



# **Evaluierung der Konsistenz zwischen Business Process Modellen und Business Role-Object Spezifikation**

**Lars Westermann**

**Bachelorarbeit**

Eingereicht am: 13.10.2019

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>4</b>
1.1	Motivation . . . . .	4
1.2	Problemdefinition . . . . .	4
1.3	Struktur der Arbeit . . . . .	4
<b>2</b>	<b>Hintergrund</b>	<b>5</b>
2.1	Business Process Model and Notation . . . . .	5
2.2	Compartment Role Object Model . . . . .	5
2.3	Business Role-Object Specification . . . . .	5
<b>3</b>	<b>Verwandte Arbeiten</b>	<b>6</b>
3.1	Klassifikationsschema für Verfahren zur Konsistenzprüfung . . . . .	6
3.2	Aktuelle Verfahren zur Konsistenzprüfung . . . . .	7
3.3	Vergleich der bestehenden Verfahren . . . . .	8
<b>4</b>	<b>Konsistenz zwischen BPMN und BROS</b>	<b>10</b>
4.1	Konsistenzproblem . . . . .	10
4.2	Konsistenzregeln . . . . .	10
4.3	Referenzarchitektur . . . . .	13
<b>5</b>	<b>Implementierung der automatischen Konsistenzprüfung</b>	<b>16</b>
5.1	Implementierung der Referenzarchitektur . . . . .	16
5.2	Matching der Modelemente . . . . .	16
5.3	Implementierung der Konsistenzregeln . . . . .	16
5.4	Benutzerinterface . . . . .	16
<b>6</b>	<b>Fallstudie</b>	<b>18</b>
6.1	Anwendung am Beispiel einer Pizzabestellung . . . . .	18
6.2	Erweiterbarkeit des Ansatzes . . . . .	18
<b>7</b>	<b>Schluss</b>	<b>19</b>
7.1	Zusammenfassung . . . . .	19
7.2	Wissenschaftlicher Beitrag . . . . .	19
7.3	Zukünftige Arbeiten . . . . .	19

# Abstract

## *Gekürzte Version der Einleitung*

Die heutigen Methoden zur Erstellung von Software hängen stark von geeigneten definierten Modellen ab, um die Struktur und das Verhalten der Software zu spezifizieren. Die strukturbasierten Modelle müssen an den verhaltensbasierten Modellen ausgerichtet sein, damit das anschließend entwickelte Softwaresystem auch die in den Vorgehensmodellen definierten Geschäftsprozesse umsetzt. Derzeit gibt es keine systematische Möglichkeit, prozessuale Geschäftsprozesse (z.B. in Form von BPMN-Prozessen) in strukturbasierte Modellen der Software zu spezifizieren, um eine solche Konsistenz sicherzustellen. Als erster Ansatz wird dieses Problem in der Sprache der Business Role-Object Specification (BROS) gelöst, indem zeitliche Elemente in eine statische strukturbasierte Modellspezifikation eingefügt werden. Es ist jedoch eine manuelle, komplexe und fehleranfällige Aufgabe, die Konsistenz von BROS mit einer bestimmten prozeduralen Geschäftsprozessen sicherzustellen und zu überprüfen.

In dieser Arbeit wird die Konsistenz zwischen BROS und der prozeduralen BPMN untersucht. Zu diesem Zweck werden die Modellelemente in einem BROS- und einem BPMN-Modell miteinander verglichen, um etwaige Abweichungen in Bezug auf mehrere Konsistenzkonzepte, sogenannte Konsistenzbeschränkungen, zu ermitteln. Basierend auf dieser Analyse werden dem Modellierer Warnungen gegeben, wenn Konsistenzbeschränkungen verletzt werden und wie die Probleme möglicherweise gelöst werden können. Diese Aufgabe wird automatisch über ein Tool ausgeführt werden. Die Proof-of-concept Implementierung nutzt dazu die Modelle des BROS-Editor FRaMED.io und des BPMN-Editor bpmn.io.

# 1 Einleitung

## 1.1 Motivation

Die heutigen Methoden zur Erstellung von Software hängen stark von geeigneten definierten Modellen ab, um die Struktur und das Verhalten der Software zu spezifizieren. Einerseits werden zur Strukturdefinition häufig UML-Strukturdiagramme verwendet, wie z.B. Klassendiagramme oder Komponentendiagramme. Andererseits werden prozedurale Modelle verwendet, um das Verhalten der Software darzustellen, z.B. BPMN-Diagramme, Sequenzdiagramme oder Petrinetze. Dennoch besteht eine Lücke zwischen diesen beiden Modellperspektiven: Während die Geschäftsprozesse in prozeduralen Modellen modelliert werden, kann die eigentliche Implementierung der Software nicht ohne die strukturbasierte, Modelle erfolgen. Die strukturbasierten Modelle müssen daher an den verhaltensbasierten Modellen ausgerichtet sein, damit das anschließend entwickelte Softwaresystem auch die in den Vorgehensmodellen definierten Geschäftsprozesse umsetzt.

## 1.2 Problemdefinition

Derzeit gibt es keine systematische Möglichkeit, prozessuale Geschäftsprozesse (z.B. in Form von BPMN-Prozessen) in strukturbasierte, Modellen der Software zu spezifizieren, um eine solche Konsistenz sicherzustellen. Als erster Ansatz wird dieses Problem in der Sprache der Business Role-Object Specification (BROS) gelöst, indem zeitliche Elemente in eine statische strukturbasierte Modellspezifikation eingefügt werden. Es ist jedoch eine manuelle, komplexe und fehleranfällige Aufgabe, die Konsistenz von BROS mit einer bestimmten prozeduralen Geschäftsprozessen sicherzustellen und zu überprüfen.

## 1.3 Struktur der Arbeit

In dieser Arbeit wird die Konsistenz zwischen BROS und der prozeduralen BPMN untersucht. Zu diesem Zweck werden die Modellelemente in einem BROS- und einem BPMN-Modell miteinander verglichen, um etwaige Abweichungen in Bezug auf mehrere Konsistenzkonzepte, sogenannte Konsistenzbeschränkungen, zu ermitteln. Basierend auf dieser Analyse werden dem Modellierer Warnungen gegeben, wenn Konsistenzbeschränkungen verletzt werden und wie die Probleme möglicherweise gelöst werden können. Diese Aufgabe wird automatisch über ein Tool ausgeführt werden. Die Proof-of-concept Implementierung nutzt dazu die Modelle des BROS-Editor FRaMED.io und des BPMN-Editor bpmn.io. Um den Wert und die Flexibilität für zukünftige Entwicklungen zu erhöhen, wird besondere Aufmerksamkeit auf die Erweiterbarkeit des Tools gelegt.

## **2 Hintergrund**

### **2.1 Business Process Model and Notation**

Die Business Process Model and Notation (BPMN) ist ein Standard für die grafische Beschreibung von Geschäftsprozessen. Dabei wird das Verhalten eines Systems mit einer an Flussdiagrammen angelehnten Form beschrieben. Aufgrund der Größe des BPMN Standards wird nur ein gekürztes Metamodell auf Basis von Loja et al. 2010 betrachtet.

### **2.2 Compartment Role Object Model**

### **2.3 Business Role-Object Specification**

Der neu entwickelte Ansatz der Business Role-Object Specification (BROS) kombiniert die Vorteile der strukturbasierten Modellierung und der verhaltensbasierten Modellierung. Als Grundlage für BROS dient die strukturbasierte Modellierungssprache Compartment Object Role Model (CROM). Diese wird mit Hilfe von Events um den Verhaltensaspekt erweitert. Mit Ausnahme von RoleConstraints wird das vollständige Metamodell aus Schön et al. o.D. betrachtet.

## 3 Verwandte Arbeiten

Der Bereich der Konsistenzprüfung zwischen strukturbasierten und verhaltensbasierten Modellen ist seit Jahren gut erforscht. Insbesondere gibt es ein großes Spektrum an Methoden zum Vergleichen von verschiedenen UML-Modellen. Viele dieser Methoden untersuchen die Konsistenz zwischen UML-Klassendiagrammen und UML-Verhaltensmodellen wie UML-Zustands- oder UML-Aktivitätsdiagramme. Da sich die Konzepte dieser UML-Modelle mit denen von BROS und BPMN ähneln, lassen sich diese Methoden auch auf BPMN- und BROS-Modelle anwenden. Dafür wird zunächst ein Klassifikationsschema für Verfahren zur Konsistenzprüfung vorgestellt. Anhand dieses Schemas werden anschließend relevante Arbeiten erläutert und verglichen.

### 3.1 Klassifikationsschema für Verfahren zur Konsistenzprüfung

Da es bereits etliche Arbeiten im Gebiet der Konsistenzprüfung von UML-Modellen gibt, wurde bereits eine Zusammenstellung der bestehenden Methoden von Usman et al. 2008 und Lucas et al. 2009 durchgeführt. Um die unterschiedlichen Methoden besser klassifizieren zu können nutzen beide Arbeiten ein ähnliches Klassifikationsschema:

- **Nature (Usman et al. 2008):** Es beschreibt den Fokus der vergleichbaren Modelltypen. Dabei wird zwischen strukturbasierten und verhaltensbasierten Modellen unterschieden. Strukturbasierte Modelle beschreiben den Aufbau eines Systems. Dazu zählen unter anderem UML-Klassen-, UML-Komponentendiagramm und BROS-Modelle. Zu den verhaltensbasierten Modellen gehören beispielsweise UML-Zustands-, UML-Aktivitätsdiagramme und BPMN-Modelle. Diese Modelle verdeutlichen den die Abläufe und Zustände innerhalb eines Systems. Mögliche Werte sind strukturbasiert, verhaltensbasiert und beides.
- **Diagrams (Usman et al. 2008):** Es beschreibt welche konkreten Modelle von der Methode unterstützt werden. Die Arbeiten von Usman et al. 2008 und Lucas et al. 2009 beziehen sich dabei ausschließlich auf UML Diagramme. Mögliche Werte sind die Modellnamen.
- **Consistency Type (Usman et al. 2008):** Es beschreibt welche Arten der Konsistenz von der Methode überprüft werden. Dabei wird hauptsächlich unterschieden zwischen *Inter-Modell (vertikale) Konsistenz* (Konsistenz bei verschiedenen Abstraktionsstufen und gleichem Modelltyp), *Intra-Modell (horizontale) Konsistenz* (Konsistenz bei gleicher Abstraktionsstufe und verschiedenen Modelltypen) und *Evolutionskonsistenz* (Konsistenz der eines Modelles über verschiedene Entwicklungsstufen). Zusätzlich spezifiziert Usman et al. 2008 noch die *semantische-* und die *syntaktische Konsistenz*. Diese Beziehen sich auf die Konsistenz eines Modelles zu seinem Metamodell. Dies wird für die nachfolgende Arbeit als Voraussetzung angesehen und nicht näher betrachtet.

- **Consistency Strategy (Usman et al. 2008):** Es beschreibt die benutzte Validierungsstrategie. Es werden drei verschiedene Strategien genannt und zwar *Analysis* (Auf einem Algorithmus basierend), *Monitoring* (Auf einem Regelsatz basierend) und *Construction* (Auf der Generierung des zu vergleichenden Modelles basierend).
- **Intermediate Representation (Usman et al. 2008):** Es beschreibt ob die Methode eine temporäre Zwischendarstellung benötigt oder nicht. Mögliche Werte sind ja und nein.
- **Case Study (Usman et al. 2008):** Es beschreibt ob die Methode an einem Beispiel evaluiert wurde. Mögliche Werte sind ja und nein.
- **Automatable (Usman et al. 2008):** Es beschreibt ob die Methode manuell oder automatisiert von einem Programm durchgeführt werden kann. Mögliche Werte sind gut (H), mittel (M) und schlecht (L).
- **Tool Support (Usman et al. 2008):** Es beschreibt ob die Methode von einem Tool unterstützt wird oder ein eigenes Tool entwickelt wurde. Mögliche Werte sind ja und nein.
- **Model Extensibility:** Es beschreibt wie gut die Methode um weitere Modelle für den Konsistenzvergleich erweiterbar ist. Mögliche Werte sind gut (H), mittel (M) und schlecht (L).
- **Rule Extensibility:** Es beschreibt wie gut die Methode um weitere Konsistenzregeln erweiterbar ist. Mögliche Werte sind gut (H), mittel (M) und schlecht (L).

Dieses Schema ist direkt auf die Konsistenzprüfung von BPMN- und BROS-Modelle anwendbar. Wichtig für die weitere Arbeit sind Methoden deren *Nature* beide Modelltypen unterstützt und deren *Consistency Type* auf der *Intra-Modell (horizontale) Konsistenz* beruht. Den Aspekt der Erweiterbarkeit wird von Lucas et al. 2009 genannt. Da ein Hauptziel dieser Arbeit die Erweiterbarkeit ist wird dieser Aspekt noch einmal untergliedert.

## 3.2 Aktuelle Verfahren zur Konsistenzprüfung

**Transformation zu CSP-OZ:** Rasch et al. 2003 transformiert Klassen- und Zustandsdiagramme nach *CSP-OZ* (Communicating Sequential Processes - Object-Z) als Zwischendarstellung. *CSP* ist eine Prozessalgebra für die Beschreibung der Zusammenarbeit verschiedener Systeme. *OZ* ist eine objektorientierte Erweiterung der Z-Notation. Diese wird zur formalen Beschreibung von Systemen genutzt. Anhand eines Regelsatzes wird die Konsistenz der Zwischendarstellungen geprüft. Kim et al. 2004 nutzt ein ähnliches Verfahren, spezialisiert sich dabei aber nur auf Zustandsdiagramme.

**Transformation zu Pertinetze:** Shinkawa 2006 zeigt das verhaltensbasierte UML-Modelle in *CPN* (Coloured Petri Net) überführt werden können. Mittels mehrerer Beispiele werden verschiedene Transformationsstrategien gezeigt. Die formale *Inter-Modell (vertikale) Konsistenz* der CPNs wird nur theoretisch behandelt. Bernardi et al. (Usman et al. 2008, 13) nutzt GSPN (Generalized stochastic Petri nets) anstelle von CPN. *TODO: Vorteil von GSPN?*

**Anwendung von Description logic:** Mens et al. 2005 nutzt *Description logic* für die formale Konsistenzprüfung. Dabei werden beide Modelltypen und alle Validierungsstrategien unterstützt. Für die *Evolutionskonsistenz* wird eine Erweiterung des UML-Metamodells erstellt. Zusätzlich führt Mens et al. 2005 eine Fallstudie durch und entwickelt eine Toolunterstützung. Ein ähnlicher Ansatz wird von Simmonds et al. 2004 genutzt. Noch weiter geht Satoh et al. (Usman et al. 2008, 15) indem UML-Klassendiagramme direkt in Logikprogramme übersetzt und ausgeführt werden.

**Transformation in ein gemeinsames Modell:** Egyed 2001 entwickelt die ViewIntegra Methode für die *Inter-Modell (vertikale)* und *Intra-Modell (horizontale) Konsistenz*. Der Fokus der ViewIntegra Methode liegt in der Skalierbarkeit und Effizienz der Überprüfung bei großen

	Diagrams	Consistency Type	Consistency Strategy	Intermediate Representation	Case Study	Automatable	Tool Support	Model Extensibility	Rule Extensibility
CD - Class Diagram SM - State Machine UCD - Use Case Diagram SD - Sequence Diagram AO - Activity Diagram SC - Statechart									
Rasch 2003 <sup>9</sup> (CSP-07) <sub>40</sub>	CD, SM	Intra	Monitoring	CSP 07	✓	H	X	H	M
Shinkawa 2006 <sup>11</sup> (CPN) <sub>99</sub>	UCD, CD, SD, AO, SC	Inter	Analysis	CPN	X	H	X	M	L
Mens 2005 <sup>7</sup> (DL)	CD, SD, SC	ALL	Monitoring	Extens. UML	✓	H	✓	H	M
Egyed 2001 (View Integra)	CD, OO, SD	Intra Inter	Construction	—	X	H	$\frac{\checkmark}{X}$ Partial	M	M
Egyed 2006 <sup>24</sup> (OCL) <sub>23</sub>	CD, SD, SC	Intra	Monitoring	—	✓	H	✓	L	M
BROS	BROS, BPMN	Intra	Monitoring	—	✓	H	✓	L	H

Abbildung 1: Vergleich der bestehenden Verfahren

Modellen. Um dies zu erreichen wird eine iterative Umwandlung von verwandten UML-Modellen beschrieben. Dieses iterative Vorgehen reduziert den Entwicklungsaufwand erheblich da nun nur noch ein Bruchteil aller benötigten Transformationsalgorithmen entwickelt werden muss. Dies vereinfacht auch die Erweiterbarkeit um neue Modellarten. Die konstruierten Modelle können anschließend direkt mittels *Inter-Modell (vertikale) Konsistenz* überprüft werden. Einige der beschriebenen Transformationsalgorithmen sind bereits implementiert wurden. Aufgrund der Umwandlung wird auch die *Intra-Modell (horizontale) Konsistenz* unterstützt.

**Nutzung von UML-Constraints wie OCL:** Egyed 2006 prüft die Konsistenz zwischen UML-Klassen-, Sequenz- und Zustandsdiagrammen mittels OCL-Regeln. Neben einer Fallstudie wurde auch ein Tool entwickelt um das Verfahren zu testen. Aufgrund von Einschränkungen von OCL, wie das Fehlen des transitiven Abschlusses, ist die Erweiterbarkeit dieses Ansatzes eingeschränkt. Briand et al. 2003 verwendet ebenfalls OCL-Regeln, konzentriert sich dabei aber auf die *Evolutionskonsistenz*.

### 3.3 Vergleich der bestehenden Verfahren

Die fünf beschriebenen Verfahren lassen sich in zwei Kategorien teilen. Zum einen die die eine Zwischendarstellung benötigen und die die keine Zwischendarstellung nutzen. Rasch et al. 2003, Shinkawa 2006 und Mens et al. 2005 beschreiben Verfahren die zunächst eine Zwischendarstellung aufbauen und anschließend die Konsistenz der Zwischendarstellung überprüfen. Andererseits könne die Verfahren von Egyed 2001 und Egyed 2006 direkt auf den Modellen arbeiten. Der große Vorteil ist die leichte Erweiterbarkeit um neue Modellarten. Es muss nur eine neue Konvertierungsmethode des Modelles zur Zwischendarstellung entwickelt werden. Anschließend können die gleichen Algorithmen zur Konsistenzprüfung wie bei den bestehenden Modellen verwendet



werden. Allerdings ist dies auch eine Beschränkung der Erweiterbarkeit. Eine allgemeine Form der Zwischendarstellung hat zumeist den Nachteil des Informationsverlustes. Dadurch lassen sich nur schwer neue Regeln für die Konsistenz Zwischendarstellung hinzufügen. Es kann auch sein, dass eine Modellart nicht kompatibel zu der Zwischendarstellung ist. Dann ist eine Erweiterung nicht möglich. Dagegen haben die Verfahren ohne Zwischendarstellung weniger Beschränkungen der Erweiterbarkeit. Hier ist das größte Hindernis der Aufwand, eine neue Modellart hinzuzufügen. Im schlechtesten Fall müssen beim Hinzufügen einer neuen Modellart  $N$  neue Konvertierungsmethoden entwickelt werden. Egyed 2001 umgeht dieses Problem mittels einer iterativen Transformation.

Die am meisten benutzte Methode zur Konsistenzprüfung ist das *Monitoring* (vgl. Usman et al. 2008). Das *Monitoring* basiert auf der Konsistenzprüfung mittels eines Regelsatzes. Verfahren, die *Monitoring* nutzen, haben eine gute Erweiterbarkeit im Bezug auf neue Konsistenzregeln. Dazu zählen die Verfahren von Rasch et al. 2003, Mens et al. 2005 und Egyed 2006. *Monitoring* bietet allerdings keine formale Verifikation, sondern nur eine Überprüfung vergleichbar mit Unittests. Dies wird von dem Verfahren der *Analysis* gelöst. Mittels formaler Verifikation kann die Konsistenz bewiesen werden. Allerdings sind solcher Verfahren nicht sehr flexibel. Bei Shinkawa 2006 kann beispielsweise nur die *Inter-Modell (vertikale) Konsistenz* verifiziert werden. Die dritte Methode, die *Construction*, beschreibt Verfahren, deren Hauptaufgabe die Konstruktion anderer Modelle ist. Verfahren, die mit einem Transformationsalgorithmus eine Zwischendarstellung konstruieren, zählen nicht dazu. Egyed 2001 nutzt diese Methode und beschreibt die Transformation zwischen verschiedenen UML-Modellen. Die Konsistenzprüfung der Modelle erfolgt mittels *Inter-Modell (vertikale) Konsistenz* und ist unabhängig von dem Konstruktionsverfahren. Da die eigentliche Konsistenzprüfung nicht Teil eines Konstruktionsverfahrens ist, kann diese Methode orthogonal zu den anderen beiden Methoden verwendet werden.

## 4 Konsistenz zwischen BPMN und BROS

Viele der bereits existierenden Verfahren lassen sich anpassen und können mit anderen Modellen genutzt werden. Anstelle eines UML Klassendiagramms kann ein BROS Modell auf der strukturbasierten Seite und ein BPMN Modell anstelle eines UML-Sequenzdiagramms verwendet werden. Allerdings ist bei dem Vergleich von BPMN und BROS zu beachten das Inkonsistenzen keine strikten Fehler, sondern nur Warnungen an den Modellierer sind. Das liegt an der Möglichkeit ein BROS Modell beliebig anzureichern und das Events eine Abstraktion eines beliebigen Prozesses sein können. Um dieses Problem zu lösen wird zunächst eine genaue Problemdefinition gegeben. Anschließend werden verschiedene Regeln zur Konsistenzprüfung zwischen BPMN und BROS vorgestellt und ein Verfahren zur automatischen Prüfung dieser Regeln erläutert.

### 4.1 Konsistenzproblem

Wie bereits erwähnt, sind heutige Softwaresystem stark von den dazugehörigen Modellen anhängig. Damit ein solches System erfolgreich implementiert werden kann müssen die Modelle konsistent zueinander sein. Sollten schon zu Beginn eines Projektes unbemerkt Inkonsistenzen auftreten kann dies zum Scheitern des ganzen Projektes führen. Die verhaltensbasierte Modelle beschreiben die Interaktion innerhalb eines Systems. Dabei benötigen sie die Funktionalität die von den strukturbasierten Modellen bereitgestellt wird. Wenn sich die benötigte und die bereitgestellte Funktionalität unterscheidet kann das Softwaresystem nicht funktionieren.

### 4.2 Konsistenzregeln

Die horizontale Konsistenzprüfung zwischen zwei Modellen ohne eine Zwischendarstellung kann in zwei verschiedene Richtungen definiert werden. Eine Regel kann aufgrund eines Merkmales des ersten Modelles ein Merkmal im zweiten Modell fordern oder umgekehrt. Damit basieren diese Regeln auf der logischen Implikation. Um eine reflexive Regel zu erhalten (logische Äquivalenz) müssen zwei Regeln erstellt werden die sowohl die Hin- als auch die Rückrichtung abdecken. Im Bezug auf den Vergleich von BPMN und BROS bedeutet das, eine Regel hat immer ein Ursprungs- und ein Zielmodell. Da BROS beliebig erweitert werden kann, ist kein strikter Vergleich zwischen BPMN und BROS möglich. Aus diesem Grund sind die meisten Regeln aus der BPMN Sicht aufgestellt.

Wie bereits erläutert lassen sich die BPMN- und BROS-Modelle, aufgrund deren Metamodelle, in Form von Graphen darstellen. Mit Hilfe des Graph-Logik-Isomorphismus können diese Graphen auch in Form von Logikprogrammen ausgedrückt werden. Für die Spezifikation der Regeln wird

im nachfolgenden eine auf Prolog basierende Notation genutzt. Dies ermöglicht eine einfache und leicht verständliche Darstellung der Regeln ohne eine eigene domänenspezifische Sprache einführen zu müssen. Als Grundlage für die Konsistenzregeln werden die in Listing 4.1 und Listing 4.2 aufgestellten Fakten und Prädikate genutzt.

Die Faktenbasis besteht aus vier Bestandteilen und bildet die gesamte Modellstruktur ab. Mit dem Fakt *bpmn/2* und *bros/2* werden die jeweiligen Modellelemente aufgelistet und gleichzeitig ihren Typ zugeordnet. Der Fakt *relation/3* bildet eine Relation zwischen zwei Modellelementen von Quelle nach Ziel ab und ordnet dieser Relation gleichzeitig einen Typ zu. Durch *parent/2* wird der hierarchische Aufbau der Modelle abgebildet. Dabei ist zu beachten das jedes Element nur einen Parent haben darf. Es gilt implizit *check\_parent(X) :- parent(X, A), parent(X, B) -> A == B*. Allgemein ist zu beachten das dies keine Zwischendarstellung ist und nur zur syntaktischen Definition der Regeln genutzt wird. Da der Graph des BPMN-Modelles und der Graph des BROS-Modelles disjunkt sind muss keine weitere Trennung der *relation/3* und *parent/2* Fakten durchgeführt werden.

---

```
% Definition aller BPMN Elemente mit ihrem zugehörigem Typ.
bpmn(Bpmn, Type).

% Definition aller BROS Elemente mit ihrem zugehörigem Typ.
bros(Bros, Type).

% Definition aller Relationen von Quelle nach Ziel mit Typ.
relation(Source, Target, Type).

% Definition der Modellstruktur per Eltern-Kind Beziehung.
parent(Child, Parent).
```

---

Quelltext 4.1: Definitionen der Faktenbasis

Zusätzlich werden noch zwei Hilfsprädikate definiert. Das Prädikat *transitive\_parent/2* bildet den transitiven Abschluss der *parent/2* Relation. Jedem Kind werden all seine transitiven Eltern zugeordnet. Dies beinhaltet auch die Abbildung der Identität. Das wichtigste Prädikat ist *match/2*. Es bildet das Matching der BPMN-Elemente zu den BROS-Elementen ab. Dabei wird angenommen das ein Matching bereits existiert. Ein Matching ist die Menge der bidirektionalen Zuordnungen von BPMN-Elementen auf die dazugehörigen BROS-Elemente.

---

```
% Transitiver Abschluss der Modellstruktur.
transitive_parent(Child, Parent) :-
    Child == Parent.
transitive_parent(Child, Parent) :-
    parent(Child, Parent).
transitive_parent(Child, Parent) :-
    transitive_parent(Child, X), parent(X, Parent).

% Orakel für das Matching von Modellelementen.
match(Bpmn, Bros).
```

---

Quelltext 4.2: Definitionen der weiterführenden Regeln

**Regel 1:** Zu jedem *BPMN-Process* muss eine *BROS-Scene* oder ein *BROS-Event* existieren. Ein BPMN-Process stellt eine Umgebung für einen natürlichen Prozess dar. In BROS wird dies mit einer BROS-Scene repräsentiert. Allerdings kann ein BROS-Modell eine Abstraktion eines BPMN-Modelles sein. In diesen Fall kann der BPMN-Process auch durch ein BROS-Event modelliert werden. durch diese Abstraktion muss der Inhalt des BPMN-Processes nicht weiter überprüft werden.

---

```
rule_1(Bpmn) :- bpmn(Bpmn, "Process") ->
(
    bros(Bros, "Scene"), match(Bpmn, Bros);
    bros(Bros, "Event"), match(Bpmn, Bros)
```

---

).  

---

#### Quelltext 4.3: Regel 1

**Regel 2:** Zu jeder *BPMN-Swimlane* innerhalb eines *BPMN-Process* muss ein passender *BROS-RoleType* existieren. Eine Swimlane stellt einen Teilnehmer innerhalb des BPMN-Prozesses dar. Dieses Konzept wird in BROS mittels Rollen dargestellt. Daher muss jeder Teilnehmer des BPMN-Prozesses auch als Rolle im BROS-Modell existieren.

---

```
rule_2(Bpmn) :- bpmn(Bpmn, "Swimlane") ->
(
    bros(Bros, "RoleType"), match(Bpmn, Bros)
).
```

---

#### Quelltext 4.4: Regel 2

**Regel 3:** Zu jedem *BPMN-TerminationEvent* muss eine *BROS-ReturnEvent* existieren. Eine BPMN-TerminationEvent beendet den aktuellen BPMN-Prozess. Der BPMN-Prozess wird in BROS durch eine BROS-Szene dargestellt (Vgl. **Regel 1**). Eine BROS-Szene wird durch ein BROS-ReturnEvent beendet. Somit muss ein BPMN-TerminationEvent mit einem BROS-ReturnEvent modelliert werden.

---

```
rule_3(Bpmn) :- bpmn(Bpmn, "TerminationEvent") ->
(
    bros(Bros, "ReturnEvent"),
    match(Bpmn, Bros),
    (
        parent(Bros, BrosParent),
        transitive_parent(Bpmn, BpmnParent),
        match(BpmnParent, BrosParent)
    )
).
```

---

#### Quelltext 4.5: Regel 3

**Regel 4:** Zu jedem *BPMN-EndEvent* muss ein *BROS-Event* oder *BROS-ReturnEvent* existieren. Ein BPMN-EndEvent beendet die aktuelle BPMN-Swimlane. Jede BPMN-Swimlane wird von einem BROS-RoleType repräsentiert (Vgl. **Regel 2**). Ein BROS-RoleType wird mit einem BROS-Event beendet, wenn zwischen diesen beiden eine BROS-DestroyRelation existiert. Alternativ kann ein BPMN-EndEvent auch durch ein BROS-ReturnEvent modelliert werden, wenn das BPMN-EndEvent das abschließende Event des BPMN-Prozesses ist.

---

```
rule_4(Bpmn) :- bpmn(Bpmn, "EndEvent") ->
(
    (
        bros(Bros, "Event"),
        match(Bpmn, Bros),
        (
            relation(RoleType, Bros, "DestroyRelation"),
            transitive_parent(Bpmn, BpmnParent),
            match(BpmnParent, RoleType)
        )
    );
    (
        bros(Bros, "ReturnEvent"),
        match(Bpmn, Bros),
        (
            parent(Bros, BrosParent),
            transitive_parent(Bpmn, BpmnParent),
            match(BpmnParent, BrosParent)
        )
    )
).
```

---

#### Quelltext 4.6: Regel 4

**Regel 5:** Zu jedem *BPMN-StartEvent* muss ein *BROS-Event* existieren. Ein BPMN-StartEvent beginnt die aktuelle BPMN-Swimlane. Jede BPMN-Swimlane wird von einem BROS-RoleType repräsentiert (Vgl. **Regel 2**). Ein BROS-RoleType wird mit einem BROS-Event begonnen, wenn zwischen diesen beiden eine BROS-CreateRelation existiert. Alternativ kann ein BPMN-StartEvent auch durch ein BROS-Event modelliert werden, wenn das BPMN-StartEvent das erste Event des BPMN-Prozesses ist und BROS-CreateRelation zwischen dem BROS-Event und der BROS-Scene existiert die den BROS-Prozess darstellt (Vgl. **Regel 1**).

---

```
rule_5(Bpmn) :- bpmn(Bpmn, "StartEvent") ->
(
    bros(Bros, "Event"),
    match(Bpmn, Bros),
    (
        relation(Bros, X, "CreateRelation"),
        transitive_parent(Bpmn, BpmnParent),
        match(BpmnParent, X)
    )
).
```

---

#### Quelltext 4.7: Regel 5

**Regel 6:** Zu jedem *BROS-Event* bzw. *BROS-ReturnEvent* muss ein *BPMN-Element* existieren. Dies ist die einzige Regel die von dem BROS-Modell aus das BPMN-Modell überprüft. Jedes *BROS-Event* bzw. *BROS-ReturnEvent* muss eine Ursache im BPMN-Modell haben. Es darf kein Event im BROS-Modell geben das nicht im BPMN-Prozess existiert. Ein solches BROS-Event hätte keinen Auslöser im Verhaltensmodell und könnte somit nie eintreten. Passende BPMN-Elemente sind BPMN-Events unabhängig vom Typ, BPMN-Activities oder auch Ausgänge eines BPMN-Gateways.

---

```
rule_6(Bros) :- (bros(Bpmn, "Event"); bros(Bpmn, "ReturnEvent")) ->
(
    bpmn(Bros, "StartEvent"), match(Bpmn, Bros);
    bpmn(Bros, "EndEvent"), match(Bpmn, Bros);
    bpmn(Bros, "TerminationEvent"), match(Bpmn, Bros);
    bpmn(Bros, "Event"), match(Bpmn, Bros);
    bpmn(Bros, "Activity"), match(Bpmn, Bros);
    bpmn(Bros, "Gateway"), match(Bpmn, Bros)
).
```

---

#### Quelltext 4.8: Regel 6

### 4.3 Referenzarchitektur

Im Gegensatz zu anderen Arbeiten wurde zur Überprüfung dieser Regeln kein formales Verfahren auf Basis von z.B. *Description Logic* oder *Petrinetzen* genutzt. Dies hat den Vorteil das die Regeln direkt auf den Modellen ausgeführt werden können und nicht erst eine Zwischendarstellung gebaut werden muss. Das hier genutzte Verfahren arbeitet in zwei Stufen auf den Modellen die als *Geschichteten Graph* dargestellt werden. Im ersten Schritt wird ein Matching von Modellelementen aufgebaut. Dies wird iterativ, in Form eines Fixpunkt-Algorithmus, durchgeführt um kaskadierendes Matching zu erlauben. Dieser Schritt wird im folgenden *Matching-Algorithmus* genannt. Im zweiten Schritt werden anhand des Matching die Regeln ausgeführt. Dabei werden die Regelergebnisse aggregiert. Dieser Vorgang wird *Verifikations-Algorithmus* bezeichnet.

Um das Verfahren anzuwenden müssen beiden Modelle in Form eines gerichteten geschichteten Graph vorliegen. Ein geschichteter Graph basiert auf einem Baum der die Grundstruktur des Modelles und die Eltern-Kind Beziehung abdeckt. Um die Relationen zwischen den Modellelementen

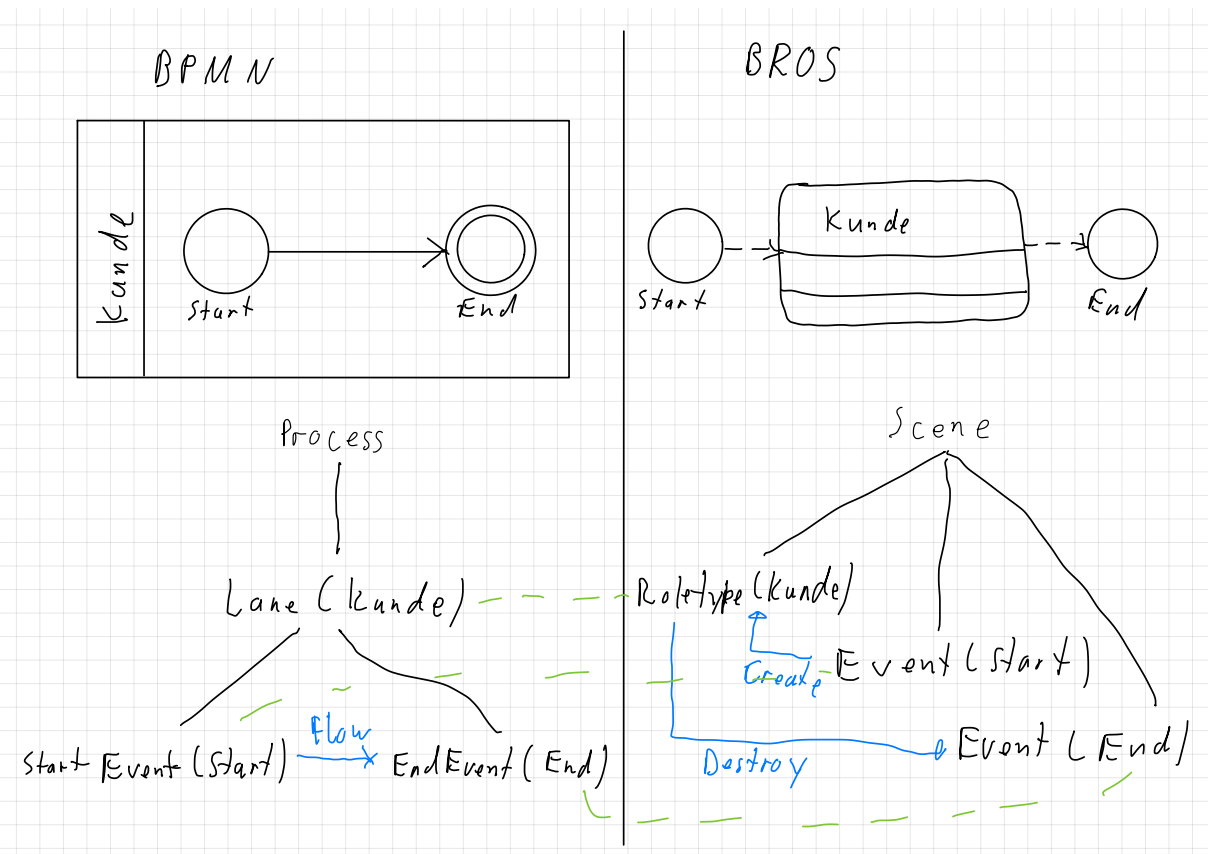


Abbildung 1: Visualisierung des Graph Matching

darzustellen wird ein Schicht mit Querverweisen über den Baum gelegt. In Abbildung 1 wird die Transformation der Modelle in die dazugehörigen Graphen dargestellt. Auf der linken Seite ist ein BPMN-Modell mit dem dazugehörigen Graphen. Auf der rechten Seite ist ein vereinfachtes BROS-Modell mit seinem Graphen. Der schwarze Teil der Graphen bildet die Grundstruktur oder auch die erste Schicht. Dieser wird mit Hilfe der "containsRelation der Metamodelle direkt aufgebaut. In blau ist die zweite Schicht, die Schicht der Relationen, visualisiert. Jede Relation ist mit ihrem Typ annotiert und hat eine feste Richtung. Die Graphen des BPMN-Modelles und des BROS-Modelles sind zueinander disjunkt.

Mit beiden Graphen kann nun der Matching-Algorithmus durchgeführt werden. Das Matching ist eine weitere Schicht innerhalb der Graphen, die den Graphen des BPMN-Modelles mit dem Graphen des BROS-Modelles verbindet. Um diese Schicht zu konstruieren wird eine Orakelfunktion genutzt. Diese ermittelt ob zwei Elemente zueinander gehören. Dabei hat die Orakelfunktion zwei Parameter, den aktuellen Kontext des BPMN-Graphen und den des BROS-Graphen. Die übergebenen Knoten enthalten Referenzen auf ihre Relationen aus allen drei Schichten. In der ersten Schicht sind die Vorfahren und Nachkommen und in der zweiten Schicht die per Relation verbunden Elemente. Die dritte Schicht ist zu Beginn leer. Wenn die Orakelfunktion für das BPMN-Element  $x$  und das BROS-Element  $y$  ein Matching feststellt, werden die Kanten  $(x, y)$  und  $(y, x)$  der dritten Schicht hinzugefügt. Eine einmal hinzugefügt Kante kann nicht wieder entfernt werden. Da die dritte Schicht auch mit an das Orakel übergeben wird, kann dies aufgrund von einem bereits bestehen Matching ein eine Entscheidung treffen. Um dieses Verhalten zu nutzen wird der Vorgang des Matching aufbaues solange wiederholt wie sich die dritte Schicht nicht weiter ändert. Dieses Verhalten wird Fixpunkt-Algorithmus genannt. Innerhalb einer Iteration wird die Orakelfunktion auf alle paare von Elementen des BPMN- und des BROS-Modelles angewendet. Ein Fixpunkt-Algorithmus kann unter Umständen nicht terminieren, wenn die Datenstruktur in

eine oszillierenden Zustand übergeht. Dies wird verhindert indem Kanten nur zu dem Matching hinzugefügt werden und somit nie entfernt werden dürfen. Damit kann die dritte Schicht maximal zu einem Vollständigen Graphen anwachsen. Anschließend kann keine weitere Kante hinzugefügt werden und der Algorithmus terminiert automatisch.

Mit dem konstruieren Matching kann nun der Verifikations-Algorithmus ausgeführt werden. In diesem Schritt werden die unter Abschnitt 4.2 aufgestellten Konsistenzregeln überprüft. Diese Überprüfung kann mittels der genannten Prolog Regeln oder auch direkt auf den Graphen durchgeführt werden. Anders als der Matching-Algorithmus wird der Verifikations-Algorithmus nur einmal ausgeführt. Da alle Regeln die Konsistenzprüfung von einem Modell auf das andere Modell durchführen, können die Regeln unabhängig voneinander auf den Modellen ausgeführt werden. Die Regeln die die Überprüfung aus Sicht des BPMN-Modelles ausführen werden für jedes Element des BPMN-Graphen ausgeführt. Um eine bessere Fehlermeldung für den Modellierer zu erstellen, wird im Falle einer Regelverletzung nicht nur das BPMN-Element, sondern auch das BROS-Element das zu dem Regelverstoß führt, als negative Konsistenzmeldung gespeichert. Mit Hilfe der beiden Elemente und der verletzen Regel kann eine genaue Fehlerbeschreibung gegeben werden. Dieses Verhalten ist analog für die Regel die aus Sicht des BROS-Modelles arbeiten. Was nicht mit den Prologregeln dargestellt werden kann sind erfolgreiche Regelprüfungen. Jede Regel hat zu beginn eine Implikation die die gültigkeit der Regel auf bestimmte Elemente einschränkt. Für eine optimale Rückmeldung an den Modellierer muss zwischen einer falschen Antezedens und einer wahren Antezedens mit wahrer Konsequenz unterschieden werden. Im Fall das eine Regel eine wahre Antezedens und eine wahre Konsequenz aufweist wird eine positive Konsistenzmeldung gespeichert.

Das Ergebnis der Konsistenzprüfung ist eine Liste von Konsistenzmeldung. Jede Konsistenzmeldung besteht aus ihrem Typ (positiv oder negativ), den betroffenen BPMN- und BROS-Element, der zugrundeliegenden Regel und einer textuellen Beschreibung. Die positiven Konsistenzmeldung helfen dem Modellierer. *TODO*

# 5 Implementierung der automatischen Konsistenzprüfung

Um die Umsetzbarkeit und die Funktionalität dieses Ansatzes zu zeigen wurde eine Referenzimplementierung angefertigt.

## 5.1 Implementierung der Referenzarchitektur

Eine Anforderung war eine mögliche Integration in den bestehenden BROS-Editor FRaMED.io. Durch die Verwendung von Kotlin konnte das Parsing der BROS-JSON Datei direkt übernommen werden. Das Dateiformat von bpmn.io basiert auf XMI und kann nativ von JS geparsed werden.

## 5.2 Matching der Modellelemente

Um die Verifizierung der Modelle zu ermöglichen muss zunächst ein dazugehöriges Matching aufgebaut werden. Dazu werden Elemente mit Kompatiblen Typen anhand ihres Namens zugeordnet. Zusätzlich kann, aufgrund des Fixpunkt-Algorithmus, ein bestehendes Matching auf andere Elemente übertragen werden. Sollte dies nicht ausreichen kann der Modellierer explizit ein Predefined-Matching einfügen was ein Element Matching erzwingt oder verbietet.

*Erklärung einiger Matching-Regeln und ihrer Syntax*

## 5.3 Implementierung der Konsistenzregeln

Dank des bestehenden Matching lassen sich die genannten Konsistenzregeln einfach implementieren.

*Erklärung einiger Konsistenzregeln und ihrer Syntax*

## 5.4 Benutzerinterface

Da das entwickelte Tool eine Webanwendung ist kann es in allen moderneren Browsern benutzt werden die JS aktiviert haben. Das Tool hat ein zweistufiges Interface. Als erster Schritt müssen die Quelldateien der zu überprüfenden Modelle geladen werden. Dazu können die Dateien einfach per Drag'n'Drop in das Tool geladen werden. Das Tool erkennt den Inhalt unabhängig des Namens und lädt die entsprechende Datei. Alternativ kann eine manuelle Dateiauswahl genutzt werden oder der Inhalt der Datei in das Textfeld kopiert werden. Sobald jeweils ein valides BPMN- und BROS-Modell geladen wurden, wird die Konsistenzprüfung automatisch gestartet.



Die Ergebnisse der Konsistenzprüfung werden unterhalb der Eingabemaske angezeigt. Zunächst werden statistische Informationen zu den geladen Modellen, des Matchings und der Validierung angezeigt. Unterhalb dieser Statistiken befindet sich die Liste der Validierungsergebnisse. Mit Hilfe der Tableiste kann das BPMN- oder BROS-Matching oder auch das geladene Predefined-Matching anzeigen. Das Predefined-Matching kann per Klick auf die Element-IDs direkt bearbeitet werden.

# 6 Fallstudie

## 6.1 Anwendung am Beispiel einer Pizzabestellung

Nachdem die verschiedenen Konsistenzregeln aufgestellt und implementiert wurden soll nun die Benutzbarkeit und die Nützlichkeit des Tools gezeigt werden. Dafür wird der Vorgang einer Pizzabestellung betrachtet und mit Hilfe des Tools evaluiert. Die benutzten BPMN- und BROS-Modelle basieren auf den Modellen von Schön et al. o.D.

## 6.2 Erweiterbarkeit des Ansatzes

Bisher wurden nur Regeln vorgestellt, die die Konsistenz von BPMN-Modellen zu BROS-Modellen prüfen. Da das BROS-Modell gegenüber dem BPMN-Modell angereichert werden kann ist dies auch die häufigste Anwendung. Allerdings können auch einige Regeln in die andere Richtung überprüft werden. Um gleichzeitig die Erweiterbarkeit des Ansatzes und der Implementierung zu zeigen wird eine Regel hinzugefügt, die die BROS-Events und die Existenz der dazugehörigen BPMN-Elemente verifiziert.

# 7 Schluss

## 7.1 Zusammenfassung

Ziel dieser Arbeit war die automatisierte Konsistenzprüfung von BPMN- und BROS-Modellen. Dazu wurden anhand bestehender Arbeiten ein neuer Ansatz entwickelt. Die Funktionalität dieses Ansatzes wurde anhand einer Referenzimplementierung und einer Fallstudie gezeigt.

## 7.2 Wissenschaftlicher Beitrag

- **Nature:** beides
- **Diagrams:** BPMN-BROS
- **Consistency Type:** *Intra-Modell (horizontale) Konsistenz*
- **Intermediate Representation:** Nein
- **Consistency Strategy:** *Monitoring* (Auf einem Regelsatz basierend)
- **Case Study:** ja
- **Automatable:** gut (H)
- **Tool Support:** ja
- **Extensibility:** gut (H)

Der Ansatz und das entwickelte Tool geben dem Modellierer Warnungen und Hinweise die auf mögliche Inkonsistenzen deuten. Dabei werden explizit keine Handlungsempfehlungen oder Lösungsmöglichkeiten gegeben. Dies liegt in der alleinigen Verantwortung des Modellierers. Des Weiteren wird keine syntaktische und semantische Konsistenzprüfung der Einzelmodelle durchgeführt. Die zu überprüfenden Modelle müssen alleinstehend Konsistent sein. Nur die Korrektheit des Dateiformats wird indirekt überprüft, da es eine Voraussetzung zum Parsen des Modelles ist.

## 7.3 Zukünftige Arbeiten

Eine Abgrenzung dieser Arbeit war, dass keine Handlungsempfehlungen oder Lösungsmöglichkeiten bei gefundenen Inkonsistenzen gegeben werden. In diesem Feld sollte evaluiert werden welche Inkonsistenzmuster häufig auftreten und ob diese eine Vorhersehbare Lösungsmöglichkeit aufweisen.

Auch könnte die Fehlertoleranz des Tools erhöht werden, indem man eine syntaktische und semantische Konsistenzprüfung der Einzelmodelle integriert. Diese ist momentan noch von externen Programmen abhängig oder Aufgabe des Modellierers. Da externe Programme meist auf diese Aufgabe spezialisiert sind müsste zunächst evaluiert werden ob eine integrierte Lösung auch eine gleichbleibende Erkennungsrate besitzt. Um die Benutzbarkeit des Tools weiter zu verbessern kann eine Integration in FRaMED.io erfolgen. Die technische Grundlage ist mit der Referenzimplementierung bereits gegeben. Hierfür müsste noch evaluiert werden wie das Ergebnis der Analyse in die graphische Darstellung integriert werden kann.

# Literatur

- Briand, Lionel C, Yvan Labiche und Leeshawn O'Sullivan (2003). „Impact analysis and change management of UML models“. In: *International Conference on Software Maintenance, 2003. ICSM 2003. Proceedings*. IEEE, S. 256–265.
- Egyed, Alexander (2001). „Scalable consistency checking between diagrams-The VIEWINTEGRA approach“. In: *Proceedings 16th Annual International Conference on Automated Software Engineering (ASE 2001)*. IEEE, S. 387–390.
- (2006). „Instant consistency checking for the UML“. In: *Proceedings of the 28th international conference on Software engineering*. ACM, S. 381–390. DOI: 10.1145/1134285.1134339.
- Kim, S-K und David Carrington (2004). „A formal object-oriented approach to defining consistency constraints for UML models“. In: *2004 Australian Software Engineering Conference. Proceedings*. IEEE, S. 87–94. DOI: 10.1109/aswec.2004.1290461.
- Loja, Luiz Fernando Batista et al. (2010). „A business process metamodel for enterprise information systems automatic generation“. In: *Anais do I Congresso Brasileiro de Software: Teoria e Prática-I Workshop Brasileiro de Desenvolvimento de Software Dirigido por Modelos*. Bd. 8, S. 37–44.
- Lucas, Francisco J, Fernando Molina und Ambrosio Toval (2009). „A systematic review of UML model consistency management“. In: *Information and Software Technology* 51.12, S. 1631–1645. ISSN: 0950-5849. DOI: 10.1016/j.infsof.2009.04.009.
- Mens, Tom, Ragnhild Van Der Straeten und Jocelyn Simmonds (2005). „A framework for managing consistency of evolving UML models“. In: *Software Evolution with UML and XML*. IGI Global, S. 1–30.
- Rasch, Holger und Heike Wehrheim (2003). „Checking Consistency in UML Diagrams: Classes and State Machines“. In: *International Conference on Formal Methods for Open Object-Based Distributed Systems*. Springer, S. 229–243. DOI: 10.1007/978-3-540-39958-2\_16.
- Schön, Hendrik et al. (o.D.). „Business Role-Object Specification: A Language for Behavior-aware Structural Modeling of Business Objects“. In: ().
- Shinkawa, Yoshiyuki (2006). „Inter-Model Consistency in UML Based on CPN Formalism“. In: *2006 13th Asia Pacific Software Engineering Conference (APSEC'06)*. IEEE, S. 411–418. DOI: 10.1109/apsec.2006.41.
- Simmonds, Jocelyn et al. (2004). „Maintaining Consistency between UML Models Using Description Logic“. In: *L'OBJET* 10.2-3, S. 231–244. ISSN: 1262-1137. DOI: 10.3166/objet.10.2-3.231-244.
- Usman, Muhammad et al. (2008). „A Survey of Consistency Checking Techniques for UML Models“. In: *2008 Advanced Software Engineering and Its Applications*. IEEE, S. 57–62. DOI: 10.1109/asea.2008.40.