

André Dettmann

Eignung autostereoskopischer Displays im Fahrzeugkontext

Betrachtungen zur Ergonomie und
Wahrnehmungsleistung

MOREMEDIA



Springer Vieweg

Eignung autostereoskopischer Displays im Fahrzeugkontext

André Dettmann

Eignung autostereoskopischer Displays im Fahrzeugkontext

Betrachtungen zur Ergonomie und
Wahrnehmungsleistung

 Springer Vieweg

André Dettmann
Chemnitz, Deutschland

Diese Arbeit hat der Fakultät für Maschinenbau der Technischen Universität Chemnitz 2019 als Dissertation vorgelegen.

ISBN 978-3-658-32976-1 ISBN 978-3-658-32977-8 (eBook)
<https://doi.org/10.1007/978-3-658-32977-8>

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

© Der/die Herausgeber bzw. der/die Autor(en), exklusiv lizenziert durch Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, ein Teil von Springer Nature 2021

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung der Verlage. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von allgemein beschreibenden Bezeichnungen, Marken, Unternehmensnamen etc. in diesem Werk bedeutet nicht, dass diese frei durch jedermann benutzt werden dürfen. Die Berechtigung zur Benutzung unterliegt, auch ohne gesonderten Hinweis hierzu, den Regeln des Markenrechts. Die Rechte des jeweiligen Zeicheninhabers sind zu beachten.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag, noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Planung/Lektorat: Carina Reibold

Springer Vieweg ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH und ist ein Teil von Springer Nature.

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Abraham-Lincoln-Str. 46, 65189 Wiesbaden, Germany

Geleitwort

Fahrerassistenz- und Informationssysteme (FAS/FIS) sind über die letzten Jahr(zehnt)en ein integraler Bestandteil der Verkehrssicherheit geworden, indem sie FahrerInnen zunehmend aktiv z. B. bei der Spurhaltung unterstützen. Während die Systeme helfen, die Vielzahl verkehrsrelevanter Informationen aus der Fahrzeugumwelt und dem -innenraum aufzunehmen und zu verarbeiten, wirken insbesondere die dabei wahrgenommenen visuellen Reize auch beanspruchend.

Technologisch bieten autostereoskopische Monitore eine Möglichkeit, FahrerInnen eine dreidimensionale Informationsstrukturierung und -präsentation ohne weitere Hilfsmittel (wie z. B. die aus der Unterhaltungsindustrie bekannten Brillen) anzubieten. Noch ist allerdings nicht bekannt, ob diese Darstellungsform für den Nutzer ergonomisch und bezüglich der Wahrnehmungsleistung besser zu bewerten ist als herkömmliche zweidimensionale Darstellungen.

André Dettmann hat den Fahrzeugkontext als Anwendungsfall gewählt, um mit seiner Dissertationsschrift Erkenntnisse zur Eignung autostereoskopischer Monitore zu erarbeiten.

Es gelingt ihm mit zwei Laborstudien und einer Studie im Fahr Simulator zu zeigen, dass der größte Nutzen der autostereoskopischen Darstellung zu erwarten ist, wenn die Aufgabe besonders schwierig ist. Er kann außerdem Parameter für die Darstellung angeben, indem er eine Querdisparität der beiden Ebenen von 0,155 Grad empirisch identifiziert. Schließlich kann er zeigen, dass autostereoskopische Monitore die Wahrnehmungsleistung erhöhen, ohne negative Effekte auf das Blickverhalten und die Qualität der Fahraufgabe zu zeitigen. Dies bedeutet, dass selbst minimale Tiefeninformationen in kurzen Betrachtungszeiträumen wahrgenommen werden können, ohne zusätzliche Belastung auszulösen. Auch bewerteten die Probanden den in den Studien eingesetzte, schlicht gestalteten autostereoskopischen Monitor bereits als originell und stimulierend.

Die in der Dissertation erarbeiteten Ergebnisse können eine Referenz für die Gestaltung dreidimensionaler Anzeigen vor allem, aber nicht nur in Fahrzeugen bilden. Für die Wissenschaft besteht im Anwendungsfall Fahrzeugkontext ein hoher Forschungsbedarf im Bereich der gebrauchstauglichen Gestaltung von Mensch-Maschine-Schnittstellen, die auf stereoskopischen Anzeigen basieren.

Während die Dissertation auf das Feld der der FAS/FIS zugeschnitten ist, bieten die erarbeitete Erkenntnisse Potential für die Gestaltung anderer, auf autostereoskopischen Anzeigen basierenden, Mensch-Maschine-Schnittstellen.

Ich wünsche André Dettmann daher zahlreiche interessierte Leserinnen und Leser aus Wirtschaft und Wissenschaft – und noch viele mehr ergonomisch beeinträchtigungsfreie Mensch-Maschine-Schnittstellen mit autostereoskopischen Monitoren, die auf Grundlage seiner Arbeit gestaltet werden!

Chemnitz
im August 2019

Angelika C. Bullinger-Hoffmann

Danksagung

„Im Zweifel für den Zweifel“

von Lowtzow, Müller & Zank, 2010

Diese Dissertation wurde im Rahmen des Graduiertenkolleg der Forschungsallianz 3D-Sensation finanziell durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung im Programm „Zwanzig20 – Partnerschaft für Innovation“ gefördert. Vielen Dank!

An dieser Stelle möchte ich mich bei all jenen Bedanken, die mir die Möglichkeit zur Erstellung dieser Arbeit gegeben und zum Gelingen beigetragen haben.

Mein besonderer Dank gilt zuallererst meiner Doktormutter Frau Prof. Dr. Angelika Bullinger-Hoffmann, die mich stets mit gutem Ratschlag, Inspiration und Motivation bei der Bearbeitung meiner Dissertation unterstützt hat. Sie haben mich stets ermutigt diesen Weg zu gehen und mich kritisch mit dem Thema der Arbeit auseinanderzusetzen. Vielen herzlichen Dank!

Weiterhin möchte ich mich bei Frau Prof. Dr. Heidi Krömker für die Übernahme der Zweitbetreuung bedanken. Die ausführlichen Gespräche und intensiven Diskussionen in Ilmenau waren stets eine Bereicherung.

Ein besonderer Dank gilt all meinen Kollegen und Freunden an der Professur Arbeitswissenschaft und Innovationsmanagement für den wissenschaftlichen Rat und den Austausch in vielen hilfreichen Diskussionen. Insbesondere möchte ich mich bei Dr. Katharina Renate Simon, Dorothea Langer, Patrick Roßner und Thomas Seeling bedanken. Ihr habt mich immer unterstützt, mitgedacht und dabei

geholfen den Kopf oben zu halten. All dies gilt auch für Max Bernhagen, Annetta Melzer und über die Grenzen der Professur hinaus auch für Dr. Franziska Hartwich. Danke!

Was wäre eine Dissertation ohne die Unterstützung meiner Studenten. Mein besonderer Dank gilt an dieser Stelle Konstantin Felbel, Marty Friedrich sowie Marlen Etert und Hannes Duve für die Vorbereitungen der Studien und die Unterstützung bei der Auswertung. Lieber Lektor Sebastian ‚esszett‘ Scholz: Danke für das Lesen, Korrigieren und all die netten Spitzfindigkeiten und amüsanten Einblicke in die deutsche Sprache.

Mein größter Dank gilt meiner Freundin Melinda Hartwig für ihre unglaubliche Unterstützung und ihr Verständnis während der Anfertigung dieser Doktorarbeit. Jetzt bin ich wieder da! Und danke an die Bande da draußen: Allen Freunden des Dienstags und im ganz Speziellen Kathi, Toni, Robert, Tom, Thomas und Marc für die musikalischen Ablenkungen und Ausflüge. Dankefein!

Zum Schluss gilt mein Dank meinen Eltern Rita und Waldemar, die mich immer auf meinem Weg begleitet haben. Vielen Dank für alles!

Bibliografische Angaben

André Dettmann

Thema der Dissertation:

Eignung autostereoskopischer Displays im Fahrzeugkontext unter Einbeziehung von Ergonomie und Wahrnehmungsleistung

Dissertation an der Fakultät für Maschinenbau der Technischen Universität
Chemnitz,

Institut für Betriebswissenschaften und Fabrikssysteme, Professur Arbeitswis-
senschaft und Innovationsmanagement

Kurzreferat

Stereoskopische Anzeigen bieten einem Nutzer die Möglichkeit, dreidimensionale Inhalte wahrzunehmen. Sogenannte autostereoskopische Monitore ermöglichen diese dreidimensionale Informationspräsentation ohne weitere Hilfsmittel und sind somit als Anzeigesystem im Fahrzeug grundlegend geeignet. Für den Fahrer ergeben sich dabei Vorteile im Vergleich zu herkömmlichen Anzeigen: Daten, die auf voneinander abgesetzten virtuellen Ebenen angezeigt werden, können besser voneinander unterschieden werden und helfen spezifische Informationen schneller zu finden, zu identifizieren und zu klassifizieren. Dies ist nach McIntire, Havig und Geiselman (2014) insbesondere dann von Vorteil, wenn schwierige oder komplexe Aufgaben durchgeführt werden. Dieser Ansatzpunkt der Fahrerunterstützung durch autostereoskopische Monitore bildet somit das thematische Feld der vorliegenden Abhandlung. Die Kernthese lautet wie folgt: Autostereoskopische Monitore können den Fahrer in der Informationsaufnahme unter Berücksichtigung ergonomischer Beeinträchtigungsfreiheit besser unterstützen als konventionelle zweidimensionale Anzeigen. Die ergonomische Beeinträchtigungsfreiheit als kurzdauernde Belastungswirkung (Schmidtke, 1993, S. 604) ist eine Kernanforderung an Anzeigen im Fahrzeug und liegt daher im besonderen Fokus der Arbeit.

Der Beitrag der Arbeit zum Bereich der allgemeinen Mensch-Maschine-Interaktion mit stereoskopischen Anzeigen sind konkrete Gestaltungsparameter, die eine beeinträchtigungsfreie und hohe visuelle Wahrnehmungsleistung unter Berücksichtigung einer Minimierung des Akkommodation-Konvergenz-Konflikts ermöglichen. Dies wurde für die grundlegenden Darstellungsarten „gestuft“ und „stufenlos“ von autostereoskopischen Monitoren untersucht. Um zwei virtuelle Objekte in einer stufenlosen Darstellung sicher unterscheiden zu können, müssen diese mit einer Querdisparität von 0,61 Grad zueinander angeordnet werden.

Für die gestufte Darstellung konnte gezeigt werden, dass zwei Ebenen, auf denen die Informationen angezeigt werden sollen, mit einer Querdisparität von 0,155 Grad zueinander gestaltet werden müssen, um einem Anwender ein effizientes Unterscheidungsmerkmal zu geben.

Hinsichtlich der Fahrer-Fahrzeug-Interaktion wurde der Nachweis erbracht, dass autostereoskopische Monitore als Mensch-Maschine-Schnittstellen in Fahrerassistenz- und Informationssystemen generell geeignet sind und im Vergleich zu zweidimensionalen Anzeigen einem Autofahrer eine höhere visuelle Wahrnehmungsleistung ermöglichen. Weiterhin konnte gezeigt werden, dass auf Basis einer festgelegten ergonomischen Komfortzone in keiner der Studien eine negative Auswirkung hinsichtlich visuellem Diskomfort und Ermüdung auftritt, was die grundlegende Eignung im Fahrer-Fahrzeug-Kontext sicherstellt. Um dies zu überprüfen wurde der Wert der Querdisparität von gestuften Darstellungen in einem anwendungsnahen Szenario auf Basis einer Fahrsimulatorstudie angewendet. Dieser Wert zeigte sich in Bezug auf die ergonomische Beeinträchtigungsfreiheit und einer hohen Wahrnehmungsleistung als geeignet. Die Unterstützung durch autostereoskopische Monitore kann durch eine Steigerung der visuellen Wahrnehmungsleistung beschrieben werden. Für das Blickverhalten als auch die Qualität der Fahraufgabe zeigten sich keine Nachteile.

Schlagworte

Fahrer-Fahrzeug-Interaktion, Autostereoskopische Monitore, Stereoskopie, Fahrerassistenzsysteme, Fahrerinformationssysteme, Dreidimensional, 3D, Ergonomie, visuelle Wahrnehmungsleistung, Querdisparität

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Motivation und Zielstellung	2
1.2	Aufbau der Arbeit	4
2	Stand der Wissenschaft und Technik	7
2.1	Die menschliche Wahrnehmung in der Fahrer-Fahrzeug-Interaktion	7
2.1.1	Grundlagen der Wahrnehmung	10
2.1.2	Unfallgeschehen und Unfallursachen	15
2.1.3	Fahrerassistenz- und Informationssysteme	20
2.1.4	Anforderungen an moderne Fahrerassistenzentwicklung	25
2.1.5	Zusammenfassung des Kapitels	29
2.2	Stereoskopische Anzeigen als Fahrerassistenz- und Informationssystem	30
2.2.1	Funktionsweise stereoskopischer Anzeigen	32
2.2.2	Empirische Befunde zur Wirksamkeit stereoskopischer Anzeigen	35
2.2.3	Ergonomische Betrachtungen zu stereoskopischen Anzeigen	39
2.2.4	Autostereoskopische Monitore in der Fahrer-Fahrzeug-Interaktion	49
2.2.5	Zusammenfassung des Kapitels	57
2.3	Fazit	58

3 Empirische Untersuchungen	61
3.1 Methodische Vorbetrachtungen und Ableitung eines Forschungsdesigns	61
3.2 Raumempfinden auf autostereoskopischen Displays	67
3.2.1 Methode und Material	68
3.2.2 Ergebnisse	76
3.2.3 Diskussion	84
3.3 Wahrnehmungsleistung auf autostereoskopischen Displays	87
3.3.1 Methode und Material	88
3.3.2 Ergebnisse	98
3.3.3 Diskussion	106
3.4 Autostereoskopische Displays als Fahrerinformationssystem	112
3.4.1 Methode und Material	113
3.4.2 Ergebnisse	122
3.4.3 Diskussion	130
4 Zusammenfassung und Ausblick	137
4.1 Praktische Implikationen	144
4.2 Theoretisch-methodische Implikationen	145
4.3 Limitationen der Arbeit	146
4.4 Ausblick	147
Literaturverzeichnis	149

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Bezeichnung
AAM	Alliance of Automobile Manufacturers
ADAS	Advanced Driver Assistance System
BAST	Bundesanstalt für Straßenwesen
bspw.	Beispielsweise
BSSS	Brief-Sensation-Seeking-Skala
etc.	et cetera
ESP	Elektronisches Stabilitätsprogramm
FAS	Fahrerassistenzsystem
FIS	Fahrerinformationssystem
IVIS	In-Vehicle Information System
LCT	Lane Change Task
NDS	Naturalistic Driving Study
MMS	Mensch-Maschine-Schnittstelle
NEI-VFQ 25	National Eye Institute - Visual Function Questionnaire 25
NHTSA	National Highway Traffic Safety Association
SMI	SensoMotoric Instruments
TCI-Modell	Task-Capability-Interface-Modell
TEORT	Total Eye Off Road Time - Maßeinheit [s]
TICS	Transport Information and Control System
u. a.	unter anderem
USA	Engl. für Vereinigte Staaten von Amerika
UX	User Experience
VFQ	Visual Fatigue Questionnaire
VFQ-k	Visual Fatigue Questionnaire - Kurzversion
vgl.	vergleiche

VR	Virtual Reality
ZVT	Zahlen-Verbindungs-Test

Einheitenverzeichnis

Einheitenname (Symbol)	Physikalische Größe
Hertz (Hz)	Frequenz
Nanometer $\hat{=} 10^{-9}$ Meter (nm)	Länge
Millimeter $\hat{=} 10^{-3}$ Meter (mm)	Länge
Meter (m)	Länge
Millisekunden $\hat{=} 10^{-3}$ Sekunden (ms)	Zeit, Zeitspanne
Kilometer pro Stunde (km/h)	Geschwindigkeit
Quadratmeter (m ²)	Flächeninhalt

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.1	Aufbau der Arbeit	5
Abbildung 2.1	Einordnung von Kapitel 2 in den Aufbau der Arbeit	8
Abbildung 2.2	Vereinfachtes Strukturmodell der Fahrer-Fahrzeug-Interaktion	9
Abbildung 2.3	Der Wahrnehmungsprozess	11
Abbildung 2.4	Aufbau des menschlichen Auges	12
Abbildung 2.5	Modell multipler Ressourcen	15
Abbildung 2.6	Das Task-Capability-Interface-Modell	20
Abbildung 2.7	Drei-Ebenen-Modell der Fahrzeugführung erweitert um FAS/FIS	22
Abbildung 2.8	Modell der limitierten Kapazitäten der Fahrerinformationsverarbeitung	26
Abbildung 2.9	Modell der visuellen Beanspruchung	28
Abbildung 2.10	Optische Anzeigen als Mensch-Maschine-Schnittstelle	31
Abbildung 2.11	Funktionsweise autostereoskopische Displays	32
Abbildung 2.12	Patent eines multidimensionalen Desktops für Betriebssysteme	34
Abbildung 2.13	Autostereoskopische Displays als „Puppentheater“	34
Abbildung 2.14	Arten von Tiefenreizen	40
Abbildung 2.15	Akkommodation und Konvergenz als okulomotorische Tiefenreize	41
Abbildung 2.16	Der Horopterkreis und das Panum-Areal	42
Abbildung 2.17	Zufallsmusterstereogramm und wahrnehmbares Ergebnis des Stereotests II	43

Abbildung 2.18	Effektivität von Tiefenreizen als Funktion zum Betrachterabstand	44
Abbildung 2.19	Der Akkommodation-Konvergenz-Konflikt	45
Abbildung 2.20	Typische Anordnung der Instrumentierung im Fahrzeuginnenraum mit Beispielen	50
Abbildung 2.21	Patentauszug zu einer dreidimensionalen Instrumententafel im Fahrzeug	51
Abbildung 2.22	Verwendung einer Zweitaufgabe zur Messung der Erstaufgabenperformanz	56
Abbildung 3.1	Einordnung von Kapitel 3 in den Aufbau der Arbeit	62
Abbildung 3.2	Das autostereoskopische Display SF3D-133CR mit Abstandstoleranzen	66
Abbildung 3.3	Studie „Raumempfinden“: Kreuzung in beiden Perspektiven	70
Abbildung 3.4	Studie „Raumempfinden“: Skala zur Bewertung der Kritikalität	70
Abbildung 3.5	Studie „Raumempfinden“: Versuchsaufbau	73
Abbildung 3.6	Studie „Raumempfinden“: allgemeines Antwortverhalten auf der Kritikalitätsskala	76
Abbildung 3.7	Studie „Raumempfinden“: Antwortverhalten auf der Kritikalitätsskala	78
Abbildung 3.8	Studie „Raumempfinden“: Einfluss der Haupteffekte auf die Bewertung	80
Abbildung 3.9	Studie „Raumempfinden“: absolute Entwicklung der visuellen Ermüdung	81
Abbildung 3.10	Studie „Raumempfinden“: allgemeine Beurteilung der subjektiven Bildqualität	82
Abbildung 3.11	Studie „Raumempfinden“: Entwicklung der subjektiven Bildqualität	82
Abbildung 3.12	Studie „Wahrnehmungsleistung“: Schema der Reizpräsentation	90
Abbildung 3.13	Studie „Wahrnehmungsleistung“: Beispiele des verwendeten Bildmaterials	95
Abbildung 3.14	Studie „Wahrnehmungsleistung“: generelles Antwortverhalten	100
Abbildung 3.15	Studie „Wahrnehmungsleistung“: Antwortverhalten auf 75 % Antwortniveau	104

Abbildung 3.16	Studie „Wahrnehmungsleistung“: Ergebnisse für subjektiven Workload #1	105
Abbildung 3.17	Studie „Wahrnehmungsleistung“: Ergebnisse für subjektiven Workload #2	105
Abbildung 3.18	Studie „Wahrnehmungsleistung“: abs. und rel. Entwicklung der vis. Ermüdung	107
Abbildung 3.19	Studie „Fahrsimulator“: Lane-Change-Task	114
Abbildung 3.20	Studie „Fahrsimulator“: Beispiel der verwendeten zweidimensionalen Stimuli	115
Abbildung 3.21	Studie „Fahrsimulator“: Versuchsleitstand und Fahrsimulator	118
Abbildung 3.22	Studie „Fahrsimulator“: verwendete Anzeigekonzepte	119
Abbildung 3.23	Studie „Fahrsimulator“: angewendete Blickziele	121
Abbildung 3.24	Studie „Fahrsimulator“: kumuliertes Antwortverhalten der Fahrten	124
Abbildung 3.25	Studie „Fahrsimulator“: absolute Entwicklung für subjektiven Workload	125
Abbildung 3.26	Studie „Fahrsimulator“: Ergebnisse des Eye-Tracking - mittlere Blickdauer	126
Abbildung 3.27	Studie „Fahrsimulator“: Ergebnisse des Eye-Tracking - Häufigkeit der Blicke	127
Abbildung 3.28	Studie „Fahrsimulator“: Ergebnisse der Lane Change Task	128
Abbildung 3.29	Studie „Fahrsimulator“: absolute Entwicklung der visuellen Ermüdung	129
Abbildung 3.30	Studie „Fahrsimulator“: Ergebnisse der Akzeptanzmessung	130
Abbildung 3.31	Studie „Raumempfinden“: Ergebnisse der User Experience	131
Abbildung 4.1	Einordnung von Kapitel 4 in den Aufbau der Arbeit	138
Abbildung 4.2	Einordnung der gefundenen Querdisparitäten in die Literatur	142

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1	Sensorische Modalitäten der menschlichen Informationsaufnahme	10
Tabelle 2.2	Menschliche Fehler im Verlauf der Fahraufgabe und Verhaltensebenen	16
Tabelle 2.3	Kurzübersicht über die Anteile fahrfremder Tätigkeiten an Unfällen	17
Tabelle 2.4	Klassifikationsschema der Fahrerunaufmerksamkeit	19
Tabelle 2.5	FAS-Kategorisierung und Einteilung in die Ebenen der Fahraufgabe	24
Tabelle 2.6	Stereoskopische und zweidimensionale Anzeigen im Technologievergleich	36
Tabelle 2.7	Befunde zu stereoskopischen Anzeigen in der Mensch-Maschine-Interaktion	38
Tabelle 2.8	Sensorische Schwellenwerte der Wahrnehmung von Tiefenreizen	46
Tabelle 2.9	Empfohlene Grenzwerte von Querdisparitäten	47
Tabelle 2.10	Befunde zu stereoskopischen Anzeigen in der Fahrer-Fahrzeug-Interaktion	52
Tabelle 3.1	Übersicht über die empirischen Studien der Arbeit	65
Tabelle 3.2	Studie „Raumempfinden“: Hypothesen	68
Tabelle 3.3	Studie „Raumempfinden“: Versuchsablauf	72
Tabelle 3.4	Studie „Raumempfinden“: Verteilung der Geschlechter	74
Tabelle 3.5	Studie „Raumempfinden“: ausführliche Stichprobenbeschreibung	75