

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirt.-Ing. Christopher M. Schlick †

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Frank O. Flemisch

Prof. Dr. phil. Dipl.-Ing. Martin Frenz

Prof. Dr.-Ing. Susanne Mütze-Niewöhner

Jessica Conradi

Ergonomische Gestaltung adaptierbarer Mensch-Computer-Interfaces für die Interaktion beim Gehen

**Ergonomische Gestaltung adaptierbarer Mensch-Computer-
Interfaces für die Interaktion beim Gehen**

**Ergonomic Design of Adaptable Human-Computer-Interfaces for
the Interaction While Walking**

Von der Fakultät für Maschinenwesen
der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen
zur Erlangung des akademischen Grades einer Doktorin der Ingenieurwissenschaften
genehmigte Dissertation

vorgelegt von

Jessica Conradi

Berichter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Frank O. Flemisch
apl. Prof. Dr. phil. Ingrid Isenhardt

Tag der mündlichen Prüfung: 29.01.2019

Industrial Engineering and Ergonomics

Band 32

Jessica Conradi

**Ergonomische Gestaltung adaptierbarer Mensch-
Computer-Interfaces für die Interaktion beim Gehen**

Shaker Verlag
Düren 2019

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

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

Zugl.: D 82 (Diss. RWTH Aachen University, 2019)

Copyright Shaker Verlag 2019

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-6644-9

ISSN 1865-4665

Shaker Verlag GmbH • Am Langen Graben 15a • 52353 Düren

Telefon: 02421 / 99 0 11 - 0 • Telefax: 02421 / 99 0 11 - 9

Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Danksagung

An erster Stelle gilt mein Dank Herrn Prof. Dr. Christopher Schlick (†), der mich zu dieser Arbeit ermutigte und mich solange wie möglich unterstützte, und Herrn Prof. Frank O. Flemisch, der die Betreuung in der Schlussphase wie selbstverständlich übernahm, sowie meiner Zweitprüferin Frau Prof. Dr. Ingrid Isenhardt für ihr Engagement.

Außerdem gilt mein Dank Herrn Prof. Dr. Peter Martini, Institutsleiter des Fraunhofer FKIE, der mich wohlwollend begleitete, mich für die Förderung TALENTA vorschlug und mir damit die Möglichkeit verschaffte, mich vertiefend der Promotionsarbeit zu widmen.

Herrn Dr. Rippert möchte ich für seine amtliche Unterstützung und die Gewährung großzügiger Freiräume in der Projektarbeit danken, die es mir ermöglichten, das Gesamtthema über eine längere Zeit hinweg zu verfolgen.

Weiter möchte ich mich bei der Abteilung Human Factors unter Herrn Dr. Thomas Alexander bedanken, in der ich die Möglichkeit hatte, diese Arbeit durchzuführen. Mein besonderer Dank gilt auch meinen Kolleginnen und Kollegen Björn Nord, Lisa Fromm und Tintu Mathew, die jederzeit für wissenschaftlichen Austausch ansprechbar waren, sowie Dimitrij Mackert, Talke Blaser und Olivia Busch, ohne deren Hilfe die technische und organisatorische Umsetzung nicht möglich gewesen wäre.

Schließlich möchte ich noch meiner Familie danken - meinem Mann und unseren Kindern - hätten Ihr mir nicht den Rücken frei gehalten, wäre diese Arbeit nicht möglich gewesen!

Inhalt

1	Einleitung	1
1.1	Ausgangssituation und Problemstellung	1
1.2	Zielsetzung	3
1.3	Vorgehensweise.....	4
2	Grundlagen	7
2.1	Gehen	8
2.1.1	Bewegungstypen	9
2.1.2	Gangphasen	9
2.1.3	Ganginduzierte Bewegungen an Oberkörper und Kopf	10
2.1.4	Schultern, Arme und Hände bei der Gehbewegung	11
2.1.5	Gehgeschwindigkeit	12
2.1.6	Gehen auf dem Laufband	13
2.2	Auge und Sehen	13
2.2.1	Das Auge.....	14
2.2.2	Sehen – Fixation und Sakkade.....	16
2.2.3	Sehwinkel	16
2.2.4	Statische Sehschärfe	17
2.2.5	Statische Sehschärfebestimmung nach DIN EN ISO 8596.....	18
2.2.6	Sehschärfeskalen	19
2.2.7	Sehschärfemessgeräte für statische Sehschärfemessungen	21
2.2.8	Dynamische Sehschärfe.....	23
2.3	Lesen und Schrift	25
2.3.1	Erfassen von Schrift.....	25
2.3.2	Augenbewegungen beim Lesen	26
2.3.3	Untersuchungsmethoden in der Leseforschung	27
2.3.4	Lesbarkeit und Leserlichkeit.....	29
2.3.5	Maßeinheiten der Schriftgröße bei Druckschrift.....	29
2.3.6	Vorschriften zur Darbietung von Text	31
2.3.7	Elektronische Informationsdisplays	37
2.4	Wahrnehmung und Aufmerksamkeit	39
2.4.1	Wahrnehmungsschwellen	40
2.4.2	Schwellwertbestimmung.....	42
2.4.3	Multimodale Wahrnehmung	44
2.4.4	Definition Aufmerksamkeit	44

2.4.5	Selektive Aufmerksamkeit	45
2.4.6	Verteilte und fokussierte Aufmerksamkeit	46
2.4.7	Visuelle Aufmerksamkeit	46
2.4.8	Automatisierte Wahrnehmungsprozesse.....	47
2.4.9	Verteilung der Aufmerksamkeit bei Mehrfachaufgaben	47
2.4.10	Lenkung der Aufmerksamkeit.....	50
2.4.11	Methoden, Vorschriften und Leitlinien zur Messung der Aufmerksamkeit bei multiplen Aufgaben	51
2.5	Zusammenfassung der Grundlagen und Zwischenfazit	54
3	Versuch 1: Sehschärfe im Gehen unter Labor- und Außenbedingungen..	58
3.1	Motivation und Fragestellung	58
3.1.1	Relevante Literatur	58
3.1.2	Fragestellung.....	59
3.2	Methodik	60
3.2.1	Stichprobe	60
3.2.2	Versuchsaufgabe.....	60
3.2.3	Variablen	61
3.2.4	Apparatus.....	62
3.2.5	Versuchsplan und Versuchsdurchführung	67
3.2.6	Statistische Auswertung	67
3.3	Ergebnisse.....	68
3.3.1	PSE	68
3.3.2	JND.....	69
3.4	Diskussion.....	70
4	Versuch 2: Leserlichkeit von Wörtern auf Handgeräten im Gehen	72
4.1	Motivation	72
4.1.1	Relevante Arbeiten zur Betrachtungszeit von Wörtern und Sätzen	72
4.1.2	Relevante Arbeiten zur Leserlichkeit von Druckschrift.....	74
4.1.3	Fragestellung.....	79
4.2	Methodik: Experiment zur Leserlichkeit von Wörtern	81
4.2.1	Stichprobe	81
4.2.2	Versuchsaufgabe.....	81
4.2.3	Stimulusauswahl	81
4.2.4	Unabhängige Variablen	83
4.2.5	Abhängige Variablen.....	85
4.2.6	Apparatus.....	86

4.2.7	Auswertung.....	87
4.3	Methodik: Erhebung der präferierten Schriftgrößen	87
4.3.1	Stichprobe und Versuchsplan	88
4.3.2	Versuchsaufgabe und Stimulusauswahl.....	88
4.3.3	Versuchsfaktoren.....	88
4.3.4	Apparatus.....	88
4.3.5	Auswertung.....	89
4.4	Ergebnis	89
4.4.1	Leserlichkeit von Wörtern.....	89
4.4.2	Präferierte Schriftgröße.....	97
4.4.3	Vergleich gemessener Werte und präferierter Schriftgrößen	98
4.4.4	98. Perzentil der gemessenen Werte und der präferierten Schriftgrößen.....	99
4.5	Diskussion	100
5	Versuch 3: Anpassung der Buttongrößen an das Gehen	103
5.1	Motivation.....	103
5.1.1	Relevante Literatur	103
5.1.2	Fragestellung	106
5.2	Methodik.....	108
5.2.1	Stichprobe	108
5.2.2	Versuchsaufgabe	108
5.2.3	Apparatus.....	110
5.2.4	Unabhängige Variablen.....	115
5.2.5	Abhängige Variablen	115
5.2.6	Versuchsplan und Versuchsablauf	116
5.2.7	Auswertung.....	116
5.3	Ergebnisse	117
5.3.1	Leistung in der Hauptaufgabe	117
5.3.2	Leistung in der Nebenaufgabe	121
5.3.3	Blickverhalten	122
5.4	Diskussion	125
6	Konzept und Evaluation eines adaptierbaren Mensch-Maschine- Interfaces für die Interaktion beim Gehen.....	128
6.1	Zusammenfassung der Ergebnisse der Untersuchungen	128
6.1.1	Ergebnisse der Untersuchung zur Schriftgröße	128
6.1.2	Buttongröße: quadratische Buttons.....	128
6.2	Schnittstelle für das Stehen, das langsame und das schnelle Gehen.....	129
6.2.1	Stehen.....	130
6.2.2	Langsames Gehen.....	133

6.2.3	Schnelles Gehen.....	134
6.3	Implikationen zur dargestellten Informationsmenge.....	135
6.4	Evaluationsbedarf.....	136
7	Versuch 4: Evaluation des adaptierbaren Mensch-Maschine-Interfaces.	137
7.1	Motivation und Fragestellung.....	137
7.1.1	Fragestellung.....	137
7.2	Methodik.....	137
7.2.1	Teilnehmer.....	137
7.2.2	Unabhängige Variablen.....	137
7.2.3	Wörter.....	140
7.2.4	Permutation.....	141
7.2.5	Abhängige Variable.....	142
7.2.6	Versuchsaufgabe.....	142
7.2.7	Apparatus.....	142
7.2.8	Auswertung.....	144
7.3	Ergebnis.....	144
7.4	Fazit.....	145
8	Empfehlungen und beispielhafte Umsetzung eines adaptierbaren Mensch-Maschine-Interfaces.....	147
8.1	Schrift- und Buttongrößen.....	147
8.2	Beispielhafte Umsetzung Nutzungsschnittstelle.....	147
9	Zusammenfassung und Ausblick.....	152
10	Literatur.....	156