

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Motivation . . . . .	1
1.2	Verwandte Arbeiten . . . . .	2
1.3	Gegenstand dieser Arbeit . . . . .	3
1.3.1	Funktionale Anforderungen . . . . .	3
1.3.2	Nichtfunktionale Anforderungen . . . . .	4
<b>2</b>	<b>Voraussetzungen</b>	<b>5</b>
2.1	Spezifikation der Erwartungen . . . . .	5
2.1.1	Erwartete Syntax . . . . .	5
2.1.2	Erwartete Semantik . . . . .	5
2.2	Ermittlung angebotener Komponenten . . . . .	6
<b>3</b>	<b>Explorationsalgorithmus</b>	<b>8</b>
3.1	1. Stufe - Strukturelle Übereinstimmung . . . . .	9
3.1.1	StructuralTypeMatcher . . . . .	13
3.1.2	ExactTypeMatcher . . . . .	16
3.1.3	GenTypeMatcher . . . . .	17
3.1.4	SpecTypeMatcher . . . . .	19
3.1.5	WrappedTypeMatcher . . . . .	20
3.1.6	WrapperTypeMatcher . . . . .	22
3.1.7	Notation zur Beschreibung der Matcher . . . . .	24
3.1.8	ExactTypeMatcher . . . . .	25
3.1.9	GenTypeMatcher . . . . .	26
3.1.10	SpecTypeMatcher . . . . .	28
3.1.11	WrappedTypeMatcher . . . . .	29
3.1.12	WrapperTypeMatcher . . . . .	31
3.1.13	StructuralTypeMatcher . . . . .	33
3.1.14	Typ- und Methoden-Konvertierungsvarianten . . . . .	35
3.2	2. Stufe - Semantische Evaluation . . . . .	36

3.2.1	Schritt 1: Ermittlung der Testklassen zum erwarteten Interface . . . . .	39
3.2.2	Schritt 2: Kombination von Typ-Konvertierungsvarianten . . . . .	39
3.2.3	Schritt 3: Erzeugen von benötigten Komponenten . . . . .	40
3.2.4	Schritt 4: Injizieren der benötigten Komponente . . . . .	42
3.2.5	Schritt 5: Durchführen der Tests . . . . .	42
3.2.6	Schritt 6: Auswertung des Testergebnisses . . . . .	45
<b>4</b>	<b>Heuristiken</b>	<b>46</b>
4.1	Type-Matcher Rating basierte Heuristiken . . . . .	46
4.1.1	TMR_Quant: Beachtung des quantitativen Type-Matcher Ratings . . . .	47
4.1.2	TMR_Qual: Beachtung des qualitativen Type-Matcher Ratings . . . . .	48
4.2	Testergebnis basierte Heuristiken . . . . .	51
4.2.1	PREV_PASSED: Beachtung der teilweise bestandenen Tests . . . . .	51
4.2.2	BL_PM: Beachtung aufgerufener Pivot-Methode . . . . .	51
4.2.3	BL_SM: Beachtung fehlgeschlagener Single-Method Tests . . . . .	52
4.3	Koordination im Explorationsalgorithmus . . . . .	53
<b>5</b>	<b>Evaluierung</b>	<b>55</b>
5.1	Test-System . . . . .	57
5.1.1	Type-Matcher Rating basierte Heuristiken . . . . .	59
5.2	Heiß-System . . . . .	71
<b>A</b>	<b>Beispiel-Implementierungen für die Type-Matcher</b>	<b>vi</b>
A.1	Implementierungen der verwendeten Source- und Target-Typen . . . . .	vi
A.2	Deklaration des Interfaces für die Type-Matcher . . . . .	viii
A.3	Beispiel für den ExactTypeMatcher . . . . .	ix
A.4	Beispiel für den GenTypeMatcher . . . . .	x
A.5	Beispiel für den SpecTypeMatcher . . . . .	xii
A.6	Beispiel für den WrappedTypeMatcher . . . . .	xiv
A.7	Beispiel für den WrapperTypeMatcher . . . . .	xviii
A.8	Beispiel für den StructuralTypeMatcher . . . . .	xxii

# Abbildungsverzeichnis

1	Abhängigkeiten von nachfragenden und angebotenen Komponenten . . . . .	1
2	Allgemeiner Aufbau des System mit der Explorationskomponente . . . . .	8
3	Kombination von angebotenen Komponenten . . . . .	9
4	SuperReturnSubParamClass und SubReturnSuperParamClass . . . . .	14
5	Szenario StructTypeMatcher . . . . .	15
6	SuperClass . . . . .	17
7	Szenario ExactTypeMatcher . . . . .	17
8	Beziehung zwischen SuperClass und SubClass . . . . .	18
9	Szenario GenTypeMatcher . . . . .	18
10	Szenario SpecTypeMatcher . . . . .	19
11	Beziehung zwischen SubClass und SubWrapper . . . . .	21
12	Szenario WrappedTypeMatcher . . . . .	21
13	Szenario WrapperTypeMatcher . . . . .	23
14	SuperClass . . . . .	26
15	Szenario ExactTypeMatcher . . . . .	26
16	Beziehung zwischen SuperClass und SubClass . . . . .	27
17	Szenario GenTypeMatcher . . . . .	27
18	Szenario SpecTypeMatcher . . . . .	28
19	Beziehung zwischen SubClass und SubWrapper . . . . .	30
20	Szenario WrappedTypeMatcher . . . . .	30
21	Szenario WrapperTypeMatcher . . . . .	32
22	SuperReturnSubParamClass und SubReturnSuperParamClass . . . . .	34
23	Szenario StructTypeMatcher . . . . .	34
24	Typ- und Methoden-Konvertierungsvarianten von AIv . . . . .	36
25	Typ- und Methoden-Konvertierungsvarianten von AIu . . . . .	36
26	Schema der semantischen Evaluation . . . . .	38
27	Kombinationen von Typ-Konvertierungsvarianten von AIu und AIv im ersten Durchlauf . . . . .	40
28	Kombinationen von Typ-Konvertierungsvarianten von AIu und AIv im zweiten Durchlauf . . . . .	40

29	Kombinationen von Methoden-Konvertierungsvarianten AIv . . . . .	41
30	Kombinationen von Methoden-Konvertierungsvarianten AIu . . . . .	41
31	Kombinationen von Methoden-Konvertierungsvarianten AIu+AIv . . . . .	41
32	Erwartetes Interface Stack . . . . .	43
33	Delegation der Stack-Methoden an genau eine angebotene Komponente . . . . .	43
34	Delegation der Stack-Methoden an unterschiedliche angebotene Komponenten . . . . .	44
35	Szenario für TMR_Quant . . . . .	47
36	Typ-Konvertierungsvarianten dem Szenario zu TMR_Quant . . . . .	48
37	Methoden-Konvertierungsvarianten dem Szenario zu TMR_Quant . . . . .	48
38	Szenario für TMR_Qual . . . . .	49
39	Typ-Konvertierungsvarianten dem Szenario zu TMR_Qual . . . . .	50
40	Methoden-Konvertierungsvarianten dem Szenario zu TMR_Qual . . . . .	50
41	Erwartetes Interface: ElerFTFoerderprogrammeProvider . . . . .	57
42	Erwartetes Interface: FoerderprogrammeProvider . . . . .	57
43	Erwartetes Interface: MinimalFoerderprogrammeProvider . . . . .	58
44	Erwartetes Interface: IntubatingFireFighter . . . . .	58
45	Erwartetes Interface: IntubatingFreeing . . . . .	58
46	Erwartetes Interface: IntubatingPatientFireFighter . . . . .	58
47	Alle Typen/Klassen, die in Matcher-Szenarien verwendet werden . . . . .	vi
48	Interface TypeMatcher . . . . .	viii

## Tabellenverzeichnis

1	Grammatik für die Definition einer Bibliothek von Typen . . . . .	11
2	Grammatik für die Definition eines Proxies . . . . .	12
3	Beispiel: Vier-Felder-Tafel . . . . .	57
4	Kürzel der erwarteten Interfaces . . . . .	59
5	Anzahl strukturell übereinstimmender angebotener Interfaces je erwartetes In- terfaces . . . . .	59
6	Ausgangspunkt Test-System TMR für TEI1 . . . . .	60
7	Ausgangspunkt Test-System TMR für TEI2 . . . . .	60

8	Ausgangspunkt Test-System TMR für TEI3 . . . . .	60
9	Ausgangspunkt Test-System TMR für TEI4 1. Durchlauf . . . . .	60
10	Ausgangspunkt Test-System TMR für TEI5 1. Durchlauf . . . . .	60
11	Ausgangspunkt Test-System TMR für TEI6 1. Durchlauf . . . . .	60
12	Ausgangspunkt Test-System TMR für TEI4 2. Durchlauf . . . . .	60
13	Ausgangspunkt Test-System TMR für TEI5 2. Durchlauf . . . . .	60
14	Ausgangspunkt Test-System TMR für TEI6 2. Durchlauf . . . . .	60
15	TMR_Quant Test-System TMR für TEI1 . . . . .	62
16	TMR_Quant Test-System TMR für TEI2 . . . . .	62
17	TMR_Quant Test-System TMR für TEI3 . . . . .	62
18	TMR_Quant Test-System TMR für TEI4 . . . . .	62
19	TMR_Quant Test-System TMR für TEI5 . . . . .	62
20	TMR_Quant Test-System TMR für TEI6 . . . . .	62
21	Type-Matcher mit Basiswerten . . . . .	63
22	TMR_Qual Test-System TMR für TEI1 mit 1-2 . . . . .	65
23	TMR_Qual Test-System TMR für TEI2 mit 1-2 . . . . .	65
24	TMR_Qual Test-System TMR für TEI3 mit 1-2 . . . . .	65
25	TMR_Qual Test-System TMR für TEI4 mit 1-2 1. Durchlauf . . . . .	65
26	TMR_Qual Test-System TMR für TEI5 mit 1-2 1. Durchlauf . . . . .	65
27	TMR_Qual Test-System TMR für TEI6 mit 1-2 1. Durchlauf . . . . .	65
28	TMR_Qual Test-System TMR für TEI4 mit 1-2 2. Durchlauf . . . . .	65
29	TMR_Qual Test-System TMR für TEI5 mit 1-2 2. Durchlauf . . . . .	65
30	TMR_Qual Test-System TMR für TEI6 mit 1-2 2. Durchlauf . . . . .	65
31	TMR_Qual Test-System TMR für TEI1 mit 3-2 . . . . .	66
32	TMR_Qual Test-System TMR für TEI2 mit 3-2 . . . . .	66
33	TMR_Qual Test-System TMR für TEI3 mit 3-2 . . . . .	66
34	TMR_Qual Test-System TMR für TEI4 mit 3-2 1. Durchlauf . . . . .	66
35	TMR_Qual Test-System TMR für TEI5 mit 3-2 1. Durchlauf . . . . .	66
36	TMR_Qual Test-System TMR für TEI6 mit 3-2 1. Durchlauf . . . . .	66
37	TMR_Qual Test-System TMR für TEI4 mit 3-2 2. Durchlauf . . . . .	66
38	TMR_Qual Test-System TMR für TEI5 mit 3-2 2. Durchlauf . . . . .	66

39	TMR_Qual Test-System TMR für TEI6 mit 3-2 2. Durchlauf . . . . .	66
40	TMR_Qual Test-System TMR für TEI1 mit 4-3 . . . . .	67
41	TMR_Qual Test-System TMR für TEI2 mit 4-3 . . . . .	67
42	TMR_Qual Test-System TMR für TEI3 mit 4-3 . . . . .	67
43	TMR_Qual Test-System TMR für TEI4 mit 4-3 1. Durchlauf . . . . .	67
44	TMR_Qual Test-System TMR für TEI5 mit 4-3 1. Durchlauf . . . . .	67
45	TMR_Qual Test-System TMR für TEI6 mit 4-3 1. Durchlauf . . . . .	67
46	TMR_Qual Test-System TMR für TEI4 mit 4-3 2. Durchlauf . . . . .	67
47	TMR_Qual Test-System TMR für TEI5 mit 4-3 2. Durchlauf . . . . .	67
48	TMR_Qual Test-System TMR für TEI6 mit 4-3 2. Durchlauf . . . . .	67
49	Kombinationen von Akkumulationsverfahren mit gleichen Ergebnissen . . . . .	68
50	TMR_Quant + TMR_Qual Test-System TMR für TEI1 . . . . .	69
51	TMR_Quant + TMR_Qual Test-System TMR für TEI2 . . . . .	69
52	TMR_Quant + TMR_Qual Test-System TMR für TEI3 . . . . .	69
53	TMR_Quant + TMR_Qual Test-System TMR für TEI4 1. Durchlauf . . . . .	70
54	TMR_Quant + TMR_Qual Test-System TMR für TEI5 1. Durchlauf . . . . .	70
55	TMR_Quant + TMR_Qual Test-System TMR für TEI6 1. Durchlauf . . . . .	70
56	TMR_Quant + TMR_Qual Test-System TMR für TEI4 2. Durchlauf . . . . .	70
57	TMR_Quant + TMR_Qual Test-System TMR für TEI5 2. Durchlauf . . . . .	70
58	TMR_Quant + TMR_Qual Test-System TMR für TEI6 2. Durchlauf . . . . .	70

## Listings

1	Erwartetes Interface IntubatingFireFighter . . . . .	6
2	Testklasse des erwarteten Interfaces IntubatingFireFighter . . . . .	6
3	Testklasse für ein erwartetes Interfaces Stack . . . . .	44
4	Implemetierung: SuperClass . . . . .	vii
5	Implemetierung: SubClass . . . . .	vii
6	Implemetierung: SubWrapper . . . . .	vii
7	Implemetierung: SuperWrapperReturnSubWrapperParamClass . . . . .	viii
8	ExactTypeMatcher Matching Test . . . . .	ix

9	ExactTypeMatcher Konvertierung Test . . . . .	x
10	GenTypeMatcher Matching Test . . . . .	xi
11	GenTypeMatcher Konvertierung Test . . . . .	xi
12	SpecTypeMatcher Matching Test . . . . .	xii
13	SpecTypeMatcher Konvertierung Test . . . . .	xii
14	WrappedTypeMatcher Matching Test . . . . .	xv
15	WrappedTypeMatcher Konvertierung Test . . . . .	xvi
16	WrapperTypeMatcher Matching Test . . . . .	xix
17	WrapperTypeMatcher Konvertierung Test . . . . .	xx
18	StructTypeMatcher Matching Test . . . . .	xxiii
19	StructuralTypeMatcher Konvertierung Test . . . . .	xxv

# 1 Einleitung

## 1.1 Motivation

In größeren Software-Systemen ist es üblich, dass mehrere Komponenten miteinander über Schnittstellen kommunizieren. In der Regel werden diese Schnittstellen so konzipiert, dass sie Informationen oder Services anbieten, die von anderen Komponenten abgefragt und benutzt werden können. Dabei wird zwischen der Komponente, welche die Schnittstelle implementiert - als angebotene Komponente - und der Komponente, welche die Schnittstelle nutzen soll - als nachfragende Komponente - unterschieden (siehe Abbildung 1).

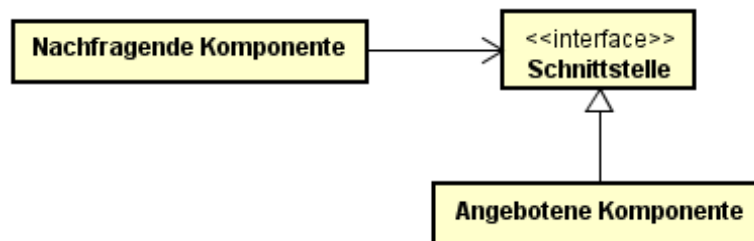


Abbildung 1: Abhängigkeiten von nachfragenden und angebotenen Komponenten

Wird von einer nachfragenden Komponente eine Information benötigt, die in dieser Form noch nicht angeboten wird, so wird häufig ein neues Interface für diese benötigte Information erstellt, welches dann passend dazu implementiert wird. Dabei muss neben der Anpassung der nachfragenden Komponente auch eine Anpassung oder Erzeugung der anbietenden Komponente erfolgen und zusätzlich das neue Interface deklariert werden. Zudem bedingt eine nachträgliche Änderung der neuen Schnittstelle ebenfalls eine Anpassung der drei genannten Artefakte.

In einem großen Software-System mit einer Vielzahl von bestehenden Schnittstellen ist eine gewisse Wahrscheinlichkeit gegeben, dass die Informationen oder Services, die von einer neuen nachfragenden Komponente benötigt werden, in einer ähnlichen Form bereits existieren. Das Problem ist jedoch, dass die manuelle Evaluation der Schnittstellen mitunter sehr aufwendig bis, aufgrund von unzureichender Dokumentation und Kenntnis über die bestehenden Schnittstellen, unmöglich ist.



Weiterhin ist es denkbar, dass ein Software-System auf unterschiedlichen Maschinen verteilt wurde und dadurch Teile des Systems ausfallen können. Das hat zur Folge, dass die Implementierung bestimmter Schnittstellen nicht erreichbar ist. Dadurch, dass eine Schnittstelle durch eine nachfragende Komponente explizit referenziert wird, kann eine solche Komponente nicht korrekt arbeiten, wenn die Implementierung der Schnittstelle nicht erreichbar ist, obwohl die benötigten Informationen und Services vielleicht durch andere Schnittstellen, deren Implementierung durchaus zur Verfügung stehen, bereitgestellt werden könnten.

Dies führt zu der Überlegung, ob es nicht möglich ist, dass eine nachfragende Komponente einfach selbst spezifizieren kann, welche Informationen oder Services sie erwartet, wodurch auf der Basis dieser Spezifikation eine passende anbietende Komponente gefunden werden kann.

## 1.2 Verwandte Arbeiten

Ein solcher Ansatz wurde bereits in [BNL<sup>+</sup>06] von Bajaracharya et al. verfolgt. Diese Gruppe entwickelte eine Search Engine namens Sourcerer, welche Suche von Open Source Code im Internet ermöglichte. Darauf aufbauend wurde von derselben Gruppe in [LLBO07] ein Tool namens CodeGenie entwickelt, welches einem Softwareentwickler die Code Suche über ein Eclipse-Plugin ermöglicht. In diesem Zusammenhang wurde erstmals der Begriff der Test-Driven Code Search (TDCS) etabliert. Parallel dazu wurde in Verbindung mit der Dissertation Oliver Hummel [Hum08] ebenfalls eine Weiterentwicklung von Sourcerer veröffentlicht, welche unter dem Namen Merobase bekannt ist, welches ebenfalls das Konzept der TDCS verfolgt. TDCS beruht grundlegend darauf, dass der Entwickler Testfälle spezifiziert, die im Anschluss verwendet werden, um relevanten Source Code aus einem Repository hinsichtlich dieser Testfälle zu evaluieren. Damit kann das jeweilige Tool dem Entwickler Vorschläge für die Wiederverwendung bestehenden Codes unterbreiten.

Bezogen auf die am Ende des vorherigen Abschnitts formulierte Überlegung ermöglichen die genannten Search Engines, das Internet nach bestehendem Source Code zu durchsuchen und damit bereits bestehende Implementierungen für eine nachfragende Komponente zu ermitteln.

## 1.3 Gegenstand dieser Arbeit

In dieser Arbeit soll jedoch nicht das gesamte Internet als Quelle oder Repository für die Codesuche dienen. Vielmehr wird der Suchbereich weiter eingeschränkt.

Es wird von einem System ausgegangen, in dem ein EJB-Container zur Verfügung steht. Die Suche soll sich auf die Menge der angemeldeten Bean-Implementierungen beschränken. Die angemeldeten Bean-Implementierungen stellen damit die Menge der angebotenen Komponenten dar. Dabei wird eine angebotene Komponente als Kombination eines Interfaces, welches die Schnittstelle für die Aufrufer definiert, und einer Implementierung dieses Interfaces beschrieben. Das Interface einer angebotenen Komponente wird im Folgenden auch als angebotenes Interface bezeichnet. Die Beans werden bspw. als Provider für Informationen oder im weitesten Sinne auch als Services verwendet, die von unterschiedlichen Komponenten des Systems verwendet werden. Bei der Entwicklung bzw. Weiterentwicklung einer Komponente kann es zu folgendem Szenario kommen, welches durch die unten aufgeführten Annahmen charakterisiert wird:

- Es werden Informationen und Services benötigt, bei denen der Entwickler davon ausgehen kann, dass es innerhalb des Systems angebotene Komponenten gibt, die diese Informationen liefern können bzw. die Services erfüllen.
- Der Entwickler weiß nicht, über welche konkreten angebotenen Komponenten er die Informationen abfragen bzw. die Services in Anspruch nehmen kann.

### 1.3.1 Funktionale Anforderungen

In dieser Arbeit soll ein Konzept entwickelt werden, welches dem Entwickler ermöglicht, die Erwartungen an die angebotenen Komponenten zu spezifizieren. Darauf aufbauend soll ein Algorithmus vorgeschlagen werden, welcher die angebotenen Komponenten zur Laufzeit hinsichtlich der spezifizierten Erwartungen des Entwicklers evaluiert und eine Auswahl derer trifft, die diese Erwartungen erfüllen. Da die Evaluation zur Laufzeit durchgeführt wird, kann der Entwickler, anders als bei den oben genannten Arbeiten, nicht aus einer Liste von Vorschlägen auswählen, welche der evaluierten Komponenten letztendlich verwendet werden soll. Diese Entscheidung ist durch den Algorithmus zu treffen.

### 1.3.2 Nichtfunktionale Anforderungen

Aufgrund bestimmter Konfigurationen des Gesamtsystems gibt es folgende weitere nichtfunktionale Anforderungen:

- Die Suche muss innerhalb des Transaktionstimeouts zu einem Ergebnis führen. (Im verwendeten System ist dieses auf 5 Minuten festgesetzt.)
- Die Suche soll hinsichtlich der Besonderheiten des System, in dem sie verwendet wird, angepasst werden können. (Bspw. bei der Verwendung bestimmter Typen, deren Fachlogik bei der Suche nicht untergraben werden darf.)
- Bei einem Fehlschlag der Suche, sollen dem Entwickler Informationen zur Verfügung gestellt werden, die eine zielgerichtete Anpassung seiner spezifizierten Erwartungen erlauben.

## 2 Voraussetzungen

### 2.1 Spezifikation der Erwartungen

Die erste Voraussetzung bezieht sich auf die Spezifikation der Erwartungen einer nachfragenden Komponente. Diese soll aus zwei Teilen bestehen.

#### 2.1.1 Erwartete Syntax

Der erste Teil soll die Struktur der erwarteten Informationen bzw. Services beschreiben. Der Entwickler soll hierzu die Schnittstelle, die von ihm erwartet wird, in der Form beschreiben, wie es in dem vorliegenden System üblich ist. In dem konkreten System, von dem in dieser Arbeit ausgegangen wird, handelt es sich dabei um Java-Interfaces. Die Struktur der erwarteten Informationen bzw. Services wird demnach innerhalb der nachfragenden Komponente durch ein Interface dargestellt, in dem die erwarteten Methoden, die innerhalb der nachfragenden Komponente verwendet werden sollen, deklariert wurden. Ein solches Interface wird im Folgenden auch als erwartetes Interface bezeichnet.

#### 2.1.2 Erwartete Semantik

Der zweite Teil besteht aus einer Menge von Testfällen, durch die die erwartete Semantik spezifiziert wird. Hierzu können Testfälle in Methoden mehrerer Klassen implementiert werden. Zur Referenzierung der Testklassen wird eine Annotation `@QueryTypeTestReference` im erwarteten Interface verwendet. Dort können über den Parameter `testClasses` mehrere Testklassen angegeben werden. Die Testklassen müssen über einen Default-Konstruktor verfügen. Innerhalb der Testklassen werden die Testmethoden mit der Annotation `@QueryTest` markiert. Weiterhin ist es notwendig, die zu testende Instanz zur Laufzeit in ein Objekt einer Testklasse zu injizieren. Dies erfolgt durch Setter-Injection. Aus diesem Grund muss in jeder Testklasse ein Setter für ein Objekt vom Typ des erwarteten Interfaces implementiert werden und mit der Annotation `@QueryTypeInstanceSetter` markiert werden.

Listing 1 zeigt ein Beispiel für ein erwartetes Interface, welches eine Testklasse referenziert. Listing 2 hingegen zeigt diese referenzierte Testklasse mit den bereits erwähnten Annotationen

für den Setter des zu testenden Objektes und den Testmethoden.

Listing 1: Erwartetes Interface IntubatingFireFighter

```
@QueryTypeTestReference( testClasses = IntubatingFireFighterTest.class )
public interface IntubatingFireFighter {

    public void intubate( AccidentParticipant injured );

    public void extinguishFire( Fire fire );
}
```

Listing 2: Testklasse des erwarteten Interfaces IntubatingFireFighter

```
public class IntubatingFireFighterTest {

    private IntubatingFireFighter intubatingFireFighter;

    @QueryTypeInstanceSetter
    public void setProvider( IntubatingFireFighter intubatingFireFighter ) {
        this.intubatingFireFighter = intubatingFireFighter;
    }

    @QueryTypeTest
    public void free() {
        Fire fire = new Fire();
        intubatingFireFighter.extinguishFire( fire );
        assertFalse( fire.isActive() );
    }

    @QueryTypeTest
    public void intubate() {
        Collection<Suffer> suffer = Arrays.asList( Suffer.BREATH_PROBLEMS );
        AccidentParticipant patient = new AccidentParticipant( suffer );
        intubatingFireFighter.intubate( patient );
        assertTrue( patient.isStabilized() );
    }
}
```

## 2.2 Ermittlung angebotener Komponenten

Die zweite Voraussetzung betrifft den Zugang zu den bestehenden angebotenen Schnittstellen und deren Implementierungen in dem bestehenden System. Um in der Menge aller angebotenen Komponenten eine passende Komponente finden zu können, muss diese Menge bekannt sein

oder ermittelt werden können. Wie oben beschrieben, wird in dieser Arbeit von einem System ausgegangen, in dem die angebotenen Komponenten als Java Enterprise Beans umgesetzt wurden. So wird dementsprechend eine Möglichkeit geschaffen, sämtliche der angemeldeten JNDI-Namen und die dazugehörigen Bean-Interfaces abzufragen. Die Abfrage der angemeldeten Bean-Implementierungen zu einem JNDI-Namen ist durch den EJB-Container bei Vorliegen des entsprechenden Interfaces und des JNDI-Namens bereits gegeben.

### 3 Explorationsalgorithmus

Mit diesen Voraussetzungen kann eine Komponente entwickelt werden, welche die Erwartungen der nachfragenden Komponente mit den bestehenden Funktionalitäten der angebotenen Komponenten zusammenbringt. In Abbildung 2 ist dies als Explorationskomponente dargestellt. Die Abhängigkeiten zu der nachfragenden und den angebotenen Komponenten ist nicht direkt vorhanden, da sie lediglich durch reflexive Aufrufe zur Laufzeit zustande kommen.

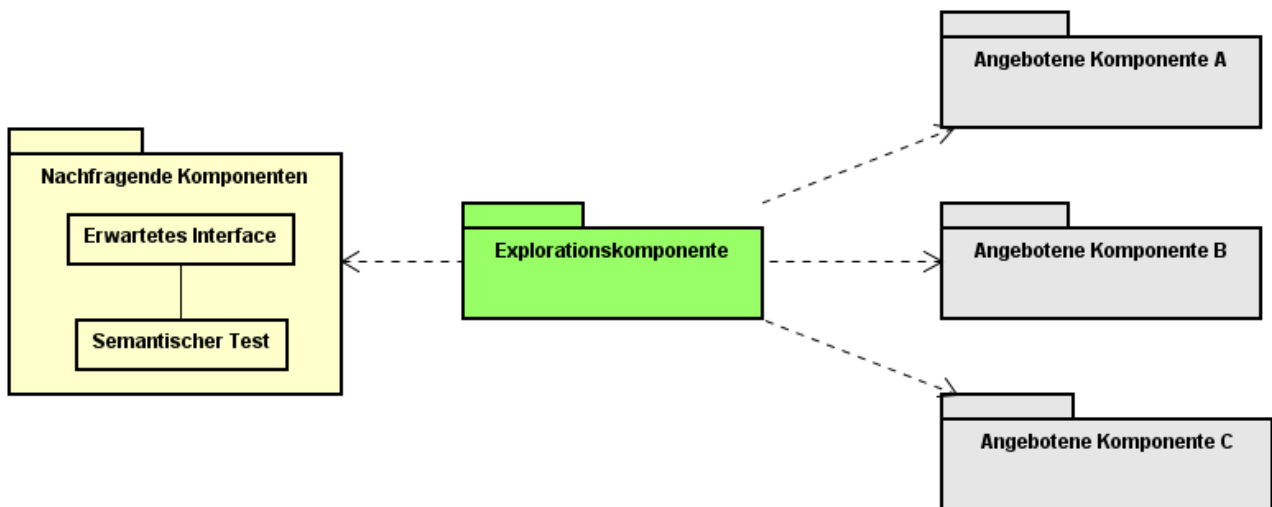


Abbildung 2: Allgemeiner Aufbau des System mit der Explorationskomponente

Um die Explorationskomponente anzusprechen, muss der Entwickler eine Instanz der Klasse `DesiredComponentFinder`, die von der Explorationskomponente bereitgestellt wird, erzeugen. Dabei müssen dem Konstruktor dieser Klasse zwei Parameter übergeben werden. Der erste Parameter ist eine Liste aller angebotenen Interfaces. Der zweite Parameter ist eine `java.util.Function`, über die die konkreten Implementierungen der angebotenen Interfaces ermittelt werden können. Die Suche wird mit dem Aufruf der Methode `getDesiredComponent` gestartet, welcher das erwartete Interface als Parameter übergeben werden muss. Somit kann ein Objekt der Klasse `DesiredComponentFinder` für mehrere Suchen mit unterschiedlichen erwarteten Interfaces verwendet werden.

Zu erwähnen ist noch, dass die in der nachfragenden Komponente spezifizierten Erwartungen

mitunter nur durch eine Kombination von angebotenen Komponenten erfüllt werden können. Aus diesem Grund wird innerhalb der Explorationskomponente eine so genannte benötigte Komponente erzeugt, in der das Zusammenspiel einer solchen Kombination von angebotenen Komponenten verwaltet wird. Ein solches Szenario ist Abbildung 3 zu entnehmen.

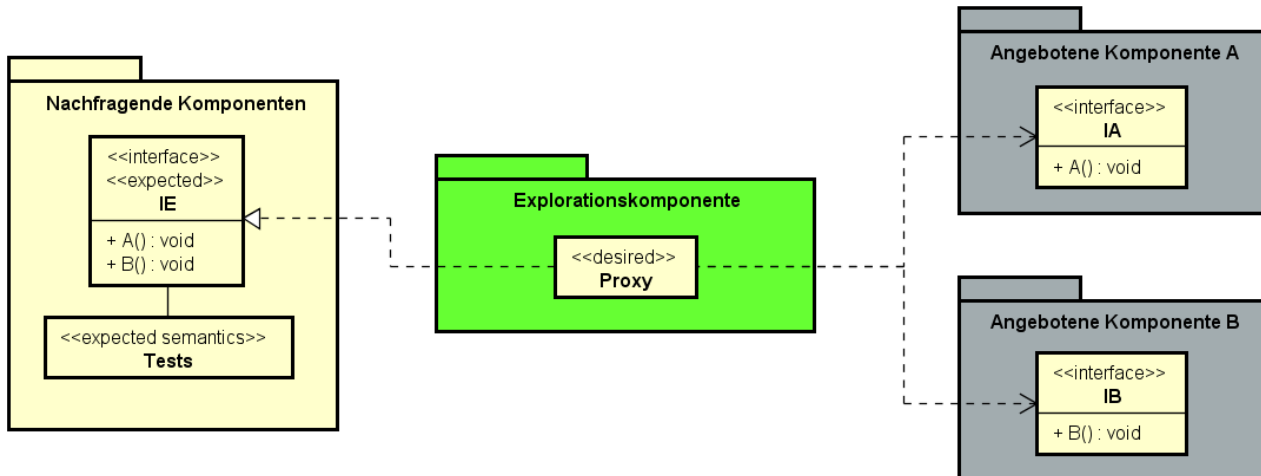


Abbildung 3: Kombination von angebotenen Komponenten

Die Suche nach einer benötigten Komponente innerhalb der Explorationskomponente erfolgt in zwei Schritten. Im ersten Schritt werden die angebotenen Interfaces hinsichtlich ihrer Struktur mit dem erwarteten Interface abgeglichen. Im zweiten Schritt werden die Ergebnisse aus dem ersten Schritt hinsichtlich der semantischen Tests überprüft. Dieser mehrstufige Ansatz baut auf der Arbeit von Hummel [Hum08] auf.

### 3.1 1. Stufe - Strukturelle Übereinstimmung

Wie in [Hum08] wird in der ersten Stufe der Suche versucht die angebotenen Interfaces herauszusuchen, die strukturell mit dem erwarteten Interface übereinstimmen. Zu diesem Zweck wird ein Structural-Type-Matcher verwendet, der in Abschnitt 3.1.13 beschrieben wird. Darüber hinaus werden weitere Type-Matcher verwendet (siehe Abschnitte 3.1.8-3.1.12), die das Matching zweier Typen auf der Basis der Beziehung, in der diese beiden Typen zueinander stehen, feststellen. Allgemein beschrieben, kann durch jeden dieser Type-Matcher festgestellt werden,



ob sich ein Typ in einen anderen Typ konvertieren lässt.

Die Konvertierung erfolgt zur Laufzeit über die Erzeugung von Proxies, die ihre Methodenaufrufe delegieren. So wird bspw. bei der Konvertierung eines Objektes von TypA in ein Objekt von TypB ein Proxy-Objekt für TypB erzeugt, welches die Methodenaufrufe auf dem Objekt von TypA delegiert (vgl. Abbildung 3).

Hummel hatte hierzu bereits auf einige Matcher von Zaremski und Wing [ZW95] zurückgegriffen, die in dieser Arbeit ebenfalls zum Einsatz kommen (siehe Abschnitte 3.1.8-3.1.10). Weiterhin wurde in [Hum08] ein Anwendungsfall für einen Matcher skizziert, der in der Lage ist Container-Typen zu ihren enthaltenen Typen zu matchen. Auf diese Idee wird in den Abschnitten 3.1.11 und 3.1.12 weiter eingegangen. Die Definitionen der Matcher beziehen sich vorrangig auf die Programmiersprache Java, weshalb grundlegend von einer nominalen Typkonformität auszugehen ist.

Die Typen seien in einer Bibliothek L in folgender Form zusammengefasst:

Regel	Erläuterung
$L ::= TD^*$	Eine Bibliothek $L$ besteht aus einer Menge von Typdefinitionen.
$TD ::= PD \mid RD$	Eine Typdefinition kann entweder die Definition eines provided Typen (PD) oder eines required Typen (RD) sein.
$PD ::= \text{provided } T \text{ extends } T' \{FD^*MD^*\}$	Die Definition eines provided Typen besteht aus dem Namen des Typen $T$ , dem Namen des Super-Typs $T'$ von $T$ sowie mehreren Feld- und Methodendeklarationen.
$RD ::= \text{required } T \{MD^*\}$	Die Definition eines required Typen besteht aus dem Namen des Typen $T$ sowie mehreren Methodendeklarationen.
$FD ::= f : T$	Eine Felddeklaration besteht aus dem Namen des Feldes $f$ und dem Namen seines Typs $T$ .
$MD ::= m(T):T'$	Eine Methodendeklaration besteht aus dem Namen der Methode $m$ , dem Namen des Parameter-Typs $T$ und dem Namen des Rückgabe-Typs $T'$ .

Tabelle 1: Grammatik für die Definition einer Bibliothek von Typen

Weiterhin sei die Relation  $<$  auf Typen durch folgenden Regel definiert:

$$T < T' := \text{provided } T \text{ extends } T' \in L \vee (\text{provided } T \text{ extends } T'' \in L \wedge T'' < T')$$

Darüber hinaus seien folgende Funktionen definiert:

$$\begin{aligned}
felder(T) &:= \left\{ f : T' \mid f : T' \text{ ist Felddeklaration von } T \right\} \\
methoden(T) &:= \left\{ m(T') : T'' \mid m(T') : T'' \text{ ist Methodendeklaration von } T \right\} \\
vererbteMethoden(T, T') &:= \left\{ m(P) : R \mid \begin{array}{l} T < T' \wedge m(P) : R \in methoden(T) \wedge \\ \exists m(P') : R' \in methoden(T'). \\ (P < P' \vee P = P') \wedge (R > R' \vee R = R') \end{array} \right\}
\end{aligned}$$

Das Matching eines Typs  $A$  zu einem Typ  $B$  wird durch die Funktion  $match(A, B)$  beschrieben.

Ein Proxy beschreibt die Konvertierung einer Menge von Target-Typen  $P = \{T_1, \dots, T_n\}$  in

einen Proxy-Typen  $S$ . Die Definition eines Proxies hat dabei folgende Form:

Regel	Erläuterung
$PROXY ::=$ $\text{proxy } T \{TARGET^*\}$	Eine Proxy-Definition besteht aus dem Namen des Proxy-Typs $T$ sowie einer Menge von Targets, die die Basis für den Proxy bilden.
$TDEL ::=$ $T \text{ target } \{MDEL^*AZ^*\}$	Die Definition einer Targets besteht aus dem Namen des Target-Typs $T$ , dem Namen einer Variablen $target$ zur Referenzierung des Target-Objektes, sowie einer Menge aus Methodendelegationen und Attributzuweisungen.
$AZ ::= f = TR$	Eine Attributzuweisung besteht aus dem Namen des Attributfeldes des Proxies $f$ und einer Targetreferenz.
$MDEL ::= CALLM \rightarrow DELT$	Eine Methodendelegation besteht aus einer Methode, die auf dem Proxy aufgerufen wird (CALLM) und einem Delegationsziel (DELT), an das der Aufruf delegiert wird.
$CALLM ::=$ $m(P) : TYPECONV$	Eine aufgerufene Methode besteht aus ihrem Namen $m$ , dem Namen des Parametertyps $P$ und einem Konverter für den Rückgabetyt.
$DELT ::=$ $TR.n(TYPECONV) : R$	Ein Delegationsziel besteht aus einer Referenz auf das Delegationsobjekt (TR), dem Methodennamen $n$ der am Delegationsobjekt aufzurufenden Methoden, sowie einem Konverter Parametertyp und dem Namen des Rückgabetyps $R$ der Methode $n$ .
$TYPECONV ::= PROXY T$	Ein Konverter ist entweder wiederum ein Proxy, oder ein Typ $T$ , sofern keine Konvertierung vorgenommen wird.
$TR ::=$ $target target.f \vee$	Eine Targetreferenz ist entweder die Variable für das Target-Objekt ( $target$ ) oder ein Feld mit dem Namen $f$ des Target-Objektes.

Tabelle 2: Grammatik für die Definition eines Proxies

Zusätzlich seien folgenden Funktionen definiert:

$$\begin{aligned}
typ(V) &:= \text{Der Name des Typs des Objektes, welches mit} \\
&\quad \text{der Variablen mit dem Namen } V \text{ referenziert wird.} \\
targets(X) &:= \left\{ T \mid \begin{array}{l} T \text{ ist der Name des Typs einer} \\ \text{Targetdelegation von } X \end{array} \right\} \\
delegationen(X) &:= \left\{ \begin{array}{ll} source.sm(sp) : sp & \left| \begin{array}{l} source.sm(sp) : sp \rightarrow target.tm(tp) : tr \\ \text{ist Methodendelegation von } T \wedge \end{array} \\ \rightarrow & \\ target.tm(tp) : tr & \left| T \in P \wedge P \in targets(X) \end{array} \right. \right\} \\
zuweisungen(X) &:= \left\{ f = V \mid f = V \text{ ist eine Attributzuweisung von } X \right\}
\end{aligned}$$


---

Abbildung ?? stellt den Ablauf einer Delegation der Methode mit dem Namen  $s$  innerhalb eines Proxies an eine Methode  $t$  des Target-Objektes dar. Dabei wird der Parameter  $ps$  der Methode  $s$  in ein Objekt vom Typ  $TP$  konvertiert. Nachdem durch die Methode  $t$  das Objekt  $tr$  zurückgegeben wurde, wird dieses wiederum in ein Objekt vom Typ  $SR$  konvertiert.

Unter der Annahme, dass die Funktion  $Proxy(S, P)$  einen Proxy  $X$  in der o.g. Form mit  $S$  als Proxy-Typ und  $targets(X) = P$  beschreibt, sieht die dazugehörige Methodendelegation sieht wie folgt aus:

$$source.s(sp) : sr \rightarrow target.t(Proxy(TP, \{type(sp)\})) : Proxy(SR, \{type(tr)\})$$

Darüber hinaus gelten für die Methodendelegationen folgende Regeln:

---

### 3.1.1 StructuralTypeMatcher

Ein Ziel dieser Arbeit ist es Typen, die keinerlei Assoziationen zueinander haben, miteinander zu matchen und so zu konvertieren, dass darauf aufbauend die erwartete Semantik überprüfen

werden kann. Hierfür soll wie auch in [Hum08] die strukturelle Übereinstimmung der beiden Typen genutzt werden. Diesem Zweck dient der StructuralTypeMatcher.

## Szenario

Um die grundlegenden Eigenschaften des StructuralTypeMatchers darzustellen, wird von einem Szenario ausgegangen, in dem der Target-Typ (angebotenes Interface) zu jeder Methode des Sources-Typs (benötigtes Interface) eine passende Methode anbietet. Eine Kombination von angebotenen Interfaces ist somit in diesem Szenario nicht notwendig.

Abbildung 22 zeigt die Typen, von denen in dem folgenden Szenario ausgegangen wird. Hierbei sind zwei Klassen aufgeführt, die jeweils zwei Methoden anbieten. Die Parameter- und Rückgabetypen der Methoden sind aus den Szenarien zu den anderen Matchern bekannt. Die Klasse SuperReturnSubParamClass wird in dem folgenden Szenario als Source-Typ und die Klasse SubReturnSuperWrapperParamClass wird als Target-Typ verwendet. Um die strukturelle Übereinstimmung der beiden Typen festzustellen, muss der StructuralTypeMatcher ein Matching zwischen den Parameter- und Rückgabetypen der einzelnen Methoden herstellen. Dies erfolgt wiederum über interne Type-Matcher. An dieser Stelle können alle zuvor genannten Type-Matcher als interner Type-Matcher verwendet werden. Die Delegation der Methode-Aufrufe erfolgt dann an die Methode des Target-Objekts, die als übereinstimmende bzw. passende Methode ermittelt wurde (siehe Abbildung 23). Da beide Methoden eine unterschiedliche Anzahl von Parametern haben, ist in diesem Beispiel leicht nachzuvollziehen, welche Methoden zusammenpassen. Als interner Type-Matcher wurde in diesem Szenario der GenTypeMatcher verwendet.

SubReturnSuperParamClass	SuperWrapperReturnSubParamClass
+ addHello(a : SuperClass) : SubClass + add(a : SuperClass, b : SuperClass) : SubClass	+ addHello(a : SubClass) : SuperWrapper + add(a : SubClass, b : SubClass) : SuperWrapper

Abbildung 4: SuperReturnSubParamClass und SubReturnSuperParamClass

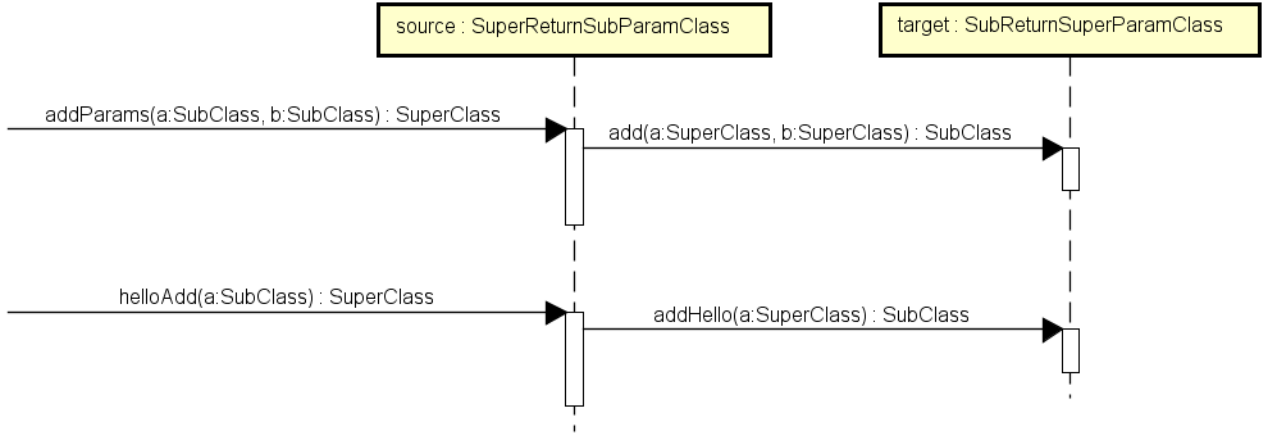


Abbildung 5: Szenario StructTypeMatcher

### Definition

Das strukturelle Matching zwischen einem *required Interface*  $R$  und einem *provided Interface*  $P$  ist gegeben, sofern eine Methode aus  $R$  zu einer Methode aus  $P$  gematcht werden kann. Die Menge der gematchten Methoden aus  $R$  und  $P$  wird wie folgt beschrieben:

$$structM(R, P) := \left\{ m(T) : T' \in methoden(R) \mid \begin{array}{l} \exists n(S) : S'.match_{egsc}(S, T) \wedge \\ match_{egsc}(T', S') \end{array} \right\}$$

Da die Notation es nicht hergibt, ist zusätzlich zu erwähnen, dass die Reihenfolge der Parameter in  $m$  und  $n$  irrelevant ist.

Das strukturelle Matching von  $R$  und  $P$  wird dann durch folgende Regel beschrieben.

Matching (StructuralTypeMatcher)

$$\frac{structM(R, P) \neq \emptyset}{match_{struct}(R, P)}$$

Für die Verwendung von  $R$  muss jedoch sichergestellt werden, dass alle darin enthaltenen Methoden durch ein oder mehrere *required Interfaces* innerhalb der gesamten Bibliothek  $L$  gematcht werden. Folgende Funktion beschreibt daher eine Menge von *provided Interfaces*, die

in Kombination zu alle Methoden aus  $R$  eine übereinstimmende Methode enthalten.

$$cover(R, L) := \left\{ \{P_1, \dots, P_n\} \left| \begin{array}{l} P_1 \in L \wedge \dots \wedge P_n \in L \wedge \\ structM(R, P_1) \cup \dots \cup structM(R, P_n) \in methoden(R) \end{array} \right. \right\}$$

Für  $R$  kann die Exploration abgebrochen werden, wenn  $cover(R, L) = \emptyset$  gilt.

#### Konvertierung (StructuralTypeMatcher)

Sei  $m$  eine Methode des Typs  $A$ .

Der Rückgabebetyp von  $m$  sei  $MR$  und  $MP$  der Parametertyp von  $m$ .

Weiterhin sei  $n$  eine Methode des Typs  $B$ .

Der Rückgabebetyp von  $n$  sei  $NR$  und  $NP$  der Parametertyp von  $n$ .

$$A.m(MP) : MR \Rightarrow B.n((NP)MP) : (MR)NR$$

Ein Beispiel für die Verwendung des Matchers in Bezug auf das o.g. Szenario ist in Anhang A.8 zu finden. Außerdem sind dort auch weitere Szenarien aufgeführt, in denen andere Matcher als interner Matcher zur Anwendung kommen.

### 3.1.2 ExactTypeMatcher

#### Szenario

Dieser Matcher stellt das Matching zweier identischer Typen fest. In dem Szenario wird von zwei Objekten vom Typ SuperClass ausgegangen. Die Klasse SuperClass ist in Abbildung 14 dargestellt. Der Aufruf einer Methode auf dem Source-Objekt führt zu einer Delgation der Methode an das Target-Objekt (siehe Abbildung 15).

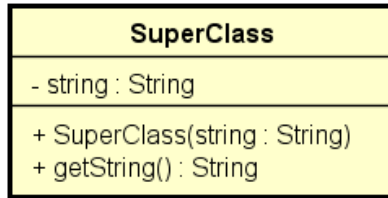


Abbildung 6: SuperClass

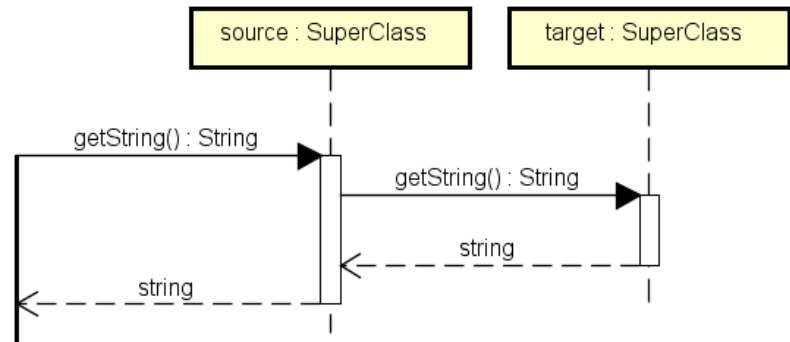


Abbildung 7: Szenario ExactTypeMatcher

## Definition

Matching (ExactTypeMatcher)

$$match_{exact}(A, B) \text{ wenn } A = B$$

Konvertierung (ExactTypeMatcher)

Sei  $m$  eine Methode des Typen  $A$  und  $B$ .

$$A.m \Rightarrow B.m$$

Ein Beispiel für die Verwendung des Matchers ist in Anhang A.3 zu finden.

### 3.1.3 GenTypeMatcher

#### Szenario

Dieser Matcher stellt das Matching zwischen zwei Typen her, die in einer Vererbungsbeziehung stehen. Speziell erlaubt dieser Matcher das Matching eines Supertyps als Source-Typen mit einem Subtypen als Target-Typen. In dem Szenario wird neben dem Typ `SuperClass` aus Abbildung 14 von einem weiteren Typen `SubClass` ausgegangen. Dabei stehen diese beiden Typen



in einer Vererbungsbeziehung, die in Abbildung 16 dargestellt wird. Der Aufruf einer Methode auf dem Source-Objekt führt zu einer Delegation der Methode an das Target-Objekt (siehe Abbildung 17).

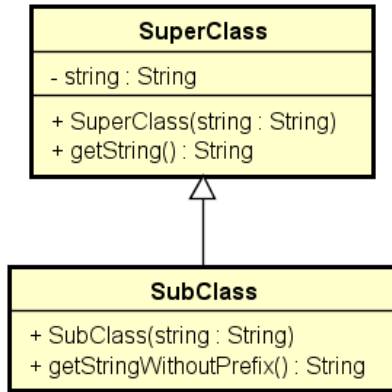


Abbildung 8: Beziehung zwischen SuperClass und SubClass

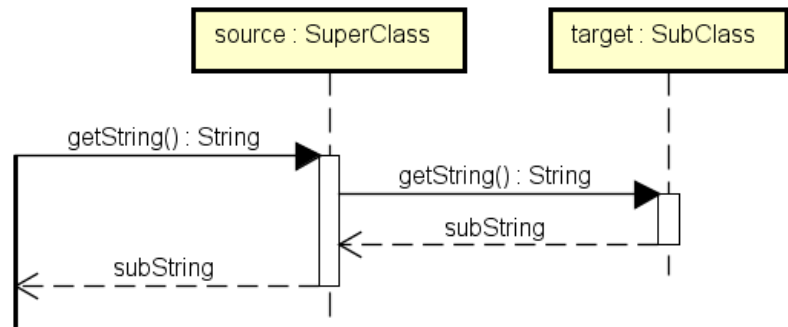


Abbildung 9: Szenario GenTypeMatcher

## Definition

### Matching (GenTypeMatcher)

$$match_{gen}(A, B) \text{ wenn } B < A$$

### Konvertierung (GenTypeMatcher)

Sei  $m$  eine Methode des Typs  $A$ , die aufgrund der Vererbung auch von Typ  $B$  bereitgestellt wird.

$$A.m \Rightarrow B.m$$

Ein Beispiel für die Verwendung des Matchers ist in Anhang A.4 zu finden.

### 3.1.4 SpecTypeMatcher

#### Szenario

Analog zum GenTypeMatcher stellt der SpecTypeMatcher ebenfalls das Matching zwischen Typen fest, die in einer Vererbungsbeziehung stehen. Allerdings ist der Source-Typ in diesem Matcher der Subtyp und der Target-Typ der Supertyp. In dem Szenario wird wiederum von den Klassen SuperClass und SubClass aus Abbildung 16 ausgegangen. Der Methodenaufruf erfolgt hier aber auf dem Subtypen und wird an den Supertypen delegiert (siehe Abbildung 18).

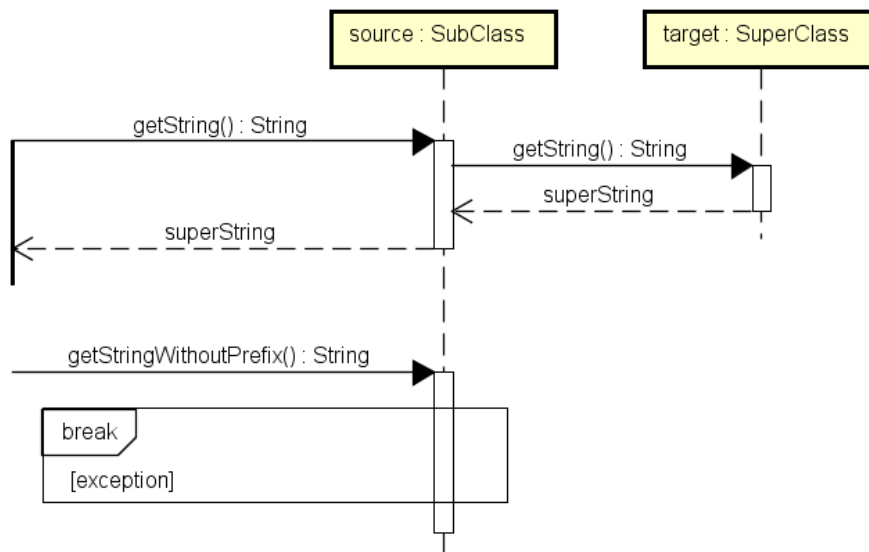


Abbildung 10: Szenario SpecTypeMatcher

Dabei sind zwei Methodenaufrufe auf dem Subtyp beschrieben. Während der Aufruf der Methode `getString` erfolgreich delegiert werden kann, führt der Aufruf der Methode `getStringWithoutPrefix` zu einem Laufzeitfehler, da der Matcher keine passende Methode in dem Target-Typ ermitteln kann. Dieses Problem tritt bei allen Methoden auf, die nicht vom Supertyp an den Subtyp vererbt oder überschrieben wurden.<sup>1</sup> Aus diesem Grund muss diese Bedingung in der Definition der Konvertierung dieses Matchers mit aufgenommen werden.

<sup>1</sup>Anders gesagt, ermöglicht dieser Matcher einen Downcast, bei dem ein Objekt eines allgemeinen Typen auf einen spezielleren Typen gecastet wird. Das Problem bzgl. des fehlschlagenden Methodenaufrufs in der beschriebene Form ist bei einem Downcast allgegenwärtig.

## Definition

### Matching (SpecTypeMatcher)

$$match_{genspec}(A, B) \text{ wenn } A < B$$

### Konvertierung (SpecTypeMatcher)

Sei  $m$  eine Methode des Typs  $A$ , die von  $B$  an  $A$  vererbt wurde.

$$A.m \Rightarrow B.m$$

Ein Beispiel für die Verwendung des Matchers ist in Anhang A.5 zu finden.

### 3.1.5 WrappedTypeMatcher

#### Szenario

Die bisherigen Type-Matcher sind in der Lage das Matching für zwei Typen festzustellen, ohne dafür Rücksicht auf deren innere Struktur nehmen zu müssen. Dies ist für identische oder hierarchisch organisierte Typen auch nicht notwendig. Es ist jedoch auch denkbar, dass sich beiden Typen auf anderem Wege assoziieren lassen. Ein Beispiel dafür wäre Boxed- bzw. - noch allgemeiner gefasst - Wrapper-Typen. In Abbildung 19 sind zwei Klassen dargestellt, die in einer solchen Beziehung zueinander stehen. Bezüglich des Matchings sind auch hier wiederum zwei Fälle zu unterscheiden. Der erste Fall, in dem das Matching des Source-Typen SubClass mit dem Typen eines Attributs wrapped des Target-Typen SubWrapper festgestellt werden kann, ist in Abbildung 20 dargestellt.

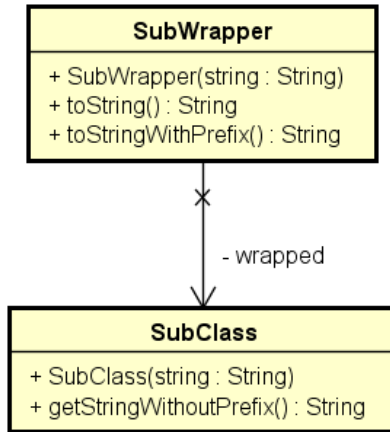


Abbildung 11: Beziehung zwischen SubClass und SubWrapper

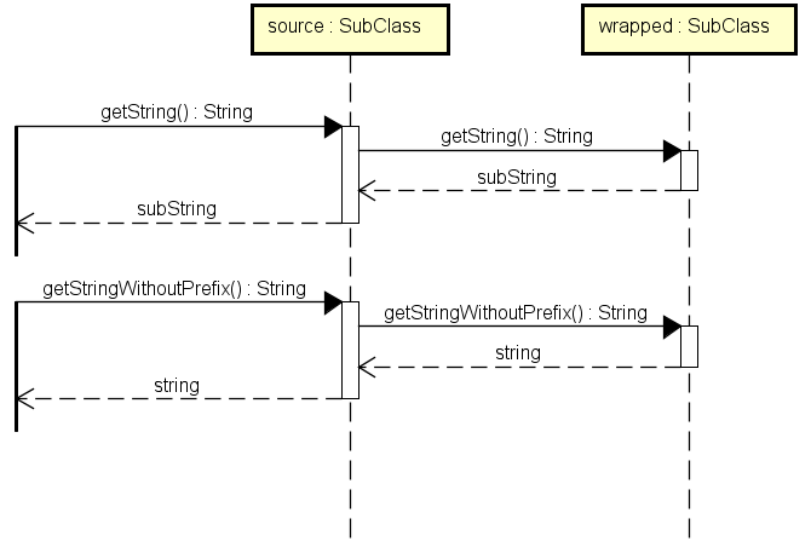


Abbildung 12: Szenario WrappedTypeMatcher

Der WrappedTypeMatcher stellt das Matching für ein solches Szenario fest. Das Matching der beiden Typen beruht letztendlich auf einem Matching zwischen dem Source-Type und dem Typen eines Attributs des Target-Typs. Der Matcher, über den dieses Matching innerhalb des WrappedTypeMatchers festgestellt wird, wird als interner Matcher bezeichnet. In dem Szenario aus Abbildung 20 wird als interner Matcher der bereits beschriebene ExactTypeMatcher verwendet, weil der Source-Type und der Typ des Attributs wrapped identisch sind.

### Definition

Matching (WrappedTypeMatcher)

$$match_{wrapped}(A, B) \text{ wenn } \exists B \# attr : match_M(A, attr)$$

Der zuvor genannte interne Matcher wird in der Definition mit  $M$  beschrieben, was stellvertretend für eine Menge von Matchern steht. Als interne Matcher kommen hierbei der ExactTypeMatcher, der GenTypeMatcher und der SpecTypeMatcher in Frage.

### Konvertierung (WrappedTypeMatcher)

Sei  $m$  eine Methode des Typs  $A$ . Sei weiterhin  $B$  ein Typ, der ein Attribut vom Typ  $attr$  enthält, für den gilt  $match_M(A, attr)$ .

$$A.m \Rightarrow ((A)attr).m$$

Ein Beispiel für die Verwendung des Matchers in Bezug auf das o.g. Szenario ist in Anhang A.6 zu finden. Außerdem sind dort auch weitere Szenarien aufgeführt, in denen der GenTypeMatcher oder der SpecTypeMatcher als interner Matcher zur Anwendung kommen.

### 3.1.6 WrapperTypeMatcher

#### Szenario

Dieser Matcher stellt das Pendant zum WrappedTypeMatcher dar. Der Unterschied bzgl. des Szenarios besteht darin, dass nun der Source-Typ derjenige ist, der ein Attribut enthält, für dessen Typ ein Matching zum Target-Typen über den ExactTypeMatcher, den GenTypeMatcher oder den SpecTypeMatcher festgestellt werden kann. Für das Szenario ist wiederum von den Typen aus Abbildung 19 auszugehen. Die Delegation der möglichen Methodenaufrufe am Source-Typen, sind in Abbildung 21 abgebildet. Hierbei ist hervorzuheben, dass zur Laufzeit das Objekt vom Target-Typen in das Attribut des Objektes vom Source-Typen injiziert wird. Dies soll in Abbildung 21 durch die Bezeichnung des Targets mit wrapped (dem Namen des Attributs) und target dargestellt werden. Eine Methoden-Delegation findet nur dann statt, wenn sie auch im Wrapper-Typen (Source-Typen) implementiert wurde<sup>2</sup>.

---

<sup>2</sup>Implementierung von SubWrapper: siehe Anhang A Listing 6

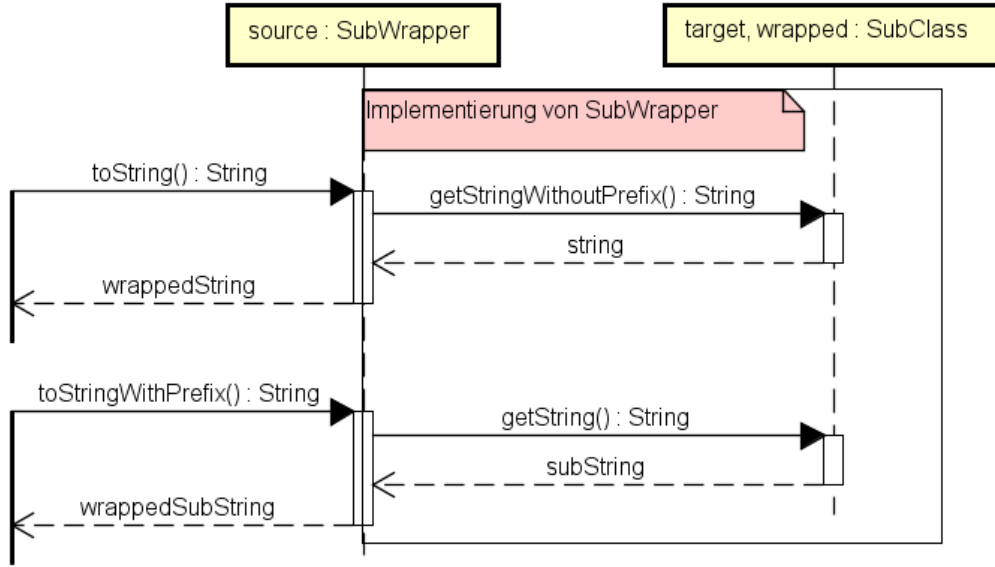


Abbildung 13: Szenario WrapperTypeMatcher

## Definition

### Matching (WrapperTypeMatcher)

$$match_{wrapper}(A, B) \text{ wenn } \exists A \# attr : match_M(B, attr)$$

Wie an dieser Beschreibung zu erkennen ist, werden auch hier wieder ein interner Matcher  $M$  verwendet. Analog zum WrappedTypeMatcher kommen auch hier der ExactTypeMatcher, der GenTypeMatcher und der SpecTypeMatcher in Frage.

### Konvertierung (WrappedTypeMatcher)

Sei  $m$  eine Methode des Typs  $A$ .

$$A.m \Rightarrow A.m$$

Ein Beispiel für die Verwendung des Matchers in Bezug auf das o.g. Szenario ist in Anhang A.7

zu finden. Außerdem sind dort auch weitere Szenarien aufgeführt, in denen der GenTypeMatcher oder der SpecTypeMatcher als interner Matcher zur Anwendung kommen.

### 3.1.7 Notation zur Beschreibung der Matcher

Die Übereinstimmung bzw. das Matching zweier Typen  $A$  und  $B$  über einen Matcher  $M$  wird in dieser Arbeit mit  $match_M(A, B)$  notiert. Weiterhin wird die Identität zweier Typen mit  $A = B$  beschrieben. Eine Vererbungshierarchie, in der  $A$  von  $B$  erbt, wird mit  $A < B$  beschrieben. Außerdem ist die Adressierung der Typen von Attributen, die innerhalb eines Typs verwendet werden, notwendig. Für die Adressierung des Typs eines Attributs  $a$  im Typ  $A$  wird  $A\#a$  geschrieben. Die logische Verknüpfung der einzelnen Elemente der Sprache über die Quantoren und Junktoren der Prädikatenlogik 1. Stufe ist ebenfalls möglich.

Die Konvertierung eines Typs  $A$  in einen Typ  $B$  wird, wie bereits erwähnt, auf technischer Ebene über Proxies umgesetzt. Von daher kann die Beschreibung des Konvertierungsverfahrens eines Matchers auf die Beschreibung der Delegation einzelner Methoden beschränkt werden. Hierfür wird folgende Notation verwendet:

Eine Methode  $m$  enthält einen Rückgabotyp  $RT$  und eine Menge von Parametertypen  $PT$ . Die Menge der Parametertypen wird zur besseren Lesbarkeit auf einen Parametertyp beschränkt. Der Aufruf einer Methode  $m$  eines Typs  $A$  mit dem Rückgabotyp  $RT$  und dem Parametertyp  $PT$  wird mit  $A.m(PT) : RT$  notiert. Sofern die Konvertierung keinen Einfluss auf den Rückgabotyp oder die Parametertypen hat, wird dies verkürzt mit  $A.m$  beschrieben.

Die Delegation von Methodenaufrufen eines Typs wird mit dem Operator  $\Rightarrow$  beschrieben. Für eine Delegation des Aufrufs einer Methode  $m$  des Typs  $A$ , welcher an einen Typ  $B$  und dessen Methode  $n$  delegiert wird, schreibt man  $A.m \Rightarrow B.n$ . Ferner ist hierbei zwischen einem Source- und einem Target-Typ zu unterscheiden. Der Source-Typ befindet sich links vom Operator ( $\Rightarrow$ ). Auf diesem Typ findet der Methodenaufruf statt. Der Target-Typ befindet sich auf der rechten Seite des Operators ( $\Rightarrow$ ). Dieser stellt das Ziel der Delegation dar. Da bei der Delegation mitunter weitere (interne) Matcher zur Anwendung kommen müssen, wird hierfür ebenfalls eine Notation benötigt. Daher soll die Konvertierung eines Typs  $A$  in einen Typ  $B$  mit  $(B)A$

beschrieben. Als Voraussetzung für diese Konvertierung muss  $match_M(A, B)$  gelten.

Die folgenden Matcher werden jeweils durch ein Szenario motiviert. In den dazugehörigen Diagrammen ist das Object des Source-Typs (Source-Objekt) jeweils mit *source* und das Objekt des Target-Typs (Target-Objekt) jeweils mit *target* bezeichnet. Um die Verwendung der Implementierungen der einzelnen Matcher in Verbindung mit diesem Szenario nachvollziehen zu können, wird jeweils auf einen Abschnitt aus Anhang A verwiesen. Dort sind Code-Beispiele für die Verwendung der Matcher in Bezug auf das jeweilige Szenario mit entsprechenden Nachbedingungen hinterlegt.

Die Definitionen der Matcher bestehen jeweils aus zwei Teilen. Der erste Teil (Übereinstimmung) definiert, unter welchen Bedingungen über den entsprechenden Matcher zwei Typen als übereinstimmend gelten. Der zweite Teil (Konvertierung) beschreibt, wie die Delegation der Aufrufe von Methoden, die vom Source-Typ spezifiziert werden, an die Methoden, die vom Target-Typ spezifiziert werden.

### 3.1.8 ExactTypeMatcher

#### Szenario

Dieser Matcher stellt das Matching zweier identischer Typen fest. In dem Szenario wird von zwei Objekten vom Typ SuperClass ausgegangen. Die Klasse SuperClass ist in Abbildung 14 dargestellt. Der Aufruf einer Methode auf dem Source-Objekt führt zu einer Delegation der Methode an das Target-Objekt (siehe Abbildung 15).



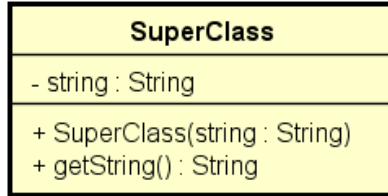


Abbildung 14: SuperClass

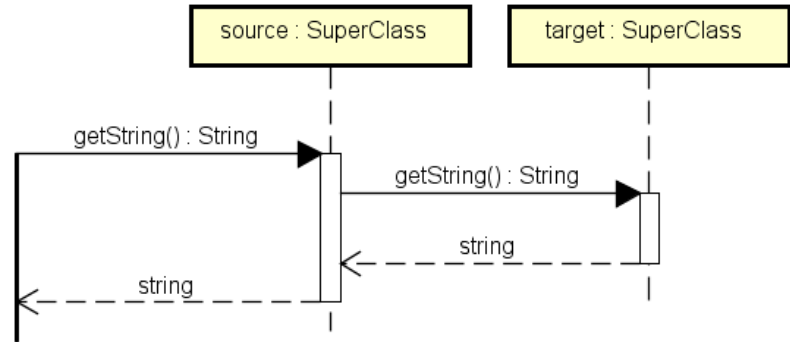


Abbildung 15: Szenario ExactTypeMatcher

## Definition

### Matching (ExactTypeMatcher)

$$match_{exact}(A, B) \text{ wenn } A = B$$

### Konvertierung (ExactTypeMatcher)

Sei  $m$  eine Methode des Typen  $A$  und  $B$ .

$$A.m \Rightarrow B.m$$

Ein Beispiel für die Verwendung des Matchers ist in Anhang A.3 zu finden.

### 3.1.9 GenTypeMatcher

#### Szenario

Dieser Matcher stellt das Matching zwischen zwei Typen her, die in einer Vererbungsbeziehung stehen. Speziell erlaubt dieser Matcher das Matching eines Supertyps als Source-Typen mit einem Subtypen als Target-Typen. In dem Szenario wird neben dem Typ `SuperClass` aus Abbildung 14 von einem weiteren Typen `SubClass` ausgegangen. Dabei stehen diese beiden Typen

in einer Vererbungsbeziehung, die in Abbildung 16 dargestellt wird. Der Aufruf einer Methode auf dem Source-Objekt führt zu einer Delegation der Methode an das Target-Objekt (siehe Abbildung 17).

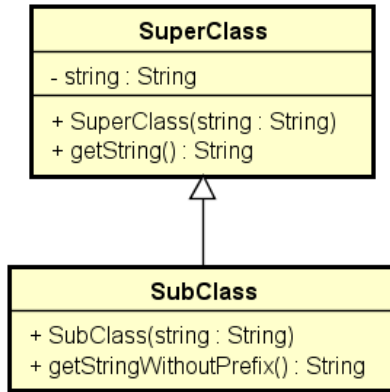


Abbildung 16: Beziehung zwischen SuperClass und SubClass

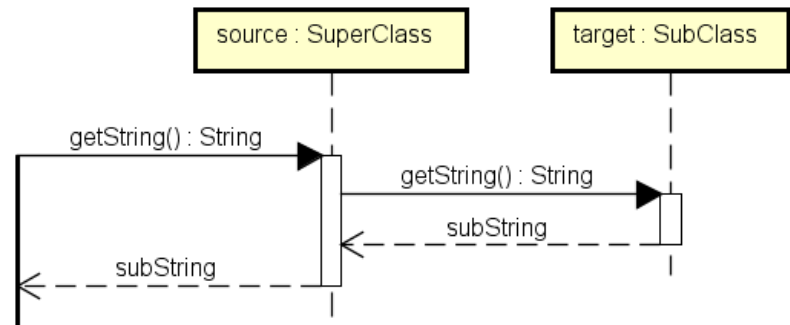


Abbildung 17: Szenario GenTypeMatcher

## Definition

### Matching (GenTypeMatcher)

$$match_{gen}(A, B) \text{ wenn } B < A$$

### Konvertierung (GenTypeMatcher)

Sei  $m$  eine Methode des Typs  $A$ , die aufgrund der Vererbung auch von Typ  $B$  bereitgestellt wird.

$$A.m \Rightarrow B.m$$

Ein Beispiel für die Verwendung des Matchers ist in Anhang A.4 zu finden.

### 3.1.10 SpecTypeMatcher

#### Szenario

Analog zum GenTypeMatcher stellt der SpecTypeMatcher ebenfalls das Matching zwischen Typen fest, die in einer Vererbungsbeziehung stehen. Allerdings ist der Source-Typ in diesem Matcher der Subtyp und der Target-Typ der Supertyp. In dem Szenario wird wiederum von den Klassen SuperClass und SubClass aus Abbildung 16 ausgegangen. Der Methodenaufruf erfolgt hier aber auf dem Subtypen und wird an den Supertypen delegiert (siehe Abbildung 18).

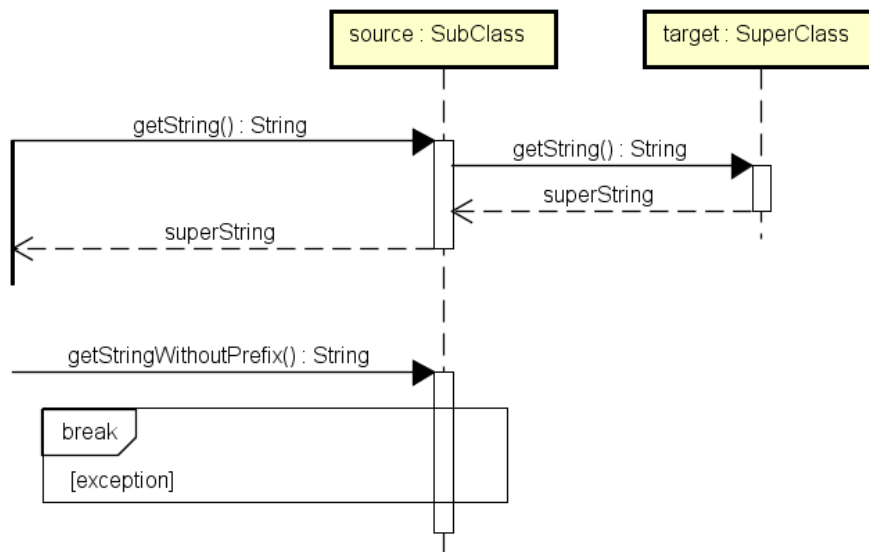


Abbildung 18: Szenario SpecTypeMatcher

Dabei sind zwei Methodenaufrufe auf dem Subtyp beschrieben. Während der Aufruf der Methode `getString` erfolgreich delegiert werden kann, führt der Aufruf der Methode `getStringWithoutPrefix` zu einem Laufzeitfehler, da der Matcher keine passende Methode in dem Target-Typ ermitteln kann. Dieses Problem tritt bei allen Methoden auf, die nicht vom Supertyp an den Subtyp vererbt oder überschrieben wurden.<sup>3</sup> Aus diesem Grund muss diese Bedingung in der Definition der Konvertierung dieses Matchers mit aufgenommen werden.

<sup>3</sup>Anders gesagt, ermöglicht dieser Matcher einen Downcast, bei dem ein Objekt eines allgemeinen Typen auf einen spezielleren Typen gecastet wird. Das Problem bzgl. des fehlschlagenden Methodenaufrufs in der beschriebene Form ist bei einem Downcast allgegenwärtig.

## Definition

### Matching (SpecTypeMatcher)

$$match_{genspec}(A, B) \text{ wenn } A < B$$

### Konvertierung (SpecTypeMatcher)

Sei  $m$  eine Methode des Typs  $A$ , die von  $B$  an  $A$  vererbt wurde.

$$A.m \Rightarrow B.m$$

Ein Beispiel für die Verwendung des Matchers ist in Anhang A.5 zu finden.

### 3.1.11 WrappedTypeMatcher

#### Szenario

Die bisherigen Type-Matcher sind in der Lage das Matching für zwei Typen festzustellen, ohne dafür Rücksicht auf deren innere Struktur nehmen zu müssen. Dies ist für identische oder hierarchisch organisierte Typen auch nicht notwendig. Es ist jedoch auch denkbar, dass sich beiden Typen auf anderem Wege assoziieren lassen. Ein Beispiel dafür wäre Boxed- bzw. - noch allgemeiner gefasst - Wrapper-Typen. In Abbildung 19 sind zwei Klassen dargestellt, die in einer solchen Beziehung zueinander stehen. Bezüglich des Matchings sind auch hier wiederum zwei Fälle zu unterscheiden. Der erste Fall, in dem das Matching des Source-Typen SubClass mit dem Typen eines Attributs wrapped des Target-Typen SubWrapper festgestellt werden kann, ist in Abbildung 20 dargestellt.

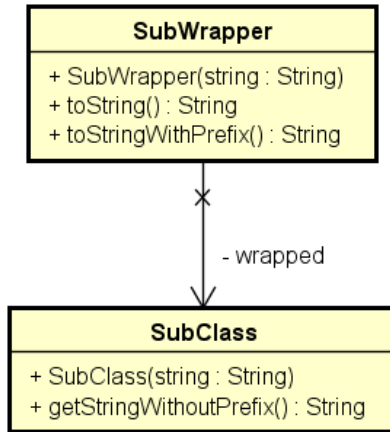


Abbildung 19: Beziehung zwischen SubClass und SubWrapper

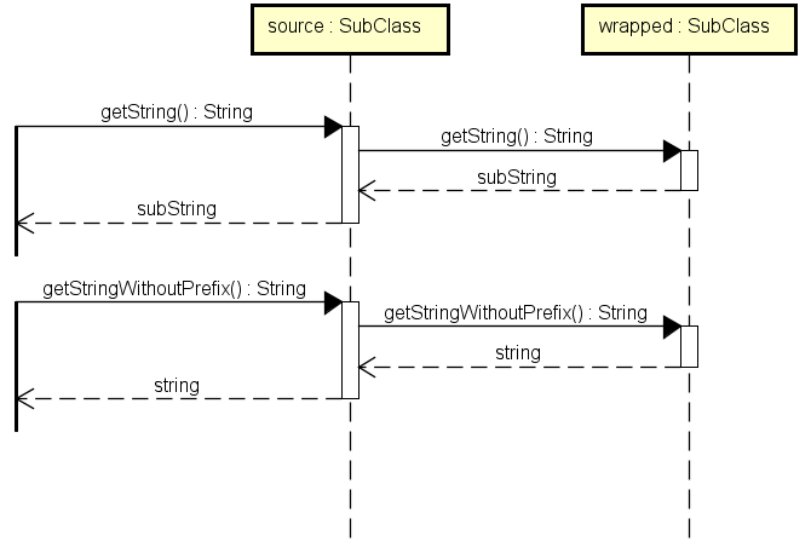


Abbildung 20: Szenario WrappedTypeMatcher

Der WrappedTypeMatcher stellt das Matching für ein solches Szenario fest. Das Matching der beiden Typen beruht letztendlich auf einem Matching zwischen dem Source-Type und dem Typen eines Attributs des Target-Typs. Der Matcher, über den dieses Matching innerhalb des WrappedTypeMatchers festgestellt wird, wird als interner Matcher bezeichnet. In dem Szenario aus Abbildung 20 wird als interner Matcher der bereits beschriebene ExactTypeMatcher verwendet, weil der Source-Type und der Typ des Attributs wrapped identisch sind.

## Definition

### Matching (WrappedTypeMatcher)

$$match_{wrapped}(A, B) \text{ wenn } \exists B \# attr : match_M(A, attr)$$

Der zuvor genannte interne Matcher wird in der Definition mit  $M$  beschrieben, was stellvertretend für eine Menge von Matchern steht. Als interne Matcher kommen hierbei der ExactTypeMatcher, der GenTypeMatcher und der SpecTypeMatcher in Frage.

### Konvertierung (WrappedTypeMatcher)

Sei  $m$  eine Methode des Typs  $A$ . Sei weiterhin  $B$  ein Typ, der ein Attribut vom Typ  $attr$  enthält, für den gilt  $match_M(A, attr)$ .

$$A.m \Rightarrow ((A)attr).m$$

Ein Beispiel für die Verwendung des Matchers in Bezug auf das o.g. Szenario ist in Anhang A.6 zu finden. Außerdem sind dort auch weitere Szenarien aufgeführt, in denen der GenTypeMatcher oder der SpecTypeMatcher als interner Matcher zur Anwendung kommen.

### 3.1.12 WrapperTypeMatcher

#### Szenario

Dieser Matcher stellt das Pendant zum WrappedTypeMatcher dar. Der Unterschied bzgl. des Szenarios besteht darin, dass nun der Source-Typ derjenige ist, der ein Attribut enthält, für dessen Typ ein Matching zum Target-Typen über den ExactTypeMatcher, den GenTypeMatcher oder den SpecTypeMatcher festgestellt werden kann. Für das Szenario ist wiederum von den Typen aus Abbildung 19 auszugehen. Die Delegation der möglichen Methodenaufrufe am Source-Typen, sind in Abbildung 21 abgebildet. Hierbei ist hervorzuheben, dass zur Laufzeit das Objekt vom Target-Typen in das Attribut des Objektes vom Source-Typen injiziert wird. Dies soll in Abbildung 21 durch die Bezeichnung des Targets mit wrapped (dem Namen des Attributs) und target dargestellt werden. Eine Methoden-Delegation findet nur dann statt, wenn sie auch im Wrapper-Typen (Source-Typen) implementiert wurde<sup>4</sup>.

---

<sup>4</sup>Implementierung von SubWrapper: siehe Anhang A Listing 6

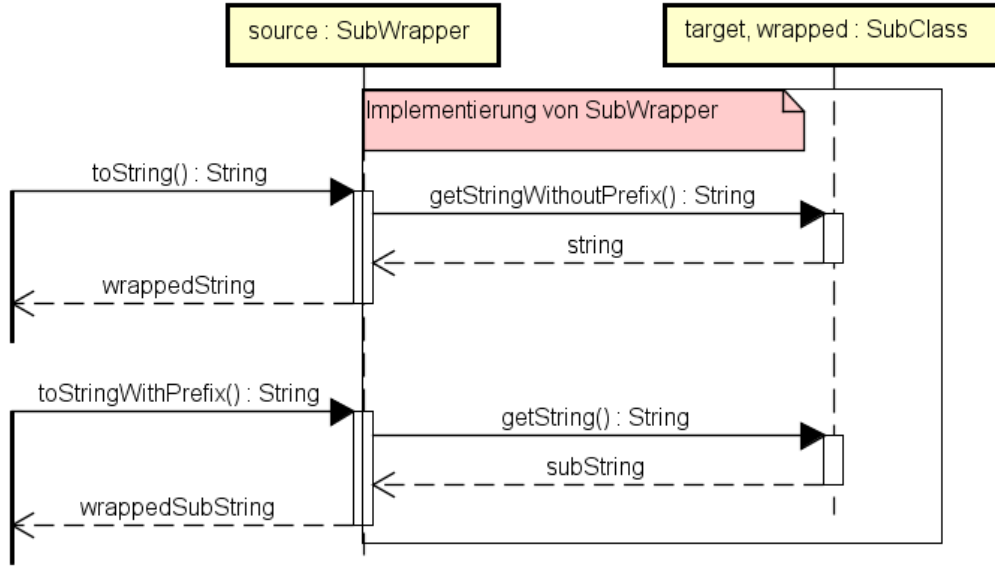


Abbildung 21: Szenario WrapperTypeMatcher

## Definition

### Matching (WrapperTypeMatcher)

$$match_{wrapper}(A, B) \text{ wenn } \exists A \# attr : match_M(B, attr)$$

Wie an dieser Beschreibung zu erkennen ist, werden auch hier wieder ein interner Matcher  $M$  verwendet. Analog zum WrappedTypeMatcher kommen auch hier der ExactTypeMatcher, der GenTypeMatcher und der SpecTypeMatcher in Frage.

### Konvertierung (WrappedTypeMatcher)

Sei  $m$  eine Methode des Typs  $A$ .

$$A.m \Rightarrow A.m$$

Ein Beispiel für die Verwendung des Matchers in Bezug auf das o.g. Szenario ist in Anhang A.7

zu finden. Außerdem sind dort auch weitere Szenarien aufgeführt, in denen der `GenTypeMatcher` oder der `SpecTypeMatcher` als interner `Matcher` zur Anwendung kommen.

### 3.1.13 `StructuralTypeMatcher`

Die bisher beschriebene `Type-Matcher` erlauben lediglich ein `Matching` zwischen Typen, die syntaktisch miteinander in einer direkten Beziehung stehen. Ein Ziel dieser Arbeit ist es jedoch Typen, die voneinander syntaktisch unabhängig sind, miteinander zu `matchen`, um darauf aufbauend, deren Semantik zu überprüfen. Hierfür soll wie auch in [Hum08] die strukturelle Übereinstimmung der beiden Typen ermittelt und verwendet werden. Diesem Zweck dient der `StructuralTypeMatcher`.

#### **Szenario**

Um die grundlegenden Eigenschaften des `StructuralTypeMatchers` darzustellen, wird von einem Szenario ausgegangen, in dem der `Target-Typ` (angebotenes Interface) zu jeder Methode des `Sources-Typs` (benötigtes Interface) eine passende Methode anbietet. Eine Kombination von angebotenen Interfaces ist somit in diesem Szenario nicht notwendig.

Abbildung 22 zeigt die Typen, von denen in dem folgenden Szenario ausgegangen wird. Hierbei sind zwei Klassen aufgeführt, die jeweils zwei Methoden anbieten. Die Parameter- und Rückgabetypen der Methoden sind aus den Szenarien zu den anderen Matchern bekannt. Die Klasse `SuperReturnSubParamClass` wird in dem folgenden Szenario als `Source-Typ` und die Klasse `SubReturnSuperWrapperParamClass` wird als `Target-Typ` verwendet. Um die strukturelle Übereinstimmung der beiden Typen festzustellen, muss der `StructuralTypeMatcher` ein `Matching` zwischen den Parameter- und Rückgabetypen der einzelnen Methoden herstellen. Dies erfolgt wiederum über interne `Type-Matcher`. An dieser Stelle können alle zuvor genannten `Type-Matcher` als interner `Type-Matcher` verwendet werden. Die Delegation der Methode-Aufrufe erfolgt dann an die Methode des `Target-Objekts`, die als übereinstimmende bzw. passende Methode ermittelt wurde (siehe Abbildung 23). Da beide Methoden eine unterschiedliche Anzahl von Parametern haben, ist in diesem Beispiel leicht nachzuvollziehen, welche Methoden zusammenpassen. Als interner `Type-Matcher` wurde in diesem Szenario der `GenTypeMatcher` verwendet.



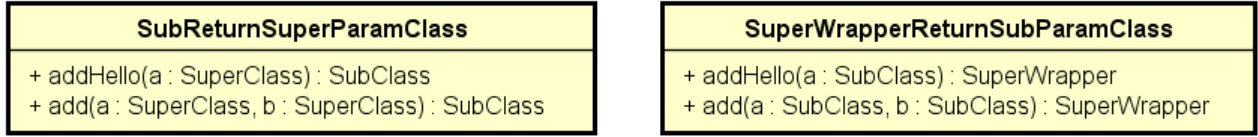


Abbildung 22: SuperReturnSubParamClass und SubReturnSuperParamClass

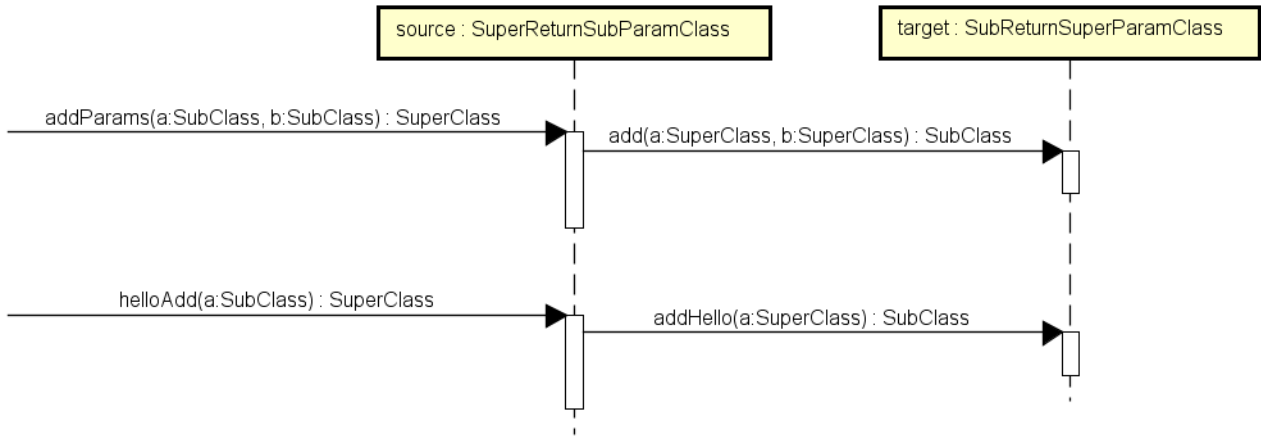


Abbildung 23: Szenario StructTypeMatcher

### Definition

#### Matching (StructuralTypeMatcher)

$$\begin{aligned}
 &match_{struct}(A, B) \text{ wenn} \\
 &\exists(A.m(MP) : MR) : \exists(B.n(NP) : NR) : match_P(MP, NP) \wedge match_R(NR, MR)
 \end{aligned}$$

Da die Notation es nicht hergibt, ist zusätzlich zu erwähnen, dass die Reihenfolge der Parameter in  $m$  und  $n$  irrelevant ist.

#### Konvertierung (StructuralTypeMatcher)

Sei  $m$  eine Methode des Typs  $A$ .

Der Rückgabetypp von  $m$  sei  $MR$  und  $MP$  der Parametertyp von  $m$ .

Weiterhin sei  $n$  eine Methode des Typs  $B$ .

Der Rückgabetypp von  $n$  sei  $NR$  und  $NP$  der Parametertyp von  $n$ .

$$A.m(MP) : MR \Rightarrow B.n((NP)MP) : (MR)NR$$

Ein Beispiel für die Verwendung des Matchers in Bezug auf das o.g. Szenario ist in Anhang A.8 zu finden. Außerdem sind dort auch weitere Szenarien aufgeführt, in denen andere Matcher als interner Matcher zur Anwendung kommen.

#### **3.1.14 Typ- und Methoden-Konvertierungsvarianten**

Die Konvertierung der einzelnen Type-Matcher liefert eine Menge von so genannten Typ-Konvertierungsvarianten. Eine Typ-Konvertierungsvariante beschreibt eine Möglichkeit, wie ein Typ in einen anderen konvertiert werden kann. Zu diesem Zweck enthält eine Typ-Konvertierungsvariante zwei Arten von Information:

1. Objekterzeugungsrelevante Informationen
2. Methodendelegationsrelevante Informationen

Typ-Konvertierungsvarianten werden von einem konkreten Typ-Matcher für jede mögliche Form der Übereinstimmung erzeugt. Ein Matcher erzeugt, wenn überhaupt, immer nur eine Typ-Konvertierungsvariante.

Die objekterzeugungsrelevanten Informationen sorgen dafür, dass das Proxy-Objekt für den Source-Typ korrekt erzeugt werden kann.

Die methodendelegationsrelevanten Informationen werden verwendet um so genannten Methoden-Konvertierungsvarianten zu erzeugen. Diese sorgen dafür, dass das Rückgabe-Objekt und die Parameter-Objekte beim Methodenaufruf korrekt konvertiert werden und dass der Aufruf an

die richtige Methode des Target-Typs delegiert wird.

Speziell der StructuralTypeMatcher ermöglicht es, zu einer Methode des Source-Typen mehrere methodendelegationsrelevanten Informationen zu erhalten. Das liegt daran, dass dieser Matcher alle Methoden des Source- und des Target-Typen miteinander auf Übereinstimmung überprüft. Dabei kann es vorkommen, dass eine Methode des Source-Typen mit mehreren Methoden des Target-Typen - oder umgekehrt - übereinstimmt. In Abbildung 24 ist dieser Zusammenhang für ein angebotenes Interface  $AI_v$  und einem erwarteten Interface  $EI$ , welche jeweils zwei Methoden enthalten ( $AM^*$  bzw.  $EM^*$ ), skizziert. Hier wird angenommen, dass jede der angebotenen Methoden strukturell mit jeder der erwarteten Methoden übereinstimmen würde. Dementsprechend enthält die Typ-Konvertierungsvariante (TKV) methodendelegationsrelevante Informationen, aus denen insgesamt 4 Methoden-Konvertierungsvarianten erzeugt werden, wovon jede eine Konvertierung entlang der eingezeichneten Pfeile ermöglicht.

Dabei gilt jedoch, aufgrund der Überlegungen zur Kombination von angebotenen Komponenten (siehe auch Abbildung 3), dass eine Typ-Konvertierungsvariante nicht zu jeder der erwarteten Methoden solche methodendelegationsrelevanten Informationen enthält. Abbildung 25 zeigt einen solchen Fall mit dem angebotenen Interface  $AI_u$ .

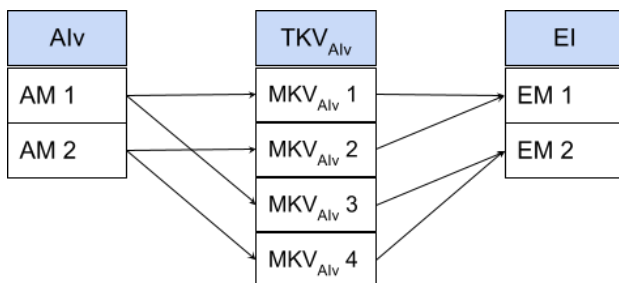


Abbildung 24: Typ- und Methoden-Konvertierungsvarianten von  $AI_v$

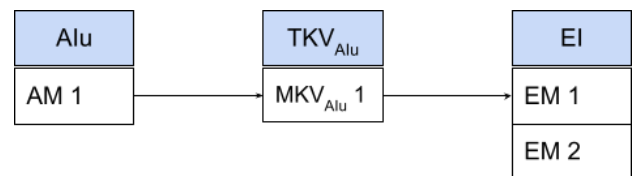


Abbildung 25: Typ- und Methoden-Konvertierungsvarianten von  $AI_u$

### 3.2 2. Stufe - Semantische Evaluation

Sofern alle Typ-Konvertierungsvarianten des erwarteten Interfaces bzgl. einer Menge von angebotenen Interfaces in der 1. Stufe ermittelt wurden, können die benötigten Komponenten

erzeugt und getestet werden.

Diese Prüfung wird über die vorab spezifizierten Testfälle des erwarteten Interfaces vorgenommen. In einem vorherigen Abschnitt wurde schon kurz beschrieben, wie eine solche Testklasse aufgebaut ist. In diesem Abschnitt wird beschrieben, wie die zu testenden benötigten Komponenten ermittelt werden und wie die Tests durchgeführt werden. Dies erfolgt in 6 Schritten, die im Folgenden erläutert werden. Eine schematische Darstellung der Semantischen Evaluation ist Abbildung 26 zu entnehmen.

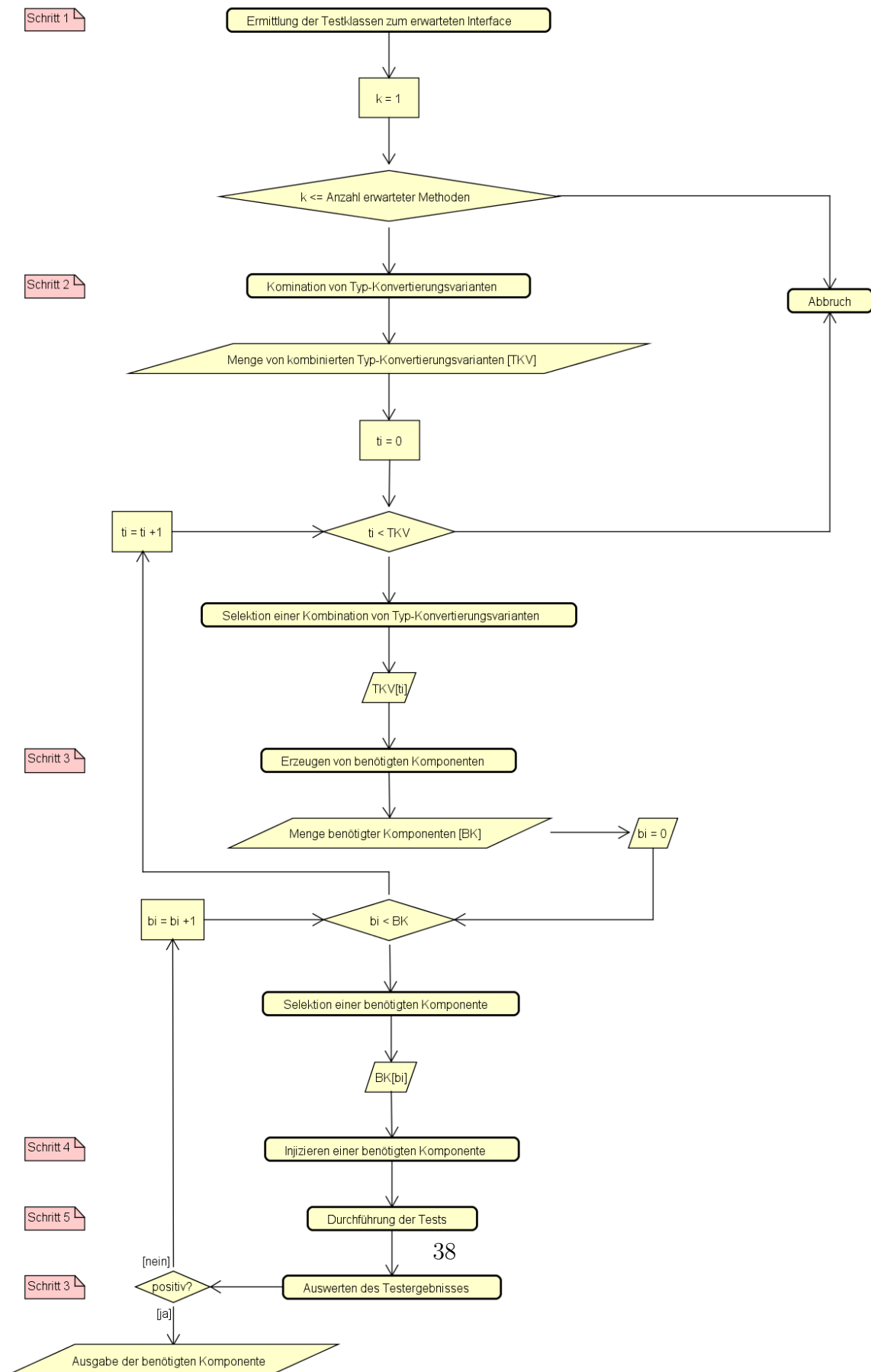


Abbildung 26: Schema der semantischen Evaluation

### 3.2.1 Schritt 1: Ermittlung der Testklassen zum erwarteten Interface

Die Ermittlung der Testklassen erfolgt über die Annotation `@QueryTypeTestReference`, welche im erwarteten Interface spezifiziert wird. Von diesen Testklassen wird ein Testobjekt über den Default-Konstruktor erzeugt.

### 3.2.2 Schritt 2: Kombination von Typ-Konvertierungsvarianten

In diesem Schritt werden die ermittelten Typ-Konvertierungsvarianten miteinander kombiniert, was einer Kombination der angebotenen Interfaces gleicht. Die Anzahl  $k$  der zu kombinierenden Typ-Konvertierungsvarianten kann jedoch variieren. Wenn  $|EM|$  die Anzahl der Methoden im erwarteten Interface ist, gilt für  $k$ :

$$1 \leq k \leq |EM|$$

Da  $k$  variabel ist, wird dieser Schritt zusammen mit allen folgenden Schritten mitunter mehrfach durchlaufen. Die Nummer des jeweiligen Iterationsschrittes wird mit  $k$  gleichgesetzt. Somit wird die Anzahl der zu kombinierenden Typ-Konvertierungsvarianten mit jedem Durchlauf erhöht. Abbildung 27 zeigt die Kombinationen von Typ-Konvertierungsvarianten, die sich - bezogen auf die Beispiele aus Abbildung 24 und Abbildung 25 - im ersten Durchlauf ergeben. Im zweiten Durchlauf würde sich nur eine Kombination von Typ-Konvertierungsvarianten ergeben, da die beiden Typ-Konvertierungsvarianten von `AIv` und `AIu` miteinander kombiniert werden (siehe Abbildung 28).

TKV <sub>Alv</sub>
MKV <sub>Alv</sub> 1
MKV <sub>Alv</sub> 2
MKV <sub>Alv</sub> 3
MKV <sub>Alv</sub> 4

TKV <sub>Alu</sub>
MKV <sub>Alu</sub> 1

TKV <sub>Alv+Alu</sub>
MKV <sub>Alv</sub> 1
MKV <sub>Alv</sub> 2
MKV <sub>Alv</sub> 3
MKV <sub>Alv</sub> 4
MKV <sub>Alu</sub> 1

Abbildung 27: Kombinationen von Typ-Konvertierungsvarianten von Alu und Alv im ersten Durchlauf

Abbildung 28: Kombinationen von Typ-Konvertierungsvarianten von Alu und Alv im zweiten Durchlauf

So berechnet sich die Anzahl an ermittelten Kombinationen von Typ-Konvertierungsvarianten ( $|KombTKV|$ ) für jeden Durchlauf  $k$  in Abhängigkeit von der Anzahl der in der 1. Stufe ermittelten Typ-Konvertierungsvarianten ( $|TKV|$ ) wie folgt:

$$|KombTKV| = \frac{|TKV|!}{(|TKV| - k)! * k!}$$

### 3.2.3 Schritt 3: Erzeugen von benötigten Komponenten

Eine benötigte Komponente besteht aus einer Kombination von Methoden-Konvertierungsvarianten, wobei für jede erwartete Methode genau eine Methoden-Konvertierungsvariante innerhalb der benötigten Komponente existiert.

Für die Ermittlung der Kombinationen von Methoden-Konvertierungsvarianten wird eine Kombination von Typ-Konvertierungsvarianten aus der Ergebnismenge des zweiten Schrittes im aktuellen Durchlauf selektiert. Die daraus erzeugten Methoden-Konvertierungsvarianten werden hinsichtlich der Methoden aus dem erwarteten Interface miteinander kombiniert.

Für die erste Kombination von Typ-Konvertierungsvarianten, die Abbildung 27 zu entnehmen ist ( $TKV_{Alv}$ ), können folgende Kombinationen von Methoden-Konvertierungsvarianten erzeugt werden (siehe Abbildung 29).

Komb I	Komb II	Komb III	Komb VI
EM 1 - MKV <sub>Alv</sub> 1	EM 1 - MKV <sub>Alv</sub> 2	EM 1 - MKV <sub>Alv</sub> 1	EM 1 - MKV <sub>Alv</sub> 2
EM 2 - MKV <sub>Alv</sub> 3	EM 2 - MKV <sub>Alv</sub> 3	EM 2 - MKV <sub>Alv</sub> 4	EM 2 - MKV <sub>Alv</sub> 4

Abbildung 29: Kombinationen von Methoden-Konvertierungsvarianten Alv

Analog dazu wird für die zweite Kombination von Typ-Konvertierungsvarianten, die Abbildung 27 zu entnehmen ist ( $TKV_{Alu}$ ), folgende Kombination von Methoden-Konvertierungsvarianten erzeugt (siehe Abbildung 30).

Ausgehend von der Kombination von Typ-Konvertierungsvarianten aus Abbildung 28 ( $TKV_{Alu+Alv}$ ), sind in Abbildung 31 die daraus resultieren Methoden-Konvertierungsvarianten dargestellt. Zu beachten ist, dass die ersten vier Kombinationen bereits im vorherigen Durchlauf erzeugt wurden (siehe Abbildung 29) und dementsprechend auch getestet wurden.

Komb I	Komb II	Komb III	Komb VI
EM 1 - MKV <sub>Alv</sub> 1	EM 1 - MKV <sub>Alv</sub> 2	EM 1 - MKV <sub>Alv</sub> 1	EM 1 - MKV <sub>Alv</sub> 2
EM 2 - MKV <sub>Alv</sub> 3	EM 2 - MKV <sub>Alv</sub> 3	EM 2 - MKV <sub>Alv</sub> 4	EM 2 - MKV <sub>Alv</sub> 4

Komb I	Komb V	Komb VI
EM 1 - MKV <sub>Alu</sub> 1	EM 1 - MKV <sub>Alu</sub> 1	EM 1 - MKV <sub>Alu</sub> 1
	EM 2 - MKV <sub>Alv</sub> 3	EM 2 - MKV <sub>Alv</sub> 4

Abbildung 30: Kombinationen von Methoden-Konvertierungsvarianten Alu

Abbildung 31: Kombinationen von Methoden-Konvertierungsvarianten Alu+Alv

Im Allgemeinen lässt sich sagen, dass die Anzahl der Kombinationen von Methoden-Konvertierungsvarianten von der Anzahl der Methoden im erwarteten Interface ( $|EM|$ ) und der Anzahl von Methoden-Konvertierungsvarianten ( $|MKV|$ ), die aus der selektierten Kombination von Typ-Konvertierungsvarianten erzeugt werden können. Da aus einer Kombination von Methoden-Konvertierungsvarianten jeweils eine benötigte Komponente erzeugt werden kann, gilt für die Anzahl der benötigten Kom-



ponenten ( $|Komb_{ben}|$ ) dasselbe. Im schlimmsten Fall berechnet sich die Anzahl der benötigten Komponenten wie folgt:

$$|Komb_{ben}| = |Komb_{MKV}| = \frac{|MKV|!}{(|MVK| - |EM|)! * |EM|!}$$

### 3.2.4 Schritt 4: Injizieren der benötigten Komponente

Der Setter für die Setter-Injection wird in der Testklasse über die Annotation `@QueryTypeInstanceSetter` ermittelt. Danach wird diese Methode auf dem Testobjekt (siehe 3.2.1) mit der benötigten Komponente als Parameter aufgerufen.

### 3.2.5 Schritt 5: Durchführen der Tests

Die Testfälle aus der Testklasse werden über die Annotation `@QueryTypeTest` ermittelt und sequentiell ausgeführt. Als Ergebnis der Testausführung für eine benötigte Komponente wird ein Objekt des Typs `TestResult` zurückgegeben. Tritt bei der Testausführung eine Exception auf, wird diese im `TestResult`-Objekt hinterlegt. Im Anschluss wird das `TestResult`-Objekt direkt zurückgegeben, um die Ausführung der übrigen Tests zu verhindern. Wenn ein Test mit positivem Ergebnis durchgeführt wird, wird das Attribut `passedTests` im `TestResult`-Objekt inkrementiert. Sollten alle Tests erfolgreich durchgeführt worden sein, wird das `TestResult`-Objekt zurückgegeben.

### Umgang mit kombinierten angebotenen Komponenten

Ab dem zweiten Durchlauf werden die benötigten Komponenten in Schritt 3 aus Kombinationen von Typ-Konvertierungsvarianten mehrere angebotener Interfaces erzeugt. Das führt dazu, dass die Methodenaufrufe auf dem erwarteten Interface an unterschiedliche angebotene Komponenten delegiert werden. Hierbei kann der Fall eintreten, dass mehrere dieser Methoden von der Semantik her auf den gleichen Daten operieren müssen, die Aufrufe dieser jedoch an unterschiedliche Komponenten delegiert werden, welche auch auf unterschiedlichen Daten operieren.

Ein Beispiel hierfür wäre ein Stack, der durch das erwartete Interface `Stack` beschrieben. Dieses enthält eine `push` und eine `pop` Methoden mit der ein Element im Stack hinzugefügt bzw.

entfernt werden kann (siehe Abbildung 32). Hierbei ist anzunehmen, dass die beiden Methoden auf denselben Daten arbeiten, sodass nach dem Hinzufügen eines Elements *a* (*push(a)*) und dem darauf folgenden Aufruf der Methode *pop()* als Rückgabewert wieder das zuvor hinzugefügte Element *a* geliefert wird (siehe Abbildung 33). Wenn die beiden Methoden-Aufrufe jedoch an zwei unterschiedliche Objekte *StackA* und *StackB* delegiert werden, die auf unterschiedlichen Daten operieren, dann würde dieses Verhalten nicht nachgewiesen werden können (siehe Abbildung 34).

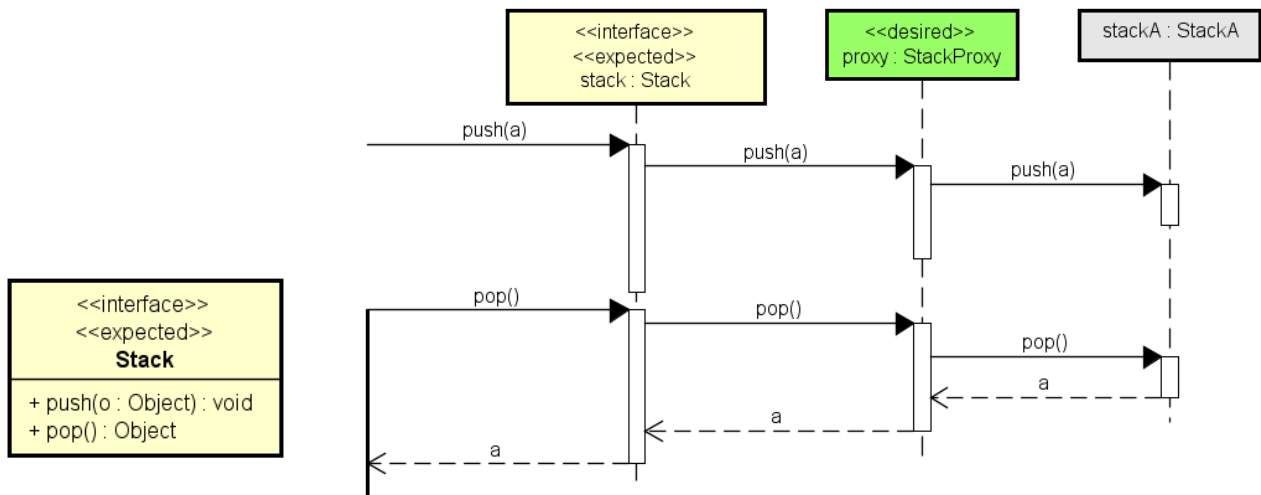


Abbildung 32:  
Erwartetes  
Interface *Stack*

Abbildung 33: Delegation der *Stack*-Methoden an genau eine angebotene Komponente

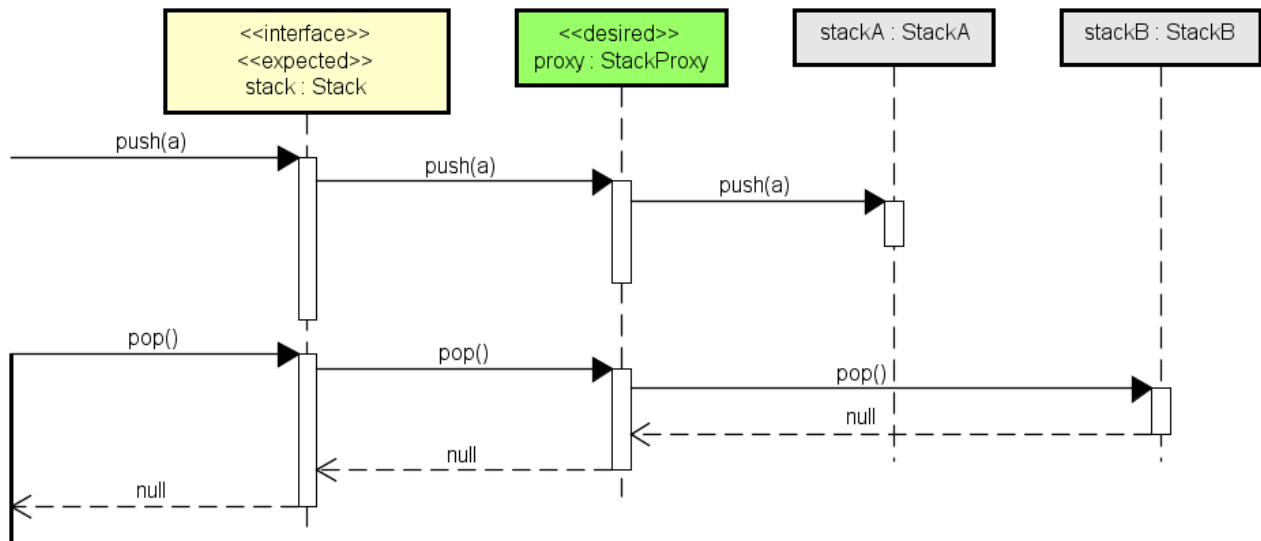


Abbildung 34: Delegation der Stack-Methoden an unterschiedliche angebotene Komponenten

In einem solchen Fall sollte der Zusammenhang dieser erwarteten Methoden in den Tests spezifiziert werden, sodass diese besonderen semantischen Anforderungen in diesem Schritt evaluiert werden können. Listing 3 zeigt ein Beispiel bezogen auf das Szenario aus Abbildung 33.

Listing 3: Testklasse für ein erwartetes Interfaces Stack

```

public class StackTest {

    private Stack stack;

    @QueryTypeInstanceSetter
    public void setProvider( Stack stack ) {
        this.stack = stack;
    }

    @QueryTypeTest
    public void pushPop() {
        Object a = new Object();
        stack.push( a );
        Object evalObj = stack.pop();
        assertTrue( a == evalObj );
    }

}

```

### **3.2.6 Schritt 6: Auswertung des Testergebnisses**

Sofern alle Tests erfolgreich durchgelaufen sind, wird die aktuell selektierte benötigte Komponente als passend bewertet und als Ergebnis des Explorationsalgorithmus zurückgegeben.

Sollte einer der Tests nicht erfolgreich sein, wird die semantische Evaluation ab Schritt 3 (siehe 3.2.3) wiederholt. Sofern keine benötigten Komponenten mehr erzeugt werden können, ist die Suche nach einer passenden benötigten Komponente gescheitert.

Da die Suche zur Laufzeit ausgeführt wird, reicht es, wenn eine passende benötigte Komponente gefunden wird. Selbst wenn es mehrere von diesen geben sollte, gäbe es in dem beschriebenen Verfahren keine Möglichkeit festzustellen, welche die semantischen Anforderungen besser erfüllt. Zwar wäre man die passenden Komponenten hinsichtlich der benötigten Systemressourcen untersuchen, jedoch rechtfertigt der dafür notwendige Aufwand, aufgrund der Vielzahl von möglichen Kombinationen (siehe 3.2.2 und 3.2.3), den daraus resultierenden Performancegewinn vermutlich nicht.

## 4 Heuristiken

### 4.1 Type-Matcher Rating basierte Heuristiken

Wie die Überschrift bereits andeutet, werden die Type-Matcher mit einem Rating versehen. Das Rating wird durch einen numerischen Wert dargestellt. Auf dieser Basis werden zwei Kategorien von Type-Matcher Ratings unterschieden:

#### **Qualitatives Type-Matcher Rating**

Das qualitative Type-Matcher Rating beschreibt den Grad der strukturellen Übereinstimmung des Source- und des Target-Typen. Dafür wird jeder Type-Matcher mit einem Basiswert versehen. Die konkreten Basiswerte sind im Abschnitt Evaluation beschrieben. Dieser Basiswert wird beim Erzeugen der Typ-Konvertierungsvarianten an die methodendelegationsrelevanten Informationen gehängt, sodass zu jeder Methode, zu der eine Methoden-Konvertierungsvariante existiert, auch ein Wert bzgl. des qualitativen Type-Matcher Ratings zur Verfügung steht.

Der konkrete Wert für das qualitative Type-Matcher-Rating ermittelt sich grundlegend, wie bereits erwähnt, anhand eines Basiswertes. Sofern ein Type-Matcher jedoch wiederum eine Übereinstimmung verwendeter Typen fordert, um die konkreten methodendelegationsrelevanten Informationen zu erzeugen (`WrappedTypeMatcher` und `StructuralTypeMatcher`), ergibt sich der Wert des Type-Matcher-Ratings aus einer Akkumulation der Basiswerte aller verwendeten Type-Matcher.

Damit ist das qualitative Type-Matcher Rating von folgenden Faktoren abhängig:

1. Die Wahl des Basiswertes der einzelnen Type-Matcher
2. Das Akkumulationsverfahren für das Type-Matcher Rating einer Typ-Konvertierungsvariante
3. Das Akkumulationsverfahren für das Type-Matcher Rating einer Methoden-Konvertierungsvariante

Alle drei Punkte werden bei der Evaluierung dieser Heuristik untersucht.

#### **Quantitatives Type-Matcher Rating**

Das quantitative Type-Matcher Rating beschreibt, zu wie vielen der erwarteten Methoden in

der erzeugten Typ-Konvertierungsvariante methodendelegationsrelevante Informationen vorliegen. So stellt das quantitative Type-Matcher Rating also einen Prozentsatz dar.

Im Folgenden werden zwei Heuristiken vorgestellt, die auf den oben genannten Type-Matcher Ratings basieren.

#### 4.1.1 TMR\_Quant: Beachtung des quantitativen Type-Matcher Ratings

##### Szenario

Abbildung 35 zeigt ein Szenario, in dem ein erwartetes Interface IExpect mit zwei Methoden deklariert wurde. Auf der rechten Seite sind die beiden angebotenen Interfaces abgebildet (IOfferedA und IOfferedB), die laut den oben genannten Type-Matchern zu dem erwarteten Interface passen. Weiterhin soll in diesem Szenario davon ausgegangen werden, dass eine passende benötigte Komponente (Proxy) nur aufbauend auf den Methoden-Konvertierungsvarianten erzeugt werden kann, die auf der Basis des angebotenen Interfaces IOfferedB erzeugt werden können.

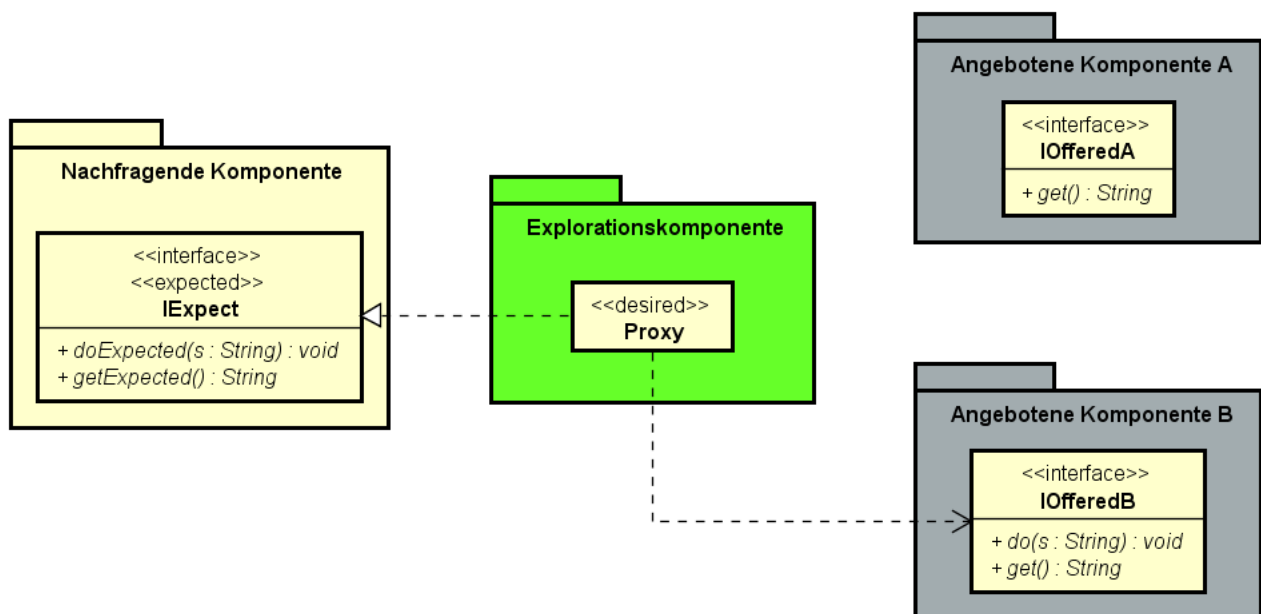


Abbildung 35: Szenario für TMR\_Quant

## Exploration ohne Heuristik

Der Explorationsalgorithmus würde die passende benötigte Komponente im ersten Durchlauf finden. Allerdings würde auch die Typ-Konvertierungsvariante für IOfferedA im schlimmsten Fall innerhalb des ersten Durchlaufs analysiert werden. Die Kombinationen von Typ-Konvertierungsvarianten der beiden angebotenen Interfaces, die im ersten Durchlauf des Explorationsalgorithmus erzeugt werden, sind Abbildung 36 zu entnehmen. Darauf aufbauend, würde aus diesen Kombinationen von Typ-Konvertierungsvarianten die Kombinationen von Methoden-Konvertierungsvarianten erzeugt werden, welche Abbildung 37 zu entnehmen sind.

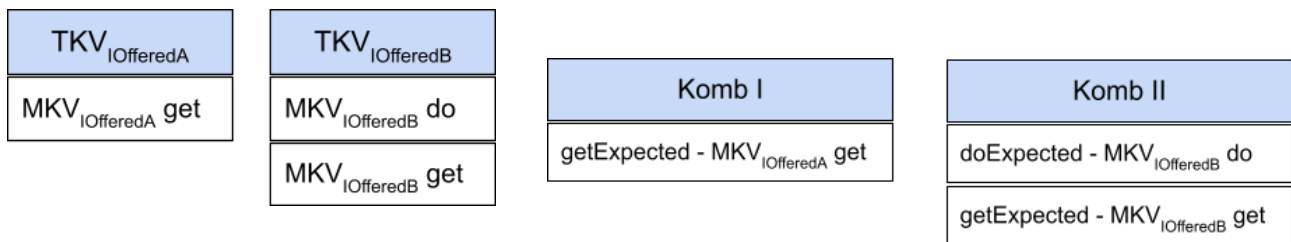


Abbildung 36: Typ-Konvertierungsvarianten dem Szenario zu TMR\_Quant

Abbildung 37: Methoden-Konvertierungsvarianten dem Szenario zu TMR\_Quant

## Ableitung der Heuristik

Hierbei fällt auf, dass das Erzeugen der Methoden-Konvertierungsvarianten für IOfferedA unnötig war, weil nur für eine der erwarteten Methoden eine Methoden-Konvertierungsvariante erzeugt werden konnte. Dies kann durch die Beachtung des quantitativen Type-Matcher Ratings im ersten Durchlauf des Explorationsalgorithmus verhindert werden.

Hierzu werden im Schritt 2 der 2. Stufe des Explorationsalgorithmus (siehe 3.2.2) nur die Typ-Konvertierungsvarianten als Ergebnis ermittelt, die ein quantitatives Type-Matcher Rating von 100% aufweisen. Damit wird bezogen auf das Szenario nur die Typ-Konvertierungsvariante des angebotenen Interfaces IOfferedB weiter analysiert.

### 4.1.2 TMR\_Qual: Beachtung des qualitativen Type-Matcher Ratings

#### Szenario

Abbildung 38 zeigt ein Szenario, in dem ein erwartetes Interface IExpect mit einer Methode de-

klariert wurde. Die Deklaration erfolgte unter der Verwendung bestehender allgemeiner Typen innerhalb des gesamten Systems, die in dem unteren Bereich der Abbildung dargestellt sind. Dabei gibt es zwei Typen, die in einer Vererbungsbeziehung stehen (Common und Specific), und einen Wrapper-Typen, der ein Attribut vom Typ Common enthält. Zusätzlich sind auf der rechten Seite die angebotenen Interfaces abgebildet (IOfferedA und IOfferedB), die laut den oben genannten Type-Matchern zu dem erwarteten Interface passen. Auch diese verwenden die allgemeinen Typen. Für dieses Szenario ist davon auszugehen, dass eine passende benötigte Komponente (Proxy) nur aufbauend auf den Methoden-Konvertierungsvarianten erzeugt werden kann, die auf der Basis des angebotenen Interfaces IOfferedB erzeugt werden können.

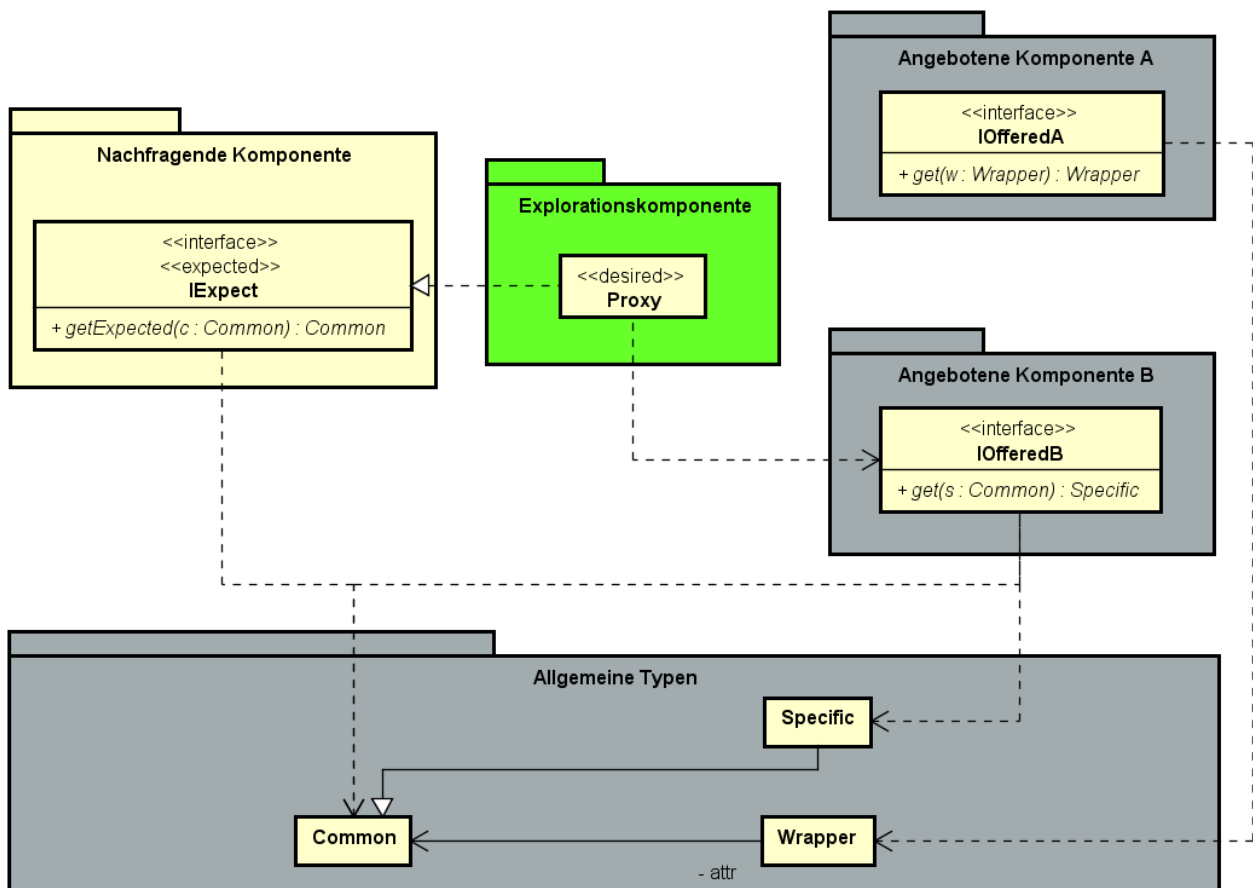


Abbildung 38: Szenario für TMR\_Qual



## Exploration ohne Heuristik

Der Explorationsalgorithmus würde die passende benötigte Komponente im ersten Durchlauf finden. Hierbei werden zuerst die Typ-Konvertierungsvarianten der beiden angebotenen Interfaces erzeugt, welche Abbildung 39 zu entnehmen sind. Abbildung 40 zeigt die im darauffolgenden Schritt des Explorationsalgorithmus (siehe 3.2.3) erzeugten Kombinationen von Methoden-Konvertierungsvarianten. Zu erkennen ist, dass auch die Kombinationen von Methoden-Konvertierungsvarianten von IOfferedA erzeugt wurden und demnach im schlimmsten Fall auch weiter analysiert werden.

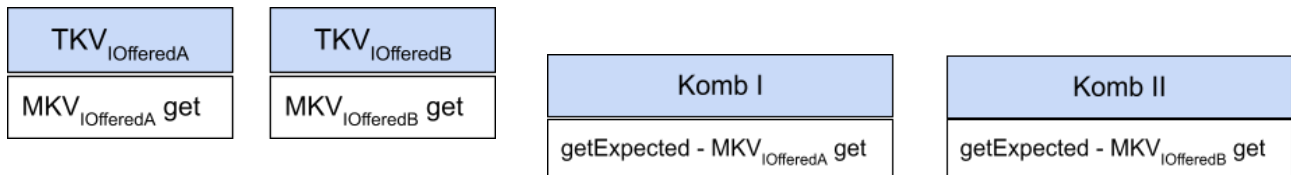


Abbildung 39: Typ-Konvertierungsvarianten dem Szenario zu TMR.Qual

Abbildung 40: Methoden-Konvertierungsvarianten dem Szenario zu TMR.Qual

## Ableitung der Heuristik

Bei der Betrachtung der Methode, die von der nachfragenden Komponente erwartet und von den angebotenen Komponenten B bereitgestellt wird, fällt auf, dass die Typen des Parameter und der Rückgabewerte der jeweiligen Methoden in einer Vererbungsbeziehung stehen. Dadurch ist eine Delegation der Form  $IExpect.getExpected \Rightarrow IOfferedB.get$  aufgrund des liskovschen Substitutionsprinzip ohne weitere Konvertierung der Parameter- und Rückgabe-Typen möglich. Eine Delegation der Methoden aus IExpect an IOfferedA ist hingegen weitaus komplizierter (siehe 3.1.11). In Bezug auf das oben beschriebene Type-Matcher Rating bedeutet das, dass das qualitative Type-Matcher Rating der Typ-Konvertierungsvariante von IOfferedB geringer ist, als das der Typ-Konvertierungsvariante von IOfferedA.

Für die Heuristik TMR.Qual kann demnach abgeleitet werden, dass die Kombinationen von Methoden-Konvertierungsvarianten in Schritt 3 der 2. Stufe des Explorationsalgorithmus (siehe 3.2.3) zuerst aus denjenigen Kombinationen von Typ-Konvertierungsvarianten mit den niedrigsten qualitativen Type-Matcher Rating erzeugt und analysiert werden sollten.

## 4.2 Testergebnis basierte Heuristiken

Diese Heuristiken werden auf der Basis des `TestResult`-Objektes, welches bei der semantischen Evaluation (2. Stufe, siehe 3.2) bei der Durchführung der Tests (Schritt 5, siehe 3.2.5) erzeugt wird. Die dafür notwendigen Informationen werden im `TestResult`-Objekt dementsprechend bei der Testausführung vermerkt. Ausgehend von dieser Basis führen diese Heuristiken im Allgemeinen dazu, dass bestimmte Methoden-Konvertierungsvarianten bei der weiteren Suche nach Kombinationen solcher (Schritt 2, , siehe 3.2.2) nicht mehr oder bevorzugt verwendet werden.

### 4.2.1 `PREV_PASSED`: Beachtung der teilweise bestandenen Tests

Es wird davon ausgegangen, dass es innerhalb der Testklassen Testmethoden gibt, die einzelne erwartete Methoden testen. Eine benötigte Komponente, die einen Teil dieser Tests besteht, verwendet für bestimmte Methoden scheinbar eher passende Methoden-Konvertierungsvarianten, als solche benötigten Komponenten, die keine dieser Tests bestehen.

Sofern sichergestellt ist, dass die benötigte Komponente aus einer einzigen Typ-Konvertierungsvariante erzeugt wurde und einen Teil der Tests besteht, sollte sie bei der Erzeugung benötigter Komponenten aus mehreren Typ-Konvertierungsvarianten bevorzugt verwendet werden.

### 4.2.2 `BL_PM`: Beachtung aufgerufener Pivot-Methode

Es wird davon ausgegangen, dass es beim Aufruf von Methoden und deren Delegation an angebotene Komponenten zu Fehlern/Exceptions kommen kann. Eine Methoden-Konvertierungsvariante, die zu solchen Fehlern führt, ist offensichtlich unbrauchbar. Daher ist es sinnvoll, diese Methoden-Konvertierungsvariante bei der weiteren Suche zu ignorieren. Zu diesem Zweck wird beim Auftreten einer Exception bei der Delegation einer Methode eine spezielle Exception (`SigMaGlueException`) geworfen, die bei der Testdurchführung entsprechend ausgewertet werden kann.

Da in einer Testmethode jedoch mehrere erwarteten Methoden aufgerufen werden können, besteht die Möglichkeit, dass das Ergebnis der zuerst aufgerufenen erwarteten Methoden aufgrund einer passenden Methoden-Konvertierungsvariante nicht direkt bei deren Aufruf zu einer Exception

führt, sondern erst bei der Verwendung des Ergebnisses als Parameter des folgenden Aufrufs einer erwarteten Methode. In so einem Fall ist es nicht möglich zu erkennen, für welche der beiden Methoden tatsächlich eine unpassende Methoden-Konvertierungsvariante verwendet wird. Beim Auftreten einer Exception während des Aufrufs der ersten erwarteten Methode, ist jedoch davon auszugehen, dass für diesen Aufruf eine unpassende Methoden-Konvertierungsvariante verwendet wurde, weshalb diese bei der weiteren Suche ignoriert werden sollte.

Eine Pivot-Methode beschreibt dabei die zuerst aufgerufene erwartete Methode innerhalb einer Testmethode. Um eine Möglichkeit zu schaffen, den Aufruf dieser Pivot-Methode nach außen mitzuteilen, müssen die Testklassen erweitert werden. Hierzu steht das Interface `PivotMethod-TestInfo` bereit.

Dieses Interface deklariert drei Methoden, die in der Testklasse spezifiziert werden müssen. Grundlegend ist der Mechanismus so angedacht, dass innerhalb der Testklasse ein Flag spezifiziert wird, welches durch die Methode `reset()` auf den Ausgangswert zurückgesetzt wird und durch die Methode `markPivotMethodCallExecuted()` auf einen anderen Wert umgesetzt wird. Der Aufruf der Methode `pivotMethodCallExecuted()` sollte `true` liefern, wenn dieses Flag nicht dem Ausgangswert übereinstimmt.

Innerhalb der Testmethode sollte dann vor zu Beginn immer die Methode `reset()` aufgerufen werden, da andernfalls die Testergebnisse verfälscht werden können. Zudem muss die Methode `markPivotMethodCallExecuted()` direkt nach dem Aufruf der Pivot-Method aufgerufen werden.

So kann bei der Testdurchführung festgestellt werden, ob die mögliche Exception vor oder nach dem Aufruf der Pivot-Methode erfolgte. Welche Methode beim Aufruf zu einer Exception geführt hat, wird innerhalb der `SigMaGlueException` überliefert.

#### **4.2.3 BL\_SM: Beachtung fehlgeschlagener Single-Method Tests**

Es wird davon ausgegangen, dass es innerhalb der Testklassen Testmethoden gibt, die auf eine ganz bestimmte erwartete Methode zugeschnitten sind (Single-Method Test). Das setzt unter anderem voraus, dass in dieser Testmethode von den erwarteten Methoden nur diese eine auf-

gerufen wird.

Weiterhin muss an der Testmethode eine Information zur Verfügung stehen, die eine Auskunft darüber gibt, welche Methode dort getestet wird. Zu diesem Zweck kann an der `@QueryTypeTest`-Annotation ein Parameter mit der Bezeichnung `testedSingleMethod` spezifiziert werden. Dort soll dementsprechend der Name der getesteten Methode angegeben werden. So kann bei der Testausführung evaluiert werden, ob eine bestimmte Methode von der getesteten benötigten Komponente semantisch nicht passt.

Da die konkrete Methode, deren Test fehlschlägt, bekannt ist, kann auch die verwendete Methoden-Konvertierungsvariante ermittelt werden. Diese Methoden-Konvertierungsvariante sollte bei der weitere Suche nicht mehr beachtet werden, da mit diesem Test sichergestellt wurde, dass sie nicht Teil einer passenden benötigten Komponente sein kann.

### 4.3 Koordination im Explorationsalgorithmus

Der Einsatz der Heuristiken muss bei der Suche koordiniert werden. Der Explorationsalgorithmus ist so aufgebaut, dass im 2. Schritt der 2. Stufe (siehe 3.2.2) die Heuristiken zum Einsatz kommen.

Begonnen wird mit der Heuristik `TMR_Quant`, sodass zuerst alle möglichen Kombinationen von Methoden-Konvertierungsvarianten ermittelt werden, die aus einer einzelnen Typ-Konvertierungsvariante stammen. Sind die möglichen Kombinationen von Methoden-Konvertierungsvarianten ausgeschöpft, wird der Prozess mit der Ermittlung aller möglichen Kombinationen von Methoden-Konvertierungsvarianten, die aus 2 Typ-Konvertierungsvarianten stammen, wiederholt. Die Anzahl der zu kombinierenden Typ-Konvertierungsvarianten wird somit jedes mal erhöht, wenn die bereits ermittelten Kombinationen von Methoden-Konvertierungsvarianten ausgeschöpft sind.

Innerhalb eines der eben beschriebenen Iterationsschritte werden die anderen Heuristiken eingesetzt.

Die Heuristik `TMR_Qual` sortiert die Typ-Konvertierungsvarianten, die bei der Ermittlung

der Kombinationen von Methoden-Konvertierungsvarianten verwendet werden. Diese werden dann ihrer Reihenfolge entsprechend verwendet um Methoden-Konvertierungsvarianten zu ermitteln. Diesen Methoden-Konvertierungsvarianten wurde ebenfalls ein Type-Matcher Rating mitgegeben, nach welchem jene nun sortiert werden und dann entsprechend dieser Reihenfolge sequentiell getestet werden.

Die Heuristik PREV\_PASSED wird, wie alle weiteren Heuristiken, erst nach der ersten Iterationsstufe eingesetzt. Das liegt daran, dass für die Anwendung dieser Heuristiken bereits Testergebnisse vorliegen müssen. PREV\_PASSED sorgt nochmals für eine Umsortierung der Typ-Konvertierungsvarianten, die bei der Ermittlung der Kombinationen von Methoden-Konvertierungsvarianten verwendet werden, sodass die bevorzugten Typ-Konvertierungsvarianten zuerst verwendet werden.

Die Heuristiken BL\_PM und BL\_SM sorgen dafür, dass bei der Kombination von Methoden-Konvertierungsvarianten diejenigen übersprungen werden, die laut der jeweiligen Heuristik nicht mehr in Betracht gezogen werden sollen.

## 5 Evaluierung

Die Evaluierung erfolgt innerhalb von Systemen, in denen mindestens 889 angebotene Interfaces existieren. Es wird zwischen einem Test-System und einem Heiß-System unterschieden.

Das Test-System wurde vorrangig für die Evaluation der Type-Matcher Rating basierten Heuristiken verwendet, da für diese Heuristiken keine Implementierungen der angebotenen Interfaces vorliegen müssen.

Das Heiß-System wurde vorrangig für die Evaluation der testergebnis basierten Heuristiken verwendet, da hier zu jedem der 889 angebotenen Interfaces eine Implementierung existiert. Die angebotenen Komponenten wurden im Heiß-System als Java Enterprise Beans umgesetzt.

### Darstellung der Evaluationsergebnisse

Die Evaluationsergebnisse werden in der Form von Vier-Felder-Tafeln dargestellt (Beispiel siehe Tabelle 3). Für jedes erwartete Interface wird eine Vier-Felder-Tafel für jeden Durchlauf des Explorationsalgorithmus aufgezeigt. Aus der jeweiligen Tafel geht hervor, wie viele Kombinationen von Methoden-Konvertierungsvarianten aus den Kombinationen der ermittelten Typ-Konvertierungsvarianten innerhalb des Durchlaufs erzeugt werden könnten. Die Nummer des Durchlaufs wird in der oberen rechten Ecke der Tafel abgebildet. In der Spalte positiv ist die Anzahl der Kombinationen von Methoden-Konvertierungsvarianten verzeichnet, die innerhalb des Durchlaufs tatsächlich erzeugt wurden. Die Zahl in der Spalte "negativ" drückt hingegen aus, wie viele der Kombinationen aufgrund bestimmter Kriterien (bzw. Heuristiken) gar nicht erst erzeugt wurden. Die Zeile "falsch" beschreibt die Anzahl der relevanten Kombinationen, aus denen benötigte Komponenten erzeugt werden, welche die semantischen Tests nicht bestehen. Dementsprechend stellt die Zeile "richtig" die Anzahl der Kombinationen dar, aus denen sich benötigte Komponenten erzeugen lassen, welche die semantischen Test bestehen. Der Fall, in dem eine Kombination nicht erzeugt wurde, aber dennoch für die Erstellung einer benötigten Komponente genutzt wurde und die semantischen Tests besteht, (negativ und richtig) kann nicht auftreten.

Für die Anzahl der zu kombinierenden Methoden-Konvertierungsvarianten  $MK$  wird der höchste

mögliche Wert angenommen. Dieser ist von der Anzahl der angebotenen Methoden  $am$  sowie der Anzahl der erwarteten Methoden  $em$  abhängig und wird wie folgt berechnet:

$$MK = \frac{am!}{(am - em)! * em!}$$

Die Anzahl der angebotenen Methoden  $am$  ist wiederum abhängig von den angebotenen Interfaces deren Typ-Konvertierungsvarianten im jeweiligen Durchlauf miteinander kombiniert wurden. Die Anzahl der Kombinationen von Typ-Konvertierungsvarianten innerhalb des Durchlaufs sei mit  $TK$  beschrieben. Der Wert für  $TK$  berechnet sich in Abhängigkeit von der Nummer des Durchlaufs  $d$  und der Anzahl der strukturell passenden angebotenen Interfaces  $n$  (siehe auch Abschnitt Explorationskomponente, 2. Stufe, 2. Kombination von Typ-Konvertierungsvarianten).

$$TK = \frac{n!}{(n - d)! * d!}$$

Da die Anzahl der angebotenen Methoden von System zu System schwanken kann, sei die Funktion  $am(TK)$  eine näherungsweise Darstellung von  $am$ , in Abhängigkeit von der Anzahl der kombinierten Typ-Konvertierungsvarianten  $TK$ .

Da durch die Heuristiken letztendlich Methoden-Konvertierungsvarianten aus der Suche herausfallen, wird die Anzahl der entsprechenden Methoden-Konvertierungsvarianten in dem jeweiligen Feld der Vier-Felder-Tafeln als Funktion  $mk(TK)$  dargestellt, die wie folgt definiert wird:

$$mk(TK) = \frac{am(TK)!}{(am(TK) - em)! * em!}$$

Tabelle 3 zeigt ein Beispiel für eine solche Vier-Felder-Tafel, in der die Ergebnisse des 1. Durchlauf des Explorationsalgorithmus dargestellt sind. Dabei wurden Methoden-Konvertierungsvarianten aus 10 Kombinationen von Typ-Konvertierungsvarianten erzeugt. Den Methoden-Konvertierungsvarianten, die nicht beachtet wurden, lagen insgesamt 20 Typ-Konvertierungsvarianten zugrunde. Weiterhin zeigt das Beispiel, dass es eine Kombination von Methoden-Konvertierungsvarianten gibt, aus der eine passende benötigte Komponente erzeugt werden konnte.

1	positiv	negativ
falsch	$mk(10)$	$mk(20)$
richtig	1	0

Tabelle 3: Beispiel: Vier-Felder-Tafel

## 5.1 Test-System

Wie bereits erwähnt werden im Test-System die 889 angebotenen Interfaces verwendet, die auch im Heiß-System verwendet werden. Darüber hinaus wurden noch 6 weitere angebotene Interfaces dem Test-System hinzugefügt, um bestimmte Konstellationen gezielt zu evaluieren. Die 6 erwarteten Interfaces wurden wie folgt deklariert (siehe Abbildungen 41-46).

<<interface>> <<expected>> <b>ElerFTFoerderprogrammeProvider</b>
+ <i>getAlleFreigegebenenFPs()</i> : <i>Collection&lt;ElerFTFoerderprogramm&gt;</i> + <i>getElerFTFoerderprogramm(jahr : DvAntragsJahr, fp : DvFoerderprogramm, date : Date) : ElerFTFoerderprogramm</i>

Abbildung 41: Erwartetes Interface: ElerFTFoerderprogrammeProvider

<<interface>> <<expected>> <b>FoerderprogrammeProvider</b>
+ <i>getAlleFreigegebenenFPs()</i> : <i>Collection&lt;Foerderprogramm&gt;</i> + <i>getFoerderprogramm(fp : DvFoerderprogramm, jahr : DvAntragsJahr, date : Date) : Foerderprogramm</i>

Abbildung 42: Erwartetes Interface: FoerderprogrammeProvider



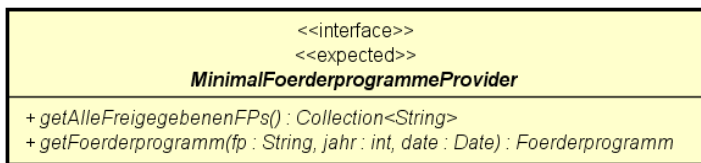


Abbildung 43: Erwartetes Interface: MinimalFoerderprogrammeProvider

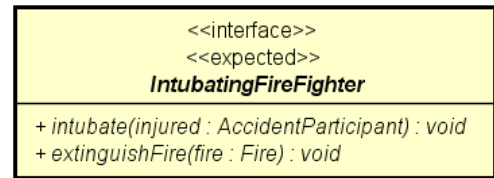


Abbildung 44: Erwartetes Interface: IntubatingFireFighter

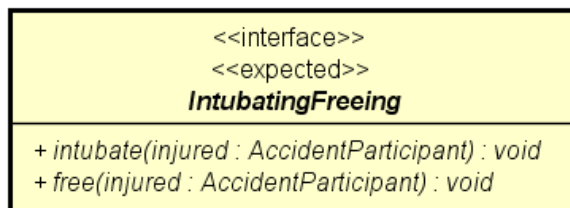


Abbildung 45: Erwartetes Interface: IntubatingFreeing

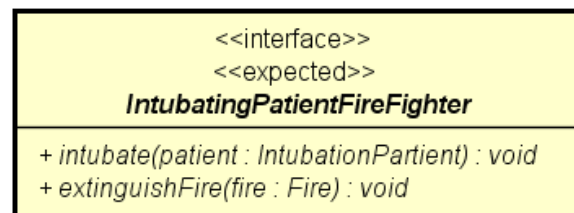


Abbildung 46: Erwartetes Interface: IntubatingPatientFireFighter

Im weiteren Verlauf werden die oben beschriebenen Interfaces durch die Kürzel in Tabelle 4 identifiziert.

<b>erwartetes Interface</b>	<b>Kürzel</b>
ElerFTFoerderprogrammeProvider	TEI1
FoerderprogrammeProvider	TEI2
MinimalFoerderprogrammeProvider	TEI3
IntubatingFireFighter	TEI4
IntubatingFreeing	TEI5
IntubatingPatientFireFighter	TEI6

Tabelle 4: Kürzel der erwarteten Interfaces

### 5.1.1 Type-Matcher Rating basierte Heuristiken

#### Ausgangspunkt

Für ein erwarteten Interfaces konnten mehrere angebotene Interfaces gefunden werden, die eine strukturelle Übereinstimmung aufwiesen. Tabelle 5 zeigt die Anzahl der strukturell übereinstimmenden angebotenen Interfaces je erwartetes Interface.

<b>erwartetes Interface</b>	<b>Anzahl strukturell übereinstimmender angebotener Interfaces</b>
TEI1	169
TEI2	179
TEI3	187
TEI4	62
TEI5	60
TEI6	33

Tabelle 5: Anzahl strukturell übereinstimmender angebotener Interfaces je erwartetes Interfaces

Die Tabellen 6-14 zeigen die Vier-Felder-Tafeln, in denen die Ergebnisse der benötigten Durchläufe des Explorationsalgorithmus für jedes der erwarteten Interfaces aus Tabelle 5. Dabei wurden keine Heuristiken verwendet. Somit stellt dies den Ausgangspunkt für die weitere Evaluation dar.

1	positiv	negativ
falsch	$mk(169)$	0
richtig	1	0

Tabelle 6: Ausgangspunkt  
Test-System TMR für TEI1

1	positiv	negativ
falsch	$mk(179)$	0
richtig	1	0

Tabelle 7: Ausgangspunkt  
Test-System TMR für TEI2

1	positiv	negativ
falsch	$mk(187)$	0
richtig	1	0

Tabelle 8: Ausgangspunkt  
Test-System TMR für TEI3

1	positiv	negativ
falsch	$mk(62)$	0
richtig	0	0

Tabelle 9: Ausgangspunkt  
Test-System TMR für TEI4  
1. Durchlauf

1	positiv	negativ
falsch	$mk(60)$	0
richtig	0	0

Tabelle 10: Ausgangspunkt  
Test-System TMR für TEI5 1.  
Durchlauf

1	positiv	negativ
falsch	$mk(33)$	0
richtig	0	0

Tabelle 11: Ausgangspunkt  
Test-System TMR für TEI6 1.  
Durchlauf

2	positiv	negativ
falsch	$mk(1891)$	0
richtig	1	0

Tabelle 12: Ausgangspunkt  
Test-System TMR für TEI4 2.  
Durchlauf

2	positiv	negativ
falsch	$mk(1770)$	0
richtig	1	0

Tabelle 13: Ausgangspunkt  
Test-System TMR für TEI5 2.  
Durchlauf

2	positiv	negativ
falsch	$mk(528)$	0
richtig	1	0

Tabelle 14: Ausgangspunkt  
Test-System TMR für TEI6 2.  
Durchlauf

Für die Interfaces TEI4 - TEI6 werden zwei Durchläufe benötigt, da die semantischen Test

nur von einer benötigten Komponente bestanden werden, die aus einer Kombination zweier Typ-Konvertierungsvarianten erzeugt wurde.

### **Ergebnisse TMR\_Quant**

Durch die Verwendung der Heuristik TMR\_Quant kann für die ersten 3 erwarteten Interfaces (TEI1 - TEI3) eine Verbesserung erzielt werden. Der Grund dafür ist, dass die benötigte Komponente, die letztendlich alle semantischen Tests besteht auf der Basis genau einer Typ-Konvertierungsvariante erzeugt wurde. Damit benötigt der Explorationsalgorithmus lediglich einen Durchlauf. TMR\_Quant sorgt dennoch dafür, dass die erzeugten Kombinationen von Typ-Konvertierungsvarianten im 2. Schritt reduziert werden, da solche, die ein quantitatives Type-Matcher Rating von  $\geq 100\%$  aufweisen nicht in die Ergebnismenge des 2. Schrittes einfließen. Die unten aufgeführten Tafeln zeigen die Auswirkung auf die ersten drei erwarteten Interfaces.

1	positiv	negativ
falsch	$mk(29)$	$mk(140)$
richtig	1	0

Tabelle 15: TMR\_Quant Test-System TMR für TEI1

1	positiv	negativ
falsch	$mk(22)$	$mk(157)$
richtig	1	0

Tabelle 16: TMR\_Quant Test-System TMR für TEI2

1	positiv	negativ
falsch	$mk(24)$	$mk(163)$
richtig	1	0

Tabelle 17: TMR\_Quant Test-System TMR für TEI3

Für die anderen erwarteten Interfaces (TEI4 - TEI6) kann durch diese Heuristik höchstens für den ersten Durchlauf eine Verbesserung erzielen. Die unteren Tafeln zeigen, dass sich diese Verbesserung nur auf die Ergebnisse bzgl. der erwarteten Interfaces TEI4 und TEI6 auswirkt.

1	positiv	negativ
falsch	$mk(30)$	$mk(32)$
richtig	0	0

Tabelle 18: TMR\_Quant Test-System TMR für TEI4

1	positiv	negativ
falsch	$mk(30)$	0
richtig	0	0

Tabelle 19: TMR\_Quant Test-System TMR für TEI5

1	positiv	negativ
falsch	$mk(31)$	$mk(2)$
richtig	0	0

Tabelle 20: TMR\_Quant Test-System TMR für TEI6

## Ergebnisse TMR\_Qual

Für die Heuristik TMR\_Qual gibt es drei Aspekte, deren Konfiguration zu unterschiedlichen Ergebnissen führen kann (siehe auch 4.1.2):

### Auswahl der Basiswerte

Die Basiswerte wurden bei den Untersuchungen konstant gelassen und sind der Tabelle 21 zu entnehmen.

Type-Matcher	Basiswert
ExactTypeMatcher	100
ExactTypeMatcher	200
WrappedTypeMatcher	300
StructuralTypeMatcher	400

Tabelle 21: Type-Matcher mit Basiswerten

### Auswahl der Akkumulationsverfahren

Das Akkumulationsverfahren für das qualitative Type-Matcher Rating einer Typ-Konvertierungsvariante  $TMR_{TK}$  ist von dem Type-Matcher Rating der verwendeten Type-Matcher abhängig. Das Akkumulationsverfahren für das qualitative Type-Matcher Rating einer Methoden-Konvertierungsvariante  $TMR_{MK}$  ist von dem qualitativen Type-Matcher Rating der verwendeten Type-Matcher für den Rückgabe- und den Parametertypen der Methode abhängig abhängig. Somit kann das qualitative Type-Matcher Rating als Funktion von einer Typ- bzw. Methoden-Konvertierungsvariante  $tmr_{Qual}(v)$  beschrieben werden. Das Type-Matcher Rating der verwendeten Type-Matcher wird als Funktion  $tmr_{Base}(m)$  beschrieben. Dabei stellt  $m$  den jeweiligen Type-Matcher dar. Die Funktion  $tmr_{Base}(m)$  ist durch die Tabelle 21 definiert.

Für einen Menge von Type-Matcher  $m_1, m_2, \dots, m_i$ , die zur Erzeugung einer Typ-Konvertierungsvariante bzw. Methoden-Konvertierungsvariante  $v$  verwendet wurden, werden folgende Akkumulationsverfahren für das Type-Matcher Rating der Typ-Konvertierungsvariante bzw. Methoden-Konvertierungsvariante im weiteren Verlauf evaluiert:

1. Wahl des Durchschnitts

$$tmr_{Qual}(v) = \frac{\sum_{n=1}^i tmr_{Base}(m_n)}{i}$$

2. Wahl des Maximums

$$tmr_{Qual}(v) = \max(tmr_{Base}(m_1), \dots, tmr_{Base}(m_i))$$

### 3. Wahl des Minimums

$$tmr_{Qual}(v) = \min(tmr_{Base}(m_1), \dots, tmr_{Base}(m_i))$$

### 4. Wahl des Durchschnitts aus Minimum und Maximum

$$tmr_{Qual}(v) = \frac{\min(tmr_{Base}(m_1), \dots, tmr_{Base}(m_i)) + \max(tmr_{Base}(m_1), \dots, tmr_{Base}(m_i))}{2}$$

Die folgenden Abschnitte stellen eine Auswahl der Ergebnisse hinsichtlich der Kombinationen der oben genannten Akkumulationsverfahren dar. Die Ergebnisse von Kombinationen, die nicht dargestellt wurden, sind mit den Ergebnissen einer der dargestellten Kombinationen gleichzusetzen. An entsprechender Stelle wird darauf verwiesen.

An den Überschriften der folgenden Abschnitte ist abzulesen, welche Akkumulationsverfahren miteinander kombiniert wurden. Dabei haben die Überschriften die Form “Typ: T Methoden: M”. “T” steht für die Nummer des Akkumulationsverfahrens, welches für die Typ-Konvertierungsvarianten verwendet wurde. “M” steht für die Nummer des Akkumulationsverfahrens, welches für die Methoden-Konvertierungsvarianten zum Einsatz kam.

Typ: 1 Methoden: 2

1	positiv	negativ
falsch	$mk(48)$	$mk(121)$
richtig	1	0

1	positiv	negativ
falsch	$mk(47)$	$mk(132)$
richtig	1	0

1	positiv	negativ
falsch	$mk(46)$	$mk(141)$
richtig	1	0

Tabelle 22: TMR\_Qual Test-System TMR für TEI1 mit 1-2

Tabelle 23: TMR\_Qual Test-System TMR für TEI2 mit 1-2

Tabelle 24: TMR\_Qual Test-System TMR für TEI3 mit 1-2

1	positiv	negativ
falsch	$mk(62)$	0
richtig	0	0

1	positiv	negativ
falsch	$mk(60)$	0
richtig	0	0

1	positiv	negativ
falsch	$mk(33)$	0
richtig	1	0

Tabelle 25: TMR\_Qual Test-System TMR für TEI4 mit 1-2  
1. Durchlauf

Tabelle 26: TMR\_Qual Test-System TMR für TEI5 mit 1-2  
1. Durchlauf

Tabelle 27: TMR\_Qual Test-System TMR für TEI6 mit 1-2  
1. Durchlauf

2	positiv	negativ
falsch	$mk(1)$	$mk(1890)$
richtig	1	0

2	positiv	negativ
falsch	$mk(1)$	$mk(1769)$
richtig	1	0

2	positiv	negativ
falsch	$mk(1)$	$mk(527)$
richtig	1	0

Tabelle 28: TMR\_Qual Test-System TMR für TEI4 mit 1-2  
2. Durchlauf

Tabelle 29: TMR\_Qual Test-System TMR für TEI5 mit 1-2  
2. Durchlauf

Tabelle 30: TMR\_Qual Test-System TMR für TEI6 mit 1-2  
2. Durchlauf



Typ: 3 Methoden: 2

1	positiv	negativ
falsch	$mk(49)$	$mk(120)$
richtig	1	0

Tabelle 31: TMR\_Qual Test-System TMR für TEI1 mit 3-2

1	positiv	negativ
falsch	$mk(49)$	$mk(130)$
richtig	1	0

Tabelle 32: TMR\_Qual Test-System TMR für TEI2 mit 3-2

1	positiv	negativ
falsch	$mk(48)$	$mk(139)$
richtig	1	0

Tabelle 33: TMR\_Qual Test-System TMR für TEI3 mit 3-2

1	positiv	negativ
falsch	$mk(62)$	0
richtig	0	0

Tabelle 34: TMR\_Qual Test-System TMR für TEI4 mit 3-2  
1. Durchlauf

1	positiv	negativ
falsch	$mk(60)$	0
richtig	0	0

Tabelle 35: TMR\_Qual Test-System TMR für TEI5 mit 3-2  
1. Durchlauf

1	positiv	negativ
falsch	$mk(33)$	0
richtig	1	0

Tabelle 36: TMR\_Qual Test-System TMR für TEI6 mit 3-2  
1. Durchlauf

2	positiv	negativ
falsch	$mk(1)$	$mk(1890)$
richtig	1	0

Tabelle 37: TMR\_Qual Test-System TMR für TEI4 mit 3-2  
2. Durchlauf

2	positiv	negativ
falsch	$mk(1)$	$mk(1769)$
richtig	1	0

Tabelle 38: TMR\_Qual Test-System TMR für TEI5 mit 3-2  
2. Durchlauf

2	positiv	negativ
falsch	$mk(1)$	$mk(527)$
richtig	1	0

Tabelle 39: TMR\_Qual Test-System TMR für TEI6 mit 3-2  
2. Durchlauf

Typ: 4 Methoden: 3

1	positiv	negativ
falsch	$mk(52)$	$mk(117)$
richtig	1	0

Tabelle 40: TMR\_Qual Test-System TMR für TEI1 mit 4-3

1	positiv	negativ
falsch	$mk(62)$	$mk(117)$
richtig	1	0

Tabelle 41: TMR\_Qual Test-System TMR für TEI2 mit 4-3

1	positiv	negativ
falsch	$mk(62)$	$mk(125)$
richtig	1	0

Tabelle 42: TMR\_Qual Test-System TMR für TEI3 mit 4-3

1	positiv	negativ
falsch	$mk(62)$	0
richtig	0	0

Tabelle 43: TMR\_Qual Test-System TMR für TEI4 mit 4-3  
1. Durchlauf

1	positiv	negativ
falsch	$mk(60)$	0
richtig	0	0

Tabelle 44: TMR\_Qual Test-System TMR für TEI5 mit 4-3  
1. Durchlauf

1	positiv	negativ
falsch	$mk(33)$	0
richtig	1	0

Tabelle 45: TMR\_Qual Test-System TMR für TEI6 mit 4-3  
1. Durchlauf

2	positiv	negativ
falsch	$mk(1891)$	0
richtig	1	0

Tabelle 46: TMR\_Qual Test-System TMR für TEI4 mit 4-3  
2. Durchlauf

2	positiv	negativ
falsch	$mk(1770)$	0
richtig	1	0

Tabelle 47: TMR\_Qual Test-System TMR für TEI5 mit 4-3  
2. Durchlauf

2	positiv	negativ
falsch	$mk(528)$	0
richtig	1	0

Tabelle 48: TMR\_Qual Test-System TMR für TEI6 mit 4-3  
2. Durchlauf

Die Tabelle 49 zeigt durch die Markierung mit einem “x”, welche Kombinationen der Akkumulationsverfahren hinsichtlich der Testergebnisse mit denen gleichzusetzen sind, die oben ausführlich aufgeführt wurden. Die Kombinationen werden in der Tabelle ähnlich wie in den vorherigen Überschriften beschrieben. Die Notation “1-4” beschreibt die Kombination des 1. Akkumulationsverfahrens für die Typ-Konvertierungsvarianten und den 4. Akkumulationsverfahrens für die Methoden-Konvertierungsvarianten.

<b>Kombination</b>	<b>1-2</b>	<b>3-2</b>	<b>4-3</b>
1-1	x		
1-3			x
1-4	x		
2-1	x		
2-2	x		
2-3			x
2-4	x		
3-1		x	
3-3			x
3-4		x	
4-1	x		
4-2	x		
4-4	x		

Tabelle 49: Kombinationen von Akkumulationsverfahren mit gleichen Ergebnissen

Aus diesen Ergebnissen lässt sich folgendes ableiten:

1. Das Akkumulationsverfahren Nummer 3. (Minimum) führt sowohl für die Typ- und Methoden-Konvertierungsvarianten zu schlechteren Ergebnissen als die anderen drei Akkumulationsverfahren. Es sollte daher für die Heuristik TMR\_Quant nicht verwendet werden.
2. Die Ergebnisse von 1-2 und 3-2 unterscheiden sich nur geringfügig, obwohl bei 3-2 das Akkumulationsverfahren Nummer 3. zum Einsatz kam. Dies konnte auch bei anderen Kombinationen festgestellt werden, bei denen das 3. Akkumulationsverfahren für die Akkumulation des Type-Matcher Ratings der Typ-Konvertierungsvariante verwendet wurde. Das lässt vermuten, dass die Beachtung des Type-Matcher Ratings einer ganzen

Typ-Konvertierungsvariante weitgehend unerheblich für die Heuristik TMR\_Quant ist. Dies ist jedoch darauf zurückzuführen, dass das Type-Matcher Rating je Methoden-Konvertierungsvariante die Parameter für die Ermittlung des Type-Matcher Ratings einer Typ-Konvertierungsvariante darstellen.

3. An den Ergebnissen zu den erwarteten Interfaces TEI4-TEI6 ist zu erkennen, dass die Heuristik TMR\_Quant keinen Einfluss auf den 1. Durchlauf hat. Daraus kann geschlossen werden, dass die Heuristik nur in dem Durchlauf einen Gewinn bringt, in dem auch eine passende benötigte Komponente gefunden werden kann.

Aufgrund der Ergebnisse stehen für die weitere Verwendung der Heuristik TMR\_Qual mehrere Kombinationen von Akkumulationsverfahren zur Auswahl. Die Entscheidung fällt aufgrund der etwas geringeren Komplexität auf die Kombination 1-2.

### TMR\_Quant und TMR\_Qual in Kombination

Bei der Kombination der beiden Heuristiken TMR\_Quant und TMR\_Qual ist vor allem für die erwarteten Interfaces TEI4-TEI6 zu erwarten, dass ein gegenseitiger positiver Einfluss der Heuristiken zu erkennen ist. Der Grund dafür ist, dass die Heuristik TMR\_Qual keinen Einfluss auf den ersten Durchlauf des Explorationsalgorithmus für diese erwarteten Interfaces hat, die Heuristik TMR\_Quant hingegen schon. Die Tabellen 50-58 zeigen wiederum die bekannten Vier-Felder-Tafeln für den jeweiligen Durchlauf und dem jeweiligen erwarteten Interface.

1	positiv	negativ
falsch	$mk(2)$	$mk(167)$
richtig	1	0

Tabelle 50: TMR\_Quant + TMR\_Qual Test-System TMR für TEI1

1	positiv	negativ
falsch	$mk(2)$	$mk(177)$
richtig	1	0

Tabelle 51: TMR\_Quant + TMR\_Qual Test-System TMR für TEI2

1	positiv	negativ
falsch	$mk(1)$	$mk(186)$
richtig	1	0

Tabelle 52: TMR\_Quant + TMR\_Qual Test-System TMR für TEI3

1	positiv	negativ
falsch	$mk(30)$	$mk(32)$
richtig	0	0

1	positiv	negativ
falsch	$mk(60)$	0
richtig	0	0

1	positiv	negativ
falsch	$mk(31)$	$mk(2)$
richtig	0	0

Tabelle 53: TMR\_Quant + TMR\_Qual Test-System TMR für TEI4 1. Durchlauf

Tabelle 54: TMR\_Quant + TMR\_Qual Test-System TMR für TEI5 1. Durchlauf

Tabelle 55: TMR\_Quant + TMR\_Qual Test-System TMR für TEI6 1. Durchlauf

1	positiv	negativ
falsch	$mk(1)$	$mk(1890)$
richtig	1	0

1	positiv	negativ
falsch	$mk(1)$	$mk(1769)$
richtig	1	0

1	positiv	negativ
falsch	$mk(1)$	$mk(527)$
richtig	1	0

Tabelle 56: TMR\_Quant + TMR\_Qual Test-System TMR für TEI4 2. Durchlauf

Tabelle 57: TMR\_Quant + TMR\_Qual Test-System TMR für TEI5 2. Durchlauf

Tabelle 58: TMR\_Quant + TMR\_Qual Test-System TMR für TEI6 2. Durchlauf

Wie an diesen Ergebnissen zu erkennen ist, wird der Explorationsalgorithmus für eine Suche nach einer passenden benötigten Komponente für TEI1 und TEI2 lediglich für zwei angebotene Interfaces bzw. Typ-Konvertierungsvarianten durchlaufen. In Bezug auf TEI3 ist es sogar nur noch eine Typ-Konvertierungsvariante.

Bei der Betrachtung der Ergebnisse für die erwarteten Interfaces TEI4-TEI6 zeigt sich gut, wie sich die beiden Heuristiken gegenseitig ergänzen. So wirkt die Heuristik TMR\_Quant grundsätzlich nur auf den ersten Durchlauf des Explorationsalgorithmus aus. Die Heuristik TMR\_Qual hingegen erweist ihre Stärke erst in dem Durchlauf, in dem auch eine passende benötigte Komponente gefunden wird.

Im Allgemeinen kann festgehalten werden, dass die passenden benötigten Komponenten trotz der Kombination der beiden Heuristiken gefunden werden konnten. Die Reduktion der notwendigen Durchläufe des Explorationsalgorithmus ist jedoch hauptsächlich auf die Heuristik TMR\_Qual zurückzuführen.

## **5.2 Heiß-System**

# A Beispiel-Implementierungen für die Type-Matcher

## A.1 Implementierungen der verwendeten Source- und Target-Typen

Um die Beispiel-Implementierungen der Matcher nachvollziehen zu können, ist es notwendig die Implementierung der darin verwendeten Klassen aufzuzeigen. Daher sind diese in Listings 4-7 aufgeführt. Dabei handelt es sich zum einen um die Implementierungen der Klassen, die in den Szenarien der Abschnitte 3.1.8 - 3.1.13 beschrieben wurden. Zum anderen handelt es sich um Implementierung weiterer Klassen, die in Szenarien verwendet werden, welche in den folgenden Abschnitten aufgeführt werden. Um einen Überblick zu gewährleisten, zeigt Abbildung 47 alle Typen auf, die in den Szenarien verwendet werden.

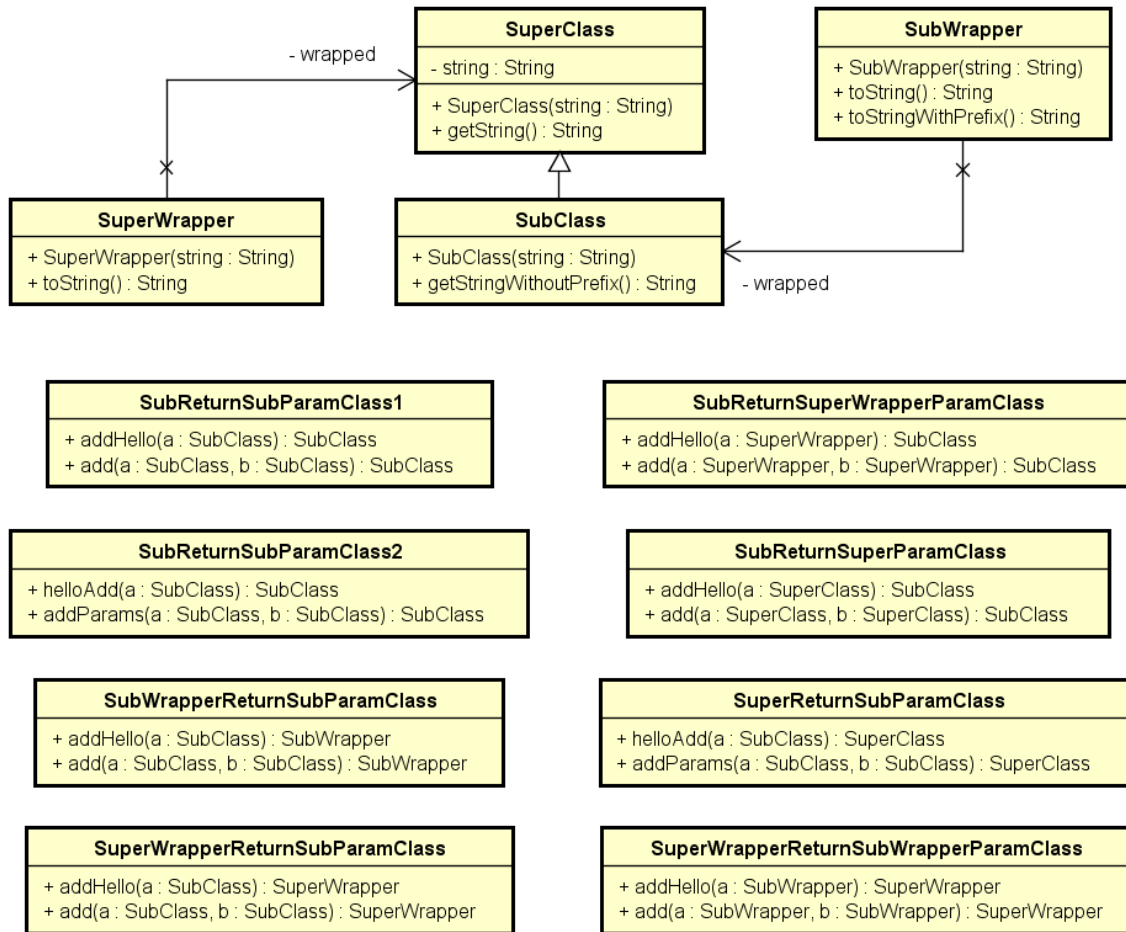


Abbildung 47: Alle Typen/Klassen, die in Matcher-Szenarien verwendet werden

#### Listing 4: Implementierung: SuperClass

```
public class SuperClass {  
  
    private String string;  
  
    public SuperClass( String string ) {  
        this.string = string;  
    }  
  
    public String getString() {  
        return string;  
    }  
}
```

#### Listing 5: Implementierung: SubClass

```
public class SubClass extends SuperClass {  
  
    public SubClass( String string ) {  
        super( "Sub" + string );  
    }  
  
    public String getStringWithoutPrefix() {  
        return getString().substring( 3 );  
    }  
}
```

#### Listing 6: Implementierung: SubWrapper

```
public class SubWrapper {  
  
    private SubClass wrapped;  
  
    public SubWrapper( String string ) {  
        this.wrapped = new SubClass( string );  
    }  
  
    @Override  
    public String toString() {  
        return "WRAPPED_" + this.wrapped.getStringWithoutPrefix();  
    }  
  
    public String toStringWithPrefix() {  
        return "WRAPPED_" + this.wrapped.getString();  
    }  
}
```



Listing 7: Implementierung: SuperWrapperReturnSubWrapperParamClass

```
public class SuperWrapperReturnSubWrapperParamClass {

    public SuperWrapper addHello( SubWrapper a ) {
        return new SuperWrapper( a.toString() + "hello" );
    }

    public SuperWrapper add( SubWrapper a, SubWrapper b ) {
        return new SuperWrapper( a.toString() + b.toString() );
    }
}
```

## A.2 Deklaration des Interfaces für die Type-Matcher

Die verwendeten Matcher implementieren alle dasselbe Interface, welches in Abbildung 48 dargestellt ist. Dieses Interface enthält drei Methoden. Alle Methoden erwarten sowohl den Source-Typen als auch den Target-Typen als Parameter.

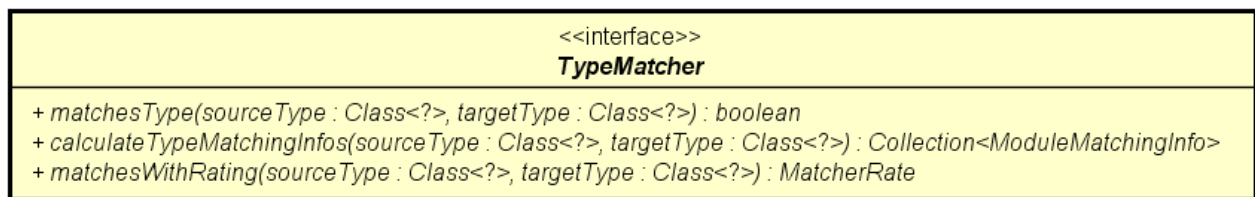


Abbildung 48: Interface TypeMatcher

Die Methoden matchesType und matchesWithRating setzen die Definition bzgl. der Übereinstimmung des jeweiligen Matchers um. Dabei ist zu erwähnen, dass über den Rückgabewert der Methode matchesType lediglich geschlussfolgert werden kann, ob die Übereinstimmung der beiden Typen festgestellt werden konnte<sup>5</sup>. Der Rückgabewert der Methode matchesWithRating liefert darüber hinaus auch weitere Informationen über das qualitative Type-Matcher Rating (siehe Abschnitt 4.1). Da dieses in den folgenden Beispielen irrelevant ist, wird diese Methode auch nicht verwendet.

<sup>5</sup>Die Rückgabe von true bedeutet, dass die Typen hinsichtlich des Type-Matchers übereinstimmen.

Die dritte Methode `calculateTypeMatchingInfos` liefert eine `Collection` von so genannten `ModuleMatchingInfos`. Diese `ModuleMatchingInfos` enthalten die Informationen, die für die Konvertierung bzw. Methodendelegation notwendig sind. In Bezug auf Abschnitt 3.1.14 handelt es sich bei diesen Objekten um die Typ-Konvertierungsvarianten.

### A.3 Beispiel für den `ExactTypeMatcher`

In Listing 8 ist die Implementierung eines JUnit-Tests aufgeführt, in dem das Matching über den `ExactTypeMatcher` für unterschiedliche Source- und Target-Typen nachgewiesen werden soll. Die Test-Methode `match` enthält dabei die Aufrufe, bei denen das Matching festgestellt werden kann. Dementsprechend enthält die Test-Methode `noMatch` die Aufrufe, bei denen das Matching fehlschlägt.

Listing 9 enthält die Implementierung für einen JUnit-Test, in dem die Konvertierung, die durch den `ExactTypeMatcher` beschrieben wird, nachgewiesen wird. Hierbei wird von dem Szenario aus 3.1.8 ausgegangen.

Listing 8: `ExactTypeMatcher` Matching Test

```
public class ExactTypeMatcher_MatcherTest {

    @Test
    public void match() {
        ExactTypeMatcher matcher = new ExactTypeMatcher();
        assertTrue( matcher.matchesType( String.class, String.class ) );
        assertTrue( matcher.matchesType( int.class, int.class ) );
        assertTrue( matcher.matchesType( Object.class, Object.class ) );
        assertTrue( matcher.matchesType( SuperClass.class, SuperClass.class ) );
    }

    @Test
    public void noMatch() {
        ExactTypeMatcher matcher = new ExactTypeMatcher();
        assertFalse( matcher.matchesType( String.class, int.class ) );
        assertFalse( matcher.matchesType( int.class, Object.class ) );
        assertFalse( matcher.matchesType( Object.class, String.class ) );
        assertFalse( matcher.matchesType( SuperClass.class, SubClass.class ) );
    }
}
```

### Listing 9: ExactTypeMatcher Konvertierung Test

```
public class ExactTypeMatcher_ConversionTest {

    @Test
    public void convertString() {
        SuperClass target = new SuperClass( "A" );
        Collection<ModuleMatchingInfo> matchingInfos = new
            ExactTypeMatcher().calculateTypeMatchingInfos( SuperClass.class,
                SuperClass.class );

        ModuleMatchingInfo moduleMatchingInfo = matchingInfos.iterator().next();

        ProxyFactory<SuperClass> proxyFactory = moduleMatchingInfo.getConverterCreator()
            .createProxyFactory( SuperClass.class );
        Collection<MethodMatchingInfo> methodMatchingInfos =
            moduleMatchingInfo.getMethodMatchingInfos();

        SuperClass source = proxyFactory.createProxy( target, methodMatchingInfos );

        assertTrue( source.getString().equals( "A" ) );
    }
}
```

## A.4 Beispiel für den GenTypeMatcher

Der GenTypeMatcher und der SpecTypeMatcher wurden gemeinsam implementiert. Daher wird in den folgenden Beispielen jeweils ein Matcher aus der Klasse GenSpecTypeMatcher erzeugt. Die weitere Verwendung der Matchers bezieht sich in diesen Beispielen aber auf die Definition des GenTypeMatchers aus 3.1.9.

In Listing 10 ist die Implementierung eines JUnit-Tests aufgeführt, in dem das Matching über den GenTypeMatcher für unterschiedliche Source- und Target-Typen nachgewiesen werden soll. Die Test-Methode match enthält dabei die Aufrufe, bei denen das Matching festgestellt werden kann. Dementsprechend enthält die Test-Methode noMatch die Aufrufe, bei denen das Matching fehlschlägt.

Listing 11 enthält die Implementierung für einen JUnit-Test, in dem die Konvertierung, die durch den GenTypeMatcher beschrieben wird, nachgewiesen wird. Hierbei wird von dem Sze-

nario aus 3.1.9 ausgegangen.

Listing 10: GenTypeMatcher Matching Test

```
public class GenSpecTypeMatcher_Gen_MatcherTest {

    @Test
    public void match() {
        GenSpecTypeMatcher matcher = new GenSpecTypeMatcher();
        assertTrue( matcher.matchesType( Object.class, String.class ) );
        assertTrue( matcher.matchesType( SuperClass.class, SubClass.class ) );
        assertTrue( matcher.matchesType( Number.class, Integer.class ) );
    }

    @Test
    public void noMatch() {
        GenSpecTypeMatcher matcher = new GenSpecTypeMatcher();
        assertFalse( matcher.matchesType( int.class, String.class ) );
    }
}
```

Listing 11: GenTypeMatcher Konvertierung Test

```
public class GenSpecTypeMatcher_Gen_ConversionTest {

    @Test
    public void convertSpec2Gen() {
        SubClass target = new SubClass( "A" );
        Collection<ModuleMatchingInfo> matchingInfos = new
            GenSpecTypeMatcher().calculateTypeMatchingInfos(
                SuperClass.class, SubClass.class );

        ModuleMatchingInfo moduleMatchingInfo = matchingInfos.iterator().next();

        ProxyFactory<SuperClass> proxyFactory = moduleMatchingInfo.getConverterCreator()
            .createProxyFactory( SuperClass.class );
        Collection<MethodMatchingInfo> methodMatchingInfos =
            moduleMatchingInfo.getMethodMatchingInfos();

        SuperClass source = proxyFactory.createProxy( target, methodMatchingInfos );

        assertTrue( source.getString().equals( "SubA" ) );
    }
}
```

## A.5 Beispiel für den SpecTypeMatcher

Wie in 3.1.9 bereits erwähnt wurde der GenTypeMatcher gemeinsam mit dem SpecTypeMatcher implementiert. Daher wird in den folgenden Beispielen jeweils ein Matcher aus der Klasse GenSpecTypeMatcher erzeugt. Die weitere Verwendung den Matchers bezieht sich in diesen Beispielen aber auf die Definition des SpecTypeMatcher aus 3.1.10.

In Listing 12 ist die Implementierung eines JUnit-Tests aufgeführt, in dem das Matching über den SpecTypeMatcher für unterschiedliche Source- und Target-Typen nachgewiesen werden soll. Die Test-Methode match enthält dabei die Aufrufe, bei denen das Matching festgestellt werden kann. Dementsprechend enthält die Test-Methode noMatch die Aufrufe, bei denen das Matching fehlschlägt.

Listing 13 enthält die Implementierung für einen JUnit-Test, in dem die Konvertierung, die durch den SpecTypeMatcher beschrieben wird, nachgewiesen wird. Hierbei wird von dem Szenario aus 3.1.10 ausgegangen. Die Test-Methode convertGen2Spec\_positivCall enthält den Aufruf der ersten Methoden aus dem Szenario (getString). Die Test-Methoden convertGen2Spec\_negativeCall beinhaltet den fehlschlagenden Aufruf der Methode getStringWithoutPrefix.

Listing 12: SpecTypeMatcher Matching Test

```
public class GenSpecTypeMatcher_Spec_MatcherTest {

    @Test
    public void match() {
        GenSpecTypeMatcher matcher = new GenSpecTypeMatcher();
        assertTrue( matcher.matchesType( String.class, Object.class ) );
        assertTrue( matcher.matchesType( SubClass.class, SuperClass.class ) );
        assertTrue( matcher.matchesType( Integer.class, Number.class ) );
    }

    @Test
    public void noMatch() {
        GenSpecTypeMatcher matcher = new GenSpecTypeMatcher();
        assertFalse( matcher.matchesType( int.class, String.class ) );
    }
}
```

### Listing 13: SpecTypeMatcher Konvertierung Test

```
public class GenSpecTypeMatcher_Spec_ConversionTest {

    @Test
    public void convertGen2Spec_positivCall() {
        SuperClass offeredComponent = new SuperClass( "A" );
        Collection<ModuleMatchingInfo> matchingInfos = new
            GenSpecTypeMatcher().calculateTypeMatchingInfos(
                SubClass.class, SuperClass.class );
        ModuleMatchingInfo moduleMatchingInfo = matchingInfos.iterator().next();

        ProxyFactory<SubClass> proxyFactory =
            moduleMatchingInfo.getConverterCreator().createProxyFactory( SubClass.class
            );
        Collection<MethodMatchingInfo> methodMatchingInfos =
            moduleMatchingInfo.getMethodMatchingInfos();
        SubClass proxy = proxyFactory.createProxy( offeredComponent, methodMatchingInfos
            );

        assertTrue( proxy.getString().equals( "A" ) );
    }

    @Test( expected = SigMaGlueException.class )
    public void convertGen2Spec_negativeCall() {
        SuperClass offeredComponent = new SuperClass( "A" );
        Collection<ModuleMatchingInfo> matchingInfos = new
            GenSpecTypeMatcher().calculateTypeMatchingInfos(
                SubClass.class, SuperClass.class );
        ModuleMatchingInfo moduleMatchingInfo = matchingInfos.iterator().next();

        ProxyFactory<SubClass> proxyFactory =
            moduleMatchingInfo.getConverterCreator().createProxyFactory( SubClass.class
            );
        Collection<MethodMatchingInfo> methodMatchingInfos =
            moduleMatchingInfo.getMethodMatchingInfos();
        SubClass proxy = proxyFactory.createProxy( offeredComponent, methodMatchingInfos
            );

        assertTrue( proxy.getString().equals( "A" ) );
        proxy.getStringWithoutPrefix();
    }
}
```

## A.6 Beispiel für den `WrappedTypeMatcher`

Der `WrappedTypeMatcher` und der `WrapperTypeMatcher` wurden gemeinsam implementiert. Daher wird in den folgenden Beispielen jeweils ein `Matcher` aus der Klasse `WrappedTypeMatcher` erzeugt. Die weitere Verwendung der `Matchers` bezieht sich in diesen Beispielen aber auf die Definition des `WrappedTypeMatcher` aus 3.1.11.

In Listing 14 ist die Implementierung eines JUnit-Tests aufgeführt, in dem das Matching über den `WrappedTypeMatcher` für unterschiedliche Source- und Target-Typen nachgewiesen werden soll. Die Test-Methoden mit dem Präfix `match` enthalten dabei die Aufrufe, bei denen das Matching festgestellt werden kann. Dementsprechend enthält die Test-Methode `noMatch` die Aufrufe, bei denen das Matching fehlschlägt.

Listing 15 enthält die Implementierung für einen JUnit-Test, in dem die Konvertierung, die durch den `WrappedTypeMatcher` beschrieben wird, nachgewiesen werden soll. In der Test-Methode `convertSubWrapper2SubClass` wird von dem Szenario aus 3.1.11 ausgegangen. Die anderen Test-Methoden stellen weitere Szenarien dar, die in den folgenden Unterabschnitten beschrieben werden.

#### Listing 14: WrappedTypeMatcher Matching Test

```
public class WrappedTypeMatcher_Wrapped_MatcherTest {

    private WrappedTypeMatcher matcher = new WrappedTypeMatcher(
        MatcherCombiner.combine( new ExactTypeMatcher(), new GenSpecTypeMatcher() ) );

    @Test
    public void match() {
        assertTrue( matcher.matchesType( boolean.class, Boolean.class ) );
        assertTrue( matcher.matchesType( int.class, Integer.class ) );
    }

    @Test
    public void match_wrapped_exact() {
        assertTrue( matcher.matchesType( SubClass.class, SubWrapper.class ) );
    }

    @Test
    public void match_wrapped_spec() {
        assertTrue( matcher.matchesType( SubClass.class, SuperWrapper.class ) );
    }

    @Test
    public void match_wrapped_gen() {
        assertTrue( matcher.matchesType( SuperClass.class, SubWrapper.class ) );
    }

    @Test
    public void noMatch() {
        assertFalse( matcher.matchesType( String.class, String.class ) );
    }
}
```



## Listing 15: WrappedTypeMatcher Konvertierung Test

```
public class WrappedTypeMatcher_Wrapped_ConversionTest {

    private WrappedTypeMatcher matcher = new WrappedTypeMatcher(
        MatcherCombiner.combine( new ExactTypeMatcher(), new GenSpecTypeMatcher() ) );

    @Test
    public void convertSubWrapper2SubClass() {
        SubWrapper offeredComponent = new SubWrapper( "A" );
        Collection<ModuleMatchingInfo> matchingInfos =
            matcher.calculateTypeMatchingInfos(
                SubClass.class, SubWrapper.class );

        ModuleMatchingInfo moduleMatchingInfo = matchingInfos.iterator().next();

        ProxyFactory<SubClass> proxyFactory = moduleMatchingInfo.getConverterCreator()
            .createProxyFactory( SubClass.class );
        Collection<MethodMatchingInfo> methodMatchingInfos =
            moduleMatchingInfo.getMethodMatchingInfos();

        SubClass proxy = proxyFactory.createProxy( offeredComponent, methodMatchingInfos
            );

        assertTrue( proxy.getString().equals( "SubA" ) );
        assertTrue( proxy.getStringWithoutPrefix().equals( "A" ) );
    }

    @Test
    public void convertSuperWrapper2SubClass_positiveCall() {
        SuperWrapper offeredComponent = new SuperWrapper( "A" );
        Collection<ModuleMatchingInfo> matchingInfos =
            matcher.calculateTypeMatchingInfos(
                SubClass.class, SuperWrapper.class );

        ModuleMatchingInfo moduleMatchingInfo = matchingInfos.iterator().next();

        ProxyFactory<SubClass> proxyFactory = moduleMatchingInfo.getConverterCreator()
            .createProxyFactory( SubClass.class );
        Collection<MethodMatchingInfo> methodMatchingInfos =
            moduleMatchingInfo.getMethodMatchingInfos();

        SubClass proxy = proxyFactory.createProxy( offeredComponent, methodMatchingInfos
            );

        assertTrue( proxy.getString().equals( "A" ) );
    }
}
```

```

}

@Test( expected = SigMaGlueException.class )
public void convertSuperWrapper2SubClass_negativeCall() {
    SuperWrapper offeredComponent = new SuperWrapper( "A" );
    Collection<ModuleMatchingInfo> matchingInfos =
        matcher.calculateTypeMatchingInfos(
            SubClass.class, SuperWrapper.class );

    ModuleMatchingInfo moduleMatchingInfo = matchingInfos.iterator().next();

    ProxyFactory<SubClass> proxyFactory = moduleMatchingInfo.getConverterCreator()
        .createProxyFactory( SubClass.class );
    Collection<MethodMatchingInfo> methodMatchingInfos =
        moduleMatchingInfo.getMethodMatchingInfos();

    SubClass proxy = proxyFactory.createProxy( offeredComponent, methodMatchingInfos
        );
    proxy.getStringWithoutPrefix();
}

@Test
public void convertSubWrapper2SuperClass() {
    SubWrapper offeredComponent = new SubWrapper( "A" );
    Collection<ModuleMatchingInfo> matchingInfos =
        matcher.calculateTypeMatchingInfos(
            SuperClass.class, SubWrapper.class );

    ModuleMatchingInfo moduleMatchingInfo = matchingInfos.iterator().next();

    ProxyFactory<SuperClass> proxyFactory = moduleMatchingInfo.getConverterCreator()
        .createProxyFactory( SuperClass.class );
    Collection<MethodMatchingInfo> methodMatchingInfos =
        moduleMatchingInfo.getMethodMatchingInfos();

    SuperClass proxy = proxyFactory.createProxy( offeredComponent,
        methodMatchingInfos );

    assertTrue( proxy.getString().equals( "SubA" ) );
}
}

```

## A.7 Beispiel für den WrapperTypeMatcher

Wie bereits im vorherigen Abschnitt erwähnt wurden der `WrappedTypeMatcher` und der `WrapperTypeMatcher` gemeinsam implementiert. Daher wird in den folgenden Beispielen jeweils ein `Matcher` aus der Klasse `WrappedTypeMatcher` erzeugt. Die weitere Verwendung der `Matchers` bezieht sich in diesen Beispielen aber auf die Definition des `WrapperTypeMatcher` aus 3.1.12.

In Listing 16 ist die Implementierung eines JUnit-Tests aufgeführt, in dem das Matching über den `WrapperTypeMatcher` für unterschiedliche Source- und Target-Typen nachgewiesen werden soll. Die Test-Methoden mit dem Präfix `match` enthalten dabei die Aufrufe, bei denen das Matching festgestellt werden kann. Dementsprechend enthält die Test-Methode `noMatch` die Aufrufe, bei denen das Matching fehlschlägt.

Listing 17 enthält die Implementierung für einen JUnit-Test, in dem die Konvertierung, die durch den `WrapperTypeMatcher` beschrieben wird, nachgewiesen wird. In der Test-Methode `convertSubClass2SubWrapper` wird von dem Szenario aus 3.1.12 ausgegangen. Die anderen Test-Methoden stellen weitere Szenarien dar, die in den folgenden Unterabschnitten beschrieben werden.

### Listing 16: WrapperTypeMatcher Matching Test

```
public class WrappedTypeMatcher_Wrapper_MatcherTest {

    private WrappedTypeMatcher matcher = new WrappedTypeMatcher(
        MatcherCombiner.combine( new ExactTypeMatcher(), new GenSpecTypeMatcher() ) );

    @Test
    public void match() {
        assertTrue( matcher.matchesType( Boolean.class, boolean.class ) );
        assertTrue( matcher.matchesType( Integer.class, int.class ) );
    }

    @Test
    public void match_wrapped_exact() {
        assertTrue( matcher.matchesType( SubWrapper.class, SubClass.class ) );
    }

    @Test
    public void match_wrapped_spec() {
        assertTrue( matcher.matchesType( SuperWrapper.class, SubClass.class ) );
    }

    @Test
    public void match_wrapped_gen() {
        assertTrue( matcher.matchesType( SubWrapper.class, SuperClass.class ) );
    }

    @Test
    public void noMatch() {
        assertFalse( matcher.matchesType( String.class, String.class ) );
    }
}
```

## Listing 17: WrapperTypeMatcher Konvertierung Test

```
public class WrappedTypeMatcher_Wrapper_ConversionTest {

    private WrappedTypeMatcher matcher = new WrappedTypeMatcher(
        MatcherCombiner.combine( new ExactTypeMatcher(), new GenSpecTypeMatcher() ) );

    @Test
    public void convertSubClass2SubWrapper() {
        SubClass offeredComponent = new SubClass( "A" );
        Collection<ModuleMatchingInfo> matchingInfos =
            matcher.calculateTypeMatchingInfos(
                SubWrapper.class, SubClass.class );

        ModuleMatchingInfo moduleMatchingInfo = matchingInfos.iterator().next();

        ProxyFactory<SubWrapper> proxyFactory = moduleMatchingInfo.getConverterCreator()
            .createProxyFactory( SubWrapper.class );
        Collection<MethodMatchingInfo> methodMatchingInfos =
            moduleMatchingInfo.getMethodMatchingInfos();

        SubWrapper proxy = proxyFactory.createProxy( offeredComponent,
            methodMatchingInfos );

        assertTrue( proxy.toString().equals( "WRAPPED_A" ) );
        assertTrue( proxy.toStringWithPrefix().equals( "WRAPPED_SubA" ) );
    }

    @Test
    public void convertSuperWrapper2SubClass() {
        SubClass offeredComponent = new SubClass( "A" );
        Collection<ModuleMatchingInfo> matchingInfos =
            matcher.calculateTypeMatchingInfos(
                SuperWrapper.class, SubClass.class );

        ModuleMatchingInfo moduleMatchingInfo = matchingInfos.iterator().next();

        ProxyFactory<SuperWrapper> proxyFactory =
            moduleMatchingInfo.getConverterCreator()
                .createProxyFactory( SuperWrapper.class );
        Collection<MethodMatchingInfo> methodMatchingInfos =
            moduleMatchingInfo.getMethodMatchingInfos();

        SuperWrapper proxy = proxyFactory.createProxy( offeredComponent,
            methodMatchingInfos );
    }
}
```

```

        assertTrue( proxy.toString().equals( "WRAPPED_SubA" ) );
        assertFalse( proxy.hashCode() == offeredComponent.hashCode() );
    }

    @Test
    public void convertSubWrapper2SuperClass_positiveCall() {
        SuperClass offeredComponent = new SuperClass( "A" );
        Collection<ModuleMatchingInfo> matchingInfos =
            matcher.calculateTypeMatchingInfos(
                SubWrapper.class, SuperClass.class );

        ModuleMatchingInfo moduleMatchingInfo = matchingInfos.iterator().next();

        ProxyFactory<SubWrapper> proxyFactory = moduleMatchingInfo.getConverterCreator()
            .createProxyFactory( SubWrapper.class );
        Collection<MethodMatchingInfo> methodMatchingInfos =
            moduleMatchingInfo.getMethodMatchingInfos();

        SubWrapper proxy = proxyFactory.createProxy( offeredComponent,
            methodMatchingInfos );

        assertTrue( proxy.toStringWithPrefix().equals( "WRAPPED_A" ) );
        assertFalse( proxy.hashCode() == offeredComponent.hashCode() );
    }

    @Test( expected = SigMaGlueException.class )
    public void convertSubWrapper2SuperClass_negativeCall() {
        SuperClass offeredComponent = new SuperClass( "A" );
        Collection<ModuleMatchingInfo> matchingInfos =
            matcher.calculateTypeMatchingInfos(
                SubWrapper.class, SuperClass.class );
        ModuleMatchingInfo moduleMatchingInfo = matchingInfos.iterator().next();

        ProxyFactory<SubWrapper> proxyFactory = moduleMatchingInfo.getConverterCreator()
            .createProxyFactory( SubWrapper.class );
        Collection<MethodMatchingInfo> methodMatchingInfos =
            moduleMatchingInfo.getMethodMatchingInfos();

        SubWrapper proxy = proxyFactory.createProxy( offeredComponent,
            methodMatchingInfos );

        proxy.toString().equals( "WRAPPED_A" );
    }
}

```

## A.8 Beispiel für den StructuralTypeMatcher

In Listing 18 ist die Implementierung eines JUnit-Tests aufgeführt, in dem das Matching über den StructuralTypeMatcher für unterschiedliche Source- und Target-Typen nachgewiesen werden soll. Alle Test-Methoden enthalten Aufrufe, bei denen das Matching festgestellt werden kann. Die Test-Methode `match_genReturn_specParam` bezieht sich auf das Szenario aus 3.1.12. Da es für jedes Paar von Source- und Target-Typ mehrere Möglichkeiten zur Feststellung der strukturellen Gleichheit gibt, wird die Evaluation der Testfälle in einer Schleife über diese Möglichkeiten durchgeführt.

Listing 19 enthält die Implementierung für einen JUnit-Test, in dem die Konvertierung, die durch den StructTypeMatcher beschrieben wird, nachgewiesen wird. Die Test-Methode `convert_genReturn_specParam` bezieht sich dabei auf das Szenario aus 3.1.13. Die anderen Test-Methoden stellen weitere Szenarien dar, die in den folgenden Unterabschnitten beschrieben werden.

In beiden Fällen wurde von einem StructuralTypeMatcher ausgegangen, der als internen Type-Matcher eine Kombination aus den zuvor genannten Matchern verwendet.

## Listing 18: StructTypeMatcher Matching Test

```
public class StructuralTypeMatcher_MatcherTest {

    private StructuralTypeMatcher matcher = new StructuralTypeMatcher(
        MatcherCombiner.combine( new ExactTypeMatcher(), new GenSpecTypeMatcher(),
            new WrappedTypeMatcher( MatcherCombiner.combine( new ExactTypeMatcher(),
                new GenSpecTypeMatcher() ) ) ) );

    @Test
    public void match_exactReturn_exactParam() {
        assertTrue( matcher.matchesType( SubReturnSubParamClass1.class,
            SubReturnSubParamClass2.class ) );
    }

    @Test
    public void match_exactReturn_genParam() {
        assertTrue( matcher.matchesType( SubReturnSuperParamClass.class,
            SubReturnSubParamClass1.class ) );
    }

    @Test
    public void match_exactReturn_specParam() {
        assertTrue( matcher.matchesType( SubReturnSubParamClass1.class,
            SubReturnSuperParamClass.class ) );
    }

    @Test
    public void match_genReturn_specParam() {
        assertTrue( matcher.matchesType( SuperReturnSubParamClass.class,
            SubReturnSuperParamClass.class ) );
    }

    @Test
    public void match_specReturn_genParam() {
        assertTrue( matcher.matchesType( SubReturnSuperParamClass.class,
            SuperReturnSubParamClass.class ) );
    }

    @Test
    public void match_specReturn_wrapperGenParam() {
        assertTrue( matcher.matchesType( SubReturnSuperWrapperParamClass.class,
            SuperReturnSubParamClass.class ) );
    }

    @Test
```



```

public void match_wrapperGenReturn_specParam() {
    assertTrue( matcher.matchesType( SuperWrapperReturnSubParamClass.class,
        SubReturnSuperParamClass.class ) );
}

@Test
public void match_wrapperGenReturn_wrapperSpecParam() {
    assertTrue( matcher.matchesType( SuperWrapperReturnSubWrapperParamClass.class,
        SubReturnSuperParamClass.class ) );
}

@Test
public void match_wrapperSpecReturn_wrapperExactParam() {
    assertTrue( matcher.matchesType( SubWrapperReturnSubParamClass.class,
        SuperReturnSubParamClass.class ) );
}
}

```

## Listing 19: StructuralTypeMatcher Konvertierung Test

```

public class StructuralTypeMatcher_ConversionTest {

    private StructuralTypeMatcher matcher = new StructuralTypeMatcher(
        MatcherCombiner.combine( new ExactTypeMatcher(), new GenSpecTypeMatcher(),
            new WrappedTypeMatcher( MatcherCombiner.combine( new ExactTypeMatcher(),
                new GenSpecTypeMatcher() ) ) ) );

    @Test
    public void convert_exactReturn_exactParam() {
        SubReturnSubParamClass2 offeredComponent = new SubReturnSubParamClass2();
        Collection<ModuleMatchingInfo> matchingInfos =
            matcher.calculateTypeMatchingInfos( SubReturnSubParamClass1.class,
                SubReturnSubParamClass2.class );

        for ( ModuleMatchingInfo moduleMatchingInfo : matchingInfos ) {
            ProxyFactory<SubReturnSubParamClass1> proxyFactory =
                moduleMatchingInfo.getConverterCreator()
                    .createProxyFactory( SubReturnSubParamClass1.class );
            Collection<MethodMatchingInfo> methodMatchingInfos =
                moduleMatchingInfo.getMethodMatchingInfos();

            SubReturnSubParamClass1 proxy = proxyFactory.createProxy( offeredComponent,
                methodMatchingInfos );

            SubClass param1 = new SubClass( "A" );
            SubClass param2 = new SubClass( "B" );
            assertTrue( proxy.addHello( param1 ).getString().equals( "SubSubAhello" ) );
            assertTrue( proxy.addHello( param1 ).getStringWithoutPrefix().equals(
                "SubAhello" ) );
            assertTrue( proxy.add( param1, param2 ).getString().equals( "SubSubASubB" ) );
            assertTrue( proxy.add( param1, param2 ).getStringWithoutPrefix().equals(
                "SubASubB" ) );
        }
    }

    @Test
    public void convert_exactReturn_genParam() {
        SubReturnSubParamClass1 offeredComponent = new SubReturnSubParamClass1();
        Collection<ModuleMatchingInfo> matchingInfos =
            matcher.calculateTypeMatchingInfos( SubReturnSuperParamClass.class,
                SubReturnSubParamClass1.class );
        for ( ModuleMatchingInfo moduleMatchingInfo : matchingInfos ) {
            ProxyFactory<SubReturnSuperParamClass> proxyFactory =
                moduleMatchingInfo.getConverterCreator()

```

```

        .createProxyFactory( SubReturnSuperParamClass.class );
Collection<MethodMatchingInfo> methodMatchingInfos =
    moduleMatchingInfo.getMethodMatchingInfos();

SubReturnSuperParamClass proxy = proxyFactory.createProxy( offeredComponent,
    methodMatchingInfos );

SuperClass param1 = new SuperClass( "A" );
SuperClass param2 = new SuperClass( "B" );
assertTrue( proxy.addHello( param1 ).getString().equals( "SubAhello" ) );
assertTrue( proxy.addHello( param1 ).getStringWithoutPrefix().equals( "Ahello"
    ) );
assertTrue( proxy.add( param1, param2 ).getString().equals( "SubAB" ) );
assertTrue( proxy.add( param1, param2 ).getStringWithoutPrefix().equals( "AB"
    ) );
    }
}

@Test
public void convert_exactReturn_specParam() {
    SubReturnSuperParamClass offeredComponent = new SubReturnSuperParamClass();
    Collection<ModuleMatchingInfo> matchingInfos =
        matcher.calculateTypeMatchingInfos( SubReturnSubParamClass1.class,
            SubReturnSuperParamClass.class );
    for ( ModuleMatchingInfo moduleMatchingInfo : matchingInfos ) {
        ProxyFactory<SubReturnSubParamClass1> proxyFactory =
            moduleMatchingInfo.getConverterCreator()
                .createProxyFactory( SubReturnSubParamClass1.class );
        Collection<MethodMatchingInfo> methodMatchingInfos =
            moduleMatchingInfo.getMethodMatchingInfos();

        SubReturnSubParamClass1 proxy = proxyFactory.createProxy( offeredComponent,
            methodMatchingInfos );

        SubClass param1 = new SubClass( "A" );
        SubClass param2 = new SubClass( "B" );
        assertTrue( proxy.addHello( param1 ).getString().equals( "SubSubAhello" ) );
        assertTrue( proxy.addHello( param1 ).getStringWithoutPrefix().equals(
            "SubAhello" ) );
        assertTrue( proxy.add( param1, param2 ).getString().equals( "SubSubASubB" ) );
        assertTrue( proxy.add( param1, param2 ).getStringWithoutPrefix().equals(
            "SubASubB" ) );
    }
}

```

```

@Test
public void convert_genReturn_specParam() {
    SubReturnSuperParamClass offeredComponent = new SubReturnSuperParamClass();
    Collection<ModuleMatchingInfo> matchingInfos =
        matcher.calculateTypeMatchingInfos( SuperReturnSubParamClass.class,
            SubReturnSuperParamClass.class );
    for ( ModuleMatchingInfo moduleMatchingInfo : matchingInfos ) {
        ProxyFactory<SuperReturnSubParamClass> proxyFactory =
            moduleMatchingInfo.getConverterCreator()
                .createProxyFactory( SuperReturnSubParamClass.class );
        Collection<MethodMatchingInfo> methodMatchingInfos =
            moduleMatchingInfo.getMethodMatchingInfos();

        SuperReturnSubParamClass proxy = proxyFactory.createProxy( offeredComponent,
            methodMatchingInfos );

        SubClass param1 = new SubClass( "A" );
        SubClass param2 = new SubClass( "B" );
        assertTrue( proxy.helloAdd( param1 ).getString().equals( "helloSubA" ) );
        assertTrue( proxy.addParams( param1, param2 ).getString().equals( "SubASubB" ) );
    }
}

@Test
public void convert_specReturn_genParam() {
    SuperReturnSubParamClass offeredComponent = new SuperReturnSubParamClass();
    Collection<ModuleMatchingInfo> matchingInfos =
        matcher.calculateTypeMatchingInfos( SubReturnSuperParamClass.class,
            SuperReturnSubParamClass.class );
    for ( ModuleMatchingInfo moduleMatchingInfo : matchingInfos ) {
        ProxyFactory<SubReturnSuperParamClass> proxyFactory =
            moduleMatchingInfo.getConverterCreator()
                .createProxyFactory( SubReturnSuperParamClass.class );
        Collection<MethodMatchingInfo> methodMatchingInfos =
            moduleMatchingInfo.getMethodMatchingInfos();

        SubReturnSuperParamClass proxy = proxyFactory.createProxy( offeredComponent,
            methodMatchingInfos );

        SuperClass param1 = new SuperClass( "A" );
        SuperClass param2 = new SuperClass( "B" );
        assertTrue( proxy.addHello( param1 ).getString().equals( "SubAhello" ) );
        assertTrue( proxy.addHello( param1 ).getStringWithoutPrefix().equals( "Ahello" ) );
    }
}

```

```

        assertTrue( proxy.add( param1, param2 ).getString().equals( "SubAB" ) );
        assertTrue( proxy.add( param1, param2 ).getStringWithoutPrefix().equals( "AB"
            ) );
    }

}

@Test
public void convert_specReturn_wrapperGenParam() {
    SuperReturnSubParamClass offeredComponent = new SuperReturnSubParamClass();
    Collection<ModuleMatchingInfo> matchingInfos =
        matcher.calculateTypeMatchingInfos(
            SubReturnSuperWrapperParamClass.class,
            SuperReturnSubParamClass.class );
    for ( ModuleMatchingInfo moduleMatchingInfo : matchingInfos ) {
        ProxyFactory<SubReturnSuperWrapperParamClass> proxyFactory =
            moduleMatchingInfo.getConverterCreator()
                .createProxyFactory( SubReturnSuperWrapperParamClass.class );
        Collection<MethodMatchingInfo> methodMatchingInfos =
            moduleMatchingInfo.getMethodMatchingInfos();

        SubReturnSuperWrapperParamClass proxy = proxyFactory.createProxy(
            offeredComponent, methodMatchingInfos );

        SuperWrapper param1 = new SuperWrapper( "A" );
        SuperWrapper param2 = new SuperWrapper( "B" );
        assertTrue( proxy.addHello( param1 ).getString().equals( "SubWRAPPED_Ahello" )
            );
        assertTrue( proxy.addHello( param1 ).getStringWithoutPrefix().equals(
            "WRAPPED_Ahello" ) );
        assertTrue( proxy.add( param1, param2 ).getString().equals(
            "SubWRAPPED_AWRAPPED_B" ) );
        assertTrue( proxy.add( param1, param2 ).getStringWithoutPrefix().equals(
            "WRAPPED_AWRAPPED_B" ) );
    }
}

@Test
public void convert_wrapperGenReturn_specParam() {
    SubReturnSuperParamClass offeredComponent = new SubReturnSuperParamClass();
    Collection<ModuleMatchingInfo> matchingInfos =
        matcher.calculateTypeMatchingInfos(
            SuperWrapperReturnSubParamClass.class,
            SubReturnSuperParamClass.class );
    for ( ModuleMatchingInfo moduleMatchingInfo : matchingInfos ) {

```

```

ProxyFactory<SuperWrapperReturnSubParamClass> proxyFactory =
    moduleMatchingInfo.getConverterCreator()
        .createProxyFactory( SuperWrapperReturnSubParamClass.class );
Collection<MethodMatchingInfo> methodMatchingInfos =
    moduleMatchingInfo.getMethodMatchingInfos();

SuperWrapperReturnSubParamClass proxy = proxyFactory.createProxy(
    offeredComponent, methodMatchingInfos );

SubClass param1 = new SubClass( "A" );
SubClass param2 = new SubClass( "B" );
assertTrue( proxy.addHello( param1 ).toString().equals( "WRAPPED_SubAhello" )
    );
assertTrue( proxy.add( param1, param2 ).toString().equals( "WRAPPED_SubASubB"
    ) );
}
}

@Test
public void convert_wrapperGenReturn_wrapperSpecParam() {
    SubReturnSuperParamClass offeredComponent = new SubReturnSuperParamClass();
    Collection<ModuleMatchingInfo> matchingInfos =
        matcher.calculateTypeMatchingInfos(
            SuperWrapperReturnSubWrapperParamClass.class,
            SubReturnSuperParamClass.class );
    for ( ModuleMatchingInfo moduleMatchingInfo : matchingInfos ) {
        ProxyFactory<SuperWrapperReturnSubWrapperParamClass> proxyFactory =
            moduleMatchingInfo.getConverterCreator()
                .createProxyFactory( SuperWrapperReturnSubWrapperParamClass.class );
        Collection<MethodMatchingInfo> methodMatchingInfos =
            moduleMatchingInfo.getMethodMatchingInfos();

        SuperWrapperReturnSubWrapperParamClass proxy = proxyFactory.createProxy(
            offeredComponent, methodMatchingInfos );

        SubWrapper param1 = new SubWrapper( "A" );
        SubWrapper param2 = new SubWrapper( "B" );
        assertTrue( proxy.addHello( param1 ).toString().equals(
            "WRAPPED_WRAPPED_Ahello" ) );
        assertTrue( proxy.add( param1, param2 ).toString().equals(
            "WRAPPED_WRAPPED_AWRAPPED_B" ) );
    }
}

@Test

```

```

public void convert_wrapperSpecReturn_wrapperExactParam() {

    SuperReturnSubParamClass offeredComponent = new SuperReturnSubParamClass();
    Collection<ModuleMatchingInfo> matchingInfos =
        matcher.calculateTypeMatchingInfos(
            SubWrapperReturnSubParamClass.class,
            SuperReturnSubParamClass.class );
    for ( ModuleMatchingInfo moduleMatchingInfo : matchingInfos ) {
        ProxyFactory<SubWrapperReturnSubParamClass> proxyFactory =
            moduleMatchingInfo.getConverterCreator()
                .createProxyFactory( SubWrapperReturnSubParamClass.class );
        Collection<MethodMatchingInfo> methodMatchingInfos =
            moduleMatchingInfo.getMethodMatchingInfos();

        SubWrapperReturnSubParamClass proxy = proxyFactory.createProxy(
            offeredComponent, methodMatchingInfos );

        SubClass param1 = new SubClass( "A" );
        SubClass param2 = new SubClass( "B" );
        assertTrue( proxy.addHello( param1 ).toString().equals( "WRAPPED_SubAhello" )
            );
        assertTrue( proxy.addHello( param1 ).toStringWithPrefix().equals(
            "WRAPPED_SubSubAhello" ) );
        assertTrue( proxy.add( param1, param2 ).toString().equals( "WRAPPED_SubASubB"
            ) );
        assertTrue( proxy.add( param1, param2 ).toStringWithPrefix().equals(
            "WRAPPED_SubSubASubB" ) );
    }
}
}
}

```

## Literatur

- [BNL<sup>+</sup>06] BAJRACHARYA, SUSHIL, TRUNG NGO, ERIK LINSTAD, YIMENG DOU, PAUL RIGOR, PIERRE BALDI CRISTINA LOPES: *Sourcerer: A Search Engine for Open Source Code Supporting Structure-Based Search. Companion to the 21st ACM SIGPLAN Symposium on Object-Oriented Programming Systems, Languages, and Applications*, OOPSLA '06, 681–682, New York, NY, USA, 2006. Association for Computing Machinery.
- [Hum08] HUMMEL, OLIVER: *Semantic Component Retrieval in Software Engineering.*, April 2008.
- [LLBO07] LAZZARINI LEMOS, OTAVIO AUGUSTO, SUSHIL KRISHNA BAJRACHARYA JOEL OSSHER: *CodeGenie: A Tool for Test-Driven Source Code Search. Companion to the 22nd ACM SIGPLAN Conference on Object-Oriented Programming Systems and Applications Companion*, OOPSLA '07, 917–918, New York, NY, USA, 2007. Association for Computing Machinery.
- [ZW95] ZAREMSKI, AMY MOORMANN JEANNETTE M. WING: *Signature Matching: A Tool for Using Software Libraries.* ACM Trans. Softw. Eng. Methodol., 4(2):146–170, 1995.