

# Inhaltsverzeichnis

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Abkürzungen, Formelzeichen und Indizes</b>                                 | <b>v</b>  |
| <b>1. Einleitung</b>  | <b>1</b>  |
| 1.1. Zielsetzung . . . . .  | 1         |
| 1.2. Aufbau der Arbeit . . . . .  | 3         |
| <b>2. Stand der Forschung</b>   | <b>5</b>  |
| 2.1. Theoretische Grundlagen . . . . .  | 5         |
| 2.1.1. Automatisiertes Fahren, Autobahnpilot und Funktionsarchitektur         | 6         |
| 2.1.2. Testen im Entwicklungsprozess . . . . .                                | 7         |
| 2.1.3. Testklassifikation und -verfahren . . . . .                            | 9         |
| 2.1.4. Anwendungsfall- und szenariobasiertes Testen . . . . .                 | 10        |
| 2.1.5. Statistische Grundlagen . . . . .                                      | 12        |
| 2.1.6. Terminologie und Glossar . . . . .                                     | 14        |
| 2.2. Rechtliche Aspekte und Testverfahren zur Markteinführung . . . . .       | 15        |
| 2.2.1. Zulassungsrecht und Testverfahren . . . . .                            | 15        |
| 2.2.2. Bewertungsverfahren durch Presse und Verbraucherschutz . . . . .       | 17        |
| 2.3. Auf dem Weg zur Zulassung - Aktivitäten und Forschungsprojekte . . . . . | 18        |
| 2.3.1. National . . . . .   | 19        |
| 2.3.2. International . . . . .  | 20        |
| 2.4. Ansätze der szenariobasierten Erprobung . . . . .                        | 23        |
| 2.5. Herausforderungen und identifizierter Forschungsbedarf . . . . .         | 27        |
| <b>3. Methodik zur Validierung des automatisierten Fahrens</b>                | <b>31</b> |
| 3.1. Anforderungen an eine effiziente Erprobungsmethodik . . . . .            | 31        |
| 3.2. Funktionsprüfung im Kontext des automatisierten Fahrens . . . . .        | 32        |
| 3.2.1. Definition des Gesamtsystems als System unter Test . . . . .           | 32        |
| 3.2.2. Definition der Funktionsprüfung . . . . .                              | 34        |
| 3.2.3. Funktionaler Umfang aufgrund des Erprobungsziels . . . . .             | 36        |
| 3.3. Validierungsmethodik . . . . .   | 38        |
| <b>4. Szenario-Definition</b>   | <b>41</b> |
| 4.1. Struktur der Szenarien . . . . .   | 41        |
| 4.1.1. Ansätze der Szenario-Definition . . . . .                              | 42        |
| 4.1.2. Kategorisierung der Umgebungseinflüsse . . . . .                       | 44        |
| 4.1.3. Formale Dekomposition der Szenarien . . . . .                          | 46        |
| 4.2. Relevante Merkmale zur Beschreibung der Szenarien . . . . .              | 48        |
| 4.2.1. Segmentierung relevanter Umgebungseinflüsse . . . . .                  | 49        |
| 4.2.2. Charakteristische Merkmale . . . . .                                   | 50        |
| 4.3. Anwendungsfälle und Szenarien der Domäne Autobahn . . . . .              | 53        |
| 4.3.1. Anwendungsfälle . . . . .  | 53        |

|  |            |
|--|------------|
| 4.3.2. Szenario-Erstellung . . . . .   | 54         |
| 4.3.3. Auswahl exemplarischer Szenarien . . . . .                                      | 56         |
| <b>5. Datengrundlage</b>   | <b>59</b>  |
| 5.1. Dynamische Umgebungsdaten . . . . .   | 59         |
| 5.1.1. Mess- und Versuchsfahrzeuge . . . . .   | 60         |
| 5.1.2. 3F-Methode und Messkampagne . . . . .   | 63         |
| 5.1.3. Verwendete Umgebungsdatenbasis . . . . .  | 63         |
| 5.2. Statische Umgebungsdaten . . . . .  | 65         |
| <b>6. Szenario-Detektion in hochgenauen Umgebungsdaten</b>                             | <b>69</b>  |
| 6.1. Methodisches Vorgehen der Datenanalyse und Ansätze . . . . .                      | 69         |
| 6.2. Manöverklassifikation . . . . .   | 72         |
| 6.2.1. Definition von Manövern und Events . . . . .                                    | 72         |
| 6.2.2. Klassifikation von Manövern . . . . .   | 73         |
| 6.3. Generische und modulare Szenario-Detektion . . . . .                              | 74         |
| 6.3.1. Detektion modularer Szenario-Bestandteile . . . . .                             | 75         |
| 6.3.2. Definition von Detektionskriterien . . . . .                                    | 76         |
| 6.3.3. Rollentausch und Strukturierung . . . . .                                       | 78         |
| 6.4. Toolkette und Ergebnisdiskussion . . . . .  | 80         |
| 6.4.1. Generische Implementierung . . . . .  | 80         |
| 6.4.2. Ergebnisdiskussion der Detektion . . . . .                                      | 81         |
| 6.5. Statische Parameter . . . . .   | 83         |
| <b>7. Erstellung repräsentativer Testfälle</b>   | <b>85</b>  |
| 7.1. Zielvorstellung und Ansätze der Testfallerstellung . . . . .                      | 85         |
| 7.2. Testfälle und Extraktionsmethoden . . . . .                                       | 87         |
| 7.2.1. Kategorisierung von Testfällen . . . . .  | 87         |
| 7.2.2. Vorgehen zur Parameterextraktion sowie Testfallgenerierung . . . . .            | 89         |
| 7.3. Statistische Analyse - Extraktion repräsentativer Parameterausprägungen . . . . . | 91         |
| 7.3.1. Parameterberechnung, Diskretisierung und statistische Bewertung . . . . .       | 92         |
| 7.3.2. Analyse von Parameterkorrelationen . . . . .                                    | 98         |
| 7.4. Generierung von Testfällen . . . . .  | 101        |
| 7.4.1. Ableitung repräsentativer Testfälle . . . . .                                   | 102        |
| 7.4.2. Ergebnisdarstellung und Diskussion . . . . .                                    | 105        |
| <b>8. Testprozess zum effizienten Funktionsnachweis</b>                                | <b>109</b> |
| 8.1. Testkonzept . . . . .   | 109        |
| 8.1.1. Ansatz und Testumgebungen . . . . .   | 109        |
| 8.1.2. Umsetzung der Testfälle . . . . .   | 112        |
| 8.2. Erprobung in der Simulation . . . . .   | 114        |
| 8.2.1. Simulationsumgebung und Modell . . . . .  | 114        |
| 8.2.2. Ergebnisse und Bewertung . . . . .  | 116        |
| 8.3. Werkzeug zur Erprobung auf dem Prüfgelände . . . . .                              | 120        |
| 8.3.1. Testmanager . . . . .   | 121        |
| 8.3.2. Ansteuerung eines Versuchsträgers . . . . .                                     | 122        |

---

|  |            |
|--|------------|
| <b>9. Zusammenfassung und Ausblick</b> | <b>125</b> |
| <b>Literatur</b>                       | <b>129</b> |
| <b>A. Anhang</b>                       | <b>141</b> |