

# Inhaltsverzeichnis

<b>Kurzfassung</b>	<b>i</b>
<b>Abstract</b>	<b>ii</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>vii</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>ix</b>
<b>1. Einführung</b>	<b>1</b>
1.1. Problemstellung	2
1.1.1. Beispiel zur Umsetzung von Verfolgbarkeit	2
1.1.2. Ursachen für aufwändige Verfolgbarkeitsanalysen	3
1.2. Einordnung und Beitrag	4
1.3. Kapitelübersicht	6
<b>2. Grundlagen</b>	<b>7</b>
2.1. Verfolgbarkeit	7
2.1.1. Begriffe	7
2.1.2. Verfolgbarkeitsprozess	9
2.2. Modell	11
2.2.1. Modellbegriff	11
2.2.2. Metamodell	13
2.2.3. Graph	13
2.3. Domänenspezifische Sprache	15
<b>3. Stand von Wissenschaft und Technik</b>	<b>17</b>
3.1. Analysearten	17
3.2. Bewertungskriterien	20
3.2.1. Anwendbarkeit	20
3.2.2. Repräsentationsunabhängigkeit	22
3.2.3. Konfigurierbarkeit	23
3.3. Manuelle Ansätze	24
3.3.1. Visualisierungstechniken	25
3.3.2. Bewertungskriterien	26
3.4. Werkzeugbasierte Ansätze	28
3.4.1. Allgemeine Werkzeuge	28
3.4.2. Domänenspezifische Werkzeuge	32
3.4.3. Domänenspezifische Arbeitsumgebungen	34
3.5. Sprachbasierte Ansätze	36
3.5.1. Allgemeine Programmiersprachen	36
3.5.2. Allgemeine domänenspezifische Sprachen	37
3.5.3. Domänenspezifische Sprachen	38
3.6. Zusammenfassung	41

<b>4. TracAL: Die Traceability Analysis Language</b>	<b>43</b>
4.1. Anforderungen	43
4.1.1. Zielgruppe	43
4.1.2. Einsatzszenarien	44
4.1.3. Realisierungsaufwand	45
4.2. Festlegung der Funktionalität	45
4.2.1. Datenanbindung	45
4.2.2. Anfrage	45
4.2.3. Auswertung und Verarbeitung	46
4.3. Auswahl der Ansatzkategorie	47
4.3.1. Spracheigenschaften	47
4.3.2. Modelleigenschaften	51
4.4. Realisierung	53
4.4.1. Funktionsbibliothek	53
4.4.2. Syntaxerweiterungen	56
4.4.3. Verteilung	57
4.5. Arbeiten mit <i>TracAL</i>	57
4.5.1. Datenanbindung	58
4.5.2. Anfrage	60
4.5.3. Auswertung und Verarbeitung	61
4.5.4. Erweiterungen	62
4.6. Verwandte Arbeiten	64
4.6.1. Alternative Ansätze zur Umsetzung von Verfolgbarkeitsanalysen	65
4.6.2. Abgrenzung zu den Arbeiten des Forschungspartners	68
4.7. Zusammenfassung	69
<b>5. Repräsentationsunabhängigkeit</b>	<b>71</b>
5.1. Statisch typisierte Graphen	71
5.1.1. Problembeschreibung und Lösungsansatz	71
5.1.2. Erweiterung des Eigenschaften-Graphmodells	74
5.1.3. Filterkonzept	76
5.1.4. Generische und konkrete Typfilter	78
5.1.5. Allgemeine Filter	80
5.1.6. Statisch typisierte Graphklassen	83
5.1.7. Polymorphie statisch typisierter Graphklassen	87
5.1.8. Allgemeine Graphoperationen	89
5.1.9. Graphschema	91
5.1.10. Verwandte Arbeiten	95
5.2. Adapterkonzept	98
5.2.1. Allgemeiner Prozess zur Datenanbindung	98
5.2.2. Problembeschreibung und Lösungsansatz	100
5.2.3. Mehrstufiges Adapterkonzept	101
5.2.4. Modulare Bausteine	106
5.2.5. Verbesserte Repräsentationsunabhängigkeit	110
5.2.6. Verwandte Arbeiten	111
5.3. Zusammenfassung	115
<b>6. Konfigurierbarkeit</b>	<b>117</b>
6.1. Motivation	117

- 6.2. Lösungsansatz . . . . . 119
  - 6.2.1. Monaden . . . . . 120
  - 6.2.2. Anwendungsbeispiel . . . . . 121
  - 6.2.3. Einschränkungen . . . . . 123
  - 6.2.4. Wissenschaftlicher Beitrag . . . . . 124
- 6.3. Klassen mit monadischen Effekten . . . . . 125
  - 6.3.1. Datentyp . . . . . 125
  - 6.3.2. Typklasse . . . . . 127
- 6.4. Effektstapel . . . . . 131
  - 6.4.1. Aufbau . . . . . 132
  - 6.4.2. Syntaxerweiterungen . . . . . 134
  - 6.4.3. Umsetzung von Stapeloperationen . . . . . 139
  - 6.4.4. Bearbeitungsreihenfolge . . . . . 142
- 6.5. Stapelbasierte Traversierschritte . . . . . 144
  - 6.5.1. Allgemeine Traversierschritte . . . . . 144
  - 6.5.2. Elementbasierte Traversierschritte . . . . . 147
  - 6.5.3. Die Festlegung von Abarbeitungsregeln . . . . . 149
  - 6.5.4. Das Einbringen von Effektberechnungen . . . . . 150
  - 6.5.5. Wiederholungen . . . . . 153
- 6.6. Konfigurierbare Verfolgbarkeitsanalysen . . . . . 156
  - 6.6.1. Modularität . . . . . 156
  - 6.6.2. Erweiterbarkeit . . . . . 157
  - 6.6.3. Anpassbarkeit . . . . . 157
- 6.7. Verwandte Arbeiten . . . . . 158
  - 6.7.1. Monaden und Monadentransformatoren . . . . . 158
  - 6.7.2. Funktionale Graphalgorithmen . . . . . 160
  - 6.7.3. Alternative Umsetzung des Effektstapels . . . . . 160
  - 6.7.4. Effektberechnungen in anderen graphbasierten Sprachen . . . . . 162
- 6.8. Zusammenfassung . . . . . 163
- 7. Evaluation . . . . . 165**
  - 7.1. Testkonfiguration . . . . . 166
    - 7.1.1. Hardware . . . . . 166
    - 7.1.2. Software . . . . . 166
  - 7.2. Eigenschaften des Effektstapels . . . . . 167
    - 7.2.1. Untersuchung des Laufzeitmehraufwands . . . . . 167
    - 7.2.2. Untersuchung des Vorteils statischer Typisierung . . . . . 171
    - 7.2.3. Zusammenfassung . . . . . 172
  - 7.3. Fallstudie Zyklendetektion . . . . . 172
    - 7.3.1. Aufbau und Umsetzung der Analyse in *TracAL* . . . . . 173
    - 7.3.2. Vergleich mit anderen Ansätzen . . . . . 177
    - 7.3.3. Laufzeitmessungen . . . . . 178
    - 7.3.4. Erweiterung der Analyse . . . . . 183
    - 7.3.5. Zusammenfassung . . . . . 184
  - 7.4. Fallstudie Divergenzdetektion . . . . . 185
    - 7.4.1. Aufbau und Umsetzung der Analyse in *TracAL* . . . . . 185
    - 7.4.2. Vergleich mit anderen Ansätzen . . . . . 191
    - 7.4.3. Vergleich der Ausdrucksstärke . . . . . 192
    - 7.4.4. Laufzeitmessungen . . . . . 201
    - 7.4.5. Erweiterung der Analyse . . . . . 203

7.4.6. Zusammenfassung . . . . .	204
7.5. Fallstudie iTrust . . . . .	204
7.5.1. Datenanbindung . . . . .	206
7.5.2. Anfrage, Auswertung und Verarbeitung . . . . .	217
7.5.3. Zusammenfassung . . . . .	222
7.6. Zusammenfassung . . . . .	223
<b>8. Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>225</b>
8.1. TracAL: Die Traceability Analysis Language . . . . .	225
8.1.1. Anwendbarkeit . . . . .	225
8.1.2. Repräsentationsunabhängigkeit . . . . .	226
8.1.3. Konfigurierbarkeit . . . . .	227
8.1.4. Evaluation . . . . .	228
8.2. Ausblick . . . . .	229
<b>A. Anhang</b>	<b>231</b>
A.1. UML-Klassendiagramme für Scala . . . . .	231
A.1.1. Typparameter . . . . .	232
A.1.2. Stereotypen . . . . .	233
A.1.3. Methoden und Funktionen . . . . .	234
A.2. Referenzimplementierung ausgewählter Effektberechnungen . . . . .	235
A.2.1. Identitätsklasse . . . . .	235
A.2.2. Pfadeffekt . . . . .	238
A.2.3. Besuchseffekt . . . . .	239
<b>Liste der Veröffentlichungen</b>	<b>243</b>
<b>Hinweis und Danksagung</b>	<b>244</b>
<b>Quellenverzeichnis</b>	<b>245</b>