



## B A C H E L O R A R B E I T

in der Fachrichtung  
Wirtschaftsinformatik

## T H E M A

### **Konzeption einer DSL zur Beschreibung von Benutzeroberflächen für profil c/s auf der Grundlage des Multichannel-Frameworks der deg**

Eingereicht von:	Niels Gundermann (Matrikelnr. 5023) Willi-Bredel-Straße 26 17034 Neubrandenburg E-Mail: gundermann.niels.ng@googlemail.com
Erarbeitet im:	7. Semester
Abgabetermin:	16. Februar 2015
Gutachter:	Prof. Dr.-Ing. Johannes Brauer
Co-Gutachter:	Prof. Dr. Joachim Sauer
Betrieblicher Gutachter:	Dipl.-Ing. Stefan Post Woldegker Straße 12 17033 Neubrandenburg Tel.: 0395/5630553 E-Mail: stefan.post@data-experts.de

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>iii</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>iv</b>
<b>Listings</b>	<b>vi</b>
<b>1 Motivation</b>	<b>1</b>
<b>2 Problembeschreibung und Zielsetzung</b>	<b>3</b>
2.1 Allgemeine Anforderungen an Benutzeroberflächen von pro- fil c/s . . . . .	3
2.2 Umsetzung der Benutzerschnittstellen für mehreren Plattfor- men in der deg (Ist-Zustand) . . . . .	4
2.2.1 Multichannel-Framework . . . . .	4
2.2.2 JWAM . . . . .	7
2.3 Probleme des Multichannel-Frameworks . . . . .	9
2.4 Zielsetzung . . . . .	10
<b>3 Domänenspezifische Sprachen</b>	<b>12</b>
3.1 Begriffsbestimmungen . . . . .	12
3.2 Anwendungsbeispiele . . . . .	16
3.3 Model-Driven Software Development (MDSD) . . . . .	16
3.4 Abgrenzung zu GPL . . . . .	17
3.5 Vor- und Nachteile von DSL gegenüber GPL . . . . .	18
3.6 Interne DSLs . . . . .	24
3.6.1 Implementierungstechniken . . . . .	25
3.7 Externe DSLs . . . . .	27
3.7.1 Implementierungstechniken . . . . .	27

3.8	Nicht-Textuelle DSL . . . . .	30
<b>4</b>	<b>Entwicklung einer Lösungsidee</b>	<b>32</b>
4.1	Allgemeine Beschreibung der Lösungsidee . . . . .	32
4.2	Architektur . . . . .	32
4.3	Vorteile gegenüber dem Multichannel-Framework . . . . .	33
<b>5</b>	<b>Anforderung an die GUI-DSL</b>	<b>34</b>
<b>6</b>	<b>Evaluation des Frameworks zur Entwicklung der DSL</b>	<b>38</b>
6.1	Vorstellung ausgewählter Frameworks . . . . .	38
6.1.1	PetitParser . . . . .	38
6.1.2	Xtext . . . . .	39
6.1.3	Meta Programming System . . . . .	39
6.2	Vergleich und Bewertung der vorgestellten Frameworks . . . .	40
<b>7</b>	<b>Festlegungen für die Entwicklung des Prototyps</b>	<b>43</b>
7.1	Vorgehensmodell . . . . .	43
7.2	Grobkonzept der DSL-Umgebung (Vision) . . . . .	45
7.2.1	1. Iteration . . . . .	45
7.2.2	2. Iteration . . . . .	47
7.2.3	3. Iteration . . . . .	49
<b>8</b>	<b>Entwicklung einer DSL zur Beschreibung der GUI in profil c/s</b>	<b>51</b>
8.1	1. Iteration . . . . .	51
8.2	2. Iteration . . . . .	56
<b>9</b>	<b>Entwicklung des Generators für das Generieren von Klassen für das Multichannel-Framework</b>	<b>66</b>
9.1	Syntax und Semantik für die Beschreibung der GUIs im Multichannel- Framework . . . . .	66
9.2	Umsetzung des frameworkspezifischen Generators . . . . .	66
<b>10</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>67</b>
	<b>Anhang</b>	<b>xi</b>
	<b>Glossar</b>	<b>xv</b>



# Abbildungsverzeichnis

2.1	Web-Client: Zuwendungsblatt . . . . .	5
2.2	Standalone-Client: Zuwendungsblatt . . . . .	6
2.3	Architektur des Multichannel-Frameworks . . . . .	7
2.4	Architektur eines komplexen Werkzeugs mit Benutzt-Beziehung . . . . .	9
3.1	Die grundlegenden Ideen hinter dem MDSD . . . . .	17
3.2	Parsen allgemein . . . . .	27
3.3	Funktionsweise von Parser-Kombinatoren . . . . .	30
4.1	DSL-Ansatz für gleich GUIs auf unterschiedlichen Plattformen . . . . .	33
7.1	Inkrementelles Modell . . . . .	44
7.2	Konzeption der DSL-Umgebung (1. Iteration) . . . . .	45
7.3	Beispiel: Suchfeld für Name . . . . .	46
7.4	Beispiel: Suchmaske . . . . .	46
7.5	Konzeption der DSL-Umgebung (2. Iteration) . . . . .	48
7.6	Konzeption der DSL-Umgebung (3. Iteration) . . . . .	49
8.1	Teil 1: GUI-Beschreibungs-Model Version 1 . . . . .	54
8.2	Teil 2: GUI-Beschreibungs-Model Version 1 . . . . .	55
8.3	Teil 1: GUI-Beschreibungs-Model Version 2 . . . . .	58
8.4	Teil 2: GUI-Beschreibungs-Model Version 2 . . . . .	59
8.5	Teil 3: GUI-Beschreibungs-Model Version 2 . . . . .	60
8.6	Teil 4: GUI-Beschreibungs-Model Version 2 . . . . .	61
8.7	Teil 5: GUI-Beschreibungs-Model Version 2 . . . . .	62

# Tabellenverzeichnis

2.1	Prioritäten der Anforderungen an die GUI . . . . .	4
3.1	Implementierung einfacher Grammatikregeln mit einem RD- Parser . . . . .	29
6.1	Bewertung der Frameworks für die Entwicklung von DSLs . .	41

# Listings

3.1	Beispiel: Fluent Interface . . . . .	26
8.1	1. Iteration: Syntax . . . . .	55
8.2	2. Iteration: Properties . . . . .	62
8.3	2. Iteration: Interaktion . . . . .	63
8.4	2. Iteration: Definition komplexer Komponenten . . . . .	63
8.5	2. Iteration: Area-Zuweisung (1) . . . . .	63
8.6	2. Iteration: Area-Zuweisung (2) . . . . .	64
8.7	2. Iteration: Verändern von Komponenten eingebundener GUI- Beschreibungen . . . . .	64
8.8	2. Iteration - Verändern von Komponenten eingebundener GUI- Beschreibungen mit Namensüberschneidung . . . . .	65

# Kapitel 1

## Motivation

In der heutigen Zeit werden Programme auf vielen unterschiedlichen Geräten (bspw. Desktop, Smartphone, Tablet) ausgeführt. Die Usability ist ein wichtiger Faktor bei der Entwicklung einer Anwendung. Denn eine [...] *schlechte Useability führt zu Verwirrung und Miss- bzw. Unverständnis beim Kunden* [Use12]. Dadurch geht letztendlich Umsatz verloren. Die Usability wird hauptsächlich von der Benutzerschnittstelle bestimmt. Folglich ist die Benutzeroberfläche neben der internen Umsetzung immer ein wichtiger Faktor, der für den Erfolg einer Anwendung eine große Rolle spielt. [LW]

Wenn ein Programm auf unterschiedlichen Geräten ausgeführt wird, muss der Entwickler bei der Traditionelle UI-Entwicklung mehrere GUI manuell implementieren. Folglich werden mehrere GUIs mit unterschiedlichen Toolkits oder Frameworks entworfen. Diese Frameworks haben einen starken imperativen Charakter, sind schwer zu erweitern und sie verhalten sich je nach Plattform unterschiedlich. [KB11] Daraus folgt, dass Entwickler bei dem traditionellen Ansatz das GUI für jedes Framework explizit beschreiben muss.

Ein anderer Ansatz zur Beschreibung von Benutzeroberflächen ist das Model-Driven Development (siehe Kapitel 3.3). Damit sollen bspw. UIs anhand der modellierten Funktionalitäten automatisch erzeugt werden. [SKNH05] Laut Myers et. al. wurde die Darstellung dieser generierten UIs in der Vergangenheit von der Darstellung traditionell implementierter Benutzerschnittstellen übertroffen. [MHP99] Grund dafür ist, dass die Abstraktionsebene, auf der die GUIs beschrieben wurden, oft nicht an die Gestaltung der GUI, sondern



an fachliche Konzepte der Domäne angepasst wurde.

Daraus ergibt sich die Überlegung, ob diese beiden Ansätze zur Implementierung von UIs (traditionell und Model-Driven) verbunden werden können (kombinierter Ansatz). Somit könnte die genaue Beschreibung der Darstellung mit einer höheren Abstraktion verbunden werden. Dieser Versuch wurde bspw. von Baciková im Jahr 2013 (siehe [BPL13]) unternommen. Dort wurde nachgewiesen, dass ein GUI eine Sprache definiert.

In dieser Arbeit wird versucht den kombinierten Ansatz in einem anderen Fachbereich umzusetzen, um die Unterstützung eines GUIs auf unterschiedlichen Plattformen zu gewährleisten. Bei der Umsetzung wird sich auf die UIs der Anwendung *profil c/s*. Profil c/s ist eine JEE -Anwendung die InVeKoS umsetzt und von der deg entwickelt wird.

## Kapitel 2

# Problembeschreibung und Zielsetzung

### 2.1 Allgemeine Anforderungen an Benutzeroberflächen von profil c/s

Die erste Anforderung bezieht sich auf die GUI des Clients von profil c/s. Dieser soll sowohl in Web-Browsern (Web-Client) als auch standalone auf einem PC (Standalone-Client) ausgeführt werden können.

Da die Nutzer an einen bestimmten Aufbau der GUI gewöhnt sind, ist es von Vorteil, wenn beide Clients ein ähnliches UI bieten. Von daher ist die Ähnlichkeit der UIs auf unterschiedlichen Plattformen eine weitere Anforderung.

Um eine effiziente Arbeitsweise zu ermöglichen, ist es wichtig, dass die verwendeten Frameworks um wiederverwendbare Komponenten erweiterbar sind. So ist es möglich redundante Implementierungen zu verallgemeinern und letztendlich zu reduzieren.

Darauf aufbauend, ist weiterhin von großer Bedeutung, wie stark von den verwendeten Frameworks abstrahiert werden kann. Grund dafür ist, dass durch einen hohen Abstraktionsgrad ein hoher Komplexitätsgrad beherrscht werden kann. (vgl. [Bra03])

Abschließend ist die Ausdruckskraft der Syntax, in der die UIs entwickelt werden, als Kriterium zu nennen. Dies fördert die Lesbarkeit des Quell-Codes und damit letztendlich das Verständnis dessen (vgl. [VBK<sup>+</sup>13, S.70]),

sowie die Effizienz mit der die GUIs entwickelt werden.

Diese Anforderungen an das UI haben in der deg unterschiedliche Prioritäten (1 = höchste Priorität, 3 = niedrigste Priorität), die in folgender Tabelle beschrieben werden.

Nr.	Anforderung	Priorität
1.	Bereitstellung für Standalone und Web	1
2.	Ähnlicher Aufbau auf unterschiedlichen Plattformen	2
3.	Erweiterbarkeit der verwendeten Frameworks	1
4.	Verwendung abstrahierbarer Frameworks	2
5.	Ausdrucksstarke Syntax	3

Tabelle 2.1: Prioritäten der Anforderungen an die GUI

## 2.2 Umsetzung der Benutzerschnittstellen für mehreren Plattformen in der deg (Ist-Zustand)

### 2.2.1 Multichannel-Framework

Die Clients werden in der Programmiersprache Java entwickelt. Für die Realisierung des Standalone-Clients wird in der deg das Swing -Framework verwendet. Für den Web-Client wird auf wingS zurückgegriffen. Um eine Vorstellung des Ist-Zustandes zu vermitteln sind in Abbildung 2.1 und in Abbildung 2.2 die GUIs eines Zuwendungsblatt eines Förderantrag für den Web-Client und den Standalone-Client abgebildet.

In diesen UIs ist nur ein bestimmter Teil für fachlichen Informationen relevant. Dies ist lediglich die Tabelle und die darunter stehenden Buttons, sowies das Bemerkungsfeld (im Web-Client auf der rechten Seite und im Standalone-Client in der Mitte). Dieser Bereich des GUI ist in beiden Clients gleich aufgebaut. Andere Teile des GUIs haben derzeit einen unterschiedlichen Aufbau, was den unterschiedlichen Frameworks für die Umsetzung von Web- und Standalone-Client geschuldet ist.

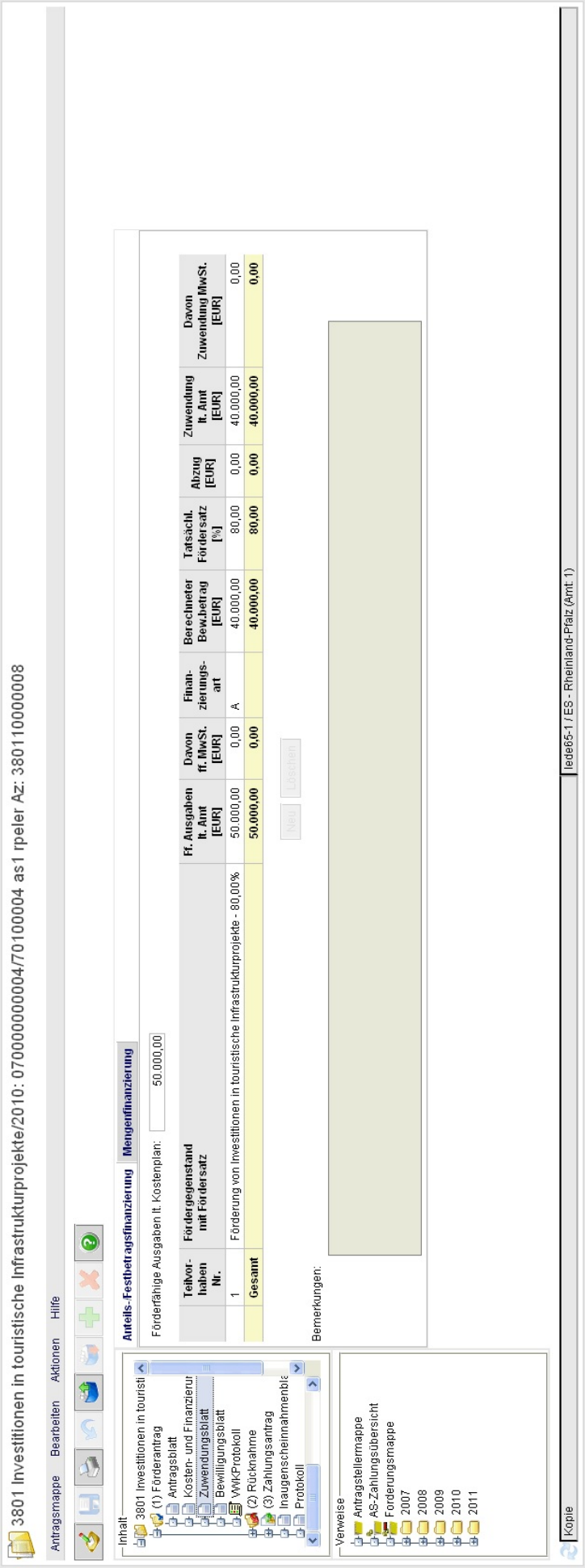


Abbildung 2.1: Web-Client: Zuwendungsblatt (vgl. [deG07])

Fördergegenstand mit Fördersatz	ff. Ausgaben lt. Amt [EUR]	Finanzierungsart	Berechneter Bew.betrag [EUR]	Tatsächl. Fördersatz [%]	Abzug [EUR]	Zuwendung lt. Amt [EUR]
Erweiterung vereinseigener Sportstätten - 75,0...	50.000,00	A	37.500,00	75,00	0,00	37.500,00
Ausnahmen - 30,00%	20.000,00	A	6.000,00	30,00	0,00	6.000,00
Neubau kommunaler Sportstätten - 75,00%	90.000,00	A	67.500,00	75,00	0,00	67.500,00
Modern. vereinseigener Sportstätten - 75,00%	80.000,00	A	60.000,00	75,00	0,00	60.000,00
Instand. vereinseigener Sportstätten - 75,00%	50.000,00	A	37.500,00	75,00	0,00	37.500,00
<b>Gesamt</b>	<b>290.000,00</b>		<b>208.500,00</b>	<b>71,90</b>	<b>0,00</b>	<b>208.500,00</b>

Abbildung 2.2: Standalone-Client: Zuwendungsblatt (vgl. [deG07])

Dass der Aufbau der GUI in beiden Clients ähnlich ist, liegt an der Umsetzung der GUI, die im folgenden erläutert wird.

Aufgrund von Anforderung Nr. 1 wurden in der Vergangenheit zwei GUIs mit unterschiedlichen Frameworks von der deg entwickelt. Dieses Verfahren erwies sich mit komplexer werdenden GUIs als sehr ineffizient. Daher hat die deg eine Lösung erarbeitet mit der es möglich ist, ein einmal beschriebenes GUI auf mehrere Plattformen zu portieren. Durch diese Form der Abstraktion wird der Aufwand der Entwicklung neuer GUIs stark reduziert. Somit entstand die Anforderung Nr. 4, die damit ebenso erfüllt wurde. Zugleich fördert die einmalige Beschreibung auch einen ähnlichen Aufbau der GUI im Web- und Standalone-Client, was der Anforderung Nr. 2 nachkommt. Die Lösung der deg ist das *Multichannel-Framework* (MCF).

Die Architektur des Multichannel-Frameworks ist Abbildung 2.3 zu entnehmen. Innerhalb dieses Frameworks werden die GUIs mittels so genannter *Präsentationsformen* beschrieben.

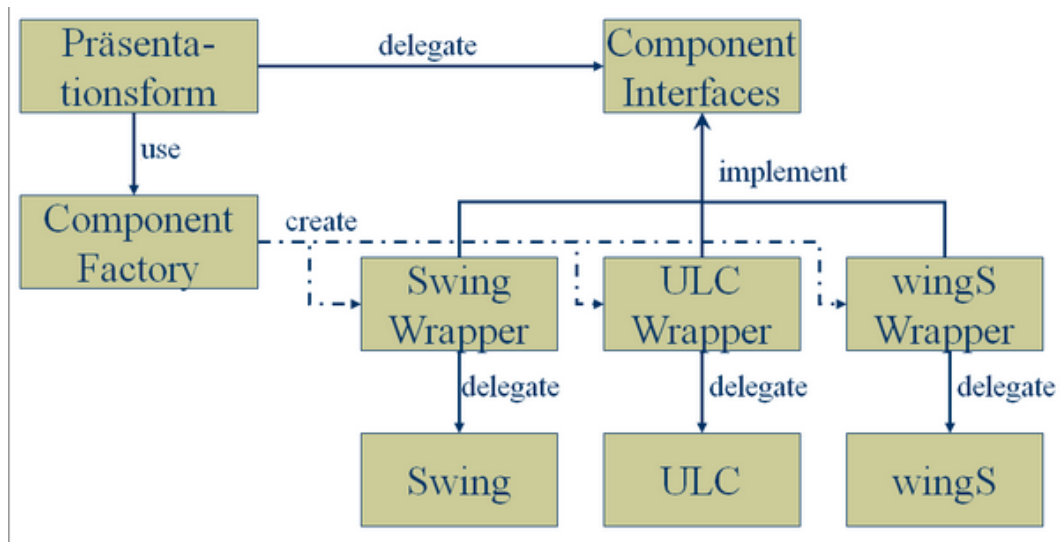


Abbildung 2.3: Architektur des Multichannel-Frameworks (vgl. [Ste07])

Aus Präsentationsformen mithilfe der *Component-Factories* GUIs erzeugt werden, die auf unterschiedlichen Frameworks basieren<sup>1</sup> und das *Component-Interface* implementieren. Das *Component-Interface* wird für die Interaktion mit den Komponenten der unterschiedlichen Frameworks benötigt. Mit dem MCF ist die deg in der Lage ihre GUIs für das *Swing*-Framework und für das *wingS*-Framework mit nur einer GUI-Beschreibung zu erzeugen. Wie bereits erwähnt werden die Clients mit Java entwickelt. Für die Architektur der Clients wird der WAM-Ansatz verwendet, welcher im folgenden Kapitel kurz erläutert wird.

### 2.2.2 JWAM

*JWAM ist eine Realisierung des WAM-Ansatzes in der Programmiersprache Java* [SdS03, S.30]

WAM steht für Werkzeug und Material-Ansatz. Es handelt sich dabei um einen Ansatz zur Softwarearchitektur, welcher die Anwendungsorientierung der Softwareentwicklung fördert und fordert. Der Benutzer der Software steht im Mittelpunkt, wodurch die Gestaltung der Funktionalitäten, Benutzerschnittstellen und die des Entwicklungs- und Implementierungsprozesses beeinflusst wird. (vgl. [Sch05, S.13]) Weiterhin werden Entwurfs-

<sup>1</sup>Hier: Swing, ULC und wingS. Wobei ULC bei der deg nicht mehr im Einsatz ist.

methaphern verwendet, die den Entwicklern und Anwendern das Entwickeln und Verstehen der Software vereinfachen sollen. (vgl. [SdS03, S.30]) Diese Entwurfsmethapher beschreiben [...] *Elemente und Konzepte der Anwendung durch bildhafte Vorstellungen von realen Gegenständen* [...] [SdS03, S.30]. Die grundlegendes Methaphern werden hier kurz erläutert. Ein *Material* können nicht direkt vom Nutzer bearbeitet werden. Sie besitzen jedoch eine Schnittstelle, die fachliche Operationen erlaubt. Diese Operationen können bspw. von einem *Werkzeug* aufgerufen werden, um den Zustand des Materials zu verändern. Dabei verfügen Werkzeuge über eine Präsentation und geben somit eine Handhabung vor. *Automaten* können selbstständig Routinearbeiten erledigen. (vgl. [SdS03, S.30]) Sie können ebenfalls Materialien bearbeiten. (vgl. [Sch05, S.14]) Gegenstände, die mit diesen Methaphern assoziiert werden, können in *Arbeitsumgebungen* abgelegt werden. Dabei werden zwei Arbeitsumgebungen unterschieden. Erstens die persönlichen Arbeitsplätze der Benutzer und Räume der Arbeitsumgebung, die für alle zugänglich sind und über die somit die Zusammenarbeit statt findet. (vgl. [SdS03, S.31], [Sch05, S.15]) Darüber hinaus gibt es *fachliche Services*, die als Dienstleister Funktionalität zur Verfügung stellen. Diese können Materialien verwalten, verfügen jedoch über keine eigene Präsentation. (vgl. [SdS03, S.30f])

Durch fachliche Services ist mit dem WAM-Ansatz Multi-Channeling möglich. (vgl. [SdS03, S.42]) Das Multi-Channeling des WAM-Ansatzes setzt dabei auf einer anderen Ebene an als das MCF. Das Multi-Channeling des WAM-Ansatzes basiert darauf, dass [...] *Funktionalität unabhängig von der konkreten Handhabung, Präsentation und Technik bereitgestellt wird*. [?, S.42] Das MCF hingegen basiert darauf, dass eine Präsentation und abhängig von der Technik bereitgestellt werden kann. Es setzt demnach ein einer höheren Ebene an, als das Multi-Channeling des WAM-Ansatzes. Die Mechanismen, die das Multi-Channeling im WAM-Ansatz werden jedoch auch im MCF verwendet.

Da ein Werkzeug eine Präsentation darstellt, sind sie für den weiteren Verlauf der Arbeit (insbesondere Kapitel 9) relevant. Es werden zwei Arten von Werkzeugen unterschieden - *monolithische*- und *komplexe Werkzeuge*. (vgl. [Hof06, S.5]) Da in der deg hauptsächlich komplexe Werkzeuge Anwen-

derung finden, werden die monolithischen Werkzeuge nicht hier weiter erläutert. Komplexe Werkzeuge gliedern sich in Oberfläche, Interaktion und Fachlogik auf. Dabei muss die Funktionskomponente (FunctionPart - FP) vollständig von der GUI abstrahiert und sich somit auf die Fachlogik beschränkt. Zwischen diesen Komponenten steht eine Interaktionskomponente (InteractionPart - IP), die für die Abstraktion Sorge trägt. Eine Werkzeugklasse umschließt diese drei Komponenten (siehe Abbildung 2.4). (vgl. [Hof06, S.5f])

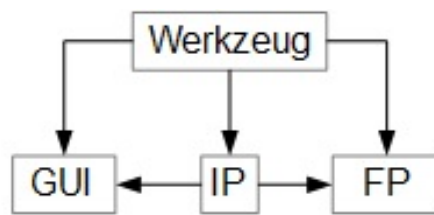


Abbildung 2.4: Architektur eines komplexen Werkzeugs mit Benutzer-Beziehung

## 2.3 Probleme des Multichannel-Frameworks

Beim Einsatz des MCF treten jedoch Probleme auf. Bezogen auf die Anforderungen wurden Anforderungen Nr. 3 und 5 nicht umgesetzt. (Fakt ist, dass jede Sprache eine gewisse Ausdruckskraft hat. Da in dieser Arbeit versucht wird die UI-Entwicklung mittels einer ausdrucksstarken DSL, die sich auf die Domäne von profil c/s bezieht umzusetzen, ist die Ausdruckstärke herkömmlichen Programmiersprachen als unzureichend anzusehen).

Ein weiteres Problem bezieht sich auf die integrierten Frameworks (Swing und wingS). Beide Frameworks sind veraltet und werden nicht mehr gewartet. Um auch in der Zukunft den Anforderungen der Kunden nachkommen zu können müssten beide Frameworks von den Entwicklern der deg selbst weiterentwickelt werden. Eine andere Möglichkeit wäre es, wenn die deg andere und modernere Frameworks einsetzt um den nötigen Support der Framework-Entwickler nutzen zu können.

Das MCF ist in der Theorie so konzipiert, dass es leicht sein sollte neue Fra-



meworks zu integrieren (siehe Abbildung 2.3. In der Praxis wurde die Einfachheit einer solchen Integration jedoch widerlegt. Ein Problem, welches bei der Integration neuer Frameworks aufkommt, ist, dass sich das MCF sehr stark an Swing orientiert und die GUIs vor allem vom GridBagLayout stark beeinflusst sind. Ein solches Layout steht nicht in allen Frameworks zur Verfügung. Da die Beschreibung der GUI über ein solches Layout vollzogen wird, ist es der Umgang mit dem GridBagLayout innerhalb des Frameworks eine Voraussetzung für die Integration in das MCF. Zusammenfassen sind folgende Probleme des MCF zu nennen:

- verwendeten Frameworks sind inaktuell
- Starke Orientierung an Swing
- o.g. Anforderungen werden nicht komplett umgesetzt

Dazu kommen lästige Routinearbeiten, die in der deg bei der Entwicklung von UIs getätigt werden müssen.

- Vergebene Bezeichnungen für UI-Komponenten müssen in unterschiedlichen Klassen gepflegt werden.
- Beim Erstellen von Tabellen müssen viele Methoden überschrieben werden.
- Die Werte für Aufschriften, Größeneinstellungen u.ä. für UI-Komponenten wird bei der deg in Properties-Dateien festgehalten. Das Erstellen und Pflegen wird als Fehleranfällig betrachtet.

Diese Routinearbeiten werden in Kapitel 9 nochmals aufgegriffen und in Verbindung mit der GUI-Architektur von profil c/s genauer erläutert.

## 2.4 Zielsetzung

Das langfristige Ziel der deg bzgl. des MCF ist es, eine Lösung zu entwickeln, welche das MCF ablösen kann. Anzustreben ist eine Lösung, die neben der Umsetzung der o.g. Anforderungen auch die genannten Routinearbeiten eindemmt.

In dieser Arbeit wird ein Ansatz untersucht, bei dem es möglich ist, die oben genannten Anforderungen vollständig umzusetzen. Kern des Ansatzes ist eine DSL, mit deren Hilfe die UIs beschrieben werden sollen. Eine DSLs könnte so konzipiert werden, dass sie ausreichend abstrakt und erweiterbar ist und bzgl. der Ausdrucksstärke das MCF übertrifft.

Die genaue Lösungsidee mittels DSL, welche in dieser Arbeit verfolgt wird, ist in Kapitel 4 beschrieben.

## Kapitel 3

# Domänenspezifische Sprachen

### 3.1 Begriffsbestimmungen

#### Sprache/Programmiersprache

Formal betrachtet ist eine Sprache eine beliebige Teilmenge aller Wörter über einem Alphabet. „Ein Alphabet ist eine endliche, nichtleere Menge von Zeichen (auch Symbole oder Buchstaben genannt).“ [Hed12, S.6]

Zur Verdeutlichung der Definition einer Sprache sei  $V$  ein Alphabet und  $k \in \mathbb{N}$  ( $\mathbb{N}$  ist die Menge der natürlichen Zahlen einschließlich der Null). (vgl. [Hed12, S.6]) „Eine endliche Folge  $(x_1, \dots, x_k)$  mit  $x_i \in V$  ( $i = 1, \dots, k$ ) heißt Wort über  $V$  der Länge  $k$ “ [Hed12, S.6].

Programmiersprachen werden dazu verwendet, um mit einem Computer Instruktionen zukommen zu lassen. (vgl. [FP11, S.27], [VBK<sup>+</sup>13, S.27]) In diesem Kontext werden die Bestandteile einer Sprache wie folgt abgegrenzt:

#### Konkrete Syntax

Die konkrete Syntax beschreibt die Notation der Sprache. Demnach bestimmt sie, welche Sprachkonstrukte der Nutzer einsetzen kann, um ein Programm in dieser Sprache zu schreiben. (vgl. [Aho08, S.87])

#### Abstrakte Syntax

Die abstrakte Syntax ist eine Datenstruktur, welche die Kerninformationen eines Programms beschreibt. Sie enthält keinerlei Informationen über Details bezüglich der Notation. Zur Darstellung

dieser Datenstruktur werden abstrakte Syntaxbäume genutzt. (vgl. [VBK<sup>+</sup>13, S.179])

### **Statische Semantik**

Die statische Semantik beschreibt die Menge an Regeln bzgl. des Typ-Systems, die ein Programm befolgen muss. (vgl. [VBK<sup>+</sup>13, S.26])

### **Ausführungssemantik**

Die Ausführungssemantik ist abhängig vom Compiler. Sie beschreibt wie ein Programm zu seiner Ausführung funktioniert. (vgl. [VBK<sup>+</sup>13, S.26])

### **General Purpose Language (GPL)**

Bei GPLs handelt es sich um Programmiersprachen, die Turing-vollständig sind. Das bedeutet, dass mit einer GPL alles berechnet werden kann, was auch mit einer Turing-Maschine berechenbar ist. Völter et al. behaupten, dass alle GPLs aufgrund dessen untereinander austauschbar sind. Dennoch sind Abstufungen bzgl. der Ausführung dieser Programmiersprachen zu machen. Unterschiedliche GPLs sind für spezielle Aufgaben optimiert. (vgl. [VBK<sup>+</sup>13, S.27f])

### **Domain Specific Language (DSL)**

Eine DSL (zu dt. Domänenspezifische Sprache) ist eine Programmiersprache, welche für eine bestimmte Domäne optimiert ist. (vgl. [VBK<sup>+</sup>13, S.28]) Das Entwickeln einer DSL ermöglicht es, die Abstraktion der Sprache der Domäne anzupassen. (vgl. [gho11, S.10]) Das bedeutet, dass Aspekte, welche für die Domäne unwichtig sind, auch in der Sprache außer Acht gelassen werden können. Semantik und Syntax sollten demnach der jeweiligen Abstraktionsebene angepasst sein. Eine DSL ist demnach in ihren Ausdrucksmöglichkeiten eingeschränkt. Je stärker diese Einschränkung ist, desto besser ist die Unterstützung der Domäne sowie die Ausdruckskraft der DSL. (vgl. [FP11, S.27f]) Darüber hinaus sollte ein Programm, welches in einer DSL geschrieben wurde, alle Qualitätsanforderungen erfüllen, die auch bei einer Umsetzung des Programms mit GPLs realisiert werden. (vgl. [gho11, S.10f])

Es gibt verschiedene Arten von DSLs. Neben internen und externen DSLs (siehe Kapitel 3.6 und 3.7) findet eine Unterscheidung zwischen technischen DSLs und fachlichen DSL statt. Markus Völter et al. unterscheiden diese beiden Kategorien im Allgemeinen dahingehend, dass technische DSLs von Programmierern genutzt werden und fachliche DSL von Personen, die keine Programmierer sind (bspw. Kunden). (vgl. [VBK<sup>+</sup>13, S.26])

### **Grammatik**

Grammatiken und insbesondere Grammatikregeln werden zur Beschreibung von Sprachen verwendet. (vgl. [Hed12, S.23f]) Für die Definition einer Grammatik verweise ich auf den Praxisbericht [Gun14]. Grammatiken können in einer Hierarchie dargestellt werden (*Chomsky-Hierarchie*). (vgl. [Hed12, S.32f]) Bei Programmiersprachen handelt es sich um *kontextfreie Sprachen*. Diese sind entscheidbar und somit von einem Compiler verarbeitet werden. (vgl. [Hed12, S.16f])

### **Lexikalische Analyse**

Bevor ein DSL-Skript (Text, der in der Syntax einer DSL geschrieben wurde) verarbeitet werden kann, muss das Skript vom sog. *Lexer* oder *Scanner* gelesen werden. (vgl. [FP11, S.221]) Dabei wird ein Text aus diesem Skript als Input-Stream betrachtet. Der Lexer wandelt diesen Input-Stream in einzelne Tokens um. (vgl. [gho11, S.220]) Allgemein ist der Lexer die Instanz innerhalb der DSL Umgebung, die für das Auslesen des DSL-Skriptes verantwortlich ist.

### **Parser**

Ein Parser ist ebenfalls ein Teil der DSL Umgebung. (vgl. [gho11, S.211]) Er ist dafür verantwortlich aus dem Ergebnis der lexikalischen Analyse ein Output zu generieren, mit dem weitere Aktionen durchgeführt werden können. (vgl. [gho11, S.212]) Der Output wird in Form eines Syntax-Baums (AST) generiert. (vgl. [FP11, S.47]) Ein solcher Baum ist laut Martin Fowler et al. eine weitaus nutzbarere Darstellung dessen, was mit dem DSL-Skript dargestellt werden soll. Daraus lässt sich auch das semantische Model generieren. (vgl. [FP11,

S.48])

### **Semantisches Modell**

Das semantische Modell ist ebenfalls eine Repräsentation dessen, was mit der DSL beschrieben wurde. Es wird laut Martin Fowler et al. auch als die Bibliothek betrachtet, welche von der DSL nach außen hin sichtbar ist. (vgl. [FP11, S.159]) In Anlehnung an Ghosh sowie Martin Fowler et al. wird das semantische Modell als Datenstruktur betrachtet, deren Aufbau von der Syntax der DSL unabhängig ist. (vgl. [gho11, S.214], [FP11, S.48])

### **Generator**

In Anlehnung an Martin Fowler ist ein Generator der Teil der DSL Umgebung, welcher für das Erzeugen von Quellcode für die Zielumgebung zuständig ist. (vgl. [FP11, S.121]) Bei der Generierung von Code wird zwischen zwei Verfahren unterschieden.

#### **Transformer Generation**

Bei der Transformer Generation wird das semantische Modell als Input verwendet. Aus diesem Input wird Quellcode für die Zielumgebung generiert. (vgl. [FP11, S.533f]) Ein solches Verfahren wird oft verwendet, wenn ein Großteil des Output generiert wird und die Inhalte des semantischen Modells einfach in den Quellcode der Zielumgebung überführt werden können. (vgl. [FP11, S.535])

#### **Templated Generation**

Bei der Templated Generation wird eine Vorlage benötigt. In dieser Vorlage befinden sich Platzhalter. Diese dienen dazu, dass vom Generator erzeugter Quellcode an diesen Stellen eingesetzt werden kann. (vgl. [FP11, S.539f]) Dieses Codegenerierungsverfahren wird oft verwendet, wenn sich im zu generierenden Quellcode für die Zielumgebung viele statische Inhalte befinden und der Anteil dynamischer Inhalte sehr einfach gehalten ist. (vgl. [FP11, S.541])

## 3.2 Anwendungsbeispiele

Die Anwendungsbereiche für DSLs sind breit gefächert. Die bekanntesten DSLs sind Sprachen wie *SQL* (zur Abfrage und Manipulation von Daten in einer relationalen Datenbank), *HTML* (als Markup-Sprache für das Web) oder *CSS* (als Layoutbeschreibung). (vgl. [gho11, S.12]) Alle Sprachen sind in ihren Ausdrucksmöglichkeiten eingeschränkt und von der Abstraktion her direkt auf eine Domäne (jeweils dahinter in Klammern genannt) zugeschnitten. [gho11]12f

Weitere Beispiele für DSLs befinden sich im Bereich der Sprachen für Parser-Generatoren (*YACC*, *ANTLR*) oder im Bereich der Sprachen für das Zusammenbauen von Softwaresystemen (*Ant*, *Make*). (vgl. [gho11, S.12])

## 3.3 Model-Driven Software Development (MDSD)

In der Einleitung wurde schon der Model-Driven Ansatz in Verbindung mit UI-Entwicklung erwähnt. Dieser Ansatz versucht den technischen Lösungen der IT-Industrie einen gewissen Grad an Agilität zu verleihen. (vgl. [SKNH05]) Das ist damit verbunden, dass die Produktion von Softwareprodukten schneller und besser vonstatten geht und mit weniger Kosten verbunden ist. (vgl. [DM14, S.71])

Erreicht wird dies, indem die Modelle formaler, strenger, vollständiger und konsistenter beschrieben werden. (vgl. [VBK<sup>+</sup>13, S.31]) Die Kernidee ist, dass die Modelle Quellcode oder Funktionalitäten beschreiben und diese in der Evolution der Software immer wiederverwendet werden können. (vgl. [DM14, S.72]) Somit wird redundanter oder schematischer Quellcode vermieden und es ist möglich diese Modelle auch in anderen Anwendungen zu verwenden. (vgl. [DM14, S.72])

Daraus lassen sich folgende Ziele des MDSD ableiten:

- Schnelleres Entwicklen durch Automatisierungen
- Bessere Softwarequalität durch automatisierte Transformationen und formalen Modell-Definitionen
- Verhinderung von Wiederholungen und besseres Management von

veränderbaren Technologien durch die Trennung der Funktionsbereiche (Separation of Concerns)

- Architekturen, Modellierungssprachen (bspw. eine DSL) und Generatoren/Transformatoren können besser wiederverwendet werden
- Verringerte Komplexität durch höhere Abstraktion

(vgl. [mds06, S.13f])

Die Modelle sind somit nicht länger nur zur Dokumentation geeignet, sondern sind ein Teil der Software. (vgl. [mds06, S.14f]) Dabei sind sie auf ein bestimmtes Domänenproblem angepasst. Die Beschreibung dieser Modelle kann bspw. über eine DSL erfolgen. (vgl. [mds06, S.15]) In Abbildung 3.3 ist die Idee des MDSD schematisch dargestellt.

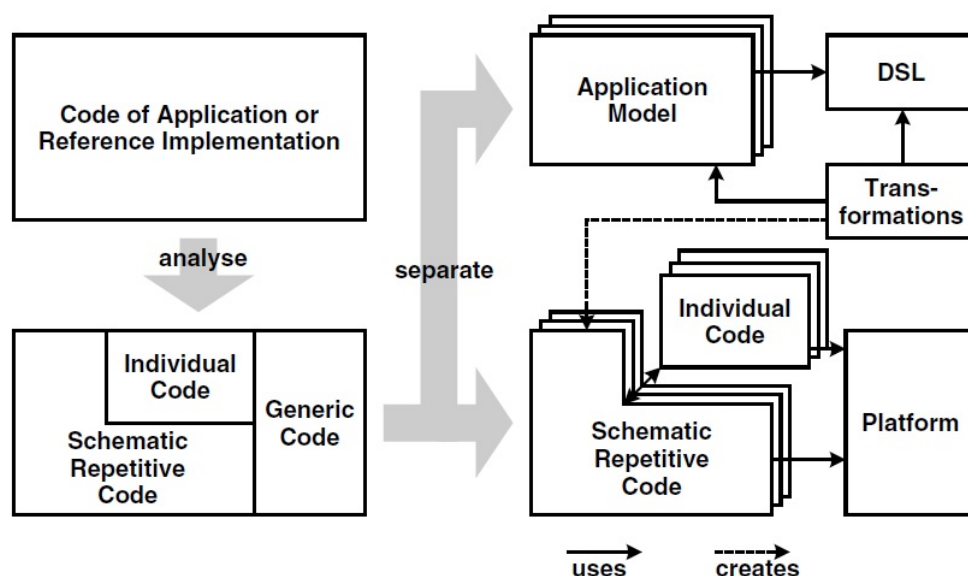


Abbildung 3.1: Die grundlegenden Ideen hinter dem MDSD (vgl. [mds06, S.15])

### 3.4 Abgrenzung zu GPL

Wie zu Beginn dieses Kapitels bereits erwähnt, sind GPLs Sprachen mit denen alles berechnet werden kann, was auch mit einer Turing-Maschine berechenbar ist. Folglich kann mit einer GPL jedes berechenbare Problem gelöst werden. Eine DSL hat diese Eigenschaft nicht. Da sie auf eine bestimm-



te Domäne zugeschnitten ist, können auch nur Probleme innerhalb dieser Domäne mit ihr gelöst werden. (vgl. [VBK<sup>+</sup>13, S.28]) Martin Fowler et al. bezeichnen diese Eigenschaft des Domänen-Fokus als ein Schlüsselement der Definition einer DSL. (vgl. [FP11, S.27f])

## 3.5 Vor- und Nachteile von DSL gegenüber GPL

### Vorteile

- **Ausdruckskraft**

Laut Ghosh sollten DSLs so umgesetzt werden, dass sie präzise sind. Diese Präzision bedingt, dass eine DSL einfach zu verstehen ist. Sie sollte demnach den von Dan Roam beschriebenen Prozess des visuellen Denkens (sehen - betrachten - verstehen - zeigen) (vgl. [Roa09]) so schnell wie möglich abzuarbeiten.

Weiterhin ist es wichtig bei der Entwicklung einer DSL darauf zu achten, dass sich die Abstraktion der Sprache an der semantik der Domäne orientiert. (vgl. [gho11, S.20]) Sind diese Empfehlungen umgesetzt ist wächst das Verständnis für das, was entwickelt werden soll, da die semantische Lücke zwischen Programm und Problem kleiner wird. (vgl. [gho11, S.20], [BCK08]) Außerdem bleibt die Komplexität durch eine höhere Absatrktionsebene beherrschbar. (vgl. [BCK08])

- **Höhere Qualität**

Bei der Entwicklung einer DSL werden Sprachkonstrukte und Freiheitsgrade der Sprache festgelegt. Richtig konzipiert, schränken sie den Entwickler beim Umgang mit dieser DSL so ein, dass die Möglichkeit doppelten Code zu schreiben oder doppelte Arbeit durchzuführen kaum noch besteht. Zusätzlich wird die Anzahl von Fehlern verringert. (vgl. [VBK<sup>+</sup>13, S.40f]) Auch durch die starke Abstraktion einer DSL wird die Wiederverwendung gefördert, was ebenso zu qualitativ höherwertigen Quellcode führt. [gho11]21

- **Verbesserte Produktivität bei der Entwicklung der Software**

Durch die Ausdruckskraft und die Abstraktion der Sprache muss i.d.R.

auch weniger DSL-Code für die Implementierung eines Programms geschrieben werden, als wenn dieses Programm mit einer GPL implementiert wird. Wobei man mit einem entsprechenden Framework für GPLs ähnliches erreichen könnte. (vgl. [VBK<sup>+</sup>13, S.40])

Die stärkere Ausdruckskraft führt zu einer besseren Lesbarkeit von DSL-Code im Vergleich zu GPL-Code, wodurch DSL-Code einfacher zu verstehen ist. Dadurch ist es auch einfacher Fehler in diesem Code zu finden, sowie Anpassungen an dem System vorzunehmen. Bei einer GPL werden diese Vorteile durch Dokumentationen, ausdrucksvolle Variablenbezeichnungen und festgelegten Konventionen angestrebt. (vgl. [FP11, S.33]) Allerdings ist der Entwickler zur Einhaltung dieser Vorschriften nicht gezwungen. Bei der Verwendung einer DSL hingegen kann dem Entwickler dieser Freiheitsgrad entzogen werden. Damit ist er gezwungen lesbaren Quellcode zu schreiben, da die Sprache es nicht anders zulässt.

- **Bessere Kommunikation mit Domänen-Experten und Kunden**

Aufgrund domänenspezifischer- und präziser Ausdrücke, die in der Sprache verwendet werden, sind die Domänen-Experten bzw. die Kunden vertrauter mit der Implementierung, als wenn für die Umsetzung eine GPL verwendet werden würde. (vgl. [VBK<sup>+</sup>13, S.42]) Die hohe Ausdruckskraft fördert das Verständnis dieser DSL. Damit ist es einfacher die Kunden in die Entwicklung mit einzubeziehen. Dabei sollten jedoch zusätzliche Hilfsmittel wie Visualisierungen oder Simulationen verwendet werden. (vgl. [FP11, S.34], [VBK<sup>+</sup>13, S.42]) Somit kann die oft vernachlässigte Kommunikation zwischen Kunden und Auftragnehmern verbessert werden. Martin Fowler et al. beschreiben sogar den Einsatz einer DSL als reine Kommunikationsplattform als vorteilhaft. (vgl. [FP11, S.34f]) Grund dafür ist, dass bereits bei der Entwicklung einer DSL das Verständnis des Auftragnehmers über die Domäne gesteigert wird. (vgl. [VBK<sup>+</sup>13, S.41])

- **Plattformunabhängigkeit**

Durch die Nutzung einer DSL kann bspw. ein Teil der Logik von der Kompilierung in den Ausführungskontext überführt werden. Die De-

definition der Logik findet dabei in der DSL statt, welche erst bei der Ausführung evaluiert wird. Ein solches Verfahren wird oft unter der Verwendung von XML verwendet. (vgl. [FP11, S.35]) Dadurch ist es möglich die Logik auf unterschiedlichen Plattformen auszuführen. (vgl. [VBK<sup>+</sup>13, S.43]) Dieser Vorteil ist besonders für den praktischen Teil dieser Arbeit interessant. (Allerdings weniger in Bezug auf Logik, sondern in Bezug auf Benutzerschnittstellen.)

- **Einfachere Validierung und Verifizierung**

Da DSLs bestimmte Details der Implementierung ausblenden, sind sie auf semantischer Ebene reichhaltiger als GPLs. Das führt dazu, dass Analysen einfacher umzusetzen sind und Fehlermeldungen verständlicher gestaltet werden können, indem die Terminologie der Domäne verwendet wird. Dadurch und durch die vereinfachte Kommunikation mit den Domänen-Experten werden Reviews und Validierungen des DSL-Codes weitaus effizienter. (vgl. [VBK<sup>+</sup>13, S.41])

- **Unabhängigkeit von Technologien**

Die Modelle, welche zur Beschreibung von Systemen verwendet werden, können so gestaltet werden, dass sie von Implementierungstechniken unabhängig sind. Dies wird durch ein hohes Abstraktionsniveau erreicht, welches an die Domäne angepasst ist. Dadurch kann die Beschreibung der Modelle von den genutzten Technologien weitgehend entkoppelt werden. (vgl. [VBK<sup>+</sup>13, S.41])

- **Skalierbarkeit des Entwicklungsprozesses**

Die Integration von neuen Mitarbeitern in ein Entwicklerteam fordert immer eine gewisse Einarbeitungszeit. Dieser Zeitraum kann durch die Nutzung einer DSL verkürzt werden, wenn die DSL einen hohen Abstraktionsgrad hat und dadurch leichter zu verstehen und zu erlernen ist. (vgl. [gho11, S.21])

Innerhalb eines Entwicklerteams haben die Mitarbeiter oft einen unterschiedlicher Erfahrungsstand bzgl. einer speziellen Programmiersprache, die zur Entwicklung genutzt werden soll. Erfahrene Teammitglieder könnten sich mit der Implementierung der DSL befassen und die

Grundlage für die anderen Teammitglieder schaffen. Diese wiederum nutzen die DSL, um die fachlichen Anforderung der Kunden zu implementieren. (vgl. [gho11, S.21]) Das führt im ersten Moment zu einer effizienteren Arbeitsweise, als wenn sich jeder Entwickler mit allem auskennen muss. Markus Völter hingegen sieht die Teilung der Programmieraufgaben als Gefahr bzw. Nachteil. (vgl. [VBK<sup>+</sup>13, S.44])

## Nachteile

- **Großes Know-How gefordert**

Bevor die Vorteile einer DSL genutzt werden können, muss die DSL entwickelt werden. (vgl. [VBK<sup>+</sup>13, S.43]) Das Designen einer Sprache ist eine komplexe Aufgabe, die nur schwer skalierbar ist. (vgl. [gho11, S.21]) Die Vorteile, die eine DSL bietet, können nur geboten werden, wenn die DSL ausreichend gut konzipiert ist. Dazu muss einerseits der richtige Abstraktionsgrad gefunden werden und andererseits die Sprache so einfach wie möglich gehalten werden. Für beide Aufgaben werden Entwickler benötigt, die viel Erfahrung mit Sprach-Design haben. (vgl. [VBK<sup>+</sup>13, S.44])

- **Kosten für die Entwicklung der DSL**

Bei wirtschaftlichen Entscheidungen wird der monetäre Input mit dem monetären Output verglichen. Investitionen führen dazu, dass der Input größer wird. Da eine DSL vor dem Einsatz zuerst entwickelt werden muss, ist es notwendig Investitionen für die Entwickler der DSL zu tätigen. Ob sich eine Investition lohnt, muss vorher durch entsprechende Analysen überprüft werden. Dabei muss festgestellt werden, ob die Entwicklung der DSL gerechtfertigt ist. Im Bereich der technischen DSLs fällt die Rechtfertigung einfach, da diese DSLs oft wiederverwendet werden können. Fachliche DSL hingegen haben oft eine weitaus kompaktere Domäne, als eine technische DSL. Daher ergeben sich die Möglichkeiten zur Wiederverwendung erst zu einem späteren Zeitpunkt und können nur schwer von der im Vorfeld durchgeführten Analysen wahrgenommen werden. (vgl. [VBK<sup>+</sup>13, S.43])

Weiterhin ist in der Phase, in der die DSL entwickelt wird, keine große

positive Änderungen bzgl. der Kosten zu erwarten. Die Kosten reduzieren sich i.d.R erst, wenn die DSL eingesetzt wird. (vgl. [gho11, S.21])

Bevor eine DSL entwickelt werden kann, sollte ein entsprechendes Know-How aufgebaut werden. Der Aufbau dieses Wissens verursacht weitere Kosten. (vgl. [FP11, S.37])

- **Investitions-Gefängnis**

Der Begriff stammt von Markus Völter et al. Er beruht auf der Annahme, dass sich ein Unternehmen dessen bewusst ist, dass höhere Investitionen in wiederverwendbare Artefakte zu einer besseren Produktivität führen. Artefakte, die wiederverwendet werden können, führen dennoch zu Einschränkungen. Die Flexibilität geht dabei verloren. Weiterhin besteht dabei die Gefahr, dass bestimmte Artefakte aufgrund geänderter Anforderungen unbrauchbar werden. Darüber hinaus ist es gefährlich Artefakte zu verändern, die häufig wiederverwendet werden, weil dadurch unerwünschte Nebeneffekte auftreten können. Somit wäre das Unternehmen wiederum zu Investitionen gezwungen, um die Anforderungen umzusetzen. Von daher der verwendete Begriff *Investitions-Gefängnis*. (vgl. [VBK<sup>+</sup>13, S.45])

- **Kakophonie**

Eine DSL abstrahiert von Domänen-Model. (vgl. [gho11, S.22]) Je besser diese Abstraktion ist, desto euphonischer und ausdrucksstärker ist die Sprache.

Normalerweise werden für eine Applikation mehrere DSLs benötigt. Diese unterschiedlichen DSLs haben i.d.R unterschiedliche syntaktische Strukturen. Das führt dazu, dass Mitarbeiter unterschiedliche Sprachen beherrschen müssen. Das wiederum führt dazu, dass die Entwickler öfter umdenken, als wenn sie fortwährend mit einer Sprache arbeiten würden. Das macht den Entwicklungsprozess weitaus komplizierter. (vgl. [FP11, S.37])

- **Ghetto-Sprache**

Wenn ein Unternehmen nur mit eigenen DSLs arbeitet, gleichen diese

Sprachen einer Ghetto-Sprache, die von keinem anderen Unternehmen verstanden wird. Dadruch ist es schwer neue Technologien von anderen Unternehmen in den Bereichen, wo vermehrt DSLs eingesetzt werden, zu integrieren. Denn diese Technologien werden kaum mit den eigenen DSLs kompatibel sein. Außerdem ist es kaum möglich von neuen Mitarbeitern in diesem Bereichen zu profitieren, da sie sich höchstwahrscheinlich nicht einmal diese DSLs und ihren Zweck kennen werden. [FP11]38

Dieser Punkt ist auch in Verbindung mit dem *Investitions-Gefängnis* zu betrachten. Durch die Verwendung übermäßig vieler DSLs ist das Unternehmen gezwungen, diese durch eine große Investition abzusetzen und allgemein bekannte Technologien einzuführen, um von diesen zu profitieren. Eine andere Möglichkeit ist es, weiter in die Entwicklung eigener DSLs zu investieren, um seine Systeme aufrecht zu erhalten.

- **Engstirnigkeit durch Abstraktion**

Abstraktion ist von großer Wichtigkeit für eine DSL. Wenn ein Entwickler mit der Arbeit an einer DSL begonnen hat, hat dieser die Abstraktion in einem bestimmten Maß bereits festgelegt. Ein Problem tritt auf, wenn im Nachhinein etwas mit der Sprache beschrieben werden soll, dass nicht zu dieser Abstraktionsebene passt.

Dabei besteht die Gefahr, dass der Entwickler sich von der Abstraktion der Sprache gefangen nehmen lässt. Das bedeutet, dass der Entwickler versucht, das Problem aus der realen Welt auf seine Abstraktion anzupassen. Der richtige Weg hingegen ist es, die Sprache und deren Abstraktionsgebene so anzupassen, dass das Problem beschrieben werden kann. (vgl. [FP11, S.39])

- **Kulturelle Herausforderungen**

Die genannten Nachteile den Einsatzes von DSLs führen zu Äußerungen wie *Die Entwicklung von Sprachen ist kompliziert, Domänen-Experten sind keine Programmierer* oder *Ich möchte nicht schon wieder eine neue Sprache lernen* (*Yet-Another-Language-To-Learn Syndrom* (vgl. [gho11, S.22])).

Solche kulturellen Probleme i.d.R. dann, wenn etwas neues eingeführt

werden soll. [VBK<sup>+</sup>13]<sup>45</sup> Die Mitarbeiter müssen demnach entsprechend geschult und motiviert werden.

- **Unvollständige DSLs**

Wenn ein Unternehmen viel Erfahrung bei der Entwicklung von DSLs aufgebaut hat und die Entwicklung durch entsprechende Tools vereinfacht wird, besteht die Gefahr, dass neue DSLs zu frühzeitig entwickelt werden. Damit ist gemeint, dass die Überlegungen über die Notwendigkeit einer neuen DSL nicht ausreichend durchgeführt werden. Durch die einfache Entwicklung scheint es weniger aufwendig eine neue DSL zu entwickeln, als nach bestehenden Ansätzen für das gleiche Problem zu suchen. (vgl. [VBK<sup>+</sup>13, S.44f]) Der Gedanke daran, dass sich die Investition in die Entwicklung einer DSL zu einem späteren Zeitpunkt amortisieren wird, unterstützt dies. (vgl. [FP11, S.38]) Dadurch entstehen immer mehr DSLs, die auf gleichen Problemen basieren, aber untereinander inkompatibel sind. Außerdem führt der Fakt, dass die Entwicklung einer DSL zum Verstehen der Domäne sehr hilfreich ist, dazu, dass eine DSL nur aus diesem Grund entwickelt wird. (vgl. [FP11, S.38]) Das wiederum führt dazu, dass mehrere halb-fertige DSLs existieren. Markus Völter et al. nennen dieses Phänomän die *DSL Hell*. (vgl. [VBK<sup>+</sup>13, S.44f])

Zusammenfassend ist zu sagen, dass der Aufwand für die Vorbereitung des Einsatzes einer DSL sehr hoch ist. Wurde eine DSL jedoch eingeführt, wird sich der Arbeitsaufwand um ein Vielfaches verringern und der letztendliche Gewinn höher ausfallen. (vgl. [gho11, S.21])

## 3.6 Interne DSLs

Bei einer internen DSL handelt es sich um eine DSL, die in eine GPL integriert ist. Sie übernehmen dabei das Typ-System der GPL. (vgl. [VBK<sup>+</sup>13, S.50]) In Bezug auf die Ziele aus Kapitel 3.3 können einige dieser mit Application Programming Interfaces (API) erreichen werden. In vielen Fällen ist eine DSL nicht mehr als ein API. Martin Fowler sieht den größten Unterschied zwischen API und DSL darin, dass eine DSL neben einem ab-

strahierten Vokabular auch eine spezifische Grammatik nutzt. (vgl. [FP11, S.29]) Ein API hingegen besitzt die gleichen syntaktischen Strukturen wie die GPL, in der das API bereitgestellt wurde. Somit werden überflüssige Notationsformen in das API übernommen, was bei einer DSL nicht der Fall ist. [VBK<sup>+</sup>13, S.30] Weiterhin können DSLs so konstruiert werden, dass durch Restriktionen und Limitierungen nur korrekte Programme geschrieben werden können. Markus Völter et al. bezeichnen diese Eigenschaft als *correct-by-construction*. (vgl. [VBK<sup>+</sup>13, S.30])

### 3.6.1 Implementierungstechniken

#### Parse-Tree Manipulation

Allgemein betrachtet funktioniert diese Technik wie folgt. Ein Code-Fragment, welches zu einem späteren Zeitpunkt ausgewertet werden soll, als es gelesen wurde, wird in einem Parse-Tree hinterlegt. Dieser Parse-Tree wird noch vor der Ausführung modifiziert. Um diese Implementierungstechnik nutzen zu können, muss eine Umgebung vorliegen in der es möglich ist ein Code-Fragment in einen Parse-Tree umzuformen und diesen zu bearbeiten. Diese Möglichkeit existiert nur in wenigen Sprachen. Martin Fowler et al. geben hierzu nur die Beispiele C#, ParseTree (Ruby) und Lisp. (vgl. [FP11, S.45f])

Anders als Lisp bieten die anderen Beispiele die Möglichkeit über den Parse-Tree zu iterieren. Bei Lisp-Code handelt es sich schon um einen Parse-Tree von verschachtelten Listen. Bei der Iteration über den Parse-Tree ist aufgrund der Performance darauf zu achten, dass möglichst nur die notwendigen Teile des Baumes beachtet werden. (vgl. [FP11, S.46])

Konstrukte, die in der Wirtsprache geschrieben wurden und nicht verändert werden sollen, spielen bei der Parse-Tree Manipulation keine Rolle, um das semantische Modell zu erzeugen. (vgl. [FP11, S.46])

#### Fluent Interfaces

In einem klassischen API hat jede Methode eine eigene Aufgabe und ist nicht von anderen Methoden in diesem API abhängig. (vgl. [FP11, S.28]) In einer internen DSL hingegen ist es möglich Methoden bereitzustellen,



die hintereinander gekettet werden können und somit komplette Sätze darstellen. Somit wird der Output einer Methode zum Input der folgenden Methode. Die Lesbarkeit der DSL wird dadurch weitaus besser, da es einer Sequenz von Aktionen gleicht, die in der Domäne ausgeführt werden (vgl. [gho11, S.94]) und ohne eine Vielzahl von Variablen aufgerufen werden müssen. (vgl. [FP11, S.68]) Eine solche Verkettung von Methoden wird als *Fluent Interface* bezeichnet. Das Fluent Interface steht laut Voelter et al. zwischen dem API und einer internen DSL. (vgl. [VBK<sup>+</sup>13, S.50]) Ein einfaches Beispiel für ein Fluent Interface beschreiben Martin Fowler et al. Dabei wird ein Computer mit einem Processor und zwei Festplatten beschrieben.

Listing 3.1: Beispiel: Fluent Interface

```
1 computer()
2     .processor()
3         .cores(2)
4         .speed(2500)
5         .i386()
6     .disk()
7         .size(150)
8     .disk()
9         .size(75)
10        .speed(7200)
11        .sata()
12    .end()
```

(vgl. [FP11, S.68])

### Annotationen

Annotationen sind ein Teil der Informationen über ein Programmelement, wie Methoden oder Variablen. Diese Informationen können zur Laufzeit oder zur Übersetzungszeit (wenn die Umgebung die Möglichkeit dazu bietet) manipuliert werden. (vgl. [FP11, S.445])

Bevor eine Annotation verarbeitet werden kann, muss sie definiert werden. Die Definition von Annotationen variiert bei unterschiedlichen Sprachen. (vgl. [FP11, S.446]) Die Verarbeitung von Annotationen findet normalerweise zu frei bestimmten Zeitpunkten statt. Zum Zeitpunkt der Übersetzung, zum Zeitpunkt des Ladens des Programms oder zum Zeitpunkt der Ausführung des Programms. (vgl. [FP11, S.447]) Verarbeitungen während der Laufzeit beeinflussen i.d.R. das Verhalten von Objekten. Beim Laden

des Programms werden meist Validierungs-Annotationen verwendet. Solche Annotationen werden bspw. verwendet, um Mapping für Datenbanken auszulesen. Somit wird die Definition von Elementen von der Verarbeitung getrennt, was zu einem übersichtlichen und lesbaren Code beiträgt. (vgl. [FP11, S.449])

## 3.7 Externe DSLs

Eine externe DSL ist eine separate Sprache, welche die Infrastruktur vorhandener Sprachen nicht nutzt. (vgl. [gho11, S.18]) Das bedeutet, dass eine externe DSL eine eigene Syntax sowie ein eigenes Typsystem besitzt. In der Regel wird mit einer externen DSL ein Skript geschrieben, welches von einem Programm gelesen wird. Dieser Vorgang wird auch als *parse*n bezeichnet. (vgl. [FP11, S.28]) Für den Parser die lexikalische Analyse werden oft vorhandene Infrastrukturen genutzt. (vgl. [gho11, S.19])

### 3.7.1 Implementierungstechniken

Bei den Implementierungstechniken von externen DSL geht es um die Art und Weise, wie der DSL-Code vom Parser in ein semantisches Model oder einem AST überführt wird. (vgl. [FP11, S.89]) Die allgemeine Vorgehensweise bei der Verwendung von Parsern ist Abbildung 3.2 zu entnehmen.

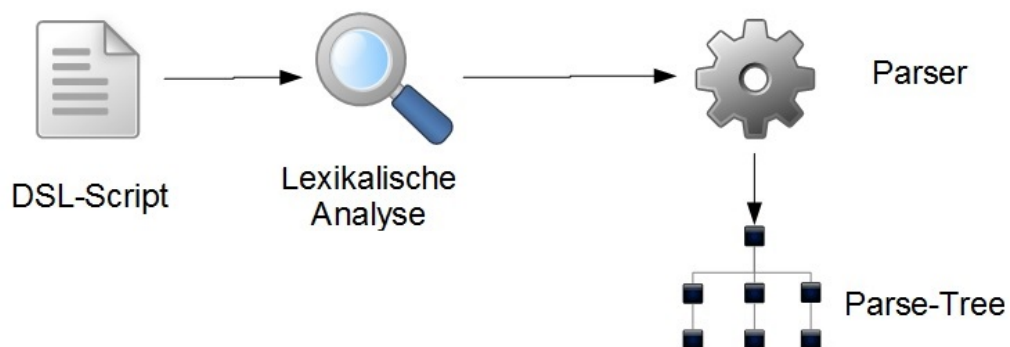


Abbildung 3.2: Parsen allgemein

### Parser Generator

Bei der Generierung von Parsern muss der Parser nicht manuell implementiert werden. Diese Aufgabe wird an den Generator delegiert. Damit dies möglich ist, müssen zwei Artefakte definiert werden. Erstens muss eine Grammatik in der EBNF beschrieben werden. Zweitens werden bestimmte Aktionen benötigt, die bei der Bestätigung bestimmter Grammatik-Regeln ausgeführt werden sollen (Validierungs-Regeln). (vgl. [gho11, S.218]) Wird der Parser Generator ausgetauscht führt dies auch häufig dazu, dass die notwendigen Artefakte (Grammatik und Aktionen) neu definiert werden müssen. (vgl. [FP11, S.269]) Weiterhin arbeiten die meisten Parser Generatoren mit Code-Generierung, wodurch der Build-Prozess komplexer wird. (vgl. [FP11, S.272]) Vorteile dieser Technik im Vergleich dazu, dass der Parser manuell entwickelt wird, sind die folgenden.

- Möglichkeit des programmierens auf einem höheren Abstraktionsniveau (vgl. [gho11, S.218])
- Weniger Code zum Implementieren des Parsers benötigt (vgl. [gho11, S.218])
- Möglichkeit des Generieren eines Parser in unterschiedlichen Sprachen (vgl. [gho11, S.218], [FP11, S.270])
- Validierung der Grammatik durch Fehlererkennung und -behandlung (vgl. [FP11, S.272])

### Recursive Decent Parser (RD-Parser)

Dieser Parser basiert auf Funktionen, die rekursiv aufgerufen werden. Es handelt sich dabei um einen Top-Down Parser. (vgl. [gho11, S.226]) Die Funktionen implementieren dabei die Parsing-Regeln für die nonterminalen Symbole der Grammatik. [FP11]<sup>245</sup> Die Funktionen geben dabei einen Boolean-Wert zurück, der Auskunft darüber gibt, ob die Symbole aus dem DSL-Skript mit den Symbolen übereinstimmen, die laut Grammatik erwartet werden. (vgl. [FP11, S.246]) Tabelle 3.1 enthält die Implementierungsmöglichkeiten von einfachen Grammatikregeln.

Grammatik-Regel	Implementierung
$A \mid B$	<pre> 1 if (A() ) 2     then true 3     else if (B() ) 4         then true 5         else false </pre>
$A B$	<pre> 1 if (A() ) 2     then if (B() ) 3         then true 4         else false 5     else false </pre>
$A?$	<pre> 1 A() ; 2 true </pre>
$A^*$	<pre> 1 while (A() ) ; 2 true </pre>
$A^+$	<pre> 1 if (A() ) 2     then while (A() ) ; 3     else false </pre>

Tabelle 3.1: Implementierung einfacher Grammatikregeln mit einem RD-Parser (vgl. [FP11, S.248])

Da dieser Parser direkt implementiert werden kann, ist es ebenso möglich diesen Parser zu debuggen. Das ist neben der einfachen Implementierung (solange es sich um eine einfache Grammatik handelt) ein großer Vorteil dieser Technik. (vgl. [FP11, S.249]) Ein Nachteil ist, dass keine Grammatik definiert wird. Laut Fowler et. al. wird dadurch einer DSL ein gravierender Vorteil entzogen. (vgl. [FP11, S.249])

### Parser-Kombinator

Bei der Kombination von Parsern wird die Grammatik mittels einer Struktur von Parser Objekten implementiert. (vgl. [FP11, S.256]) Wenn ein Teil des Input-Streams von einem Parser erfolgreich oder fehlerhaft verarbeitet wurde, kann der Rest den Input-Streams an einen anderen Parser übergeben werden. Somit ist es möglich Parser beliebig zu verketteten. (vgl. [gho11, S.242]) Die Elemente, die verkettet werden können werden *Parser-Kombinatoren* genannt. Abbildung 3.3 stellt schematisch diese Funktionsweise dar.

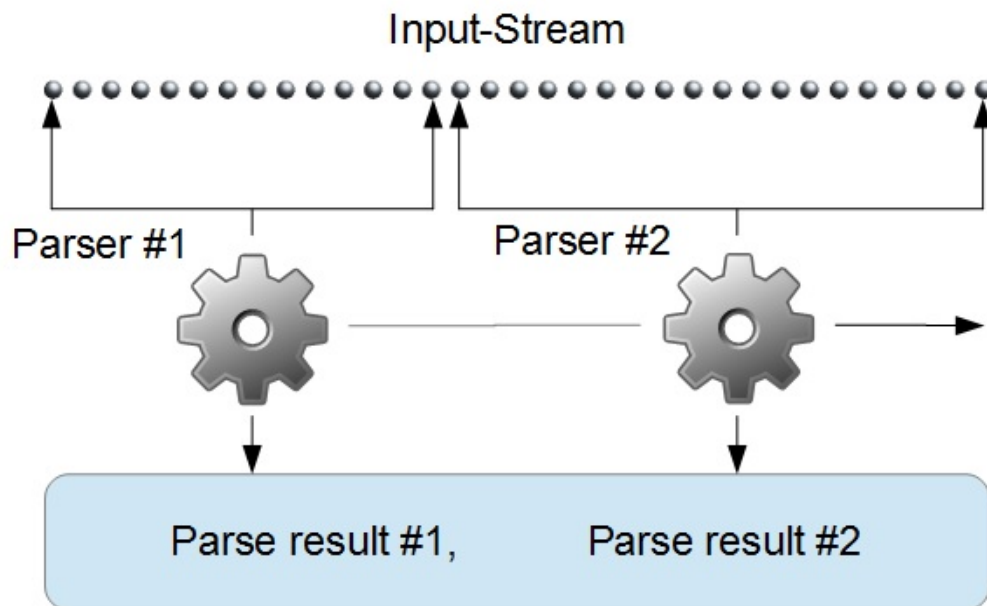


Abbildung 3.3: Funktionsweise von Parser-Kombinatoren (in Anlehnung an [gho11, S.243])

Bezogen darauf, dass ein Parser aus Funktionen besteht, sind diese Parser-Kombinatoren Funktionen erster Ordnung, die unterschiedlich kombiniert werden können. (vgl. [gho11, S.243], [FP11, S.256]) Durch diese Kombination wird eine Struktur gebildet, welche das semantische Model repräsentiert. (vgl. [FP11, S.256]) Ein großer Vorteil dieser Technik ist, dass einfache Parser zu komplexeren Parsern zusammengefügt werden können. Weiterhin wird durch die Kombination mehrerer Grammatik-bestimmender Komponenten auch die Lesbarkeit der Grammatik gefördert, was bei einem RD-Parser ein großer Nachteil war. Daher bezeichnen Fowler et al. Parser-Kombinatoren auch als Mittelweg zwischen RD-Parsern und Parser Generatoren. [FP11]261

### 3.8 Nicht-Textuelle DSL

Die Kapitel 3.6 und 3.7 bezogen sich auf textuelle DSLs. Auch wenn eine DSL eine bestimmte Domäne repräsentiert, bedeutet dies nicht, dass diese Repräsentation immer textuell erfolgen muss. (vgl. [gho11, S.19]) Es gibt einige Gründe, mit einer nicht-textuellen DSL zu arbeiten:

- Viele Domänenprobleme können von den Domänen-Nutzern besser durch Tabellen oder grafische Darstellungen erklärt werden

- Domänenlogik ist in textueller Form oft zu komplex und enthält zu viele syntaktische Strukturen
- Visuelle Modelle sind von Domänenexperten einfacher zu durchdringen und zu verändern

(vgl. [gho11, S.19])

Für diesen Ansatz muss der Domänen-Nutzer die Repräsentation des Wissens über eine Domäne in einem projektionalen Editor visualisieren. Mit diesem Editor kann der Domänen-Nutzer die Sicht auf die Domäne verändern, ohne auch nur eine Zeile Code schreiben zu müssen. Im Hintergrund generiert dieser Editor den Code, welcher Sicht auf die Domäne modelliert.

(vgl. [gho11, S.19f])

## Kapitel 4

# Entwicklung einer Lösungsidee

### 4.1 Allgemeine Beschreibung der Lösungsidee

Eine Lösungsidee für die in Kapitel 2.3 beschriebenen Probleme wurde im Kapitel 2.4 bereits angedeutet. Kern dieser Idee ist, eine DSL zur Beschreibung von GUIs zu nutzen. Diese GUIs sollen so beschrieben werden, dass sie in der Domäne von profil c/s für unterschiedliche UI-Frameworks genutzt werden können. Diese Beschreibung soll weiterhin nur ein mal statt finden. Der Quell-Code, welcher das GUI im entsprechenden Framework darstellt, wird frameworkspezifisch aus der GUI-Beschreibung generiert. Langfristig betrachtet kann das MCF damit theoretisch abgelöst werden.

### 4.2 Architektur

In diesem Lösungsansatz ist die DSL der Ausgangspunkt. Mit deren Hilfe wird eine abstrakte Beschreibung der GUI vorgenommen. Somit ist gewährleistet, dass die GUI weiterhin nur einmal beschrieben werden muss. Ein Generator kann nach dem parsen dieser Beschreibung, frameworkspezifischen Quell-Code generieren. Somit ist die Integration neuer Frameworks an die Implementierung eines spezifischen Generators gekoppelt. Abbildung 4.1 zeigt die Architektur für diesen Ansatz auf. Dabei wurden exemplarisch drei unterschiedliche Generatoren für unterschiedliche Frameworks mit aufgenommen.

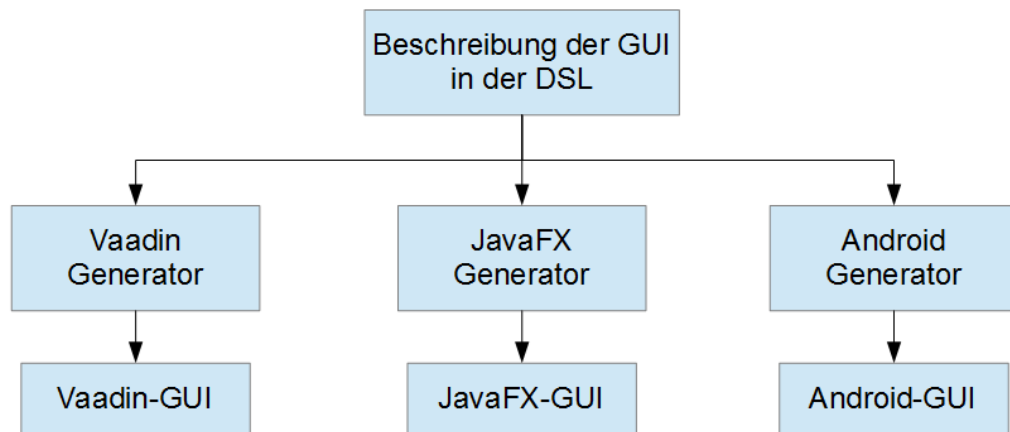


Abbildung 4.1: DSL-Ansatz für gleich GUIs auf unterschiedlichen Plattformen

### 4.3 Vorteile gegenüber dem Multichannel-Framework

Wie in Kapitel 2.3 erläutert, weist das MCF einige Probleme auf. Mit der vorgestellten Lösung kann das Problem der inaktuellen Frameworks und das Problem der starken Orientierung an Swing (oder an ein anderes Framework) beseitigt werden. Eine DSL sollte sich nicht an Besonderheiten bestehender Frameworks orientieren, sondern an dem Domänenproblem. (vgl. [mds06, S.15]) Von daher sollte bei korrekter Umsetzung sichergestellt sein, dass die Integration von unterschiedlichen Frameworks gleichermaßen gut funktioniert.

Ein weiterer Vorteil ist, dass durch die wegfallende Orientierung an Swing auch die Beschreibungsform ausdrucksstärker wird. Grund dafür ist, dass die syntaktischen Strukturen, die in Swing vorhanden sind, nicht mehr benötigt werden und die DSL auf einer höheren Abstraktionsebene konzipiert werden kann. Das erweitern der DSL um fachliche Konzepte aus der c/s-Welt sollte somit ermöglicht werden. Mit diesen fachlichen Konzepten wird eine Annäherung an das Model-Driven Development (siehe Kapitel 3.3) erreicht.

Darüber hinaus werden dem Entwickler durch die Codegenerierung die in Kapitel 2.3 fehleranfällige Routinearbeiten abgenommen.



## Kapitel 5

# Anforderung an die GUI-DSL

Die allgemeinen Anforderung an die GUI wurden in Kapitel 2.1 erläutert. Die folgenden Anforderungen beziehen sich auf die Aspekte der GUIs die beschrieben werden müssen. Ein UI ermöglicht die Interaktion mit einem Programm mit Hilfe unterschiedlicher UI-Komponenten (vgl. [Gal07, S.4]). Mithilfe dieser Komponenten werden Informationen dargestellt, oder Eingaben vom Nutzer getätigt. Um die Zusammensetzung dieser Komponenten zu beschreiben gibt es zwei Ansätze.

Beim ersten Ansatz wird die GUI durch fachliche Modelle beschrieben. (Motivation für MDSD [SKNH05]) Das bedeutet, dass in der Beschreibung der GUI keine UI-Komponenten verwendet werden, wie es in allgemein bekannten UI-Frameworks (JavaFX, Swing) der Fall ist. In der deg soll den Entwicklern weiterhin die Möglichkeit gegeben werden, die UIs selbst zu entwerfen. Ein Grund dafür ist, dass es ein zu großer Aufwand wäre alle Module von profil c/s auf MDSD umzustellen und die GUIs generieren zu lassen. Von daher ist dieser Ansatz vorerst nicht umsetzbar.

Die Komplexität des zweiten Ansatzes scheint weitaus geringer zu sein. Dabei werden weiterhin UI-Komponenten in der GUI-Beschreibung verwendet. Die Entwickler haben somit die Möglichkeit die UIs in einem gewissen Grad anzupassen. Die GUI von profil c/s wird dabei als Domäne betrachtet und nicht die fachlichen Hintergründe. Durch die Festlegung dieser Domäne lässt sich bei der Beschreibung von GUIs eine höhere Abstraktionsebene nutzen, als es bei den verwendeten UI-Frameworks der Fall ist.

Der Entwickler soll somit in der Lage sein ein UI relativ frei zu gestalten.

Außerdem sollte er dadurch die Möglichkeit haben bestimmte Konzepte einfach wieder zu verwenden. Für die GUI-DSL wird bzgl. der Anforderungen an die Komponenten zwischen drei Kategorien unterschieden.

Die erste Kategorie umfasst *Basiskomponenten*. Dabei handelt es sich um UI-Komponenten, deren Funktionen in unterschiedlichen UI-Frameworks ähnlich sind und in unterschiedlichen Anwendungen eingesetzt werden können. Das bedeutet, dass sie nicht als domänenspezifisch angesehen werden können. Beispiele hierfür sind UI-Komponenten wie der *Button* oder das *Label*.

Die zweite Kategorie umfasst *komplexe Komponenten*. Diese zeichnen sich dadurch aus, dass sie domänenspezifisch sind und speziell für profil c/s entwickelt wurden. Ein Beispiel für eine komplexe Komponente ist die Multiselection-Komponente. Die komplexen Komponenten müssen für jedes verwendete UI-Framework implementiert werden. Damit wird verhindert, dass die Entwickler, die bzgl. der GUI nur mit der DSL arbeiten, eigene komplexe Komponenten entwerfen, deren Wiederverwendungsgrad niedriger ist, als wenn diese Komponenten nach ausreichender Evaluation an einer zentralen Stelle implementiert und bereitgestellt werden. Die Notwendigkeit dessen, dass die Quellen für diese komplexen Komponenten sowohl zur Entwicklungszeit, als auch zur Laufzeit vorhanden sein müssen, ist ein Nachteil dieses Konzeptes.

Die dritte Kategorie umfasst *Layout Komponenten*. Dabei handelt es sich um strukturgebende Komponenten. In anderen UI-Frameworks sind dies bspw. *Panel*, *Div* oder *Pane*. In der GUI-DSL müssen auch solche Komponenten verfügbar sein. Dabei ist besonders auf die Ausdruckskraft der für die Beschreibung dieser Komponenten verwendeten Bezeichnungen zu achten. Grund dafür ist, dass sich bspw. auf dem Desktop ein Fenster als oberste Layout Komponente festlegen lässt. In einem Web-Browser ist der Begriff *Fenster* als oberste Layout Komponenten jedoch nicht geläufig. Die Komponente, die in einem Browser dem Fenster auf dem Desktop am nächsten kommt, ist meiner Meinung nach das *Tab*.

Die Attribute, die für die einzelnen Komponenten beschrieben werden müssen, werden in Kapitel 8 genauer analysiert.

Bezüglich des Layouts ist neben den Layout Komponenten eine weitere An-

forderung zu nennen. Hierzu muss erwähnt werden, dass in der traditionellen UI-Entwicklung GUIs mit Hilfe von Layout-Containern strukturiert werden. In der Vergangenheit hat sich gezeigt, dass die Strukturierung über ein spezifisches Layout zu einer Orientierung an ein bestimmtes Framework führt (Beispiel: MCF orientiert sich an Swing). Das ist ein Problem, da bestimmte Layouts im Web oder auf mobilen Plattformen nicht genauso dargestellt werden können, wie auf einer Desktop-Anwendung. Von daher ist das Layout in der GUI-Beschreibung so zu beschreiben, dass es auf allen Plattformen gleichermaßen gut dargestellt werden kann.

Darüber hinaus ist es für die Effizienz in der Entwicklung wichtig, dass mit dem neuen Ansatz weniger Codezeilen (LOC) geschrieben werden müssen als mit dem alten Ansatz.

Weiterhin ist für ein effizientes Arbeiten auch die Bereitstellung eines Editors für die DSL von großer Bedeutung. Dieser Editor soll nach Möglichkeit auch Validierungen durchführen können und Code-Completion anbieten. Eine Integration dieses Editors in die von der Entwicklungsumgebung (Eclipse) wäre wünschenswert.

Bezüglich der Anforderungen an die Komponenten ist abschließend zu sagen, dass bei den trivialen und den komplexen UI-Komponenten die Möglichkeit bestehen muss Interaktionen festzulegen. Außerdem muss die GUI-DSL um weitere triviale und komplexe Komponenten erweiterbar sein.

Zusammenfassend bestehen die Sprache folgenden Anforderungen

- Beschreibung trivialer UI-Komponenten
- Beschreibung komplexer UI-Komponenten
- Beschreibung von Layout Komponenten
- Verwendung einer abstrakten Layoutbeschreibung
- Weniger LOC zur Beschreibung von UIs
- Beschreibung von Interaktionen an trivialen und komplexen UI-Komponenten
- Erweiterung um neue triviale und komplexe UI-Komponenten

Für die Infrastruktur der DSL bestehend die folgenden Anforderungen.

- Bereitstellung eines Editors mit Code-Completion und Validierungsmöglichkeiten
- Integration in die Eclipse IDE

## Kapitel 6

# Evaluation des Frameworks zur Entwicklung der DSL

### 6.1 Vorstellung ausgewählter Frameworks

Zur Umsetzung der DSL und der Generatoren wird ein Framework benötigt, welches dafür notwendige Funktionalitäten bereit stellt. Hierzu werden die Frameworks *PetitParser*, *Xtext* und *MPS* kurz vorgestellt und im Anschluss verglichen.

#### 6.1.1 PetitParser

Dieses Frameworks arbeitet mit Parser-Kombinatoren. Somit ist es mit PetitParser einfach Grammatiken zusammenzustellen, zu transformieren oder zu erweitern, sowie Teile dieser dynamisch wiederzuverwenden. Alles geschieht auf der Basis von Pharo Smalltalk, womit das Framework ursprünglich implementiert wurde. Es existieren jedoch auch Versionen des Frameworks für Java<sup>1</sup>, Dart<sup>2</sup> und PHP<sup>3</sup>. Einfache Parser bestehen aus Sequenzen von Funktionen, welche die Produktionsregeln (Produktionen) der Grammatik abbilden. Komplexere Parser werden durch die Kombination anderer Parser implementiert. (vgl. [RDGN10]) Die Kombination kann in einer einzelnen Methode implementiert werden, was dazu führt, dass man den Par-

---

<sup>1</sup><https://github.com/petitparser/java-petitparser>

<sup>2</sup><https://github.com/petitparser/dart-petitparser>

<sup>3</sup><https://github.com/mindplay-dk/petitparserphp>

ser in einer Skript-Form erhält. Alternativ können die zu kombinierenden Parser auch in Methoden von Unterklassen des *PetitParsers* implementiert werden. (vgl. [bra10, S.6]) Das fördert die Lesbarkeit, Übersichtlichkeit und schließlich die Wartbarkeit des Codes.

Tool Support ist für dieses Framework gewährleistet. Mithilfe dessen können Produktions editiert und grafisch abgebildet werden. Aus Zufallsbeispiele für ausgewählte Produktionen werden generiert um so Fehler in der Grammatik aufzudecken. Darüberhinaus wird die Effizienz einer Grammatik durch die Darstellung direkter, ineffizienter Zyklen in der Grammatik verbessert. (vgl. [RDGN10])

### 6.1.2 Xtext

Bei *Xtext* handelt es sich um eine Open-Source-Lösung für einen *ANTLR*-basierten Parser- und Editorgenerator mit der externe, textuelle DSLs entwickelt werden können. Die Grammatiken für den Parser-Generator werden in der EBNF definiert. Durch die Integration in Eclipse kann der Eclipse-Editor für sämtliche Artefakte der Infrastruktur verwendet werden. Aus der Grammatik wird der Parser, sowie ein Model, mit dessen Hilfe der Generator implementiert werden kann, generiert. Die Klassen für Validierungs-Regeln und den Generator werden ebenfalls vom Tool erzeugt. Diese müssen im Anschluss daran vom Nutzer entsprechend erweitert werden. Zur Editierung der entsprechenden Dateien wird eine eigene Syntax verwendet, die meiner Meinung jedoch stark an die Java-Syntax erinnert.

Wenn der Parser generiert wurde, ist *Xtext* in der Lage einen in Eclipse integrierten Editor zu erzeugen. (vgl. [ML09, S.1]) Dieser Editor ist in der Lage die Validierungs-Regeln auf die DSL-Skripte anzuwenden. Darüber hinaus wird auch Code-Completion vom Editor angeboten.

### 6.1.3 Meta Programming System

Im Meta Programming System (MPS) ist ebenfalls eine Open-Source-Lösung, bei dem externe DSLs im Vordergrund stehen. Bei der Entwicklung der Sprache mit MPS ist weder eine Grammatik noch ein Parser involviert. Die Sprache wird mit diesem Tool projektional entworfen. Das bedeutet,

dass die Sprache nicht nur in Text-Form definiert werden kann, sondern auch mittels Symbolen, Tabellen oder Grafiken. (vgl. [VBK<sup>+</sup>13, S.16]) Dafür wird von der Firma JetBrains ein projekionaler Editor zur Verfügung gestellt<sup>4</sup>.

Der Generator, kann die Konstrukte der neuen Sprach in bestimmte bestimmte Basis-Sprachen überführen. Diese Basis-Sprachen sind *C*, *Java* oder *XML*. Auch die Transformation in einfachen Text wird gewährleistet. (vgl. [Vol11])

Des Weiteren wird ein Editor für die Entwicklung in der DSL zur Verfügung gestellt. Dieser bietet mehrere Funktionalitäten wie Code-Completion, Refactorings oder einen Debugger. (vgl. [PSV13])

Die Integration in Eclipse war laut Pech et al. Ende 2013 geplant. (vgl. [PSV13]) Im Oktober 2014 wies Vaclav Pech jedoch im Jet-Brains-Forum darauf hin, dass die Integration von MPS in Eclipse aufgrund von wichtigeren Features zurückgestellt wurde. (vgl. [Pec14]) Ein Plugin für Eclipse ist demnach in absehbarer Zeit nicht zu erwarten.

## 6.2 Vergleich und Bewertung der vorgestellten Frameworks

In diesem Abschnitt wird das Framework für die Umsetzung des Prototypen evaluiert. Dabei sind folgende Kriterien von Belang.

### **Machbarkeit der Intergration in Eclipse**

Dieser Punkt ist wichtig, da die deg hauptsächlich mit Eclipse arbeitet und so wenig wie möglich von anderen Tools gebrauch machen möchte. Grund dafür ist, dass die gewohnte Arbeitsweise der Entwickler bzgl. des Tools nicht beeinträchtigt werden soll.

### **Erweiterbarkeit der Grammatik**

Die Grammtik muss erweiterbar sein, weil die GUI in profil c/s kein abgeschlossenes Konzept ist. Es ist davon auszugehen, dass neue Komponenten bei Zeiten benötigt werden

---

<sup>4</sup><https://www.jetbrains.com/mps/>

### Bereitstellung eines Editors für DSL-Skripte

Ein Editor unterstützt die effiziente Entwicklung. Features wie Code-Completion oder ausdrücksvolle Fehlermeldungen sind der deg sehr wichtig.

### Erweiterbarkeit der Validierungen

Um ausdrücksvolle Fehlermeldungen verwenden zu können, ist es notwendig Validierungen durchzuführen, die entsprechende Fehlern aufdecken können. Die Standart-Validierungen der Frameworks werden dabei nicht ausreichen.

### Vorhandenes Know-How

Um eine DSL effizient zu entwickeln ist neben dem Sprachdesign auch der Umgang mit dem Framework wichtig. Von daher werden die Erfahrungen der deg mit den vorgestellten Frameworks ebenfalls mit einbezogen.

Die Bewertung ist Tabelle 6.1 zu entnehmen. Dabei wurden drei Bewertungsstufen (Gut (+), Ausreichend (O) und Ungenügend (-)) verwendet.

Kriterium	PetitParser	Xtext	MPS
Machbarkeit der Intergration in Eclipse	+	+	-
Erweiterbarkeit der Grammatik	+	+	+
Bereitstellung eines Editors für DSL-Skripte	+	+	O
Erweiterbarkeit der Validierungen	O	+	+
Vorhandenes Know-How	-	O	-

Tabelle 6.1: Bewertung der Frameworks für die Entwicklung von DSLs

Die Machbarkeit der Integration vom MPS in Eclipse ist derzeit leider noch nicht gewährleistet. Für Xtext gibt es ein entsprechendes Plugin und da PetitParser nach Java protiert wurde, ist auch die Integration nach Eclipse möglich.

Bei der Möglichkeit zur Erweiterbarkeit der Grammatik müssen bei keinem Framework Abstriche gemacht werden.

Die Bereitstellung eines Editors für DSL-Skript ist bei der Verwendung vom MPS schlechter ausgefallen, als bei den anderen Frameworks. Grund dafür



ist, dass an der Editor nicht in Eclipse verwendet werden kann.

Die Validierungen bzgl. der DSL-Skripte können bei PetitParser durch die Parser-Kombinationen umgesetzt werden. Ausdrucksvolle Fehlermeldungen können jedoch nicht bereitgestellt werden. Die anderen Frameworks bieten dafür weitaus bessere Möglichkeiten.

Der letzte und entscheidene Punkt ist das Know-How. Die deg hat bzgl. PetitParser und MPS keine Erfahrungen. Die Erfahrungen mit Xtext halten sich zwar in Grenzen, übersteigen aber dennoch die Erfahrung mit den anderen Frameworks.

Nach dieser Analyse ist Xtext vor allem aufgrund des vorhandenen Know-Hows auszuwählen.

## Kapitel 7

# Festlegungen für die Entwicklung des Prototyps

### 7.1 Vorgehensmodell

Das Vorgehensmodell für die Entwickler des DSL-Prototypen ist ein inkrementelles Model. Das bedeutet, dass mehrere Iterationen durchlaufen werden (inkrementell), in denen unterschiedliche Versionen des Prototyps entwickelt werden. (vgl. [Sau10, S.5]) Inkrementellen Modelle können wie in Abbildung 7.1 dargestellt werden.

Nach der Analyse der Anforderungen wird der Prototyp für die aktuelle Iteration entworfen und entwickelt. Im folgenden Verlauf werden diese beiden Phasen nicht separiert. An die Implementierung und der Vorstellung des Prototypen der aktuellen Version schließt sich ein Review an. Innerhalb des Reviews werden weitere Anforderungen festgelegt, bestehende Anforderungen geändert oder das gar Änderungen am gesamten Konzept gemacht. Das führt wiederum zu einem neuen Entwurf, woran sich eine weitere Implementierung anschließt. Dieser Zyklus wird somit mehrmals durchlaufen (Iteration). (vgl. [Sau10, S.5])

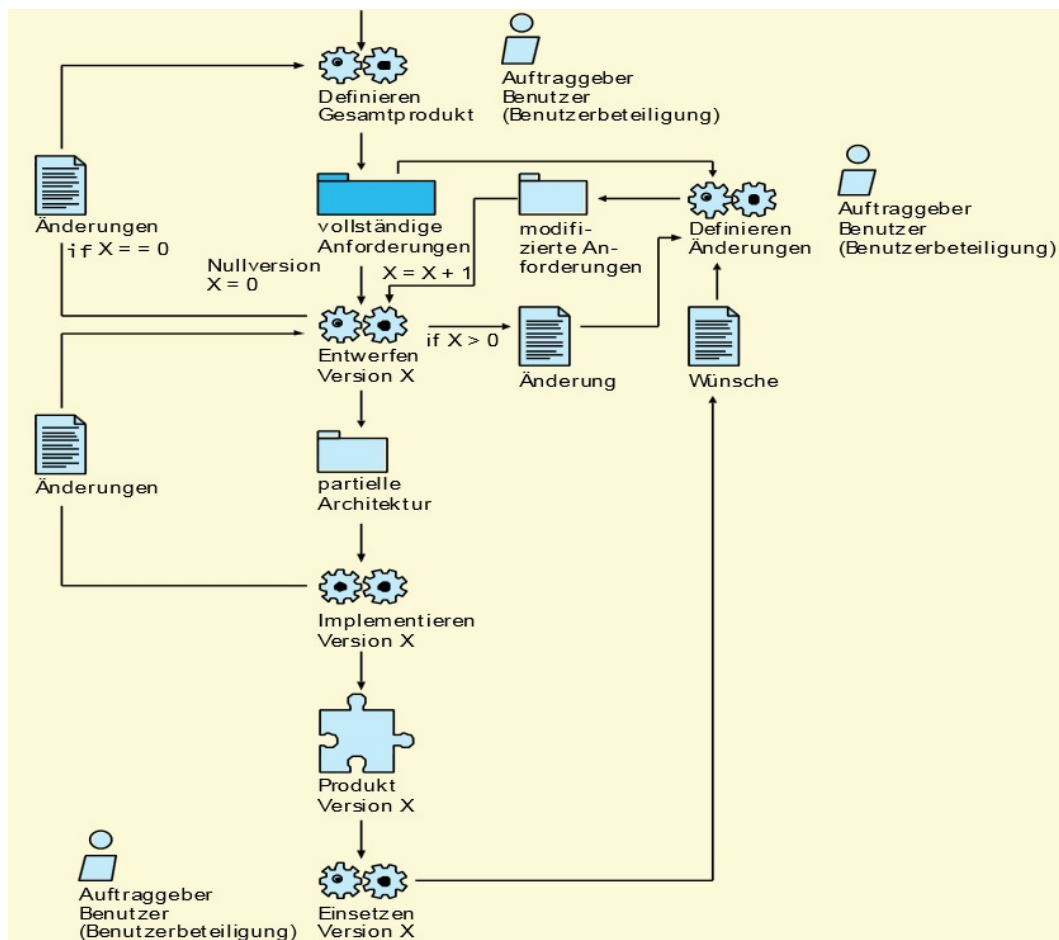


Abbildung 7.1: Inkrementelles Modell (vgl. [Sau13])

Grund für dieses Vorgehen ist, dass in der deg bzgl. DSL-Entwicklung wenig Know-How existiert. Aus den Iterationen soll so viel Erfahrung und Wissen wie möglich geschöpft werden. Außerdem ist werden somit auch Irrwege aufgezeigt, die bei Entwicklung anderer DSLs Beachtung finden können. Weiterhin können Anforderungen flexibel angepasst und Missverständnisse reduziert werden, da der Entwicklungsprozess transparent ist. (vgl. [Sau10, S.67])

Der weitere Verlauf (Kapitel 7.2, 8 und 9) werden die durchgeführten Iterationen beschrieben. Dabei werden folgende Aspekte beleuchtet.

- **Vision** (siehe Kapitel 7.2)

Dabei wird das Konzept der DSL beschrieben. Bezogen auf die schematische Darstellung eines inkrementellen Modells (siehe Abbildung 7.1) ist die Vision als *vollständige Anforderung* zu betrachten.

- **Entwicklung**

Die Entwicklung beschreibt die Phasen *Entwerfen* und *Implementieren*. Sie teilt sich in zwei weitere Bereiche.

- **Entwicklung der DSL** (siehe Kapitel 8)
- **Entwicklung eines Generators** (siehe Kapitel 9)

## 7.2 Grobkonzept der DSL-Umgebung (Vision)

### 7.2.1 1. Iteration

Die gesamte DSL-Umgebung soll sich in zwei Bereiche unterteilen.

- DSL zur Beschreibung des GUI
- Generator zur Generierung von Code

In Abbildung 7.2 sind die Artefakte mit den Aspekten, die von ihnen umgesetzt werden sollen dargestellt.

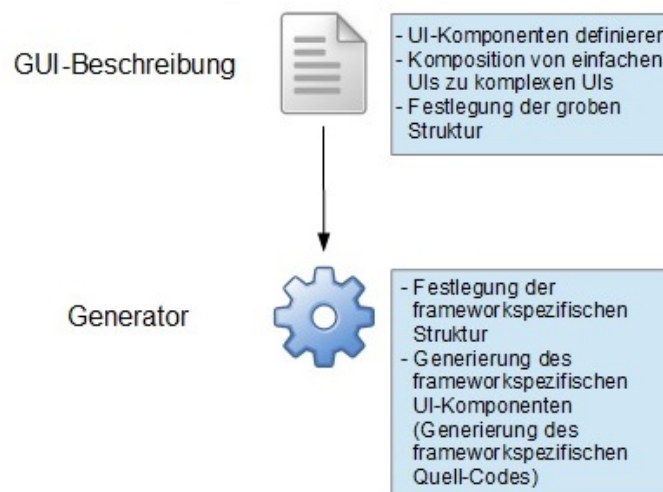


Abbildung 7.2: Konzeption der DSL-Umgebung (1. Iteration)

Die elementare Aufgabe der GUI-Beschreibung ist es, die UI-Komponenten, die in der GUI verwendet werden sollen, zu definieren. Dazu gehören auch Beschreibungen bzgl. der Form der Interaktion und den Aktionen, die bei der Interaktion ausgeführt werden sollen. Weiterhin sind hierbei die allgemeinen Anforderungen aus Kapitel 2.1 zu beachten.

Darüber hinaus sollen die Skripte für die Beschreibung der UIs so konzipiert

werden, dass es möglich ist, andere GUI-Beschreibungen dort einzubinden. Ziel dessen ist es, dass die Entwickler aus mehreren einfachen UIs eine komplexe UI erstellen. Die Gefahr die dabei besteht ist, dass mit der Zeit viel einfache Komponenten mit ähnlicher Struktur entwickelt werden. Da die Deg bei den UI-Komponenten von Profil c/s ein bestimmtes Schema verfolgt (Cooperate Design), sollte dieses Problem ausreichend eingedemmt sein. Wichtig ist hierbei zu betonen, dass die DSL keine Sprache sein soll, mit der jede GUI beschrieben werden kann. Sie soll lediglich UIs für Profil c/s beschreiben können. Der Vorteil der aus dieser starken Modularisierung ergibt, ist dass viele GUI-Beschreibungen wiederverwendet werden können. So ist es meiner Meinung nach möglich komplexe UI-Beschreibungen zu entwickeln, die in Fachabteilungen fachlichen Konzepten assoziiert werden können.

Beispielsweise können Suchmasken nach diesem Konzept gestaltet und beliebig wiederverwendet und kombiniert werden. Hierzu werden unterschiedliche Suchfelder definiert, die aus einem Label und einem Textfeld bestehen (Beispiel siehe Abbildung 7.3).

A simple search field consisting of a label 'Name:' followed by a rectangular text input box.

Abbildung 7.3: Beispiel: Suchfeld für Name

In eine Suchmaske können mehrere dieser Suchfelder beliebig komponiert werden. Der Button für das Starten der Suche darf dabei nicht vergessen werden (Beispiel siehe Abbildung 7.4).

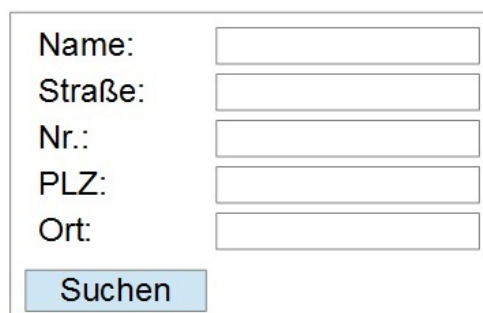
A search mask form with five labels and corresponding text input boxes: 'Name:', 'Straße:', 'Nr.:', 'PLZ:', and 'Ort:'. Below these input fields is a blue button with the text 'Suchen'.

Abbildung 7.4: Beispiel: Suchmaske

Durch diese Möglichkeit der Komposition können auch komplexere fachliche Konzepte auf das UI zu beziehen.

Um die miteinander komponierten GUI-Beschreibungen und UI-Komponenten zu strukturieren ist es notwendig, dass die GUI-Beschreibung eine Strukturierung vornimmt. Diese soll ausreichend abstrakt sein, damit sich diese Struktur auf unterschiedliche UI-Frameworks beziehen lässt. Dazu wird die Struktur innerhalb eines GUIs als Anordnung von Bereichen betrachtet. In der GUI-Beschreibung werden diesen Bereichen die Komponenten zugeordnet. Genauere Informationen über die Anordnung dieser Bereiche dürfen nicht enthalten sein, da eine Orientierung an bestimmte Layouts bedingt (das ist per Anforderung ausgeschlossen - siehe Kapitel 2.1). Dazu ist weiterhin wichtig, dass den Bereichen jeweils nur eine Komponente zugeordnet werden kann. Dadurch wird der Zwang zur vorher beschriebenen Komposition von eingebundenen GUI-Beschreibungen und definierten UI-Komponenten verstärkt werden.

Der Generator übernimmt die konkrete Anordnung der beschriebenen Bereich. Grund dafür ist, dass die Anordnung der Komponenten frameworkspezifisch ist (teilweise werden unterschiedliche Layoutmanager in unterschiedlichen Frameworks unterstützt). Da für jedes eingesetzte Framework ein eigener Generator implementiert werden muss (siehe Kapitel 4), ist es theoretisch möglich diese Aufgabe weitgehend unabhängig von der Beschreibung der verwendeten Komponenten zu erfüllen.

Weiterhin ist der Generator für die Generierung des frameworkspezifischen Quell-Codes verantwortlich.

### 7.2.2 2. Iteration

Nach dem Review der ersten Version des Prototypen wurde das grundsätzliche Konzept um ein Artefakt erweitert (siehe Abbildung 7.5).

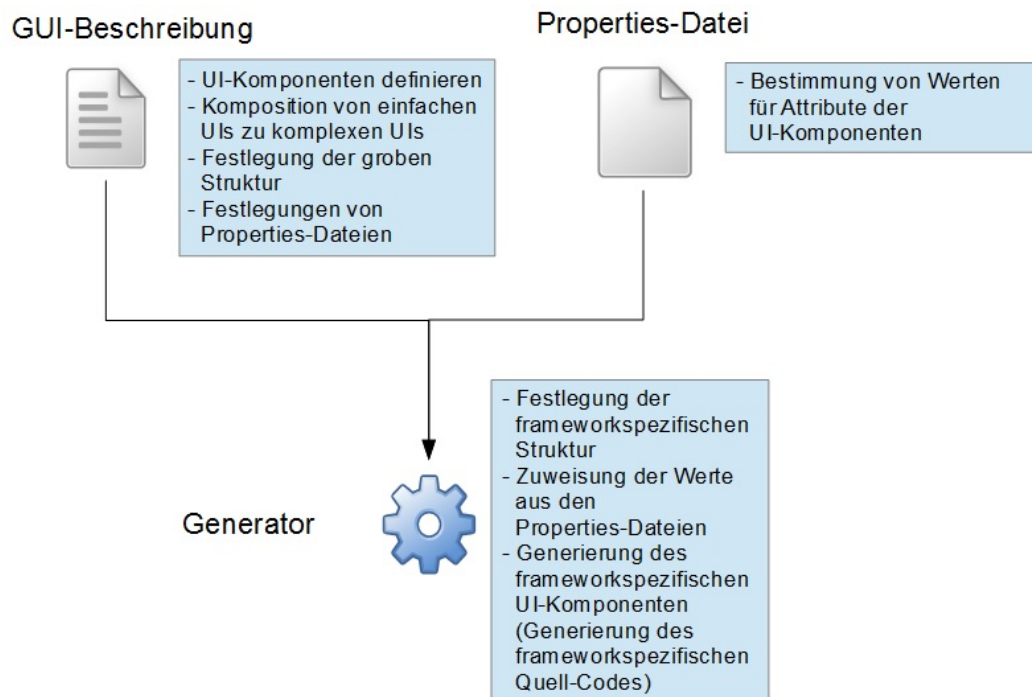


Abbildung 7.5: Konzeption der DSL-Umgebung (2. Iteration)

Eine Änderung, die in dieser Grafik nicht dargestellt wird, ist, dass die Aktionen, die bei Interaktionen mit UI-Komponenten ausgeführt werden sollen, nicht in der GUI-Beschreibung definiert werden sollen. Grund dafür ist, dass diese Aktionen sehr unterschiedliche in der deg sind und somit kaum abstrahiert werden können.

Eine weitere Änderung ist, dass die UI-Komponenten, die einer GUI-Beschreibungen direkt definiert werden, in einer anderen Beschreibung, wo die jene GUI-Beschreibung eingebunden ist, verändert werden können. Dadurch werden die wiederverwendeten Beschreibungen anpassbar, was die Flexibilität enorm steigert.

Darüber hinaus soll die Möglichkeit bestehen, die bestimmte Werte, welche die Attribute von UI-Komponenten annehmen können, in Properties-Dateien auszulagern. Dadurch wird die GUI-Beschreibung weitgehend entlastet. Allerdings muss für die Zuweisung von UI-Komponenten zu Wert-Beschreibung in der Properties-Datei ein Schlüssel definiert werden.

Der Generator muss die festgelegten Properties-Dateien in die Generierung mit einbeziehen und ihnen entsprechende Werte entnehmen. Dabei gilt die Festlegung, dass wenn in der GUI-Beschreibung ein Wert einem bestimmten

Attribut zugewiesen ist, wird in der Properties-Datei (wenn eine festgelegt wurde) nicht mehr nach diesem Attribut der Komponente gesucht.

### 7.2.3 3. Iteration

In dem Review, welches vor der 3. Iteration durchgeführt wurde, entstanden die letzten Änderungen, die bzgl. der Sprache innerhalb dieser Arbeit Beachtung finden. Das grundsätzliche Konzept wurde nochmals erweitert. Neben den bekannten Artefakten der DSL-Umgebung kommt ein weiteres Artefakt hinzu. Dabei handelt es sich um eine Layout-Beschreibung. Somit findet die Beschreibung des Layout nicht mehr im Generator statt, sondern muss nur noch frameworkspezifisch generiert werden. In Abbildung 7.6 ist das neue Konzept schematisch dargestellt.

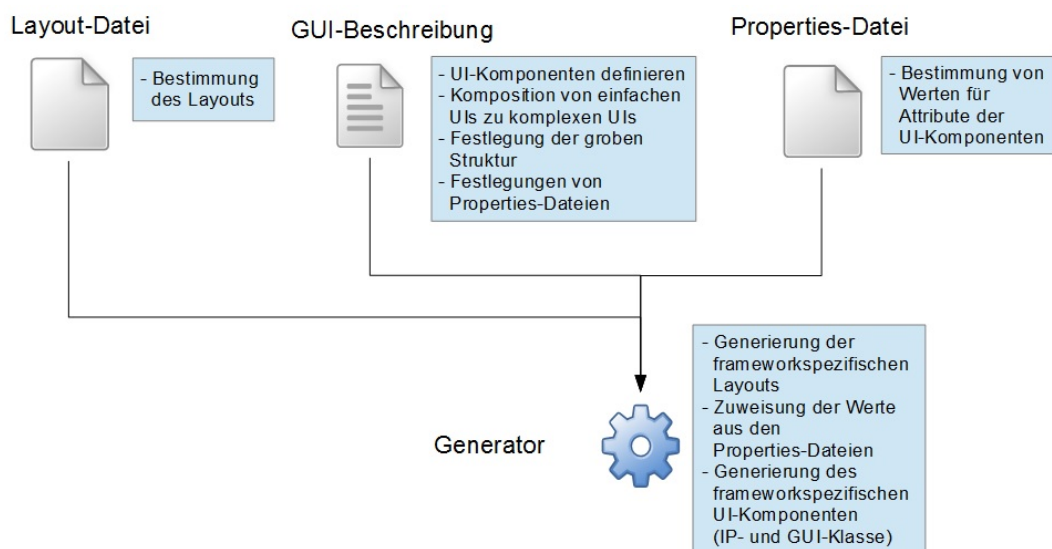


Abbildung 7.6: Konzeption der DSL-Umgebung (3. Iteration)

Da die Layout-Beschreibung in eine separate Datei ausgegliedert wurde, muss die Referenzierung von UI-Komponenten und Bereichen aus der GUI-Beschreibung mit den Festlegungen in der Layout-Datei referenziert werden können. Bezogen auf die in der GUI-Beschreibung definierten Bereiche ist aufgefallen, dass die Angabe der Anzahl der Bereiche nicht notwendig ist. Grund dafür ist, dass dieser Wert doppelt definiert werden würde. Einerseits direkt in der Angabe der Anzahl und andererseits indirekt durch die Zuweisung der UI-Komponenten und eingebundenen GUI-Beschreibungen zu den Be-



reichen. Ursprünglich war die Idee, dass aufgrund dieser doppelten Angabe Validierungen ausgeführt werden können. Die doppelte Deklaration widerspricht jedoch der Anforderung, dass so wenig LOCs wie möglich geschrieben werden sollen, um eine GUI zu beschreiben (siehe Kapitel 2.1). Weiterhin ist aufgefallen, dass in einer GUI-Beschreibung nur eine Propertiesdatei angegeben werden kann. In den GUI-Klassen der deg können jedoch mehrere Propertiesdateien angegeben werden. Dies ist auch in der GUI-Beschreibung per DSL zu beachten.

Neben den Basiskomponenten *Button* und *Label* müssen folgende weitere Basiskomponenten definiert werden können.

- Textfield
- Textarea
- Tree
- Table
- TabPane
- CardPanel

Ein Bereich, in dem während der Laufzeit unterschiedliche UIs hingehängt werden können.

Weiterhin müssen die Bezeichnungen der Interaktionstypen den Bezeichnungen der Interaktionsformen (IAF) der deg angeglichen werden. Darüberhinaus sollen folgende Standard-Interaktionstypen verwendet werden.

(Zuerst wird die Komponente genannt und anschließend die Standard-Interaktionstypen)

- Button: Klick
- CardPanel: Änderung des GUIs
- Tree: Doppelklick

Diese Standard-Interaktionstypen müssen nicht in den jeweiligen Komponenten definiert werden.

## Kapitel 8

# Entwicklung einer DSL zur Beschreibung der GUI in profil c/s

### 8.1 1. Iteration

#### Analyse der Metadaten der GUI

Die Beschreibung einer GUI wird in der Sprache als eigener Komplex betrachtet (siehe semantisches Modell *Definition*). Innerhalb dieses Komplexes werden die entsprechenden Komponenten definiert. Die Bereiche die innerhalb einer Beschreibung festgelegt werden sollen, müssen UI-Komponenten zugeordnet werden können (siehe semantisches Modell *AreaAssignment*). Diese Bereiche sollten vor der Entwicklung bereits festgelegt werden. Um abzusichern, dass die die Anzahl der festgelegten Bereiche genau eingehalten wird, muss diese Anzahl in der GUI-Beschreibung angegeben werden (siehe semantisches Modell *AreaCount*).

Für die Beschreibung der Layout-Komponenten werden zwei Typen unterschieden (siehe semantisches Model *TypeDefinition*).

Ein weiterer Aspekt in GUI-Beschreibung ist die Verwendung von anderen GUI-Beschreibungen (siehe semantisches Modell *Use*).

Zusammenfassend sind für die Beschreibung der GUI folgende Metadaten nötig.

Anzahl der Bereiche

Zuweisung der UI-Komponenten zu den Bereichen

Angabe des Layout-Typs

Angabe der Verwendeten GUI-Beschreibungen

Definition von UI-Komponenten

Die Definition der UI-Komponenten nehmen einen eigenen Komplex innerhalb der GUI-Beschreibung ein. Bezogen auf die Basiskomponenten des UIs ist die Beschreibung eines Textes wichtig. Im Falle eines Buttons oder eines Labels (andere Basiskomponenten sind in dieser Iteration nicht umgesetzt) beschreibt dieser die Aufschrift der Komponente. Weiterhin ist es für die Zuweisung zu einem Bereich wichtig, dass diese Komponenten innerhalb der Datei referenziert werden können. Daher muss für jede UI-Komponente eine Bezeichnung definiert werden, die innerhalb der Datei eindeutig ist.

An den Basiskomponenten können darüber hinaus Interaktionen beschrieben werden. Hierzu sind Informationen über den Interaktionstyp nötig. Der einzige, in dieser Iteration umgesetzte, Interaktionstyp ist ein Klick auf die Komponente. An dieser Interaktion können ebenso Aktionen definiert werden, die Auswirkungen auf andere Komponenten haben. Zusammenfassend ergeben sich folgende Meta-Daten der Basiskomponenten .

Typ

Bezeichnung

Text

Interaktion (siehe semantisches Modell *Interaction*)

Die Interaktion benötigt folgende Attributen, die beschrieben werden müssen.

Bezeichnung

Interaktionstyp

Aktion

Aktionen nehmen wiederum einen eigenen Komplex innerhalb der Komponentendefinition ein. Dabei werden folgende Informationen benötigt.

### Aktions-Typ

Zur Unterscheidung zwischen Interaktionen mit anderen UI-Komponenten oder fachlichen Modellen

### Element

Ein Verweis auf das Element, mit dem interagiert werden soll.

### Attribute (siehe semantisches Modell *Property*)

Die zu verändernden Attribute des Elements.

Die komplexen Komponenten werden in einer eigenen Komponentendefinition beschrieben. Grund dafür ist, dass neben den vordefinierten Funktionalitäten der komplexen Komponente auch weitere optionale Wertzuweisungen möglich sein sollen. Dazu wird nach der Implementierung der Komponente für jedes Framework ein neues Schlüsselwort für eine Komponentendefinition in die Grammatik eingebaut. Jede komplexe Komponente darüber hinaus eine Bezeichnung um referenziert zu werden. In dieser Iteration ist eine Multiselection-Komponente umgesetzt. Diese Komponente ist generisch implementiert. Der generische Typ muss innerhalb der Komponenten in der GUI-Beschreibung definiert werden. Ebenso müssen die Werte, die in dieser Komponente selektiert werden können, angegeben werden. Zusätzlich sollen optional auch die Werte angegeben werden, die bereits selektiert wurden.

## Semantisches Modell

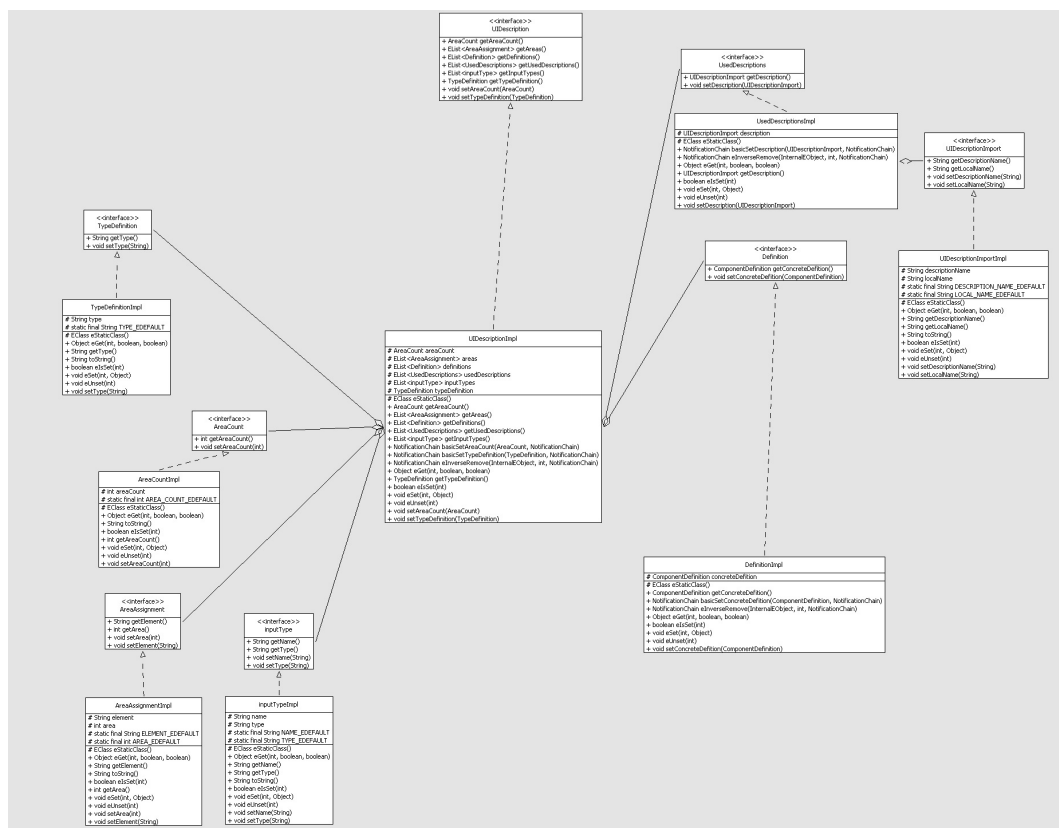


Abbildung 8.1: Teil 1: GUI-Beschreibungs-Model Version 1

Das Artefakt, welches beim dieserm Model im Mittelpunkt steht ist die *UI-Description* (siehe 8.1). Bezüglich der Methoden sind im Allgemeinen nur Getter- und Setter-Methoden des semantischen Modells für diese Arbeit von Belang. Die aggregierten Artefakte sind aus dem Diagramm gut zu entnehmen. Die Klasse *DefinitionImpl* aggregiert weitere Artefakte des Modells. Diese sind um die Übersicht zu wahren Abbildung 8.2 zu entnehmen.

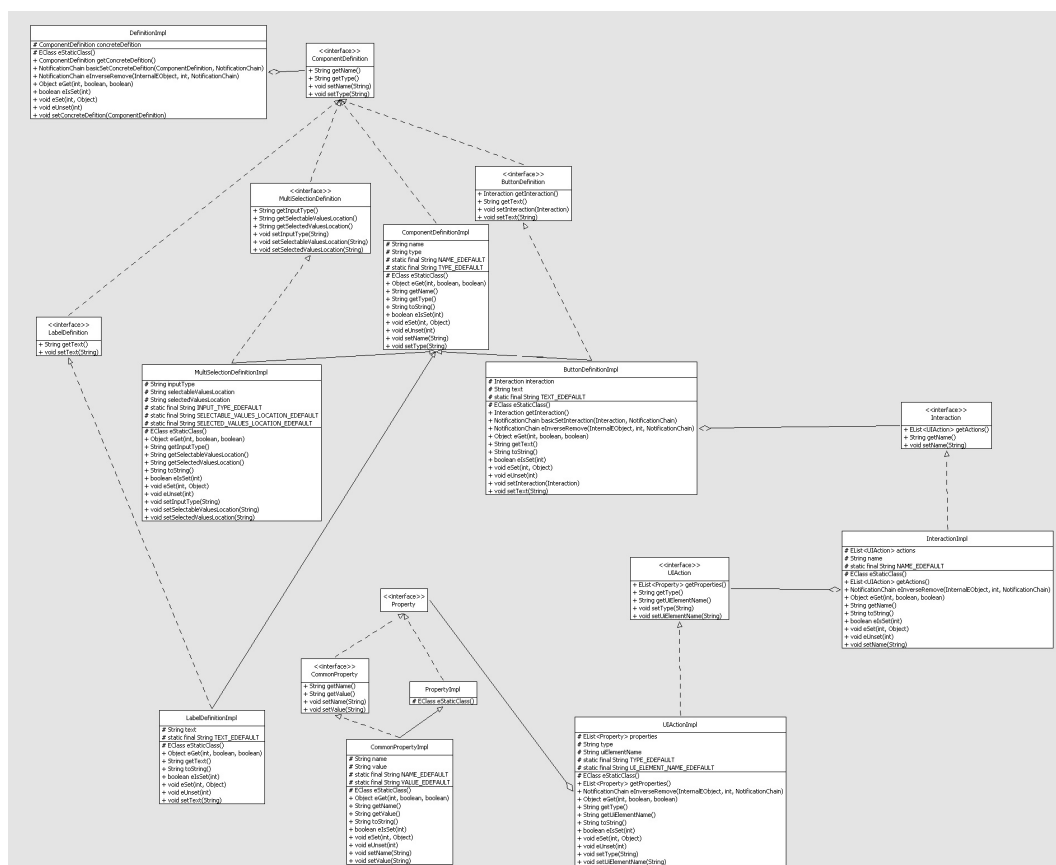


Abbildung 8.2: Teil 2: GUI-Beschreibungs-Model Version 1

Dort sind die drei umgesetzten Ausprägungen einer *Definition* zu erkennen. Dabei handelt es sich um *Label*, *Button* und *MultiSelection*. Weiterhin ist zu erkennen, dass nur der *Button* eine *Interaction* aggregieren kann. Das bedeutet, dass nur an dieser Komponente eine Interaktion beschrieben werden kann. Das Artefakt *Property* ist der letzte interessante Teil. Dieses Interface wird benötigt um bestimmte Werte an Komponenten zu setzen, ohne das Wissen zu müssen um welchen Komponententyp es sich handelt. Dazu wurden die allgemein gültigen Einstellungsmöglichkeiten von Basiskomponenten in *CommonProperty* zusammengefasst. Die Klasse *PropertyImpl* ist ein Artefakt, welches zur Vollständigkeit des Modells erzeugt wurde. Es erfüllt für diese Version jedoch keinen weiteren Zweck.

## Konkrete Syntax

## Listing 8.1: 1. Iteration: Syntax

1 Area count: 4

```
2 type: WINDOW use: "AnotherDescription"
```

```

3 DEF Label as "HEAD" :
4 END DEF
5 DEF Button as "Interactbt":
6     text="Interagiere"
7     interaction="btinteraction" type=CLICK with actions:type=UiAction element=
        "HEAD":Text="Du_hast_interagiert"
8 END DEF
9 DEF MultiSelection as "Multiselect" :
10     inputType="valuepackage.Values"
11     selectableValues="valuepackage.Values.asList()"
12 END DEF
13 Area:1<- "HEAD"
14 Area:2<- "AnotherDescription"
15 Area:3<- "Interactbt"
16 Area:4<- "Multiselect"

```

Die Bezeichnung *Area* wurde bewusst so gewählt, da dieser Begriff abstrakter ist als die in verschiedenen UI-Frameworks verwendeten Begriffe wie, Panel oder Pane. In der Syntax dieser DSL gilt es sich vor allem bzgl. des Aufbaus der GUI an keinem UI-Framework zu orientieren. Die einzelnen Komponentendefinitionen werden durch das Schlüsselwort *DEF* eingeleitet und durch das Schlüsselwort *END DEF* abgeschlossen. Der Definitionskopf wird durch das Zeichen *:* beendet. Dort sind die Pflichtfelder der Komponentendefinition zu finden (*Titel* und *Typ*). Bei der *MultiSelection*-Komponente fällt auf, dass ein Referenzwert verwendet wird, der in dieser Beschreibung nicht deklariert wurde (*valuepackage.Values*). Dabei handelt es sich um einen qualifizierten Namen einer Klasse.

Die dazugehörige Grammatik befindet sich im Anhang 10.

## 8.2 2. Iteration

### Analyse der Metadaten der GUI

Für die Metadaten der GUI-Beschreibung werden muss in dieser Iteration eine Properties-Datei angegeben werden, in der bestimmte Werte für die Attribute der UI-Komponenten enthält.

Da die Möglichkeit bestehen soll die, in den eingebundenen GUI-Beschreibungen definierten, Komponenten in dieser Iteration zu verändert, wird eine weitere Ergänzung für die GUI-Beschreibung benötigt. Diese Veränderungen sollen sich von der Komponentendefinition abgrenzen, damit für nicht über-

schriebene Werte auf die eingebundene GUI-Beschreibung zurückgegriffen werden kann (siehe semantisches Modell *Refinement*). Um die eindeutige Referenzierung zu ermöglichen muss bei der Bezeichnung der eingebundenen GUI-Beschreibung sowie bei der veränderten Komponente der qualifizierte Name angegeben werden.

Bei den Interaktionen der Basiskomponenten fällt die Aktion komplett weg. Somit muss nur noch der Interaktionstyp angegeben werden.

In den Definitionen der Basiskomponenten muss aufgrund des Properties-Konzeptes die Möglichkeit bestehen, einen Property-Schlüssel anzugeben. Alle anderen Metadaten für die Basiskomponenten bleiben bestehen.

Bezogen auf die komplexen Komponenten ist es lediglich notwendig den Input-Typ anzugeben. Die Festlegung über selektierbare und selektierte Elemente in der Multiselection-Komponente wird nicht benötigt. Das ermöglicht, die komplexen Komponenten mittels *use* (siehe semantisches Modell *UsedDefinitions*) in die GUI-Beschreibung einzubinden (siehe konkrete Syntax).

## Semantisches Modell

In dieser Version wurden an den Artefakten *AreaCount*, *TypeDefinition* und *AreaAssignment* keine Änderungen vorgenommen. Artefakte wie *Property* und *Refinement* sind hinzugekommen. Die weiteren Artefakte, die von *UIDescriptionImpl* aggregiert werden (siehe Abbildung 8.2), wurden verändert.



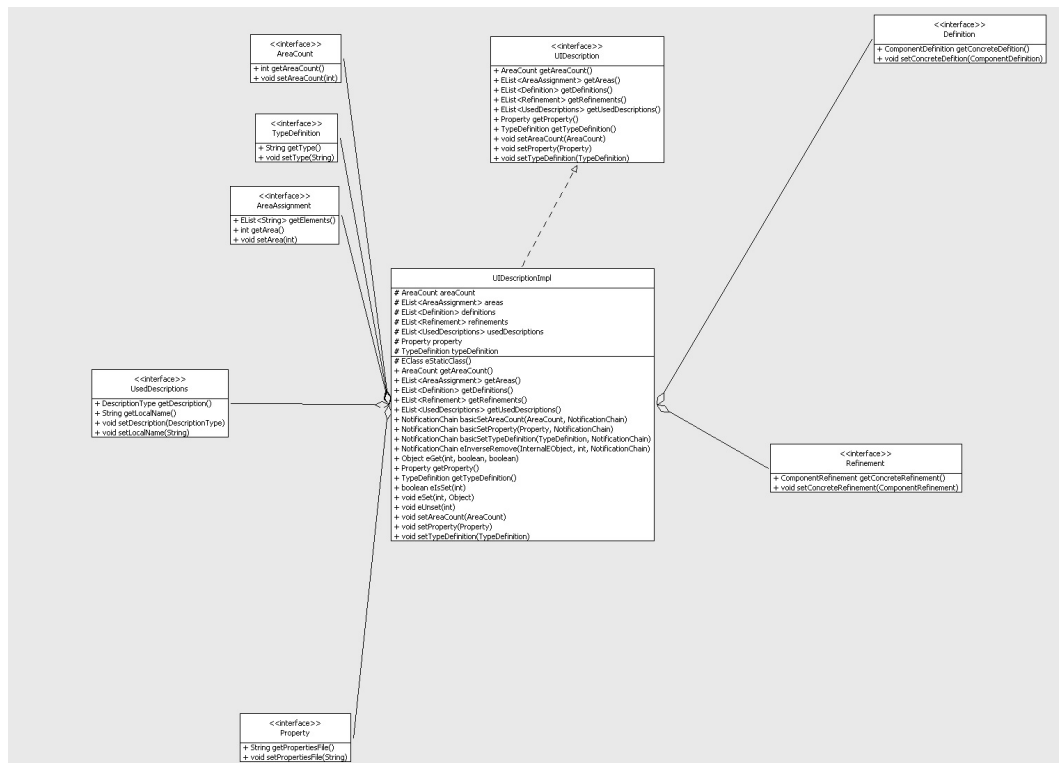


Abbildung 8.3: Teil 1: GUI-Beschreibungs-Model Version 2

Das Artefakt *Property* bildet die Property-Datei ab. Sie ist nicht zu verwechseln mit dem Artefakt *Properties*, welches die Eigenschaften von Komponenten abbildet. Abbildung 8.4 zeigt beide Artefakte auf.

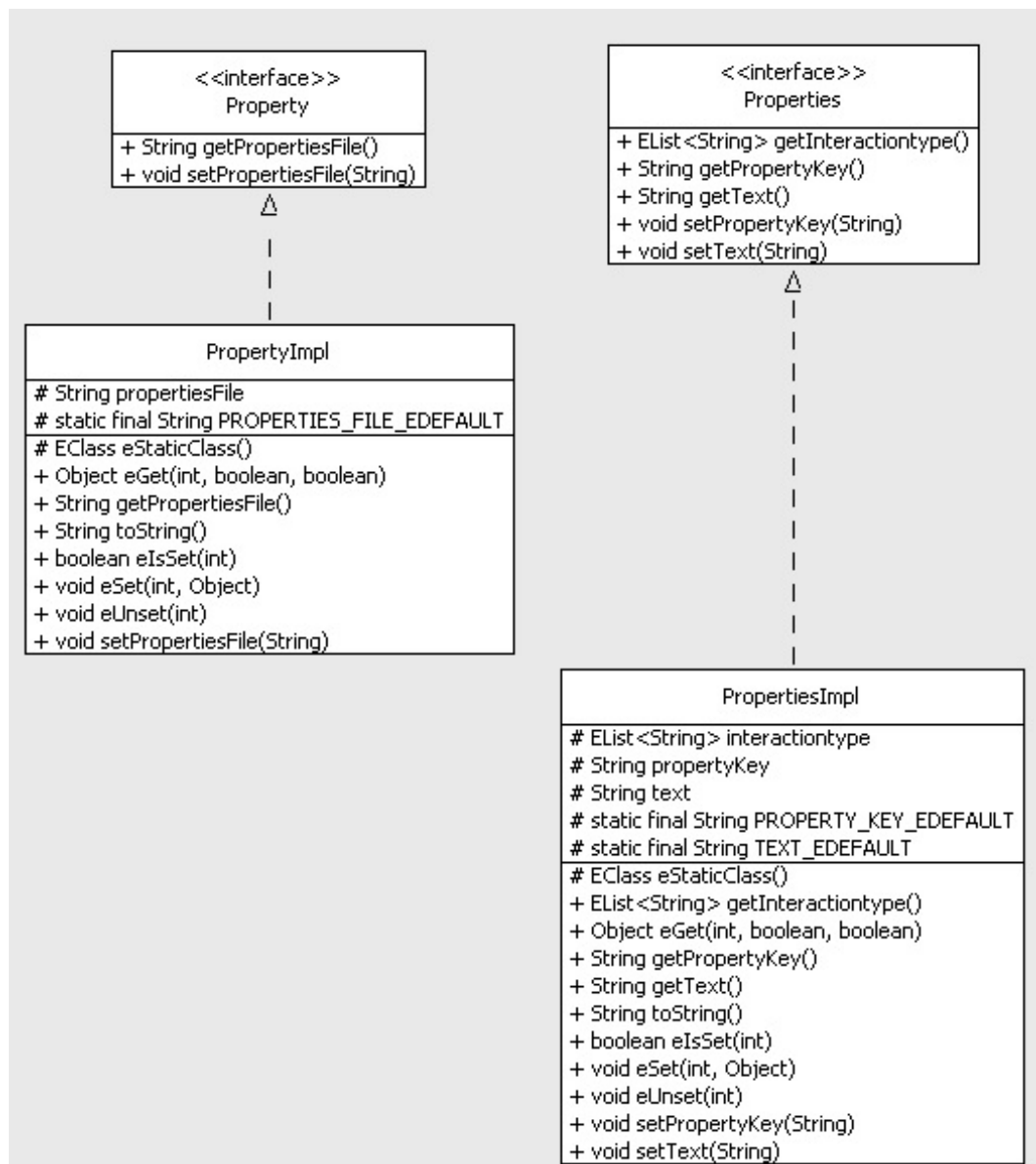


Abbildung 8.4: Teil 2: GUI-Beschreibungs-Model Version 2

Die *UsedDescription* enthält in dieser Version einen *DefinitionType*. Dieser bestimmt, ob es sich bei der importierten Komponente um ein beschriebenes GUI handelt, oder um eine komplexe Komponente, für die ein Input-Typ (*inputType*) festgelegt werden kann.

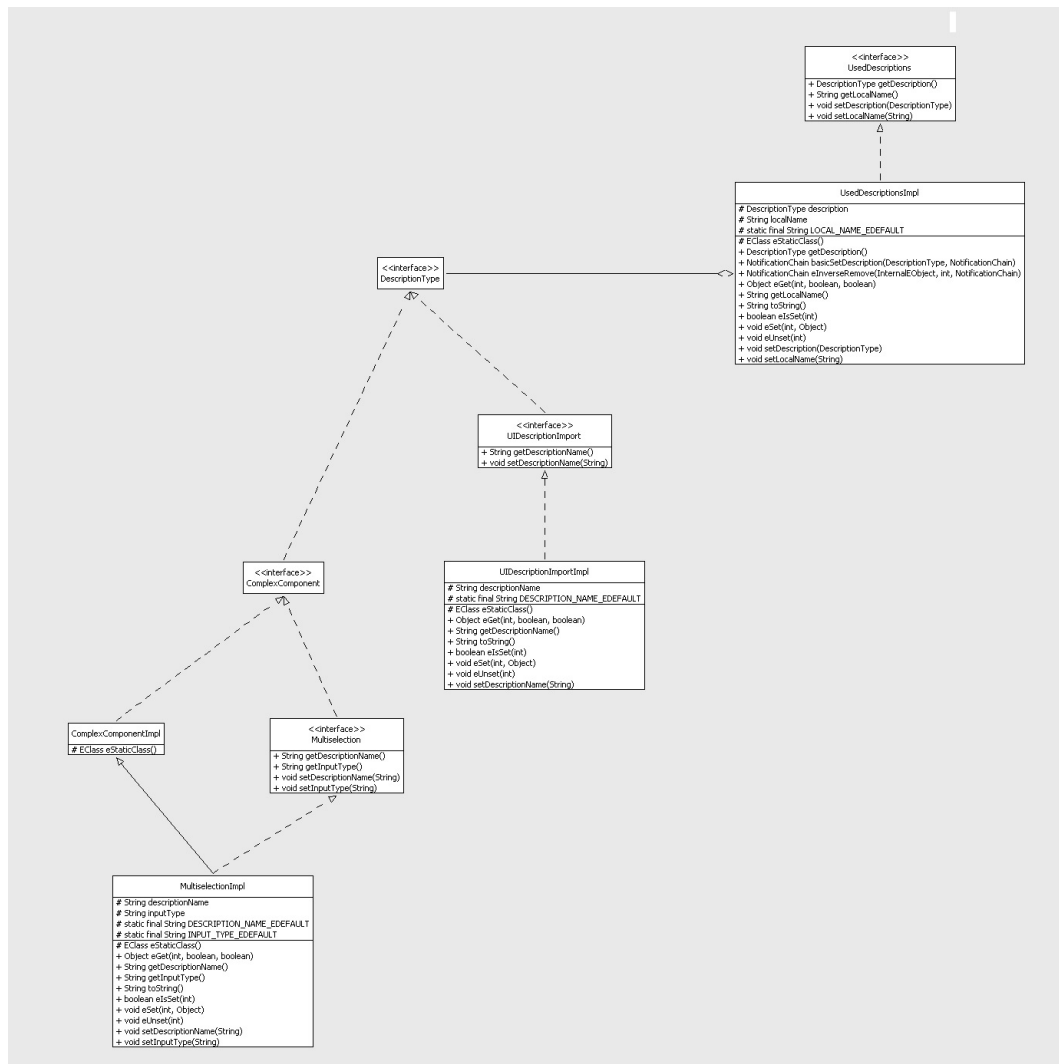


Abbildung 8.5: Teil 3: GUI-Beschreibungs-Model Version 2

Zwischen *Definition* und *Refinement* wird unterschieden. Die *Definition* bildet neu definierte Komponenten für das GUI ab. Ein *Refinement* hingegen bildet die veränderten Komponenten importierter GUIs ab (siehe Abbildung 8.6 und Abbildung 8.7).

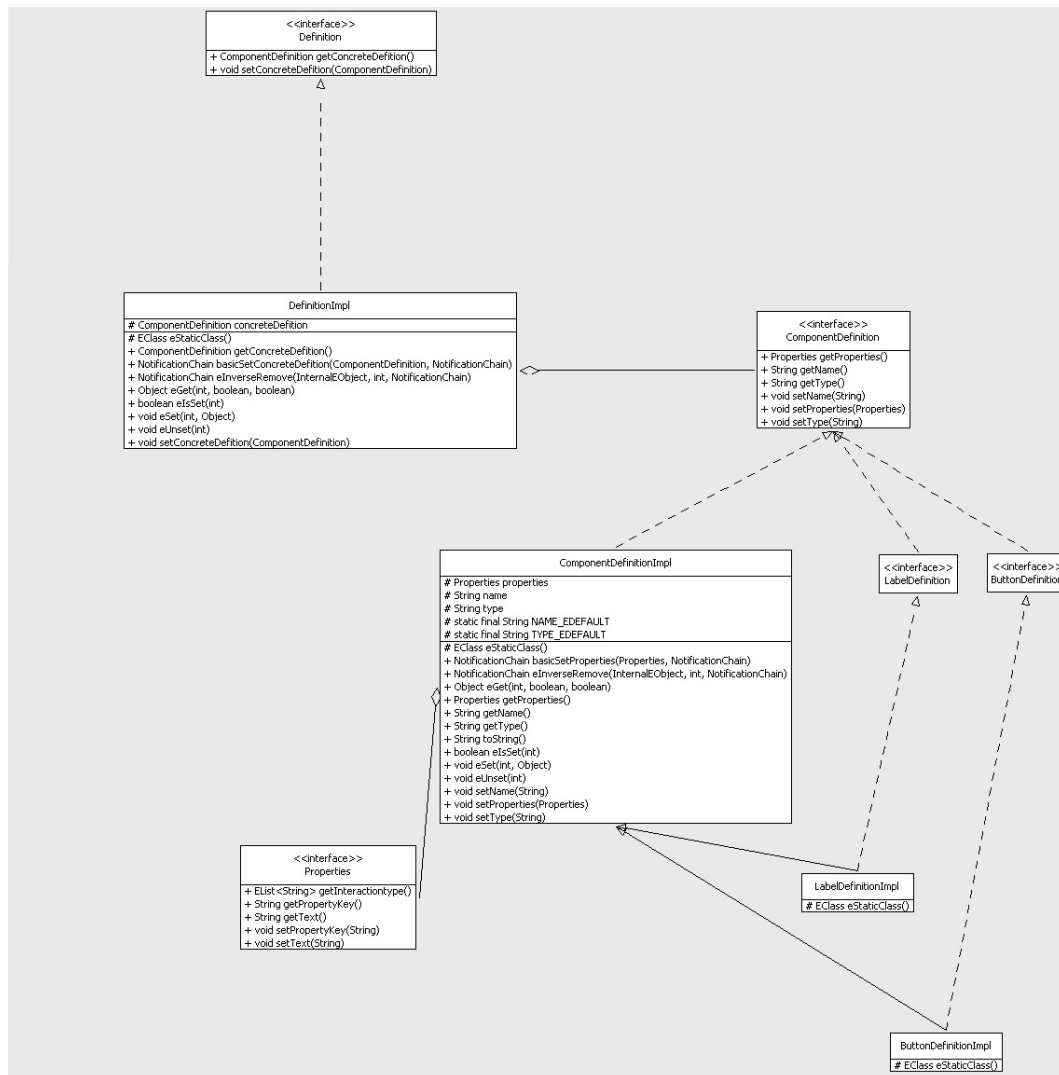


Abbildung 8.6: Teil 4: GUI-Beschreibungs-Model Version 2

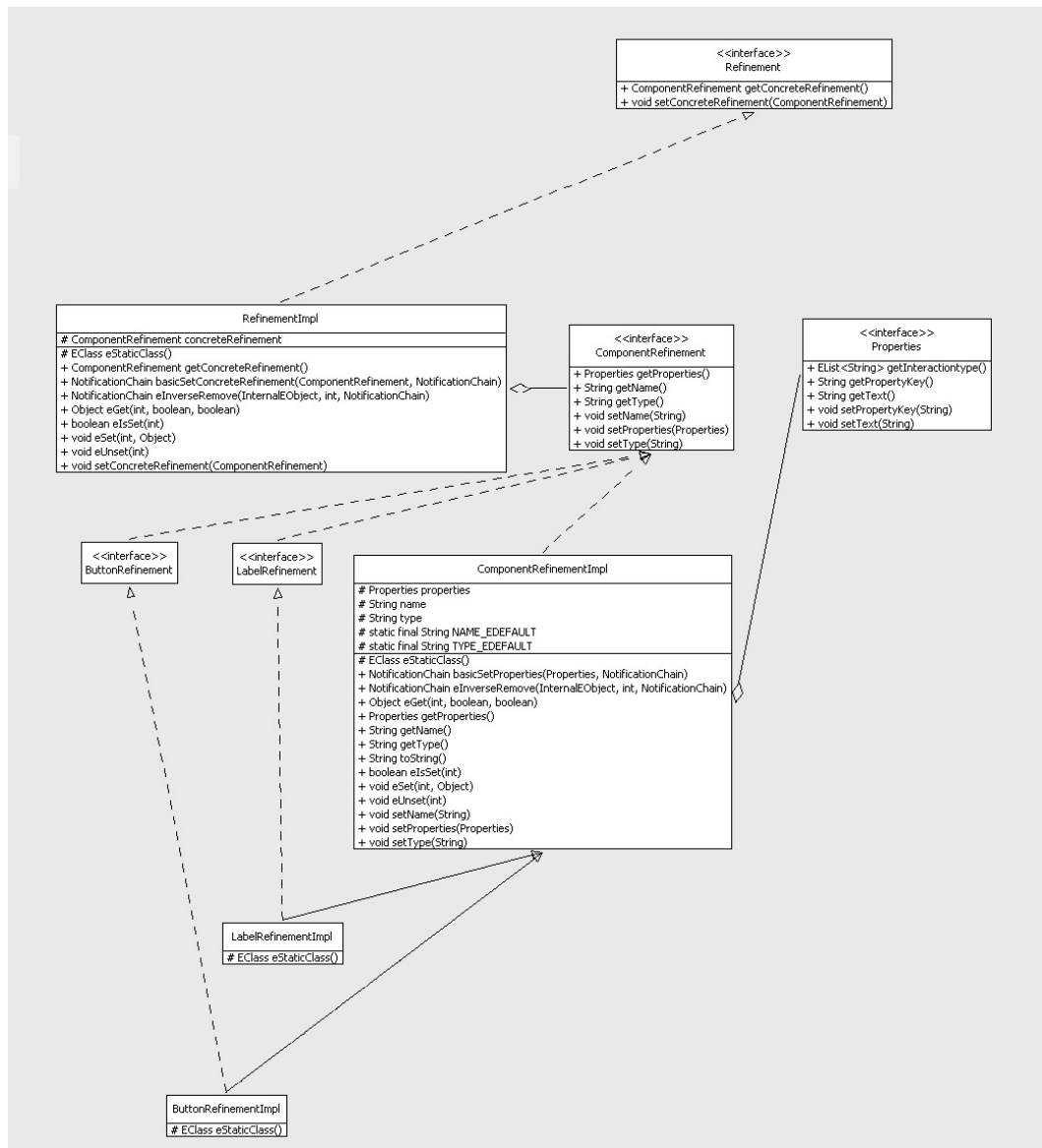


Abbildung 8.7: Teil 5: GUI-Beschreibungs-Model Version 2

## Konkrete Syntax

Die einfachste der Veränderungen bzgl. der Syntax in Version 2 ist die Festlegung der Properties-Dateien. Um eine Properties-Datei einzubinden muss, wie in Listing 8.2, eine entsprechende Datei festgelegt und in den Komponenten entsprechende Schlüssel vergeben werden. Das Label mit der Bezeichnung *OneLabel* enthält keinen Property-Key. In diesem Fall wird der Titel als solcher verwendet.

Listing 8.2: 2. Iteration: Properties

```

1 type: WINDOW
2 get properties from: 'sources.ui.properties'

```

```

3 DEF Label as "OneLabel" END DEF
4 DEF Label as "AnotherLabel":
5     propertyKey='AnotherLabel2'
6 END DEF

```

Aufgrund der Reduzierung der Meta-Daten für eine Interaktion stand die Frage offen, ob die Interaktionstypen einfach hintereinander mit Komma, oder untereinander mit dem entsprechenden Schlüsselwort aufgezählt werden sollen. Aufgrund der Tatsache, dass in der deg höchstens 4 Interaktionstypen in einer Komponente verwendet werden, werden diese in der GUI-Beschreibung per DSL hintereinander mit Komma aufgezählt, wie in Listing 8.3 zu erkennen ist.

Listing 8.3: 2. Iteration: Interaktion

```

1 "InteractButton":
2     interactiontype=Click , ChangeText
3 END DEF

```

Die komplexen Komponenten werden wie in Listing 8.4 mit der Komponente Multiselection gezeigt ist, über das Schlüsselwort *use* eingebunden werden. Der Input-Typ kann dabei optional innerhalb der Zeichen < und > angegeben werden.

Listing 8.4: 2. Iteration: Definition komplexer Komponenten

```

1 use: Multiselection<'valuepackage.Values'> as: 'Multi'

```

Für die Zuweisung mehrerer Komponenten zu den Areas kamen zwei Lösungen in Betracht. Bei der einen finden die Definitionen der Komponenten zusammen mit der Zuweisung zu dem Area statt. Dies könnte bspw. wie in Listing 8.5 dargestellt werden.

Listing 8.5: 2. Iteration: Area-Zuweisung (1)

```

1 Area count: 1 type: WINDOW
2 Area:1={
3 DEF Button as "Button:
4     text="Button"
5 END_DEF
6 DEF_Label_as_"Label":
7     text="Label"
8 END_DEF
9 }

```

Eine andere Möglichkeit wäre es, die aktuelle Form der Zuweisung zu verfeinern und somit die Komponenten bei der Zuweisung mit Komma ge-

trennt von einander aufzählen. Die erste Möglichkeit würde sich sehr gut eignen, wenn nur die in der Datei definierten Komponenten dem Area zugewiesen werden müssten. Da die mit *use* eingebundenen Komponenten auch Areas zugeordnet werden, würde für dieses Verfahren ein zusätzliches syntaktisches Konzept innerhalb der Area-Zuweisung benötigt werden. Um dies zu umgehen wurde die Entscheidung getroffen, das alte Verfahren zu verfeinern. Listing 8.6 ist ein Beispiel für die Area-Zuweisung von drei Komponenten zu entnehmen.

Listing 8.6: 2. Iteration: Area-Zuweisung (2)

```

1 Area count: 1
2 type: WINDOW
3 DEF Label as "OneLabel" END DEF
4 DEF Label as "AnotherLabel" END DEF
5 DEF Button as "InteractButton":
6     interactiontype=Click, ChangeText
7 END DEF
8 Area:1<- "OneLabel", "InteractButton", "AnotherLabel"

```

Das Überschreiben der Werte von Komponenten, die in einer eingebundenen GUI-Beschreibung definiert wurden, können über das Schlüsselwort *REFINE* getätigt werden. Der erste Teil von Listing 8.7 zeigt die Originaldatei, deren Beschreibung eingebunden wird. Diese trägt den Namen *LabelAndButton* und befindet sich im Package *guidescription*. Der zweite Teil zeigt, wie die Aufschrift einer Komponente *Button* überschrieben wird.

Listing 8.7: 2. Iteration: Verändern von Komponenten eingebundener GUI-Beschreibungen

```

1 PART 1 Area count: 2
2 type: INNERCOMPLEX
3 DEF Label as "Label" :
4     text="Text"
5 END DEF
6 DEF Button as "Button":
7     text="AlterText"
8 END DEF
9 Area:1<- 'Label'
10 Area:2<- "Button"
11
12
13 PART 2
14 Area count: 1
15 type: WINDOW
16 use: "guidescription.LabelAndButton" as: 'Embedded'

```

```
17 REFINE Button with name: 'Button':  
18     text='NewText'  
19 END REFINE  
20 Area:1<- 'Embedded'
```

Sollten mehrere GUI-Beschreibungen eingebunden sein, in denen Komponenten mit demselben Namen definiert sind, muss die Bezeichnung der eingebundenen Ressource zur eindeutigen Identifikation in der Referenz stehen (siehe Listing 8.8)

Listing 8.8: 2. Iteration - Verändern von Komponenten eingebundener GUI-Beschreibungen mit Namensüberschneidung

```
1 use: "guidescription.LabelAndButton" as: 'Embedded1'  
2 use: "guidescription.LabelAndTwoButton" as: 'Embedded2'  
3 REFINE Button with name: 'Embedded2.OverriddenButton':  
4     text='NewText'  
5 END REFINE
```

Die dazugehörige Grammatik ist im Anhang 10 zu finden.



## Kapitel 9

# Entwicklung des Generators für das Generieren von Klassen für das Multichannel-Framework

Die GUI bei der deg teilt sich in drei Bereiche. Diese Dreiteilung entspricht dem WAM-Ansatz entnommen. Auf diesen Ansatz wird in Kapitel 9 etwas genauer eingegangen. Der erste Teil übernimmt die Beschreibung des Aufbaus des UIs (GUI-Part). Der zweite Teil enthält die Interaktionsformen mit den Komponenten, welche im GUI-Part deklariert wurden. Dieser Teil wird als *Interaction Part* (IP) bezeichnet. Der dritte Teil enthält den funktionalen Teil der GUI und wird *Functionally Part* (FP) genannt.

Bei den Überlegungen darüber, wie die DSL umzusetzen ist, wurde frühzeitig entschieden, dass der FP in der DSL nicht beschrieben wird. Es soll nur der GUI-Part neben einigen Inhalten aus dem IP beschrieben.

### 9.1 Syntax und Semantik für die Beschreibung der GUIs im Multichannel-Framework

### 9.2 Umsetzung des frameworkspezifischen Generators

## **Kapitel 10**

# **Zusammenfassung und Ausblick**

Test und Ausführung

Einbettung in den Entwicklungsprozess

# Anhang

## Grammatiken

### 1. Iteration

```

1 UIDescription :
2     areaCount=AreaCount
3     typeDefinition=(TypeDefinition)
4     usedDescriptions+=(UsedDescriptions)* &
5     inputTypes+=(inputType)* &
6     definitions+=(Definition)*
7     areas+=(AreaAssignment)*;
8
9 inputType :
10    'inputType=' type=STRING '_as_' name=STRING;
11
12 UsedDescriptions :
13    'use:_' description=UIDescriptionImport;
14
15 AreaCount :
16    'Area_count:_' areaCount=INT;
17
18 Definition :
19    'DEF_' concreteDefition=ComponentDefinition 'END_DEF';
20
21 TypeDefinition :
22    'type:_' type=TYPE;
23
24 TYPE :
25    ( 'WINDOW' | 'INNERCOMPLEX' );
26
27 UIDescriptionImport :
28    descriptionName=STRING ( '_As:_' localName=STRING )?;
29
30 AreaAssignment :
31    'Area:' area=INT '<-' element=STRING
32    | element=STRING '->' 'Area:' area=INT ;
33
34 ComponentDefinition :
35    LabelDefinition | ButtonDefinition | MultiSelectionDefinition;

```

---

```

36
37 MultiSelectionDefinition :
38     type='MultiSelection' ' _as_ ' name=STRING ':' ( 'inputType=' inputType=STRING
39     ( 'selectableValues=' selectableValuesLocation=STRING ( 'selectedValues='
        selectableValuesLocation=STRING)?)?)?;
40
41 ButtonDefinition :
42     type='Button' ' _as_ ' name=STRING ':' '
43     ( 'text=' text=STRING)?
44     ( 'interaction=' interaction=Interaction)?;
45
46 Interaction :
47     name=STRING ' _type=' Interactiontype ' _with_actions:' actions+=(UIAction)
        *;
48
49 LabelDefinition :
50     type='Label' ' _as_ ' name=STRING ':' '
51     ( 'text=' text=STRING)?;
52
53
54 UIAction :
55     'type=' type='UiAction'
56     'element=' uiElementName=STRING ':' '
57     properties+=(Property)*;
58
59 Property :
60     CommonProperty;
61
62 CommonProperty :
63     (name=CommonPropertyType '=' value=STRING);
64
65 CommonPropertyType :
66     'Text' ;
67
68 Interactiontype :
69     'CLICK' ;

```

## 2. Iteration

```

1 UIDescription :
2     areaCount=AreaCount
3     typeDefinition=(TypeDefinition)
4     (property=(Property))?
5     usedDescriptions+=(UsedDescriptions)*
6     refinements+=(Refinement)*
7     definitions+=(Definition)*
8     areas+=(AreaAssignment)*;
9
10 Refinement :
11     'REFINE' concreteRefinement=ComponentRefinement 'END_REFINE';
12

```

---

```

13 ComponentRefinement:
14     LabelRefinement | ButtonRefinement;
15
16 ButtonRefinement:
17     type='Button' '_with_name:_ ' name=STRING
18     properties=(Properties)?;
19
20 LabelRefinement:
21     type='Label' '_with_name:_ ' name=STRING
22     properties=(Properties)?;
23
24 Property:
25     'get_properties_from:' propertiesFile=STRING;
26
27 UsedDescriptions:
28     'use:_ ' description=DescriptionType ('_as:_ ' localName=STRING)?;
29
30 DescriptionType:
31     UIDescriptionImport | ComplexComponent;
32
33 AreaCount:
34     'Area_count:_ ' areaCount=INT;
35
36 Definition:
37     'DEF_' concreteDefition=ComponentDefinition 'END_DEF';
38
39 TypeDefinition:
40     'type:_ ' type=Type;
41
42 Type:
43     ('WINDOW' | 'INNERCOMPLEX');
44
45 UIDescriptionImport:
46     descriptionName=(STRING);
47
48 ComplexComponent:
49     (Multiselection);
50
51 Multiselection:
52     descriptionName='Multiselection' ('<' inputType=STRING '>')?;
53
54 AreaAssignment:
55     'Area:' area=INT '<-' element=STRING
56     | element=STRING '->' 'Area:' area=INT;
57
58 ComponentDefinition:
59     LabelDefinition | ButtonDefinition;
60
61 ButtonDefinition:
62     type='Button' '_as_' name=STRING
63     properties=(Properties)?;

```

64

65 Properties :

66       ': ' ( 'propertyKey=' propertyKey=STRING)?

67       ( 'text=' text=STRING)?

68       ( 'interactiontype=' interactiontype+=(Interactiontype)+)?;

69

70 LabelDefinition :

71       type='Label' ' \_as\_' name=STRING

72       properties=(Properties)?;

73

74 Interactiontype :

75       'Click' | 'ChangeText';

76

77 terminal WS:

78       ( '\_' | '\t' | '\r' | '\n' | ',' )+;

# Glossar

**Förderantrag** [...] *ist ein Antrag, den der Begünstigte einreicht, wenn er sich eine Maßnahme fördern lassen möchte* [dat14]. 5

**GridBagLayout** ist ein Layout Manager innerhalb von Swing, welcher die Komponenten horizontal, vertical und entlang der Grundlinie anordnet. Dabei müssen die Komponenten nicht die gleiche Größe haben [Oraa]. 9

**GUI** ist die Schnittstelle zwischen dem Benutzer und dem Programm. 1

. 5

**Swing** ist ein UI-Framework für Java Applikationen [Orab]. xiii, 8, 9

. 1

**Usability** beschreibt die Nutzerfreundlichkeit einer GUI, sowie auch die Nutzerfreundlichkeit einer Software. 1

. 8, 9

**Zuwendungs-Berechner** ist ein Werkzeug innerhalb von profil c/s. *Mit diesem Werkzeug kann der Sachbearbeiter die Zuwendung, die dem Antragsteller bewilligt werden soll, nach einem standardisierten Verfahren berechnen (siehe Abschnitt "Algorithmen"). Das Ergebnis wird im Zuwendungsblatt dokumentiert, das auch später mit demselben Werkzeug angesehen werden kann* [deG07]. xiv

**Zuwendungsblatt** ist die grafische Dokumentation der Ergebnisse des Zuwendungs-Berechners innerhalb von profil c/s. xiv, 5

# Literaturverzeichnis

- [Aho08] AHO, ALFRED V: *Compiler: Prinzipien, Techniken und Werkzeuge*. Pearson Studium, 2008.
- [BCK08] BRAUER, JOHANNES, CHRISTOPH CRASEMANN und HARTMUT KRASEMANN: *Auf dem Weg zu idealen Programmierwerkzeugen - Bestandsaufnahme und Ausblick*. Informatik Spektrum, 31(6):580–590, 2008.
- [BPL13] BACIKOVÁ, MICHAELA, JAROSLAV PORUBÁN und DOMINIK LAKATOS: *Defining Domain Language of Graphical User Interfaces*. In: *OASIS-OpenAccess Series in Informatics*, Band 29. Schloss Dagstuhl-Leibniz-Zentrum fuer Informatik, 2013.
- [Bra03] BRAUER, JOHANNES: *Grundkurs Smalltalk-Objektorientierung von Anfang an*. Vieweg+ Teubner Verlag, 3, 2003.
- [bra10] *Eine DSL für Harel-Statecharts mit PetitParser*. Arbeitspapiere der Nordakademie. Nordakad., 2010.
- [dat14] DATA EXPERTS GMBH: *Förderantrag*. Profil Wiki der deg, März 2014. Zuletzt eingesehen am 02.12.2014.
- [deG07] GMBH DATA EXPERTS: *Detaillkonzept ELER/i-Antragsmappe*, Januar 2007. Letzte Änderung am 01.12.2014.
- [DM14] DANIEL, FLORIAN und MARISTELLA MATERA: *Model-Driven Software Development*. In: *Mashups, Data-Centric Systems and Applications*, Seiten 71–93. Springer Berlin Heidelberg, 2014.
- [FP11] FOWLER, MARTIN und REBECCA PARSON: *Domain-Specific Languages*. Addison-Wesley, 2011.



- [Gal07] GALITZ, WILBERT O.: *The Essential Guide to User Interface Design - An Introduction to GUI Design Principles and Techniques*. John Wiley Sons, New York, 2007.
- [gho11] *DSLs in Action*. Manning Publications Co., 2011.
- [Gun14] GUNDERMANN, NIELS: *Entwicklung einer Grammatik für eine DSL mit xText am Beispiel einer Sprache zur Definition von Pflichtprüfungen in profil c/s*, 2014. Praxisbericht.
- [Hed12] HEDTSTUECK, ULRICH: *Einführung in die Theoretische Informatik*, Band 5. Auflage. Oldenbourg Verlag, 2012.
- [Hof06] HOFER, STEFAN MICHAEL: *Refactoring-Muster der WAM-Modellarchitektur*. Diplomarbeit, FH Oberösterreich, 2006. Online verfügbar URL:[http://swt-www.informatik.uni-hamburg.de/uploads/media/DA\\_StefanHofer.pdf](http://swt-www.informatik.uni-hamburg.de/uploads/media/DA_StefanHofer.pdf) . Zuletzt eingesehen am 09.01.2015.
- [KB11] KRISHNASWAMI, NEELAKANTAN R. und NICK BENTON: *A Semantic Model for Graphical User Interfaces*. Microsoft Research, September 2011. Verfügbar unter URL:.
- [LW] LU, XUDONG und JIANCHENG WAN: *Model Driven Development of Complex User Interface*. Technischer Bericht, Shandong University. Verfügbar unter URL: <http://ceur-ws.org/Vol-297/paper7.pdf>.
- [mds06] *Model-Driven Software Development*. John Wiley Sons Ltd, Februar 2006.
- [MHP99] MYERS, BRAD, SCOTT E. HUDSON und RANDY PAUSCH: *Past, Present and Future of User Interface Software Tools*. Technischer Bericht, Carnegie Mellon University, September 1999. Verfügbar unter URL: <http://www.cs.cmu.edu/~amulet/papers/futureofhci.pdf>.
- [ML09] MARKUS VOELTER und LARS CORNELIUSSEN: *Carpe Diem*. Dot-NetPro, 5 2009.

- [Oraa] ORACLE: *Class GridBagLayout*. URL: <https://docs.oracle.com/javase/7/docs/api/java/awt/GridBagLayout.html>. Zuletzt eingesehen am 02.12.2014.
- [Orab] ORACLE: *Swing*. URL: <https://docs.oracle.com/javase/jp/8/technotes/guides/swing/index.html>. Zuletzt eingesehen am 02.12.2014.
- [Pec14] PECH, VACLAV: *Can MPS be integrated in Eclipse as Eclipse Plugin similar to Xtext?* URL: <http://forum.jetbrains.com/thread/Meta-Programming-System-1033>, Oktober 2014. Zuletzt eingesehen am 12.01.2015.
- [PSV13] PECH, VACLAV, ALEX SHATALIN und MARKUS VOELTER: *Jet-Brains MPS as a tool for extending Java*. In: *Proceedings of the 2013 International Conference on Principles and Practices of Programming on the Java Platform: Virtual Machines, Languages, and Tools*, Seiten 165–168. ACM, 2013.
- [RDGN10] RENGGLI, LUKAS, STEPHANE DUCASSE, TUDOR GÎBRA und OSCAR NIERSTRASZ: *Practical Dynamic Grammars for Dynamic Languages*. In: *4th Workshop on Dynamic Languages and Applications (DYLA 2010)*, 2010. Online verfügbar unter URL: [http://bergel.eu/download/Dyla2010/dyla10\\_submission\\_4.pdf](http://bergel.eu/download/Dyla2010/dyla10_submission_4.pdf) Zuletzt eingesehen am 6.1.2015.
- [Roa09] ROAM, DAN: *The Back of the Napkin (Expanded Edition) - Solving Problems and Selling Ideas with Pictures*. Penguin, New York, Expanded Auflage, 2009.
- [Sau10] SAUER, JOACHIM: *Architekturzentrierte agile Anwendungsentwicklung in global verteilten Projekten*. Doktorarbeit, Universität Hamburg, 2010. Online verfügbar URL: [http://ediss.sub.uni-hamburg.de/volltexte/2011/4959/pdf/Dissertation\\_Sauer.pdf](http://ediss.sub.uni-hamburg.de/volltexte/2011/4959/pdf/Dissertation_Sauer.pdf) Zuletzt eingesehen am 08.01.2015.
- [Sau13] SAUER, JOACHIM: *Vorlesung Softwaretechnik Teil 1 (4. Quartal 2013) Abschnitt 2*. Nordakademie, 2013.

- [Sch05] SCHMELZER, ROBERT FRANZ: *Realisierung teilautomatisierter Prozesse durch die Kombination von Ablaufsteuerung und unterstützter Kooperation*. Diplomarbeit, FH Oberösterreich, 2005. Online verfügbar URL:[http://www.schmelzer.cc/Downloads/Files/ Diplomarbeit\\_Schmelzer.pdf](http://www.schmelzer.cc/Downloads/Files/Diplomarbeit_Schmelzer.pdf) . Zuletzt eingesehen am 09.01.2015.
- [SdS03] SAUER, JOACHIM und AUSGEWÄHLTE THEMEN DER SOFTWARETECHNIK: *Gestaltung von Anwendungssoftware nach dem WAM-Ansatz auf mobilen Geräten*. Diplomarbeit, Fachbereich Informatik, Universität Hamburg, 2003. Online verfügbar URL:[http://swt-www.informatik.uni-hamburg.de/uploads/media/Diplomarbeit\\_Joachim\\_Sauer.pdf](http://swt-www.informatik.uni-hamburg.de/uploads/media/Diplomarbeit_Joachim_Sauer.pdf) . Zuletzt eingesehen am 09.01.2015.
- [SKNH05] SUKAVIRIYA, NOI, SANTHOSH KUMARAN, PRABIR NANDI und TERRY HEATH: *Integrate Model-driven UI with Business Transformations: Shifting Focus of Model-driven UI*. Technischer Bericht, IBM T.J. Watson Research Center, Oktober 2005. Verfügbar unter URL: <http://www.research.ibm.com/people/p/prabir/MDDAUI.pdf>.
- [Ste07] STECHOW, DIRK: *JWAMMC - Das Multichannel-Framework der data-experts gmbh*. Vortrag, Dezember 2007.
- [Use12] USERLUTIONS GMBH: *3 Gründe, warum gute Usability wichtig ist*. URL: <http://rapidusertests.com/blog/2012/04/3-gute-grunde-fuer-usability-tests/>, April 2012. Zuletzt eingesehen am 01.12.2014.
- [VBK<sup>+</sup>13] VÖLTER, MARKUS, SEBASTIAN BENZ, LENNART KATS, MATS HELANDER, EELCO VISSER und GUIDO WACHSMUTH: *DSL Engineering*. CreateSpace Independent Publishing Platform, 2013.
- [Vol11] VOLTER, MARKUS: *From programming to modeling-and back again*. Software, IEEE, 28(6):20–25, 2011.