63. Metaprogramming, Code Generation and Round-Trip Engineering (Werkzeuge zur Programmüberführung aus Modellen)

Prof. Dr. Uwe Aßmann
Technische Universität Dresden
Institut für Software- und Multimediatechnik
http://st.inf.tu-dresden.de
Version 13-0.1, 01.01.14

1) Codegenerierung
    1) Beispielwerkzeuge
2) Codegenerierungstechniken
    1) Schablonenbasierte Codegenerierung
3) Round-Trip Engineering

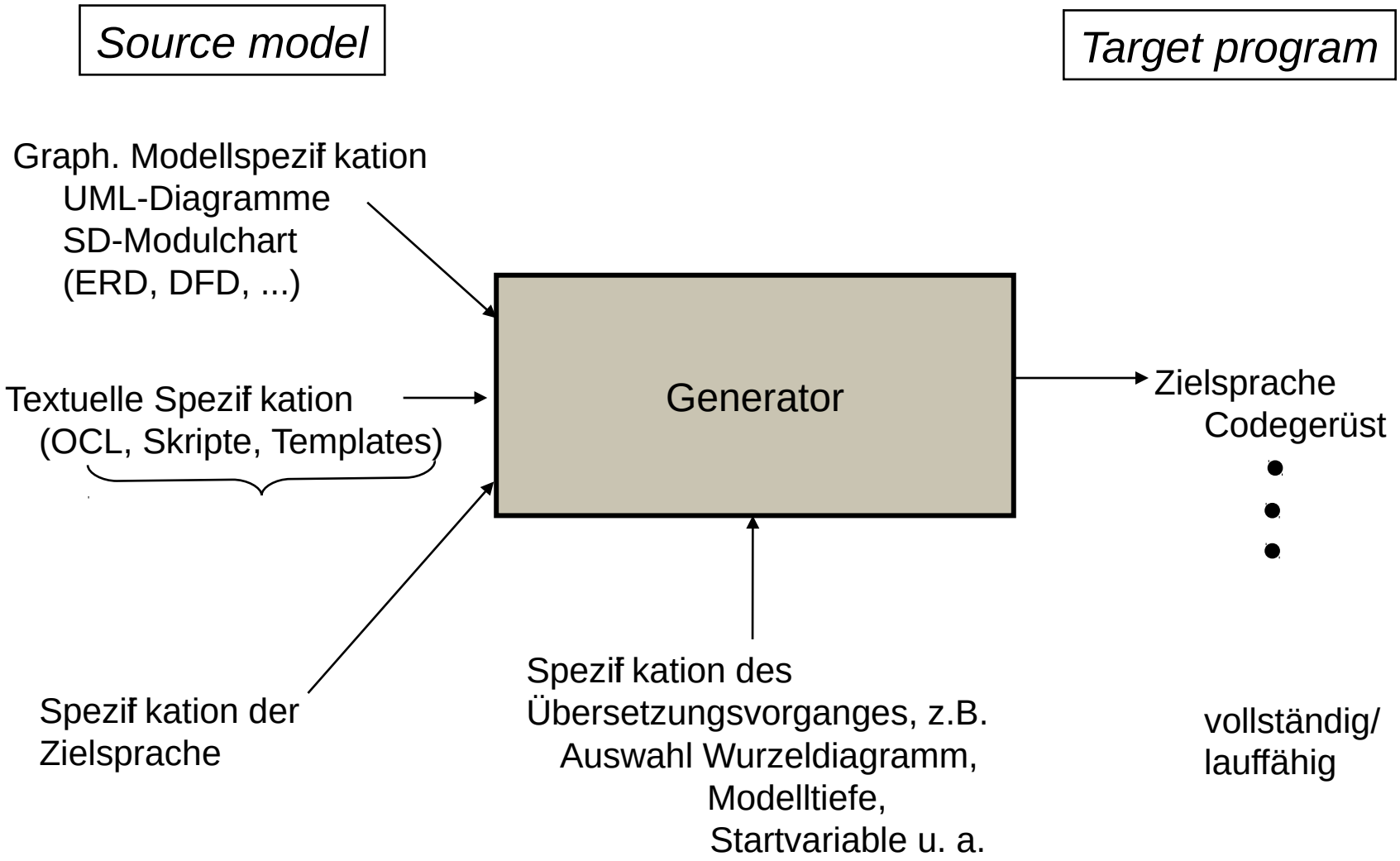
Literature

- http://www.codegeneration.net/
- www.programtransformation.org
- http://www.codegeneration.net/tiki-read_article.php?articleId=65
- Paul Bassett. Frame-based software engineering. IEEE Software, 4(4):9-16, 1987.
  - http://doi.ieeecomputersociety.org/10.1109/MS.1987.231057
- Chris Holmes, Andy Evans. A review of frame technology. University of York, Dept. of Computer Science, 2003 ftp://www-users.cs.york.ac.uk/reports/2003/YCS/369/YCS-2003-369.pdf
- Daniel Weise and Roger Crew. Programmable syntax macros. In Proceedings of the ACM SIGPLAN '93 Conference on Programming Language Design and Implementation, pages 156-165, Albuquerque, New Mexico, June 23-25, 1993.
- Optional
  - Völter, Stahl: Model-Driven Software Development, AWL 2005.

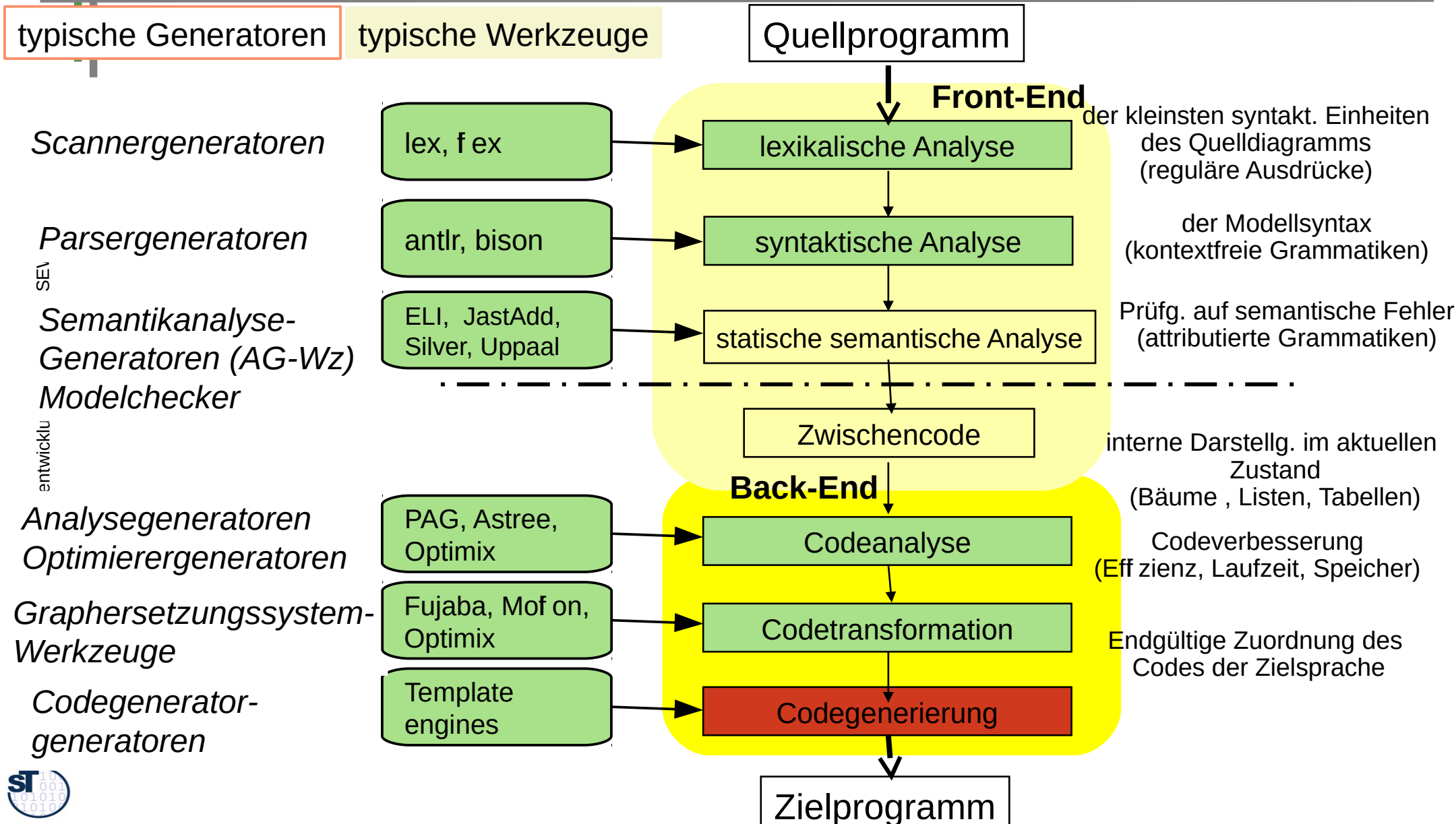
63.1 Model2Code Translation (Code Generation)

Transforming models into code
(Programmüberführung)

CASE-Code-Generators



Phasen eines Werkzeugs und ihre erzeugenden Werkzeuge

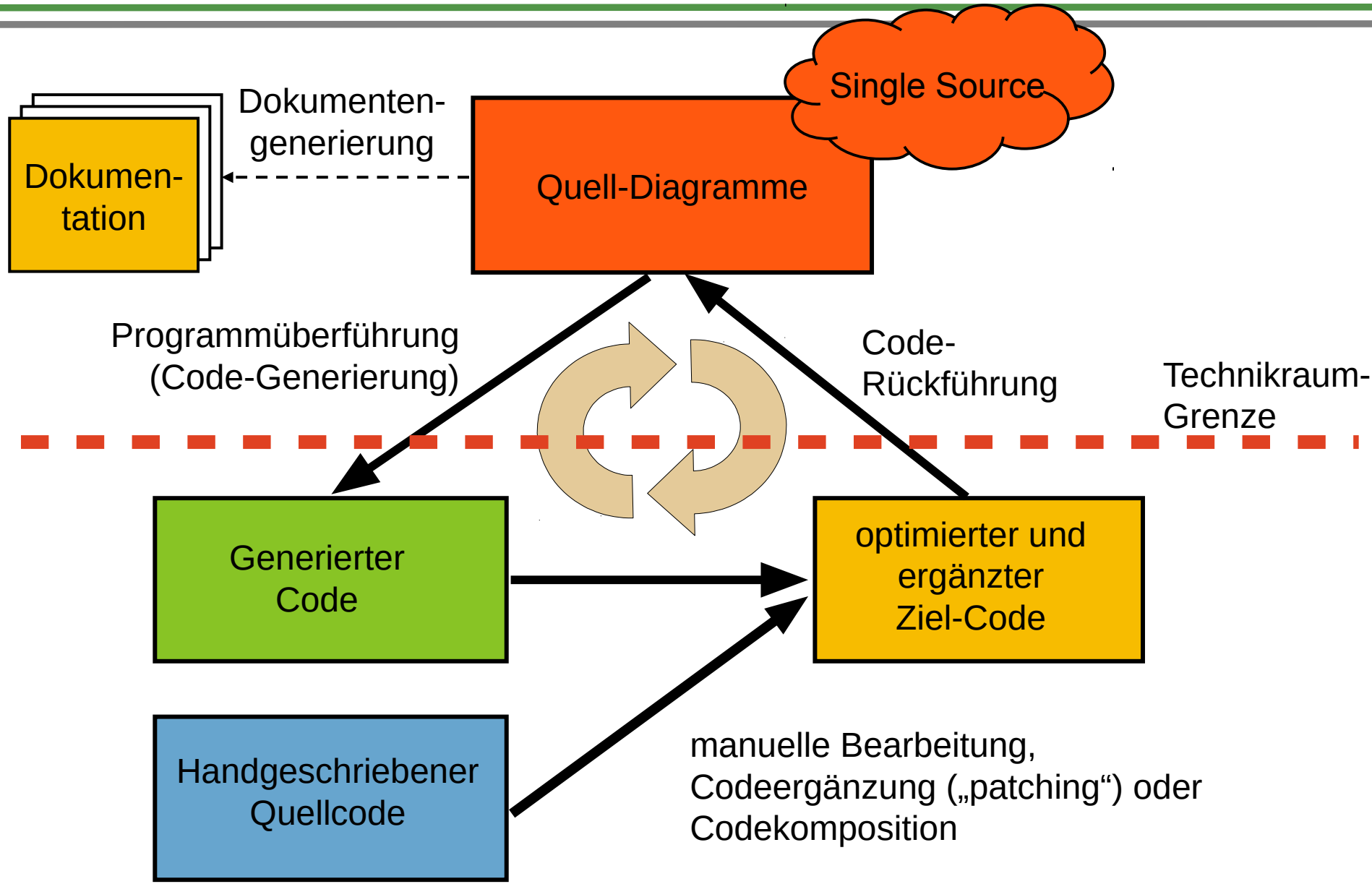


Kinds of Code Generators

- Ein **Codeselektor** ist ein Transformationssystem aus Term- oder Graphersetzungsregeln, der das Ausgangsprogramm oder -modell *abdeckt*, also jeden Knoten und Kante aus dem Ausgangsprogramm genau einmal transformiert (**code coverage**)
- Einsatz
  - Innerhalb der Zwischen- oder Assembler-Codegenerierung des Übersetzers
  - Als Back-End von CASE-Werkzeugen wie Fujaba oder MOFLON
- Ein **Codeanordner (code scheduler)** ordnet Befehle für den Chip in optimierter Reihenfolge an
  - Codeanordnung erfolgt meist nach der Codeselektion
- **Metaprogrammierende Codegeneratoren**:
  - Ein **Schablonen-Expandierer (template expander)** generiert Code, in dem er Schablonen (templates) mit Werten aus Variablen füllt, die aus der Programmrepräsentation oder dem Modell belegt werden (template-gesteuerte Codegenerierung)
  - Ein **Invasiver Fragmentkompositor (invasive software composition)** komponiert Schablonen unter der Berücksichtigung von Fragmenttypen (s. CBSE)

63.1.1 Single-Source Principle

Single-Source-Prinzip, Code-Ergänzung und Round-Trip Engineering



Single Source Prinzip

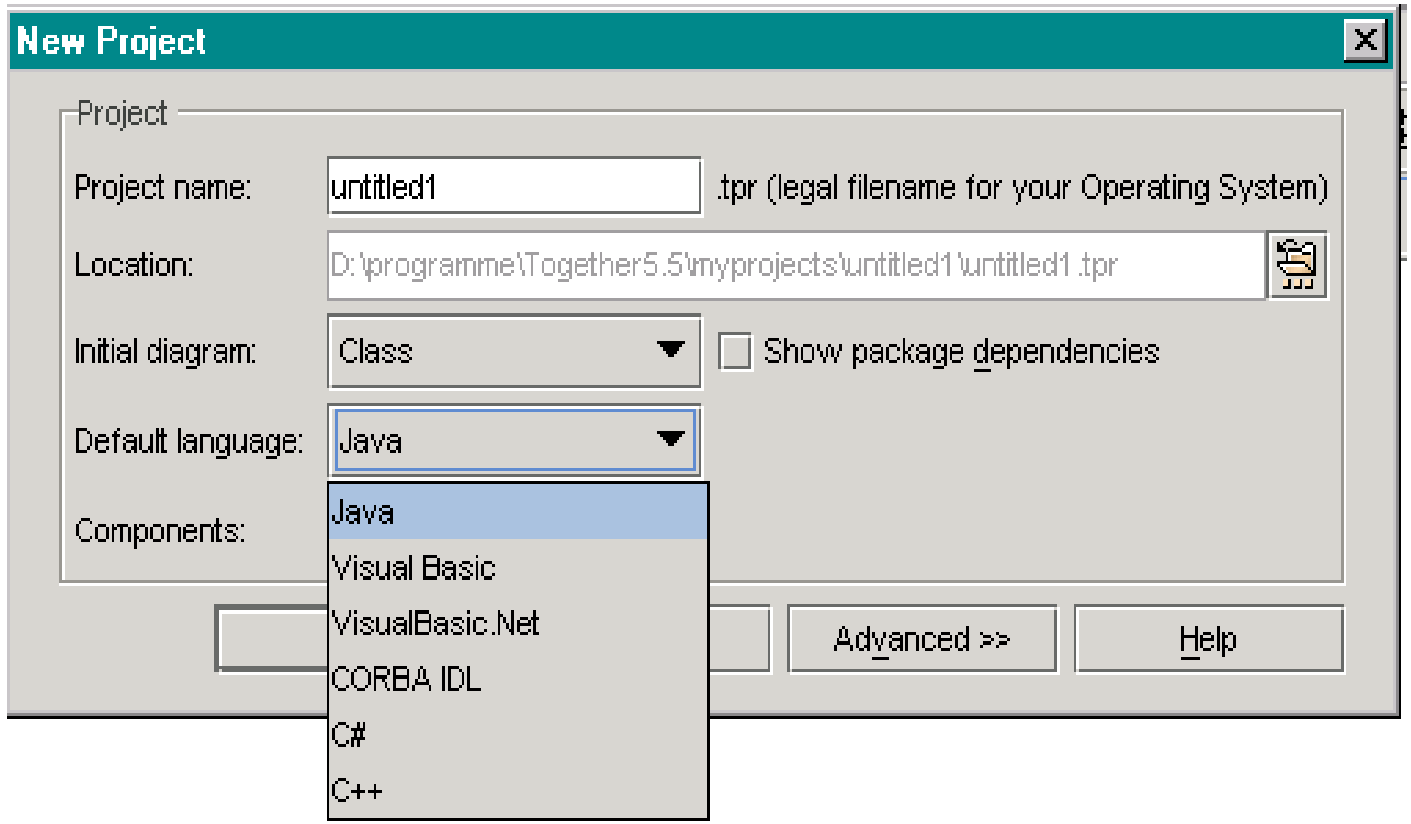
- Eine **Single-Source-Technologie** gewährleistet zu jeder Zeit an jedem Ort absolute Konsistenz zwischen Modell, Code und Dokumentation
  - 1997 von Peter Coad im Together-CASE-Werkzeug, mittlerweile in allen
  - Vorhandensein nur einer definierten Quelle für alle Arbeiten
  - einheitlicher Ausgangspunkt für Spezifikation, Quellcode und Dokumentation (einschließlich Handbücher)
- Das Single-Source-Prinzip setzt **Round-Trip-Engineering** (RTE) zwischen ModelWare und GrammarWare voraus, mit dem Ziel, **Modell-Code-Synchronisation** zu erreichen
- **Codegenerierung**: automatisierte Codegenerierung in eine oder auch mehrere Programmiersprachen
  - Erzeugung von: Progr.-struktur, Bedingungen, Steuerfluss und Datendeklarationen
  - terminale Codeteile
- **Templatebasierte Codegenerierung:**
  - Einsetzen von Code-Fragmenten in Code-Schablonen
- **Coderückführung** (Re-Parsing) des geänderten Source-Codes des Quellprogramms in die Code-Teile der Spezifikation

Bsp.: Programmüberführung in Together (Coad)

- Prinzip: Single-Source-Technologie durch vollautomatische Synchronisation und vollständige Konsistenz zwischen Modell, Code und Dokumentation.
- Zielsprachen: Java, Visual Basic, VisualBasic.Net, CORBA IDL, C++, C#
- Umsetzung:
  - Multi-Language-Support durch Auswahl einer Programmiersprache(6) zu Beginn der Initialisierung eines neuen Projektes
  - UML-Modelling Editor ist nicht nur Werkzeug für den Entwurf von UML-Spezifikationen, sondern gleichzeitig werden diese inkrementell in die Syntax einer objektorientierten Programmiersprache überführt
  - Synchronisation erfolgt über Parser, nicht über Repository.
- Simultanes Round-trip Engineering:
  - Änderungen im Klassendiagramm werden unmittelbar im relevanten Source-Code angezeigt und umgekehrt
  - Reverse Engineering existierender Projekte zeigt die darin enthaltenen Programmstrukturen auch als UML-Diagramm

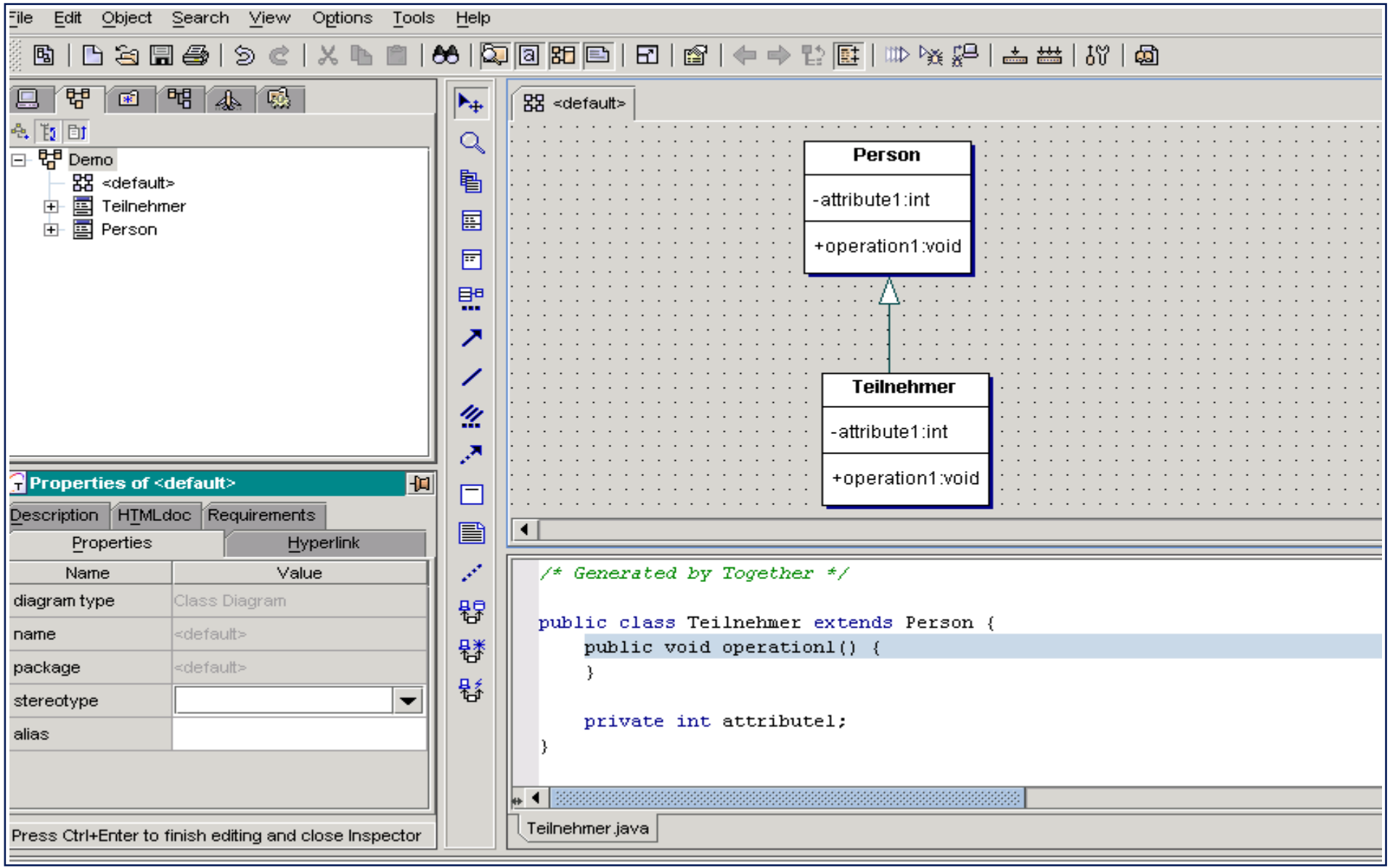
http://www.borland.com/downloads/download_together.aspx

Programmiersprachenauswahl in Together



- Basierend auf den Rollen: Business Modeler, Designer, Developer und Programmierer werden Sichten auf Arbeitsbereich automatisch konfiguriert(View-Management).
- Das Einbinden von Patterns, Templates und vorgefertigten source-basierten Frameworks (Komponenten incl. EJBs) wird unterstützt.
- Zur Qualitätssicherung werden Metriken und Audits angeboten.

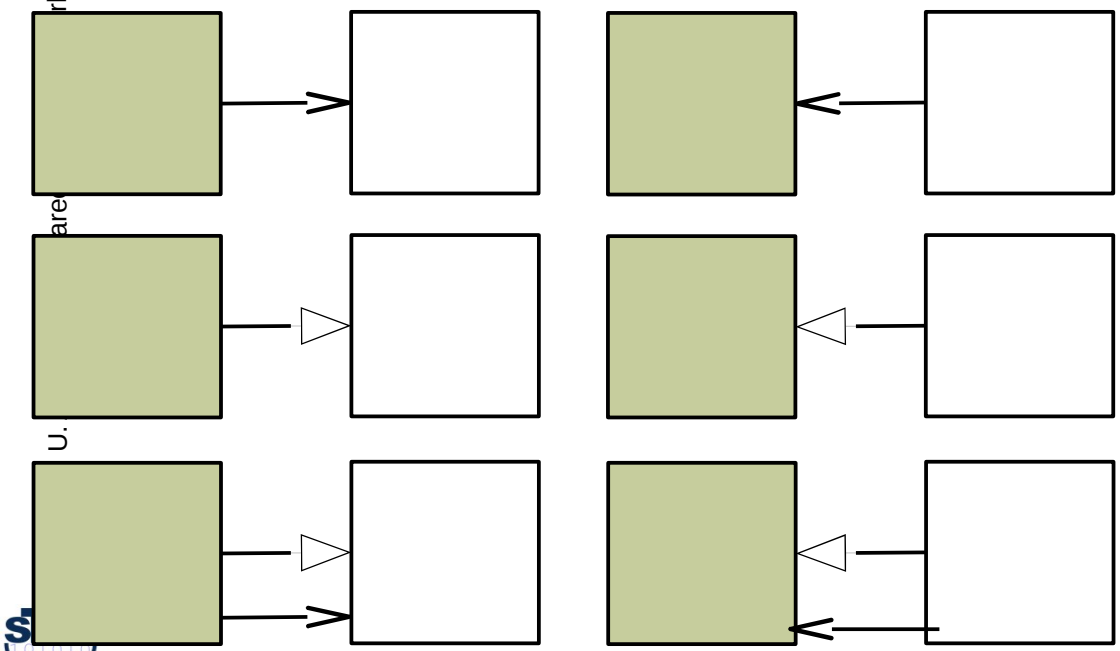
Together-Arbeitsbereiche



63.2 Technologies for Code Generation

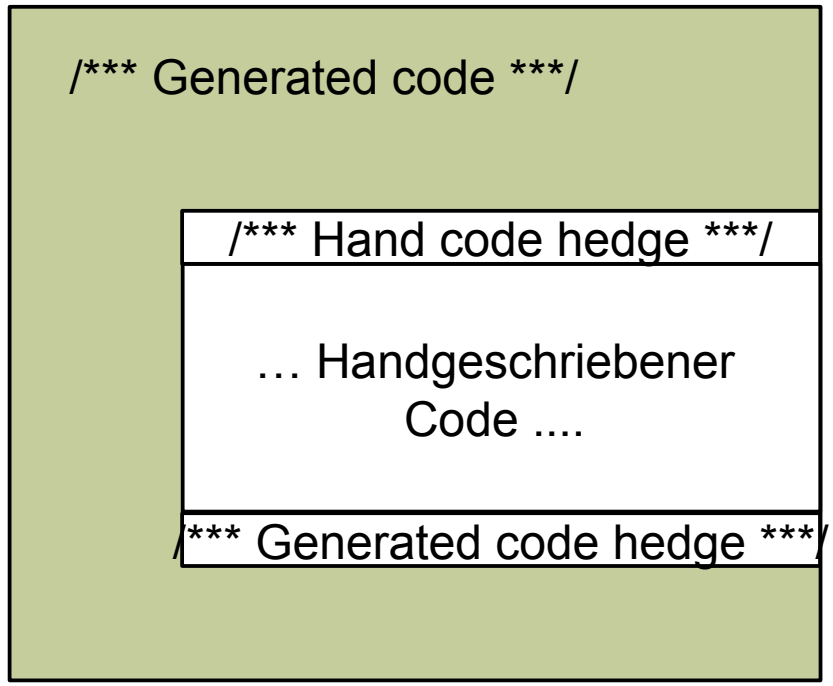
Composition of Separated Hand-Written and Generated Code

- **In separaten Dateien:**
- Kopplung mit Entwurfsmuster [Völter/Stahl]
- Hier werden Klassenverknüpfungen wie Delegation, Vererbung, Composite, Decorator, etc als Code-Kompositionsoperatoren benutzt



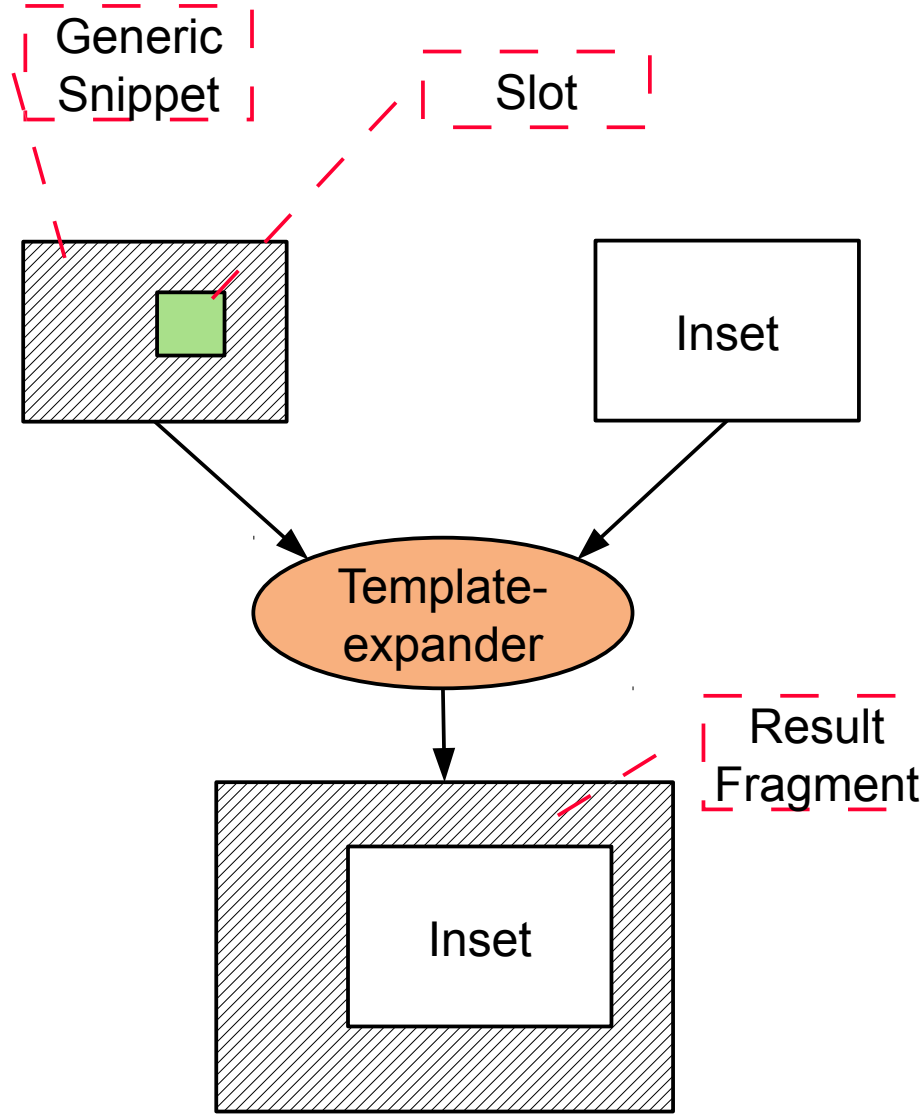
In einer einzigen Datei:

Kopplung mit **Trennmarkierung (hedge)**



Snippet Programming

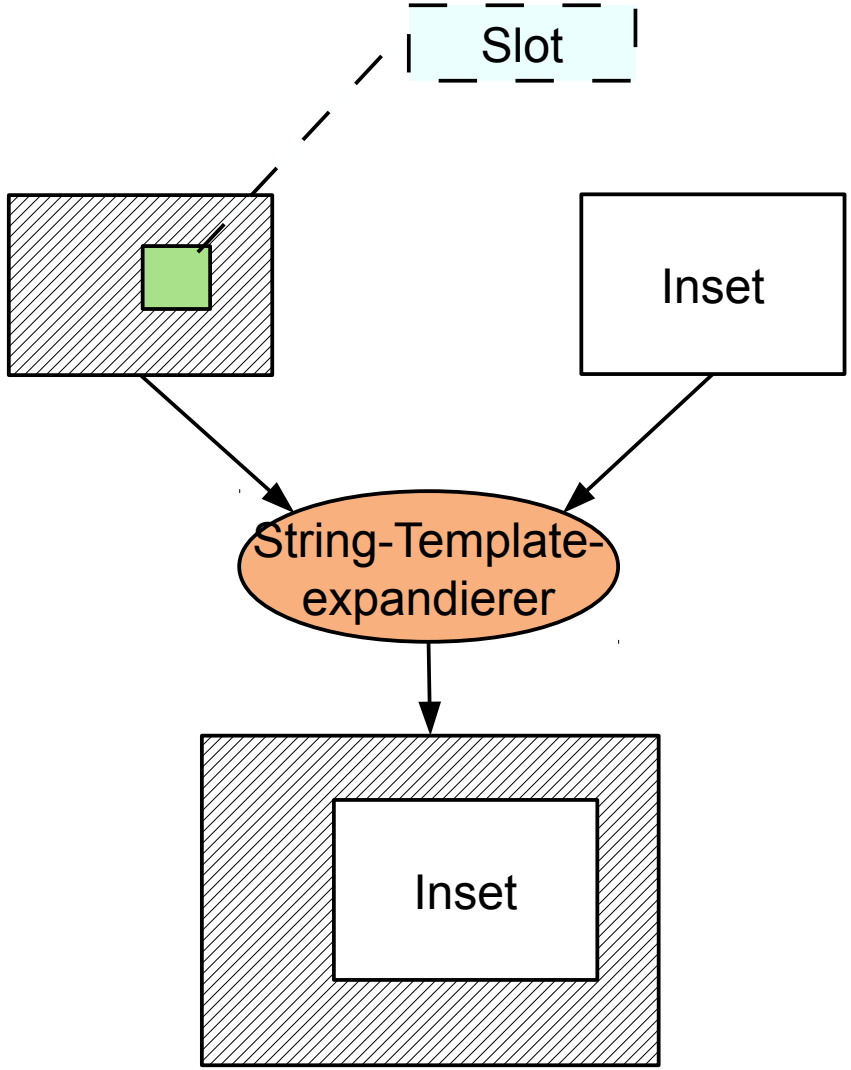
- **A fragment (snippet)** is a incomplete sentence of a language, derived from a nonterminal of the grammar, or described by a metaclass
- A **generic fragment (template, form, frame)** is a fragment with **slots (holes, code parameters, variation points)**, which can be *bound (filled, expanded)* with an **inset fragment** to a **result fragment**
- A extensible fragment is a fragment with **hooks (extension points)**, which can be *extended* to a fragment
- **Generic programming** is programming with generic fragments (templates).
- **Invasive programming** is programming with generic and extensible fragments (templates with hooks)



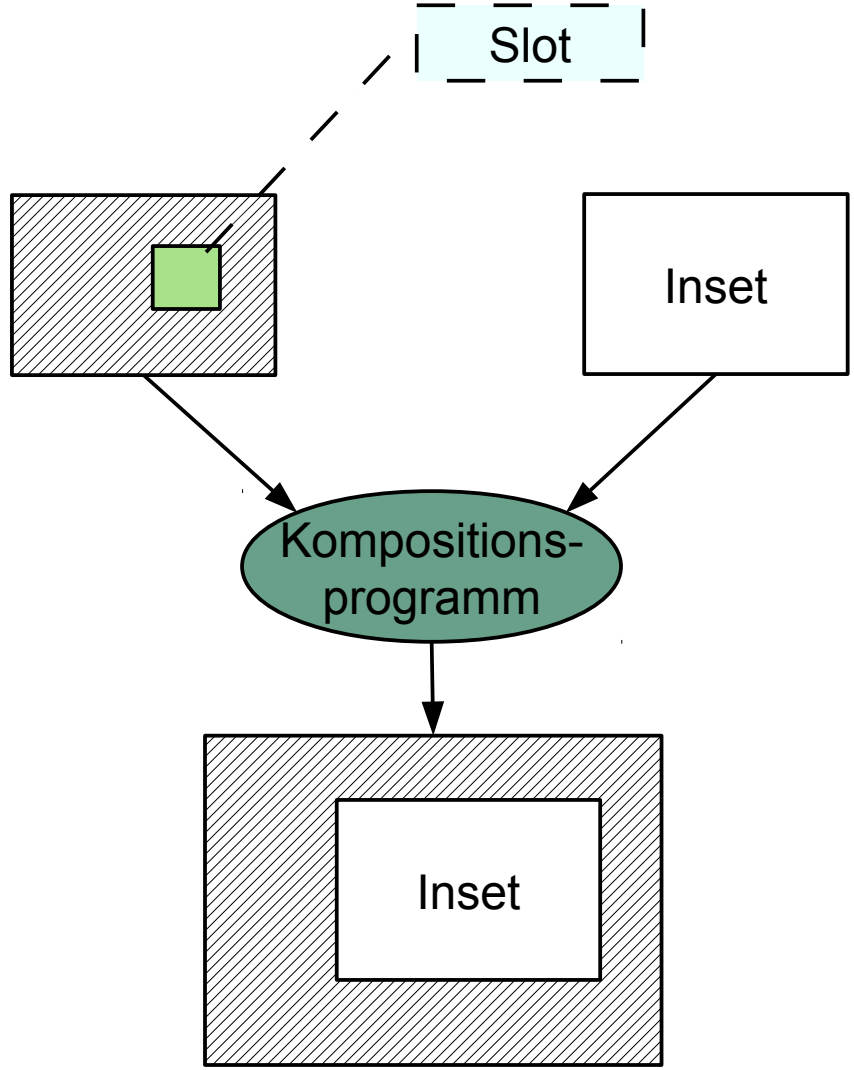
63.2.1 Template-based code generation (Schablonenbasierte Programmüberführung)

Template Expansion by Composition

Kopplung durch Stringexpansion



Kopplung mit Kompositionsprogramm



Slots are marked by Hedges

- **Hedges** are delimiters that do not occur in the base nor in the slot language
- **Slot hedges** are template2slot hedges marking the transition from the code language to the slot language
- **Inset hedges** are metaprogramming2code hedges marking the transition from the metaprogramming language to the code language

```
// code hedges << >>
Template (superclass:CLASS, t:TYPE) {
  class Worker extends << superclass >> {
       <<t>> attr = new <<t>>();
       <<t>> getAttr();
      void setAttr(<<t>>);
   }
}
```

Tools for Untyped Template Expansion

- **Frame processing** was invented in [P. Bassett] as an *untyped string template expansion technology*, universal for all textual languages [Holmes/Evans]
  - Frame processing is the main technology for web engineering today: it organizes reuse of page templates
  - The original frame processor used $ as a hedge symbol for slots (slot variables)
- **Macro processing** is not much different
  - Because only slot variables hold insets, macro parameters correspond to slot variables
- XML template engine XVCL [Jarzabek] is an XML-controlled frame processor
  - http://sourceforge.net/projects/fxvcl/files/XVCL%20Specification/Version%202.10/
- String template engines in use today
  - Apache Velocity http://velocity.apache.org/
  - Parr's template engine StringTemplate
  - Jenerator for Java http://www.voelter.de/data/pub/jeneratorPaper.pdf

Velocity String Template Language

- Velocity Template Language (VTL) is a frame processing language with metaprograms in slots
- {#, $} are slot hedges
- < (from XML) is the inset hedge

```
<html>
<body>
#set( $foo = "Velocity" )
Hello $foo World!
</body>
<html>
```

```
<HTML>
<BODY>
Hello $customer.Name!
<table>
#foreach( $mud in $mudsOnSpecial )
   #if ( $customer.hasPurchased($mud) )
      <tr>
        <td>
          $flogger.getPromo( $mud )
        </td>
      </tr>
   #end
#end
</table>
```

http://velocity.apache.org/engine/releases/velocity-1.7

Velocity Template Language

- Velocity Template Language (VTL) is a simple scripting language in the spirit of TCL
- It has control structures (if, switch, foreach), assignments (set), and macros

http://velocity.apache.org/engine/releases/velocity-1.7

```
#macro( inner $foo )
  inner : $foo
#end

#macro( outer $foo )
   #set($bar = "outerlala")
   outer : $foo
#end

#set($bar = 'calltimelala')
#outer( "#inner($bar)" )
```

Problem: the result of string template expansion may not be syntactically correct, nor well-formed, target language (error-prone)

Typed Template Expansion

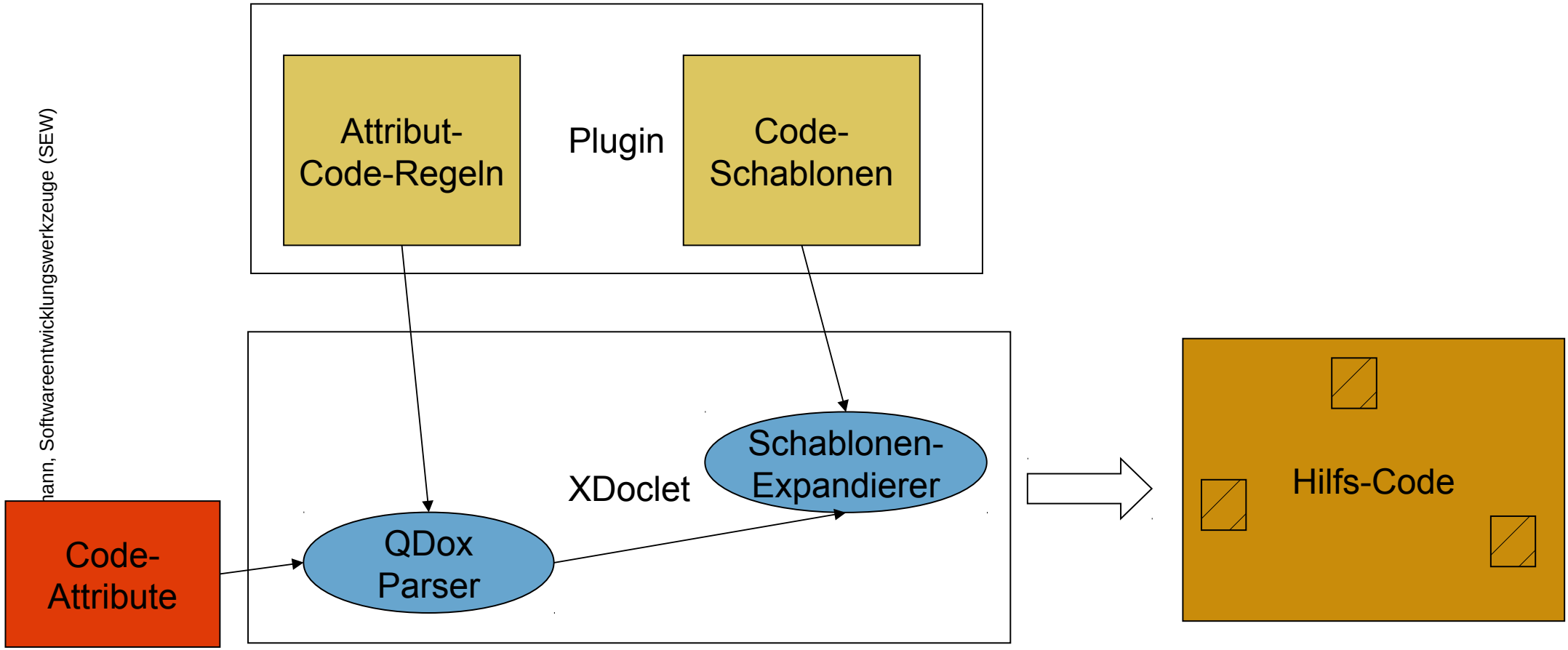
- Metamodel-controlled template engines
  - Open Architecture Ware's Scripting language
- Invasive Softwarekomposition bietet volltypisierte Schablonenexpansion (siehe CBSE)
  - Getypte Schablonen-Expansion und -erweiterung
  - Kann für beliebige Programmiersprachen instantiiert werden
  - http://www.the-compost-system.org
  - http://www.reuseware.org

Semantic Macros

- **Semantic Macros** are metaprogramming procedures which are typed parameters and results.
  - They allow for type-safe static metaprogramming.
- Examples:
  - Scheme

Xdoclet (xdoclet.sf.net)

- Xdoclet wandet Attribute (Metadaten) in Code um
  - Schablonen-gesteuerte Codegenerierung



63.3 Code Modification and Reparsing (Codemodifikation und -rückführung)

Vorgehen der Coderückführung

- **Aufgabe**: Erkennen geänderter „Code“-Teile und Rückführung in die Entwurfsmodelle
- **Prinzip**: Die modifizierte Quellcodedatei stammt in jedem Fall aus der Single-Source-Spezifikation eines CASE-Tools, in die der geänderte Programmcode zurückgeführt werden soll
  - Kennzeichnungen der Single Source-Spezifikation sind noch vorhanden.
  - Strukturierung der Quellcodefiles ist so, dass Abschnitte erkennbar sind und ihnen eindeutig die Objekte der Entwurfsspezifikation zugeordnet werden können, beispielsweise durch:
    - Trennmarkierungen (-kommentare oder -attribute, hedges) zwischen den Abschnitten (Markup) wird zum Erkennen der Grenzen benutzt
    - Vorhandensein von „Code“-Teilen als zielsprachenspezifische Freiräume (hooks)
    - Weitere Rückführinformationen gegebenenfalls aus dem Quellfilekopf oder -kommentaren

Quelle: Lempp, P., Torick R. J.. Software Reverse Engineering: An Approach to Recapturing Reliable Software; 4th Ann. Joint Conf. on Softw. Quality and Productivity, Crystal City, VA, March 1-3, 1988

- **Trace hedges** are hedge symbols inserted by a template expander to demarcate the template from the inset.

Beispiel-Folien

- Beispiel aus der Codegenerierung und parser-basierten Code-Rückführung von Fujaba:

http://www.fokus.fraunhofer.de/en/fokus_events/motion/ecmda2008/_docs/rs01_t03_ManuelBork_EMCDA2008_slides.pdf

- Paralleles Parsen von Template und Generat, mit Vergleich zum Auflösen der Indeterminismen der Rückführung

The End