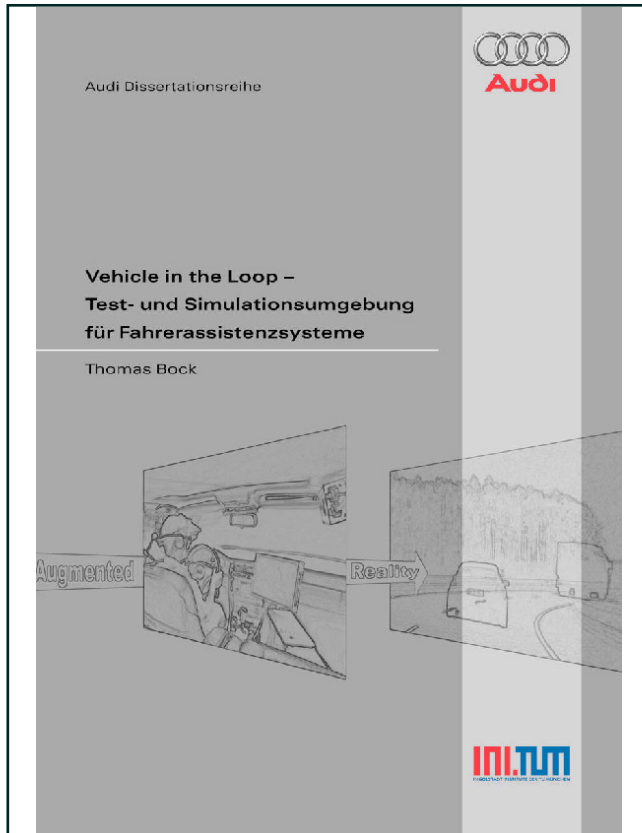




Thomas Bock (Autor)

## **Vehicle in the Loop - Test- und Simulationsumgebung für Fahrerassistenzsysteme**



<https://cuvillier.de/de/shop/publications/1285>

Copyright:

Cuvillier Verlag, Inhaberin Annette Jentsch-Cuvillier, Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen,  
Germany

Telefon: +49 (0)551 54724-0, E-Mail: [info@cuvillier.de](mailto:info@cuvillier.de), Website: <https://cuvillier.de>

# Inhaltsverzeichnis

<b>Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen</b>	<b>vii</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Motivation für Test- und Simulationsumgebung am Beispiel der ANB . . .	1
1.2 Ziel und Beiträge der Arbeit . . . . .	3
1.3 Struktur der Arbeit . . . . .	3
<b>2 Stand der Technik für Test- und Simulationsumgebungen</b>	<b>4</b>
2.1 Hardware in the Loop Methoden . . . . .	4
2.1.1 Einsatzarten von Hardware in the Loop . . . . .	4
2.1.2 Adaptive Cruise Control HIL . . . . .	5
2.1.3 DECOS - eine HIL Simulationsumgebung für Fahrerassistenzsysteme	6
2.2 Fahrsimulatoren . . . . .	7
2.2.1 Einteilung von Fahrsimulatoren . . . . .	8
2.2.2 Randbedingungen der Fahrsimulation . . . . .	13
2.2.3 Simulatorkrankheit . . . . .	14
2.3 Vehicle Hardware in the Loop - VEHIL (TNO) . . . . .	16
2.3.1 Funktionsprinzip von VEHIL . . . . .	16
2.3.2 Stärken und Einschränkungen des Systems . . . . .	17
2.4 Verkehrsflusssimulationen . . . . .	18
2.4.1 Verkehrsflusssimulation Pelops . . . . .	19
2.4.2 Kopplung einer Verkehrsflusssimulation mit einem realen Testfahrzeug	20
2.5 Prototypische Funktionsdarstellung im Versuchsträger . . . . .	22
2.5.1 Erprobung mit Hilfe von Kollisions-Ersatzobjekten . . . . .	22
2.5.2 Erprobung im öffentlichen Straßenverkehr . . . . .	24
2.6 Vergleich der Testmöglichkeiten . . . . .	25
<b>3 Konzeptuntersuchungen zur Test- und Simulationsumgebung</b>	<b>27</b>
3.1 Positionierung eines realen Versuchsträgers in einer Verkehrsflusssimulation	27
3.1.1 Positionierungsansatz in Pelops . . . . .	27
3.1.2 Verbesserung der Signalqualität durch Eigenzustandsschätzung . . .	31
3.1.3 Darstellung der Positionierungsergebnisse . . . . .	41
3.1.4 Positionierung mit DGPS gekoppelt mit Inertialmesstechnik . . . .	42
3.2 Ansätze zur Visualisierung des simulierten Fremdverkehrs . . . . .	45
3.2.1 Randbedingungen der Visualisierung . . . . .	46

3.2.2	Visualisierung mittels Head up Display . . . . .	50
3.2.3	Visualisierung mittels Beamerprojektion auf die Windschutzscheibe . . . . .	53
3.2.4	Visualisierung mittels Head Mounted Displays (HMD) . . . . .	54
3.2.5	Trackingsysteme für HMD im Versuchsträger . . . . .	58
<b>4</b>	<b>Gesamtkonzept und funktionale Architektur des Vehicle in the Loop</b>	<b>64</b>
4.1	Definition des Gesamtkonzeptes . . . . .	64
4.1.1	Visualisierung des virtuellen Fremdverkehrs . . . . .	65
4.1.2	Auswahl des Headtrackings im Versuchsträger . . . . .	65
4.1.3	Auswahl des Fahrzeugtrackings . . . . .	66
4.1.4	Anforderungen an eine Verkehrsflusssimulation . . . . .	66
4.2	Funktionale Architektur des Vehicle in the Loop . . . . .	67
<b>5</b>	<b>Systemaufbau des Vehicle in the Loop Prüfaufbaus</b>	<b>68</b>
5.1	Verkehrsflusssimulation . . . . .	68
5.2	Positionierung des Versuchsträgers in der Verkehrssimulation . . . . .	69
5.3	Einbindung des Fahrers durch Augmented Reality . . . . .	69
5.4	Fahrerassistenzfunktion und Sensormodell . . . . .	73
5.5	Totzeit des Gesamtsystems . . . . .	73
<b>6</b>	<b>Koordinatentransformationen zur Berechnung des Augpunktes</b>	<b>75</b>
6.1	Verwendete Koordinatensysteme . . . . .	75
6.2	Koordinatentransformationen . . . . .	77
<b>7</b>	<b>Sensormodelle</b>	<b>79</b>
7.1	Umsetzung der Sensormodelle mit Hilfe von ADTF . . . . .	79
7.2	Ideales Sensormodell . . . . .	80
7.2.1	Bestimmung der Relativposition . . . . .	81
7.2.2	Definition des Sensorerfassungsbereiches . . . . .	84
7.2.3	Bestimmung der Relativgeschwindigkeit und -beschleunigung . . . . .	85
7.3	Reales Sensormodell für Radarsensorik . . . . .	86
7.3.1	Statische Messungen . . . . .	86
7.3.2	Dynamische Messungen . . . . .	92
7.3.3	Geisterobjekte . . . . .	98
7.4	Sensormodell für Videosensorik - Objektbreite . . . . .	100
<b>8</b>	<b>Validierung des Vehicle in the Loop</b>	<b>102</b>
8.1	Aufbau der Probandenstudie . . . . .	102
8.1.1	Zielsetzung der Studie . . . . .	102
8.1.2	Probandenauswahl . . . . .	103
8.1.3	Datenerfassung . . . . .	103
8.1.4	Übersicht über die Hypothesen . . . . .	106
8.1.5	Fahrmanöver . . . . .	106
8.1.6	Ablauf der Studie . . . . .	106
8.1.7	Statistische Grundlagen . . . . .	107

## *Inhaltsverzeichnis*

8.2	Auswertung der Probandenstudie . . . . .	110
8.2.1	Auswertung der einzelnen Fahrmanöver . . . . .	110
8.2.2	Subjektive Bewertung des Vehicle in the Loop . . . . .	130
8.2.3	Einfluss von Personenmerkmalen auf das Fahrverhalten . . . . .	131
8.3	Zusammenfassung der Validierung . . . . .	132
<b>9</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>133</b>
<b>A</b>	<b>Simulator Sickness Questionnaire</b>	<b>136</b>
<b>B</b>	<b>Technische Daten des Headtrackers</b>	<b>138</b>
<b>C</b>	<b>Zahlenbeispiel der Gewichtungsfaktorberechnung</b>	<b>140</b>
<b>D</b>	<b>Skalierungsfaktoren für Eigenzustandsschätzung</b>	<b>142</b>
<b>E</b>	<b>Modellierung des Einspurmodells</b>	<b>143</b>
<b>F</b>	<b>Probandenstudie</b>	<b>145</b>
F.1	Fragebogen der Probandenstudie . . . . .	145
F.2	Messwerte der Probandenstudie . . . . .	155
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>163</b>