaft  
und Kultur

## Standardisierungsorganisation European Computer Manufacturing Association (ECMA)

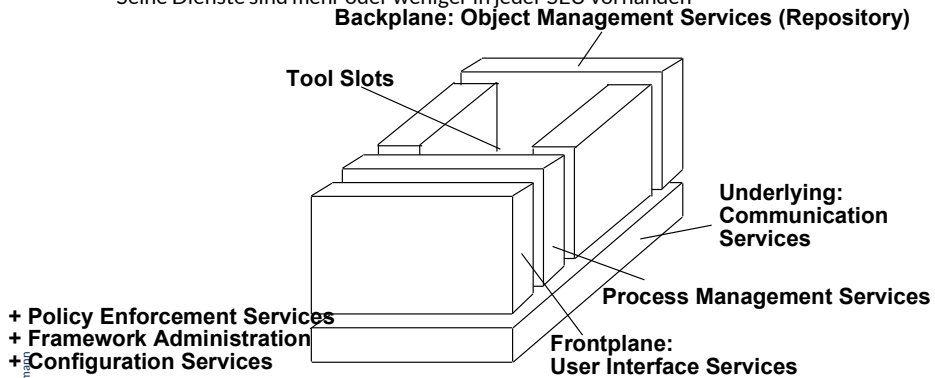
42

Model-Driven Software Development in Technical Spaces (MOST)

- ▶ Weltweite Normierung der Informationstechnologie und Nachrichtentechnik
  - Mehr als 365 ECMA-Standards
  - 2/3 sind als internationale Standards und/oder technische Reports angenommen worden.
- ▶ Ziele:
  - Zusammenarbeit mit nationalen, europäischen und internationalen Normierungsorganisationen über die Standardisierung of Kommunikationstechnologien (ICT) und Verbraucherelektronik (CER).
  - korrekten Gebrauch of Standards anregen und kontrollieren.
  - Veröffentlichung of Standards und technischer Reports, Unterstützung ihrer Verbreitung auch in elektronischer Form
- ▶ ECMA hat u. a. folgende Technischen Ausschüsse:
  - TC 32: Kommunikation, Netze und Systemverbindungen
  - TC 39: Programmieren und Script-Sprachen
  - TC 43: Universal 3D (U3D)
  - TC 12: Sicherheit

## ECMA-Referenzmodell („ECMA Toaster“)

- ▶ Der ECMA Toaster nutzt eine Service-orientierte Architektur (SOA), kann also verteilt sein
- ▶ Seine Dienste sind mehr oder weniger in jeder SEU vorhanden



## Sichten auf Dienste des ECMA-Referenzmodells

44 Model-Driven Software Development in Technical Spaces (MOST)

<b>externe Sicht</b>	beWritet die externe Nutzung des Dienstes durch andere Dienste bzw. durch Werkzeuge od. den Nutzer
<b>konzeptionelle Sicht</b>	beWritet die Semantik (Funktionalität), ohne Implementierung oder Verfügbarkeit für den Nutzer zu beachten
<b>interne Sicht</b>	beWritet die spezifische implementation (Betriebssystem, andere Tools) für die Dienstauführung
<b>Sicht auf Operationen</b>	führt die Menge of Operationen eines Dienstes auf, die zur Erreichung der Funktionalität (konzeptionelle Sicht) benötigt wird
<b>Sicht auf Typen</b>	beWritet das Datenmodell des Dienstes einschließlich der Informationen über dieses Datenmodell (Metamodell)
<b>Sicht auf Regeln</b>	beWritet Regelmenge, die mögliche Menge der Operationen (Sicht auf Operat.) und annehmbare Zustände der Daten definiert
<b>Sicht auf Dienst-zu-Dienst-Beziehungen</b>	anhand typischer Beispiele wird gezeigt, wie ein Dienst mit einem anderen kommunizieren kann

## ECMA Benutzungsschnittstelle

### USER INTERFACE SERVICES

45 Model-Driven Software Development in Technical Spaces (MOST)

ECMA stellt eine Reihe of UI-Diensten (services, Schnittstellen) zur Verfügung, die zur Gewährleistung der Benutzungsschnittstellen-Integration und der konsistenten Bedienung of Anwendungen benötigt werden.

- ▶ **User Interface Metadata Service** dient der Definition, Steuerung und Handhabung of Schemata zur Unterstützung der Benutzungsschnittstelle
- ▶ **Session Service** gewährleistet volle Funktion, unabhängig of Nutzer oder Hardwareumgebung
- ▶ **Security Service** gewährleistet Sicherheitsanforderungen, wie Nutzerauthentifikation, Dunkelsteuerung unbenutzbarer Funktionen u. a.
- ▶ **Profile Service** gestattet mögliche Veränderungen, wie z. B. Systemeinstellungen (Farbe), Menge zu verwendender Werkzeuge u.a.
- ▶ **User Interface Name and Location Service** stellt fest, wer sich wo zum System Zutritt verschafft hat (logging in)
- ▶ **Internationalization Service** stellt nationale Besonderheiten (z. B. Zeichensätze, Datumsformate) zum Zugriff auf das Rechnersystem bereit und gewährleistet ihre Konvertierbarkeit zwischen unterschiedlichen Ländern.



## ECMA Prozessverwaltung

### Process Management Services

---

46 Model-Driven Software Development in Technical Spaces (MOST)

Die **Process Management Services** definieren und organisieren die Ausführung aller Werkzeuge:

- ▶ **Process Definition Service** definiert aus den im Repository gespeicherten Projektdaten die Bedingungen zur Ausführung neuer Aktivitäten
- ▶ **Process Control Service** steuert Prozesse im allgemeinen auf dem Niveau eines bestimmten Vorgehensmodells zur Beeinflussung anderer Prozesse, wodurch der Nutzer entsprechend seiner role unterstützt wird
- ▶ **Process Enactment Service** unterstützt und bietet Möglichkeiten der Steuerung vorher definierter Aktivitäten (Analyse-, Hilfe-, Simulationsfunktionen)
- ▶ **Process Visibility and Scoping Service** legt zum Zwecke der Kommunikation und Koordination Sichtbarkeit, Zeitpunkt und Ort of Aktivitätsteilen für andere Aktivitäten fest
- ▶ **Process State Service** sammelt und wertet Ereignisse of Aktivitäten während ihrer Ausführung aus, die für die Koordination und spätere Entscheidungsplanung anderer Projektaktivitäten notwendig sind
- ▶ **Process Ressource Management Service** verwaltet das Festlegen of Ressourcen zur Ausführung definierter Prozesse für Werkzeuge und Nutzer



## ECMA Werkzeugdienste (Tool Services)

47

Model-Driven Software Development in Technical Spaces (MOST)

- ▶ Werkzeuge können in den ECMA Toaster eingesteckt werden bzw. ausgetauscht werden
  - Die gesamte Toolmenge soll nach außen hin durch eine **einzige Schnittstelle** repräsentiert werden.
  - Die Menge der Tools soll den **Softwareentwicklungsprozess vollständig abdecken**.
- ▶ Die Werkzeuge kommunizieren über den *Communication Service* oder *Object Management Service*
- ▶ Wenn Werkzeuge in die SEU **integriert** werden, ist zu prüfen, ob sie Frameworkdienste bieten.
  - Wenn ja, ist zu entscheiden, diese Dienste weiterhin separat zu ermöglichen oder doch auf die Dienste des SEU-Frameworks überzugehen.
- ▶ Um für alle Werkzeuge ein **gleiches Erscheinungsbild** zu erhalten, müssen Basisdienste und Dienste eines SEU-Framework nach standardisierten Vorschriften realisiert werden.



## ECMA Repository (Repositorium) Object Management Services

48

Model-Driven Software Development in Technical Spaces (MOST)

Die **Object Management Services** dienen der Definition, der Speicherung, der Handhabung, der Verwaltung und dem Zugriff auf Objekte/Dokumente (Dateien, Programme, Bibliotheken, Projekte, Geräte usw.):

- ▶ **Metadata Service** gestattet die Definition, Steuerung und Handhabung of Schemata und sonstigen Metadaten (Reflektion, Introspektion)
- ▶ **Data Storage and Persistence Service** unterstützt das persistente Anlegen und Speichern of Objekten nach der MetadatenbeWriteung
- ▶ **Relationship Service** erlaubt die Definition und Handhabung of Beziehungen zwischen Objekten und Objekttypen.
- ▶ **Derivation Service** (Bau-Management) legt die Wege fest, welche Objekte of anderen abgeleitet sind (z. B. Generation Objektcode aus Quellcode ähnlich Make-Files).
- ▶ **Concurrency Service** sichert den gleichzeitigen Zugriff für Nutzer und Prozesse zum gleichen Objekt der Repository (Transaktionen, Synchronisation)
- ▶ **Version Service** unterstützt das Anlegen, Zugreifen und Verbinden of Objekt- und Konfigurationsversionen der SEU.

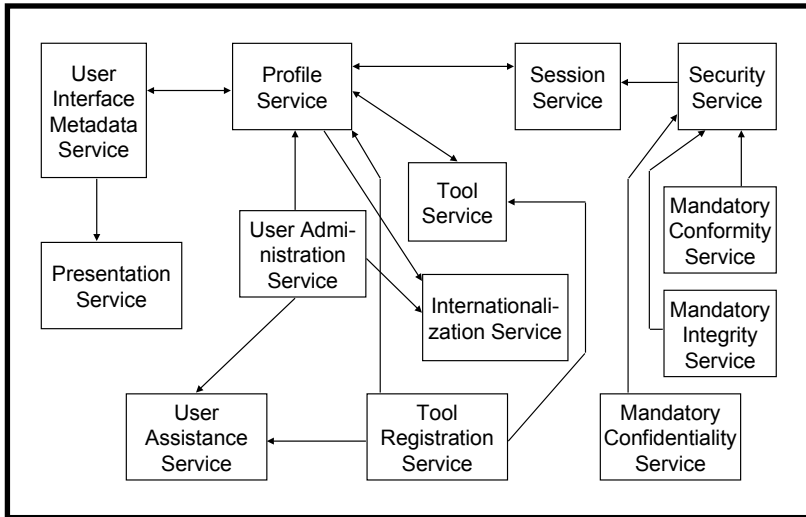


## ECMA: Weitere Services

- ▶ Die **Policy Enforcement Services** sind für Sicherheitsaspekte, Integritätsüberwachung und Verwaltungsfunktionen zuständig:
  - **Mandatory Confidentiality Service** legt auf eigenen Wunsch Zugriffsrechte und Sicherheitsanforderungen (geheim, str. geheim) für Objektinformationen fest.
  - **Mandatory Integrity Service** gestatten den Schutz of SEU-Objekten vor unauthorisierten Änderungen, z. B. Eintragung "read only" usw.
  - **Mandatory Conformity Service** überwacht alle Aktivitäten zur Einhaltung of Konformitätsanforderungen, die z.B. aus der Qualitätssicherung stammen.
- ▶ Die **Communication Services** dienen der Kommunikation zwischen Werkzeugen, zwischen Basisdiensten sowie Diensten verschiedener SEU.
  - Basismechanismen sind Nachrichten (Punkt-zu-Punkt, Broadcast, Multicast), Betriebssystemaufrufe, Remote Procedure Calls und der Datenaustausch
- ▶ Die **Framework Administration** und **Configuration Services** übernehmen die sorgfältige Installation der SEU und ihre laufende Pflege u.a.:
  - **Tool Registration Service** übernimmt das An- und Abmelden neuer Tools.
  - **User Administration Service** unterstützt das An- und Abmelden of Nutzern zum System?



## ECMA Toaster: Abhängigkeiten zwischen Diensten





## 53.A.2 Ein Metamodellgesteuertes Framework zur Werkzeugintegration (PCTE)

Mit eigenem Technikraum und Metasprache PCTE-OBS

<http://ieeexplore.ieee.org/iel3/2107/7595/00313508.pdf?arnumber=313508>

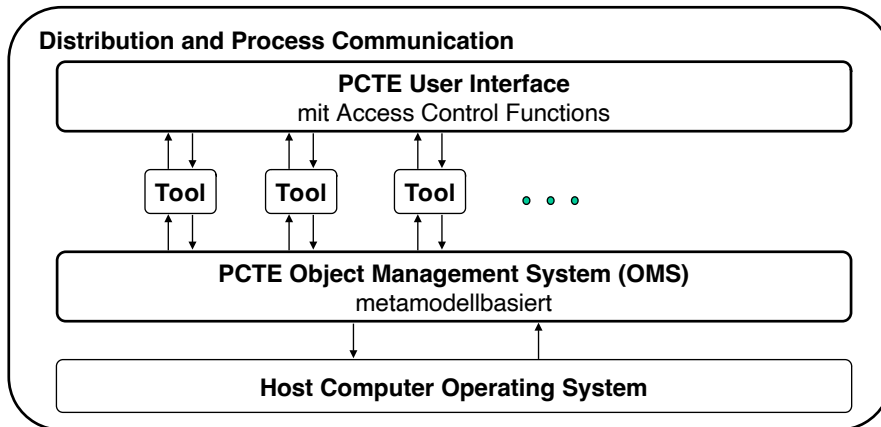
<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.94.8315&rep=rep1&type=pdf>



DRESDEN  
concept  
Exzellenz aus  
Wissenschaft  
und Kultur

# Portable Common Tool Environment (PCTE+, HPCTE)

- ▶ PCTE ist eines der historisch ersten metamodelldgesteuerten Werkzeugintegrationsframeworks
- ▶ PCTE erfüllt den Schnittstellenstandard der ECMA - unterstützt systemunabhängigen Zugriff auf Werkzeuge und Repository



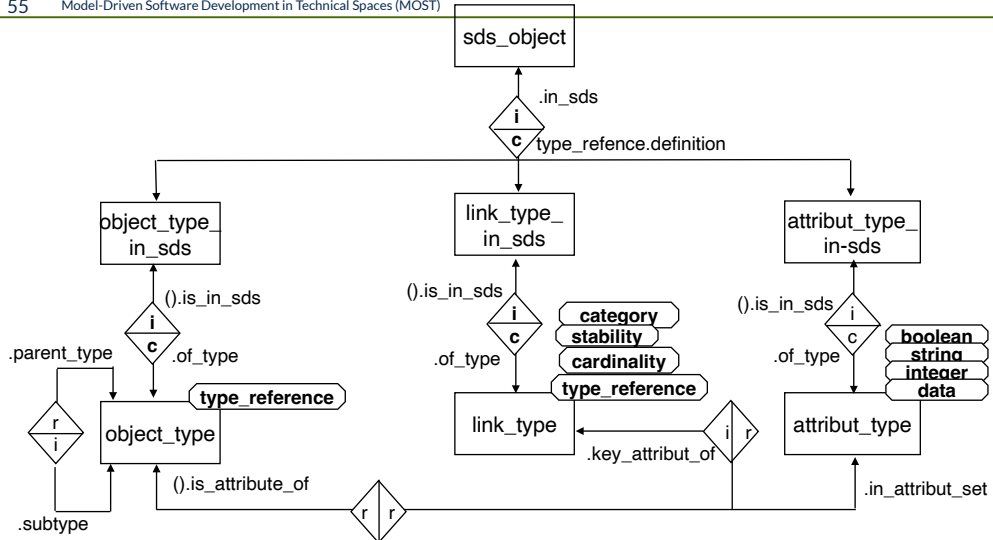
**PCTE** stellt eine Menge hochintegrierter Basisdienste bereit, die eine vielseitige Grundlage für verteilte Software-Entwicklungsumgebungen (SEU) bilden

- **verteiltes DBMS** basierend auf dem ERD mit Erweiterungen, wie zusammengesetzte Objekte, Versionen, Mehrfachvererbung, dynamisch kreierte Sichten, eingebettete Transaktionen usw.;
- ein **exklusives Ausführungssystem**, welches Prozeßhierarchien, Vererbung of offenen Files, Prozeßkommunikation über Pipes und Nachrichtenwarteschlangen gestattet. Werkzeuge können als Shell-Skript geschrieben und in mehreren Fenstern unterstützt werden.
- **verteilte Dienste**, d.h. Objektbasis und Prozesse sind transparent verteilt, Replikation of Objekten sowie Schema-Management sind ebenfalls dezentralisiert.
- **erweiterbare Sicherheitsmerkmale**, wie Vertraulichkeit, geschützte Zugriffssteuerung für individuelle Objekte, Revisionsfähigkeit.

- ▶ Das OMS stellt Datentyp- und Datenspeichermöglichkeiten sowie Concurrency-Control-Mechanismen zur Verfügung,
  - definiert statische Informationen, die in der **object base** (Repository aller persistenten Daten) gehalten werden,
  - liefert Konzepte für die Softwareentwicklung, wie beispielsweise die (Typ-)Vererbung der objektorientierten Modelle.
- ▶ Das OMS ist metamodel-gesteuert. Es enthält **Typdefinitionen**, die in **Schema Definition Sets (SDS, Metamodellen)** beschrieben werden:
  - **Objekte**: Entitäten, auf denen Operationen der Werkzeuge ausgeführt werden. Instanzen können Dokumente, Textfiles, Quell- oder Objektcode, Task aber auch Geräte und Nutzer sein.
  - **Links (Assoziationen)**: gerichtete Beziehungen zwischen (Ursprungs-) und (Ziel-)Objekt (bidirektional)
  - **Attribute**: beWriteen Objekte und Links näher. Sie enthalten einen bestimmten Wertetyp und können sowohl Schlüssel- als auch normales Attribut sein.
- ▶ Die DDL **PCTE-OMS** ist **geliftet** (selbstreferenzierend, in sich selbst spezifiziert, DDL ist geliftet als Metasprache)



# PCTE-OMS Metasprache ist eine Erweiterung of ERD (Vererbung, Komposition)



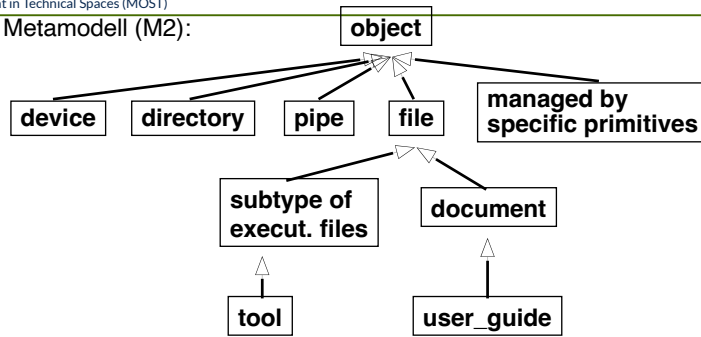
© Prof. U. AGsmann

Link-Typ Kategorien: *c* composition  
*r* reference  
*i* implicit  
*s* system implicit,

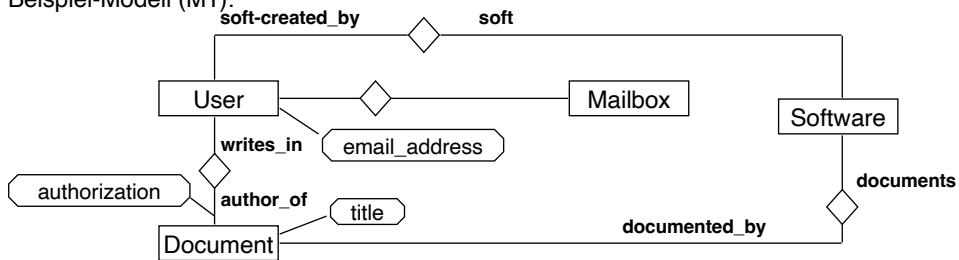
bei Anlegen eines neuen Objekts in Referenz zum existierenden.  
 zwischen Ursprungs- und Zielobjekt  
 kann z.B. reverse link für einen angelegten Link sein  
 automatisch vom System (PCTE-OMS) gesetzt.

# PCTE-Objekt-Strukturen mit erweitertem ERD

PCTE DDL Metamodell (M2):



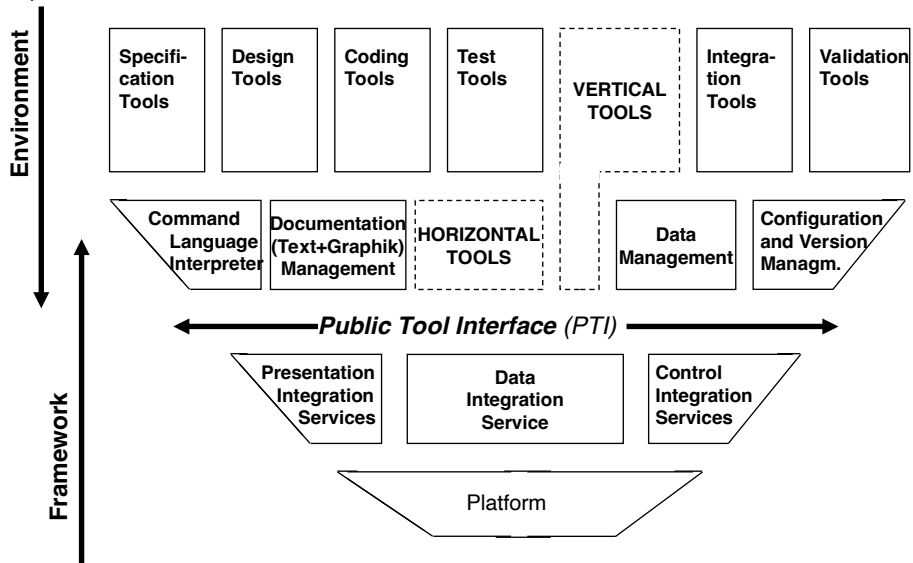
Beispiel-Modell (M1):



# Emeraude PCTE Framework

[http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs\\_all.jsp?arnumber=182066](http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs_all.jsp?arnumber=182066)

<http://www.springerlink.com/content/g111t41326211512/>



## More PCTE Implementations

- ▶ PACT PCTE Implementation
  - Thomas, Ian. Tool integration in the pact environment. In Proceedings of the 11th International Conference on Software Engineering, pages 13-22, May 1989.
- ▶ HPCTE implementation of University of Siegen
  - Java API
  - Supports views on the repository
  - <http://pi.informatik.uni-siegen.de/pi/hpcte/hpcteapps.html>