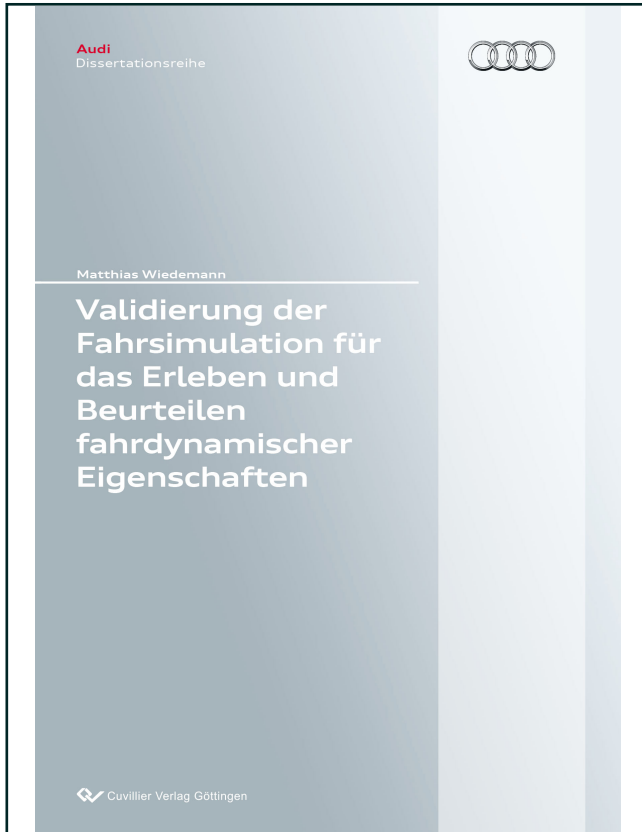




Matthias Wiedemann (Autor)

# Validierung der Fahrsimulation für das Erleben und Beurteilen fahrdynamischer Eigenschaften



<https://cuvillier.de/de/shop/publications/7293>

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>Kurzfassung</b>	<b>XIII</b>
<b>Abstract</b>	<b>XV</b>
<b>Kapitel 1 Einführung</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Motivation</b>	<b>2</b>
<b>1.2 Begriffsdefinitionen</b>	<b>4</b>
1.2.1 Erlebbarkeit	4
1.2.2 Fahrverhalten und Fahrerverhalten	4
1.2.3 Fahrdynamik	5
1.2.4 Validität	5
<b>1.3 Gliederung der Arbeit</b>	<b>5</b>
<b>Kapitel 2 Grundlagen des Fahrerhaltens im Fahrsimulator</b>	<b>7</b>
<b>2.1 Modelltheoretische Betrachtung der Fahrzeugführung</b>	<b>8</b>
2.1.1 Strukturierung der Fahraufgabe	8
2.1.2 Modellzusammenhänge	10
2.1.3 Der Fahrer-Fahrzeug-Regelkreis	12
<b>2.2 Der Mensch als Fahrzeugführer</b>	<b>13</b>
2.2.1 Funktionsprinzip der menschlichen Wahrnehmung	13
2.2.2 Beschreibung relevanter Sinnesmodalitäten	14
2.2.3 Multimodale Wahrnehmung fahrdynamischer Größen	21
<b>2.3 Fahrsimulation zur Abbildung von Fahrverhalten</b>	<b>25</b>
2.3.1 Thematischer Überblick	25
2.3.2 Validität von Simulatorversuchen	26
2.3.3 Klassifikation von Fahrsimulatoren	28
2.3.4 Stand der Technik	29



<b>2.4</b>	<b>Bewertung von Fahrverhalten</b>	<b>38</b>
2.4.1	Verfahren zur objektiven Beurteilung von Fahrverhalten	39
2.4.2	Verfahren zur subjektiven Beurteilung von Fahrverhalten	39
2.4.3	Objektivierungsverfahren	40
<b>Kapitel 3</b>	<b>Forschungsansatz und Vorgehensweise</b>	<b>43</b>
<b>3.1</b>	<b>Spezifizierung des Forschungsansatzes</b>	<b>43</b>
3.1.1	Fokussierung auf Fahrdynamik in Fahrsimulatoren	44
3.1.2	Fahrerverhalten und Beurteilungsqualität als Validierungsbasis	45
3.1.3	Ableitung übergreifender Fragestellungen	46
<b>3.2</b>	<b>Präzisierung des Forschungsansatzes</b>	<b>47</b>
3.2.1	Definition der Nutzergruppe	47
3.2.2	Aufgabenspektrum Fahrdynamikeigenschaften	49
3.2.3	Bewertung anhand der Informationsumsetzung	49
3.2.4	Eingesetzte Simulatortechnologie	49
<b>3.3</b>	<b>Experimentelle Umsetzung der Fragestellungen in Probandenstudien</b>	<b>50</b>
3.3.1	Probandenstudien im Realfahrzeug	50
3.3.2	Probandenstudien im Fahrsimulator	51
3.3.3	Machbarkeitsstudie zum Einsatz neuer Simulationstechnologie	51
<b>3.4</b>	<b>Kennwerte der Fahr- und Beurteilungsaufgaben</b>	<b>52</b>
3.4.1	Kennwerte zur Beschreibung der Beurteilungsqualität	52
3.4.2	Kennwerte zur Beschreibung des Fahrerverhaltens	52
3.4.3	Inferenzstatistische Auswertungsverfahren	55
<b>Kapitel 4</b>	<b>Probandenstudien im Realfahrzeug</b>	<b>59</b>
<b>4.1</b>	<b>Zielsetzung und Versuchsdesign</b>	<b>60</b>
4.1.1	Versuchsreihe Längsdynamik	60
4.1.2	Versuchsreihe Querdynamik	62
4.1.3	Versuchsreihe Vertikaldynamik	64
4.1.4	Datenerhebung und statistische Bewertung der Versuchsfaktoren	66



<b>4.2</b>	<b>Realisierung des Versuchsdesigns</b>	<b>67</b>
4.2.1	Darstellung der Versuchsfaktoren im Realfahrzeug	67
4.2.2	Versuchsablauf	68
4.2.3	Gestaltung der Fahr- und Beurteilungsaufgaben	68
4.2.4	Stichprobenbeschreibung	70
<b>4.3</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>71</b>
4.3.1	Ergebnisse Längsdynamik	71
4.3.2	Ergebnisse Querdynamik	72
4.3.3	Ergebnisse Vertikaldynamik	86
<b>4.4</b>	<b>Diskussion</b>	<b>89</b>
4.4.1	Subjektive Daten der Beurteilungsqualität	89
4.4.2	Objektive Daten des Fahrerhaltens	91
4.4.3	Diskussion des Versuchsdesigns	93
4.4.4	Folgerungen für die Gestaltung von Fahr simulatoren	94
<b>Kapitel 5</b>	<b>Probandenstudien im Fahr simulator</b>	<b>97</b>
<b>5.1</b>	<b>Zielsetzung und Versuchsdesign</b>	<b>97</b>
5.1.1	Versuchsreihe Längsdynamik	98
5.1.2	Versuchsreihe Querdynamik	100
5.1.3	Versuchsreihe Vertikaldynamik	102
5.1.4	Datenerhebung und statistische Bewertung der Versuchsfaktoren	104
<b>5.2</b>	<b>Realisierung des Versuchsdesigns</b>	<b>105</b>
5.2.1	Aufbau des Fahr simulators	105
5.2.2	Versuchsablauf	105
5.2.3	Gestaltung der Fahr- und Beurteilungsaufgaben	106
5.2.4	Stichprobenbeschreibung	107
<b>5.3</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>109</b>
5.3.1	Ergebnisse Längsdynamik	109
5.3.2	Ergebnisse Querdynamik	110



5.3.3	Ergebnisse Vertikaldynamik	117
<b>5.4</b>	<b>Diskussion</b>	<b>120</b>
5.4.1	Subjektive Daten der Beurteilungsqualität	120
5.4.2	Objektive Daten des Fahrerverhaltens	123
5.4.3	Ergebnisbewertung und Vergleich mit Realfahrzeugstudien	125
5.4.4	Diskussion des Versuchsdesigns	128
<b>Kapitel 6</b>	<b>Probandenstudien zu Fahrsimulatortechnologie</b>	<b>129</b>
<b>6.1</b>	<b>Galvanische Vestibuläre Stimulation</b>	<b>129</b>
6.1.1	Funktionsweise und Stand der Forschung	130
6.1.2	Einsatz in virtuellen Umgebungen	131
<b>6.2</b>	<b>Zielsetzung und Versuchsdesign</b>	<b>132</b>
6.2.1	Parameterermittlung und Verträglichkeitstest	132
6.2.2	Test der Beschleunigungswahrnehmung	133
6.2.3	Versuchsreihe Querdynamik mit GVS-System	134
<b>6.3</b>	<b>Realisierung des Versuchsdesigns</b>	<b>136</b>
6.3.1	Aufbau des GVS-Systems	136
6.3.2	Ermittlung der Grenzwerte der Stromstärke	137
6.3.3	Parametrierung des GVS-Systems	137
6.3.4	Stichprobenbeschreibung	138
<b>6.4</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>139</b>
6.4.1	Parametrierung und Verträglichkeit	139
6.4.2	Subjektive Daten zur Beschleunigungswahrnehmung	140
6.4.3	Subjektive Daten der Beurteilungsqualität	141
6.4.4	Objektive Daten des Fahrerverhaltens	142
<b>6.5</b>	<b>Diskussion</b>	<b>148</b>
6.5.1	Parametrierung, Verträglichkeit und Beschleunigungswahrnehmung	148
6.5.2	Subjektive Bewertung	149
6.5.3	Objektives Fahrerverhalten	150



<b>Kapitel 7 Zusammenfassende Diskussion und Ausblick</b>	<b>153</b>
<b>7.1 Zusammenfassung der Probandenstudien</b>	<b>153</b>
<b>7.2 Aussagekraft der Beurteilungsqualität und des Fahrerhaltens</b>	<b>155</b>
<b>7.3 Ausblick</b>	<b>157</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>159</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>173</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>181</b>
<b>Anhang</b>	<b>183</b>
<b>Anhang A Übersicht der objektiven Versuchsdaten</b>	<b>183</b>
A.1 Probandenstudien im Realfahrzeug (Kapitel 4)	183
A.2 Probandenstudien im Fahrsimulator (Kapitel 5)	185
A.3 Probandenstudien zu Fahrsimulatortechnologie (Kapitel 6)	186
<b>Anhang B Erfassung subjektiver Daten</b>	<b>188</b>
B.1 Übergreifend eingesetzte Fragebögen	188
B.2 Fragebögen der GVS-Studie	189
<b>Anhang C Versuchsstrecken</b>	<b>191</b>
C.1 Teststrecke Querdynamik	191
C.2 Teststrecke Vertikaldynamik	191