Inhaltsverzeichnis

Danksagung II

Inhaltsverzeichnis III

Abbildungsverzeichnis VI

Tabellenverzeichnis X

1 Einleitung 1

1.1 Anzeigeorte im Fahrzeug 1

1.2 Zur vorliegenden Arbeit 2

2 Head-up-Display-Technologie 3

2.1 Technische Grundlagen eines Head-up-Displays 3

2.1.1 Physikalisches Prinzip 3

2.1.2 Optisches System 6

2.1.3 Bilderzeugungseinheit 7

2.1.4 Windschutzscheibe 12

2.1.5 Optische Abbildungsfehler 16

2.2 Aufbau aktueller Head-up-Displays 24

2.3 Anzeigeinhalte aktueller Head-up-Displays 27

2.3.1 Geschwindigkeitsanzeigen 27

2.3.2 Anzeigen von Geschwindigkeitsregelanlagen (GRA) 30

2.3.3 Navigationsanzeigen 31

2.3.4 Statusanzeigen und Warnungen 32

2.3.5 Weitere Anzeigen 33

2.3.6 Bewertung 34

2.4 Studie zur Optimierung von Anzeigekonzepten im Head-up-Display 36

2.5 Resümee zum momentanen Stand der Head-up-Display-Technologie in Kraftfahrzeugen 42
3 Konzeptauswahl für die Umsetzung eines kontaktanalogen Head-up-Displays 44
3.1 Begriffsdefinition 44
3.2 Technische Realisierungsmöglichkeiten 46
3.2.1 Technologien mit virtuellem Bild 46
3.2.1.1 Beeinflussung der Wahrnehmung von Tiefenkriterien 46
3.2.1.2 Stereoskopische Bilddarstellung 49
3.2.1.3 Schräge Displayebene 50
3.2.2 Windschutzscheibenprojektion (reales Bild) 52
3.3 Bewertung der Realisierungsmöglichkeiten 58
4 Technische Umsetzung der Variante der schrägen Displayebene 61
4.1 Randbedingungen 61
4.2 Auslegung des virtuellen Bildes 63
4.3 Optikauslegung 69
4.4 Bildquelle 72
4.5 Datenbereitstellung und Ansteuerung 73
4.6 Einbau in den Versuchsträger 75
5 Anzeigekonzept für kontaktanaloge Head-up-Displays 78
5.1 Abbildungsfunktion 78
5.2 Einflüsse der Fahrdynamik 80
5.3 Realisierte Anzeigen 84
5.3.1 Distanzanzeige 85
5.3.2 Navigationsanzeige 88
5.3.3 Geschwindigkeitsanzeige 89
5.3.4 Generierung der Darstellung 90

5.4 Weitere mögliche Anzeigen 92
5.4.1 Überholanzeige 92
5.4.2 Hindernismarkierung 94
5.4.3 Ausweichmanöver 95
6 Validierung der umgesetzten Technologie und des Anzeigekonzeptes 98
6.1 Versuchsdesign 98
6.2 Ergebnisse und Interpretation 102
6.2.1 Kontaktanaloger Charakter des Systems 102
6.2.1.1 Erste Eindrücke 102
6.2.1.2 Wahrnehmung des virtuellen Bildes 103
6.2.1.3 Beurteilung von Umwelt- und Fahreinflüssen 105
6.2.1.4 Einflüsse der Bildlage auf das Fahrverhalten 107
6.2.2 Beurteilung der Distanzanzeige 108
6.2.3 Beurteilung der Navigationsanzeige 109
6.2.4 Weitere Ergebnisse 110
6.2.4.1 Verwendung des Systems im Stadtverkehr 110
6.2.4.2 Eindrücke zur Sicherheit 111
6.2.4.3 Verbesserungsvorschläge 113
7 Zusammenfassung 114
8 Ausblick 117
Literaturverzeichnis 118
Anhang 121
A.1 Quellcode zur Anzeigengenerierung 121
A.2 Fragebogen zur abschließenden Validierung 134
A.3 Fotodokumentation 148