

Andreas Penka

Vergleichende Untersuchung zu Fahrer-  
assistenzsystemen mit unterschiedlichen  
aktiven Bedienelementen



Herbert Utz Verlag · Wissenschaft  
München

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

Ein Titeldatensatz für diese Publikation ist  
bei Der Deutschen Bibliothek erhältlich

Zugleich: Dissertation, München, Techn. Univ., 2001

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, der Entnahme von Abbildungen, der Wiedergabe auf photomechanischem oder ähnlichem Wege und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen bleiben – auch bei nur auszugsweiser Verwendung – vorbehalten.

Copyright © Herbert Utz Verlag GmbH 2001

ISBN 3-8316-0097-X

Printed in Germany

Herbert Utz Verlag GmbH, München

Tel.: 089/277791-00 – Fax: 089/277791-01

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>EINLEITUNG .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>STAND DER TECHNIK .....</b>	<b>2</b>
2.1	SINNESPHYSIOLOGISCHE GRUNDLAGEN ZUR HAPTIK .....	2
2.1.1	<i>Reflexe.....</i>	<i>4</i>
2.1.2	<i>Die Leistungsfähigkeit der haptischen Wahrnehmung .....</i>	<i>6</i>
2.2	AKTIVE BEDIENELEMENTE IM KRAFTFAHRZEUG .....	7
2.2.1	<i>Aufbau aktiver Bedienelemente .....</i>	<i>9</i>
2.2.2	<i>Der Einsatz aktiver Bedienelemente im Kraftfahrzeug.....</i>	<i>14</i>
2.2.3	<i>Motivation der Untersuchung eines Aktiven Stellteils.....</i>	<i>17</i>
2.2.4	<i>Gestaltungsaspekte für den Einsatz eines Aktiven Stellteils im Kfz.....</i>	<i>20</i>
2.2.5	<i>Erfahrungen mit dem Aktiven Stellteil bei Präsentationen .....</i>	<i>22</i>
2.2.6	<i>Vor- und Nachteile eines Aktiven Stellteils zur Fahrzeugsteuerung.....</i>	<i>25</i>
2.3	FAHRERASSISTENZSYSTEME .....	28
2.3.1	<i>Abstandhalteunterstützung .....</i>	<i>31</i>
2.3.2	<i>Spurhalteunterstützung.....</i>	<i>35</i>
<b>3</b>	<b>VERSUCHSAUFBAU .....</b>	<b>41</b>
3.1	AUFBAU DES SIMULATORS .....	41
3.1.1	<i>Mechanischer Aufbau .....</i>	<i>43</i>
3.1.2	<i>Auslegung des verwendeten Aktiven Stellteils.....</i>	<i>46</i>
3.1.3	<i>Sichterzeugung.....</i>	<i>48</i>
3.1.4	<i>Akustiksimulation .....</i>	<i>48</i>
3.1.5	<i>Fahrdynamik des Versuchsfahrzeugs.....</i>	<i>49</i>
3.1.6	<i>Fahrdynamik der Fremdfahrzeuge.....</i>	<i>50</i>
3.1.7	<i>Zusätzliche Geschwindigkeitsrückmeldung .....</i>	<i>54</i>
3.1.8	<i>Steuerprogramm und Messdatenerfassung.....</i>	<i>55</i>
3.1.9	<i>Zur Problematik des Bedienkraftniveaus .....</i>	<i>56</i>
3.2	BESCHREIBUNG DER VERWENDETEN FAHRERASSISTENZSYSTEME .....	56
3.2.1	<i>System zur Spurhalteunterstützung.....</i>	<i>57</i>
3.2.2	<i>System zur Abstandhalteunterstützung .....</i>	<i>61</i>
<b>4</b>	<b>PILOTSTUDIE ZUR AUSLEGUNG DES AKTIVEN STELLEILS..</b>	<b>65</b>
4.1	VERSUCHSABLAUF .....	65
4.2	VORBEMERKUNG ZUR VERSUCHSAUSWERTUNG .....	65
4.3	ERGEBNISSE ZUR GRIFFGESTALTUNG.....	66
4.4	ZUSÄTZLICHE BEDIENELEMENTE AM AKTIVEN STELLEIL .....	69
4.5	AUSWAHL DES FÜR DIE HAUPTUNTERSUCHUNG VERWENDETEN GRIFFS ...	70

4.6	RÜCKWÄRTSGANGKONZEPT .....	71
4.7	WEITERE ERGEBNISSE.....	72
4.7.1	<i>Vorerfahrungen und Persönlichkeitsmerkmale der Versuchspersonen ..</i>	<i>72</i>
4.7.2	<i>Fahrerfahrung und Einschätzungen zu Pkws .....</i>	<i>74</i>
4.7.3	<i>Bewertung des Aktiven Stellteils.....</i>	<i>76</i>
4.7.4	<i>Vergleich des Aktiven Stellteils mit der Lenkradsteuerung .....</i>	<i>78</i>
4.7.5	<i>Kinetose.....</i>	<i>80</i>
4.7.6	<i>Prädiktoren für bevorzugtes Bedienkonzept und Kaufprognose .....</i>	<i>81</i>
4.8	INTERPRETATION .....	82
<b>5</b>	<b>VERSUCHSREIHE ZU FAHRERASSISTENZSYSTEMEN.....</b>	<b>83</b>
5.1	VERSUCHSABLAUF .....	83
5.2	ERGEBNISSE ZUR SPURHALTEUNTERSTÜTZUNG .....	85
5.2.1	<i>Das Zusammenspiel zwischen Fahrer und Spurhalteunterstützung .....</i>	<i>86</i>
5.2.2	<i>Subjektive Bewertung der Assistenzsysteme .....</i>	<i>87</i>
5.2.3	<i>Anmerkungen der Versuchspersonen zu den untersuchten Systemen ..</i>	<i>92</i>
5.2.4	<i>Fahrgüteunterschiede bei konstanter Fahrbahnkrümmung .....</i>	<i>93</i>
5.2.5	<i>Simulierter Systemausfall und erneute Aktivierung des Systems .....</i>	<i>97</i>
5.2.6	<i>Verhalten bei Fehlleitungen durch das System.....</i>	<i>99</i>
5.2.7	<i>Verhalten beim Überholen anderer Fahrzeuge.....</i>	<i>104</i>
5.2.8	<i>Verhalten bei plötzlich auftauchenden Hindernissen .....</i>	<i>105</i>
5.2.9	<i>Fahren ohne optische Rückmeldung .....</i>	<i>108</i>
5.2.10	<i>Prinzipielle Einstellung zu einem Spurhalteunterstützungssystem .....</i>	<i>112</i>
5.3	ERGEBNISSE ZUR ABSTANDHALTEUNTERSTÜTZUNG .....	112
5.3.1	<i>Eignung des gewählten Assistenzsystemansatzes.....</i>	<i>113</i>
5.3.2	<i>Abstandhalteverhalten .....</i>	<i>113</i>
5.3.3	<i>Beurteilung des Systems durch die Versuchspersonen.....</i>	<i>116</i>
5.3.4	<i>Anmerkungen der Versuchspersonen zum untersuchten System .....</i>	<i>116</i>
5.4	WEITERE ERGEBNISSE.....	117
5.4.1	<i>Kaufargumente für Fahrzeuge mit Aktivem Stellteil .....</i>	<i>117</i>
5.4.2	<i>Ergebnisse der begleitend durchgeführten psychologischen Studie.....</i>	<i>120</i>
<b>6</b>	<b>DISKUSSION DER ERGEBNISSE .....</b>	<b>124</b>
<b>7</b>	<b>AUSBLICK .....</b>	<b>128</b>
<b>8</b>	<b>LITERATUR.....</b>	<b>129</b>
<b>9</b>	<b>ANHANG .....</b>	<b>139</b>

# 1 Einleitung

In den letzten Jahren werden im Automobilbereich zunehmend Systeme zur Unterstützung des Fahrers auf unterschiedlichen Ebenen entwickelt. Die Palette reicht dabei von Informations- und Warnsystemen, die nicht unmittelbar auf die Erfüllung der Fahraufgabe einwirken, wie z. B. Navigationssystemen, über vorwiegend im Hintergrund arbeitende Systeme wie Anti-Blockier-System (ABS) oder elektronisches Stabilitätsprogramm (ESP), mit deren Hilfe die physikalischen Grenzen des Fahrzeug-Straße-Systems besser nutzbar werden, bis hin zu Fahrerassistenzsystemen wie intelligenten Tempomaten oder Systemen zur Spurhalteunterstützung, die direkt auf der Führungsebene in den Fahrer-Fahrzeug-Regelkreis eingreifen. Daneben existieren auch bereits leistungsfähige Versuchsfahrzeuge, die autonom, d. h. ohne Eingriff des Fahrers, längere Strecken zurücklegen können. Bei vielen der angesprochenen Entwicklungen wird die Weiterentwicklung mehr vom Reiz des technisch Machbaren als von einer grundlegenden Analyse der aus ergonomischer Sicht sinnvollen Fahrerunterstützung getragen. Je mehr aber ein technisches System aktiv auf die Fahrweise des Fahrers Einfluss nimmt, desto wichtiger werden Überlegungen zu Problemen, die im Zusammenspiel zwischen Fahrer und System oder bei Ausfällen und Fehlfunktionen des Systems auftreten. Schon aus Haftungsgründen muss bei solchen Assistenzsystemen jederzeit eine problemlose Übernahme durch den Fahrer möglich sein, der daher auch nicht vollständig aus dem Regelkreis der Fahrzeugführung verdrängt werden sollte.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es daher nicht, ein optimiertes Assistenzsystem zu entwickeln, sondern den Erstkontakt mit verschiedenen Fahrerassistenzsystemen zu untersuchen. Im Zentrum des Interesses stehen dabei Systeme zur Spurhalteunterstützung, zu deren Untersuchung zwei unterschiedliche Systemauslegungen miteinander verglichen werden. Zusätzlich wird das konventionelle Bedienkonzept mit Lenkrad und Pedalen einem alternativen Bedienkonzept gegenübergestellt, um herauszufinden, ob sich durch eine verbesserte Rückmeldung des Systemzustands am Bedienelement die Akzeptanz und Handhabbarkeit der untersuchten Assistenzsysteme erhöhen lässt. Die Konzentration auf die beiden Schwerpunkte Spurhalteunterstützungssysteme und Benutzerschnittstelle hat zwei Gründe: Zum einen sind relativ viele Unfälle – in den Vereinigten Staaten die Mehrzahl der Unfälle mit Todesfolge auf Landstraßen [90] – darauf zurückzuführen, dass der Fahrer ohne Fremdeinwirkung von der Straße abkommt. Zum anderen erscheint eine Verbesserung der Benutzerschnittstelle insbesondere bei Spurhalteunterstützungssystemen wünschenswert, da

durch das vom System normalerweise zusätzlich auf das Lenkrad aufgebrachte Moment die für den Fahrer bis dahin wichtigste Rückmeldung am Lenkrad, nämlich dessen Rückstellmoment, verändert wird. Durch die so entstehende zusätzlich situations abhängige Rückstellmomentcharakteristik wird für den Fahrer der Zusammenhang zwischen den am Lenkrad wahrnehmbaren Größen Drehwinkel und Rückstellmoment und den fahrdynamischen Größen Bahnkrümmung, Gierwinkelgeschwindigkeit und Querschleunigung noch schwerer nachvollziehbar. Hier bietet sich die Untersuchung alternativer Bedienkonzepte an, die es ermöglichen, dem Fahrer auch mit Assistenzsystemen eine leicht interpretierbare Systemrückmeldung zu geben. Dies ist zum Beispiel beim Einsatz eines Aktiven Stellteils (vgl. Kapitel 2.2) möglich, da hier – unabhängig von Assistenzsystemen – die Position des Bediengriffs Informationen über den aktuellen Systemzustand des Fahrzeugs liefern kann.

Aufgrund der Tatsache, dass bislang kein Versuchsfahrzeug existiert, das sowohl mit einem Aktiven Stellteil als auch mit der für die untersuchten Assistenzsysteme notwendigen Sensorik und Aktorik ausgestattet ist, und der Aufbau eines solchen Fahrzeugs mit einem erheblichen Aufwand verbunden ist, wurden die Versuchsreihen in einem Fahrsimulator durchgeführt.

## **2 Stand der Technik**

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit dem Einsatz aktiver Bedienelemente für Fahrerassistenzsysteme im Kraftfahrzeug. Um die Arbeit in den Gesamtkontext der Forschungs- und Entwicklungsarbeiten in diesem Bereich zu stellen, wird im Folgenden zunächst der Stand der Technik auf den Gebieten Fahrerassistenzsysteme und aktive Bedienelemente dargestellt. Zusätzlich wird ein kurzer Abriss zum Bereich der Haptik gegeben, da dieser für die Mensch-Maschine-Interaktion am Bedienelement entscheidend ist.

### ***2.1 Sinnesphysiologische Grundlagen zur Haptik***

Ein wichtiger Aspekt zur Unterscheidung verschiedener Bedienelemente und deren Rückmeldungscharakteristiken ist ihre haptische Wahrnehmung durch den Benutzer. Im folgenden sollen daher einige Grundzusammenhänge aus dem Bereich der Haptik kurz zusammengestellt werden.

Nach Revesz [89] sind haptische Wahrnehmungen aus mehreren Sinneseindrücken zusammengesetzte Eindrücke, bei denen sowohl taktile Reize an der Hautoberfläche als auch kinästhetische Wahrnehmungen im Körperinneren eine Rolle spielen. Taktile Wahrnehmungen umfassen im wesentlichen Druck-, Berührungs-, Vibrations-,