



**Fachbereich Informatik und Medien -
Wissenschaftliches Arbeiten und Schreiben - Master Inf. Prof.
Loose WS 2011/12**

**Untersuchung von sprachorientierten
Programmierparadigmen, deren
Ausprägungen und Akzeptanz bei
Domänenexperten.**

Vorgelegt von: Nils Petersohn
am: 8.11.2011.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Motivation (Heranführen an das Thema)	1
1.2	Begriffserklärung (falls notwendig)	2
1.3	Aufgabenstellung (kurz, knapp, präzise) und Erwartungen	2
1.4	Gliederung	3
1.5	Abgrenzung	3
2	Theorie	4
2.1	Domain Specific Languages	4
2.1.1	Unterscheidungen	8
2.2	Sprachorientierte Programmierung	8
2.3	Groovy	11
2.4	Metaprogrammierung	11
2.5	probleme und loesungsansaeetze	12
2.6	Metaprogrammierung in Groovy	13
2.6.1	Closures	15
2.6.2	Kategorien	15
2.6.3	Expando-MetaClass	16
3	MDA / MDSD und DSM Unterschiede	17
4	Praktischer Teil	19
4.1	Die Fachliche Domäne	19
5	Auswertung	20
6	Zusammenfassung und Schlussbetrachtung	21
	Literaturverzeichnis	22
	Anhang	23

1 Einleitung

Die Sektionen würden bei der echten Arbeit wegfallen.

1.1 Motivation (Heranführen an das Thema)

Das Wort “Abstraktion” bezeichnet meist den induktiven Denkprozess des Weglassens von Einzelheiten und des Überführens auf etwas Allgemeineres oder Einfacheres [...] also[...] jenen Prozess, der Informationen soweit auf ihre wesentlichen Eigenschaften herab setzt, dass sie psychisch überhaupt weiter verarbeitet werden können. (nach [wika]) Die grundlegenden Abstraktionsstufen in der Informatik sind wie folgt aufgeteilt: Die unterste Ebene ohne Abstraktion ist die der elektronischen Schaltkreise, die elektrische Signale erzeugen, kombinieren und speichern. Darauf aufbauend existiert die Schaltungslogik. Die dritte Abstraktionsschicht ist die der Rechnerarchitektur. Danach kommt eine der obersten Abstraktionsschichten: “Die Sicht des Programmierers”, der den Rechner nur noch als Gerät ansieht, das Daten speichert und Befehle ausführt, dessen technischen Aufbau er aber nicht mehr im Einzelnen zu berücksichtigen braucht. (nach S. 67 [Rec00]). Diese Beschreibung von Abstraktion lässt sich auch auf Programmiersprachen übertragen. Nur wenige programmieren heute direkt Maschinencode, weil die Programmiersprachen der dritten Generation (3GL) soviel Abstraktionsgrad bieten, dass zwar kein bestimmtes Problem aber dessen Lösung beschrieben werden kann. Die Lösung des Problems muss genau in der Sprache beschrieben werden und setzt das Verständnis und die Erfahrung in der Programmiersprache und deren Eigenheiten zur Problemlösung voraus. Das Verständnis des eigentlichen Problems, dass es mit Hilfe von Software zu lösen gilt, liegt nicht immer zu 100% Programmierer, der es mit Java oder C# bzw. einer 3GL lösen soll. Komplexe Probleme z.B. in der Medizin, der Architektur oder im Versicherungswesen sind oft so umfangreich, dass die Aufgabe des “Requirements Engineering” hauptsächlich darin besteht, zwischen dem Auftragnehmer und Auftraggeber eine Verständnisbrücke zu bauen. Diese Brücke ist auf der einen Seite mit Implementierungsdetails belastet und auf der anderen mit domänenspezifischem Wissen (Fach- oder Expertenwissen). Die Kommunikation der beiden Seiten kann langfristig durch eine DSL

begünstigt werden, da eine Abstrahierung des domänenspezifischen Problems angestrebt wird. Die Isolation der eigentlichen Businesslogik und eine intuitiv verständliche Darstellung in textueller Form kann sogar soweit gehen, dass der Domänenexperte die Logik in hohem Maße selbst implementieren kann, weil er nicht mit den Implementierungsdetails derselben und den syntaktischen Gegebenheiten einer turingvollständigen General-Purpose-Language wie Java oder C# abgelenkt wird. Im Idealfall kann er die gewünschten Anforderungen besser abbilden. (vgl. [hei11]). Beispiele für DSL sind z.B.: Musiknoten auf einem Notenblatt, Morsecode oder Schachfigurbewegungen (“Bauer e2-e4”) bis hin zu folgendem Satz: “wenn (Kunde Vorzugsstatus hat) und (Bestellung Anzahl ist größer als 1000 oder Bestellung ist neu) dann ...”. “Eine domänenspezifische Sprache ist nichts anderes als eine Programmiersprache für eine Domäne. Sie besteht im Kern aus einem Metamodell einer abstrakten Syntax, Constraints (Statischer Semantik) und einer konkreten Syntax. Eine festgelegte Semantik weist den Sprachelementen eine Bedeutung zu.” (vgl. S.30 [mda])

1.2 Begriffserklärung (falls notwendig)

Eine DSL beinhaltet ein Metamodell. In einer Domänengrammatik gibt es das Konzept an sich, das beschrieben werden soll. Konzepte können Daten, Strukturen oder Anweisungen bzw. Verhalten und Bedingungen sein. Das Metamodell oder auch das Semantische Modell besteht aus einem Netzwerk vieler Konzepte. Das Paradigma “Language Orientated Programming” (LOP) identifiziert ein Vorgehen in der Programmierung, bei dem ein Problem nicht mit einer GPL (general purpose language) angegangen wird, sondern bei dem zuerst domänenspezifische Sprachen entworfen werden, um dann durch diese das Problem zu lösen. Zu diesem Paradigma gehört auch die Entwicklung von domänenorientierten Sprachen und intuitive Programmierung (intentional programming). “Intentional Programmierung ist ein Programmierparadigma. Sie bezeichnet den Ansatz, vom herkömmlichen Quelltext als alleinige Spezifikation eines Programms abzurücken, um die Intentionen des Programmierers durch eine Vielfalt von jeweils geeigneten Spezifikationsmöglichkeiten in besserer Weise auszudrücken.” (vgl. [wikb]) Es werden zwei Arten von DSLs unterschieden [FP11].

1.3 Aufgabenstellung (kurz, knapp, präzise) und Erwartungen

Anhand mehrerer Problemfälle soll das Paradigma der sprachorientierten Programmierung und die damit verbundenen Konzepte der domänenorientierten Programmierung analysiert und geprüft werden. Mehrere vergleichsweise einfache DSLs sollen mit Hilfe von Groovy-

Metaprogramming als interne DSLs bzw. mit dem Meta-Programming-System (MPS) sollen überschaubare externe DSLs entworfen werden. Domänenexperten, die keine Erfahrung mit Programmierung haben, sollen an interne bzw. externe DSLs für deren bekannte Domäne herangeführt werden, um diese anschließend nach Lesbarkeit, intuitivem Verständnis und Flexibilität zu bewerten. Dabei bekommen die Probanden mehrere Aufgaben, die sie mit den gegebenen DSLs lösen sollen. Die Erwartungen sind, dass bei kleinen Systemen, der Aufwand zu hoch ist, extra eine DSL einzusetzen. Bei komplexen Systemen stellt eine geeignete DSL jedoch einen unmittelbaren Mehrwert dar.

1.4 Gliederung

Zuerst werden theoretische Grundlagen zum Thema “Sprachorientierte Programmierung” und Metamodellierung erläutert. Der praktische Teil beginnt mit der Vorstellung der Problem-domänen und deren verschiedenen Anforderungen. Dann werden die zu implementierenden DSLs konzeptionell vorgestellt. Die Umsetzung dieser Konzepte mit den Toolsets wird im nächsten Kapitel beschrieben. Weiterhin soll die Testumgebung mit den Probanden spezifiziert werden, um danach die Durchführung und die Ergebnisse auszuwerten und zu beschreiben.

1.5 Abgrenzung

Der Fokus dieser Arbeit soll auf die textuelle und nicht auf die graphische Repräsentation von DSLs abzielen. “Natural language processing” soll nur oberflächlich betrachtet werden. Domänenspezifische Modellierung mittels UML-Profilen soll nur erwähnt werden. Als Toolset sollen ausschließlich Groovy-Meta-Programming und MPS (Meta-Programming-System von JetBrains) verwendet werden.

2 Theorie

2.1 Domain Specific Languages

Software wird mit Hilfe von universell einsetzbaren Programmiersprachen (engl. general purpose language, GPL), wie z.B. Java, C# entwickelt. Diese Sprachen sind, für nahezu jeden Anwendungszweck einsetzbar. Dadurch werden diese Sprachen komplex und deren Benutzung ist nur durch gut ausgebildete Programmierer möglich.

Sachverhalte, Objekte und Prozesse aus der realen Welt werden durch diese Programmierer mit Hilfe einer Kombination der universell einsetzbaren Konstrukte aus der Programmiersprache nachgebildet.

Zur Umsetzung eines Programms werden genaue Spezifikationen geliefert.

Durch testgetriebene Entwicklung und abschliessende Akzeptanztest werden die Spezifikationen verifiziert.

Diese Art der Softwareentwicklung führt in der Praxis zu verschiedenen Problemen. Es entstehen hohe Aufwände für Spezifikation und Test. Trotzdem ist die entwickelte Software häufig fehleranfällig und entspricht oft nicht genau den Spezifikationen. Nachbesserungen sind nötig, die Geld und Zeit kosten.

Domänenspezifische Sprachen können in bestimmten Situationen helfen, um diesen Problemen zu begegnen. Die grundsätzliche Idee ist, ausgewählte Softwareteile nicht mehr mit universell einsetzbaren Programmiersprachen zu entwickeln, sondern stattdessen Sprachen zu benutzen, die auf die konkrete Anwendungsdomäne spezialisiert sind. Der Quelltext, der mit einer solchen Sprache entwickelt wird, kann später vollautomatisch in den Quellcode einer universellen Programmiersprache übersetzt werden. Der Vorteil ist, dass der Sprachumfang der DSL aufgrund der Spezialisierung auf eine Domäne im Vergleich mit einer universellen Sprache viel kleiner ist. Um domänenspezifische Sachverhalte als Quellcode auszudrücken ist deutlich weniger Zeit und Quellcode nötig, zur Programmierung reicht oft das Domänenwissen des Anwendungsexperten aus. Im Extremfall könnte statt dem Programmierer der Anwendungsexperte das benötigte Programm schreiben. Die Erstellung

des DSS-Quellcodes erfolgt mittels eines speziellen Editors, der die Sprachelemente als Textbefehle oder durch grafische Elemente bereitstellt. Ein solcher Editor kann so definiert werden, dass er, entsprechend den Vorgaben der Anwendungsdomäne, nur vorher festgelegte Kombinationen von Sprachelementen zulässt und damit der Sicherstellung fachlicher Rahmenbedingungen besonders Rechnung trägt.

Eine DSL ist in der Regel nicht dazu geeignet, komplette Anwendungen zu generieren. Vielmehr sollte ein DSL zur Entwicklung kleinerer Anwendungsteile, die bestimmte Eigenschaften erfüllen, benutzt werden. Besonders sinnvoll ist der Einsatz einer DSL für Softwareteile, die häufig Änderungen unterliegen. Dies ist zum Beispiel bei Produktdefinitionen, Verarbeitungsregeln, Tarifrechnern und ähnlichem oft der Fall. Weiterhin sollte eine DSL nicht für Software verwendet werden, an die sehr hohe Performanceanforderungen gestellt werden. [IR07]

Eine domänenspezifische Sprache (engl. domain-specific language, DSL) ist, im Gegensatz zu gängigen Programmiersprachen, auf ein ausgewähltes Problemfeld (die Domäne) spezialisiert. Sie besitzt hoch spezialisierte Sprachelemente mit meist natürlichen Begriffen aus der Anwendungsdomäne. Das Gegenteil einer domänenspezifischen Sprache ist eine universell einsetzbare Programmiersprache (engl. general purpose language, GPL), wie C und Java, oder eine universell einsetzbare Modellierungssprache, wie UML.

Mit Hilfe einer solchen Sprache können ausschließlich Problembeschreibungen innerhalb des jeweiligen Problemgebiets beschrieben werden. Andere Problembereiche sollen ausgeblendet werden, damit der Domänenexperte sich nur auf das für ihn wichtigste in dem jeweiligen Bereich konzentrieren kann.

Der Domänenspezialist (z.B. ein Betriebswirt) ist mit dem Problembereich (z.B. Preisbildung) sehr vertraut. Die Domänensprache, z.B. zur Beschreibung von Preisbildungskomponenten und deren Zusammenhänge, gibt dem Betriebswirt ein mögliches Werkzeug, um die Preise für Produkte (z.B. Computerhardware) dynamisch anzupassen. Diese DSL ist dann aber für andere Bereiche, wie z.B. der Aufstellung des Personalschichtplans nicht einsetzbar.

Die Charakteristiken einer DSL sind vorzugsweise minimale Syntax die nur die nötigsten Mittel zur Strukturierung benötigt um die Lesbarkeit zu erhöhen und keine Ablenkung vom Problem zu schaffen. Was genau eine minimale Syntax ausmacht ist schwer messbar zu machen. Vorzugsweise sollte die Syntax keine Redundanzen aufweisen, wie das z.B. bei XML der Fall ist indem das offene und geschlossene Element nochmals den selben Namen tragen. Als Faustregel sollte ein Zeichen bzw. eine minimale Kombination aus mehreren Zeichen und

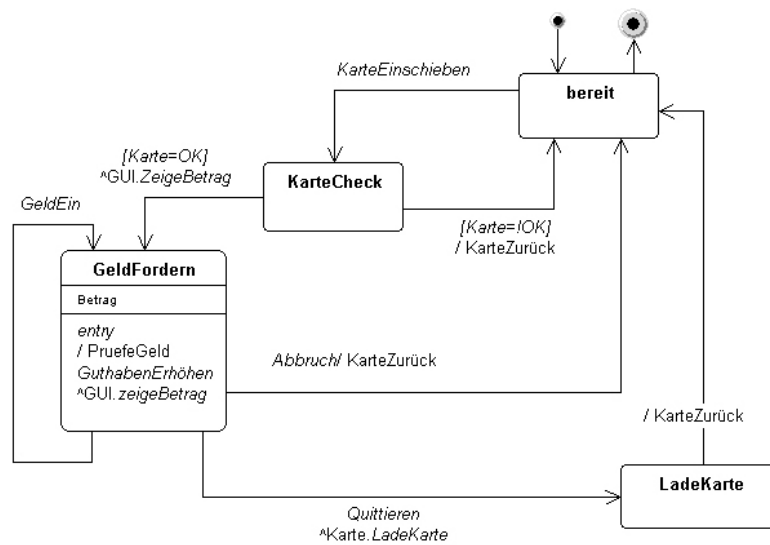


Abbildung 2.2: Zustandsdiagramm Geldautomat <https://www.fbi.h-da.de/uploads/RTEmagicCf2da95d8df.gif>

Listing 2.1: DSL Ausschnitt für ein Geldautomat

```

1 event :KarteEinschieben
2 event :karteOk
3 event :karteFalse
4 event :GeldEin
5 event :Abbruch
6 event :Quittieren
7 event :KarteZurueck
8
9 condition :karteOk
10 condition :karteFalse
11
12 state :bereit do
13     transitions :KarteEinschieben => :KarteCheck
14 end
15
16 state :KarteCheck do
17     actions: GUI.ZeigeBetrag wenn :karteOk,
18             null wenn :karteFalse,
19     transitions :karteOk => :GeldFordern
20                 :karteFalse => :bereit
21 end
22
23 state :Geld_Fordern do
24     actions :KarteZurueck wenn :Abbruch
25     transitions :GeldEin => :Geld_Fordern,
26                 :Abbruch => :bereit,
27                 :Quittieren => :LadeKarte
28 end
29 end
30
31 state :LadeKarte do

```

```
32      actions :Karte.LadeKarte
33      transitions :KarteZurueck => :bereit
34 end
```

Im Sprachsektor des Techonologieradars (Juli 2011 von Thoughtworks)¹ sind sind die domänenspezifischen Sprachen unverändert nahe dem Zentrum angesiedelt. Thoughtworks ist der Meinung, dass DSLs eine alte Technologie ist und bei Entwicklern einen unterschätzten Stellenwert hat. (nach [Boa11]) Diese Quelle steht aber unter Vorbehalt in Hinblick auf den Verkauf des Buches von Martin Fowler (Chief Scientist von Thoughtworks) und Rebecca Parsons (CTO von Thoughtworks) über DSLs²

2.1.1 Unterscheidungen

Martin Fowler unterscheidet zwischen ausprägungen solcher DSLs, indem er deren Beziehung zu einer GPL benennt. Externe DSLs sind eigenständige und unabhängige Sprachen die einen eigenen sepziell angefertigten Parser besitzen.

“Sowohl die konkrete Syntax als auch die Semantik können frei definiert werden. SQL oder reguläre Ausdrücke sind Vertreter von externen DSLs. Wenn eine DSL innerhalb bzw.” [unk12] mit einer GPL definiert wurde nennt er diese interne DSL. Solche eingebettete Spracherweiterungen sind mit den gegebenene Mittel der “Wirtssprache”, oft deren Möglichkeit zur Metaprogrammierung (Kapitel 2.4), erstellt. Vorzugsweise sind solche Wirtssprachen dynamisch typisiert wie z.B. Ruby, Groovy oder Scala. “Dadurch sinkt der Implementierungsaufwand. Eine interne DSL ist immer eine echte Untermenge einer generelleren Sprache.” [unk12]

2.2 Sprachorientierte Programmierung

“Language oriented programming (LOP) is about describing a system through multiple DSLs[...]LOP is a style of development which operates about the idea of building software around a set of DSLs”.(vlg. [Fow05])

Sprachorientierte Programmierung ist nach Fowlers Beschreibung alsöein gesamtsystem bestehend aus subsystemen, deren Funktionen mit definierten Sprachmodellen beschrieben werden. Bestenfalls sollten diese Sprachmodelle die fachlichen Probleme auf eine natürliche Art beschreiben können ohne dabei mehr zu beschreiben als das Fachgebiet benötigt.

¹<http://www.thoughtworks.com/radar>

²Domain Specific Languages, Addison Wesley 2011

In dem oft zitierten Paper beschreibt Fowler ein kleines Programm, das dazu dient Textdateien, die eine bestimmte Struktur haben in Objektinstanzen zu überführen. Eine EDI-Nachricht³ (Electronic Data Interchange) ist ein Beispiel dafür (Listing 2.2).

Listing 2.2: EDIFACT Nachricht für einen Verfügbarkeitsanfrage

```
1  UNA:+.? '
2  UNB+IATB:1+6XPPC+LHPPC+940101:0950+1 '
3  UNH+1+PAORES:93:1:IA '
4  MSG+1:45 '
5  IFT+3+XYZCOMPANY AVAILABILITY '
6  ERC+A7V:1:AMD '
7  IFT+3+NO MORE FLIGHTS '
8  ODI '
9  TVL+240493:1000::1220+FRA+JFK+DL+400+C '
10 PDI++C:3+Y::3+F::1 '
11 APD+74C:0:::6++++++6X '
12 TVL+240493:1740::2030+JFK+MIA+DL+081+C '
13 PDI++C:4 '
14 APD+EM2:0:1630::6++++++DA '
15 UNT+13+1 '
16 UNZ+1+1 '
```

Je nachdem wie z.B. die ersten drei Zeichen einer Zeile sind, wird beim Parser eine bestimmte “Parsing-Strategie” angewendet. [Gam95] Die angewendete Strategie wird dann dazu verwendet um den Rest der Zeile auszulesen. Diese Strategie kann zusätzlich konfiguriert werden. Folgendes ist nun konfigurierbar: Die ersten drei Zeichen an sich. Weithin die Zielklasse die je nach den ersten drei Zeichen mit den restlichen Daten der Zeile als Klassenvariablenwerte instanziiert werden soll und vor allem an welcher Stelle der Zeile der Wert einer bestimmten Klassenvariable vorkommt.

Mit diesem kleinen Programm wurde eine Abstraktion gebaut, die durch Konfiguration der Strategien spezifiziert werden kann. Also um die Abstraktion zu benutzen müssen die Strategien konfiguriert werden und deren Instanzen an den Reader-Treiber übergeben werden (Listing 2.3).

Listing 2.3: Instanzen der verschiedenen Strategien

```
1  public void Configure(Reader target) {
2      target.AddStrategy(ConfigureServiceCall());
3      target.AddStrategy(ConfigureUsage());
4  }
5  private ReaderStrategy ConfigureServiceCall() {
6      ReaderStrategy result = new ReaderStrategy("IFT", typeof (
7          ServiceCall));
8      result.AddFieldExtractor(7, 30, "RequestType");
9      result.AddFieldExtractor(19, 23, "CustomerID");
```

³<http://en.wikipedia.org/wiki/EDIFACT>

```
9     result.AddFieldExtractor(24, 27, "CallTypeCode");
10    result.AddFieldExtractor(28, 35, "DateOfCallString");
11    return result;
12 }
13 private ReaderStrategy ConfigureUsage() {
14     ReaderStrategy result = new ReaderStrategy("TVL", typeof (Usage
15         ));
16     result.AddFieldExtractor(4, 8, "CustomerID");
17     result.AddFieldExtractor(9, 22, "CustomerName");
18     result.AddFieldExtractor(30, 30, "Cycle");
19     result.AddFieldExtractor(31, 36, "ReadDate");
20     return result;
21 }
```

Da diese Konfigurationen besser konfigurierbar machen ohne immer neuen Bytecode generieren zu müssen könnte man eine YAML⁴-Datei schreiben und diese als Input für die Strategiekonfiguration benutzen (Listing 2.4).

Listing 2.4: Instanzen der verschiedenen Strategien - YAML

```
1 mapping IFT dsl.ServiceCall
2   4-18: RequestType
3   19-23: CustomerID
4   24-27 : CallTypeCode
5   28-35 : DateOfCallString
6
7 mapping TVL dsl.Usage
8   4-8 : CustomerID
9   9-22: CustomerName
10  30-30: Cycle
11  31-36: ReadDate
```

Jemand, der den Parser und dessen Anwendung versteht, kann in kurzer Zeit etwas mit der YAML Datei anfangen. Genau der Inhalt dieser YAML-Datei ist nun schon eine kleine Sprache. Die konkrete Syntax ist genau das YAML Format. Eine andere konkrete Syntax könnte das XML Format sein. Da dieses aber zu “verbos” ist dient es nicht der Leserlichkeit. Die Abstrakte Syntax ist nun die Basisstruktur: “Mehrere Abbildungen von Zeilentypen auf Klassen. Jeweils mit den drei Buchstaben, der Zielklasse und deren Felder bzw. deren Position”. Egal ob in XML oder in YAML, die abstrakte Syntax bleibt immer gleich.

Wenn eine minimalistische Syntax eine Voraussetzung für eine DSL ist, kann man die YAML-Datei auch in Ruby darstellen (Listing 2.5). Das hat zur Folge, dass der Inhalt der DSL mit einem Ruby Interpreter gelesen und verarbeitet werden kann. Wenn auch der andere Code in Ruby geschrieben sein würde (Strategie Implementation, AddFieldExtractor, AddStrategy, ...) dann wäre Code Listing 2.5 eine interne DSL und Ruby die Wirtssprache. Also ein Untermenge von Ruby und eine konkrete- zu unseren abstrakten Syntax.

⁴<http://de.wikipedia.org/wiki/YAML>

Listing 2.5: Instanzen der verschiedenen Strategien - RUBY

```
1 mapping('SVCL', ServiceCall) do
2     extract 4..18, 'customer_name'
3     extract 19..23, 'customer_ID'
4     extract 24..27, 'call_type_code'
5     extract 28..35, 'date_of_call_string'
6 end
7 mapping('USGE', Usage) do
8     extract 9..22, 'customer_name'
9     extract 4..8, 'customer_ID'
10    extract 30..30, 'cycle'
11    extract 31..36, 'read_date'
12 end
```

2.3 Groovy

Groovy ist eine dynamisch typisierte Programmiersprache und Skriptsprache für die Java Virtual Machine. Groovy besitzt einige Fähigkeiten, die in Java nicht vorhanden sind: Closures, native Syntax für Maps, Listen und Reguläre Ausdrücke, ein einfaches Template-system, mit dem HTML- und SQL-Code erzeugt werden kann, eine XQuery-ähnliche Syntax zum Ablaufen von Objektbäumen, Operatorüberladung und eine native Darstellung für BigDecimal und BigInteger. (vgl. [unn])

2.4 Metaprogrammierung

Metaprogrammierung ist eine Programmiertechnik, die Codegenerierung einsetzt, um bessere Abstraktion zu ermöglichen. Ein Evaluierer bestimmt den Wert eines formalen Ausdrucks. Z.B. ist der Wert des formalen Ausdrucks $5 + 3$ "8". Für Metaprogrammierung ist es oft nötig formale Ausdrücke zur Laufzeit auswerten zu können. Programmiersprachen wie Ruby oder Lisp stellen hierfür einen Evaluierer über eine eval-Funktion bereit. Linguistische Abstraktion bezeichnet Abstraktion auf linguistischem Sprachniveau. Dabei bezeichnet hier der Begriff "Sprache" primär formale Sprachen. Metalinguistische Abstraktion ist Abstraktion auf (linguistischem) Sprachniveau, die den Evaluierer umschreibt oder einen eigenen Evaluierer verwendet. Ein Beispiel ist ein lazy eval für eine strikt ausgewertete Sprache wie etwa Java. Der Begriff der Metalinguistischen Abstraktion ist nicht klar definiert und eine harte Abgrenzung zu anderen Konzepten (etwa Frameworks) vorzunehmen ist kaum möglich. Metaprogrammierung kann man als Werkzeug verstehen, das linguistische Abstraktion erzeugt. (vgl. [Bie08])

Metaprogrammierung bezeichnet eine Programmier-Technik um Code automatisch zu generieren. Es geht also um Code der Code schreibt. Der Ursprung der Metaprogrammierung geht auf das 1958 am MIT entwickelte Lisp bzw. Scheme zurück. In Lisp gibt es (`defmacro ..`) und in Scheme (`define-syntax ..`) Makros. Ein Lisp-Makro ist einer Funktion ähnlich. Eine Funktion erhält Parameter und liefert einen oder mehrere Werte zurück. Ein Lisp-Makro erhält Parameter und liefert einen oder mehrere Code-Ausdrücke zurück, die wieder evaluiert werden. Vor der Entwicklung der Lisp-Makros gab es bereits selbstmodifizierenden Assembler-Code. Das Problem hiermit ist das zu niedrige Abstraktionsniveau, da man sich auf Opcode-Ebene mit der Manipulation des Codes beschäftigen muss. In Ruby gibt es die Methoden `define method` und `define class`, mit der man Methoden bzw. Klassen definieren kann. Um Metaprogrammierung betreiben zu können, ist es essentiell, dass man solche Funktionen hat, damit man dynamisch Methoden und Klassen erzeugen kann. Des Weiteren stellt Ruby `eval` Funktionen zur Verfügung, mit denen Code in unterschiedlichen Kontexten ausgeführt werden kann. In Ruby wird komplexere Metaprogrammierung über Interpreter-Hooks realisiert, etwa `method_missing`. `method missing` wird angerufen, wenn man eine nicht vorhandene Methode auf einem Objekt aufruft. Die Default-Implementierung wirft eine `NoMethodError` Exception. Durch diese Method kann man z.B. ein Dateisystem Objekt erzeugen, dass als Methodenaufrufe seine Unterordner kennt. Dies ermöglicht es z.B. ein Verhalten, analog zu dem Shell-Befehl `cd dirname`, über `fsobj dirname` zu realisieren. Ein anderer Interpreter-Hook ist `Class.inherited`, der immer ausgeführt wird, wenn man von einer Klasse erbt. Möchte man verhindern, dass von einer Klasse geerbt wird, kann man in `Class.inherited` eine Exception werfen.

Oft wird Metaprogrammierung als eine Form der Codekomprimierung verstanden. Es geht bei Metaprogrammierung nicht um das reine Einsparen von Zeichen bzw. Code-Zeilen, sondern um Abstraktion.

(vgl. [Bie08])

Introspection bezeichnet die Fähigkeit, auf Informationen über die Zustände von Objekten, deren Klassen und Verhalten zur Laufzeit zugreifen zu können. Intercension erlaubt Zustände und Verhalten von Objekten, aber auch deren Klassen zur Laufzeit zu verändern. Intercension setzt meist Introspection voraus.[LB]

2.5 probleme und loesungsansaetze

Ich beschreibe nun einige Probleme mit Metaprogrammierung und DSLs. Es geht mir hier nicht um Vollständigkeit, sondern darum einige Probleme und potenzielle Lösungen auf

zu zeigen. Eins der wichtigsten Probleme ist die hohe Komplexität. In [Diomidis Spinellis. Rational metaprogramming. IEEE Software, 25(1):78–79, January/February 2008.] beschreibt der Autor das Problem wie folgt: “While I admire the cleverness and skill that hides behind C++ libraries (...), the fact remains that writing advanced template code is devilishly hard, (...)” Die Komplexität lässt sich durch die Verwendung bekannter Metaprogramm Paradigmen und Patterns reduzieren. Lisp hat hier etliche zu bieten, etwa `defmacro`, Higher-Order Functions oder Currying. Eine DSL bzw. ein Metaprogrammierungsframework sollte im mathematischen Sinne abgeschlossen sein. D.h. man soll den selben Code erzeugen können, den man von Hand schreiben kann und umgekehrt. Komplexe DSLs erzeugen teilweise schwer debugbaren Code. Nach Wissensstand des Autors gibt es zur Zeit kaum Lösungsansätze für dieses Problem. Es bleibt nur anzumerken, dass auch komplexe Frameworks teilweise schwer debugbaren Code erzeugen. Eine häufige Quelle für schwer debugbaren Code ist es, den Code als String darzustellen und dann zu evaluieren. Dies führt oft zu sinnfreien Fehlermeldungen wie “Syntax error in line 1 at char 42”, wobei der evaluierte Code an anderer Stelle steht. Ruby und viele andere Sprachen bieten Konstrukte an, die es nicht zulassen, dass man syntaktisch falschen Code erzeugt. In Ruby kann man hierfür Blöcke verwenden. Ein anderes Problem ist die Sprachkonsistenz. Es ist schwierig gute und konsistente Sprachen zu erzeugen. Es ist aufwändig diese Sprachen zu lernen und ihr Support ist ressourcenintensiv. Es macht daher Sinn die neue Sprache möglichst gut in die vorhandene Sprachumgebung ein zu gliedern. Eingebettete DSLs helfen hierbei. (vgl. [Bie08])

2.6 Metaprogrammierung in Groovy

Groovy besteht aus einem flexiblen Metaklassenmodell. Im Sinne einer Open Implementation hat der Programmierer nahezu alle Möglichkeiten sein Programm mittels Reflection zur Laufzeit zu verändern und damit an die individuellen Bedürfnisse anzupassen. [LB] Da Groovy auf der Java VM ausgeführt wird und somit auch den Grundregeln des Javaklassenmodells folgen muss, unterliegt es auch dessen Einschränkungen. In Java ist eine Veränderung der Klassen zur Laufzeit nicht vorgesehen. Die Java Runtime Environment stellt mit dem `java.reflect` Package primär eine Möglichkeit zur Introspection bereit. [...] Erst Javassist, und Reflex erlauben echtes dynamisches Verhalten, in dem auf Bytecode Ebene die Klasse verändert wird.

Dazu muss allerdings die Klasse teilweise umständlich entladen und neugeladen werden. Ein Meta Object Protocol auf der Java VM kann somit nur mittels einer zusätzlichen Indirektionsschicht realisiert werden. Dazu werden bestehende Konzepte von Java benutzt

und um ein Metaklassenmodell erweitert. Aus dem Java Unterbau ergeben sich folgende Grundsätze: Wie in Java ist in Groovy jede Klasse abgeleitet von Object. Groovy ist in diesem Hinblick aber wesentlich konsequenter, da auf primitive Datentypen bewusst verzichtet wurde, um die Inkonsistenzen bei der Behandlung von primitiven Datentypen und Klassen zu vermeiden. Weiterhin ist jede Klasse in Groovy eine Instanz von Class, womit Class alsöauch in Groovy die Klasse der Klassen bleibt. [LB]

getMetaClass setMetaClass Nicht nur eine Klasse hat eine Metaklasse, sondern auch jedes einzelne Groovy Objekt kann eine von der Klasse unabhängige Metaklasse haben (siehe 2.4). Diese instanz- spezifische Metaklasse ist über die beiden Methoden zugänglich.

getProperty setProperty Properties definieren den Zustand eines Objektes und werden in Groovy primär auf Instanz und Klassenebene abgebildet. Jede Groovy Klasse kann durch Überschreiben dieser zwei Methoden dynamische Properties auf Objektebene oder Klassenebene erzeugen.

invokeMethod Das Verhalten eines Objektes ist wiederum eine Ebene höher angesiedelt, spielt sich alsöauf Klassen- oder Metaklassenebene ab. Normalerweise wird dynamisches Verhalten damit auf Metaklassenebene realisiert, sodass diese Methode der GroovyObjects gar nicht erst aufgerufen wird. Nur im Fehlerfall oder mit Hilfe des Tag-Interfaces GroovyInterceptable wird invokeMethod aufgerufen (in 2.5 genau beschrieben).

[...] Während GroovyObject dynamisches Verhalten auf Objekt- und Klassenebene erlaubt, ist das zweite elementare Interface MetaClass die Grundlage für das sehr ausgewogene Metaklassenmodell in Groovy.

Metaklassen, Klassen und Instanzen Lläuft ein Programm ohne Intercession, sögelten für die Metaklassen der Klassen und Instanzen folgende Grundaussagen: Jede Klasse hat eine Metaklasse, die eine Instanz von MetaClassImpl ist und damit MetaClass implementiert. Diese Instanzen werden dynamisch erzeugt und sind bis auf wenige Ausnahmen direkt MetaClassImpl Instanzen. Java Klassen erhalten eine Instanz von ExpandoMetaClass als Metaklasse, damit auch diesen Klassen Methoden hinzugefügt werden können. Neue Instanzen von Klassen werden über die Metaklasse der Klasse erstellt und haben diese Metaklasse als Metaklasse.

getProperties getMethods getMetaMethods Die Methoden der Introspection in Groovy. Der Unterschied zwischen getMethods und getMetaMethods wird in 2.5 näher erläutert.

getClassNode Liefert den AST der Metaklasse sofern verfügbar. Erlaubt auch die Modifikation dieses ASTs und ist damit sowohl für Introspection als auch Intercession geeignet. Aufgrund der Komplexität des ASTs wird allerdings dynamisches Verhalten häufiger über die ExpandoMetaClass realisiert und der AST verwendet, um Quelltextfragmente neu zu interpretieren. In den Standardbibliotheken wird so zum Beispiel eine Closure automatisch in ein SQL Statement umgewandelt, um das SELECT Statement performant zu benutzen.

invokeMethod Jeder Methodenaufruf wird primär von der Metaklasse behandelt und entweder an die invokeMethod Funktion des GroovyObjects oder aber an die entsprechende Methode der Klasse delegiert. Das Erzeugen einer eigenen Metaklasse und überschreiben dieser Methode ist die Hauptmöglichkeit für dynamisches Verhalten in Groovy außer der ExpandoMetaClass.

getProperty setProperty Die Methoden zur Property-Unterstützung auf Metaklassenebene werden von der Standardimplementierung von den entsprechenden Methoden von GroovyObject aufgerufen. Die Aufrufreihenfolge ist im Vergleich zu invokeMethod alsögenau andersherum. Auch diese Methoden sind für Intercession geeignet.

invokeMissingMethod invokeMissingProperty Diese Backupmethoden werden jeweils aufgerufen, wenn die normalen Aufrufmechanismen fehlgeschlagen sind. Intercession mit diesen Methoden erlaubt zum Beispiel die Erweiterung von Klassen und Objekten um zusätzliche Properties zur Laufzeit. [LB]

2.6.1 Closures

2.6.2 Kategorien

Mit Kategorien bietet Groovy eine Art dynamische Mix-ins. Es können innerhalb von einem Closure, beliebige Methoden zu allen Metaklassen hinzugefügt oder überschrieben werden. Die Methode use ist eine der Standardmethoden in DefaultGroovyMethods die jeder Metaklasse, die von MetaClassImpl erbt, automatisch hinzugefügt wird. Deswegen wird häufig von use auch von einem Sprachkonstrukt statt von einer Methode gesprochen. Mit use wird die in Klammern angegebene Klasse auf Klassenmethoden untersucht und in

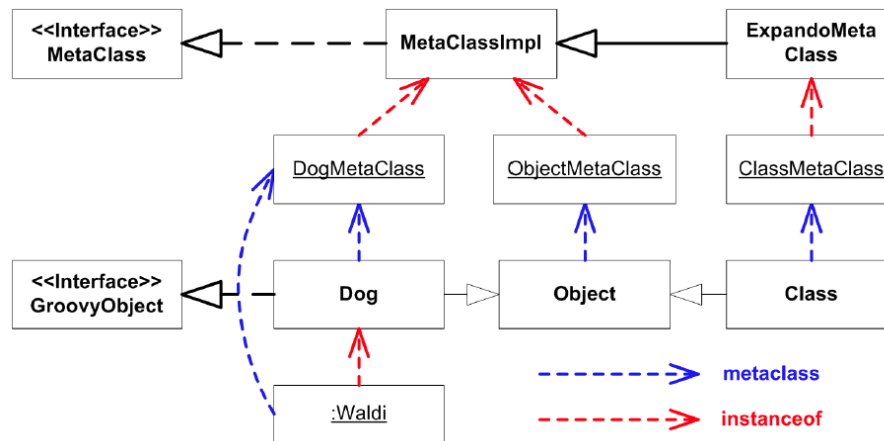


Abbildung 2.3: Beziehung von Metaklassen, Klassen und Instanzen [LB])

org.codehaus.groovy.runtime.GroovyCategory- Support verwaltet. Es werden nur Klassenmethoden erlaubt, um Zustände in der Kategorieinstanz zu vermeiden, die nicht threadsicher wären. Der this Parameter wird deshalb bei Überschreiben von Instanzmethoden wie getName explizit als ersten Parameter angegeben. Wird nun eine Methode aufgerufen, überprüft MetaClassImpl in invokeMethod ob es eine Kategorie Methode gibt, die kompatibel ist mit dem aktuellen Objekt und den übergebenen Parametern. Gibt es solch eine wird der Aufruf delegiert, sonst wird wie in 2.5 beschrieben der normale Aufruf fortgesetzt. Kategorien sind von Objective-C entlehnt und bieten eine einfache Möglichkeit, kurzzeitig und ohne Seiteneffekte neue Methoden hinzuzufügen oder bestehende zu überschreiben. Sie eignen sich deswegen gut für Aspekt- oder Contextorientierte Programmierung. [LB]

2.6.3 Expando-MetaClass

3 MDA / MDSD und DSM Unterschiede

Model-driven Architecture (MDA) bzw. Model-Driven Software Development (MDSD) und Metaprogrammierung bzw. DSLs haben eine vergleichbare Problemstellung. In der MDA Welt verwendet man auf UML etc. basierende graphische Modelle. Auch das graphische Modell muss eine formale Sprache sein, damit es compilerbar ist. Eine DSL kann man als textuelle Repräsentation eines Models verstehen. Die Komplexität und das Abstraktionsniveau ist abhängig von dem verwendeten Model, nicht seiner Repräsentation. Graphische Repräsentation kann man aber besser mit zusätzlichen Informationen anreichern, da man diese nach Bedarf ein- und ausblenden kann. Eine DSL hat den Vorteil, dass ihre Darstellung simpler ist, man kann sie beispielsweise mit einem einfachen Text Editor bearbeiten oder mit trivialen Mitteln ein diff zweier Versionen erstellen (vgl. Saez Cuadrado and Jesu Building domain-specific languages for model-driven development. IEEE Softw., 24(5):48–55, 2007. & Diomidis Spinellis. Rational metaprogramming. IEEE Software, 25(1):78–79, January/February 2008.). (vgl. [Bie08])

In unserem Beispiel mit der Uhrenanwendung sind die Domänenkonzepte hergeleitet aus der visuellen Anzeige (z. B. Zeiteinheiten, Symbole etc.), der Kontrollstruktur (Nutzer drückt Knopf, Alarm wird ausgelöst etc.) und darunter liegenden Diensten (d. h. Zeit und ihre Manipulation, Alarm). Indem diese Konzepte in die Modellierungssprache eingebracht und weiter verfeinert werden, erzeugen wir die Spezifikation der Sprache (d. h. das Metamodell). Das Ziel ist hier, die gewählten Konzepte akkurat auf die Semantik der Domäne abzubilden. [PT06]

Wie unterscheidet sich DSM von MDA? Nachdem wir mit Beispielen die Hauptprinzipien von domänenspezifischer Modellierung demonstriert haben, können wir sie nun mit anderen gängigen modellbasierten Entwicklungsansätzen vergleichen und speziell mit der Model Driven Architecture (MDA) der OMG. Ganz grundsätzlich beinhaltet MDA die Umwandlung von UML-Modellen auf einem höheren Abstraktionsniveau in UML-Modelle auf einem niedrigeren Abstraktionsniveau. Gewöhnlich sind dies zwei Ebenen, und zwar plattformunabhängige Modelle (PIMs) und plattformspezifische Modelle (PSMs). Diese PIMs und PSMs sind reines UML und bieten daher keine wirkliche Erhöhung der Abstraktion. In der

MDA werden auf jeder Stufe die Modelle einer detaillierteren Bearbeitung mit Reverse und Roundtrip Engineering unterzogen und am Ende wird wesentlicher Code aus dem finalen Modell generiert. Die OMG verfolgt mit MDA das Ziel, dasselbe PIM auf verschiedenen Software-Plattformen nutzen zu können. Außerdem will die OMG alle Übersetzungen und Modellformate standardisieren, sodass die Modelle zwischen den Werkzeugen verschiedener Hersteller austauschbar werden. Dies erreichen zu wollen, ist sehr ambitioniert, aber man ist noch viele Jahre davon entfernt. Diese Zielsetzung zeigt jedoch klar die Unterschiede zwischen DSM und MDA und beantwortet die Frage, wann welcher Ansatz anzuwenden ist. DSM erfordert Domänen-Fachwissen, ein Potenzial, das eine Firma nur erreichen kann, wenn sie kontinuierlich in der gleichen Problemdomäne arbeitet. Dies sind typischerweise eher Produkt- oder Systementwicklungshäuser als Projekthäuser. Hier ist die Plattformunabhängigkeit keine wichtige Anforderung, obwohl sie mit DSM einfach erreicht werden kann, indem verschiedene Code-Generatoren für verschiedene Softwareund/ oder Produktplattformen eingesetzt werden. Stattdessen liegt das Hauptaugenmerk der DSM auf der signifikanten Verbesserung der Entwicklerproduktivität. Mit der MDA richtet die OMG ihren Fokus nicht auf die Nutzung von DSM-Sprachen, sondern auf generisches UML, ihre eigene Standard-Modellierungssprache. Sie versucht nicht, das möglicherweise existierende Domänen-Fachwissen einer Firma einzukapseln, sondern nimmt an, dass dieses Wissen nicht vorhanden oder irrelevant ist. Es scheint daher, dass die MDA, wenn die OMG letztlich ihre selbstgesteckten Ziele erreicht, geeignet für System- oder Anwendungsintegrationsprojekte ist. MDA setzt ein fundiertes Wissen ihrer Methodik voraus, welches nicht per se in einer Firma vorhanden ist und durch Erfahrung erlangt werden muss. Folglich muss das MDAFachwissen angeeignet oder von außerhalb eingekauft werden, wohingegen das Domänen-Fachwissen für die DSM schon in einer Organisation verfügbar ist und angewendet wird. In diesen Situationen ist die Wahl zwischen MDA und DSM oft klar. [PT06]

4 Praktischer Teil

Der praktische Teil beschäftigt sich nun mit ...

4.1 Die Fachliche Domäne

5 Auswertung

6 Zusammenfassung und Schlussbetrachtung

Domänenspezifische Modellierung erlaubt schnellere Entwicklung basierend auf den Modellen der Problemdomäne und weniger auf Modellen von Quellcode. Unser Uhrenbeispiel veranschaulichte dies schnell. Industrielle Erfahrungen mit DSM [DSM] zeigen bedeutende Verbesserungen der Produktivität, niedrigere Entwicklungskosten und bessere Qualität. Das Unternehmen Nokia gibt beispielsweise an, dass sich die Entwicklung von Mobiltelefonen auf diesem Weg um den Faktor 10 beschleunigt. Bei der Firma Lucent konnte die Produktivität – abhängig vom Produkt – um das drei- bis zehnfache gesteigert werden. Die Schlüsselfaktoren dafür sind: H Das Problem wird nur einmal – und zwar auf einem hohen Abstraktionsniveau – gelöst und der lauffähige Quellcode wird geradewegs aus dieser Lösung generiert. H Das Hauptaugenmerk der Entwickler liegt nicht länger auf dem Code, sondern beim Modell, dem Problem an sich. Komplexität und Implementierungsdetails können so verborgen werden und eine bereits bekannte Terminologie rückt in den Vordergrund. H Durch eine einheitlichere Entwicklungsumgebung und dadurch, dass weniger Wechsel zwischen den Abstraktionsniveaus Modell und Implementierung erforderlich sind, lassen sich eine bessere Konsistenz der verschiedenen Produkte und niedrigere Fehlerraten erreichen. H Das Domänenwissen wird für das Entwicklungsteam explizit gemacht, indem es in der Modellierungssprache und deren Werkzeugunterstützung festgehalten wird. Der Einsatz von DSM bedeutet keine zusätzliche Investition, wenn der gesamte Zyklus vom Design bis zum arbeitenden Code betrachtet wird. Vielmehr spart es Entwicklungsressourcen: Traditionell arbeiten alle Entwickler mit den Konzepten der Problemdomäne und bilden diese von Hand auf die Implementierungskonzepte ab. Aber unter den Entwicklern gibt es große Unterschiede. Manche erledigen diese Aufgabe besser, manche schlechter. Also lässt die erfahrenen Entwickler die Konzepte und deren Abbildung einmal definieren, dann müssen die anderen dies nicht erneut tun. Spezifiziert ein Experte den Code- Generator, so produziert dieser Anwendungen von besserer Qualität, als es normale Entwickler von Hand könnten. [PT06]

Literaturverzeichnis

- [Bie08] BIEKER, F.: Metaprogrammierung und linguistische Abstraktion. (16. Dezember 2008). – http://www.inf.fu-berlin.de/inst/ag-se/teaching/S-BSE/125BiekerF_MetaProg.pdf
- [Boa11] BOARD, ThoughtWorks Technology A.: Technology Radar. (Jan. 2011), Januar. <http://www.thoughtworks.com/sites/www.thoughtworks.com/files/files/thoughtworks-tech-radar-january-2011-US-color.pdf>
- [Fow03] FOWLER, M.: *Patterns of enterprise application architecture*. Addison-Wesley Professional, 2003
- [Fow05] FOWLER, M.: Language workbenches: The killer-app for domain specific languages. In: *Accessed online from: http://www.martinfowler.com/articles/languageWorkbench.html* (2005)
- [FP11] FOWLER, M. ; PARSONS, R.: *Domain-specific languages*. Addison-Wesley Professional, 2011
- [Gam95] GAMMA, E.: *Design patterns: elements of reusable object-oriented software*. Addison-Wesley Professional, 1995
- [hei11] HEISE: *JetBrains veröffentlicht Meta Programming System 2.0*. <http://www.heise.de/developer/meldung/JetBrains-veroeffentlicht-Meta-Programming-System-2-0-1327137.html>.
Version: 22.08. 2011
- [IR07] IT-RADAR, LPZ E-BUSINESS |.: Domnenspezifische Sprachen. (2007). http://it-radar.org/uploads/reports/2_2007.pdf
- [LB] LARS BLUMBERG, Christoph Hartmann und Arvid H.: Groovy Meta Programming. .
– <http://www.acidum.de/wp-content/uploads/2008/10/groovy-meta-programming-paper.pdf>
- [mda] *modelgetriebene softwareentwicklung (techniken, engeneering, management)*
- [PT06] PEKKA-TOLVANEN, J.: Domnenspezifische Model- lierung fr vollstndige Code-Generierung,. In: *Javaspektrum* (2006), S. 9–12



- [Rec00] RECHENBERG, P.: *Was ist Informatik?: eine allgemeinverständliche Einführung*. Hanser Verlag, 2000
- [unk12] UNKNOWN: *Domnenspezifische Sprache*. http://de.wikipedia.org/wiki/Domaenenspezifische_Sprache. Version: 2 2012
- [unn] <http://de.wikipedia.org/wiki/Groovy>
- [wika] *Abstraktion*. <http://de.wikipedia.org/wiki/Abstraktion>
- [wikb] *Intentional Programming*. http://de.wikipedia.org/wiki/Intentional_Programming