



Institut für Konstruktionstechnik
und Technisches Design
Universität Stuttgart
Forschungs- und Lehrgebiet
Technisches Design
Prof. Dr.-Ing. T. Maier

Antonio Botta

**Quantifizierung der visuellen
Größenkodierung und des
Informationsgehalts zweidimensionaler
Objekte auf Basis der Blickinteraktion**

Bericht Nr. 645

Quantifizierung der visuellen Größenkodierung und des Informationsgehalts zweidimensionaler Objekte auf Basis der Blickinteraktion

Der Fakultät Konstruktions-, Produktions- und Fahrzeugtechnik
der Universität Stuttgart
zur Erlangung der Würde eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)
genehmigte Abhandlung

vorgelegt von
Dipl.-Ing. Antonio Botta
geboren in Potenza

Hauptberichter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Thomas Maier
Mitberichter: Univ.-Prof. Dr. Albrecht Schmidt

Tag der Einreichung: 24. Juni 2016
Tag der mündlichen Prüfung: 10. Oktober 2016

Institut für Konstruktionstechnik und Technisches Design
Forschungs- und Lehrgebiet Technisches Design
Universität Stuttgart

2016

D 93

ISBN: 978-3-922823-93-3

Institut für Konstruktionstechnik und Technisches Design

Forschungs- und Lehrgebiet Technisches Design

Prof. Dr.-Ing. Thomas Maier

Universität Stuttgart

Pfaffenwaldring 9

D-70569 Stuttgart

Telefon +49 (0)711 685-66055

Telefax: +49 (0)711 685-66219

E-Mail: mail@iktd.uni-stuttgart.de

Die Information existiert erst durch uns.

Für meine Familie.

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als akademischer Mitarbeiter am Institut für Konstruktionstechnik und Technisches Design (IKTD), Forschungs- und Lehrgebiet Technisches Design, der Universität Stuttgart.

Mein Dank gilt Herrn Prof. Dr.-Ing. Thomas Maier, meinem Doktorvater, für das entgegengebrachte Vertrauen und die Unterstützung während meiner Tätigkeiten am IKTD. Aus den regelmäßigen aufschlussreichen Diskussionen sind stets wertvolle Anregungen entstanden, die einen entscheidenden Beitrag zu dieser Arbeit geleistet haben.

Ebenfalls danke ich Herrn Prof. Dr. Albrecht Schmidt für sein Interesse an meiner Arbeit und für die Übernahme des Mitberichts. Für die Übernahme des Prüfungsvorsitzes möchte ich mich hiermit auch bei Frau Prof. Dr.-Ing. Corinna Salander bedanken.

Des Weiteren gilt mein Dank den Kollegen und den Studierenden für eine äußerst angenehme Zeit am IKTD sowie für die fachlichen Anregungen und die Unterstützung bei der Durchführung der Untersuchungen.

Auch meiner Familie möchte ich herzlich danken, die mich über all die Jahre meiner Ausbildung und meiner Promotionszeit unterstützt und stets bestärkt hat. Meiner Frau Evangelia gilt ein ganz besonderer Dank, da Sie mich durch Höhen und Tiefen begleitet hat, zu jeder Zeit ein offenes Ohr für mich hatte und mir damit die persönliche Stärke und den nötigen Rückhalt bieten konnte, um diese Arbeit erfolgreich fertigzustellen.

Stuttgart, im Oktober 2016

Antonio Botta

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	III
Abkürzungsverzeichnis	V
Glossar	VII
Abstract.....	XI
1 Einleitung.....	1
1.1 Motivation.....	2
1.2 Abgrenzung und Ziel der Arbeit	3
1.3 Struktur der Arbeit.....	4
2 Einführung in die thematischen Grundlagen.....	7
2.1 Mensch-Maschine-System (MMS)	7
2.2 Mensch-Maschine-Schnittstelle (MMSS)	8
2.2.1 Visuell Anzeige	9
2.2.2 Visuelles Stellteil	9
2.3 Mensch-Maschine-Interaktion (MMIA)	10
2.3.1 Visuell-sensorische Informationswahrnehmung.....	11
2.3.1.1 Sinnesphysiologische Grundlagen visueller Wahrnehmung.....	15
2.3.1.2 Psychologische Grundlagen visueller Wahrnehmung	22
2.3.2 Visuell-kognitive Informationsverarbeitung.....	30
2.3.2.1 Leistung des visuell-kognitiven Wahrnehmungssystems.....	31
2.3.2.2 Visuelle Aufmerksamkeit und visuelles Suchverhalten	31
2.3.2.3 Das kognitive System Gedächtnis	33
2.3.3 Visuell-motorische Informationseingabe	34
3 Blickinteraktion – Stand der Technik und Forschung	37
3.1 Historie und Technikstand der Blickinteraktion	37
3.2 Forschungsschwerpunkte der Blickinteraktion	45
3.2.1 Konzeptionelle Einbettung der Blickinteraktion in verschiedenen MMIA	45
3.2.2 Evaluation der Blickinteraktion.....	47
3.2.3 Gestaltung einer blickbedienten Benutzeroberfläche	48
3.2.3.1 Optimierung der Bediengenauigkeit	48
3.2.3.2 Optimierung durch visuelle Rückmeldung	49
3.3 Fazit 1	52

4 Visuelle Rückmeldung bei der nutzerzentrierten Gestaltung von MMIA	54
4.1 Analyse allgemeingültiger und normgerechter Anforderungen	55
4.2 Analytische Bewertung der normgerechten Anforderungen	62
4.3 Forschungsstand zur visuellen Rückmeldung durch Größenkodierung	67
4.4 Fazit 2	68
5 Grundlagenorientierte Quantifizierung der Größenkodierung	70
5.1 Exkurs 1: Psychophysik	70
5.2 Untersuchungsbeschreibung und Hypothesen	76
5.3 Untersuchungsablauf und Probandenkollektiv	83
5.4 Untersuchungsergebnisse	85
5.4.1 Diskussion der Ergebnisse bezüglich der Skalierungsrichtung, Darbietungsvariante und Objektgröße	93
5.4.2 Diskussion der Ergebnisse bezüglich des unbunten Form-Hintergrund- Kontrasts	94
5.4.3 Diskussion der Ergebnisse bezüglich der Abstandsabhängigkeit	95
5.4.4 Diskussion der Ergebnisse bezüglich der Objektgestalt	95
5.5 Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse und Darstellung der Unterschiedsschwellendiagramme	98
6 Grundlagenorientierte Quantifizierung des Informationsgehalts und des Auffälligkeitsmaßes	107
6.1 Exkurs 2: Die Objektgestalt im Sinne des Technischen Designs	107
6.2 Exkurs 3: Der Informationsgehalt und das Auffälligkeitsmaß	108
6.3 Konzeptionelle Methode zur Berechnung des Informationsgehalts zweidimensionaler visuell dargebotener Objekte	112
6.4 Ergebnisse des Informationsgehalts und des Auffälligkeitsmaßes	116
6.5 Zusammenfassung zum Informationsgehalt und Auffälligkeitsmaß	118
7 Gestaltungsempfehlungen für die visuelle Größenkodierung	120
8 Zusammenfassung	124
9 Ausblick	127
Literaturverzeichnis	128
Anhang	143
A1 Vollständige Klassifizierung mit Bewertung	143
A2 Die Berechnungstabellen des Informationsgehalts und Auffälligkeitsmaßes	147
Lebenslauf	159

Abkürzungsverzeichnis

AAS	Attention Aware System
AUI	Attentive User Interface
bit	binary digit (engl.), dt.: Binärzeichen
BBMMIA	Blickbasierte Mensch-Maschine-Interaktion
BLR	Binäre logistische Regressionskurve
bzgl.	bezüglich
bzw.	beziehungsweise
C	Komplexität
ca.	circa
D	Dreieck
d. h.	das heißt
DIN	Deutsches Institut für Normung
dt.	deutsch; deutsche
E	Element; Elemente
EN	Europäische Norm
engl.	englisch; englische
et al.	et alii (lat.), dt.: und andere
ETS	Eye-Tracking-System
F	Fünfeck
g	Gramm
GKF	Größenkodierungsfaktor
Gl.	Gleichung
H	Hypothese
Hz	Herz
i. d. R.	in der Regel
ISO	International Organization for Standardization (engl.), dt.: Internationale Organisation für Normung
lat.	lateinisch; lateinische
M	Ästhetisches Maß
MCIA	Mensch-Computer-Interaktion
min	Minute
MMIA	Mensch-Maschine-Interaktion oder auch MMK
MMIF	Mensch-Maschine-Interface oder auch MMSS
MMK	Mensch-Maschine-Kommunikation
MMS	Mensch-Maschine-System
MMSS	Mensch-Maschine-Schnittstelle oder auch MMIF

ms	Millisekunde
O	Ordnung; Ordnungen
O-Nr.	Ordnungsnummer
P	Parallel
POG	Point of Gaze
Q	Quadrat
RH	Relative Häufigkeit
s	schwarz
S.	Seite
SDT	Signalentdeckungstheorie
SF	Skalierungsfaktor
SPSS	Software für statistische Datenanalyse; Hersteller IBM
Tab.	Tabelle
usw.	und so weiter
vgl.	vergleiche
VR	Versuchsreihe
VR_P/D/s	Versuchsreihe_Parallel/Dreieck/schwarz
VR_P/D/w	Versuchsreihe_Parallel/Dreieck/weiß
VR_P/F/s	Versuchsreihe_Parallel/Fünfeck/schwarz
VR_P/F/w	Versuchsreihe_Parallel/Fünfeck/weiß
VR_P/K/s	Versuchsreihe_Parallel/Kreis/schwarz
VR_P/K/w	Versuchsreihe_Parallel/Kreis/weiß
VR_P/Q/s	Versuchsreihe_Parallel/Quadrat/schwarz
VR_P/Q/w	Versuchsreihe_Parallel/Quadrat/weiß
VR_S/D/s	Versuchsreihe_Seriell/Dreieck/schwarz
VR_S/D/w	Versuchsreihe_Seriell/Dreieck/weiß
VR_S/F/s	Versuchsreihe_Seriell/Fünfeck/schwarz
VR_S/F/w	Versuchsreihe_Seriell/Fünfeck/weiß
VR_S/K/s	Versuchsreihe_Seriell/Kreis/schwarz
VR_S/K/w	Versuchsreihe_Seriell/Kreis/weiß
VR_S/Q/s	Versuchsreihe_Seriell/Quadrat/schwarz
VR_S/Q/w	Versuchsreihe_Seriell/Quadrat/weiß
vs.	versus
w	weiß
z. B.	zum Beispiel

Glossar

Begriff	Erläuterung	Quelle
Afferentes Neuron	Nervenzelle, die ein Signal in Richtung des zentralen Nervensystems weiterleitet.	[MUTSCHLER ET AL.07]
Adaption	Vorgang der Anpassung des Sehorgans an vorherige und gegenwärtige Lichtreize.	[DINENISO9241-302]
Alphanumerische Anzeige	Anzeige, auf der die Information als Kombination von Ziffern und Buchstaben dargestellt wird.	
Analoge Anzeige	Anzeige, auf der die Darstellung eines Zustandes als Funktion von Länge, Winkel oder einer anderen Größe erfolgt.	
Anforderung	Eine Anforderung ist eine Erfordernis oder eine Erwartung, die üblicherweise vorausgesetzt oder verpflichtend sind.	[DINENISO9000A]
Anzeige	Eine Einrichtung zur Darstellung von sich ändernden Informationen mit der Aufgabe, diese sichtbar, hörbar oder durch Berührung fühlbar unterscheidbar zu machen.	[DINENISO9241-302]
Arbeitsaufgabe	Tätigkeit, die erforderlich ist, um das beabsichtigte Ergebnis des Arbeitssystems zu erreichen.	[DINEN894-2]
Arbeitsmittel	Maschinen, Werkzeuge, Fahrzeuge, Geräte, Möbel, Einrichtungen und andere im Arbeitssystem benutzte Gegenstände.	[DINEN614-1]
Arbeitssystem	System, welches das Zusammenwirken eines einzelnen oder mehrerer Benutzer mit den Arbeitsmitteln umfasst, um die Funktion des Systems innerhalb des Arbeitsraumes und der Arbeitsumgebung unter den durch die Arbeitsaufgaben vorgegebenen Bedingungen zu erfüllen.	[DINENISO6385]
Auswählen (Selektieren)	Vorgang, bei dem ein oder mehrere Objekte aus einer visuell dargestellten Menge von Objekten ausgewählt werden.	[DINENISO9241-16]
Auswahlcursor	Indikator, dessen Status durch eine definierte Bestätigungskaktion verändert werden kann.	[DINENISO9241-143]
Axon	Auch Nervenfasern genannt, ist mit einer Flüssigkeit gefüllt, die elektrische Signale weiterleitet.	[GOLDSTEIN11]
Bedienelement	Ein analog-physikalisches Bedienteil oder digital-graphische Darstellung eines solchen, die dem Benutzer ermöglicht, Daten andere Objekte oder deren Attribute direkt zu manipulieren.	
Bedienen	Hier im Sinne von Betätigen.	
Benutzer (Operator)	Person, die mit der Installation, dem Betrieb, dem Einrichten, dem Instandhalten, der Reinigung, der Reparatur oder dem Transport von Maschinen beauftragt ist.	[DINENISO9241-110]
Benutzungsschnittstelle	Alle Bestandteile eines interaktiven Systems (Software oder Hardware), die Informationen und Bedienelemente zur Verfügung stellen, die für den Benutzer notwendig sind, um eine bestimmte Arbeitsaufgabe mit dem interaktiven System zu erledigen.	[VDI/VDE3850-1]
Betätigen	Im Sinne von regulieren, führen, steuern, bedienen.	
Blinkkodierung	Information, die durch zeitliche Leuchtdichteänderungen der Anzeige dargestellt wird.	[DINENISO9241-302]

Cursor	Visuelle Anzeige des Ortes, an dem die Interaktion des Benutzers über ein Eingabegerät erfolgen wird.	[DINENISO9241-420]
Digitale Anzeige	Anzeige, auf der die Information durch Ziffern dargestellt wird.	[DINEN894-2]
Diskret	Im Gegensatz zu kontinuierlich, im Sinne der Anzeigemöglichkeit als eindeutige Informationsübertragung bzw. -änderung zwischen zwei Zuständen zu verstehen.	
Effektivität	Genauigkeit und Vollständigkeit, mit der Benutzer bestimmte Ziele erreichen.	[DINENISO9241-11]
Effizienz	Im Verhältnis zur Genauigkeit und Vollständigkeit eingesetzter Aufwand, mit dem Benutzer bestimmte Ziele erreichen.	[DINENISO9241-11]
Ergonomie	Wissenschaftliche Disziplin, die sich mit dem Verständnis der Wechselwirkungen zwischen menschlichen und anderen Elementen eines Systems befasst und unter Anwendung von Theorie, Prinzipien, Daten und Methoden sich auf die Gestaltung von Arbeitssystemen mit dem Ziel, das Wohlbefinden des Menschen und die Leistung des Gesamtsystems zu optimieren, konzentriert.	[DINENISO6385]
Fixieren	Ausrichten der Augen, sodass das Bild des fixierten Prüfmusters auf die Netzhaut fällt.	[DINENISO9241-302]
Fixierpunkt	Punkt im Raum, auf den die Augenachsen gerichtet sind.	[DINENISO9241-302]
Gebrauchstauglichkeit	Ausmaß, in dem ein Produkt durch bestimmte Benutzer genutzt werden kann, um bestimmte Ziele in einem bestimmten Nutzungskontext effektiv, effizient und mit Zufriedenheit zu erreichen.	[DINENISO9241-11]
Gerade wahrnehmbarer Unterschied	Wahrnehmungseinheit, die den Betrag der kleinsten physikalischen Änderung eines Bildes festlegt, bei dem der Unterschied wahrgenommen werden kann.	[DINENISO9241-302]
Größenkodierung	Die Wahl unterschiedlicher Größen von Zeichen oder Symbolen zur Unterscheidung des Bedeutungsgehalts oder unterschiedlicher Stellteilgrößen, um deren Funktion unterscheiden zu können.	[SCHMIDTKE & JASTRZEBSKA.-F.13]
Haptische Wahrnehmung (Haptik)	Sensorische und/oder motorische Aktivität, die in der Haut, in den Muskeln, Gelenken und Sehnen begründet ist.	[DINENISO9241-910]
Helligkeit	Merkmal einer visuellen Empfindung, aufgrund dessen ein Teil des Gesichtsfeldes mehr oder weniger Licht auszusenden scheint.	[DINENISO9241-302]
Inhärent	Inhärent bedeutet im Gegensatz zu zugeordnet, einem Objekt innewohnend.	[DINENISO9000A]
Kodieren	Vorgehen, mit dem wichtige Informationen zuverlässig durch Manipulation bestimmter Informationskategorien übermittelt und gespeichert werden.	[DINENISO9241-302]
Kontrast	Subjektive Bewertung des Unterschiedes zweier unmittelbar aneinander grenzender oder zeitlich aufeinander folgender Gesichtseindrücke.	[DINENISO9241-302]
Merker	Zeichen, das benutzt wird, um einen Zustand anzuzeigen oder die Aufmerksamkeit auf etwas zu lenken.	[DINENISO9241-12]

Merkmal	Ein Merkmal ist eine kennzeichnende Eigenschaft. Es kann inhärent oder zugeordnet, qualitativer oder quantitativer Natur sein. Es gibt verschiedene Klassen von Merkmalen: a) physikalische, b) sensorische, c) verhaltensbezogene, d) zeitbezogene, e) ergonomische, f) funktionale.	[DINENISO9000A]
Neuron	Auch Nervenzelle genannt und bildet das kommunikations- und informationsverarbeitende Netzwerk des Nervensystems.	[GOLDSTEIN11]
Nutzerzentrierte Gestaltung	Herangehensweise bei der Gestaltung und Entwicklung von Systemen, die darauf abzielt, diese gebrauchstauglicher zu machen, indem sie sich auf die Verwendung des Systems konzentriert und Kenntnisse und Techniken aus den Bereichen der Ergonomie und der Gebrauchstauglichkeit anwendet.	[DINENISO9241-210]
Nutzungskontext	Benutzer, Arbeitsaufgaben, Arbeitsmittel (Hardware, Software und Materialien) sowie die physische und soziale Umgebung, in der das Produkt genutzt wird.	[DINENISO9241-11]
Objekt	Ein Objekt ist eine materielle, immaterielle oder imaginäre Einheit. Es ist etwas Wahrnehmbares oder Vorstellbares, ein Produkt, eine Dienstleistung, ein Prozess, eine Person, ein System und/oder eine Ressource.	[DINENISO9000A]
Objektstatus	Zustand eines Objekts, für den bestimmte Veränderungen möglich sind. Zustände sind bspw. aktiv, verfügbar, selektiert, nicht verfügbar.	[DINENISO9241-16]
Obtural	Visuelle Informationseingabe.	
Operator (Benutzer)	Person, die mit der Installation, dem Betrieb, dem Einrichten, dem Instandhalten, der Reinigung, der Reparatur oder dem Transport von Maschinen beauftragt ist.	[DINEN894-1]
Pixel	Bildpunkt oder kleinstes adressierbares graphisches Bildelement auf einem Bildschirm oder einer Anzeige.	[DINEN80416-4]
Primäre Sinneszelle	Ist ein Neuron, das die Aktionspotentiale weiterleitet.	[MUTSCHLER ET AL.07]
Psychische Beanspruchung	Die unmittelbare Auswirkung der psychischen Belastung im Individuum in Abhängigkeit von seinen jeweiligen überdauernden und augenblicklichen Voraussetzungen, einschließlich der individuellen Bewältigungsstrategien.	[DINENISO10075-1]
Psychische Belastung	Die Gesamtheit aller erfassbaren Einflüsse, die von außen auf den Menschen zukommen und psychisch auf ihn einwirken.	[DINENISO10075-1]
Qualität	Grad, in dem ein Satz inhärenter Merkmale eine Anforderung erfüllt.	[DINENISO9000B]
Rezeptor	Neuron, welches auf das Aufnehmen von Informationen aus der Umwelt spezialisiert ist.	[GOLDSTEIN11]
Rückmeldung	Ergebnisanzeige, die von dem Verursacher einer Aktion wahrgenommen wird. Auch wahrnehmbare Systemreaktion auf Benutzereingabe oder ein Systemereignis.	[DINENISO9241-13]
Sehabstand	Abstand zwischen dem Bildschirm und dem Auge des Benutzers.	[DINENISO9241-302]

Sehachse	Linie, die den Fixierpunkt und die Mitte der Pupille verbindet.	[DINENISO9241-302]
Sekundäre Sinneszelle	Ist eine Rezeptorzelle, die nicht selbst Aktionspotentiale generiert, sondern besitzt mit dem ersten afferenten Neuron, das die Aktionspotentiale weiterleitet, eine Synapse.	[MUTSCHLER ET AL.07]
Selektieren (Auswählen)	Vorgang, bei dem ein oder mehrere Objekte aus einer visuell dargestellten Menge von Objekten ausgewählt werden.	[DINENISO9241-16]
Sensor	Auch Rezeptor genannt, Sinnesphysiologen verstehen unter dem Begriff Rezeptor den Membranbereich einer Sinneszelle oder eines afferenten Neurons, der darauf spezialisiert ist, Reize in neuronale Information zu transformieren.	[SCHMIDT & LANG07]
Sensorische Adaption	Zeitliche Veränderung der Empfänglichkeit des sensorischen Systems.	[DINENISO9241-910]
Sensorpotenziale	Sensorpotenziale sind kontinuierlich abgestufte lokale Antworten, d. h. sie bilden mit ihrer Amplitude die Reizgröße ab.	[SCHMIDT & LANG07]
Somatosensibilität	= Somatosensorik (somatosensorisch) beschreibt die haptische Wahrnehmung und umfasst die Sinnesmodalitäten der Haut (Oberflächensensibilität) sowie die des Bewegungsapparats (Tiefensensibilität).	[SCHANDRY11]
Stellteil	Teil eines Stellteil-Systems, das vom Operator, z. B. durch Druck, direkt betätigt wird.	[DINEN894-1]
Symbole	Buchstaben, Ziffern, bildliche Darstellungen oder deren Kombinationen, die zur Beschriftung einer Anzeigenskale oder als Mittel zur Identifizierung der Anzeige selbst angewendet werden.	
Taktiler Objekt	Komponente eines interaktiven Systems mit der ein Anwender haptisch interagieren kann.	[DINENISO9241-910]
Torsional oder zyklorotatorisch	Drehung des Auges um die Achse.	
Zeigen	Zeigen ist der Vorgang, bei dem der Zeiger mit Hilfe eines Zeigeinstruments auf ein Objekt oder an eine bestimmte Stelle positioniert wird.	[DINENISO9241-16]
Zeiger	Symbol auf einer Anzeige, das die Eingabe- oder Auswahlposition anzeigt und dessen Bewegung durch ein Eingabemittel gesteuert wird.	[DINENISO9241-12]
Ziehen	Verschieben oder Modifizieren eines Objekts, nachdem das Objekt oder ein bestimmter Bereich des Objekts an den Zeiger gekoppelt wurde.	[DINENISO9241-16]
Zufriedenheit	Freisein von Beeinträchtigungen und positive Einstellungen von Benutzern gegenüber der Nutzung des Produkts.	[DINENISO9241-11]
Zustandsinformation	Merkmal von Gegenständen oder Mitteln, das während eines Zeitabschnitts eine jeweilige oder keine Information übermittelt.	[DINENISO14915-3]

Abstract

Due to the currently prevailing worldwide strong desire for innovation and competitiveness, product manufacturers are required to launch technical innovations in short cycles. The computerized society and the global networking, which allow permanent communication and create the desire for a continuous exchange of information, also encourage this rapid development. In the field of communication technology, this constantly progressing introduction and establishment of technical innovations through improved technologies is extremely striking.

The eye-gaze interaction, on which this thesis is based, is one of these new communication and interaction technologies. It derives from the niche area of physically disabled people and tries to become more significant as a technical innovation in every day and traditional human-product interactions thanks to the growing computer power. Unlike conventional selection of an object by manual operation of controls or direct touching, in case of eye-gaze interaction it occurs through eye movements, thus by gaze.

As described in the literature and in relevant standards, in both general interaction and eye-gaze interaction between the operant and the technical product the user-centered design should have priority at best. Hence, the different user factors, which are structured and detained in standards and policies through defined principles, guidelines, design requirements and design recommendations, should be involved in the design of a new product or in a new interaction technique.

The main guideline in this thesis, which is put up for discussion and characterizes the research topic, is the visual feedback of status change. Own preliminary studies as well as other research results prove that the visual feedback of status change requires, particularly for the eye-gaze interaction, the utmost care. For instance, in human-computer-interaction (HCIA) the replacing of the traditional mouse operation by eye-gaze operation has shown that a continuous visual feedback via cursor is disruptive for the eye-gaze based interaction and has an adverse effect on the operation. It is therefore important for the eye-gaze interaction to realize a user-friendly operation with other discreet visual feedback types, which clearly transmit the required status change.

The visual feedback of status change by size coding, on which the focus of this thesis lies, is of enormous significance in the ergonomic and user-centered design of an eye-gaze based user interface. Compared to others, size coding is the easiest and the least

design interfering coding type. It is advantageous not only for rapid and precise identification of the required status change, but – with the related increasing interaction area especially for eye-gaze interaction – also decisive for an increasing operating accuracy. A research work and analysis of standards and policies about the exact definition of visual feedback as well as an additional evaluation of an analytical expert rating show that size coding is inadequate and only partially quantified. Until this day, there is no literature fully quantifying size coding. For this reason, the aim is to achieve full quantification of size coding by a basic-oriented research study and to give general recommendations for the ideal design of visual feedback by size coding. For the visual size coding increases the security of use by improving the distinctiveness and reduces the operating time.

The basic-oriented research study is based on the visual difference detection of geometrical objects with standardized graded object sizes. Thereby the difference thresholds are recorded at appropriate scaling direction (decrease / increase), presentation variant (parallel / serial), varying object size (10 mm / 15 mm / 25 mm), achromatic form-background-contrast (white / black) and varying presentation distance (600 mm / 1000 mm / 1400 mm) of individual object gestalts (circle / square / triangle / pentagon) under laboratory conditions with voluntary test persons.

The statistical analysis and interpretation of the results show that the difference threshold is independent of the scaling direction. However, the threshold clearly depends on the presentation variant. At parallel presentation, the difference threshold is greater than the threshold at serial presentation. In addition, the difference threshold depends on the object size, which means the greater the initial object, the smaller the applicable size coding factor to detect a significant size difference. The achromatic form-background-contrast doesn't affect the difference threshold anymore.

After the summary of the difference thresholds to arithmetical averaged values for the purpose of the argued hypotheses, the statement of varying presentation distance is, that the greater the distance between the viewer and the object, the greater the enlargement or reduction factor for the size coding. At last for the different object gestalts, different size coding factors arise, too.

Summed up, depending on the object and initial object size, different size coding factors from 1,148 to 1,191 apply for the parallel presentation variant and from 1,067 to 1,098 for the serial presentation variant. This means that an expansion or reduction of 14,8 % up to 19,1 % should take place for visual feedback of status change (parallel) and an expansion or reduction of 6,7 % up to 9,8 % for visual position/pointing or selection feedback

(serial). Thus, recommendations are given on the one hand in terms of quantified factors, on the other hand in terms of quantified equations. These are also illustrated in charts which can be used for extraction and calculation of the size coding factors for the respective operating scenario.

The obtained result of different size coding factors for each object gestalt has induced to answer the question of what caused this effect. It seems reasonable to suppose that during the detection of a size difference between two object gestalts depending on the object gestalt itself, a different amount of information and conspicuousness are transmitted, which are relevant to the visual difference detection and at last to the size coding factor. To approve this assumption, an evaluation method of statistical-syntactic information and corresponding conspicuousness measure of the used object gestalts is also presented in this thesis.

The statement is made, that an object gestalt with its different geometrical elements and elements of order therefore has its own conspicuousness. In relation to the presented quantification of the size coding, the conspicuousness plays an important role for the difference detection. Compared to the other three object gestalts, with 12,8 % the object circle has the lowest conspicuousness, whereof a larger size coding factor results. This means that the object gestalt has an influence on the difference detection and furthermore that the more statistically-syntactic conspicuousness an object gestalt has, the faster the difference detection occurs and the smaller the size coding factor is.

1 Einleitung

Aufgrund des aktuell weltweit herrschenden starken Verlangens nach Innovation und Wettbewerbsfähigkeit sind die Produkthersteller gefordert, technische Neuerungen in kurzen Zeitzyklen auf den Markt zu bringen. Die computergestützte Gesellschaft und die globale Vernetzung, die eine permanente Kommunikation ermöglichen und den Wunsch nach einem ständigen Informationsaustausch wecken, fördern zudem diese rasante Entwicklung. Im Bereich der Kommunikationstechnik ist diese ständig voranschreitende Einführung und Etablierung von technischen Neuerungen durch verbesserte Technologien äußerst auffällig.

Die Blickinteraktion, worauf diese Arbeit basiert, ist eine dieser neuen Kommunikations- bzw. Interaktionstechniken. Sie stammt aus dem Nischenbereich der körperlich behinderten Menschen und versucht dank wachsender Rechenleistung als technische Neuerung auch in alltäglichen und herkömmlichen Mensch-Produkt-Interaktionen eine Berechtigung zu finden. Im Gegensatz zur herkömmlichen Auswahl eines Objektes durch manuelle Betätigung von Stellteilen oder direktem Antippen (Touch-Funktion) geschieht dies bei der Blickinteraktion durch die Blickbewegungen, also mittels Blick.

Obwohl das Auge primär für die Wahrnehmung von Informationen zuständig ist und die Betätigung per Blickbewegung als Interaktionsvorgang schwer vorstellbar ist, motiviert dies trotzdem seit einigen Jahren viele Wissenschaftler und Produkthersteller auf dem Gebiet der Blickinteraktion zu forschen und diese in technische Produkte optimal zu integrieren.

Wie in der Fachliteratur und in den entsprechenden Normen beschrieben, sollte sowohl bei der allgemeinen als auch bei der blickbasierten Interaktion zwischen dem Benutzer und dem technischen Produkt im besten Fall die nutzerzentrierte Gestaltung im Vordergrund stehen. Die nutzerzentrierte Gestaltung beschreibt den Ansatz ein interaktives, technisches Produkt so zu entwickeln, dass es gebrauchstauglich, d. h. an den Benutzer und seine Erfordernisse angepasst, ist. Somit sollten bei der Auslegung eines neuen Produktes oder einer neuen Interaktionstechnik die unterschiedlichen benutzerseitigen Faktoren, die in Normen und Richtlinien über definierte Grundsätze und Leitsätze bis hin zu den Gestaltungsanforderungen und Gestaltungsempfehlungen strukturiert und festgehalten sind, miteinbezogen werden.

Der wesentliche Leitsatz, welcher in der vorliegenden Arbeit zur Diskussion gestellt wird und die Forschungsrichtung charakterisiert, ist der der visuellen Rückmeldung einer Statusänderung. Sowohl eigene Vorstudien als auch andere Forschungsergebnisse belegen, dass die visuelle Rückmeldung einer Statusänderung besonders bei der Blickinteraktion mit äußerster Achtsamkeit zu berücksichtigen ist. Speziell bei der Mensch-Computer-Interaktion (MCIA) hat das simple Ersetzen der klassischen Mausbetätigung durch die Blickbetätigung gezeigt, dass eine kontinuierliche visuelle Rückmeldung mittels Mauszeiger für die blickbasierte Interaktion störend ist und sich nachteilig auf die Betätigung auswirkt. Deshalb gilt es speziell für die Blickinteraktion eine nutzergerechte Betätigung mit Hilfe von anderen eher diskreten visuellen Rückmeldungsarten zu realisieren, die die erforderliche Statusänderung eindeutig übermitteln.

Die vorliegende Arbeit soll einen Beitrag zum Themengebiet der diskreten visuellen Rückmeldung durch Größenkodierung leisten. Durch eine grundlagenorientierte Untersuchung zur Erkennung des Größenunterschiedes zweidimensionaler Objektgestalten soll die vollständige Quantifizierung der Größenkodierung erreicht werden. Des Weiteren wird auf Grund der unterschiedlichen Größenkodierungsfaktoren jeweiliger Objektgestalten die Behauptung postuliert, dass bei entsprechender Untersuchungsaufgabe der Beobachter eine unterschiedliche Menge an Information aus den jeweiligen Objektgestalten für die Erkennung eines Unterschiedes entnimmt. Deshalb wird zudem eine Methode zur Berechnung eines statistisch-syntaktischen Informationsgehalts und das darauf aufbauende Auffälligkeitsmaß zweidimensionaler Objektgestalten vorgestellt. Die Diskussion eines Zusammenhangs zwischen den Informationsgehalten und Auffälligkeitsmaßen der jeweiligen Objektgestalten und der ermittelten Größenkodierungsfaktoren schließt diese Arbeit ab.

1.1 Motivation

Die visuelle Rückmeldung der Statusänderung durch Größenkodierung, auf der in der vorliegenden Arbeit der Fokus liegt, ist bei der ergonomischen und nutzerzentrierten Gestaltung einer blickbasierten Benutzeroberfläche von enormer Bedeutung. Im Vergleich zu anderen Kodierungen, ist die Größenkodierung die am einfachsten umzusetzende und am wenigsten in die Gestaltung eingreifende Kodierungsmöglichkeit. Sie ist nicht nur für die schnelle und eindeutige Erkennung der erforderlichen Statusänderung vorteilhaft, sondern speziell bei der Blickinteraktion durch die bedingte Vergrößerung der Interaktionsfläche auch für die Erhöhung der Betätigungsgenauigkeit ausschlaggebend. Eine

umfangreiche Recherche und Analyse über die exakten Definitionen der visuellen Rückmeldungen aus Normen und Richtlinien sowie die zusätzliche Durchführung einer analytischen Expertenbewertung haben ergeben, dass die Größenkodierung unzureichend bzw. nur teilweise quantifiziert ist. In keiner Fachliteratur wird bis heute die Größenkodierung vollständig quantifiziert. Ohne den folgenden Ausführungen aus Kapitel 4 vorgreifen zu wollen, findet nicht einmal die Unterscheidung zwischen den einzelnen Kategorien der visuellen Rückmeldungen statt. Demzufolge hat die unvollständige Angabe von Größenkodierungsfaktoren für die visuelle Rückmeldung dazu motiviert, die vollständige Quantifizierung der Größenkodierung objektgestaltabhängiger visuell dargebotener Objekte genau zu untersuchen.

Das ermittelte Ergebnis differenter Größenkodierungsfaktoren für die jeweiligen Objektgestalten hat zusätzlich dazu bewogen, eine Antwort auf die Frage, woran dies liegen könnte, zu finden. Es liegt die Vermutung nahe, dass bei der Erkennung eines Größenunterschiedes zwischen zwei Objektgestalten abhängig von der Objektgestalt selbst eine unterschiedliche Menge an Information und Auffälligkeit übermittelt werden, die für die visuelle Unterschiedserkennung relevant sind. Deshalb beschäftigt sich der zweite Teil der vorliegenden Arbeit mit der Quantifizierung des Informationsgehalts und des Auffälligkeitsmaßes der jeweiligen Objektgestalt. Die Analyse der errechneten Werte in Kombination mit den ermittelten Größenkodierungsfaktoren könnte ebenso einen Aufschluss darüber geben, wie die menschliche visuelle Exploration von zweidimensionalen Objektgestalten abläuft.

1.2 Abgrenzung und Ziel der Arbeit

In der vorliegenden Arbeit werden Forschungsschwerpunkten bisheriger Arbeiten zum Thema der visuellen Rückmeldung vorgestellt und dabei die entsprechende Größenkodierung fokussiert. In der Forschungsarbeit von MAJARANTA [2009] wird die Wichtigkeit der visuellen Rückmeldung betont und sogar die visuelle Rückmeldung durch Größenkodierung eines Objektes analysiert. Jedoch wird weder in dieser noch in anderen Forschungsarbeiten der gewählte Größenkodierungsfaktor definiert oder begründet. Mit der Quantifizierung der Größenkodierung durch eine grundlagenorientierte Untersuchung zur Unterschiedserkennung variierender, normiert-gestuffer Objektgrößen gleicher Gestalten grenzt sich die vorliegende Arbeit somit von bisherigen Arbeiten ab. Insgesamt sorgen vier geometrisch einfache Objektgestalten für eine umfassende Untersuchungsbreite. Zudem baut die Untersuchung auf weiteren unabhängigen Faktoren wie Vergröße-

rung, Verkleinerung, Hintergrundfarbe, Darbietungsvariante und -abstand der Objektgestalten auf, die die möglichen Unterschiede implizieren und gleichzeitig die Hypothesen definieren. Das Ziel dieser Untersuchung ist, allgemeine Empfehlungen für die optimale Auslegung der visuellen Rückmeldung durch Größenkodierung abzugeben. Die Empfehlungen sind zum einen in Form von quantifizierten Faktoren angegeben. Zum anderen sind Diagramme mit quantifizierten Gleichungen abgebildet, die zur Entnahme und Berechnung der Größenkodierungsfaktoren dienen, um damit eine optimale und eindeutige visuelle Rückmeldung durch Größenkodierung zu erlangen.

Bezugnehmend auf die Quantifizierung des syntaktischen Informationsgehalts und des Auffälligkeitsmaßes einer Objektgestalt gibt es die erwähnenswerte Forschungsarbeit von BALZER [2002], die sich mit der Methode zur Ermittlung eines Gestaltwertes beschäftigt. Die Parallelen liegen nur in der grundlegenden Auffassung einer Gestalt bestehend aus den vier Teilgestalten Aufbau, Form, Farbe und Grafik [MAIER & SCHMID14] und in der Analyse der Elemente und Ordnungen jeder Teilgestalt. Die in der vorliegenden Arbeit vorgestellte Methode grenzt sich aber vorerst durch die Berechnung eines Informationsgehalts ab und in der definierten Aufteilung der Teilgestalten in den entsprechenden Elementen und Ordnungen. Das Ziel der Quantifizierung des syntaktischen Informationsgehalts und des Auffälligkeitsmaßes ist, verschiedene zweidimensionale Objektgestalten durch konkrete Werte zu definieren, diese anschließend miteinander zu vergleichen und darin eine mögliche Begründung der unterschiedlichen Größenkodierungsfaktoren in Abhängigkeit der Objektgestalten abzuleiten.

1.3 Struktur der Arbeit

Bezugnehmend auf die Wichtigkeit von allgemeingültigen Methoden bei der Entwicklung eines Produktes oder Planung eines Projektes wird auch hier für das Bearbeiten des Forschungsvorhabens eine methodische Vorgehensweise aufgestellt. Ein Forschungsvorhaben ist meist ein Vorreiter für technisch innovative Lösungen, Produkte und Technologien. Deshalb kann es wie ein in der frühen Planungsphase befindliches Produkt gesehen werden. Diese festgestellte Analogie zwischen einem Forschungsvorhaben und der Entwicklung eines Produktes verleitet dazu, die Arbeitspakete wie sie in der frühen Produktplanungsphase aus dem Produktprozessmodell von KRAMER [1986] definiert sind, auf das Forschungsvorhaben abzuleiten. Bild 1.1 visualisiert die Ableitung der Arbeitspakete (hellgraue Kästen) aus den Produktplanungsphasen (rote Schrift) auf ein mögliches bzw. das in der vorliegenden Arbeit behandelte Forschungsvorhaben. Das Bild

stellt zudem die Vorgehensweise (blaue Pfeile) bei der Bearbeitung des hier vorgestellten Forschungsvorhabens dar und definiert zugleich die Struktur der vorliegenden Arbeit (dunkelgraue Kästen).

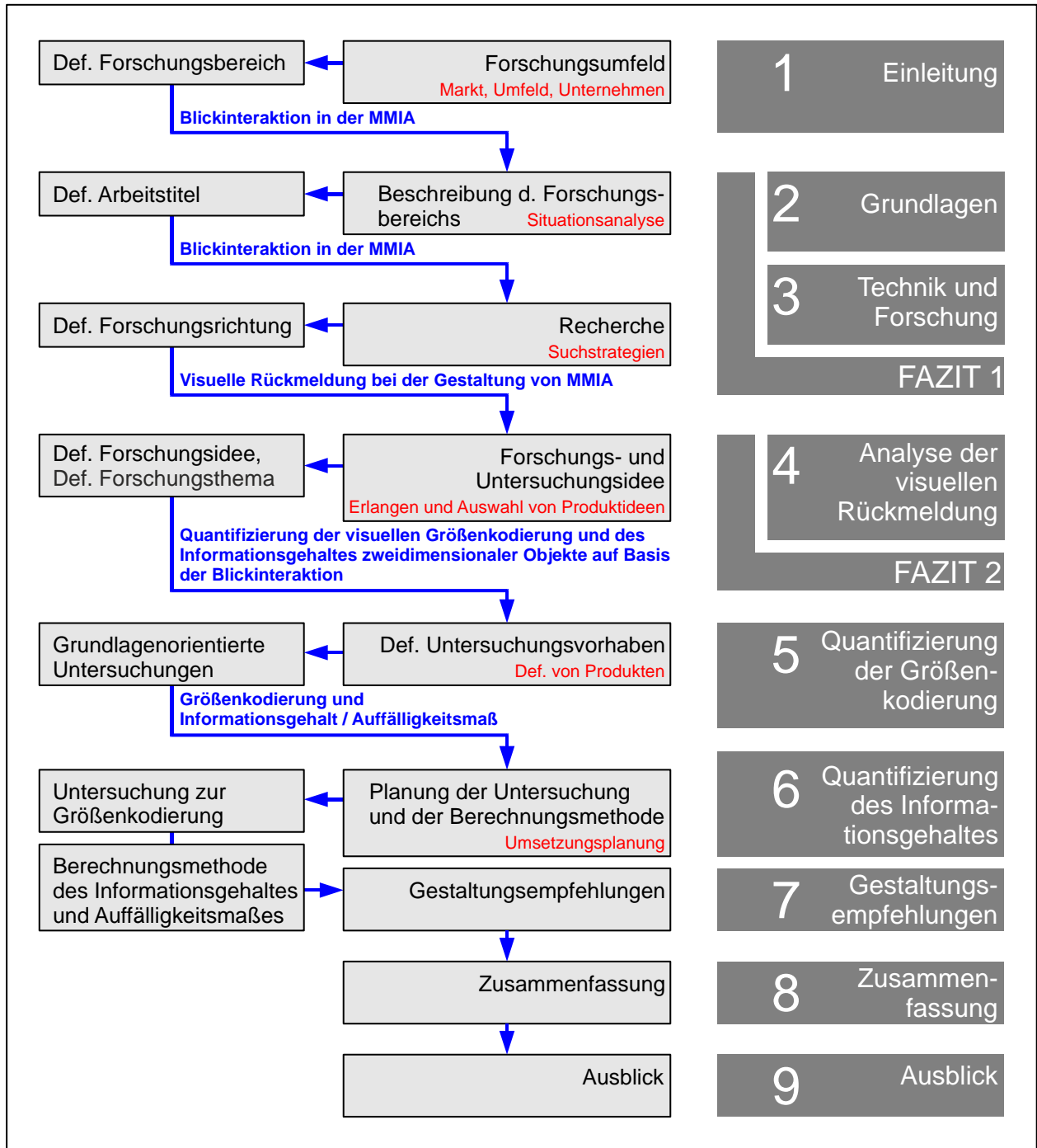


Bild 1.1: Struktur der Arbeit, angelehnt an die Planungsphase aus dem Prozessmodell von KRAMER [1986] und FELDHUSEN & GROTE [2013]

Die vorliegende Arbeit ist in neun Kapitel gegliedert. Die einleitenden Abschnitte in Kapitel 1 beschreiben die Motivation und die Zielsetzung des Forschungsthemas auf Basis der Blickinteraktion und geben einen Überblick über die Struktur der Arbeit. In Kapitel 2 werden die wichtigsten thematischen Grundlagen aufgeführt, die sowohl zum allgemeinen Verständnis der betreffenden Themengebiete als auch zur Interpretation der resultierenden Ergebnisse einen Beitrag leisten. Dabei werden die drei Hauptbegrifflichkeiten der Beziehung zwischen Mensch und Maschine bezüglich des visuellen menschlichen Sinnes auf physiologischer, psychologischer und ingenieurstechnischer Grundlage erläutert. Die blickbasierte Mensch-Maschine-Interaktion wird im letzten Unterkapitel vollständig beschrieben. In Kapitel 3 wird ein Überblick zum Technik- und Forschungsstand hinsichtlich der Blickinteraktion gegeben und ein erstes daraus abgeleitetes Fazit begründet, das die Forschungsrichtung der vorliegenden Arbeit definiert. In Kapitel 4 folgt eine umfangreiche Analyse normgerechter und allgemeingültiger Anforderungen, die bei der nutzerzentrierten Gestaltung einer Mensch-Maschine-Interaktion zu beachten sind. Eine nachfolgende analytische Experteneinschätzung bewertet die Definitionen der jeweiligen Anforderung auf die qualitative und quantitative Güte der Aussagen. Das Ergebnis dieser Bewertung zeigt nicht nur die inhaltliche Lücke, sondern deckt zudem durch eine erneute Recherche über den Forschungsstand der visuellen Rückmeldung durch Größenkodierung widersprüchliche Definitionen auf. Die grundlagenorientierte Quantifizierung der Größenkodierung baut auf einer Probandenuntersuchung auf, die in Kapitel 5 detailliert beschrieben ist. In der Untersuchung werden die Größenkodierungsfaktoren, die eine eindeutige Erkennung des Größenunterschiedes ermöglichen, ermittelt und zur Diskussion gestellt. Aufgrund der ermittelten Unterschiede zwischen den Objektgestalten wird die mögliche Begründung in der Übertragung eines bestimmten informatorischen Gehalts bzw. in den informatorischen Auffälligkeiten vermutet. Deshalb wird in Kapitel 6 eine Methode zur Quantifizierung des syntaktischen Informationsgehalts vorgestellt. In Kapitel 7 werden ein exemplarischer Vorschlag zum Einsatz der ermittelten Größenkodierungsfaktoren für die visuelle Größenkodierung von zweidimensionalen Objektgestalten gegeben und eine Ableitung allgemeiner Gestaltungshinweise speziell für die Blickinteraktion vorgenommen. Die Forschungsarbeit schließt mit einer Zusammenfassung der vorliegenden Ergebnisse in Kapitel 8 und einem Ausblick über weiterführende Forschungsthemen auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse in Kapitel 9 ab.

2 Einführung in die thematischen Grundlagen

In diesem Kapitel werden zunächst die für das Verständnis der Arbeit notwendigen begrifflichen und thematischen Grundlagen geschaffen. Im Vordergrund stehen die begriffliche Abgrenzung und die Vorstellung eindeutiger Abkürzungen für die existierenden informationstechnischen Zusammenhänge zwischen dem Menschen und der Maschine in der Umwelt, da in der Fachliteratur meist die ein und dieselbe Abkürzung für zwei unterschiedliche Zusammenhänge verwendet wird. Beispielsweise wird die Abkürzung MMS für die Begrifflichkeit „Mensch-Maschine-System“ und für „Mensch-Maschine-Schnittstelle“ eingesetzt. Zusammenfassend werden spezielle Aspekte und Qualitätsmerkmale des Mensch-Maschine-Systems vorgestellt, die Unterscheidung zur Mensch-Maschine-Schnittstelle erklärt und eine wissenschaftliche Grundlage zum Verständnis der Mensch-Maschine-Interaktion erarbeitet. Darauf basierend werden die wichtigsten Eigenschaften der Wahrnehmung, Kognition und Handlung speziell bei der visuellen Interaktion genannt. Das letzte Unterkapitel beschreibt Grundlagen zum Thema der Blickinteraktion als visuelle Informationseingabe.

2.1 Mensch-Maschine-System (MMS)

Der Begriff Mensch-Maschine-System (MMS) wird für die allgegenwärtige und allgemeingültige Beziehung des Systems zwischen Umwelt, Mensch und Maschine verstanden. Allgemeine Definitionen sind in TIMPE & KOLREP [2000], JOHANSEN [1993], GRANDJEAN [1979], SCHMIDTKE [1981], BUBB [2001] und PETROV [2012] zu finden.

Ein Mensch-Maschine-System ist dadurch definiert, dass der Mensch als Benutzer überwachend, steuernd, regelnd und handelnd mit einem technischen System (Maschine) in Verbindung steht. Das MMS wird als geschlossener Regelkreis betrachtet, indem die Maschine entsprechende Informationen durch Anzeigeelemente an den Benutzer weiterleitet, der wiederum durch Stellelemente mit der Maschine interagiert, die ihrerseits dem Benutzer erneut Informationen liefert und damit der Kreis geschlossen wird. Die dauerhaft bestehende und einwirkende Umwelt kann mit den physischen, sozialen und organisatorischen Eigenschaften die Leistungsfähigkeit von Mensch-Maschine-Systemen beeinflussen. Mensch-Maschine-Systeme bilden Teile komplexerer Systeme, können aber auch aus beliebig vielen Mensch-Maschine-Einheiten oder Untersystemen bestehen, in denen ein Benutzer mit einer Maschine oder einem Prozess in Interaktion steht. Mehrere

Untersysteme können unabhängig voneinander handeln oder miteinander in einer Beziehung stehen [DINEN894-1].

2.2 Mensch-Maschine-Schnittstelle (MMSS)

Unter der Bezeichnung Mensch-Maschine-Schnittstelle (MMSS) oder Mensch-Maschine-Interface (MMIF) wird die Einbeziehung aller Komponenten eines Arbeitssystems zur Interaktion zwischen dem Menschen und einem technischen System verstanden [BULLINGER ET AL.94], [SCHMAUDER96]. D. h. die MMSS ist Teil eines technischen Arbeitssystems, welches als direktes Kommunikationsmittel zwischen Benutzungsperson und Schnittstelle vorgesehen ist und welches die Steuerung und Überwachung des Betriebs des Arbeitssystems ermöglicht [DINEN60073].

Eine Mensch-Maschine-Schnittstelle besteht aus Anzeigen, die dem Benutzer Informationen übermitteln und aus Stellelementen, auch Stellteile genannt, mit denen der Benutzer die Maschine steuern, regeln und betätigen kann. Diese zählen als die aktiven oder auch primären Elemente einer MMSS. Den passiven Elementen können das Tragwerk und die Verkleidung der MMSS zugeordnet werden [Iso3958]. Somit kann der Begriff „Schnittstelle“ oder „Interface“ zusätzlich als die Art bzw. Anzahl von Anzeigen und Stellteilen und deren Anordnung auf einem Tragwerk verstanden werden [SEEGER05], [MAIER & SCHMID14].

In Bild 2.1 ist schematisch der Aufbau eines Arbeitssystems zwischen Mensch und Maschine abgebildet, in welchem sich die MMSS wiederfindet. Im weiteren Verlauf der thematischen Grundlagen wird der schematische Aufbau vervollständigt.

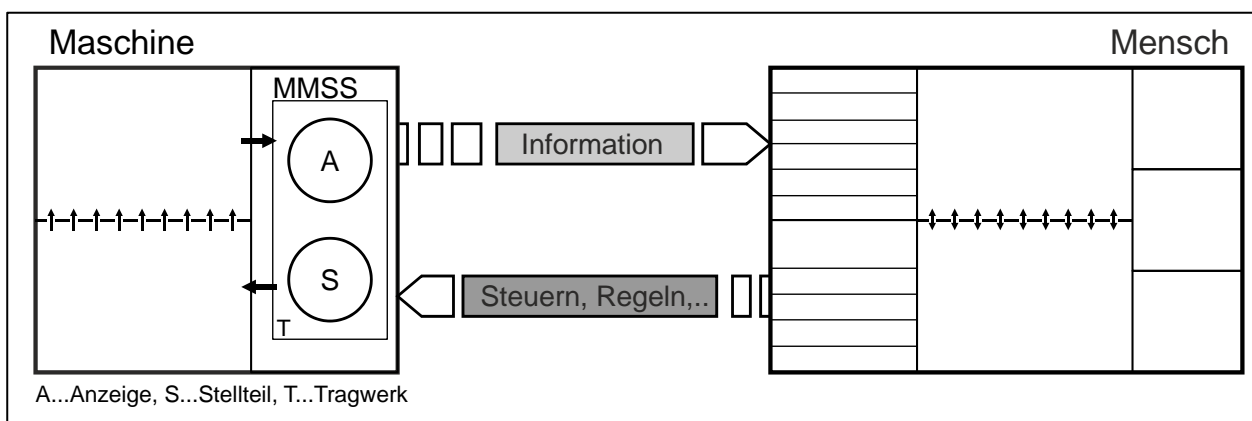


Bild 2.1: Schematischer Aufbau eines Arbeitssystems zwischen Mensch und Maschine

2.2.1 Visuelle Anzeige

Allgemein übermitteln Anzeigen entsprechende Informationen von einem Sender (i. d. R. technisches System) zu einem Empfänger (Benutzer). Sie werden eingesetzt, um dem Benutzer die Informationen über die Systemzustände, -änderungen und -prozesse visuell, akustisch oder haptisch anzuzeigen [DINEN894-1], [BULLINGER ET AL.94].

Bei einer visuellen Anzeige kann die Informationsübermittlung in digitaler, alphanumerischer und analoger Form erfolgen [DINEN894-2]. Auf der digitalen Anzeige wird die Information durch Ziffern dargestellt und auf der alphanumerischen Anzeige als Kombination von Ziffern und Buchstaben. Bei der analogen Anzeige wird ein Zustand als Funktion von Länge, Winkel oder einer anderen Größe dargestellt. Bei der herkömmlichen Computerbedienung mittels Maus werden bspw. die aktuelle Position und die auszuführende Handlung als Funktion einer Zeigerbewegung, die als visuelle Anzeige fungiert, übermittelt. D. h. visuelle Anzeigen leiten Informationen über die Systemzustände, -änderungen und -prozesse durch sichtbare Größen weiter.

2.2.2 Visuelles Stellteil

Aufgrund der engen begrifflichen Definition zwischen „Bedienen“ und „Stellen“ werden Bedienelemente besonders im Maschinenbau auch Stellteile genannt [VDI/VDE2258]. In der Literatur gibt es einige Definitionen, die das Stellteil in seinem vielseitigen Einsatz beschreiben. LUCZAK definiert das Stellteil als Mittel „zur Steuerung von Operationen bzw. zur Eingabe von Informationen“ [LUCZAK98, S. 608]. Neben dem haptischen Stellteil wird im Kontext der Blickinteraktion das visuelle Stellteil eingeführt. Das visuelle Stellteil dient genauso zur Steuerung von Operationen bzw. zur Eingabe von Aktionen, indem Informationen in Form von Variablen an ein System weitergegeben werden. Die Betätigung erfolgt primär durch den visuellen Wahrnehmungsapparat über die Augen.

Das visuelle Stellteil gibt ebenso den aktualisierten Wert einer eingegebenen Variable bzw. einer Systemänderung oder eines Systemzustandes visuell als Form einer Anzeige wieder. Demzufolge fungiert das optische Stellteil gleichzeitig als optische Anzeige.

2.3 Mensch-Maschine-Interaktion (MMIA)

Die für die vorliegende Arbeit relevanteste thematische Grundlage stellt der Begriff Mensch-Maschine-Interaktion (MMIA) dar und beschäftigt sich mit den verschiedenen Aspekten der Interaktion zwischen dem Menschen und dem technischen System (Maschine) in der Umwelt. Der Mensch wird zur Aufnahme von Informationen über Anzeigen eines technischen Systems (Maschine, Fahrzeug) durch seine Sensoren (z. B. die Augen) angeregt. Er muss die auf seinem Wissen, seinen Regeln und Zielen beruhende Information wahrnehmen (Wahrnehmung), verstehen und richtig interpretieren. Aufgrund der interpretierten Wahrnehmung und der individuellen Verarbeitung (Kognition) trifft er eine Entscheidung. Danach folgt die Ausführung der Entscheidung durch die adäquate Handhabung der Stellteile (Handlung). In der Maschine läuft der technische Prozess in gewünschter Art ab. Der Regelkreis schließt sich, indem charakteristische Vorgänge des Prozesses auf den Anzeigen wiederum in Erscheinung treten. Bild 2.2 stellt die Wechselbeziehung mit den Wahrnehmungsmöglichkeiten des Menschen der abgehenden Information seitens der Maschine und den Handlungsmöglichkeiten seitens des Menschen dar.

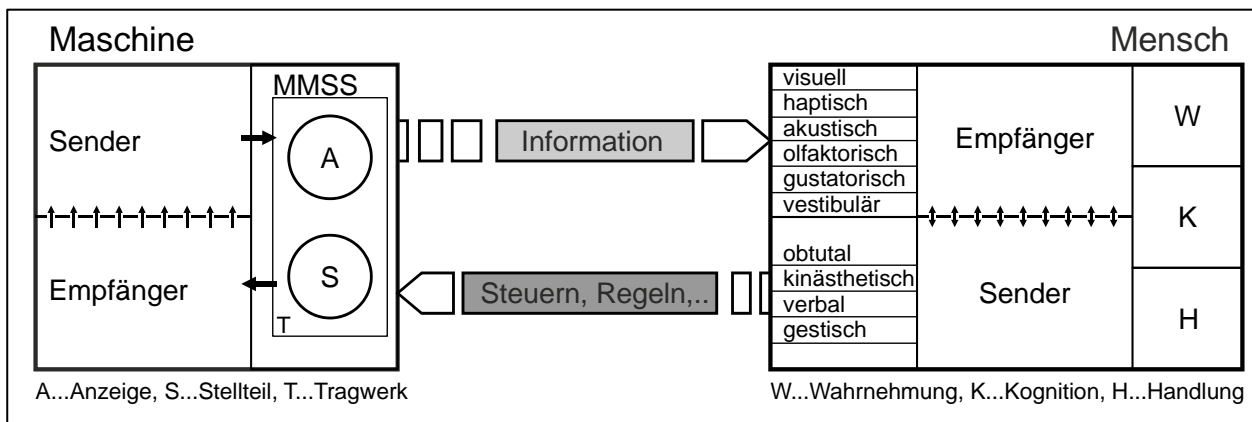


Bild 2.2: Schematischer Regelkreis der MMIA

Die MMIA wird als ein informationsverarbeitender Prozess des Menschen, bestehend aus den Teilverarbeitungsprozessen der Informationsaufnahme, -speicherung, -verarbeitung und -wiedergabe, definiert [SCHMIDTKE89], [BULLINGER ET AL.94], [PETROV12]. Auch in der DIN EN 894-1 wird die MMIA als Informationsverarbeitungssystem beschrieben, welches in drei Untersysteme unterteilt wird: das Wahrnehmungssystem, das kognitive System und das motorische System [DIN EN 894-1].

Literaturinhalten zufolge stehen in Anbetracht der Physiologie des Menschen dem menschlichen Nervensystem individuelle leistungsfähige Informations-, Koordinations- und Steuerungssysteme zur Verfügung. Sie werden in „spezifische“ und „allgemeine“ Systeme unterteilt und sind mit den Hirnfunktionen funktionell miteinander verbunden. Zu den spezifischen Systemen gehören die sensorischen Systeme, die kortikalen Systeme, das motorische System und das vegetative System. Das „allgemeine“ System beschreibt die Grundfunktionen des zentralen Nervensystems, die bei allen Hirnleistungen beteiligt sind und somit Grundbedingungen für die Hirnaktivitäten darstellen, z. B. Emotionen, Motivations- und Lernprozesse, Erzeugung von Wachheit und Unterstützung der Verarbeitung von Sinnesreizen durch Aufmerksamkeit [SCHMIDT & SCHAIBLE06], [BIRBAUMER & SCHMIDT06], [MUTSCHLER ET AL.07].

In der vorliegenden Arbeit wird die MMIA durch die Teilprozesse der sensorischen Informationswahrnehmung, kognitiven Informationsverarbeitung und motorischen Informationseingabe definiert. Diese werden aufgrund des thematischen Hintergrundes ausschließlich auf den visuellen informationsverarbeitenden Prozess bezogen und in den folgenden Unterkapiteln näher erläutert. Die haptische und akustische Wahrnehmung wird im Folgenden nur kurz angerissen. Detaillierte Erläuterungen sind bspw. in den Fachbüchern von SCHMIDT & SCHAIBLE [2006], BIRBAUMER & SCHMIDT [2006], MUTSCHLER ET AL. [2007] und den Dissertationen von HAMPEL [2011], PETROV [2012] zu finden.

2.3.1 Visuell-sensorische Informationswahrnehmung

Die sensorischen Systeme dienen der Wahrnehmung über Zustände und Vorgänge in der Umwelt und des eigenen Körpers [MUTSCHLER ET AL.07]. Sie können eingeteilt werden in

- exterozeptive Systeme, die die Reize aus der Umwelt analysieren,
- propriozeptive Systeme, die die Vorgänge in den tiefen somatischen Geweben, also in Muskeln und Gelenken messen, und in
- enterozeptive Systeme, die die Ereignisse in den inneren Organen registrieren.

Das visuell-sensorische System wird von zwei Forschungsdisziplinen, der objektiven Sinnesphysiologie und der Wahrnehmungspsychologie, untersucht und dementsprechend in deren physiologische Teilprozesse unterteilt. Bild 2.3 stellt einen Überblick über die Teilprozesse des sensorischen Systems dar, die in den folgenden Abschnitten und Unterkapiteln näher erläutert werden.

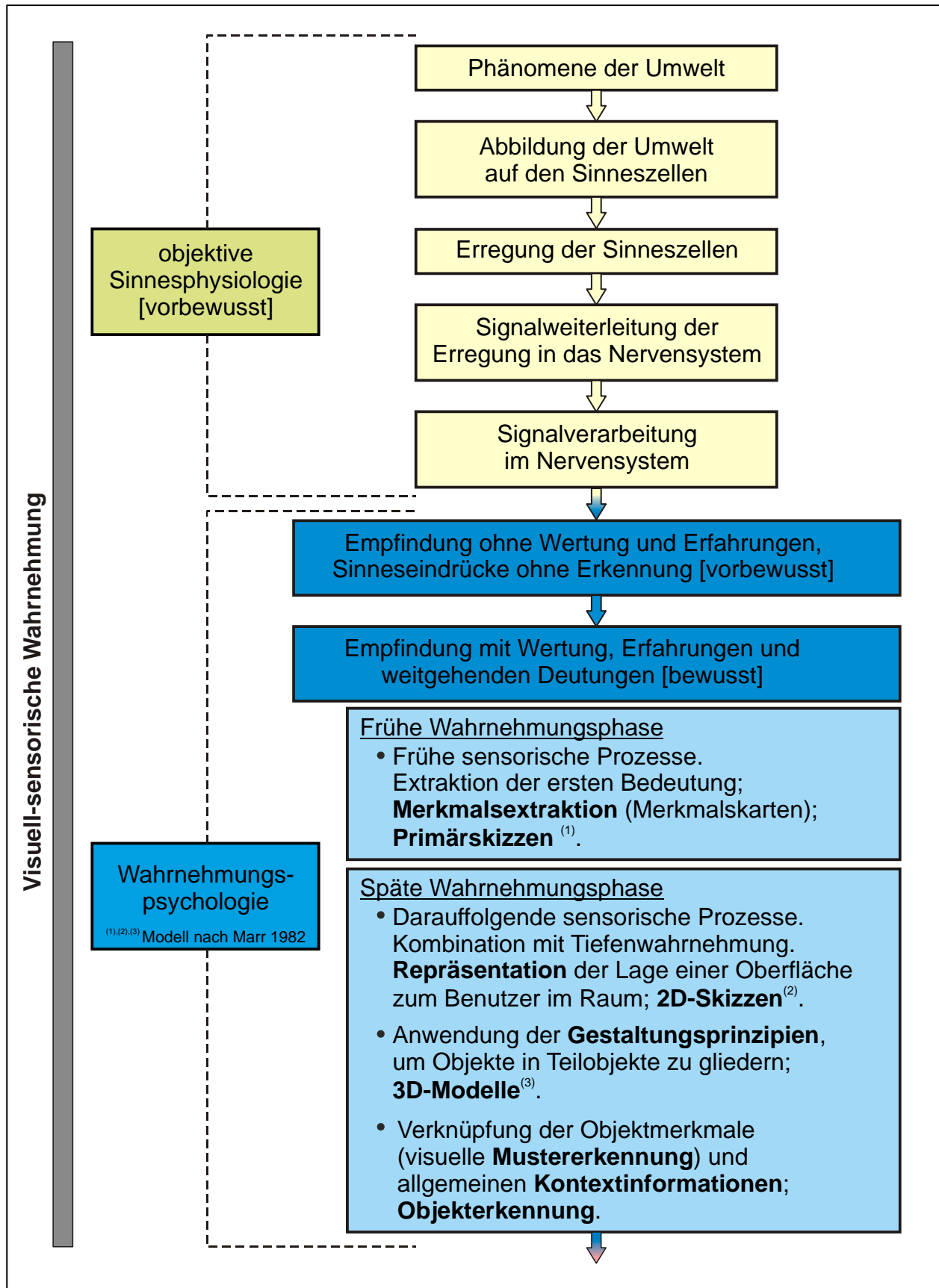


Bild 2.3: Das visuell-sensorische Wahrnehmungssystem

Die objektive Sinnesphysiologie beschreibt den neuronalen Vorgang von der Reizaufnahme (Transduktion) durch die Erregungen von sensorischen primären oder sekundären Sinneszellen (Nervenzellen, Sensoren) über die Reizumwandlung durch physikalische, thermische oder chemische Prozesse in eine Folge von Aktionspotenzialen (Transformation) bis hin zur Verarbeitung und Erzeugung der sensorischen Information im zentralen Nervensystem (siehe auch Kapitel 2.3.1.1).

Die Wahrnehmungspsychologie hingegen beschreibt die vorbewusste Empfindung, d. h. einen Sinneseindruck erzeugt durch Registrierung eines einfachen Sinnesreizes im Zentralnervensystem ohne Wertungen und Erfahrungen, und die darauffolgende bewusste Wahrnehmung durch Verknüpfung der Empfindungen mit Wertungen, Erfahrungen oder weitgehenden Deutungen (siehe auch Kapitel 2.3.1.2) Die meisten Sinneseindrücke nehmen wir bewusst wahr. Andererseits bleiben einige sensorische Prozesse aber auch unbewusst, bspw. die ständige Registrierung des arteriellen Blutdrucks [SCHMIDT & SCHAIBLE06], [SCHMIDT & LANG07], [SCHANDRY11], [PETROV12].

Alle Sinnesempfindungen, die über ein bestimmtes Sinnesorgan vermittelt werden, sind einer Sinnesmodalität zugeordnet. Es gibt die fünf Hauptsinne, Gesichts-, Tast-, Gehör-, Geruchs- und Geschmacksinn, und weitere Modalitäten, die Informationen über Zustände an der Körperoberfläche und im Körperinneren liefern, wie Gleichgewichts-, Temperatur-, Schmerz-, Stellungs-, Kraft- und Bewegungssinn. Diese Modalitäten können jeweils in mehrere Qualitäten untergliedert werden. Bei der Modalität „Sehen“ kann z. B. zwischen Helligkeit und Farbeindruck unterschieden werden. Außer der Modalität und Qualität lassen sich die Sinneseindrücke noch durch drei weitere Grunddimensionen charakterisieren: durch Intensität, Zeitlichkeit und Räumlichkeit [MUTSCHLER ET AL.07].

Die drei wichtigsten sensorischen Systeme bei der Informationswahrnehmung sind der Gesichtssinn (Sehen), der Tastsinn (Fühlen) und der Gehörsinn (Hören) – also die visuelle, haptische und auditive Informationsaufnahme.

Zur präzisen Orientierung in der Umwelt wird eine realitätsnahe Wahrnehmung der Umgebung benötigt. Der Mensch, wie auch viele andere Lebewesen, benutzt zur präzisen Orientierung das physikalische Phänomen der elektromagnetischen Strahlung eines bestimmten Wellenlängenbereichs mit Hilfe von Lichtsinneszellen. Treten in diesem Fall die Lichtsinneszellen nicht einzeln auf, sondern als Lichtsinnesorgane, spricht man von Augen bzw. vom optischen System.

Das optische System ist das präziseste Wahrnehmungsorgan des Menschen. Es generiert eine schnelle, sehr empfindliche und hochauflösende dreidimensionale Wahr-

nehmung der Umwelt in einem Bereich zwischen einer sehr kleinen und einer quasi-unendlichen Entfernung zum Wahrnehmenden. Es besitzt einen sehr kleinen hochauflösenden Bereich, dessen Position durch die Möglichkeit der Augen- und Kopfbewegungen entsprechend der aufzunehmenden Information verändert werden kann. Unterschieden wird zwischen fotopischem und skotopischem Sehen [SCHMIDT & SCHAIBLE06]. Näheres zur visuellen Wahrnehmung folgt in den nächsten Kapiteln.

Die haptische Wahrnehmung, auch Somatosensibilität genannt, umfasst die Sinnesmodalitäten der Haut (Oberflächensensibilität) sowie die des Bewegungsapparats (Tiefensensibilität). Der Tastsinn und der Temperatursinn gehören zur Oberflächensensibilität, während der sensorische Bewegungsapparat den Stellungssinn, den Kraftsinn und den Bewegungssinn umfasst [MUTSCHLER ET AL.07]. Diese sind aufgeteilt in:

- Mechanosensibilität der Haut (Tastsinn).
- Thermorezeption (Temperaturempfinden).
- Propriozeption (Stellungssinn, Kraftsinn, Bewegungssinn).

Das auditive System ist das zweitwichtigste Wahrnehmungssystem des Menschen zur Orientierung in einer Umgebung. Das auditive Wahrnehmungssystem, also das Ohr, setzt bezüglich des Hörvermögens physikalische Größen wie Schalldruck und -frequenz in physiologische Größen wie Lautstärke und Tonhöhe um und ist zusätzlich für wichtige Grundfunktionen des Gleichgewichtssinnes zuständig.

Weitere grundlegende, physiologische Erklärungen zur haptischen und auditiven Wahrnehmung sind in SCHMIDT & SCHAIBLE [2006], BIRBAUMER & SCHMIDT [2006], SCHANDRY [2011], SCHMIDT & LANG [2007] oder auch in MUTSCHLER ET AL. [2007] zu finden. Psychologische Zusammenhänge dieser beiden Wahrnehmungen können in KEBECK [1997] oder GOLDSTEIN [2011] nachgeschlagen werden.

Eine Vielzahl an visuellen Wahrnehmungsbeispielen – amodale Figuren nach KANIZSA [1955], Suchbild nach METZGER [1967], Necker-Würfel usw. – bestätigen, dass das Verhältnis zwischen der äußeren, physikalischen Welt und der durch Wahrnehmung und Gedächtnis geschaffenen menschlichen, phänomenalen Welt kein einfaches 1:1-Abbildungsverhältnis sein kann. Deshalb soll zum besseren Verständnis zuerst auf die sinnesphysiologischen Grundlagen des visuellen Systems eingegangen werden, um nachfolgend einen Überblick über die unterschiedlichen visuellen psychologischen Wahrnehmungseigenschaften zu berichten, die für die Untersuchungen zur Unterschiedserkennung visuell dargebotener Objekte von Nutzen sind.

2.3.1.1 Sinnesphysiologische Grundlagen visueller Wahrnehmung

Der Augapfel (Bulbus) wird von einer weißen Lederhaut (Sklera) umschlossen und ist, abgesehen von der stärker gekrümmten Hornhaut (Kornea), ein nahezu kugelförmiger mit Flüssigkeit gefüllter Hohlkörper mit einem Durchmesser von 24,4 mm und einem Gewicht von 7,5 g (siehe Bild 2.4). Im Auge werden durch das optische System (dioptrischer Apparat) Objekte der Umwelt auf der Netzhaut (Retina) abgebildet, indem von außen abgestrahlte und einfallende Lichtstrahlen optisch gebündelt werden. Die Hornhaut, die Augenkammern mit dem Kammerwasser, die Pupille mit der Iris, die Linse und der Glaskörper mit der Netzhaut bilden den notwendigen dioptrischen Apparat des Auges. Das Auge wandelt elektromagnetische Strahlung des Wellenlängenbereichs von etwa 380-760 nm (Spektrum des sichtbaren Lichts von Blau bis Rot) mit Hilfe fotochemischer Prozesse in Erregungen bzw. Nervensignale um. Diese werden über die Sehnerven bzw. Sehbahnen in das primäre Sehzentrum (visueller Kortex) der Großhirnrinde weitergeleitet [SCHMIDT & SCHAIBLE06], [BIRBAUMER & SCHMIDT06], [MUTSCHLER ET AL.07].

Dieser Vorgang wird als „Sehen“ bezeichnet. Das Auge „sieht“ nicht, sondern ist ein Sinnesorgan, welches die für die visuelle Wahrnehmung notwendigen Sinnesinformationen liefert [KEBECK97].

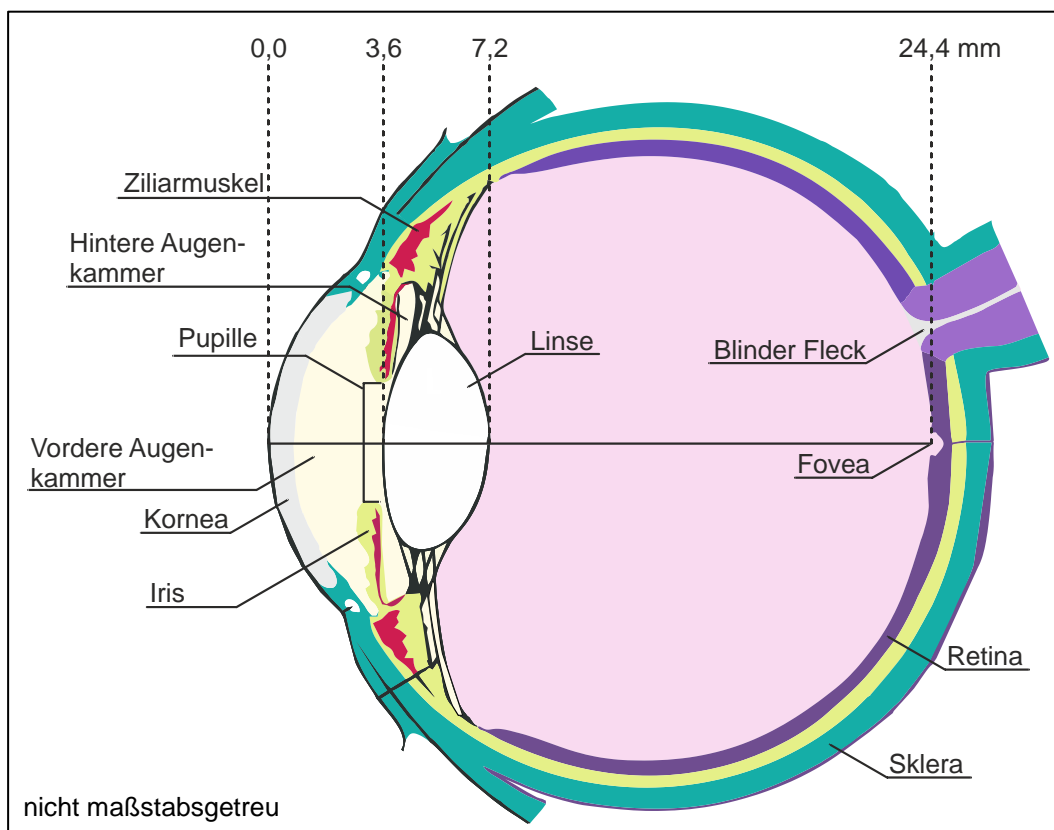


Bild 2.4: Querschnitt des menschlichen Auges, angelehnt an MUTSCHLER ET AL. [2007]

Der objektive sinnesphysiologische Vorgang des Sehens (vgl. Bild 2.3) kann generell in vier Teilprozesse aufgeteilt werden: die Abbildung der Umwelt auf den Lichtsinneszellen, die Erregung der Lichtsinneszellen, die Signalweiterleitung der Erregung in das Nervensystem und die Signalverarbeitung im Nervensystem. Folgende Beschreibungen orientieren sich an KEBECK [1997], BAYRHUBER & KULL [2005], SCHMIDT & SCHAIBLE [2006], BIRBAUMER & SCHMIDT [2006], MUTSCHLER ET AL. [2007], SCHMIDT & LANG [2007] und SCHANDRY [2011].

Das Abbild der Umwelt: Dies geschieht durch die bildentwerfenden Teile des Auges – die Hornhaut, die Pupille und die Linse als brechende Medien. Das von der Umwelt abgestrahlte Licht wird zuerst von der nach außen konvex gewölbten Hornhaut aufgefangen, um durch die Augenöffnung (Pupille) in das Augeninnere zu gelangen. Der ringförmige Muskel (Iris) verändert die Pupillengröße durch Kontraktion oder Ausdehnung, damit die Menge des einfallenden Lichts, abhängig von der Lichtintensität, automatisch reguliert wird. Die unmittelbar hinter der Pupillenöffnung befindliche Linse ist in der Lage durch Veränderung ihrer Form Lichtstrahlen von unterschiedlich entfernten Gegenständen zu bündeln und auf die Netzhaut zu projizieren. Diese Anpassbarkeit des Strahlengangs an die Entfernung des betrachteten Objekts wird als Akkommodation bezeichnet.

Die Erregung der Lichtsinneszellen: Dieser Teilprozess, bei dem die Lichtsinneszellen durch die einfallenden Lichtstrahlen erregt werden, findet auf und in der Netzhaut statt. Die Netzhaut stellt den bildaufnehmenden und bildverarbeitenden Teil des Auges dar. Sie besteht aus einem hinteren lichtempfindlichen und einem vorderen lichtunempfindlichen Abschnitt und besitzt einen mehrschichtigen Aufbau (siehe Bild 2.5), der aus unterschiedlichen Zelltypen gebildet wird. Der für das Sehen zuständige lichtempfindliche Abschnitt besitzt die Pigmentepithel-Schicht und die Nervenzellenschicht. Die Pigmentepithel-Schicht hat die Hauptfunktion, die Sensorzellen bzw. Fotosensoren zu ernähren. Die Nervenzellenschicht ist in Fotosensoren, Horizontalzellen, Bipolarzellen, Amakrinzellen und Ganglienzellen unterteilt. Die Müllerzellen erstrecken sich als Stütz- und Transportzellen durch alle Schichten der Netzhaut.

Die Schicht der Fotosensoren ist die eigentliche lichtempfindliche Zwischenschicht der Netzhaut. Sie enthält die primären Sinneszellen, sogenannte Zapfen und Stäbchen. Diese sind von der Richtung des Lichteinfalls abgewandt und von einem Netzwerk nachgeschalteter Nervenzellen und Nervenfasern überlagert. Demnach durchquert und durchdringt das Licht erst alle Nervenzellen, bevor die lichtempfindlichen Zapfen und Stäbchen erregt werden. Die Schicht der Fotosensoren weist annähernd 120 Millionen

Stäbchen und etwa sechs Millionen Zapfen auf. Im Bereich der Sehgrube, auch Fovea genannt, befinden sich ausschließlich Zapfen, die für das Sehen am Tage (fotopisches Sehen) zuständig sind und eine Unterscheidung von Farben erlauben.

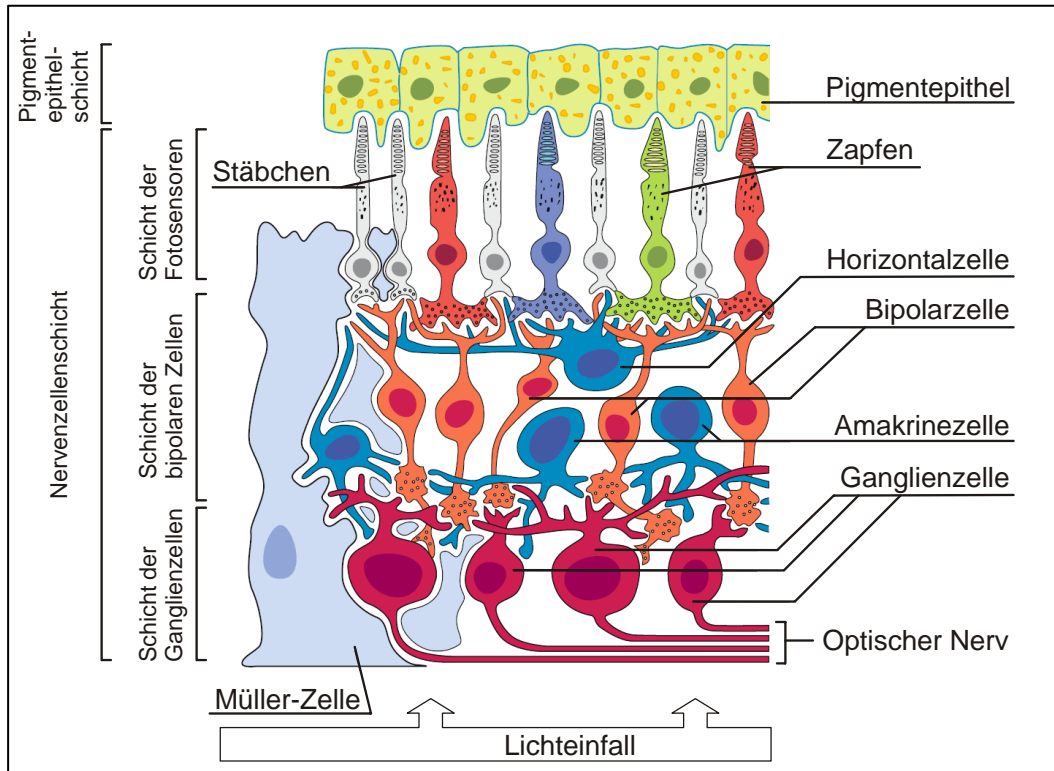


Bild 2.5: Zapfen und Stäbchen, angelehnt an BIRBAUMER & SCHMIDT [2006]

Der foveale Bereich liegt der Pupille genau gegenüber und ist als Bereich des schärfsten Sehens bekannt. Der Mensch bewegt beim Blicken bzw. Fokussieren seine Augen ununterbrochen, sodass die vom Gegenstand abstrahlenden Lichtstrahlen in den Bereich der Fovea fallen. Im Bereich unmittelbar um die Fovea ändert sich die Verteilung der Zapfen zu den Stäbchen im Verhältnis eins zu zwei. Letztendlich nimmt die Anzahl der Zapfen zu den äußeren Bereichen der Netzhaut (parafoveal) hin immer stärker ab, sodass nur noch Stäbchen vorhanden sind. Die Stäbchen sind für das Sehen bei Sternenlicht (skotopisches Sehen) zuständig. Dabei werden Helligkeitsunterschiede erkannt.

Die Schicht der bipolaren Nervenzellen enthält horizontale, bipolare, amakrine Schaltzellen, die einen synaptischen Kontakt mit den Sinneszellen und/oder den Ganglienzellen aufweisen.

Die Schicht der Ganglienzellen besteht aus zahlreichen Ganglienzellen, deren Axone bzw. Nervenfasern den Sehnerv bilden und die die umgewandelten Signale an das Gehirn weiterleiten. Da der Aufbau der Netzhaut an der Austrittsstelle des Sehnervs unterbrochen ist, fehlen dort Fotosensoren. Daher wird diese Stelle auch als blinder Fleck bezeichnet.

Schließlich entsteht die Erregung der Fotosensoren, indem der Zerfall der eingelagerten Sehfärbstoffe (Fotopigment) durch die Lichtabsorption eine Umwandlung von Lichtreizen in elektrische Potenzialänderungen (Sensorpotenziale) einleitet. Dabei spricht man vom Transduktionsprozess. Detailliertere Angaben sind den Abhandlungen von SCHMIDT & SCHAIBLE [2006] und MUTSCHLER ET AL. [2007] zu entnehmen.

Die Signalweiterleitung und die Signalverarbeitung: Nach der Erregung der Lichtsinneszellen, wobei eine Umwandlung des Lichtes in Sensorpotenziale stattfindet, folgt durch den anatomischen Aufbau der Netzhaut die Weiterleitung des umgewandelten Signals in das Nervensystem. Die Potenzialänderungen der Sensorzelle, die beim Überschreiten einer bestimmten Grenze entstehen, werden in den nachfolgenden afferenten Nervenzellen in einen elektrischen Impuls (Aktionspotenziale) umgewandelt. Dies wird in der Fachliteratur als Transformation beschrieben. An diesem Transformationsprozess sind die horizontalen, bipolaren, amakrinen Schaltzellen und schließlich die Ganglienzellen der Netzhaut beteiligt.

Zur wichtigsten Funktion der Signalverarbeitung gehören die rezeptiven Felder, mit denen das visuelle System in der Lage ist, Konturen (Kanten, Winkel usw.) und Farben, die einen Gegenstand in unserer Umwelt definieren, zu erkennen. Als rezeptives Feld wird dasjenige Areal der Netzhaut bezeichnet, von dem aus die Aktivität einer Zelle durch optische Reize beeinflusst werden kann. Jede Sinneszelle weist ein rezeptives Feld auf, das kreisförmig ist und aus einem Zentrum und einer Peripherie besteht. Beispielsweise gibt es On-Zentrum-Zellen und Off-Zentrum-Zellen. Eine On-Zentrum-Zelle der Stäbchen (skotopisches Sehen) wird aktiviert, wenn das Zentrum des rezeptiven Feldes beleuchtet wird und gehemmt, wenn es verdunkelt wird. Die Stimulation der Peripherie ist spiegelbildlich. Eine Off-Zentrum-Zelle dagegen antwortet genau entgegengesetzt: Lichthemmung und erregende Dunkelantwort im Zentrum und Lichterregung und hemmende Dunkelantwort in der Peripherie. D. h. das retinale Netzwerk des visuellen Systems weist getrennte Funktionen für Hell- und Dunkel-Wahrnehmung mit On-Zentrum- und Off-Zentrum-Zellen auf. Somit kann das Gehirn aus der Aktivität bestimmter Zellen das von einem Lichtreiz erregte Netzhautareal ermitteln.

Zusammengefasst sind die Sinneszellen der Informationseingang in das lokale Netzwerk der retinalen Nervenzellen und die dahinter folgenden Zellen, mit ihren im Sehnerv verlaufenden Axonen, der Ausgang der Information.

Bild 2.6 links zeigt die Bahnen der Sehnerven beider Augen, die jeweils aus etwa einer Million Nervenfasern bestehen, und die wichtigsten zentralen Sehareale im Gehirn. Auf dem Weg zu den visuellen Projektionsarealen, die sich im hinteren Bereich der beiden Großhirnhälften befinden, überkreuzen sich etwa die Hälfte der Nervenfasern. Die Informationen aus den inneren (nasalen) Netzhauthälften werden an die jeweils gegenüberliegende Hirnhälfte weitergeleitet und bilden mit den sich nicht überkreuzenden Nerven der äußeren (temporalen) Netzhauthälften die visuellen Areale im Gehirn. Durch diese Kreuzung erhalten die beiden visuellen Areale der Hirnhälften also Informationen von der rechten und der linken Seite des Gesichtsfelds [KEBECK97], [BIRBAUMER & SCHMIDT06], [MUTSCHLER ET AL.07].

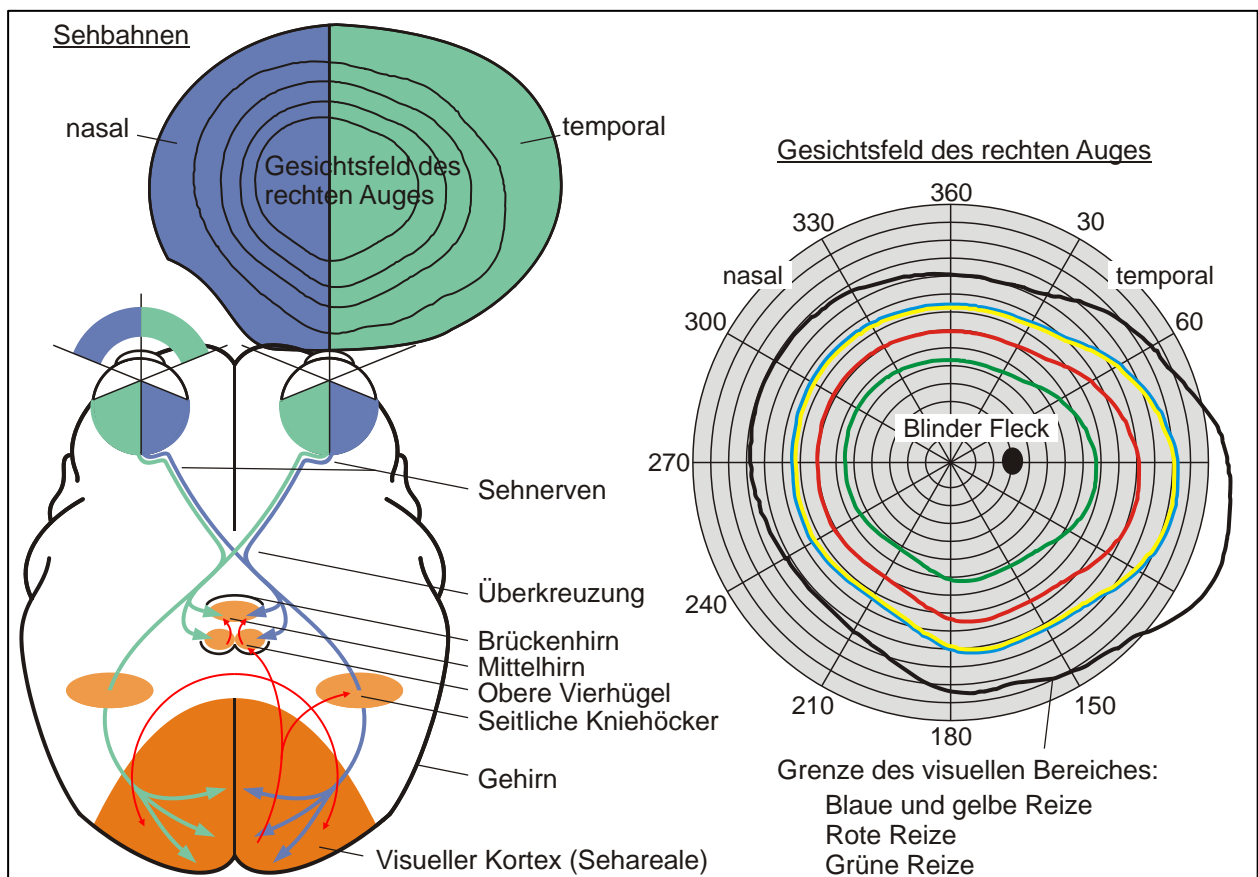


Bild 2.6: Sehbahnen und Gesichtsfeld, angelehnt an MUTSCHLER ET AL. [2007]

Das Gesichtsfeld ist der gesamte visuelle Bereich, der von einem stillstehenden Auge, d. h. bei Fixation eines zentralen Punktes, erfasst wird. Bild 2.6 rechts zeigt die Grenzen

des Gesichtsfeldes (schwarze Linie) und die Grenzen der unterschiedlichen Farbwahrnehmung für die Farben Blau, Rot, Gelb und Grün. Beim menschlichen binokularen Sehen überschneiden sich die Gesichtsfelder beider Augen mit Ausnahme der temporalen Bereiche, was eine Besonderheit für die räumliche Wahrnehmung ist. Von den meisten Punkten im Gesichtsfeld erreichen somit zwei Informationen die visuellen Hirnareale. Etwa zwei Drittel der Axone der Sehbahnen enden in den seitlichen Kniehöckern. Die Zellen dort können die visuelle Information bereits nach bestimmten Strukturen und offenbar auch nach der Farbe differenzieren. Danach werden die Erregungen als Sehstrahlung zum visuellen Kortex weitergeleitet. Die restlichen Nervenfasern nehmen andere Wege, die über das tieferliegende Gebiet des Brückenhirns, der oberen Vierhügel oder zur Region des Mittelhirns führen. Diese Verbindungen dienen offensichtlich der Kontrolle der Augenbewegungen, der Akkommodation und der räumlichen Orientierung. Die Augenbewegungen werden von sechs Augenmuskeln als antagonistische Paare umgesetzt, die direkt am Bulbus ansetzen. Durch sie können die Augen horizontal und vertikal bewegt werden. In Kombination können die Augen auch schräg sowie torsional in Bewegung gesetzt werden. Die Aktivierung der Muskeln erfolgt durch drei verschiedene Hirnnerven, wobei hier nicht näher darauf eingegangen, sondern auf Fachliteratur verwiesen wird [MUTSCHLER ET AL.07], [SCHMIDT & LANG07], [SCHANDRY11].

Angelehnt an RÖTTING [2001] und anderer Fachliteratur zeigt Tab. 2.1 eine Einteilung der Augenbewegungen in drei Klassen. Die eine Klasse beschreibt konjugierte Augenbewegungen. Dies sind Bewegungen der Augen, die gemeinsam in die gleiche Richtung erfolgen. Eine zweite erfasst die Vergenzbewegungen, die bei binokularem Fixieren bei Annäherung oder Entfernung von Objekten entsteht. Die torsionale Bewegung der Augen ist eine gleichsinnige Torsionsbewegung der Augen bei seitlicher Neigung des Kopfes und stellt eine eigne Klasse der Augenbewegung dar.

Beim Fixieren eines Objektes sowie der darauffolgenden Objekte werden entsprechende Augenbewegungen mit und ohne Kopfbewegungen ausgeführt. Selbst beim Fixieren eines Punktes im Raum sind die Augen in Bewegung. Jede Fixation ist nämlich von einem Mikrotremor (Zittern) überlagert. Bei Fixationsperioden zwischen einer halben und zwei Sekunden kommt es sogar zu langsamen Fixationspunktverschiebungen, sogenannten Drifts. Diese bewirken eine fortwährende Verschiebung der Netzhaut, um einen Bereich mehrerer Sehzellen zu reizen. Dadurch trifft der Lichtreiz stets auf unterschiedliche Nervenzellen und die Sensitivität wird gegenüber dem optischen Stimulus aufrechterhalten.

Art der Augenbewegung		Dauer u. Geschwindigkeit	Wirkung
Konjugierte Augenbewegung			
auch ohne Kopfbewegung möglich	Mikrotremor bei Fixation	Mikrobewegungen < 10 ms	Festhalten des fixierten Objekts und Aufrechterhaltung der Stimulation von Rezeptoren und Neuronen.
	Drift	Mikrobewegungen < 10 ms	
	Optokinetischer Nystagmus	Mikrobewegungen < 15 ms	Zufällig.
	Mikrosakkade	Mikrobewegungen < 15 ms	Repositionierung des Auges auf das vorher fixierte Objekt.
	Sakkade	15-100 ms	Untersuchung neuer Ziele, visuelle Suche.
	Folgebewegung	15-100 ms	Verfolgung eines sich langsam bewegenden Objektes.
Bei Kopfbewegung	Optokinese	Entsprechend der Kopf- oder Körperbewegung bis zu 100 ms	Aufrechterhaltung eines stabilen Netzhautbildes.
	Vestibuläre Bewegung	Entsprechend der Kopf- oder Körperbewegung bis zu 100 ms	Aufrechterhaltung der Fixation während einer Kopf- oder Körperbewegung.
Vergenzbewegung			
Konvergenztrias	Divergenz	Latenzzeit 150-200 ms	Aufrechterhaltung der Divergenz und Konvergenz beider Augen bei Fixation.
	Konvergenz		
	Konvergenz mit Pupillenverengung		
Spiegelbildliche Torsionsbewegung			
	Torsionale Bewegung	Latenzzeit 150-200 ms	Fokussierung auf das Objekt.

Tab. 2.1: Unterteilung der Augenbewegungen, angelehnt an RÖTTING [2001], BIRBAUMER & SCHMIDT [2006] und SCHMIDT & LANG [2007]

RIGGS ET AL. [1976] sind der Meinung, dass diese ständige Variation des Netzhautbildes eine elementare Voraussetzung für die visuelle Wahrnehmung ist. Sie konnten in einem Experiment zeigen, dass ein künstlich stabilisiertes Netzhautbild nach einigen Sekunden von den Probanden nicht mehr wahrgenommen wurde. Mikrosakkaden korrigieren die durch Drift und Mikrotremor verursachte Verschiebung und tragen zu einer erneuten Fixierung des anvisierten Objektes bei. Allerdings treten sie auch teilweise regellos auf. Sogenannte Sakkaden sind der Beweis dafür, dass die Augen nie langsam und gleichmäßig von einem Fixationsobjekt zum anderen hin bewegt werden. Die Sakkaden sind ruck- und sprungartige, konjugierte, bewusst oder unbewusst ausgelöste Augenbewegungen, die meist einer Fixation dienen, jedoch auch spontan zwei- bis dreimal pro

Sekunde auftreten. Gleitende Folgebewegungen entstehen beim Verfolgen eines bewegten Objektes und sind bewusste, konjugierte Augenbewegungen [BIRBAUMER & SCHMIDT06], [SCHMIDT & LANG07].

Zur Aufrechterhaltung eines stabilen Netzhautbildes bei einem sich bewegenden Objekt und zusätzlicher Verschiebung der visuellen Umgebung durch Kopf- oder Körperbewegungen dient die sogenannte Optokinese. Vestibuläre Bewegungen sind Anpassungsbewegungen, die für eine anhaltende Fixierung eines Punktes bei Kopf- und Körperbewegungen sorgen. Während der Sakkade wird keine Information aufgenommen, da die Sehschärfe sehr gering ist [RÖTTING01], [SCHMIDT & SCHAIBLE06].

Es ist geklärt, wie aufgrund des physiologischen Aufbaus, der Eigenschaften und der Grenzen der Netzhautsensoren eine bestimmte Lichtverteilung in neuronale Impulse für die weitere Verarbeitung in den visuellen Arealen des Gehirns umgesetzt werden. Die Fähigkeit des visuellen Systems, diese Lichtverteilung in bestimmte Muster zu strukturieren und zwischen einzelnen Elementen im visuellen Feld zu unterscheiden, lässt sich auf dieser Grundlage aber noch nicht erklären. Dafür ist der psychologische Teil der visuellen Wahrnehmung zuständig.

2.3.1.2 Psychologische Grundlagen visueller Wahrnehmung

Wie schon in vorhergehenden Abschnitten erwähnt, gibt es neben der objektiven Sinnesphysiologie auch einen wahrnehmungspsychologischen Vorgang des Sehens (siehe Bild 2.3). Dieser kann in zwei Teilprozesse aufgeteilt werden, nämlich in die vorbewusste Empfindung eines Sinneseindruckes ohne Wertung, Erfahrungen und Erkennung, und in die bewusste Empfindung mit Wertung, Erfahrungen und Erkennung durch weitergehende Deutungen, also der eigentlichen psychologischen Wahrnehmung.

Empfindung ohne Wertung, Erfahrungen und Erkennung: Die psychologische Registrierung eines einfachen Sinnesreizes induziert einen Sinneseindruck. Der Sinneseindruck wird als eine sogenannte Empfindung aufgenommen, welche für jedes Element oder Objekt aus der Umgebung gilt und für die weitere Verknüpfung zur Verfügung steht.

Empfindung mit Wertung, Erfahrungen und weitgehenden Deutungen: Erfährt die Empfindung dagegen eine weitergehende Wertung oder Verknüpfung mit der Erfahrung, entsteht aus der Empfindung die vollständige Wahrnehmung. Die Wahrnehmung beruht somit auf Empfindungen, sie wird aber durch Erfahrungen modifiziert. Das menschliche

Bewusstsein nimmt also nach der Empfindung unmittelbar eine Deutung des Geschehens vor, die in Erfahrenes und Erlerntes geordnet wird. Wobei dies der Übergang zur visuell-kognitiven Informationsverarbeitung ist.

Nach MARR [1982] und ANDERSON [2007] kann der letztere Informationswahrnehmungsprozess weiter in eine frühe Wahrnehmungsphase, in der eine Extraktion von Objekten aus der Umgebung stattfindet, und in eine nachgeschaltete späte Wahrnehmungsphase unterteilt werden, in der die endgültige Erkennung der Objekte geschieht.

In der frühen Phase extrahiert das visuelle System zuerst die Orientierung von Linien, die Farbe und dessen Bewegung. Dabei zerlegt das visuelle System den Reiz in viele unabhängige Merkmale und repräsentiert deren Anordnung in sogenannten Merkmalskarten. Dieser Prozess ist in neueren wissenschaftlichen Arbeiten als Merkmalsextraktion von Primärskizzen bekannt. In der späten Wahrnehmungsphase verarbeitet die visuelle Wahrnehmung zuerst die Information des Objektes über dessen Lage im Raum, indem Hinweisreize der Raum-/Tiefenwahrnehmung wie Texturgradient, Stereopsis und Bewegungsparallaxe verwendet werden. Die dreidimensionale Welt wird erst danach durch die Verarbeitung der Information auffallender Gestaltprinzipien erreicht. Dabei ordnet die visuelle Wahrnehmung die Objekte zu Einheiten zusammen, sodass eine Objektwahrnehmung stattfindet. Die Verknüpfung der Objektmerkmale durch die sogenannte Mustererkennung und das Miteinbeziehen der allgemeinen Kontextinformationen realisiert letztendlich die endgültige Objekterkennung. Der Input für die höheren kognitiven Verarbeitungsprozesse des zentralen Nervensystems steht bereit [ANDERSON07], [RÖSLER11], [SCHÖNHAMMER13].

Im Folgenden werden Teileigenschaften der Hauptbegriffe des psychologischen Wahrnehmungsvorgangs erläutert, die für die Interpretation der Untersuchungsergebnisse relevant sind. An dieser Stelle soll darauf hingewiesen werden, dass für die ausführliche Beschreibung der psychologischen Wahrnehmungsinhalte auf die angegebenen Literaturhinweise verwiesen wird.

Merkmalsextraktion bei der Form-, Farb- und Bewegungswahrnehmung: Die Merkmalsextraktion einer Form beginnt mit der Form-Hintergrund-Unterscheidung. Dabei wird zunächst festgelegt, welche Elemente zur Gestalt gehören und welche dem Hintergrund zuzuordnen sind. Die Form-Hintergrund-Unterscheidung bezieht auch die Zuordnung von Grenzlinien zwischen zwei Flächen mit ein, da sich Formen vor allem durch ihre Umgrenzungen definieren. Formen werden als geschlossene Konturen wahrgenommen, die eine

Fläche gänzlich umfassen und als Grundelemente visueller Wahrnehmungsleistung zählen. Formwahrnehmung bedeutet also zunächst Konturwahrnehmung und bezeichnet das Beschreiben einer zusammengehörigen Form im visuellen Feld, die an der Konturstelle durch Helligkeit- oder Dunkelheitssprünge bestimmt wird [ANDERSON07].

Punkte und Linien sind Elemente. Formen dagegen sind Zusammensetzungen aus Elementen. WERNER [1935] ist mit seinen Experimenten zu dem Schluss gekommen, dass jede wahrgenommene Kontur bzw. Form das Ergebnis eines Konstruktionsprozesses sei. Ebenso beschreibt ROCK [1985] die Formwahrnehmung im Wesentlichen als einen datengesteuerten Prozess. Das bedeutet, dass aus einzelnen Elementen größere Einheiten wie Kanten, Grenzlinien und Regionen konstruiert bzw. extrahiert werden.

Weiter werden bei den neu gebildeten größeren Einheiten die inneren Geometrien festgehalten. Es werden Informationen über räumliche Beziehungen, parallele versus konvergierende Kanten oder symmetrische Strukturen entnommen, die gemäß den Gestaltprinzipien verlaufen. Bei diesem zweiten Teil der Formwahrnehmung wird zwischen idealtypischen Attributen wie Symmetrie, Gradlinigkeit, Parallelitäten oder Geschlossenheit und den tatsächlichen Attributen verglichen. Diese Beschreibung enthält auch Informationen über die relative Orientierung der Form im umgebenden Raum [ROCK85].

Die Farbwahrnehmung ist eine der bedeutendsten Fähigkeiten unseres visuellen Systems. Im Normalfall besteht die Fähigkeit einer Unterscheidung verschiedener Farbtöne in einer fast unermesslichen Vielfalt von Abstufungen. Wobei die Farben, die aus unserer visuellen Umwelt entnommen und wahrgenommen werden, abhängig von den physiologischen Eigenschaften des visuellen Systems sind.

Die Bewegungswahrnehmung charakterisiert die eigentliche Wahrnehmung unter natürlichen Umgebungsbedingungen. Dabei lassen sich grundsätzlich zwei Arten von Bewegung unterscheiden:

- Der Beobachter ist stationär, das Wahrnehmungsobjekt bewegt sich.
- Das Wahrnehmungsobjekt ist stationär, der Beobachter bewegt sich.

In der Regel scheint die Realisierung zwischen der eigenen Bewegung und der Bewegung eines Objektes in der Umgebung einfach zu sein. Diese vom visuellen System geleistete Unterscheidungsleistung ist aber nicht ohne weiteres trivial. Denn die Verschiebung des Netzhautbildes als Folge der Bewegung des Objektes ist weder eine notwendige noch eine hinreichende Bedingung für einen Bewegungseindruck. Wenn bspw. ein Vogel im Gesichtsfeld vorbeifliegt, verschiebt sich dessen Abbildung auf der

Netzhaut und wird in Bewegung wahrgenommen. Wenn der Vogel fixiert wird, bleibt die Projektion auf der Netzhaut unverändert, aber der Vogel wird trotzdem in Bewegung wahrgenommen. GREGORY [1966] beschreibt deshalb zwei unterschiedliche Systeme, die an der Bewegungswahrnehmung beteiligt sind:

- Das „Bild-Retina-System“ ist aktiv, wenn sich das Bild auf der Retina verschiebt.
- Das „Auge-Kopf-System“ ist aktiv, wenn die Augen ein Objekt verfolgen.

Das Zusammenspiel beider Systeme basiert auf Automatismen und geschieht im Unterbewussten. Bei einem stationären Beobachter kann die Bewegung eines Objektes transversal oder radial sein. Bei der transversalen Bewegung verändert das Objekt seine Position in einem festen Abstand parallel zum Beobachter. Bei der radialen Bewegung bewegt sich das Objekt auf den Beobachter zu. Beide Bewegungszustände stellen eine teilweise Verdeckung und Wiederaufdeckung des Hintergrundes oder anderer Objekte dar. Ein stetiger Wechsel zwischen diesen beiden Zuständen gibt die Bewegungsrichtung an. Bei Objekten, die sich auf den Beobachter zubewegen und eine mögliche Kollision verursachen würden, tritt außerdem die Vergrößerung des Seh winkels auf. Bei Überschreitung des Seh winkels von mehr als 30° bis 40° verhält sich der Beobachter so, als würde eine Kollision unmittelbar bevorstehen und ein unwillkürliches Ausweichen wird eingeleitet [KEBECK97].

Raum-/Tiefenwahrnehmung (Größenwahrnehmung): Das Netzhautbild, welches die visuellen Informationen unserer Umwelt enthält, ist eine zweidimensionale bzw. flächige Projektion. Unsere Umwelt ist aber dreidimensional. Für das Erleben dieser Dreidimensionalität sind die Wahrnehmung von Räumlichkeit und die Fähigkeit zur Einschätzung von Entfernungen zuständig. Ein Beobachter ist in der Lage, Räumlichkeit sogar dort wahrzunehmen, wo sie objektiv gar nicht existiert bspw. auf Abbildungen oder Fotografien. Das visuelle System verwendet dabei Hinweisreize unterschiedlicher Art, die die Wahrnehmung von Räumlichkeit charakterisieren. Merkmale des visuellen Reizes selbst, optische Eigenschaften des Auges, physiologische Mechanismen oder kognitive Faktoren können zur räumlichen Wahrnehmung verhelfen. Die Entfernung und die räumliche Position lassen sich bspw. über die Objektgröße einschätzen. Ein ab- und vergleichender Prozess zwischen einer bekannten Größe und dessen abgebildeten Größe auf der Netzhaut verhilft bei der Einschätzung der Entfernung und der räumlichen Position. Aber auch durch das Größenverhältnis von mehreren Objekten lassen sich ziemlich detaillierte Informationen über die räumliche Anordnung und die Entfernung gewinnen. Allerdings kann

die relative Größe als alleiniger Hinweis leicht zu Täuschungen führen, wenn die anhand der Erfahrung vermutete Größe nicht der tatsächlichen Größe des Gegenstandes entspricht [GOLDSTEIN11].

Wie die Größe eines Gegenstandes sind die Position im Gesichtsfeld und die Überlagerung von Objekten ähnliche Hinweisreize. Die vertikale Position eines Gegenstandes im Gesichtsfeld und dementsprechend auf dem Netzhautbild verhilft zur Einschätzung der Entfernung zum Betrachter. Dabei wird der Horizont als Bezugspunkt genommen. Wird ein Objekt im visuellen Feld teilweise durch ein anderes überlagert oder verdeckt, so wird es als hinter diesem Objekt liegend wahrgenommen. Die Überlagerung einer Fläche und eines Gegenstandes im Gesichtsfeld gibt also Aufschluss über ihre Position relativ zum Betrachter. Hinweise auf räumliche Positionen und Orientierungen geben auch die Helligkeitsverteilung und die im Gesichtsfeld auftretenden Schatten. Dreidimensionale Objekte weisen auf ihrer Oberfläche eine bestimmte Verteilung von Licht und Schatten auf, die von der jeweiligen Position der Lichtquelle abhängt. Vertiefungen, Erhöhungen und andere Oberflächenmerkmale sind darüber hinaus jeweils durch eine bestimmte Schattenform gekennzeichnet. Die Andeutung von Schatten wird bspw. oft bei einfachen Strichzeichnungen benutzt, um dreidimensionale Gegenstände darzustellen [KEBECK97]. Parallele Strukturen oder Linien, die einen Hinweis über Tiefe und Räumlichkeit geben, scheinen in einem Fluchtpunkt zu konvergieren, der sich auf der Höhe des Horizonts befindet. Diese Gesetzmäßigkeit der Tiefenwahrnehmung wird als Linearperspektive bezeichnet. In der bildenden Kunst stellt die Linearperspektive eine wichtige Technik für die Darstellung von Räumlichkeit dar. Bei der Betrachtung einer regelmäßig strukturierten Oberfläche, die eine räumliche Ausdehnung in der Blickrichtung aufweist, wirken Linearperspektive und relative Größe der Elemente als Tiefenindikatoren zusammen. Parallele Strukturen konvergieren, während gleichzeitig die einzelnen Elemente der Struktur mit zunehmender Entfernung immer kleiner und dichter zusammenliegend erscheinen [KEBECK97]. GIBSON [1950] hat diesen Hinweis als den Texturgradienten einer Oberfläche beschrieben. Der Texturgradient erlaubt es, die Ausdehnung von Flächen einzuschätzen und horizontale von vertikalen Flächen zu unterscheiden. Da sich Texturgradient und lineare Konvergenz kontinuierlich verändern, erlauben sie nicht nur die Unterscheidung von vorne und hinten, sondern relativ unabhängig von Erfahrungen ebenso die Erfassung räumlicher Ausdehnungen.

Alle bisher behandelten Hinweisreize erfüllen ihre Funktion bei statischen Positionen des Betrachters und der visuellen Reize. Weitere Informationen über räumliche Verhältnisse sind verfügbar, wenn man sich in seiner Umwelt bewegt.

Die Eigenbewegung relativ zu einem feststehenden Gegenstand führt dazu, dass sich das Netzhautbild des Gegenstandes kontinuierlich verschiebt. Da die Größe des Netzhautbildes von der Entfernung zum Gegenstand abhängig ist, lässt diese Verschiebung Rückschlüsse auf räumliche Relationen und Entfernungen zu. Bei geringer Entfernung wird die Projektion eines Objektes auf der Netzhaut schneller bzw. stärker verschoben als bei größeren Entfernungen. Dieser Hinweisreiz, der aus der Veränderung des Netzhautbildes resultiert, wird als Bewegungsparallaxe bezeichnet. Die Verschiebung führt außerdem zu Bewegungswahrnehmungen, die von der Entfernung der Objekte abhängig sind. Gegenstände, die dem Betrachter näher als sein Fixationspunkt im visuellen Feld sind, scheinen sich mit hoher Geschwindigkeit entgegen der eigenen Bewegungsrichtung zu bewegen, während Objekte in größerer Entfernung in Wirklichkeit sich nur sehr langsam und in derselben Richtung wie der Betrachter bewegen [SCHMIDT & SCHAIBLE06], [MUTSCHLER ET AL.07].

Obwohl bisher die verschiedenen Hinweisreize separat behandelt wurden, sind in der Regel die meisten oder alle von ihnen gleichzeitig verfügbar. Unsere normale Raumwahrnehmung basiert damit offensichtlich auf einer Interaktion unterschiedlicher Informationen. Dabei scheint es für eine konsistente Tiefen- und Entfernungswahrnehmung wichtig zu sein, dass die einzelnen Hinweise selbst konsistent miteinander sind. In Laborversuchen konnte schon gezeigt werden, dass in solchen Situationen bestimmte Informationsquellen andere dominieren [SCHRIEVER25]. Die Ergebnisse aus anderen Arbeiten zeigen, dass die Genauigkeit der Entfernungsschätzung von der Anzahl der verfügbaren Hinweise abhängt und sich die Beiträge der einzelnen Informationsquellen hier offenbar additiv ergänzen. Die Sensibilität für Distanzunterschiede im visuellen Feld lässt sich also als Summe der von den einzelnen Hinweisen ermöglichten Sensibilitäten verstehen. Je mehr Informationen verfügbar sind, desto präziser funktioniert die räumliche Wahrnehmung [JAMESON & HURVICH59], [VAN DER MEER79].

Objektwahrnehmung: Wenn die Mustererkennung und die Raumwahrnehmung durchlaufen wird und die wahrgenommene Form näher als der Hintergrund erscheint, wird ein integriertes zusammenhängendes Objekt wahrgenommen. Diese Objekt-Hintergrund-Unterscheidung ist eine der grundlegendsten Leistungen des visuellen Wahrnehmungssystems und Voraussetzung für sichere und schnelle Orientierung. Das exakte Wahr-

nehmen von Elementen, Formen und dessen Zugehörigkeit zu einem Objekt, aber auch einzelner Objekte inmitten mehrerer Objekte, werden von zusätzlichen psychologischen Wahrnehmungsvorgängen, die zu Gestaltprinzipien zusammengefasst sind, unterstützt [WERTHEIMER23], [KOFFKA35], [KÖHLER62].

Tab. 2.2 listet die Gestalteigenschaften auf, die die menschliche Wahrnehmung beim Wahrnehmen eines Objektes als Hilfsmittel einsetzt. Für eine ausführlichere Erläuterung der Gesetze sei an dieser Stelle erneut auf die folgende Literatur von KEBECK [1997], GUSKI [2000] und GOLDSTEIN [2011] hingewiesen.

• Prinzip der Nähe.	• Prinzip der Gleichheit / Ähnlichkeit / Gruppierung.
• Prinzip der Prägnanz.	• Prinzip des guten Verlaufes / der Geschlossenheit.
• Prinzip des gemeinsamen Schicksals.	• Prinzip der zeitlichen Synchronisation.
• Prinzip der gemeinsamen Region.	• Prinzip der Verbundenheit von Elementen.
• Prinzip der Vertrautheit / Bedeutung.	

Tab. 2.2: Gestaltprinzipien

Die Unterscheidung von Objekten und Hintergrund alleinig anhand von Konturen oder Gestalteigenschaften ist nicht der einzige Aspekt der Objektwahrnehmung. Das wahrzunehmende Objekt kann oft auch Abweichungen beinhalten, siehe einzelne Buchstaben bei handgeschriebenen Wörtern, die trotzdem richtig wahrnehmbar und erkennbar sind. Zum Wahrnehmen eines Objektes muss dieses also nicht notwendigerweise in eine entsprechend genaue Vorlage vollständig hineinpassen. Es ist vielmehr das Ergebnis eines aktiven, anpassbaren, aber von der Vorlage mitgesteuerten Verarbeitungsprozesses.

Mustererkennung und Kontextinformation: Nachdem Objekte aus der Umgebung durch die visuelle Objektwahrnehmung in einzelne Objekte zergliedert werden können, ist nun die Aufgabe der Mustererkennung diese Objekte zu identifizieren. Die Mustererkennung bzw. Objektidentifizierung kann in zwei Arten von Ansätzen unterscheiden werden: in einen datengesteuerten und einen konzeptgesteuerten Erkennungsprozess.

Die Mustererkennung bei dem datengesteuerten Ansatz beruht auf einer Merkmalsanalyse des visuellen Reizes. Jeder Reiz wird als Kombination elementarer Merkmale angesehen. D. h. es werden erst vorhandene Elemente einzeln erfasst (Merkmale), um in einem zweiten Schritt diese wieder zusammenzuführen (Kombination) und das bestimmte Objekt vollständig zu identifizieren [GOLDSTEIN11].

Beispielsweise kann der Großbuchstabe A als Kombination aus zwei um jeweils 30° geneigten Strichen (/ und \) und einem waagerechten Strich (–) aufgefasst werden. Genauso wie bei der Buchstabenerkennung besteht ein ähnlicher Prozess beim Erkennen eines Objektes. Der Ansatz von MARR [1982] und BIEDERMAN [1987] besagt, dass ein Objekt durch die Zerlegung in einfache volumetrische zylindrische Merkmale, sogenannten Geons, erkannt und als bekannte Konfiguration einfacher Teilobjekte verstanden wird. Allerdings kritisieren einige Forscher diese Theorie. Es wird die Möglichkeit beschrieben, die Unterscheidung zwischen Klassen von Objekten zu erreichen. Diese Aufteilung liefert aber nicht immer genug Informationen für die Unterscheidung zwischen verschiedenen Objekten mit denselben grundlegenden Merkmalen, wie bspw. zwischen Pferden und Zebras. Es ist wahrscheinlich, dass volumetrische Merkmale wichtig für das Wahrnehmen von Objekten sind, jedoch auch viele andere Merkmale beteiligt sind, wie Farbe, Textur, Bewegung und räumliche Tiefe.

Die Mustererkennung bei dem konzeptgesteuerten Ansatz besteht demgegenüber aus dem Abgleichen eines visuellen Reizes mit bereits vorhandenen Datenmustern aus dem Gedächtnis mit bereits vorhandenen Datenmustern, dem sogenannten Schablonenabgleich [ANDERSON07] oder Modell der kanonischen Ansichten [GOLDSTEIN11]. Diese Datenmuster resultieren aus früheren Wahrnehmungen und stellen Schablonen für die bestimmte Muster- bzw. Objekterkennung dar. Auch dieser Ansatz der Mustererkennung setzt eine systematische Vergleichsanalyse von Teilelementen voraus. Wobei die weitere Verarbeitung der Muster- bzw. Objektinformation von den aktivierten Gedächtnisinhalten (Konzepten) und nicht mehr von den Daten selbst abhängig ist.

Zusätzlich dazu ist die Wahrnehmung eines Objektes durch den jeweiligen Kontext, in dem es auftritt, bestimmt. D. h. dass die Mustererkennung schneller erreicht wird, wenn sich das Objekt in seiner natürlichen Umgebung befindet. Offensichtlich führt dies zu einer Aktivierung eines bestimmten Bezugsrahmens, welches die schnellere und eindeutigere Identifikation eines Objektes ermöglicht [ANDERSON07].

Die datengesteuerten und konzeptgesteuerten Ansätze stellen keine Alternativen oder auch keine konkurrierenden Modelle der Mustererkennung dar. Möglicherweise beinhaltet der tatsächliche Wahrnehmungsprozess für die Objekterkennung sowohl den einen als auch den anderen Ansatz. Dabei laufen daten- und konzeptgesteuerte Verarbeitung keineswegs nur als zwei aufeinanderfolgende Schritte, sondern simultan und parallel ab.

Dieser Abschnitt hat den visuellen Wahrnehmungsprozess dargelegt und verdeutlicht, dass eine umfassende Informationsverarbeitung notwendig ist, bevor die Objekte wahrgenommen, erkannt bzw. dem Bewusstsein zugänglich gemacht werden [KEBECK97], [GUSKI00], [SOLSO05], [GOLDSTEIN11].

2.3.2 Visuell-kognitive Informationsverarbeitung

Wie zuvor erwähnt, kann der letzte Prozessschritt der psychologischen Wahrnehmung, nämlich die Empfindung eines Reizes mit darauffolgender Wertung, Verknüpfung mit Erfahrungen und weitgehenden Deutungen, als Übergang zur begrifflichen Definition visuell-kognitiver Informationsverarbeitung gesehen werden. In diesem Abschnitt ist damit die Weiterleitung der visuellen Information an höhere verarbeitende Zentren und Ebenen des Gehirns gemeint.

Unter kognitiver Informationsverarbeitung bzw. Kognition werden die geistigen Prozesse im Zusammenhang mit der nachgestellten Interpretation (Verstehen, Denken, Wissen, Erinnern) über die Entscheidung bis hin zum Verhalten (Kommunizieren) verstanden. Der Begriff Kognition stammt vom lateinischen Wort „cognoscere“, übersetzt bedeutet das „erkennen“, „erfahren“ oder „kennenlernen“ [RÖSLER11]. Der amerikanische Psychologe Ulric NEISSER [1976] gilt als Begründer dieser Begrifflichkeit. Die kognitive Informationsverarbeitung beginnt mit der Darbietung eines Reizes, dessen Transformation in Inhalte, die der Wahrnehmende mit Erfahrungen verknüpft, und dessen zeitlichen Speicherung. Er ist der Auffassung, dass sich menschliches Verhalten nicht nur aus den Umweltgegebenheiten, also den einwirkenden Reizen erklären lässt. Die Menschen besitzen ein Gedächtnis und dessen Verhalten unterliegt dem Einfluss gespeicherter Informationen. Zusätzlich gelangen Menschen je nach ausgestatteter Veranlagung während ihrer persönlichen Entwicklung an unterschiedliche Erfahrungen. Dies führt dazu, dass ein und dieselbe objektiv exakt definierbare Reizsituation bei verschiedenen Menschen, aber auch bei einem Menschen zu unterschiedlichen Zeitpunkten, ganz unterschiedliche Verhaltensweisen auslösen kann. Aus diesem Grund äußerte NEISSER zum einen die Aussage, dass wir selbst entscheiden, wohin wir sehen und was wir tun und dass die Art und Weise, wie Informationen verarbeitet werden, personenabhängig ist. Was wahrgenommen wird, hängt also von der Geschicklichkeit und der Erfahrung des Wahrnehmenden ab und davon, was er vorher weiß. Dies bedeutet, dass Wahrnehmung in der Zeit geschieht. Sie beginnt nicht jeweils beim Zeitpunkt Null, der Registrierung eines Reizes, sondern hängt von vorhergegangenen und schon existierenden individuellen

Strukturen ab. NEISSER bezeichnet diese Strukturen als Schemata. Schemata bereiten den Wahrnehmenden darauf vor, bestimmte Informationen eher aufzunehmen als andere. Sie stellen Hypothesen bereit, wonach zu suchen ist und werden durch jede neue Erfahrung ergänzt oder überprüft. Die Wahrnehmung bleibt somit bestmöglich an die Verhältnisse der Umwelt angepasst. Schemata sind Strukturen des Gedächtnisses, in denen veränderliches Wissen über die Umwelt gespeichert ist. Neben Wissens-elementen und Erwartungen enthalten Schemata auch Handlungsprogramme, die die Aktivitäten des Wahrnehmenden lenken. Von den aktivierten Schemata und den verfügbaren Informationen hängen also die Wahrnehmung und die kognitive Informationsverarbeitung einer bestimmten Situation ab [NEISSER76].

2.3.2.1 Leistung des visuell-kognitiven Wahrnehmungssystems

Der Mensch kann ausgehend vom Wahrnehmungssystem eine bestimmte Menge an Informationen aus der Umgebung aufnehmen und nur einen geringen Anteil wiederum tatsächlich kognitiv verarbeiten. D. h. die herrschende und eingehende Informationsflut wird für die kognitive Phase stark reduziert, weil diese einer Datenanalyse unterzogen und auf Relevanz hinsichtlich des aktuellen Bedürfnisses bewertet wird.

Das visuelle System kann mit der höchsten Wahrnehmungskapazität von 10^7 bit/s und einem Informationsanteil von ca. 90 % die meisten Informationen liefern, die aber im nächsten Schritt auf die kognitive Verarbeitungskapazität von 10^2 bit/s verringert werden [KUNSCH & KUNSCH07]. Ein hoher Anteil der aufgenommenen Informationen wird somit für die bewusste Verarbeitung gefiltert. Dieser Filterungsprozess erfolgt durch die sogenannte Aufmerksamkeit, die nur die relevanten Informationen in den Fokus stellt. Die restlichen Informationen gelangen nicht in das Bewusstsein, werden aber für unbewusste Handlungen und zum Teil auch bewusste Reaktionen verwendet. Andere Begrifflichkeiten wie Vigilanz und geteilte Aufmerksamkeit, die oft mit der Aufmerksamkeit in Verbindung gebracht werden, sind aufgrund ihrer unterschiedlichen Bedeutungen voneinander abzugrenzen, werden aber im Folgenden nicht weiter erläutert.

2.3.2.2 Visuelle Aufmerksamkeit und visuelles Suchverhalten

Der Begriff Aufmerksamkeit beschreibt die Auswahl von relevanten Informationen aus einer Menge von Informationen mit dem Ziel, diese dem Bewusstsein weiterzuleiten. Bei der visuellen Aufmerksamkeit wird oft von einer Selektion bzw. selektiven Aufmerksamkeit gesprochen. Eine Art Lichtkegel wird vom Wahrnehmenden in der Umgebung hin und her bewegt und auf relevante Informationen gerichtet. Die Reize in diesem Lichtkegel

werden besonders schnell und gründlich verarbeitet. Dem Lichtkegel angrenzende Reize werden langsamer und weniger intensiv wahrgenommen, können jedoch zur Aufmerksamkeitsverschiebung dienen.

Die Aufmerksamkeit des Menschen kann von unterschiedlichen Reizen erregt werden. Einer der stärksten Reize ist die Bewegung. Dieser Reiz ist stärker als Farbe, Intensität oder Ausrichtung, da die Erkennung einer Bewegung in einer Umgebung, in der auf dynamische Reize schnell reagiert werden muss, biologisch und evolutionär am relevantesten ist [WOLFE & HOROWITZ04], [ITTI05].

Die visuelle Suche beschreibt u. a. die Unterscheidung eines gesuchten Objektes zwischen anderen Objekten (Distraktoren). Die Unterscheidung erfolgt besonders schnell, wenn nach einem Objekt gesucht wird, das zwischen Distraktoren hervorsteht. Die hervorstechende Eigenschaft eines Objektes wird auch als Pop-out-Eigenschaft durch einen sogenannten Bottom-up-Prozess bezeichnet [SPRENGER ET AL.02]. Dies ist ein schneller Verarbeitungsprozess, in dem die Objekte parallel verarbeitet werden. Dabei bleibt die Zeit, die wir zum Finden der gesuchten Objekte brauchen, unabhängig von der Anzahl an Objekten konstant [TREISMAN & GELADE80], [WOLFE ET AL.89]. Zu den hervorstechenden Eigenschaften zählen verschiedene Faktoren wie z. B. Form, Farbe, Helligkeit oder Ausrichtung des Objektes [MÜRI ET AL.09]. Objekte, die besonders hervorstechen, werden auch als salient bezeichnet. Sollen Formen gefunden werden, die einen geringen Unterschied zu den Distraktoren aufweisen, dauert es wesentlich länger, den Unterschied bzw. das Zielobjekt zu finden. Die Objekte werden strategisch nach den gesuchten Eigenschaften durch Top-down-Prozesse untersucht. Bei der Top-down-Suche folgt die Aufmerksamkeitssteuerung den Überlegungen des Suchenden (endogen) und nicht denen von hervorstechenden Eigenschaften (exogen). Dabei erfolgt die Verarbeitung nur seriell und die Zeit, die zum Suchen benötigt wird, nimmt mit der Anzahl der zu findenden Objekte zu [SPRENGER ET AL.02].

Top-down-Prozesse greifen auf bereits erlernte Muster zurück. Diese werden von höheren Gehirnbereichen kontrolliert. Bottom-up-Prozesse sind Wahrnehmungsprozesse, bei denen kein Vorwissen besteht und bei denen deshalb die Informationen neuartig sind. Beide Prozesse unterstützen sich meist gegenseitig, indem sie gleichzeitig ablaufen [ITTI & KOCH01].

Bei der Frage, welches Objekt zuerst die Aufmerksamkeit zugesprochen bekommt, ist die Theorie der Aufmerksamkeitsprioritätenkarten repräsentativ. Das Gehirn arbeitet mit zweidimensionalen topographischen Aufmerksamkeitsprioritätenkarten, in welchen alle

Objekte einer Szene miteinander konkurrieren, um letztlich nach dem „Der-Gewinner-bekommt-alles-Prinzip“ das salienteste Objekt auszuwählen [FECTEAU & MUNOZ06]. Je auffälliger ein Objekt in der Szene ist, umso größer ist auch seine Repräsentation in der Karte. Einige Vorstudien bestätigen zudem, dass vor allem Regionen mit einem hohen Kontrast [REINAGEL & ZADOR99] die Aufmerksamkeit und Fokussierung auf sich ziehen, aber auch Bereiche mit Ecken [BARTH99] meist fixiert werden. Im Gegensatz dazu haben Bewegungen und zeitliche Veränderungen, wie schon oben im Text erwähnt, einen noch stärkeren Einfluss auf die Aufmerksamkeitsverschiebung [WOLFE ET AL.89].

2.3.2.3 Das kognitive System Gedächtnis

Das Verhalten der Aufmerksamkeit ist dem Gedächtnis und der gespeicherten Information zuzuschreiben. Das kognitive System besteht aus drei in Beziehung stehenden Gedächtnisarten: dem sensorischen Gedächtnis, dem Kurzzeitgedächtnis bzw. Arbeitsgedächtnis und dem Langzeitgedächtnis [ATKINSON & SHIFFRIN71], [TULVING00].

Das sensorische Gedächtnis, oft auch als ikonisches Gedächtnis bezeichnet, speichert die direkt von den Rezeptoren kommenden Signale nur für einige Millisekunden bis wenige Sekunden die Informationen ab. Dafür ist die Kapazität des sensorischen Gedächtnisses sehr groß. Die Kapazität umfasst praktisch alle Informationen, die ein Sinnesorgan überhaupt aufnimmt.

Das Kurzzeitgedächtnis bzw. Arbeitsgedächtnis weist hinsichtlich der speicherbaren Informationsmenge und der Abklingzeit eine begrenzte Kapazität auf. Laut Literatur ist eine exakte Zahl für die Speicherleistung schwer einzuschätzen. Die Speicherung hält etwa 20 Sekunden an und es wird oft eine Spanne zwischen 7 ± 2 Informationseinheiten, sogenannten chunks, angegeben. Zudem zählt das Merkmal, dass je mehr Einheiten im Kurzzeitgedächtnis aktiviert sind, desto schneller klingen diese ab [ANDERSON01]. Das Kurzzeitgedächtnis beinhaltet drei Systeme:

- Das räumlich-visuelle System zur kurzfristigen Speicherung von visuellen Eindrücken.
- Das phonologische System zur Speicherung von verbalen Informationen.
- Die zentrale Exekutive zur Verwaltung der beiden Systeme und Verknüpfung mit dem Langzeitgedächtnis.

Das Langzeitgedächtnis besitzt eine nahezu unbegrenzte Speicherdauer und Kapazität. Die vorab zu kognitiven Einheiten organisierten Informationen werden also langfristig gespeichert. Laut Literatur ist man der Auffassung, dass die gespeicherten Informationen

nie wieder gelöscht werden. Das herkömmliche Vergessen von Informationen wird vielmehr als mangelnde Zugriffsmöglichkeit interpretiert, die insbesondere durch Interferenzen, also Überschreibungen durch andere Informationen, verursacht wird. [RÖSLER11]

Das Langzeitgedächtnis weist drei Strukturen auf:

- Das episodische Gedächtnis speichert Ereignisse, Tatsachen und Erinnerungen des Lebens.
- Das semantische Gedächtnis enthält das Weltwissen und allgemeine Fakten.
- Das prozedurale Gedächtnis beinhaltet die Fertigkeiten, Erwartungen und Verhaltensweisen. Diese Inhalte tendieren ohne Einschaltung des Bewusstseins dazu, fast automatisch mit minimaler willkürlicher Kontrolle und Aufmerksamkeit abzulaufen.

Die Information wird entweder als Wiedererkennung oder als freie Erinnerung gespeichert. Es hat sich gezeigt, dass der Mensch recht gut in der Lage ist, etwas wiederzuerkennen, während das freie Erinnern vergleichsweise weniger effizient ist.

2.3.3 Visuell-motorische Informationseingabe

Nach dem Durchlaufen des Informationsverarbeitungsprozesses wird die Motorik aktiviert. Das Wort Motorik steht für Bewegung. Viele verschiedene funktionelle Einheiten des zentralen und peripheren Nervensystems sind an der Entstehung eines Bewegungsantriebs durch Motivation, Planung, Programmierung und Ausführung einer Bewegung beteiligt [MUTSCHLER ET AL.07].

Für die allgemeine Informationsausgabe wird auch der Begriff des Verhaltens verwendet. Dieses kann unterteilt werden in die meist verbal geäußerten Bezeichnungen und Bewertungen sowie in die Betätigungs- und Benutzungsbewegungen. Die geäußerten Bezeichnungen und Bewertungen sind abhängig von demo-, geo- und psychografischen Merkmalen des Menschen. Die Betätigung und Benutzung sind physische Bewegungen, die je nach Wahrnehmungsarten und Erkennungsinhalten von einem Menschen in einer bestimmten Haltung und in einer bestimmten Lage im Raum ausgeübt werden, um mittels bestimmter Gliedmaßen oder Körperteile, in einer bestimmten Kopplungsart und in einem bestimmten Ablauf mit ein oder mehreren Stellteilen zu interagieren [MAIER & SCHMID14].

Das visuell-motorische System ist ein komplexes Zusammenspiel zwischen visueller Reizwahrnehmung, dessen kognitiven Verarbeitung und der ausführenden Motorik, gelenkt von der Aufmerksamkeit und vom Interesse über die Muskeln, die die Bewegung

des Augapfels ermöglichen. Mit der visuell-motorischen Informationseingabe ist im Zusammenhang der vorliegenden Arbeit speziell die blickbasierte Mensch-Maschine-Interaktion (BBMMIA) gemeint. Sie ist ein relativ komplexes und stetig wachsendes Forschungsfeld, welches in zwei Forschungsfelder unterteilt werden kann:

- Blickbasierte AUI (Attentive User Interfaces).
- Blickbasierte Interaktion.

AUI sind Anwendungen, die das Konzept einer sich an die Situation adaptierenden Benutzerschnittstelle realisieren, indem die visuelle Aufmerksamkeit des Benutzers ausgewertet und dadurch auf dessen individuelle Bedürfnisse eingegangen wird. Diese Anwendungen werden auch „Attention Aware Systems“ (AAS) genannt [DIETERICH ET AL.93], [MAGLIO ET AL.00], [VERTEGAAL02], [VERTEGAAL03], [HYRSKYKARI ET AL.05] und zählen zum Forschungsbereich „Context Awareness“ [SCHMIDT02]. Eine Zusammenfassung von Forschungsarbeiten zu diesem Thema kann bei DREWES [2010] und POITSCHKE [2011] nachgelesen werden.

Die blickbasierte Interaktion mit technischen Systemen beschreibt die visuelle Eingabemöglichkeit des Menschen. Hierbei kann der Mensch (Benutzer) über seine Blick- und Augenbewegungen gewünschte Eingabebefehle ausführen und Betätigungsinformationen an ein technisches System (Empfänger), welches mit der entsprechenden Technik ausgestattet ist, weiterleiten. Die Integration der Blickinteraktion speziell im Bereich der Mensch-Computer-Interaktion erweitert somit die multimodale Informationsverarbeitung – neben der verbalen Spracheingabe und der kinästhetischen Eingabe über Stellteile – um die Komponente der visuellen Eingabemöglichkeit. Die Begrifflichkeit „visuell“ wird aber oft nicht eindeutig mit der Aktionsmodalität in Verbindung gebracht. Vergleichsweise zur Sprachsteuerung ist das Wort „verbal“, abgeleitet aus dem lateinischen Wort „verbum“, im Einsatz. Das Wort „verbum“ steht für „der Ausdruck“ oder „das Wort“. D. h. das Adjektiv definiert in diesem Fall die Eingabemöglichkeit. Für die Beschreibung der Blickinteraktion soll wie bei der Spracheingabe ein passendes Adjektiv benutzt werden. Deshalb wird an dieser Stelle das Wort „obtutal“ als Ableitung vom lateinischen Wort „obtutus“, übersetzt als „das Anschauen“ bzw. „der Blick“, für die visuelle Informations-eingabe vorgeschlagen [BARTELS12]. Diese Begrifflichkeit definiert eindeutig die Aktionsmodalität mittels Blick.

Bild 2.7 visualisiert die informatorische Interaktionsbeziehung zwischen einem technischen System und dem Menschen. Darin ist die obtutale Aktionsmodalität, welche für die Blickinteraktion steht, hervorgehoben.

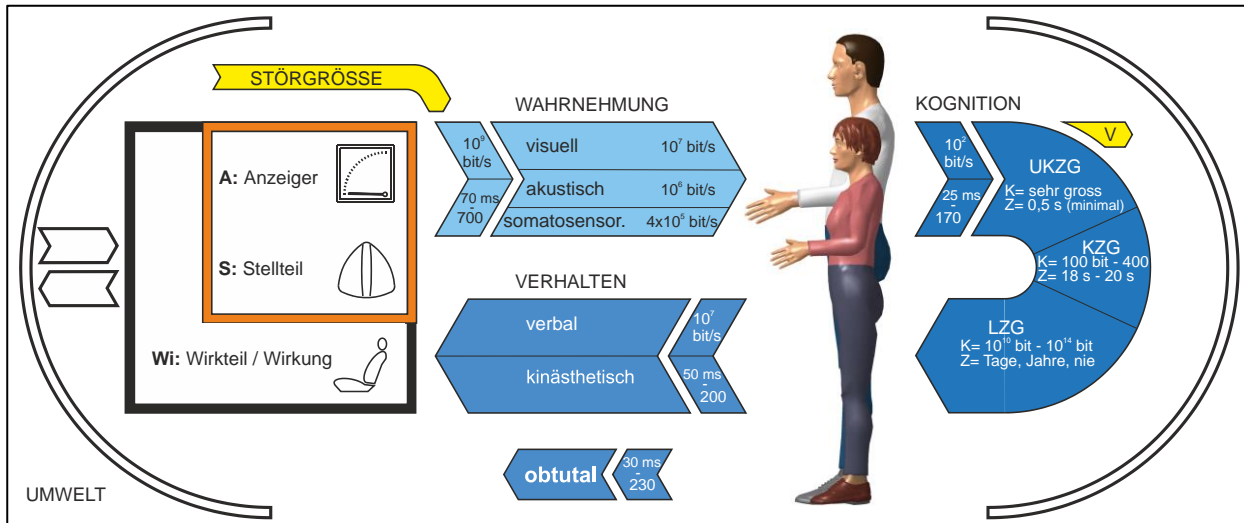


Bild 2.7: Informatorische Interaktionsbeziehung [BOTTA ET AL.12A]

3 Blickinteraktion – Stand der Technik und Forschung

In diesem Kapitel wird die geschichtliche Entwicklung aufgezeigt und ein technischer Überblick der Blickinteraktion gegeben. Die recherchierten Forschungsinhalte werden in Forschungsschwerpunkte aufgeteilt. Diese sollen den Umfang und die zeitliche Spanne der Blickinteraktion aufzeigen, sowie die Begründung der darauffolgenden Anforderungsanalyse und durchgeführten Untersuchungen zum Thema der visuellen Rückmeldung durch Größenkodierung veranschaulichen.

3.1 Historie und Technikstand der Blickinteraktion

Die technische Grundlage der Blickinteraktion wird vom Eye-Tracking-System (ETS) gebildet, welches primär zur Erfassung und Auswertung von Augen- bzw. Blickbewegungen dient. Die elektronisch-digitale Weiterverarbeitung der erfassten Blickbewegungsdaten in Echtzeit durch leistungsstarke Prozessoren ermöglicht letztendlich die Realisierung der Blickinteraktion. Eine kurze Aufzählung der geschichtlichen Chronik des ETS soll die Zeitspanne des andauernden Interesses am Forschungsbereich der Augen- und Blickbewegungen bzw. des visuellen Wahrnehmungskanals unterstreichen. Die Anwendung des ETS ist nämlich vielseitig und reicht von der allgemeinen Augen- und Blickbewegungserfassung, über die vermeintliche Erschließung von wahrnehmungsspezifischen und kognitiven Rückschlüssen des Menschen bezogen auf seine psychophysiologischen Einstellungen und Eigenschaften, bis hin zum hier betrachteten innovativen Interaktionsmedium.

Die Geschichte der Augen- und Blickbewegungserfassung ist auf das Jahr 1737 zurückzuführen und wird nachfolgend in sechs unterschiedlichen, aber für die Entwicklung des Eye-Trackers, relevanten Erfassungsmethoden dargelegt. Das Bild 3.1 veranschaulicht zusätzlich die angesprochenen Meilensteine.

PORTERFIELD [1737] und WELLS [1792] schrieben in ihren Arbeiten anhand von einfachen Experimenten nur qualitative Beschreibungen von Augenbewegungen nieder.

Dahingegen führten JAVAL [1879], AHRENS [1891], DELABARRE [1898] und HUEY [1898] durch hoch-invasiv mechanische Aufbauten erste quantitative Messungen der Augenbewegungen durch.

DODGE & CLINE [1901] folgten mit der ersten fotografischen Methode zur Registrierung von Augenbewegungen, indem die unterschiedlichen Lichtreflexionen der Augen betrachtet wurden.

Die ersten Aufnahmen der Augenbewegungen mittels der zu dieser Zeit entwickelten Filmkamera entstammen von JUDD ET AL. [1905]. Mit dieser Methode wurden erste Lesezeitexperimente [MILES & SHEN25] und Usability-Studien [FIT47] durchgeführt. Das Verfahren der fotografischen Aufzeichnung zeichnet sich somit als Vorreiter der modernen Systeme aus, die aus Lichtreflexionen auf der Hornhaut und der Linse die Orientierung des Auges ermitteln.

Zwischendurch setzten SCHOTT [1922] und JUNG [1939] das Verfahren der Elektrokulographie ein. Dabei nehmen Elektroden, die unterhalb der Augen angebracht werden, auftretende Spannungsdifferenzen auf und berechnen daraus die erfolgten Augenbewegungen.

ROBINSON [1963] präsentierte die „Search-Coil-Methode“, die erneut ein hoch-invasives Verfahren der Augen- und Blickbewegungserfassung darstellt, indem Kontaktlinsen mit integrierten elektromagnetischen Spulen eingesetzt werden und ebenso Spannungsdifferenzen ausgewertet werden können.

MERCHANT ET AL. [1974] stellte die Videokulographie vor, die als nicht-invasive, videobasierte Registrierung der Augen- und Blickbewegungen zur aktuell am häufigsten eingesetzten Methode zählt.

Die zuletzt angesprochene Methode hat durch den technologischen Fortschritt seitdem viele Entwicklungsschleifen durchlaufen. Damit sei der Einsatz verbesserter Komponenten oder auch die Auswertung der Pupillenerkennung und dessen Orientierung durch den Farbkontrast bis hin zur Auswertung mit Hilfe eines reflektierenden Infrarotstrahls gemeint. In Anbetracht der Vor- und Nachteile einzelner Videokulographie-Methoden und -Systeme ist eine robuste Realisierung der Blickinteraktion durch die Methode des reflektierenden Infrarotlichtes, die am vielversprechendsten und die am häufigsten eingesetzte Methode.

Auf eine detaillierte Erläuterung der Vor- und Nachteile einzelner Erfassungsmethoden wird an dieser Stelle auf folgende Literatur von JACOB & KARN [2003], WADE ET AL. [2003], SCHNEIDER & EGGERT [2007] und DUCHOWSKI [2007] verwiesen.

Die Ära der Blickinteraktion beginnt in den frühen 1980er Jahren. Sie kann mit der Entwicklung von leistungsfähigeren Mikroprozessoren, die eine höhere Rechenleistung von Computern erzielen, in Verbindung gebracht werden. Eine hohe Rechenleistung ist eine Voraussetzung für die Realisierung der blickbasierten Interaktion, indem die Verarbeitung

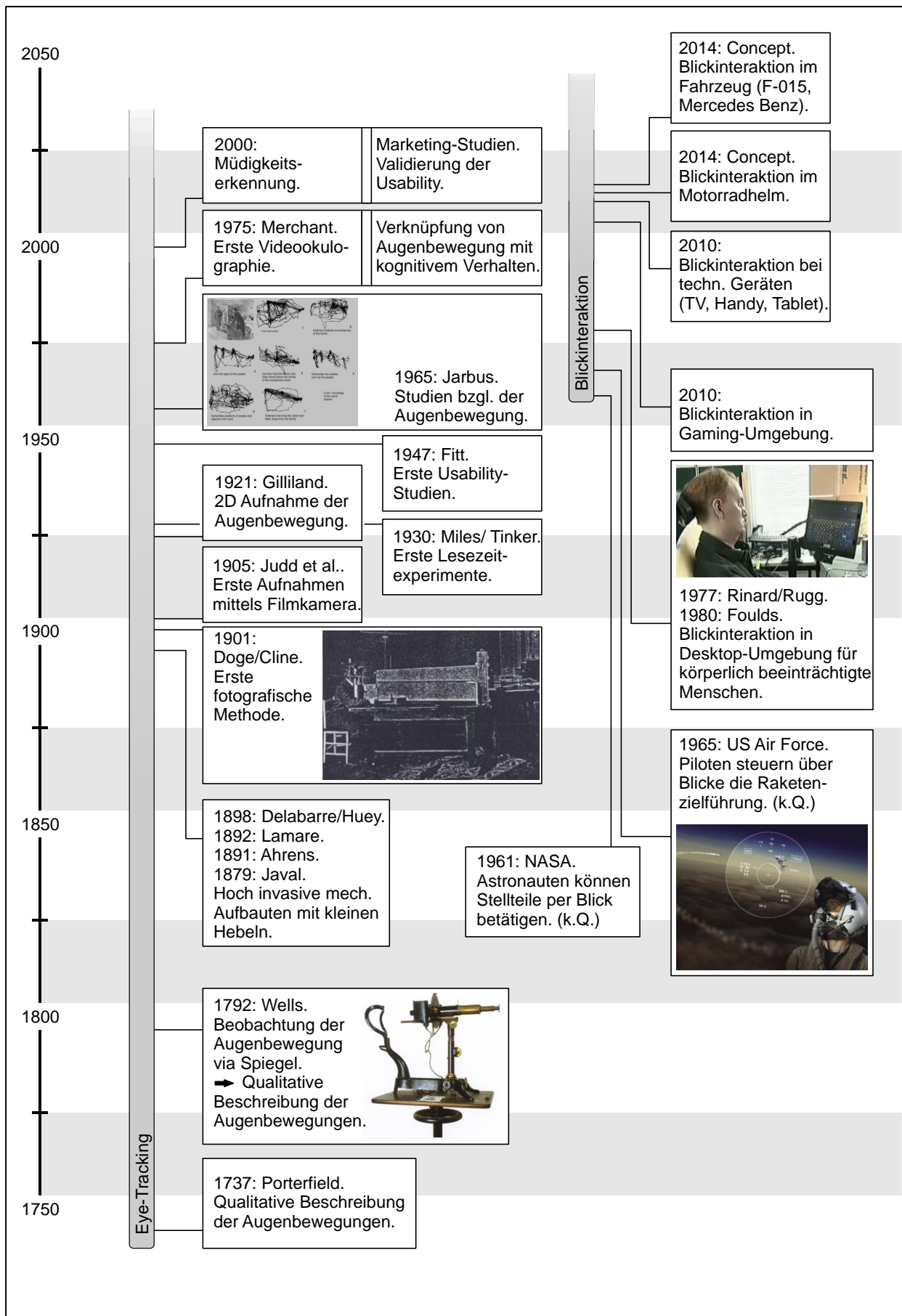







Bild 3.1: Historische Zeitschiene des Eye-Trackings und der Blickinteraktion

und Bereitstellung der Blickerfassungs- und Videodaten des Eye-Tracking-Systems in Echtzeit stattfinden kann. Deshalb stammen erste grundlegende Veröffentlichungen aus diesem Jahrzehnt. Ein paar Pioniere seien an dieser Stelle namentlich erwähnt: RINARD & RUGG [1976], BOLT [1982A/B], LEVINE [1981,1984], GLENN ET AL. [1986], WARE & MIKAELIAN [1987] und HUTCHINSON ET AL. [1989]. Die Inhalte einiger Arbeiten werden in Kapitel 3.2 systematisch in Bezug auf die in der vorliegenden Arbeit relevanten Forschungsschwerpunkte aufgegriffen.

Seit den 1980er Jahren ist somit die jährliche Zahl an Veröffentlichungen zum Thema Blickinteraktion stetig gestiegen. Internationale Konferenzen wie ECVP („European Conference on Visual Perception“), ETRA („Eye-Tracking Research and Application“), ECEM („European Conferences on Eye Movements“) und PETMEI („Pervasive Eye-Tracking and Mobile Eye-Based Interaction“) vereinen jährlich Wissenschaftler, die heute noch zu den Themen Eye-Tracking und blickbasierte Interaktion neue Erkenntnisse präsentieren und erforshtes Wissen austauschen. Im Jahre 2004 wurde sogar ein Exzellenznetzwerk namens COGAIN („Communication by Gaze Interaction“) ins Leben gerufen, welches fünf Jahre lang von der Europäischen Kommission finanziell unterstützt wurde. Es hat die Spitzenkompetenzen Europas zusammengeführt, um an einem gemeinsamen Forschungsprojekt zu arbeiten, das sich mit der Optimierung und Integration von Eye-Tracking in der Mensch-Computer-Interaktion primär für motorisch eingeschränkte Menschen befasst. Das Netzwerk versucht heute noch – nun aber als Verein – diesem Ziel nachzugehen.

Die blickbasierte Interaktion findet einen ersten Einsatz bei der Realisierung einer Interaktionsmöglichkeit zwischen körperlich eingeschränkten Menschen und dem Computer. Diese assistierenden Systeme sind so ausgelegt, dass eine computergestützte Anwendung allein mit den Augen bedient werden kann, indem der allbekannte Mauszeiger mit den Blickbewegungen verknüpft und eine einfache Tipp-Eingabe („eye typing“ oder „text entry by gaze“) realisiert wird. Eine umfangreiche Erörterung zum „eye typing“ kann in MAJARANTA [2009] nachgelesen werden. Des Weiteren realisieren einige Anwendungen sogar das Zeichnen per Blick („drawing by gaze“), das E-Mail-schreiben („e-mail by gaze“), das Navigieren im Internet („internet by gaze“) oder das Spielespielen („games by gaze“). Die Betätigung jeglicher Applikationen per Blick gewinnt immer mehr an Bedeutung. Ein aktueller Trend scheint die verstärkte Einbettung der Blickinteraktion in die alltägliche Umgebung zu sein (siehe Tab. 3.1). Es bestehen Konzepte zur Betätigung von TV-Geräten bis hin zu Küchengeräten. Neueste Produktveröffentlichungen zeigen

zudem die Integration der blickbasierten Interaktion sowohl bei Handys und Laptops als auch im Automotive Bereich [TOBII15], [MERCEDES15]. Die „Google Glass“ ist ebenso ein Vorzeigegerät, in welches die blickbasierte Interaktion implementiert ist [GOOGLE15].

Handy – Samsung Galaxy S4 [SAMSUNG15]	Laptop – Tobii [TOBII15]	Brille – Google Glass [GOOGLE15]
		
Fahrzeug – F 015 [MERCEDES15]	Augmented reality – Microsoft Hololens [MICROSOFT15]	
		

Tab. 3.1: Beispiele für die Implementierung der blickbasierten Interaktion

Die technische Grundlage zur Realisierung der Blickinteraktion bildet das Eye-Tracking-System. Das Eye-Tracking-System ist ein System zur Analyse von Blick- und Augenbewegungen. Es wird zeitnah ein Bild des menschlichen Auges mit einer Videokamera erfasst. Mit Hilfe eines zusätzlichen Infrarotlichts als Referenzpunkt kann über optische Bildverarbeitungsalgorithmen die Auswertung der Blick- und Augenbewegungen realisiert werden. Über Berechnungsalgorithmen kann daraufhin die Ermittlung der Blickposition erfolgen. Die Blickposition kann somit als Output, dem „Point of Gaze“ (POG), für die blickbasierte Interaktion verwendet werden. Der POG ist der fokussierte Punkt aus der Umgebung. In Bild 3.2 ist ein vereinfachter technischer Aufbau der Blickinteraktion dargestellt. Es wird zwischen der Hardware, womit die Aufnahme des Auges realisiert wird, und der Software unterschieden, die das Videobild des Auges auswertet und mit Hilfe von Algorithmen den POG für die Blickinteraktion errechnet.

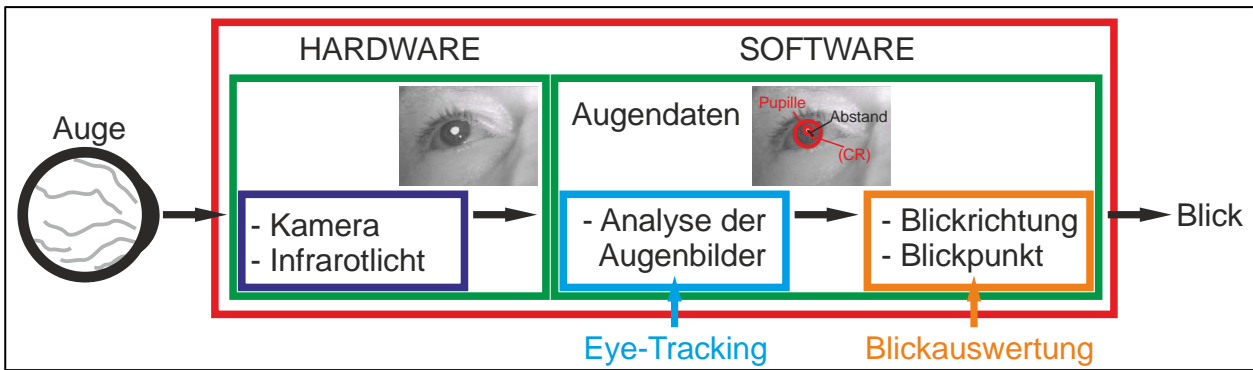




Bild 3.2: Vereinfachter technischer Aufbau der Blickinteraktion

Die Eye-Tracking-Systeme lassen sich in mobile „Head-Mounted-Systeme“ und stationäre „Remote-Systeme“ einteilen (siehe Tab. 3.2). Zusätzlich können die zwei Systemarten hinsichtlich der verwendeten Algorithmen für die Pupillenerkennung (Purkinje-Bilder, Pupille, Limbus, gesamtes Auge etc.) oder der verwendeten Hardware (binokular bzw. monokular) gruppiert werden. Ein Head-Mounted-System wird am Kopf des Probanden befestigt. Dieses System ist für den flexiblen Gebrauch sehr hilfreich, aber sehr anfällig auf ruckartige Kopfbewegungen. Die Remote-Systeme hingegen benötigen keinerlei Fixierungen am Probanden. Sie ermöglichen eine gewisse grenzfeldfreie Kopfbewegung, sind jedoch etwas ungenauer, da das Auge des Nutzers aus dem Sichtfeld der Kamera geraten kann. Eine vom klassischen Head-Mounted-System abgeleitete Variante ist die Eye-Tracking-Brille. Diese sorgt für stabilere Daten.

Head-Mounted Eye-Tracker [SMI15]	Remote Eye-Tracker [SMI15]
	

Tab. 3.2: Arten von Eye-Trackern

Es gibt mehrere Methoden die Blick- und Augenbewegungen zu erfassen. Nur drei Methoden finden im Bereich der Kommunikation mittels Blickinteraktion eine Anwendung. Es handelt sich um folgende:

- Videobasierte Registrierung der Infrarotlichtreflexion auf der Hornhaut mit Pupillenerkennung („Corneal-Reflection-Methode“).
- Videobasierte Registrierung der einfachen Pupillenerkennung.
- Registrierung der elektromagnetischen Spannungsdifferenzen.

Die beste und am häufigsten verwendete Methode ist die videobasierte Registrierung der Infrarotlichtreflexion auf der Hornhaut mit entsprechender Pupillenerkennung. Sie bestimmt die Blickrichtung, indem die Pupillenposition mit der Position der Infrarotlichtreflexion auf der Hornhaut (Cornea) verrechnet wird [DUCHOWSKI07].

Die Betätigung des auszuwählenden Objektes kann bei der Blickinteraktion in sechs unterschiedliche Interaktionsarten eingeteilt werden. Die selbsterklärende Einteilung ist in Bild 3.3 dargestellt. Es wird zwischen einer reinen obtutalen und einer hybriden Betätigungsart unterschieden. Bei der hybriden Betätigung wird für das eigentliche Auslösen einer Betätigung eine zusätzliche Modalität, bspw. haptisch über eine Taste, verbal über ein Codewort oder gestisch über eine motorische Zeichenform, hinzugezogen. Bei der reinen obtutalen Betätigungsart geschieht das Auslösen ohne Hinzunahme einer zusätzlichen Modalität, sondern nur über die Augen- bzw. Blickbewegungen. Beispielsweise wird durch das Verweilen mit dem Blick auf das auszuwählende Objekt die bestimmte Aktion ausgelöst. Bei der Interaktionsart Blinzeln wird bspw. durch das zweimalige Blinzeln eine Aktion ausgelöst.

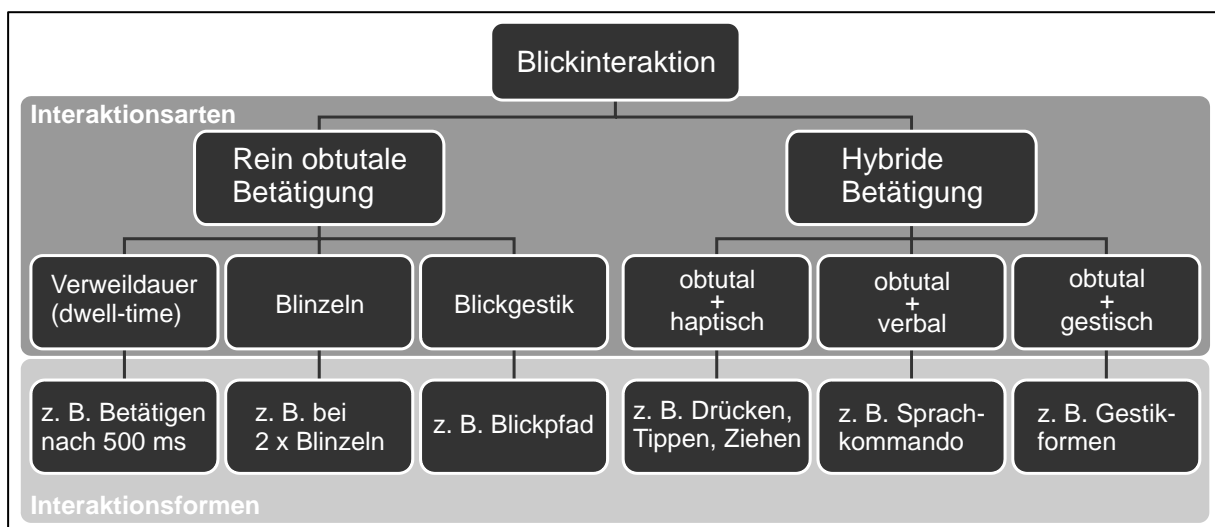


Bild 3.3: Einteilung der Blickinteraktion in Bedienarten und -formen

Die Blickinteraktion ist ein vielversprechender Ansatz vor allem für motorisch und sprachlich eingeschränkte Menschen. Mit der Einbettung der Blickinteraktion in Computersystemen, indem die Mausbetätigung durch die Blickbetätigung ersetzt wird, eröffnet sich dadurch eine grenzenlose Kommunikationsmöglichkeit mit der Umgebung. Zudem existieren viele Gründe, weshalb die Blickinteraktion als potenzielle Interaktionsmöglichkeit auch für die Allgemeinheit in Betracht zu ziehen ist:

- Neben der Touch-Betätigung ist die Blickinteraktion eine der schnellsten Eingabemöglichkeiten [BOTTA ET AL.12B], [BOTTA & MAIER13].
- Zeitnahe Aktionen des Benutzers können vorhergesagt werden, da Menschen dazu tendieren, erst die Zielobjekte mit den Augen zu selektieren, bevor die manuelle Aktion ausgeführt wird [LAND06].
- Sterilität und Hygiene des Benutzers trotz Bedienungsmöglichkeit ist gewährleistet [BOTTA ET AL.12A].
- Bei anderweitigem Einsatz der haptischen Gliedmaßen ist die Blickinteraktion eine zusätzliche leistungsfähige, wartungsarme und fernsteuernde Betätigungsmöglichkeit [BOTTA & MAIER11A], [BOTTA & MAIER11B].

Der Einsatz der Blickinteraktion unterliegt auch gewissen Einschränkungen. In erster Linie fungieren die Augen als Sensoren. Diese nun als Aktoren einer bewussten Handlung einzusetzen, könnte ein anfängliches unangenehmes Gefühl einer leichten Verkrampfung verursachen. Zudem kommt hinzu, dass das System auf den einzelnen Benutzer kalibriert werden muss. Die Kalibrierung ist eine im Vorfeld umzusetzende Verfolgung von vorgegebenen Fixaktionspunkten, worauf beziehungsweise die aktuelle Blickposition auf einem Bildschirm berechnet werden kann. Diese personenabhängige Kalibrierung müsste gespeichert und wiederaufrufbar sein. Zur größten Einschränkung zählt allerdings die Ungenauigkeit bei der Blickrichtungsbestimmung, die u. a. im physiologischen Aufbau des Auges, dem sehr kleinen Bereich des schärfsten Sehens, begründet ist. Dieser sehr kleine Bereich wirkt sich bei einer bestimmten Entfernung sehr stark aus. Weiterhin ist zu beachten, dass die Augen zu keinem Zeitpunkt absolut still stehen. Beim Fixieren eines Objekts bewegen sich die Augen kontinuierlich unbewusst um das Objekt herum und reagieren zudem sehr sensibel auf Bewegungen. In Bezug dazu, macht es keinen Sinn bei der Blickinteraktion eine kontinuierliche Rückmeldung einzusetzen. Es soll eher die diskrete Rückmeldung zum Einsatz kommen. Ein weiteres bekanntes Problem im Bereich

der Blickinteraktion ist das „Midas-Touch-Problem“. Obwohl der Benutzer das Auswahlobjekt genauer betrachten möchte, wird ungewollt die Auswahl ausgelöst. Dieses von JACOB [1990] präsentierte Problem tritt nur für die rein obtutale Interaktionsart über die „dwell-time“ auf. Insgesamt ist man bei der Dialoggestaltung stark gefordert, diese Einschränkungen über die technische und gestalterische Auslegung zu kompensieren.

3.2 Forschungsschwerpunkte der Blickinteraktion

Neben den thematischen Grundlagen (Kapitel 2) und den geschichtlichen und technischen Zusammenfassungen (Kapitel 3.1) werden nachfolgend bedeutungsvolle Forschungsarbeiten der Blickinteraktion vorgestellt, die hauptsächlich in drei Forschungsschwerpunkte eingeteilt werden können:

- Konzeptionelle Einbettung in verschiedenen MMIA,
- Evaluation der Blickinteraktion,
- Gestaltung einer blickbedienten Benutzeroberfläche:
 - Optimierung der Bediengenauigkeit,
 - Optimierung durch visuelle Rückmeldung.

3.2.1 Konzeptionelle Einbettung der Blickinteraktion in verschiedenen MMIA

BOLT [1982A] veröffentlichte mit einem konkreten Anwendungsbeispiel eine erste Vision des Einsatzes der Blickinteraktion in einer Computer-Umgebung. Wobei darin auf die Wissenschaftler RINARD & RUGG [1976] und FOULDS [1980] verwiesen wird, die mit ihren Veröffentlichungen den möglichen geschichtlichen Anfang der blickbasierten MMIA u. a. auch für körperlich beeinträchtigte Menschen definieren. BOLT beschreibt einen medialen Raum mit einer übergroßen Projektionsfläche, die aus mehreren Bildschirmen besteht und auf welcher mehrere Informationen parallel oder einzeln dargestellt werden können. Die jeweilige Information soll entsprechend des Fokus des Beobachters bspw. automatisch vergrößert, verkleinert, aktiviert oder deaktiviert werden (blickbasierte MMIA). Bei gezielter Auswahl von Informationsflächen oder Betätigung von Interaktionsflächen erwähnt BOLT die drei Interaktionsformen „dwell-time“ (rein obtutal), „visuell-haptisch“ und „visuell-verbal“ (hybrid) [BOLT82A].

GIPS ET AL. [1993] präsentierten eine erste Umsetzung der Kommunikation zwischen körperlich eingeschränkten Menschen und der Umwelt mittels Blick. Der Mauszeiger einer

Bedienoberfläche konnte durch Einsatz der Elektrookulographie und der Software „EagleEye“ gesteuert werden.

Zur Optimierung der Mensch-Computer-Interaktion untersuchten DREWES & SCHMIDT [2006 und 2009] angelehnt an ZHAI ET AL. [1999] u. a. den Ansatz einer multimodalen Eingabe durch die Kombination der Blickposition und einer berührungsempfindlichen Maus („MAGIC touch“). Die Optimierung liegt darin, dass der Mauszeiger unmittelbar an die Blickposition gesetzt wird, sobald der Benutzer die Maus berührt. Dadurch bleiben dem Benutzer das lästige Suchen und das Nachziehen des Mauszeigers erspart.

POITSCHKE [2011] stellt in seiner Dissertation unterschiedliche Einsatzgebiete vor, in denen die blickbasierte Interaktion für eine Optimierung der Kommunikation sorgen kann. Im Fahrzeugkontext kann z. B. durch die Integration eines blickbasierten Systems die Aufmerksamkeit des Fahrers positiv beeinflusst und die Fahrerablenkungen reduziert werden. Im Kontext einer intelligenten Fabrikumgebung kann durch den Einsatz der blickbasierten Interaktion bspw. der zeitliche Verlauf analysiert und somit die nächsten Arbeitsschritte vorhergesagt werden. POITSCHKE beschreibt zudem einen Einsatzbereich der blickbasierten Interaktion bei der Kommunikation zwischen Menschen und (humano-iden) Robotern.

Eine mögliche Integration der Blickinteraktion im Fahrzeug wird ebenso durch die Untersuchungsergebnisse einer Abschlussarbeit, die unter Anleitung des Verfassers am Institut für Konstruktionstechnik und Technisches Design bearbeitet wurde, bestätigt. Die Aufmerksamkeitslenkung und -ablenkung kann durch den Einsatz der Blickinteraktion positiv beeinflusst werden. Bezogen darauf sind weitere Abschlussarbeiten zur optimalen Auslegung und realitätsnahen, nutzerzentrierten Gestaltung der Interaktionsfunktionen, wie Radio-, Telefon-, Klima-, Navigation- und Infotainmentbedienung, entstanden [BARTELS12], [HRVACANIN12], [GÖZCÜ12], [SCHUHMANN13], [HRVACANIN13].

Neben der Integration in den Fahrzeugkontext, besteht die Idee, die Blickinteraktion in den Kontext des Motorradfahrens zu implementieren. Eine Abschlussarbeit, ebenso unter Anleitung des Verfassers, stellt die Idee vor, ein Interface zu entwickeln, das mit Hilfe der Übertragung von Informationen auf das Helmvisier den Motorradfahrer während der Motorradbetätigung im Straßenverkehr unterstützt. Die Interaktion mit der übertragenen Information soll über die Blickinteraktion realisiert werden [JENKE14].

BOTTA ET AL. [2012] veröffentlichten einen Beitrag zur Implementierung der Blickinteraktion im Operationssaal, da ein Potenzial besteht, dem Chirurgen eine eigenständige

sterile Interaktion mit den Geräten zu gewährleisten, um die beim Informationsaustausch zwischen ihm und dem OP-Personal auftretende Interaktionsfehler zu vermeiden.

HILDE ET AL. [2013] stellt die Einbettung der Blickinteraktion in ein konkretes Szenario, nämlich die Auswahl von sich bewegenden Objekten bei einer Videoanalyse, vor. Die aktuelle Auswahl über die Mausbetätigung kann mühsam sein, ist ineffizient und induziert eine stresshafte Handbetätigung. Es wird gezeigt, dass die Implementierung der Blickinteraktion mit einer hybriden Interaktionsform (visuell-haptisch) bei der Auswahl Aufgabe eine vorteilhafte Alternative sein kann.

3.2.2 Evaluation der Blickinteraktion

WARE & MIKAELIAN haben im Jahre 1987 eine systematische Evaluation der Blickinteraktion durchgeführt [WARE & MIKAELIAN87]. Ihre Veröffentlichung beschreibt eine Untersuchung zur Effektivität und Effizienz nach dem FITT`schen Prinzip [FIT47]. Dabei wurden die drei Interaktionsarten „dwell-time“, „visuell-haptisch“ und „visuell-two-button“ bei unterschiedlichen Objektgrößen evaluiert. Die Ergebnisse zeigen, dass die visuell-haptische Betätigung gegenüber den beiden anderen Bedienformen sehr schnell ist, wobei mehr Bedienfehler aufgetreten sind.

Allgemein gibt es zum Thema „Evaluation der Blickinteraktion“ in der MCIA-Community kontroverse Diskussionen auf die Frage, ob die Auswertungsmethode von FITT gilt bzw. welche Formel für die Blickinteraktion wissenschaftlich korrekt begründet ist. DREWES [2010] erörtert dies in seiner Dissertation im Detail.

SALVUCCI & ANDERSON [2000] nehmen in ihrer Arbeit einen Vergleich der Blickinteraktion mit der herkömmlichen Betätigung per Maus vor. Auf einer selbstentwickelten Benutzeroberfläche mussten unterschiedliche Bedienaufgaben anhand von unterschiedlichen Bedieneingaben durchgeführt werden. Die Ergebnisse der Bedienzeiten und der Bedienfehler dienen als Vergleichsparameter. Dennoch resultieren zwischen den beiden Interaktionsformen keine signifikanten Unterschiede.

SIBERT & JACOB [2000] fassen ihre über mehrere Jahre entstandenen Forschungsarbeiten zur Evaluation der Blickinteraktion zusammen. Der Fokus liegt auf der Ermittlung der Bedienzeiten bei einfachen Auswahl Aufgaben mittels Blick im Vergleich zur Mausbetätigung. Das Ergebnis ist eine bessere Effektivität und eine höhere Effizienz der Blickbetätigung.

VERTEGAAL [2008] evaluiert ebenso auf Basis der FITT`schen Formel die Blickinteraktion im Vergleich zur Maus- und Stift-Betätigung. Die Untersuchungsergebnisse zeigen, dass

die Blickinteraktion eine sehr schnelle Betätigungsart sein kann, aber im Vergleich zu den beiden anderen Interaktionsarten eine hohe Fehlerrate aufweist.

3.2.3 Gestaltung einer blickbedienten Benutzeroberfläche

Die Blickinteraktion kann durch die entsprechende Gestaltung der Benutzeroberfläche positiv unterstützt werden. Es gibt diverse Ansätze, die dies bestätigen. Deshalb werden in diesem Unterkapitel bedeutungsvolle Forschungsarbeiten, die Lösungen zur Unterstützung der Blickinteraktion durch eine angepasste Gestaltung der Benutzeroberfläche aufzeigen, vorgestellt. In Anbetracht der Inhalte können die recherchierten Arbeiten in zwei Kategorien eingeteilt werden. Es existieren Ansätze, die durch eine angepasste Gestaltung der Benutzeroberfläche eine Optimierung der Bediengenauigkeit erzielen und somit die Blickinteraktion positiv unterstützen und Ansätze, die dies durch eine optimale visuelle Rückmeldung erreichen. Die fokussierte Größenkodierung in der vorliegenden Arbeit fällt in die zweite Kategorie.

3.2.3.1 Optimierung der Bediengenauigkeit

Eine als sehr wichtig einzuschätzende Arbeit ist die von BATES & ISTANCE [2002]. Sie stellen einen Zoomeffekt einer visuell dargebotenen Interaktionsfläche vor und ermitteln die Vergrößerungsfaktoren in Abhängigkeit unterschiedlicher Zielobjektgrößen von $0,3^\circ$, $0,6^\circ$, $0,9^\circ$ und $1,2^\circ$ (entsprechen ca.: 3,1 mm, 6,2 mm, 9,3 mm und 12,4 mm) bei einem Abstand von 600 mm zwischen dem Benutzer und der Projektionsfläche. Die Ergebnisse zeigen, dass der Vergrößerungsfaktor keine Konstante ist, da beim kleinsten Zielobjekt der Faktor bei 5,39 und beim größten Zielobjekt bei 1,43 liegt. Die Abhängigkeit ist eindeutig – je kleiner das Zielobjekt, desto größer ist der Vergrößerungsfaktor. Es wird eine gemittelte, gezoomte Zielobjektgröße von $1,73^\circ$ (18,1 mm) errechnet.

MINIOTAS ET AL. [2004] stellen in der betitelten Veröffentlichung „eye gaze interaction with expanding target“ die Idee einer im Hintergrund ablaufenden Vergrößerung des Zielobjektes vor. Das Zielobjekt erfährt bei Fixation eine nicht sichtbare Vergrößerung des Zielobjektes (1-, 2-, 3-fach), um die Positionierungs- und die Auswahlgenauigkeit bei der Interaktion zu verbessern.

SPAKOV & MINIOTAS [2005] veröffentlichten ein Jahr später eine Studie zur dynamischen Vergrößerung der Zielobjekte. Das Ziel und das Ergebnis dieser Studie ist der Nachweis einer Verbesserung der Bediengenauigkeit durch die dynamische Vergrößerung, wodurch die Auswahlzeit und die Fehlerrate reduziert werden. Ein Vergrößerungsfaktor von 4,5 wird als eine experimentelle Orientierungsgröße angegeben.

Um die Bediengenauigkeit durch Vergrößerung der momentan angeschauten Interaktionsfläche zu erhöhen, stellen ASHMORE ET AL. [2005] die Umsetzung eines Fischeugen-Zooms vor. Unterschiedliche Aktivierungszeitpunkte des Zoomeffektes werden bei einer Benutzerstudie untersucht. In der Benutzerstudie wird ein 3-facher Vergrößerungsfaktor als Zoomeffekt gewählt und als Gestaltungshinweis vorgeschlagen.

Das Konzept „StarGazer“ von HANSEN ET AL. [2008] realisiert eine kontinuierliche Vergrößerung des Bereiches um den Fixationspunkt herum. Ist die voreingestellte, maximale Vergrößerung erreicht, wird das fixierte Objekt selektiert. Nach der Selektion wird das Objekt wieder in den ursprünglichen Zustand versetzt.

An dieser Stelle wird auf weitere Veröffentlichungen zu diesem Thema verwiesen, die anhand von frei gewählten Vergrößerungsfaktoren (2-, 3-, 4-fache) die Beeinflussung der Bediengenauigkeit untersuchen [MCGUFFIN & BALAKRISHNAN02], [ZHAI ET AL.03], [COCKBURN & BROCK06].

POITSCHKE [2011] erwähnt bei der Beschreibung der blicksteuerungsbasierten Alphanumerik-Eingabe („MatrixKey“) einen Zoomeffekt, der die Auswahlfelder um einen Faktor von 1,8 vergrößert. Eine Erläuterung des quantifizierten Zoomfaktors wird nicht gegeben. Zuletzt soll auf die Veröffentlichungen von STELLMACH & DACHSELT [2012 und 2013] hingewiesen werden. Sie beschreiben Untersuchungen zur blickbasierten Selektion, Positionierung und Manipulation visuell dargebotener Objekte mit mehreren Interaktionsformen bei fernliegenden Projektionsflächen. Es werden unterschiedliche Interaktionsformen (Rein-Blick, Blick-Touch, Blick-Tab, Blick-Lupe-fix, Blick-Lupe-semifix) zur Auswahl von Zielobjekten evaluiert. Dabei werden die Größen (3,5 mm, 17 mm, 35 mm) und Lageordnungen (gerastert, überlappend, gerastert und überlappend) der Zielobjekte variiert. Verweisend auf ASHMORE ET AL. [2005] wird ein Lupeneffekt mit einem 3-fachen Vergrößerungsfaktor untersucht und die Farbkodierung als visuelle Rückmeldung eingesetzt. Die Ergebnisse zeigen eine deutliche Optimierung der Bediengenauigkeit bei hybriden Interaktionsformen im Vergleich zu den rein optischen Interaktionsformen.

3.2.3.2 Optimierung durch visuelle Rückmeldung

Im Jahre 1990 veröffentlichte JACOB [1990] eine Arbeit zur blickbasierten MMIA und leistete damit eine wichtige Forschungsgrundlage auf diesem Gebiet. Er beschreibt Probleme und gibt Lösungsansätze für die Blickbetätigung von graphischen Benutzeroberflächen. Die Midas-Touch-Problematik, welche das Interaktionsproblem widerspiegelt, dass nicht jedes vom Beobachter fokussierte Objekt auch unbedingt bedient

werden möchte, zählt zum wohl bekanntesten Problem. Es entsteht hauptsächlich bei der Blickinteraktionsform „dwell-time“ und basiert auf der Tatsache, dass der visuelle Wahrnehmungskanal primär zur Aufnahme von Information, anstatt für das Ausführen einer Betätigungsaktion benötigt wird. Das System muss zwischen einem interessierten Betrachten und einem bewussten Betätigen unterscheiden können. Die Veröffentlichung von CYMEK ET AL. [2014] ist dieser Aufgabe auf den Grund gegangen und beschreibt einen Algorithmus, der die ungewollte Auswahl von visuellen Bedienelementen durch die Erkennung von Folgebewegungen nahezu vollständig eliminiert.

Dieses und weitere Probleme zeigen, dass eine einfache Übertragung herkömmlicher Betätigungs- und Interaktionsvorgänge, wie die einfache Objektauswahl, das einfache Bewegen von Objekten, das Textscrollen oder das Aufrufen von Menübefehlen, nicht ohne Weiteres tatsächlich auf die Blickinteraktion erfolgt.

Mit der Aussage „*The simplest solution would be to substitute an eye tracker directly for a mouse. This is unworkable because of the way the eye moves....Compared to the mouse input, eye input has some advantages and disadvantages, which must all be considered in designing eye-movement-based interaction techniques.*“ betont JACOB [1995, S. 269] fünf Jahre später auch die Wichtigkeit der visuellen Rückmeldung bei der Blickinteraktion. Der Benutzer einer graphischen Benutzeroberfläche benötigt stets eine visuelle Positions-/Positionierungs- und Auswahl-Rückmeldung (siehe Kapitel 4). Zudem hat JACOB [1995, S.270] aber festgestellt, dass das Anzeigen eines einfachen Zeigers als Positions-/Positionierungs-Rückmeldung, wie bspw. bei der Maus-Betätigung der Cursor, eher nachteilig für die Blickinteraktion ist: „*Moreover, an eye-following cursor will tend to move around and thus attract the user’s attention. Yet it is perhaps the least informative aspect of the display (since it tells you where you are already looking). If there is any systematic calibration error, the cursor will be slightly offset from where the User is actually looking, causing the user’s eye to be drawn to the cursor, which will further displace the cursor, ...*“. Begründet ist dies darin, dass die menschliche Wahrnehmung extrem empfindlich auf bewegende Reize reagiert. Da die Augen psychophysiologisch ständig in Bewegung sind und der Cursor diese Bewegungen entsprechend nachzeichnet, bildet der sich kontinuierlich bewegende Cursor einen fortlaufenden Bewegungsreiz, der wiederum sehr empfindlich für die menschliche Wahrnehmung und Aufmerksamkeit ist. Somit ergibt sich eine Rückmeldungsschleife, die sehr nachteilig für die Blickinteraktion ist, aber teilweise durch Algorithmen und Filter kompensiert werden kann. Trotzdem hat

diese Feststellung bei einigen Wissenschaftlern das Interesse geweckt, nach der optimalen visuellen Positions-/Positionierungs- und Auswahl-Rückmeldung zu forschen.

Geleitet von der Aussage JACOBS, die visuelle Rückmeldung bei der Blickinteraktion zu beachten, untersuchte SEIFERT [2002] drei unterschiedliche Rückmeldungsvarianten. Die Einblendung eines kontinuierlich angezeigten Cursors wird dabei mit der Rückmeldung durch Farbänderung (als Highlight-Effekt) und der Variante ohne visuelle Rückmeldung verglichen. Die Ergebnisse der Reaktionszeit, der Fehlerrate und der subjektiv empfundenen Beanspruchung zeigen, dass zwischen den Varianten Cursor und dem Highlight-Effekt keine quantitativen Unterschiede nachweisbar sind, aber ein auffällig signifikanter Unterschied zur Variante ohne Rückmeldung aufgetreten ist. Die Bedingung ohne Rückmeldung bestätigt positivere Leistungs- und Beanspruchungsdaten. SEIFERT [2002, S. 83] meint, dass *„bei ausreichender technischer Zuverlässigkeit der Blickinteraktion die Benutzer besser ohne Rückmeldung arbeiten können“*.

Im Gegensatz dazu, gibt MAJARANTA & RÄIHÄ [2002] einen Überblick über 20 Jahre blickbasierte MMIA-Forschung und untersucht die Text-Eingabe durch die virtuelle Tastatur in einer Windows-Umgebung. Dabei liegt der Fokus auf der visuellen Rückmeldung bei der Auswahl einzelner Buchstaben. MAJARANTA beschreibt die Positions-/Positionierungs- und Auswahl-Rückmeldung von LANKFORD [2000], der ein Hervorheben des auszuwählenden Buchstabens durch ein Rechteck vorschlägt. Das Rechteck soll aus MAJARANTAS Sicht zusätzlich eine zeitliche Veränderung erfahren, indem es schrittweise schrumpft, als eine Art animierter Zustandsindikator des Auswahlprozesses und als Stabilisierung der Fixation eines Objektes. Eine Quantifizierung des schrumpfenden Rechtecks wird in den Veröffentlichungen nicht angegeben. Ein Jahr später veröffentlichten MAJARANTA ET AL. [2003] erneut eine Forschungsarbeit zum selben Thema. Der Unterschied zum Vorjahr liegt darin, dass der auszuwählende Buchstabe durch ein Rechteck zwar hervorgehoben wird, aber nun der Buchstabe das Schrumpfen erfährt. Auch hier wird das Schrumpfen des Buchstabens nicht quantifiziert. Dennoch belegen auch in dieser Veröffentlichung die Untersuchungsergebnisse die Aussage, dass die visuelle Rückmeldung das Blickverhalten beeinflusst, indem die Bediengeschwindigkeit erhöht und die Anzahl der Bedienfehler reduziert wird.

Wie JACOB [1995] betonen MAJARANTA ET AL. [2006] erneut die Wichtigkeit der Gestaltung der visuellen Rückmeldung u. a. bei der Blickinteraktion mit graphischen Benutzerschnittstellen. In dieser Forschungsarbeit beschreiben sie einige Gestaltungshinweise für die visuelle Rückmeldung per Blickinteraktion. Angelehnt an den Veröffentlichungen von den

Vorjahren, werden in einem dreiteiligen Experiment zusätzlich unterschiedliche Rückmel-
dungsvarianten (rein visuell, visuell-auditiv, rein auditiv) untersucht. Die Ergebnisse
zeigen erneut, dass eine visuelle Rückmeldung, sogar mit auditiver Rückmeldung kom-
biniert, einen Einfluss auf die Benutzerleistung und -beanspruchung nimmt. Eine
Zusammenfassung der wichtigen Ergebnisse kann in der veröffentlichten Dissertation
nachgelesen werden [MAJARANTA09].

Eine Studie von BOTTA & MAIER beschäftigt sich mit der Effektivität, Effizienz und Zufrie-
denheit der Blickinteraktion in der Mensch-Computer-Kommunikation. In einer mehr-
dimensionalen Untersuchung wird das Optimierungspotenzial der Blickinteraktion evalu-
iert, indem die blickbasierte Interaktionsform (rein visuell „Blinzeln“ und kombiniert visuell-
haptisch „Taste“) mit der herkömmlichen Maus- und Touchscreen-Betätigung angelehnt
an die DIN EN ISO 9241-420 [2011] verglichen wird. Dabei ist die Probandenuntersuchung
in drei Versuchsreihen gegliedert, die sich in der Ausgabe der visuellen Positions-/Posi-
tionierungs- und Auswahl-Rückmeldung unterscheiden. Die Ergebnisse der Unter-
suchung zeigen in diesem Zusammenhang, dass die Blickinteraktion mit diskreter Positi-
ons-/Auswahl-Rückmeldung effektiver, effizienter und zufriedenstellender gestaltet
werden kann, als ohne kontinuierliche Positions-/Positionierungs-Rückmeldung (Cursor)
[BOTTA ET AL.12B], [BOTTA & MAIER13].

3.3 Fazit 1

Die Historie, die Aufteilung der bisherigen Forschungsarbeiten zur Blickinteraktion in For-
schungsschwerpunkte und die aufgeführten Forschungsinhalte zeigen die zeitliche
Spanne und einen Überblick der blickbasierten Interaktion als potenzielle Möglichkeit für
den Einsatz in der MMSS.

Insgesamt gibt es viele wissenschaftliche Untersuchungen zur Optimierung der Blickin-
teraktion. Dazu zählen bedeutungsvolle Untersuchungserkenntnisse zur Auslegung der
Interaktionsflächen für eine optimale Gestaltung der graphischen Benutzeroberfläche.
Um eine exaktere Fokussierung auf die Interaktionsflächen zu erreichen, wird bspw. die
Aufbringung von zusätzlichen Elementen in Form einer Grafik oder eines einfachen Punk-
tes vorgeschlagen, da die visuelle Wahrnehmung einen Reiz zur Lenkung der Aufmerk-
samkeit benötigt. Ebenso beschreiben Untersuchungen zu animierten Elementen einen
positiven Einfluss für die blickbasierte Interaktion. Hinzu kommen die Erkenntnisse, dass
die Größe der Interaktionsflächen von der Auflösung und Genauigkeit des verwendeten
Eye-Tracking-Systems abhängig und bei der Auslegung von großer Bedeutung ist.

Gleichzeitig zeigen Untersuchungen, dass eine eindeutige visuelle Rückmeldung der Systemzustandsänderung unabdingbar ist und zur festen Forderung zählt, indem die momentan fixierte oder ausgewählte Interaktionsfläche von den restlichen Flächen der Benutzeroberfläche hervorgehoben werden muss. Die Verwendung einer Hervorhebung der Interaktionsfläche bspw. durch Farbwechsel (Farbkodierung) hat sich als vorteilhaft bestätigt. Sobald aber das Farbdesign der Benutzeroberfläche aufgrund einer einheitlichen und klaren Farbvorgabe keine Veränderung erfahren darf, ist die kontinuierliche und diskrete Rückmeldung auf andere Art und Weise umzusetzen (siehe Kapitel 4.1). Zur Farbkodierung ist das zusätzliche Problem zu beachten, dass einige Menschen nur über eine unzureichende Fähigkeit im Erkennen von Farben verfügen. Deshalb sollte die Farbkodierung als sekundäre oder kombiniert mit einer weiteren Rückmeldungsart eingesetzt werden. Eine Alternative ist bspw. die visuelle Rückmeldung durch Größenkodierung, die eine Kombination zulässt und als eine weitere diskrete Rückmeldungsart definiert ist. MAJARANTA [2009] beschreibt gewissermaßen durch die Umsetzung eines schrumpfenden Rechtecks auf der Interaktionsfläche das Thema der Größenkodierung als visuelle Rückmeldung. Das Zielobjekt selbst erfährt aber bei Fixation keine Größenänderung, sondern ein zusätzliches Element (Rechteck) erscheint und verändert sich in seiner Größe. Erwähnenswert ist insbesondere, dass weder in MAJARANTAS noch in anderen Forschungsarbeiten eine systematische Untersuchung zur Quantifizierung der Größenänderung in Form von Größenkodierungsfaktoren vorgenommen wird, die zur optimalen Auslegung der allgemeinen aber auch blickbasierten Benutzeroberfläche benötigt werden können.

Aus diesem Grund wird in der vorliegenden Arbeit das Thema der visuellen Rückmeldung in Bezug auf die Größenkodierung des Zielobjektes und dessen Quantifizierung tiefgründiger betrachtet und analysiert.

4 Visuelle Rückmeldung bei der nutzerzentrierten Gestaltung von MMIA

Die steigende Komplexität von technischen Systemen zeigt sich häufig in einer entsprechend komplizierten und fehlerbehafteten Betätigung seitens des Menschen. Die Bedeutung einer nutzerfreundlichen Betätigung ist daher äußerst relevant, zumal die Akzeptanz eines technischen Systems immer durch die Benutzbarkeit bestimmt wird.

Bei der nutzerzentrierten Gestaltung einer MMIA steht der Mensch mit seinen Eigenschaften zur Informationsverarbeitung im Fokus. Die Gestaltung soll auf eindeutig definierten Anforderungen basieren und zentrifugal aufgebaut werden, d. h. von innen nach außen mit dem Menschen als Zentrum [SEEGER05], [MAIER & SCHMID14]. Dabei soll sowohl Bezug auf die Wahrnehmungsmodalitäten als auch auf die Aktionsmodalitäten des Menschen genommen werden [HEDICKE00].

Eine ausführende Aktion bzw. Handlung erfolgt auf höheren kognitiven Ebenen des regel- und wissensbasierten Verhaltens des Menschen, wenn der Mensch eine ausreichende Rückmeldung über das System erhält. D. h. der Mensch führt seine Handlung aus und beobachtet die daraus resultierende Systemänderung. Entspricht die Systemänderung seinen Erwartungen, so setzt er seine Handlung fort. Entspricht sie nicht seinen Erwartungen, so wird er seine Handlung überdenken, anpassen oder abbrechen. Die Rückmeldung ist also ein essentielles Merkmal nutzerzentriert gestalteter Systeme. Sie kann über eine oder mehrere Sinnesmodalitäten dem Benutzer übermittelt werden.

Angelehnt an ZÜHLKE [2012] kann eine Einteilung der visuellen Rückmeldung in drei unterschiedliche Kategorien erfolgen:

- **Positions-/Positionierungs-Rückmeldung (Handlungsfeedback).**
Dem Benutzer wird eine sofortige diskrete oder kontinuierliche Rückmeldung gegeben, sodass seine Handlung erkannt wird.
- **Auswahl-Rückmeldung (Zielfeedback).**
Dem Benutzer wird das Erreichen oder Fehlschlagen seines Handlungszieles direkt und unmittelbar (diskret) weitergeleitet.
- **Status-Rückmeldung (Statusfeedback).**
Dem Benutzer wird eine Rückmeldung des Systemstatus weitergegeben, welche diskret oder kontinuierlich (bei andauernder Zielerreichung) sein kann.

Der Benutzer einer graphischen Benutzeroberfläche benötigt stets eine visuelle Positions-/Positionierungs-Rückmeldung (wo befinde ich mich, diskret/kontinuierlich) und eine Auswahl-Rückmeldung (wurde die Betätigung ausgeführt, diskret). In Kapitel 3.2.3.2 wurde die effektive, effiziente und zufriedenstellende Auslegung der Benutzeroberfläche für die Blickinteraktion durch diskrete Positions-/Auswahl-Rückmeldung und ohne kontinuierliche Positions-/Positionierungs-Rückmeldung (Maus-Cursor) begründet. Allgemein ist die Rückmeldung nicht nur als Folge einer ausführenden Aktion wichtig, sondern auch als eigenständige Information der Maschine über ihren Status.

Wie im vorherigen Abschnitt erwähnt, soll die nutzerzentrierte Gestaltung einer MMIA auf eindeutig definierten Anforderungen basieren. Anforderungen werden im technischen Ingenieurbereich meist in nationalen sowie internationalen Normen und Richtlinien festgehalten. Diese beinhalten umfangreiche, arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse und Erfahrungen von speziellen Benutzer- und Expertengruppen aus der Wissenschaft und Industrie, die in Form von allgemeingültigen Anforderungen, Regeln, Hinweisen und/oder Empfehlungen niedergeschrieben sind. Im nachfolgenden Kapitel 4.1 wird die Durchführung einer Anforderungsanalyse von Normen und Richtlinien beschrieben, um alle Anforderungen für die nutzerzentrierte Gestaltung von Benutzerschnittstellen zu erfassen, diese zu kategorisieren und die gültigen Anforderungen zur visuellen Rückmeldung herauszufiltern, zu definieren und zu beschreiben. Das Ergebnis der Anforderungsanalyse, zusammengefasst in einer Übersichtstabelle, dient als Grundlage für die anschließende Experten-Bewertung. Die analytische Bewertung der Anforderungen auf quantitativen Angaben und qualitativen Aussagen in Kapitel 4.2 soll die erarbeitete Forschungslücke und das dabei resultierende Forschungsvorhaben, die Quantifizierung der Größenkodierung visuell dargebotener Objekte, dezidiert aufzeigen und begründen.

4.1 Analyse allgemeingültiger und normgerechter Anforderungen

Es gibt eine Vielzahl an Normen und Richtlinien, die sich mit der ergonomischen und benutzerfreundlichen Gestaltung einer MMIA befassen. Im Gegensatz zu technischen Normen, die exakte Vorschriften über fertigungsgerechte Maße und Toleranzen enthalten, sind Normen zur ergonomischen Gestaltung von MMIA meist allgemein gehalten und fokussieren sich insbesondere auf die Usability.

Der Begriff Usability (auf Deutsch „Benutzungsfreundlichkeit“ oder „Benutzbarkeit“) ist nach der Norm DIN EN ISO 9241-11 [1999, S. 4] definiert *„als das Ausmaß, in dem ein Produkt durch bestimmte Benutzer in einem bestimmten Nutzungskontext genutzt werden*

kann, um bestimmte Ziele effektiv, effizient und mit Zufriedenheit zu erreichen“. Die durchgeführte Analyse und die spätere Erhebung der allgemeingültigen Gestaltungsanforderungen, die bei der ergonomischen Gestaltung einer MMIA zu beachten sind, basieren auf den in folgender Tab. 4.1 relevanten Normen.

DIN EN 614:	Sicherheit von Maschinen – Ergonomische Gestaltungsgrundsätze
DIN EN 842:	Sicherheit von Maschinen – Optische Gefahrensignale
DIN EN 894:	Sicherheit von Maschinen – Ergonomische Anforderungen an die Gestaltung von Anzeigen & Stellteilen
DIN 1450:	Schriften – Leserlichkeit
VDI/VDE 3850:	Nutzergerechte Gestaltung von Bediensystemen für Maschinen
DIN ISO 3864:	Graphische Symbole – Sicherheitsfarben und Sicherheitszeichen
DIN 4844:	Graphische Symbole – Sicherheitsfarben und Sicherheitszeichen
DIN EN ISO 6385:	Grundsätze der Ergonomie für die Gestaltung von Arbeitssystemen
DIN ISO 7000:	Graphische Symbole auf Einrichtungen
DIN EN ISO 9241:	Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten
DIN EN ISO 10075:	Ergonomische Grundlagen bezüglich psychischer Arbeitsbelastung
DIN EN ISO 11064:	Ergonomische Gestaltung von Leitzentralen
DIN EN ISO 13407:	Benutzerorientierte Gestaltung interaktiver Systeme
DIN EN ISO 14915:	Software-Ergonomie für Multimedia Benutzungsschnittstellen
DIN EN ISO 26800:	Ergonomie – Genereller Ansatz, Prinzipien und Konzepte
DIN EN 60073:	Grund- und Sicherheitsregeln für die Mensch-Maschine-Schnittstelle
DIN EN 60617-2:	Graphische Symbole für Schaltpläne
DIN EN 80416:	Allgemeine Grundlagen für graphische Symbole auf Geräten und Einrichtungen

Tab. 4.1: Relevante Normen für die ergonomische Gestaltung einer MMIA

Die Erstellung einer Mindmap von relevanten Inhalten dieser Normen, die über jegliche Grundsätze, Prinzipien, Leitsätze, Gestaltungsanforderungen und -empfehlungen zur nutzerzentrierten Gestaltung der MMIA und Gebrauchstauglichkeit schreiben, soll dazu verhelfen einen Überblick zu bekommen. Daraus lässt sich eine allgemeingültige und vollständige Klassifizierung der Gestaltungsanforderungen und -hinweise für die MMIA aufstellen. In Bild 4.1 ist die Mindmap der relevantesten Normen mit Querverweisen dargestellt. Es muss betont werden, dass durch die hohe Anzahl an Normen aus unterschiedlichen Fachrichtungen, die sich mit der ergonomischen Gestaltung der MMIA befassen, entsprechend unterschiedliche Auslegungsrichtungen der Begrifflichkeiten zu finden sind. Deshalb ist das Erstellen einer eindeutigen, allgemeingültigen Definition ein Zwischenziel der Analyse.

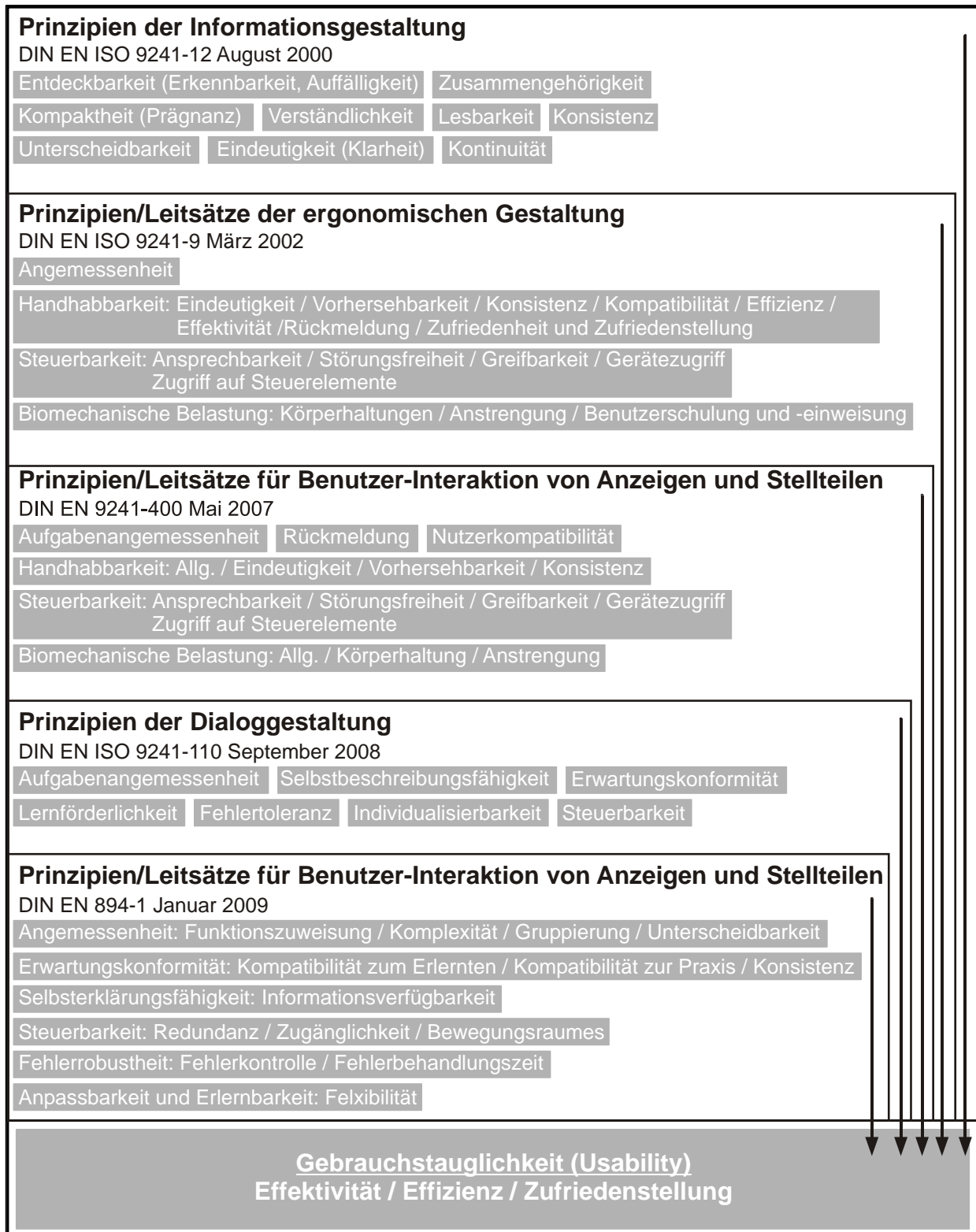


Bild 4.1: Zusammenfassung der Prinzipien zur Gestaltung von Benutzungsschnittstellen

In den entsprechenden Normen wird zwischen Grundsätzen, Prinzipien, Leitsätze, Gestaltungsanforderungen und -empfehlungen unterschieden. In der hier erarbeiteten allgemeingültigen Struktur entsprechen die Grundsätze den Prinzipien und werden von

neun Begrifflichkeiten (siehe Tab. 4.2) beschrieben. Jedem Grundsatz sind ein oder mehrere Leitsätze untergeordnet. Leitsätze sind umfassende und weitreichende Kriterien für das erfolgreiche Erreichen eines Zieles. Den Leitsätzen sind wiederum entweder Gestaltungsanforderungen untergeordnet oder die Leitsätze selbst zählen als Anforderung. Gestaltungsanforderungen sind Erfordernisse, die an die Gestaltung vorausgesetzt werden. Jeder Gestaltungsanforderung folgt zuletzt die Gestaltungsempfehlung. Die Gestaltungsempfehlung basiert auf einer konzeptionellen Grundlage sowie auf empirisch erarbeiteten Ergebnissen und gibt somit einen Ratschlag ab.

Es existiert eine Fülle an unterschiedlichen Beschreibungen der allgemeinen Grundsätze, die weitestgehend denselben Inhalt übermitteln. Nachfolgend werden in Tab. 4.2 die aus den relevanten Normen zusammengefassten und allgemeingültigen Grundsätze vorgestellt und kurz erläutert.

<p>Handhabbarkeit.</p> <p>Die MMIA ist handhabbar, wenn die Interaktion eindeutig, vorhersehbar abläuft und konsistent ist.</p>	<p>Fehlerrobustheit.</p> <p>Die MMIA ist so zu gestalten, dass Fehlbetätigungen nicht auftreten und wenn, der gewünschte Wert mit geringen Korrekturen erreicht werden kann.</p>
<p>Aufgabenangemessenheit.</p> <p>Die MMIA ist aufgabenangemessen, wenn der Benutzer bei der sicheren und wirkungsvollen Erfüllung der Aufgabe unterstützt wird.</p>	<p>Individualisierbarkeit.</p> <p>Ein MMIA ist individualisierbar, wenn der Benutzer die Interaktion und die Darstellung von Informationen ändern kann, um diese an seine individuellen Fähigkeiten und Bedürfnisse anzupassen.</p>
<p>Steuerbarkeit.</p> <p>Der Benutzer sollte in jeder Situation die MMIA beherrschen.</p>	<p>Erlernbarkeit.</p> <p>Eine MMIA sollte leicht erlernbar und lernförderlich sein, indem sie den Benutzer das Verständnis über die Bedienphilosophie vermittelt und beim Erlernen unterstützt und anleitet.</p>
<p>Selbsterklärungsfähigkeit.</p> <p>Die MMIA sollte so gestaltet sein, dass der Benutzer die Anzeigen und Stellteile mühelos erkennen und den Prozess verstehen kann.</p>	<p>Biomechanische Belastung.</p> <p>Die MMIA soll unter Berücksichtigung der Haltungen des gesamten Körpers und des für die Interaktion relevanten Körperteils auf ein Minimum reduziert werden.</p>
<p>Erwartungskonformität.</p> <p>Die von der MMIA ausgehenden Informationen sowie die Art der Eingabe durch ein Stellteil oder die Art der Aufnahme durch eine Anzeige sollen den Erwartungen des Benutzers entsprechen.</p>	

Tab. 4.2: Allgemeingültige Grundsätze zur nutzerzentrierten und ergonomischen Gestaltung der MMIA

Tab. 4.3 zeigt einen Auszug der Klassifizierung und dessen farblich gekennzeichneten Aufbau. Die Kopfzeile der Tabelle beschreibt die systematische Einteilung der Anforderungen in vier übergeordnete Kriterien (Rot, Blau, Grün und Orange hinterlegt). Unterhalb der Kopfzeile sind die zugehörigen Anforderungen und Empfehlungen farblich kodiert.

Diese Klassifizierung ist eine Zusammenfassung aller Grundsätze, Leitsätze, Gestaltungsanforderungen und -empfehlungen aus den Normen und Richtlinien, die die ergonomische und nutzergerechte Gestaltung von MMIA beschreiben. Sie kann als eine Art Checkliste für Entwickler und Qualitätsprüfer bei der Überprüfung und Bewertung einzelner, bedingter Empfehlungen bzw. der ergonomisch und nutzergerecht gestalteten MMIA herangezogen werden. Die vollständige Klassifizierung ist gemeinsam mit der Visualisierung der Bewertung im Anhang A1 (siehe Tab. A1) zu finden. Auf die Beschreibung aller Begrifflichkeiten wird an dieser Stelle verzichtet, wobei einige im Glossar aufgelistet sind. Nachstehend werden ausschließlich die Zusammenhänge zur Rückmeldung kurz beschrieben.

Grundsätze der Gestaltung einer MMIA	
Leitsätze der Gestaltung einer MMIA	
Gestaltungsanforderungen	Gestaltungsempfehlung
Handhabbarkeit	
Allgemein	Ein MMIF ist handhabbar, wenn dessen vorgesehene ...
Unterscheidbarkeit	Ein MMIF (Stellteile und Anzeigen) mit entsprechend ...
Unterscheidung von Objekten gleicher Art	Bei Verwendung von unterschiedlichen grafischen Darstellg ...
Statusunterscheidung (s. Rückmeldung)	Bei Kennzeichnung von unterschiedlichen Zuständen ...
Rückmeldung	Ein MMIF sollte den Systemzustand als Rückmeldung ...
Allgemeine Kodierung	Es sollen Codes verwendet werden, die sich wahrnehmung-...
	Konsistente Kodierung: Codes sollten konsistent mit ...
	Sinnhafte Kodierung: Codes sollten sinnhaft durch klare ...
	Aktiv/Inaktiv Kodierung: Codes sollten eine inaktive ...
Grafische Kodierung	Dreidimensionale Kodierung: Es sollten grafische ...
	Kodierung mittels Linien: Bei der Kodierung mittels ...
	Richtung von Linien: Bei der Kodierung einer Richtung ...
	Kodierung durch Blinken: Die Aufmerksamkeit des ...
	Größenkodierung: Das Verändern der Größe (Höhe, Breite) ...
Farbliche Kodierung	Farbe als Hilfskodierung: Farbe ist gut geeignet als Hilfscode ...
	Zugehörigkeit durch konsistente Farbkodierung: Jede Farbe ...
	Vordergrundfarben: Vor einem neutralen Hintergrund sollen ...
	Hintergrundfarben: Farben hoher Sättigung (helles Weiß) ...
	Leuchtdichte- / Helligkeitskodierung: Diese Kodier-Art kann ...
Alphanumerische Kodierung	Länge von Zeichenfolgen: Codes sollten kurz sein, sodass ...
	Alphabetische Kodierung vs. Numerische Kodierung ...
	Abkürzungen von Kodierungen: Abkürzungen sollten so ...
	Hervorheben durch Blinken / Text: Ist das Lesen des ...
	Unterstreichung: Die zusätzliche Unterstreichung eines ...

Tab. 4.3: Auszug der Klassifizierung

Bezugnehmend auf das Thema der visuellen Rückmeldung gibt es keine allgemeinen Regeln dafür, wann ein Kodierungsverfahren gegenüber einem anderen zu bevorzugen ist. Die wirksamste Lösung ist dies durch rudimentäre Prüfung zu bestimmen. Es ist aber möglich, für ein Element mehrere Kodierungsverfahren miteinander zu kombinieren. Auf diese Weise wird die Trennung des Elementes von einer Gruppe verstärkt bzw. die Aufmerksamkeit gesteuert und die Unterscheidbarkeit erhöht. Jedoch ist auf die empfohlene Einschränkung, nicht mehr als zwei Kodierungsarten je Element, zu achten und es gilt, Gleiches stets mit Gleichem zu kodieren. In Tab. 4.4 werden geeignete Kombinationen unterschiedlicher visueller Kodierungsverfahren gezeigt. Diese mehr-dimensionalen Kodierungen, auch Kodierungsredundanzen genannt, sollten aus folgenden Gründen eingesetzt werden [SCHMIDTKE ET AL.89], [HERCZEG06]:

- Optimierung der Auswahl, Kombination und Interpretation oder Benutzung von Elementen in komplexeren Wechselbeziehungen.
- Ermöglichung einer Informationsdarstellung auf der Benutzeroberfläche in mehr als einer Dimension.
- Gewährleistung einer exakten Identifizierung und Interpretation eines Elementes, die ähnlich zu sein scheinen, jedoch unterschiedliche Funktionen haben können (z. B. Meldeleuchten und Druckknöpfe mit zusätzlicher Beleuchtung).

Kodierungsverfahren	Farbkodierung	Formkodierung	Größenkodierung	Helligkeitskodierung	Blinkkodierung	Zeichenkodierung	Positionskodierung
Kodierungsverfahren							
Farbkodierung		X	X	X	X	X	X
Formkodierung	X		X		X	X	
Größenkodierung	X	X			X	X	
Helligkeitskodierung	X						
Blinkkodierung	X	X	X			X	
Zeichenkodierung	X	X	X		X		X
Positionskodierung	X					X	

Tab. 4.4: Kombinationen von Kodierungsverfahren (X geeignete Kombinationen)

Die Farbkodierung wird zum Zuordnen einer speziellen Bedeutung durch den Einsatz von deutlich unterschiedlichen Farben eingesetzt (Status-Rückmeldung). Sie findet aber auch Anwendung bei Positions-/Positionierungs- und Auswahl-Rückmeldung. Jedoch dürfen die unterscheidbaren visuellen Kodierungen nicht auf die Farbe begrenzt sein, da ca. 8 % bis 10 % der männlichen Bevölkerung eine Farbanomalie aufweisen [HELLBUSCH05], [BVA11]. D. h. diese Menschen nehmen Farben nicht richtig wahr. Deshalb sollte eine gewisse Redundanz beim Kodieren angewendet werden [DINENISO9241-171, Kap. 10.4.1], [DINENISO9241-143], [DINENISO9241-303].

Die Formkodierung oder auch geometrische Kodierung genannt, beschreibt den Einsatz unterschiedlicher geometrischer Formen wie Dreiecke oder Kreise, um die Unterscheidung verschiedener Informationsklassen zu erleichtern. Weitere Angaben zur Kodierung sind in der Norm DINENISO9241-12 [2000] und DINENISO9241-303 [2012].

Die Größenkodierung charakterisiert die Veränderung der Größe der angezeigten Zeichen oder Symbole (Höhe und Breite) und wird für Anwendungen in Betracht gezogen, bei denen die Bildschirme eine geringe Zeichendichte aufweisen [DINENISO9241-12].

Die Helligkeitskodierung basiert auf der Veränderung der Leuchtdichte. Die Bereiche, die ausschließlich durch Leuchtdichte kodiert werden, müssen ein Verhältnis der Anzeigeleuchtdichte zu den anderen Bereichen von mindestens 1,5:1 aufweisen. Die Leuchtdichtekodierung schließt die beabsichtigten Beleuchtungsbedingungen der Umgebung und vorgesehene Blickwinkel mit ein [DINENISO9241-303].

Die Blinkkodierung wird ausschließlich zum Erzielen von Aufmerksamkeit angewendet. Es wird eine einfache Blinkfrequenz von 1 Hz bis 3 Hz mit einem Tastverhältnis von 50 % empfohlen [DINENISO9241-303].

Die Zeichenkodierung steht hier im Sinne der Schriftzeichen (Buchstaben, Ziffern) und der Symbole. Sie eignet sich besonders zur Funktionskennzeichnung von Anzeigen und Bedienelementen. Die alphanumerischen Zeichen ermöglichen eine sehr eindeutige Bedeutungszuweisung. Allerdings ist die Wortkodierung sprachgebunden und beansprucht bei Verzicht von missverständlichen Abkürzungen mehr Raum als die Kodierung mit Symbolen bzw. Piktogrammen.

Die Positionskodierung beschreibt das Festlegen einer bestimmten Funktion stets an derselben Position im Raum.

Nach der Informationseingabe durch den Benutzer sollte die visuelle Kodierung innerhalb der zeitlichen Wahrnehmungsschwelle von 100 ms bis 200 ms erfolgen, da innerhalb

dieser Fixationsdauer Bildinformation [POITSCHKE11, S. 32] visuell verarbeitet werden kann, bevor ein darauffolgender Punkt fixiert wird. Ansonsten kann das visuell dargebotene Signal nicht mehr eindeutig wahrgenommen und demnach auch nicht mehr eindeutig der verursachenden Aktion zugeordnet werden. Die Gestaltung der Benutzungsschnittstelle sollte wenn möglich immer vom Nutzer frei gestaltet werden können. Die Benutzerführung sollte die Intentionen des Benutzers unterstützen und die Unsicherheit hinsichtlich der richtigen Aktion reduzieren [PREECE93], [DINENISO9241-110], [DINENISO9241-210] [FÄHRICH87], [ZINK87]. Kodierungsverfahren oder Regeln für eine Kodierung sollten immer zusammen mit den vorgesehenen Benutzern und gemäß ihren Erwartungen und Arbeitsaufgaben entwickelt werden. Sind zusätzliche Kodierungen notwendig, so sollten diese mit den Benutzern geprüft werden. Im Allgemeinen sollten Regeln für Kodierungsverfahren den Benutzern erklärt werden. Die Verwendung von Kodierungen kann den Entwicklern helfen, eine Überfüllung des Bildschirms (ungenügende Ordnung und unnötige Information) dadurch zu vermindern, dass die Information unter Verwendung von Text und/oder Grafik in Kurzform (oder abgekürzter Form) wiedergegeben wird. Die Verwendung von Kodierungen kann auch die Effizienz der Informations-eingabe durch Erhöhung der Eingabegeschwindigkeit und Verringerung der Fehlerhäufigkeit verbessern. Schlecht kodierte Informationen machen den Dialog zwischen dem Benutzer und dem System langsamer und auffälliger für Fehler [DINENISO9241-12].

4.2 Analytische Bewertung der normgerechten Anforderungen

Die zuvor erarbeitete Klassifizierung der allgemeingültigen Gestaltungsanforderungen und -empfehlungen, die auch als Checkliste zur Prüfung von optimal gestalteten MMIA herangezogen werden kann, wird in diesem Kapitel auf ihre qualitativen Aussagen und quantitativen Angaben der Gestaltungsempfehlungen hin bewertet. Dadurch wird das Forschungspotenzial und die Forschungslücke vorgestellt und die Begründung des Forschungsvorhabens geliefert.

„Qualitativ“ ist das Adjektiv von Qualität. Der Begriff Qualität stammt vom Wort „qualitas“ (lat.) ab, bezeichnet die Beschaffenheit, Eigenschaft, Zustand und/oder Güte und ist nach DINENISO9000 definiert als „*Grad, in dem eine Anzahl inhärenter Merkmale eines Objekts Anforderungen erfüllt*“ [DINENISO9000A, S. 26]. Die Benennung Qualität kann zusammen mit Adjektiven wie schlecht, gut oder ausgezeichnet verwendet werden. Der Begriff Qualität ist ebenso beschrieben als eine „*wahrnehmbare Zustandsform von Systemen und*

ihrer Merkmale, welche in einem bestimmten Zeitraum anhand bestimmter Eigenschaften des Systems in diesem Zustand definiert werden“ [BROCKHAUS14].

„Quantitativ“ ist das Adjektiv von Quantität. Der Begriff Quantität stammt vom Wort „quantitas“ (lat.) ab und bezeichnet die Menge, Größe oder Anzahl von Stoffen oder Objekten oder die Häufigkeit von Vorgängen. Quantität findet Ausdruck in numerischen Werten oder der Angabe von Ausmaßen oder Verhältnissen. Das Ermitteln der Quantität wird in der Wissenschaft als Quantifizierung bezeichnet. Fakt ist, dass Quantität als Angabe des Zahlenwertes einer metrischen Größe stets qualitative – die Eigenschaften einer Sache betreffende – Aspekte birgt [BROCKHAUS14].

Die analytische Bewertung spiegelt die Einschätzung des bewertenden Experten über die Aussagen und Angaben der jeweiligen Gestaltungsempfehlungen wider, d. h. wie eindeutig und vollständig diese qualitativ oder quantitativ beschrieben und ob diese überhaupt beschreibbar sind. Die Bewertung erfolgt durch die Verteilung von Erfüllungsgraden, die in Tab. 4.5 aufgelistet sind.

Qualitativ			
qualitative Beschreibung nicht möglich	qualitativ nicht beschrieben	qualitativ teilweise beschrieben	qualitativ vollständig beschrieben
-	○	◐	●

Quantitativ			
quantitative Beschreibung nicht möglich	quantitativ nicht beschrieben	quantitativ teilweise beschrieben	quantitativ vollständig beschrieben
-	○	◐	●

Tab. 4.5: Erfüllungsgrade für die Bewertung

Die gesamte Bewertung ist im Anhang A1 zu finden. Ein Auszug aus der Gesamtbewertung (siehe Tab. 4.6) zeigt speziell für den Leitsatz der Rückmeldung die analytische Vergabe der Erfüllungsgrade für jede Anforderung bzw. Empfehlung. Die Vergabe der Erfüllungsgrade für die qualitative Aussage resultiert aus der Beschreibung der Gestaltungsempfehlungen durch mehrere Merkmale. Die Vergabe der Erfüllungsgrade für die quantitative Angabe bezieht sich auf die Beschreibung der Empfehlung durch exakte Werte.

An dieser Stelle sei der hervorgehobenen Empfehlung zur Größenkodierung die volle Aufmerksamkeit geschenkt. *„Bei der Größenänderung der Anzeigeelemente zur Einteilung in Informationskategorien bzw. als Kodierungsverfahren sollten üblicherweise zumindest zwei oder drei Größenunterschiede durch den Exponenten (e^n) leicht unterscheidbar sein“* [DINENISO9241-12, S. 16], [DINEN894-4, S. 42].

Diese Gestaltungsempfehlung ist qualitativ als „vollständig“ bewertet worden, aber quantitativ nur „teilweise“ (siehe Tab. 4.6, schwarzer Pfeil). Dies ist ein Indiz dafür, dass der Versuch einer quantitativen Angabe der Größenkodierung gewagt und vermutlich auch verlangt wird. Es stellt sich aber die kritische Frage, ob die Größenänderung bzw. die Erkennung eines Größenunterschiedes durch die Anzahl der Informationskategorien begrenzt und durch den Exponenten der Kategorienanzahl festgelegt werden soll. Es müssten eher andere visuelle Wahrnehmungsvariablen (Formen, Abstand, Hintergrund) für die Erkennung eines Größenunterschiedes eine Rolle spielen. Zudem sind keine Herleitung, keine Begründung und kein Verweis des exponentiellen Größenunterschiedes angegeben, sodass die Quantifizierung nachvollzogen werden kann. D. h. es werden zwar teil-quantitative Angaben genannt, diese verhelfen aber weder mit Hilfe von konkret begründeten Werten noch anhand von nachvollziehbar definierten Faktoren dazu, die Gestaltung einer MMSS bzw. MMIA mit visueller Rückmeldung durch eine eindeutig definierte Größenkodierung zu erleichtern.

Zusätzlich zur Fragestellung ergibt sich die Feststellung, dass diese Gestaltungsempfehlung zur Größenkodierung nur eine quantitative Angabe zur Statusrückmeldung (Statusfeedback) beschreibt. Jedoch ist die Größenkodierung für die visuelle Rückmeldung bei einer ausführenden Aktion durch Positions-/Positionierungs- und Auswahl-Rückmeldung ebenso zu unterscheiden und zu quantifizieren.

In diesem Sinne besteht für die Gestaltungsempfehlung zur visuellen Größenkodierung, in Anbetracht der hohen Wichtigkeit der visuellen Rückmeldung bei der ergonomischen und nutzerzentrierten Gestaltung der MMIA (auch für die Blickinteraktion), ein großes Potenzial diese vollständig zu quantifizieren.

Grundsätze der Gestaltung einer MMIA				
Leitsätze der Gestaltung einer MMIA				
	Gestaltungsanforderungen	Gestaltungsempfehlung	qualitativ	quantitativ
Handhabbarkeit				
	Rückmeldung	Ein MMIF sollte dem Benutzer bei Betätigung den Systemzustand unmittelbar rückmelden, leicht verständlich und wahrnehmbar machen. [DINEN894-1], [DINENISO9241-400]	-	-
	Allgemeine Kodierung	Unterscheidbarkeit der Kodierung: Es sollen Kodierungen verwendet werden, die sich in der Wahrnehmung voneinander unterscheiden. [DINENISO9241-12, S. 13]	●	○
		Konsistente Kodierung: Kodierungen sollten konsistent mit derselben Funktion und/oder derselben Bedeutung verwendet werden. [DINENISO9241-12, S. 13]	●	○
		Sinnhafte Kodierung: Kodierungen sollten sinnhaft durch klare Assoziationen zwischen kodierter Information und beabsichtigter Bedeutung vorgesehen werden. [DINENISO9241-12, S. 13]	●	○
		Erläuterung der Kodierung: Kodierungen sollten Informationen über deren Bedeutung leicht zugänglich gemacht werden. [DINENISO9241-12, S. 14]	●	○
		Anwendung von etablierten Standards oder Konventionen (Kompatibilität): Kodierungen sollten nach etablierten Standards oder konventionellen Bedeutungen festgelegt werden. [DINENISO9241-12, S. 14]	●	○
		Aktive/Inaktive Kodierung: Kodierungen sollten eine inaktive Systemfunktion ebenso wie eine aktive Systemfunktion anzeigen, anstatt die inaktive Systemfunktion dem Benutzer nicht anzuzeigen. [DINENISO9241-12, S. 14]	●	○
	Grafische Kodierung	Für jede Informationskategorie sollte eine eindeutig unterscheidbare geometrische Form verwendet werden. Die Anzahl an geometrischen Formen sollte so gering wie möglich ausfallen und auf ≤ 10 begrenzt sein. [DINENISO9241-12, S. 14]	●	●
		Dreidimensionale Kodierung: Es sollten grafische Methoden zur dreidimensionalen Darstellung angewendet werden, um die Unterscheidung der verschiedenen Informationskategorien zu erleichtern. [DINENISO9241-12, S. 14]	●	○
		Kodierung mittels Linien: Bei den Kodierungen mittels verschiedenartiger Linien sollten die Unterschiede der Linienart und der Linienstärke deutlich voneinander unterscheidbar sein. [DINENISO9241-12, S. 15]	●	○
		Richtung von Linien: Bei der Kodierung einer Richtung oder eines Wertes mittels Richtung einer Linie sollte ausreichend Kontextinformation hinzugezogen werden, damit die Richtung/Wert eindeutig identifizierbar ist. [DINENISO9241-12, S. 15]	●	●
		Kodierung durch Blinken: Die Aufmerksamkeit des Benutzers kann durch blinkende Anzeigeelemente geweckt werden. Es sollten höchstens nur zwei Blinkcodes verwendet werden. Die Blinkfrequenz liegt bei 0,5-3 Hz. [DINENISO9241-12, S. 16]	●	●
		Größenkodierung: Bei der Größenänderung der Anzeigeelemente zur Einteilung in Informationskategorien bzw. als Kodierungsverfahren sollten üblicherweise zumindest zwei oder drei Größenunterschiede durch Exponenten (e^n) leicht unterscheidbar sein. [DINENISO9241-12, S. 16], [DINEN894-4, S. 42]	●	◐
	Farbliche Kodierung	Farbe als Hilfskodierung: Farbe ist gut geeignet als Hilfscode mit anderen Kodier-Verfahren, sollte aber nicht allein als Kodierung auftreten, da manche Menschen bestimmte Farben schwer auseinander halten können. [DINENISO9241-12, S. 15]	●	●
		Angemessene Verwendung: Eine willkürliche Farbverwendung oder eine hohe Farbanzahl sollte vermieden werden, da dies eine ungeordnete Darstellung wiedergibt und die Effektivität der Farbkodierung vermindern kann. [DINENISO9241-12, S. 15]	●	◐
		Zugehörigkeit durch konsistente Farbkodierung: Jede Farbe sollte nur eine Informationskategorie versinnbildlichen. Bekannte Konventionen für Farbkodierung sollten unter Berücksichtigung des Nutzungskontexts eingehalten werden. [DINENISO9241-12, S. 15]	●	●
		Vordergrundfarben: Vor einem neutralen Hintergrund sollen Vordergrundfarben verwendet werden, die auf einem Farbdigramm weit auseinander liegen, um die Fähigkeit der Farbunterscheidung des Benutzers zu verbessern. [DINENISO9241-12, S. 15]	●	●
		Hintergrundfarben: Farben hoher Sättigung (helles Weiß, Grau oder Schwarz, siehe DIN EN ISO 9241-302) sollten als Hintergrundfarbe vermieden werden. [DINENISO9241-12, S. 15] [DINENISO9241-302]	●	●
		Leuchtdichte- / Helligkeitskodierung: Diese Kodier-Art kann eine Unterscheidung zwischen zwei Kategorien angezeigter Elemente kodieren. Die Helligkeit sollte als ein Code mit zwei Zuständen verstanden werden. [DINENISO9241-12, S. 16]	●	●
		Kodierung von Flächen: Anstelle der Unterscheidung nur durch Farbkodierung sollte auch das Füllen der Flächen mit unterschiedlichen Mustern (Schraffur, Schattierung, Punktieren) bzw. Texturen in Betracht gezogen werden. [DINENISO9241-12, S. 16]	●	○

Tab. 4.6: Auszug der analytischen Bewertung

4.3 Forschungsstand zur visuellen Rückmeldung durch Größenkodierung

Angelehnt an Normen, Richtlinien und einem Prüfverfahren von SCHMIDTKE ET AL. [1989] beinhaltet das Buch „Ergonomie – Daten zur Systemgestaltung und Begriffsbestimmungen“ [SCHMIDTKE & JASTRZEBSKA-F.13] eine hohe Anzahl an Objektbeschreibungen für alle in Mensch-Maschine-Systemen vorkommenden technischen Komponenten, Umweltfaktoren und Arbeitsaufgaben, an die sich ergonomische Gestaltungsanforderungen und Gestaltungsempfehlungen als Sollvorgaben anschließen. Für jede dieser Sollvorgaben wird sogar ein entsprechender Quellenverweis auf Normen oder Literaturstellen genannt. Die Sollvorgabe für die hier fokussierte Größenkodierung wird auf den Seiten 49, 172 und 221 qualitativ und quantitativ beschrieben als „*Nur in Sonderfällen empfehlenswert, Ausdehnung der Figur $n \leq 3$, Größenstufen müssen sich um den Faktor $\geq 1,5$ unterscheiden*“ [SCHMIDTKE & JASTRZEBSKA-F.13].

Der angegebene Faktor von $\geq 1,5$ ist an dieser Stelle erneut ein Indiz dafür, dass ein Bedarf nach einer vollständigeren Quantifizierung der Größenkodierung besteht. Jedoch birgt die Angabe dieses Faktors ebenso viele Fragen: Wie ist dieser zustande gekommen? Kann ein allgemeingültiger Faktor für jede Auslegungssituation eingesetzt werden, ist dieser mit einer 50 %-Vergrößerung nicht zu hoch, gibt es keine Differenzierungen? Zudem kommt hinzu, dass die Angabe des Quellenverweises auf die DIN EN ISO 9241-12 [2000] nicht richtig sein kann. Vermutlich bezieht sich die Angabe lediglich auf die Ausdehnung $n \leq 3$, siehe auch die Analyse der Normen (Kapitel 4.1). Denn der angegebene Faktor ist in dieser und in keiner anderen Norm niedergeschrieben. Dieser Widerspruch hat dazu bewogen, eine tiefgründige Recherche durchzuführen, die ergeben hat, dass SCHMIDTKE [1976, S. 130] in einem seiner früheren Werke die Größenkodierung durch die Angabe einer Stufung bzw. Vergrößerung um ≥ 20 % definiert. Jedoch ist in keiner Literatur eine konkrete Herleitung des Faktors festgehalten. Die Entwicklung des Faktors von 1,2 auf 1,5 ist ebenso nicht begründet. Aus der Kontaktaufnahme mit der Co-Autorin des oben genannten Buches haben sich keine weiteren Informationen ergeben. Selbst in den „Microsoft Windows Guidelines for Runtime Apps“ [MICROSOFT14] und „Microsoft Windows User Experience Interaction Guidelines“ [MICROSOFT10], die u. a. auch Hinweise zur Rückmeldung beinhalten, sind keine Angaben zur visuellen Rückmeldung durch Größenkodierung zu finden.

In der Abschlussarbeit von ERNST [2001] kann indirekt ein Größenkodierungsfaktor aus den Auswertungsergebnissen entnommen werden. Darin werden psychophysikalische Untersuchungen zum informatorischen Kreisprozess und zur Teilung des Informationsaustausches (Transfer) zwischen visueller und haptischer Modalität durch reale und virtuelle Präsentation von Objekten (Quadrate) untersucht. Bei einer Teiluntersuchung zur Unterscheidung der Objektgrößen sind zusätzlich zu den Größenvergleichen zwischen den Modalitäten (visuell-haptisch, haptisch-visuell) auch Größenvergleiche innerhalb der Modalitäten (rein visuell, rein haptisch) durchgeführt worden, die gewissermaßen als Referenz dienen. Der hierfür bedeutende Vergrößerungsfaktor für den visuell wahrnehmbaren Größenunterschied von dreidimensional projizierten Würfeln liegt bezogen auf die Standardgröße von 55 mm bei 1,023 [ERNST01].

4.4 Fazit 2

Die in diesem Kapitel durchgeführte Analyse u. a. zur visuellen Rückmeldung zeigt, dass die geforderte Umsetzung und Anwendung der visuellen Rückmeldung ein Hilfsmittel zur Gruppierung, Aufgliederung, Hervorhebung oder Identifizierung von Zuständen und Zustandsänderungen ist, um

- den Mensch-Maschine-Dialog und die Gestaltung der Benutzeroberfläche zu erleichtern,
- die funktionale Struktur eines Systems und die Beziehungen zwischen den Elementen und den Gruppen darzustellen,
- Informationen über Prozesse auf einfache und direkte Weise zu gewinnen, zu identifizieren und zu interpretieren,
- die Darstellungsarten von Informationen aufeinander abzustimmen.

Die Recherche über allgemeingültige Normen und Richtlinien, deren Klassifizierung und Bewertung der Gestaltungsanforderungen und -empfehlungen auf qualitativen Aussagen und quantitativen Angaben, veranschaulichen letztendlich ein Quantifizierungspotenzial der visuellen Größenkodierung. Es existiert nämlich keine Literatur, die die visuelle Rückmeldung durch Größenkodierung vollständig quantifiziert. Es werden zwar teilquantitative Angaben genannt, diese erleichtern aber, weder mit Hilfe von konkret begründeten Werten noch anhand von nachvollziehbar definierten Faktoren, keineswegs die Umsetzung der visuellen Rückmeldung durch Größenkodierung. Aus diesem Grund wird das Vorhaben verfolgt, die vollständige Quantifizierung der Größenkodierung durch eine grundlagenorientierte Untersuchung zu erreichen. Das Ziel der visuellen Größenkodierung von

optischen Stellteilen ist durch Verbesserung der Unterscheidbarkeit die Benutzungssicherheit zu erhöhen und die Betätigungszeiten zu mindern. Bei der Größenkodierung handelt es sich um eine zeitnahe visuelle Rückmeldung eines sich gerade aktualisierten Wertes durch die Größenänderung eines optischen Stellteiles.

5 Grundlagenorientierte Quantifizierung der Größenkodierung

Der Begriff Kodierung beinhaltet die Fragestellung nach der Unterscheidbarkeit auftretender Informationsänderungen ausgehend von Anzeigen und Stellteilen einer MMSS. Diese Änderung muss dem Benutzer eindeutig weitergeleitet werden, da nicht nur die Gebrauchstauglichkeit eines technischen Systems davon abhängt, sondern zugleich die Funktionssicherheit und übergeordnet auch die Arbeitssicherheit beeinflusst werden.

Im Kontext der vorliegenden Arbeit liegt die Erreichung der Unterscheidbarkeit durch eine optimale Kodierung erst vor, wenn wichtige Informationen ausgehend von den optischen Anzeigen und den optischen Stellteilen über den visuellen Informationskanal unter allen möglichen Einsatzbedingungen sicher voneinander unterschieden werden können. Dies kann bspw. durch die hier fokussierte Größenkodierung erfolgen. Weder Forschungsthemen im Bereich der Blickinteraktion noch der Norm- oder der wissenschaftliche Literaturstand berichten jedoch über eine vollständige Quantifizierung der visuellen Größenkodierung. Aus diesem Grund liegt der Schwerpunkt der vorliegenden Arbeit in der grundlagenorientierten Quantifizierung der visuellen Größenkodierung zweidimensionaler Objekte.

Die grundlagenorientierte Untersuchung befasst sich mit der Leistung der visuellen psychophysiologischen Wahrnehmung des Menschen bei der Unterscheidbarkeit von größenunterschiedlichen Objektgestalten. Für das weitere Verständnis des Untersuchungsaufbaus und der zusammenhängenden Grundgedanken wird zuerst eine Einführung in die experimentellen Methoden der Psychophysik gegeben. Danach wird die Untersuchung zur Quantifizierung der Größenkodierung durch die einzelnen Teilschritte der Untersuchung vorgestellt.

5.1 Exkurs 1: Psychophysik

Das Quantifizieren der menschlich-visuellen Erkennung des Größenunterschiedes zweidimensionaler Objektgestalten ist in die Methoden der Psychophysik einzugliedern. Die Psychophysik wird heutzutage als Teilgebiet der Wahrnehmungspsychologie betrachtet und beschäftigt sich mit der Fragestellung nach dem Verhältnis zwischen der äußeren physikalischen Welt und der durch Wahrnehmung und Gedächtnis erzeugten phänomenalen Welt.

„Unter Psychophysik soll hier eine exakte Lehre von den funktionellen Abhängigkeitsbeziehungen zwischen Körper und Seele, allgemeiner zwischen körperlicher und geistiger, physischer und psychischer Welt verstanden werden“ [FECHNER60, S. 8].

Der Ursprung der Psychophysik geht auf Ernst Heinrich WEBER [1834] mit seinen wissenschaftlichen Arbeiten ab 1834 zurück. Gustav Theodor FECHNER [1860] prägte gemeinsam mit WEBER weiterhin stark die Wissenschaft der Psychophysik. Das bedeutendste Werk FECHNERS ist „Elemente der Psychophysik“ [FECHNER60]. Darin beschreibt er das Gesamtgebiet dieser Wissenschaft und gliedert diese in eine „innere“ und „äußere“ Psychophysik.

Die innere Psychophysik bezieht sich auf den Zusammenhang zwischen den Wahrnehmungsinhalten auf der psychischen und physischen Seite mit samt den ihnen unmittelbar zugrundeliegenden Hirnprozessen. Um die sich ergebenden Zusammenhänge weiterzuverfolgen, fehlten zu seiner Zeit ausgereifte Methoden, sodass er sich auf die sogenannte äußere Psychophysik beschränken musste. Die äußere Psychophysik beschreibt einen kausalen Wirkungszusammenhang zwischen den Eigenschaften des Reizgegenstandes (distaler Reiz) und Reizvorgängen am Sinnesorgan (proximaler Reiz). So kann die Abhängigkeit der Wahrnehmungsinhalte und der Reizverhältnisse untersucht werden. Trotz allem geht er aber davon aus, dass Empfindungen nicht unmittelbar gemessen werden können. Denn über die absolute Größe einer Empfindung gibt es kein direktes Wissen. Jedoch kann die Stärke des Reizes, der die Empfindung auslöst, ermittelt, eine Reizdifferenz zwischen verschiedenen Stimuli bestimmt und ins Verhältnis zu den Urteilen über Empfindungen gesetzt werden. D. h. es wird entweder das Vorhandensein gegenüber dem nicht Vorhandensein einer Empfindung (Absolutschwelle) oder das größer, kleiner oder gleich Empfinden im Vergleich zu einer zweiten Empfindung (Unterschiedsschwelle) zugrunde gelegt. Diese Art von Messung gilt als Schwellenwertbestimmung [WEBER34], [FECHNER60].

Der zentrale Inhalt der Psychophysik ist die Schwellenwertbestimmung mit Hilfe der drei klassischen psychophysischen Methoden, die im Folgenden beschrieben werden [KEBECK97]:

a) Grenzmethode

Bei dem Verfahren der Grenzmethode werden die Probanden mit auf- und absteigenden Serien diskreter Reizgrößen konfrontiert. Eine typische Versuchsaufgabe ist dem Probanden zu Beginn mit einem deutlichen Reiz oberhalb der Schwelle so oft Reize geringerer Intensität zu präsentieren bis er keinen Reiz mehr entdeckt. Anschließend wird

die Messung in umgekehrter Richtung fortgeführt, indem beginnend mit einem deutlichen Reiz unterhalb der Schwelle mehrere Reize größerer Intensität dargeboten werden. Dieser Versuchsablauf wiederholt sich mehrfach, wobei die Intensität der zuerst dargebotenen Reize variiert. Der Reizschwellenwert lässt sich zuletzt aus dem Mittelwert der ermittelten Einzelschwellen berechnen.

b) Herstellungsmethode

Bei der Herstellungsmethode beginnt man ebenso mit der Darbietung von Reizen deutlich oberhalb oder unterhalb der Schwelle. Im Gegensatz zur Grenzmethode senkt oder steigert üblicherweise der Proband selbst die dargebotene Reizintensität bis keine oder eben eine merkbare Empfindung hervorgerufen wird. Charakteristisch dabei ist, dass die Intensität kontinuierlich veränderbar ist und verändert wird, z. B. durch Drehen eines Drehreglers. Auch hier wird der Schwellenwert aus dem Mittelwert der erzielten Grenzwerte ermittelt.

c) Konstanzmethode

Bei der Methode der konstanten Reize, die in der vorliegenden Arbeit Anwendung findet, werden den Probanden in zufälliger Folge mehrere schwellennahe Reize unterschiedlicher Intensitäten dargeboten. Im Gegensatz zu den beiden anderen Methoden werden hierbei immer zwei Reize miteinander verglichen. Der Ausgangsreiz ist stets konstant. Der Proband gibt nach jeder Reizsituation eine Antwort über die Erkennbarkeit des Unterschiedes zwischen Ausgangsreiz und Vergleichsreiz, d. h. er gibt Auskunft darüber, ob er einen Unterschied erkannt hat, dieser größer oder kleiner war, oder ob er keinen Unterschied festgestellt hat. Es entstehen Proportionen zwischen den Reizgrößen und den Größer/Kleiner-Antworten, die sich durch sogenannte psychophysische Funktionen abbilden lassen. Mit Hilfe der statistisch ermittelten psychophysischen Funktion kann die absolute Unterschiedsschwelle als die Reizgröße bestimmt werden, die 50 % der Ja-Antworten herbeiführt. Diese Vorgehensweise wird von der Verteilung der Ergebnisse charakterisiert, denn die Schwellenmessungen weisen typischerweise eine Gauß'sche Normalverteilung der Ergebnisse auf. Die höchste Anzahl richtiger Antworten bei einem einzuschätzenden Reiz entspricht hierbei dem Hochpunkt der Gauß'schen Normalverteilung. Dies besagt, dass bis zu diesem Punkt oder genauer bis zu dieser Reizintensität bereits in 50 % aller Fälle korrekte Antworten gegeben werden.

Der Unterschied zwischen den Methoden liegt neben dem Versuchsablauf vor allem in der Versuchsdauer und in der Genauigkeit der Ergebnisse. Die Herstellungsmethode lässt sich am schnellsten durchführen, ist aber auch am ungenauesten. Dahingegen liefert

die Konstanzmethode die genauesten Schwellenwerte, wofür aber die meiste Zeit benötigt wird [GESCHIEDER85]. Es gibt noch weitere Methoden zur Schwellenwertmessung, bspw. die Paarvergleichsmethode, Rangplatzmethode, Ratingskalen-Methode und die Methode der mehrdimensionalen Skalierung. Sie lassen sich aber immer einer der drei hier aufgeführten Methoden in abgeänderter Weise zuordnen.

Zusammengefasst gilt für die Festlegung der Schwellenwertbestimmung, dass die absolute Schwelle nicht der erkennbar schwächste Reiz ist, sondern derjenige Reiz, der von den Probanden in 50 % der Versuchsdurchgänge wahrgenommen wird. Ebenso ist die Unterschiedsschwelle nicht die erkennbar kleinste Reizdifferenz, sondern diejenige Reizdifferenz, die in 50 % der Versuchsdurchgänge wahrgenommen wird. Die Begründung dafür liefern die sich einstellenden Ergebnisse eines entsprechend ausgelegten Schwellenexperimentes. Denn wäre der Schwellenwert die kleinste oder größte Reizdifferenz, die wahrgenommen werden kann, dann müsste das Experiment sprunghafte Funktionen liefern, wie in Bild 5.1 links dargestellt. Dies spiegelt aber nicht die Ergebnisse einer Schwellenwertbestimmung wieder. Empirisch gewonnene Ergebnisse zeigen nämlich meist psychophysische Funktionen mit einem s-förmigen Verlauf auf. Es stellt sich also ein eher kontinuierlicher Übergang ein, wie in Bild 5.1 rechts dargestellt [VELDEN82].

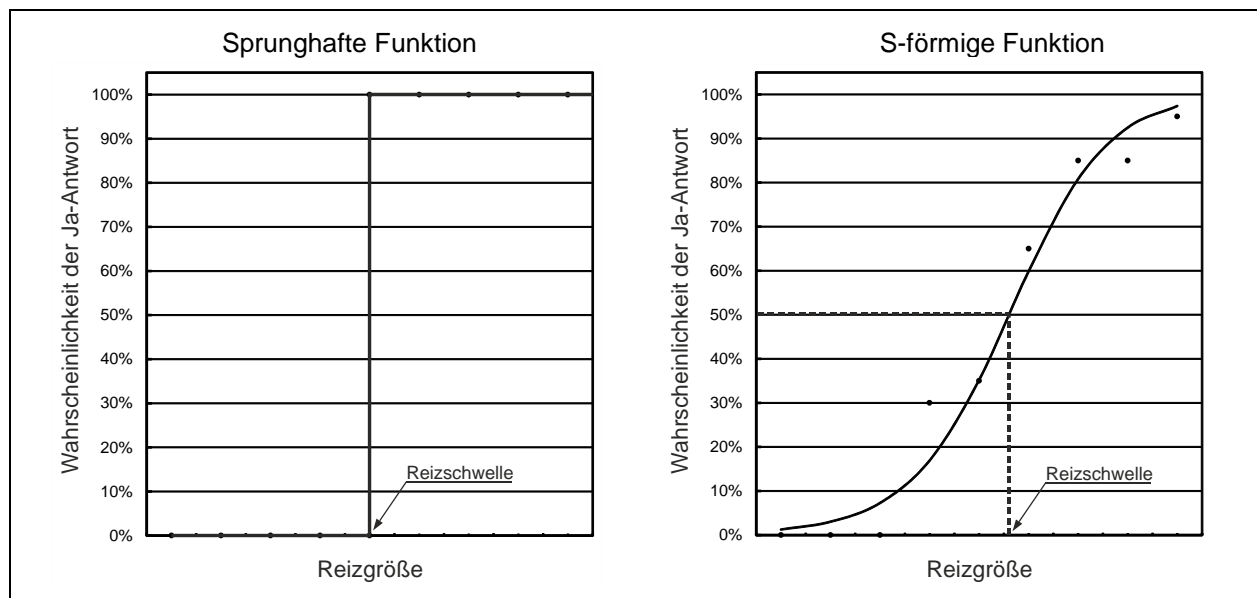


Bild 5.1: Schematische Darstellungen der Schwellenwertbestimmung [VELDEN82]

Eine Erklärung dafür ist, dass ein Reiz bei mehrmaliger Präsentation nicht immer genau die gleichen, sondern unterschiedliche Empfindungen hervorruft. Diese unterschiedlichen Empfindungen schwanken zufällig um einen Mittelwert. Verantwortlich dafür können

interne Wahrnehmungs-, Aufmerksamkeits-, Entscheidungs- und Urteilsprozesse, aber auch externe Umgebungseinflüsse sein [THURSTONE27]. Aus diesem Grund können die erzielten Ergebnisse mehrdeutig sein, was gleichzeitig die Schwäche der Methoden zur Bestimmung von Schwellenwerten darstellt. Aus den zugehörigen psychophysischen Funktionen ist nämlich nicht ersichtlich, ob die Ergebnisse eher Resultat eines unterschiedlichen Antwortkriteriums sind oder tatsächliche Unterschiede in der Sinnesempfindlichkeit der Probanden widerspiegeln. Dies legt nahe, dass psychophysische Experimente mit Mitteln der statistischen Entscheidungstheorie zu analysieren sind. Hierzu hat die Signalentdeckungstheorie (SDT) Vorschläge gemacht, die heute eine breite Verwendung finden, aber an dieser Stelle aufgrund des Umfangs nicht tiefgründiger erläutert werden. Erwähnenswert sind die Antwortmöglichkeiten, die den bestimmten Empfindungsstärken entsprechen. Sie stellen sich wie folgt zusammen:

- Eine Reizdifferenz wird dargeboten und der Proband entdeckt diese (Treffer) oder entdeckt diese nicht (Verpasser).
- Es wird keine Reizdifferenz dargeboten und der Proband gibt an, eine entdeckt (falscher Alarm) oder keine entdeckt (korrekte Ablehnung) zu haben.

Somit könnte sich, wie in Tab. 5.1 aufgezeigt, folgende Auswertung ergeben.

		Antwort	
		ja	nein
Reiz	ja	Treffer	Verpasser
	nein	falscher Alarm	korrekte Ablehnung

Tab. 5.1: Einordnung der Antwortmöglichkeiten

Bedeutend ist nun für ein psychophysisches Experiment eine exakte mathematische Beziehung zwischen dem Reiz und der Empfindung über das ganze Kontinuum möglicher Reizstärken zu bestimmen. Dafür muss erst eine Skala konstruiert werden. Dieser Vorgang wird psychophysische Skalierung genannt. Es gibt zwei verschiedene Herangehensweisen bei der Skalierung. Bei der direkten Skalierungsmethode schätzen die Probanden entsprechende Empfindungsstärken ein. Bei der auf FECHNER [1860] zurückgehenden indirekten Skalierungsmethode vergleichen die Probanden die Intensitäten von Reizdifferenzen miteinander, woraus die Unterschiedsschwelle ermittelt werden

kann. Darauf beruht das WEBER'sche Gesetz [WEBER05], welches besagt, dass ein geometrisch gestufter Reizzuwachs eine gleich steigende Unterschiedsempfindung hervorruft und somit die relative Unterschiedsschwelle konstant ist. Damit ist gemeint, dass der eben merkbare Unterschied zwischen zwei Reizen ($\Delta S = S_1 - S_0$) zu der Größe des Bezugsreizes (S_0) in einem näherungsweise konstanten Verhältnis steht. Mit K als WEBER'schen Quotienten wird folgende Gleichung aufgestellt (siehe Gleichung 5.1) [WEBER05]:

$$K = \frac{\Delta S}{S} = \frac{S_1 - S_0}{S_0} = \frac{S_1}{S_0} - 1 \quad (\text{Gl. 5.1})$$

Bezugnehmend auf die hier untersuchte Größenkodierung durch Ermittlung von Unterschiedsschwellen, die ebenso als Maß für die Größenkodierungsfaktoren angegeben werden, kann in Abhängigkeit derer eine Umformung des WEBER'schen Gesetzes vorgenommen werden. Ein Größenkodierungsfaktor (GKF) beschreibt den Wert, mit dem ein Ausgangsreiz ($S_A = S_0$) multipliziert werden muss, um die Größe des veränderten Reizes ($S_V = S_1$) zu erhalten. Der WEBER'sche Quotient K kann somit durch den Größenkodierungsfaktor (GKF) ausgedrückt werden (siehe Gleichung 5.2):

$$S_V = S_A \cdot \text{GKF} \quad (\text{Gl. 5.2})$$

$$K = \frac{S_V}{S_A} - 1 = \text{GKF} - 1 \quad (\text{Gl. 5.3})$$

Für eine korrekte Umrechnung des WEBER'schen Quotienten durch den Größenkodierungsfaktor bei Verkleinerung des Vergleichsreizes soll dabei auf die Bildung des Kehrwerts geachtet werden.

Um den theoretischen Ansatz vollständig zu erklären, werden im Folgenden die für diese Arbeit eher zweitrangigen psychophysischen Gesetze vorgestellt. Im Gegensatz zum WEBER'schen Ansatz ist das Ziel des FECHNER'schen Gesetzes einen mathematischen Zusammenhang zwischen objektiven Reizstärken (S) und subjektiven Empfindungsstärken ($E = N$) zu formulieren. Es wird davon ausgegangen, dass derjenige Reiz einen Empfindungswert $N = 1$ erhält, der um eine Unterschiedsschwelle von der absoluten Schwelle verschieden ist. Aus Gleichung 5.1 ergibt sich:

$$S_1 = S_0 \cdot (K + 1) \quad (\text{Gl. 5.4})$$

Entsprechend gilt weiter:

$$S_2 = S_0 \cdot (K + 1)^2 \quad (\text{Gl. 5.5})$$

Daraus folgt, dass sich eine Reizstärke S_N zu einer vorgegebenen Empfindungsstärke N beschreiben lässt zu:

$$S_N = S_0 \cdot (K + 1)^N \quad (\text{Gl. 5.6})$$

Wenn Gleichung 5.6 nach N aufgelöst wird, ergibt sich eine logarithmische Gleichung 5.7 für den Empfindungswert N durch einen gegebenen Reizwert S_N . Die nähere Erläuterung der mathematischen Umformung wird hier nicht aufgezeigt:

$$N = c \cdot \log S_N + C \quad (\text{Gl. 5.7})$$

Wenn nun S_0 als absoluter Schwellenwert für einen Reiz definiert wird, der nötig ist, um überhaupt etwas zu empfinden, dann folgt:

$$N(S_0) = c \cdot \log S_0 + C = 0 \quad (\text{Gl. 5.8})$$

Entsprechend gilt:

$$C = -c \cdot \log S_0 \quad (\text{Gl. 5.9})$$

Somit ergibt sich das FECHNER'sche Gesetz,

$$N(S) = c \cdot \log S - c \cdot \log S_0 = c \cdot \log \frac{S}{S_0} \quad (\text{Gl. 5.10})$$

wobei die Proportionalitätskonstante $c = \frac{1}{\log(1+K)}$ zusätzlich von der WEBER'schen Konstante K abhängt. Ersichtlich ist dadurch, dass eine Verdoppelung eines Reizes nicht zu einer Verdoppelung einer Empfindung führt, sondern der Zuwachs der Empfindung aufgrund des Logarithmus mit wachsendem Reiz immer geringer wird.

Des Weiteren ist für die direkte Skalierungsmethode das STEVENS'sche Gesetz von großer Bedeutung [STEVENS75]. Mit Hilfe dieses Potenzgesetzes lassen sich eine Reihe experimenteller Daten wesentlich besser beschreiben, als es mit dem Gesetz nach FECHNER möglich ist. Für eine genauere Beschreibung kann folgende Literatur hinzugezogen werden. Ausführlichere Darstellungen mit theoretischen Grundlagen und Anwendungsbeispielen können bspw. auch in GESCHIEDER [1985] und ERNST [2001] gefunden werden.

5.2 Untersuchungsbeschreibung und Hypothesen

Die exakte Definition der visuellen Größenkodierung ist die zeitnahe visuelle Rückmeldung einer sich gerade aktualisierten Information durch die Größenänderung der optischen Anzeige oder des optischen Stellteiles.

Das Ziel der Untersuchung ist die Größenkodierung von visuell dargebotenen Objekten zu quantifizieren, indem Unterschiedsfaktoren verschiedener Objektgrößen und Darbietungen ermittelt werden. Da das Erkennen von unterschiedlichen Objektgrößen im Kern die menschliche visuelle Wahrnehmung und dessen Wahrnehmungsgrenzen betrifft, basiert die Untersuchung auf der psychophysischen Methode zur Messung der Unterschiedsschwelle. Wie bereits im vorherigen Kapitel erwähnt, definiert die Unterschiedsschwelle denjenigen Wert, um den ein Vergleichsreiz größer, kleiner oder gleich als ein Ausgangsreiz sein muss, damit er merklich als größer, kleiner oder gleich empfunden wird.

Vorab soll darauf hingewiesen werden, dass die Erkennbarkeit und die Leserlichkeit einer Information von mehreren Einflüssen abhängen. In Tab. 5.2 sind die jeweiligen Einflüsse aufgelistet. Die darin fett hervorgehobenen Einflüsse stehen im Zusammenhang mit der in der vorliegenden Arbeit durchgeführten Untersuchung.

Kategorie	Einflüsse	
Zeichenabhängige Einflüsse	<ul style="list-style-type: none"> - Zeichenart - Zeichengröße - Strichstärke - Zeichenweite - Zeichenabstand 	<ul style="list-style-type: none"> - Schreibweise (Groß-/Kleinschreibung) - Konturenschärfe - Farbe der Schriftzeichen - Kontrast zum Zeichenträger/Hintergrund - Leuchtdichte
Textabhängige Einflüsse	<ul style="list-style-type: none"> - Textmenge - Zeilenabstand - Wortabstand - Textabstand 	<ul style="list-style-type: none"> - Zeilenanordnung - Zeilenlänge - Spaltenabstand - Seitenrand
Zeichenträgerabhängige Einflüsse	<ul style="list-style-type: none"> - Form - Werkstoff - Leuchtdichte - Reflexionsverhalten 	<ul style="list-style-type: none"> - Oberflächenbeschaffenheit - Farbe des Zeichenträgers - Kontrast zum Schriftzeichen - Opazität
Produktionsabhängige Einflüsse	<ul style="list-style-type: none"> - Optische Dichte - Auflösungsfeinheit - Farbverbindlichkeit 	<ul style="list-style-type: none"> - Lichtbeständigkeit - Haltbarkeit
Personenabhängige Einflüsse	<ul style="list-style-type: none"> - Sehschärfe (Visus) - Adaptation - Bekanntheitsgrad des Textes 	<ul style="list-style-type: none"> - Farbsehtüchtigkeit - Kontrastempfindlichkeit
Situationsbedingte Einflüsse	<ul style="list-style-type: none"> - Darbietungsabstand - Verfügbare Lesezeit - Bewegung von Betrachter und/oder Informationselement 	<ul style="list-style-type: none"> - Betrachtungswinkel - Umgebungsbedingungen/Lichtverhältnisse

Tab. 5.2: Einflüsse auf die Erkennbarkeit von Informationen

Insgesamt umfasst die Untersuchung die Unterschiedserkennung zwischen geometrisch gepaarten, normiert-gestuften Objektgrößen in paralleler und serieller Darbietung bei unterschiedlichem Darbietungsabstand und unterschiedlich unbuntem Form-Hintergrund-Kontrast.

Bei der parallelen Darbietung wird der normiert-gestufte Ausgangsreiz mit dem jeweilig gepaarten Vergleichsreiz gleichzeitig angezeigt. Im Gegensatz dazu werden bei der seriellen Darbietung der Ausgangs- und Vergleichsreiz hintereinander geschaltet. Dadurch wird im Vergleich zu realitätsnahen Bedienoberflächen zum einen die Rückmeldung über die optische Anzeige parallel zu anderen optischen Anzeigen abgedeckt und zum anderen die Rückmeldung über das optische Stellteil seriell im Kontext der anzeigenden Interaktionsmöglichkeit und -ausführung betrachtet. Durch den variierten Darbietungsabstand und unbuntem Form-Hintergrund-Kontrast soll eine zusätzliche Präzisierung der Größenkodierung erreicht werden. Auf den folgenden Seiten wird der Umfang und Aufbau der Untersuchung genauer dargestellt.

Bild 5.2 zeigt die vier untersuchten Grundformen mit den variablen und fixen Parametern.

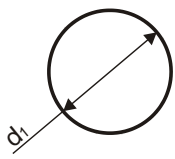
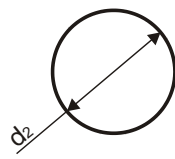
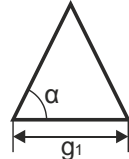
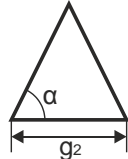
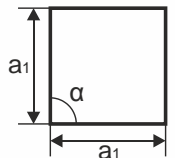
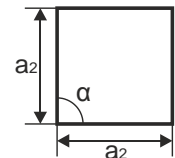
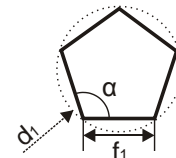
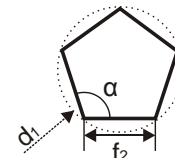
	Kreis		Dreieck	
	Ausgangsreiz	Vergleichsreiz	Ausgangsreiz	Vergleichsreiz
Zustände				
Var. Para.	$D_1 = 10 / 15 / 25 \text{ mm}$	$d_2 = d_1 \text{ SF}_x^*)$	$g_1 = 10 / 15 / 25 \text{ mm}$	$g_2 = g_1 \cdot \text{SF}_x^*)$
Fix. Para.	-	-	$\alpha = 60^\circ$	$\alpha = 60^\circ$
	Quadrat		Fünfeck	
	Ausgangsreiz	Vergleichsreiz	Ausgangsreiz	Vergleichsreiz
Zustände				
Var. Para.	$A_1 = 10 / 15 / 25 \text{ mm}$	$a_2 = a_1 \text{ SF}_x^*)$	$f_1 = f_1(d_1)^{**})$	$f_2 = f_1 \cdot \text{SF}_x^*)$
Fix. Para.	$A = 60^\circ$	$\alpha = 60^\circ$	$\alpha = 108^\circ$	$\alpha = 108^\circ$
<p>*) SF_x = Skalierungsfaktor bei entsprechender Ordnungsnummer x (siehe S. 82). **) $f_1(d_1)$ = Die Grundseite f_1 ergibt sich aus dem Durchmesser $d_1 = 10 / 15 / 25 \text{ mm}$.</p>				

Bild 5.2: Verwendete geometrische Grundformen als optische Stimuli

An dieser Stelle sei nochmal die Eingrenzung angemerkt, d. h. dass ausschließlich die Größenkodierung zweidimensionaler optischer Stimuli untersucht wird. Durch eine Formvereinfachung der zweidimensionalen optischen Anzeigen und Stellteile, die bei der MMIA häufig einen Einsatz finden, ist die Entscheidung auf vier repräsentative geometrische Grundformen gefallen. Es sind elementare, geometrische Grundformen, die durch die gezielte Trennung der formalen Aspekte eindeutig beschrieben sind. Die ausgeschlossenen formalen Aspekte sind bspw. zusätzliche grafische Elemente, Farb- und Formelemente wie Kantenabrundungen, Schatten, Spiegelungen, Piktogramme, Farbverläufe. Dadurch soll ein grundlegendes und eindeutiges Ergebnis der Größenkodierung bezogen auf die Grundform ohne zusätzliche Abhängigkeiten erzielt werden.

Die gewählten Ausgangsgrößen, $a = 10 / 15 / 25$ mm, leiten sich aus dem physiologischen Aufbau des visuellen Wahrnehmungsapparats des Menschen und damit zusammenhängend aus der Genauigkeit eines Blickinteraktionssystems ab. Bild 5.3 zeigt die schematische Vereinfachung des visuellen Wahrnehmungsapparates mit den Sehstrahlen, den Werten der berechneten und letztendlich gewählten Ausgangs- bzw. Objektgrößen. Wie im Grundlagenteil der vorliegenden Arbeit bereits erwähnt (siehe Kapitel 2.3.1.1), ist die Fovea der Punkt des schärfsten Sehens und liegt auf der Sehachse des Menschen. Dieser hochauflösende Bereich begrenzt die Positionsgenauigkeit des Auges mit einem visuellen Winkel von $\alpha = 1^\circ$. Durch die trigonometrischen Winkelbeziehungen und die für

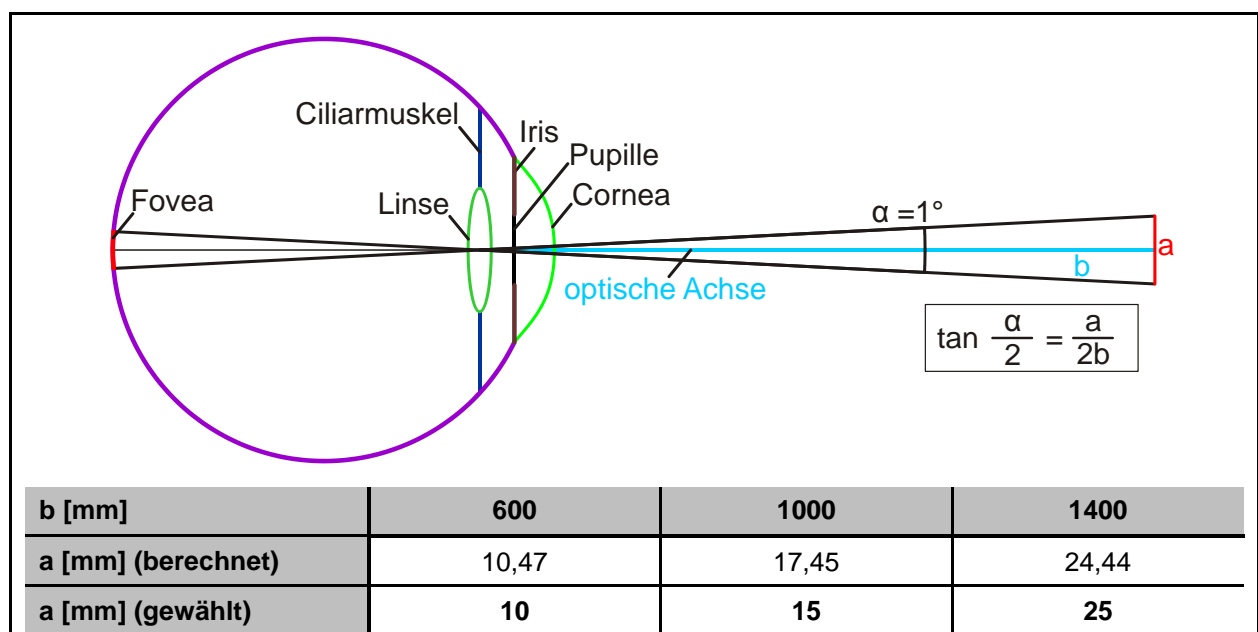


Bild 5.3: Schematische Vereinfachung der Sehstrahlen, Winkelbeziehung und Objektgrößenauswahl

gewöhnlich ausgelegten Gebrauchsabstände ($b = 600 / 1000 / 1400$ mm) können somit näherungsweise die Objektgrößen für das scharfe Sehen begründet werden.

Um die entsprechenden Größenunterschiedsfaktoren zu ermitteln, folgt nach der Festlegung der Ausgangsgrößen nun die Auslegung der Größenvariationen. Diese werden durch die fein gestufte Normzahlenreihe R80 festgelegt.









Nach DIN323-1 und DIN323-2 sind Normzahlen, sogenannte Vorzugszahlen, für die Wahl beliebiger Größen und gehen auf Renard zurück, der um 1877 die geometrische Stufung eingeführt hat. Normzahlen sind gerundete Glieder geometrischer Reihen, die die ganzzahligen Potenzen von 10 enthalten. Die Bezeichnung einer Normzahlenreihe erfolgt mit der Angabe R und einer nachfolgenden Kennziffer r. Die Kennziffer r gibt die Anzahl der Stufen je Dezimalbereich an, in diesem Fall $r = 80$. Das Verhältnis eines Gliedes zum vorhergehenden heißt Stufensprung $q_r = \sqrt[r]{10}$. Der Stufensprung beschreibt den prozentualen Zuwachs von Glied zu Glied und ist innerhalb einer Reihe konstant [DIN323-1], [DIN323-2].

Die Vergleichsgrößen ergeben sich somit aus einer Skalierung mit stets demselben Stufensprung der Ausgangsgröße. In diesem Fall mit einem Stufensprung von $q_r = 1,0292$. Nach mehreren Testversuchen werden für die Untersuchung insgesamt 16 Vergleichsgrößen bei paralleler Darbietung und 10 Vergleichsgrößen bei serieller Darbietung festgelegt. Tab. 5.3 zeigt die gerundeten Skalierungsfaktoren (SF) mit den Ordnungsnummern (O-Nr.) für die jeweilige Darbietung. Das „+“ bzw. „-“-Vorzeichen kennzeichnen die Vergrößerung bzw. Verkleinerung der Ausgangsgröße um den entsprechenden Skalierungsfaktor.

Normzahlenreihe R80 mit einem Stufensprung $q_r = 1,0292$																	
Parallele Darbietung:																	
O-Nr.	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SF	0,794	0,818	0,841	0,866	0,891	0,917	0,944	0,972	1	1,029	1,059	1,090	1,122	1,155	1,189	1,223	1,259
Serielle Darbietung:																	
O-Nr.	-6	-5	-4	-3	-2	1	2	3	4	5	6						
SF	0,866	0,891	0,917	0,944	0,972	1	1,029	1,059	1,090	1,122	1,155						









Tab. 5.3: Skalierungsfaktoren

Zusammengefasst besteht die Untersuchung aus der Unterschiedserkennung von gepaarten, normiert-gestuftem Objektgrößen ausgehend von zwei Darbietungsvarianten (parallel / seriell) und drei Ausgangsgrößen ($a = 10 / 15 / 25 \text{ mm}$) bei unterschiedlichem Darbietungsabstand ($b = 600 / 1000 / 1400 \text{ mm}$) und unterschiedlich unbuntem Form-Hintergrund-Kontrast (schwarz / weiß). Die Angabe der Versuchsreihe VR wird mit der jeweiligen Darbietungsvariante, der Form, dem Hintergrundfarbton (s für schwarz / w für weiß) und der Ausgangsgröße abgekürzt. Beispielsweise ist folgende Angabe VR_P/K/w/10 als Versuchsreihe mit paralleler Darbietung, einem Kreis als Darbietungsobjekt mit einem weißen Hintergrund und einem Durchmesser von $\varnothing = 10 \text{ mm}$ zu interpretieren. Insgesamt sind es 22 VR je Darbietungsvariante. Jede VR wird bei jedem Darbietungsabstand untersucht. Tab. 5.4 und Tab. 5.5 zeigen einen Überblick des Untersuchungsumfanges.

Überblick des Untersuchungsumfanges										
Parallele Darbietung:										
Versuchsreihe	Form-Hintergrund-Kontrast	Darbietungsabstand								
		600 mm			1000 mm			1400 mm		
VR_P/K/w		$\varnothing = 10 \text{ mm}$	$\varnothing = 15 \text{ mm}$	$\varnothing = 25 \text{ mm}$	$\varnothing = 10 \text{ mm}$	$\varnothing = 15 \text{ mm}$	$\varnothing = 25 \text{ mm}$	$\varnothing = 10 \text{ mm}$	$\varnothing = 15 \text{ mm}$	$\varnothing = 25 \text{ mm}$
VR_P/K/s		$\varnothing = 10 \text{ mm}$	$\varnothing = 15 \text{ mm}$	$\varnothing = 25 \text{ mm}$	$\varnothing = 10 \text{ mm}$	$\varnothing = 15 \text{ mm}$	$\varnothing = 25 \text{ mm}$	$\varnothing = 10 \text{ mm}$	$\varnothing = 15 \text{ mm}$	$\varnothing = 25 \text{ mm}$
VR_P/Q/w		$a = 10 \text{ mm}$	$a = 15 \text{ mm}$	1)	$a = 10 \text{ mm}$	$a = 15 \text{ mm}$	1)	$a = 10 \text{ mm}$	$a = 15 \text{ mm}$	1)
VR_P/Q/s				1)			1)			1)
VR_P/D/w		$g = 10 \text{ mm}$	$g = 15 \text{ mm}$	$g = 25 \text{ mm}$	$g = 10 \text{ mm}$	$g = 15 \text{ mm}$	$g = 25 \text{ mm}$	$g = 10 \text{ mm}$	$g = 15 \text{ mm}$	$g = 25 \text{ mm}$
VR_P/D/s		$g = 10 \text{ mm}$	$g = 15 \text{ mm}$	$g = 25 \text{ mm}$	$g = 10 \text{ mm}$	$g = 15 \text{ mm}$	$g = 25 \text{ mm}$	$g = 10 \text{ mm}$	$g = 15 \text{ mm}$	$g = 25 \text{ mm}$
VR_P/F/w		$\varnothing = 10 \text{ mm}$	$\varnothing = 15 \text{ mm}$	$\varnothing = 25 \text{ mm}$	$\varnothing = 10 \text{ mm}$	$\varnothing = 15 \text{ mm}$	$\varnothing = 25 \text{ mm}$	$\varnothing = 10 \text{ mm}$	$\varnothing = 15 \text{ mm}$	$\varnothing = 25 \text{ mm}$
VR_P/F/s		$\varnothing = 10 \text{ mm}$	$\varnothing = 15 \text{ mm}$	$\varnothing = 25 \text{ mm}$	$\varnothing = 10 \text{ mm}$	$\varnothing = 15 \text{ mm}$	$\varnothing = 25 \text{ mm}$	$\varnothing = 10 \text{ mm}$	$\varnothing = 15 \text{ mm}$	$\varnothing = 25 \text{ mm}$

¹⁾ Um die Versuchsdauer zu verkürzen sind diese VR entfallen.

Tab. 5.4: Überblick des Untersuchungsumfanges bei paralleler Darbietung

Überblick des Untersuchungsumfangs										
Serielle Darbietung:										
Versuchsreihe	Form-Hintergrund-Kontrast	Darbietungsabstand								
		600 mm			1000 mm			1400 mm		
VR_S/K/w		Ø = 10 mm	Ø = 15 mm	Ø = 25 mm	Ø = 10 mm	Ø = 15 mm	Ø = 25 mm	Ø = 10 mm	Ø = 15 mm	Ø = 25 mm
VR_S/K/s		Ø = 10 mm	Ø = 15 mm	Ø = 25 mm	Ø = 10 mm	Ø = 15 mm	Ø = 25 mm	Ø = 10 mm	Ø = 15 mm	Ø = 25 mm
VR_S/Q/w		a = 10 mm	1)	a = 25 mm	a = 10 mm	1)	a = 25 mm	a = 10 mm	1)	a = 25 mm
VR_S/Q/s		a = 10 mm	1)	a = 25 mm	a = 10 mm	1)	a = 25 mm	a = 10 mm	1)	a = 25 mm
VR_S/D/w		g = 10 mm	g = 15 mm	g = 25 mm	g = 10 mm	g = 15 mm	g = 25 mm	g = 10 mm	g = 15 mm	g = 25 mm
VR_S/D/s		g = 10 mm	g = 15 mm	g = 25 mm	g = 10 mm	g = 15 mm	g = 25 mm	g = 10 mm	g = 15 mm	g = 25 mm
VR_S/F/w		Ø = 10 mm	Ø = 15 mm	Ø = 25 mm	Ø = 10 mm	Ø = 15 mm	Ø = 25 mm	Ø = 10 mm	Ø = 15 mm	Ø = 25 mm
VR_S/F/s		Ø = 10 mm	Ø = 15 mm	Ø = 25 mm	Ø = 10 mm	Ø = 15 mm	Ø = 25 mm	Ø = 10 mm	Ø = 15 mm	Ø = 25 mm

¹⁾ Um die Versuchsdauer zu verkürzen sind diese VR entfallen.

Tab. 5.5: Überblick des Untersuchungsumfangs bei serieller Darbietung

Es sollen zunächst die Unterschiedsschwellen der einzelnen Versuchsreihen für jede Objektgestalt bei entsprechender Skalierungsrichtung, Darbietungsvariante (parallel / seriell) und Objektgröße erfasst und interpretiert werden. Ebenso werden die Ergebnisse des unbunten Form-Hintergrund-Kontrastes und des Darbietungsabstandes diskutiert. Zuletzt folgen eine Analyse und ein Vergleich der Unterschiedsschwellen zwischen den einzelnen Objektgestalten.

Dabei stellen sich folgende Hypothesen auf, die verifiziert werden sollen:

- H-1.1) Die Unterschiedsschwelle hängt von der Skalierungsrichtung ab.
- H-1.2) Die Unterschiedsschwelle hängt von der Darbietungsvariante (parallel / seriell) ab.
- H-1.3) Die Unterschiedsschwelle hängt von der Objektgröße ab.

- H-2) Die Unterschiedsschwelle hängt vom unbunten Form-Hintergrund-Kontrast ab.
- H-3) Die Unterschiedsschwelle hängt vom Darbietungsabstand ab.
- H-4) Die Unterschiedsschwelle hängt von der Objektgestalt ab.

5.3 Untersuchungsablauf und Probandenkollektiv

Die gesamte Untersuchung wird in ein und derselben Raumumgebung durchgeführt. Es ist immer derselbe Computer und Monitor (siehe Bild 5.4) im Einsatz, an dem die visuelle Darbietung erfolgt. Dadurch wird gewährleistet, dass keine externen Faktoren die Messergebnisse beeinflussen. Des Weiteren ist die Monitorauflösung zu beachten. Der eingesetzte LCD-Monitor der Firma Benq, Modell ET-0009-B, hat eine Auflösung von 1920x1200 bei einer Bildschirmdiagonalen von 24 Zoll mit einer Pixel-Abmessung von 0,27 mm. Für die Darbietung der Ausgangsgrößen ($a = 10 / 15 / 25$ mm) muss auf die Pixel-Umrechnung geachtet werden.

Zuerst werden die Versuchsteilnehmer bzw. Probanden in die Untersuchung eingeführt, indem der Hintergrund, die Vorgehensweise und der Aufbau der Untersuchung erklärt wird. Bevor die eigentliche Untersuchung startet, wird zuerst das Sehvermögen der Probanden in einem einfachen Sehtest geprüft. Danach folgt ein kurzer Testlauf, um den Probanden auf die visuelle Darbietung und die eigentliche Versuchsaufgabe einzustimmen. Dadurch können auch auftretende Priming-Effekte gemindert werden, d. h. die evtl. ansteigende Sensibilisierung der Probanden während der einzelnen Durchläufe kann damit auf ein konstantes Niveau gebracht werden. Bild 5.4 zeigt den Untersuchungsaufbau und den Sehtest.

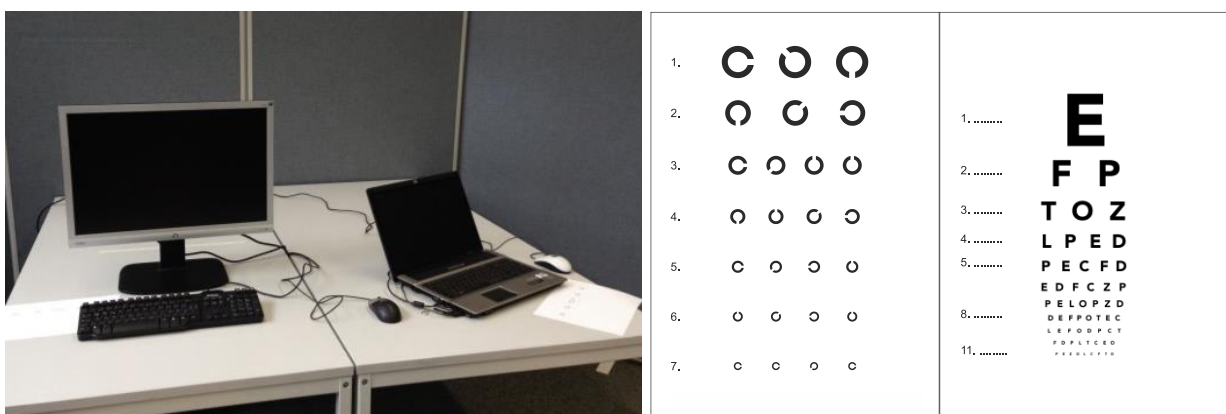


Bild 5.4: Untersuchungsaufbau (links) und einfacher Sehtest (rechts)

An der Untersuchung nehmen insgesamt 20 Probanden teil (siehe Tab. 5.6). Darunter sind sowohl fachkundige Studenten und Mitarbeiter des Instituts als auch fachfremde Personen. Davon sind sieben Probanden weiblich und 13 Probanden männlich. Das Durchschnittsalter des Probandenkollektivs beträgt 26,92 Jahre mit einer Standardabweichung von 3,24 Jahren. Der jüngste Proband ist 20 Jahre und der älteste 34 Jahre alt. Alle Probanden besitzen mit und ohne Sehhilfen ein 100 %-iges Sehvermögen. In Tab. 5.6 sind die Daten zum Probandenkollektiv im Weiteren zusammengestellt.

Anzahl der Probanden [-]	Anzahl männlich [-]	Anzahl weiblich [-]	Durchschnittsalter [Jahre]	Standardabweichung [Jahre]	Jüngster Proband [Jahre]	Ältester Proband [Jahre]
20	13	7	27	3,24	20	34

Tab. 5.6: Das Probandenkollektiv

Die Versuchsreihen werden den Probanden randomisiert dargeboten. Die Probanden geben nach jedem Darbietungspaar ihre Antwort ab, d. h. ob sie einen oder keinen Unterschied zwischen den zwei präsentierten Stimuli erkennen und wenn ja, ob dieser Unterschied „deutlich kleiner“, „kleiner“, „größer“ oder „deutlich größer“ ist. Diese bewusst gewählte Stufung (ordinal-skaliert) zielt auf das „deutliche“ Erkennen eines Unterschiedes ab, da zwischen „kein Unterschied“ und „kleiner“ bzw. „größer“ falsche Antworten liegen können. Dadurch entfällt ebenso die Auswertung des gesamten Antwortkriteriums (siehe Tab. 5.1), wie aus der Signalentdeckungstheorie bekannt. Im Falle einer sicherheitsrelevanten Auslegung einer Benutzeroberfläche muss nämlich der Größenunterschied in allen Bediensituationen deutlich zu erkennen sein. Die Antwortmöglichkeiten werden den Probanden auf einer kleinen Tafel, die unterhalb am Monitor befestigt ist, zur Hilfestellung dargestellt. Die Aussagen der Probanden werden vom Untersuchungsleiter sofort digital aufgenommen.

Zur zeitlichen Darbietung für die Unterschiedserkennung ist zu erwähnen, dass bei der parallelen Darbietungsvariante die Darbietungspaare zwei Sekunden angezeigt werden, danach verschwinden und zwei Sekunden später ein neues Paar softwaregesteuert erscheint. Bei der seriellen Darbietungsvariante wird das Vergleichsobjekt immer vom Probanden per Tastendruck herbeigerufen, welches nach einer Sekunde softwaregesteuert verschwindet und zwei Sekunden später das nächste Ausgangsobjekt erscheint. An dieser Stelle soll die konstant gehaltene Auslegung der Darbietungspaare erwähnt werden. Die Strichstärke beträgt durchweg 0,35 mm. Bei der parallelen Auslegung sind

die dargebotenen Objekte unterschiedlicher Grundformen auf der waagrechten Mittelachse positioniert und der Abstand zwischen den Objekten beträgt stets 35 mm. Bei der seriellen Auslegung sind die Objekte jeweils zentriert. Bild 5.5 zeigt die Darbietungspaare bei paralleler und serieller Auslegung und die zur Untersuchung zugehörige Antwortskala.

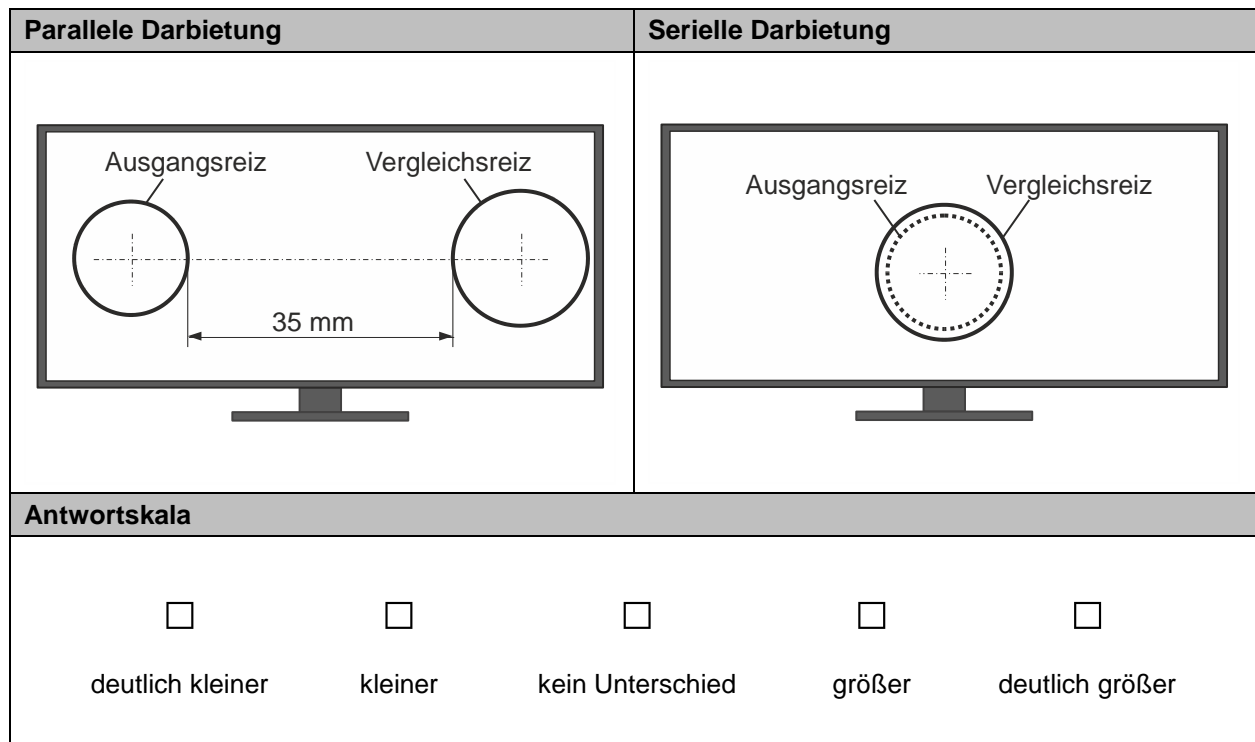


Bild 5.5: Auslegung der Darbietungspaare (oben) und Antwortskala (unten)

5.4 Untersuchungsergebnisse

Die Unterschiedsschwellen werden mit der Konstanzmethode aus der Psychophysik ermittelt. Dabei werden deskriptiv für alle Versuchsreihen die relativen Häufigkeiten der Antworten „deutlich kleiner“ und „deutlich größer“ in Abhängigkeit vom Skalierungsfaktor berechnet. Neben den relativen Häufigkeiten werden für jede Versuchsreihe psychometrische Funktionen mit dem Statistikprogramm SPSS 17.0 geschätzt, indem durch Transformation der fünfstufigen Ordinalskala auf die zweistufige, dichotome Eigenschaft für die „deutlich kleiner“- und „deutlich größer“-Antworten binäre logistische Regressionskurven induktiv-statistisch ermittelt werden. Wie in Kapitel 5.1 beschrieben, werden daraus die Unterschiedsschwellen bei der Grenze festgelegt, ab der 50 % der Antworten für einen „deutlich“ erkannten Unterschied zu erwarten sind.

Mit Hilfe von explorativen Unterschieds- und Zusammenhangsanalysen können die Unterschiedsschwellen der einzelnen VR miteinander verglichen und dadurch die Hypothesen überprüft werden. In den folgenden Unterkapiteln werden die Ergebnisse der Untersuchung diskutiert.

Bevor auf die resultierten Unterschiedsschwellen der einzelnen Objektgrößen eingegangen wird, wird in folgendem Bild 5.6 exemplarisch die Auswertung der Ergebnisse (Datenpunkte und Kurven) und die Ermittlung der Unterschiedsschwellen (Schnittpunkte 1, 2, 3, 4, 5 und 6) am Beispiel der Versuchsreihen VR_P/K/w_10, VR_P/K/w_15 und VR_P/K/w_25 bei einem Darbietungsabstand von 600 mm dargestellt. Für jede Versuchsreihe werden stets die relativen Häufigkeiten (RH) als Datenpunkte und die entsprechend geschätzten psychometrischen Funktionen (BLR) als Kurven der Antworten „deutlich kleiner“ und „deutlich größer“ aufgenommen. Die senkrechte Projektion der Schnittpunkte der psychometrischen Kurven mit der 50%-Linie auf die x-Achse legen die zu ermittelnden Unterschiedsschwellen (1, 2, 3, 4, 5 und 6) fest, die eine deutliche Erkennung des Größenunterschiedes (Verkleinerung oder Vergrößerung) vorhersagen.

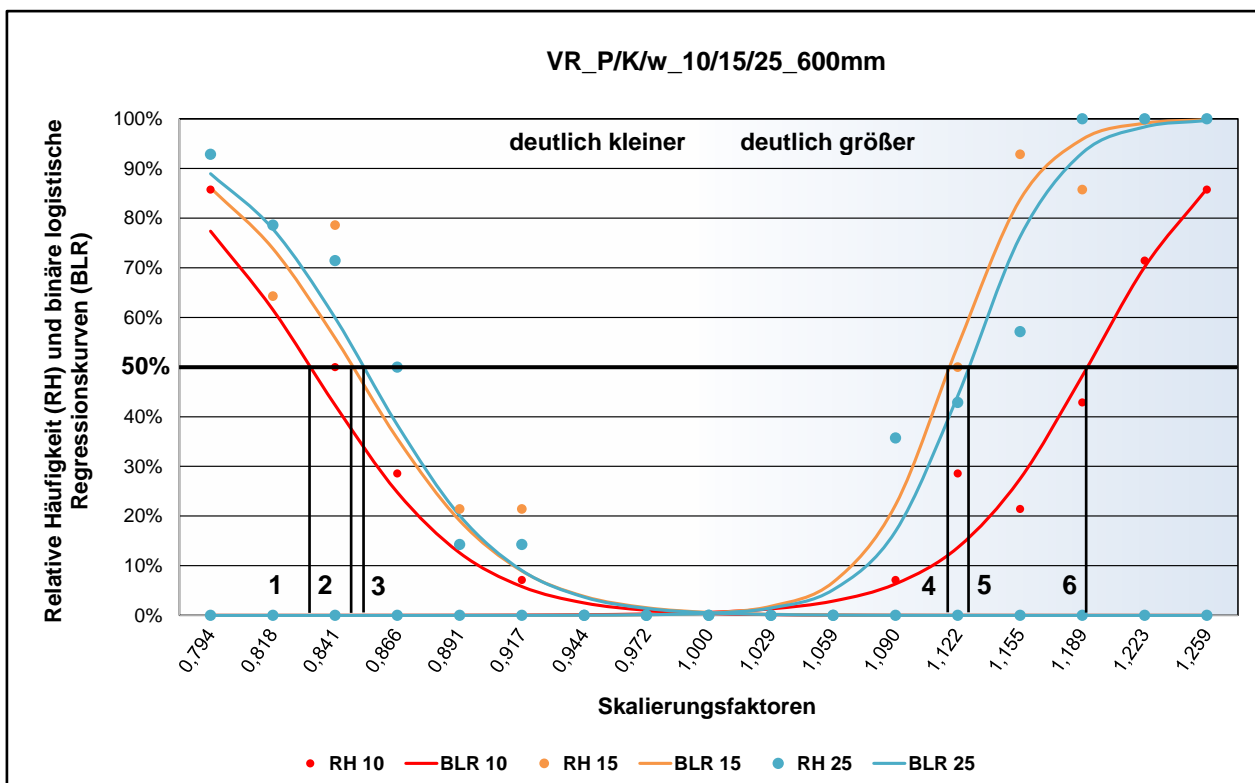


Bild 5.6: Auswertung der Objektgestalt Kreis bei parallel Darbietungsvariante, weißem Form-Hintergrund-Kontrast und einem Darbietungsabstand von 600 mm

Somit können bspw. aus diesem Diagramm für die Grundform „Kreis“ bei paralleler Darbietung und 600 mm Darbietungsabstand sechs Unterschiedsschwellen, die für die drei Ausgangsgrößen (10 / 15 / 25 mm) und den zwei Antworten (deutlich kleiner / deutlich größer) stehen, entnommen werden.

Insgesamt ergeben sich 264 Unterschiedsschwellen. Diese werden für die jeweilige Darbietungsvariante, den Form-Hintergrund-Kontrast, den Darbietungsabstand und die jeweilige Antwort in Diagramme zusammengefasst. Die folgenden Diagramme (Bild 5.7 - Bild 5.18) stellen alle Untersuchungsergebnisse dar.

Das Ziel ist letztendlich ein Unterschiedsschwellendiagramm zu erstellen, welches für die Auslegung der Größenkodierung hinzugezogen werden kann und repräsentativ die jeweiligen Unterschiedsschwellen für die unterschiedlichen Objektgrößen, Darbietungsvarianten und -abstände enthält. Um zu diesen allgemeingültigen Unterschiedsschwellen zu gelangen, die die Größenkodierung definieren, werden die unterschiedlichen Untersuchungsergebnisse zuerst auf Basis der Hypothesen miteinander verglichen und schrittweise auf eine reduktionistische Art zusammengefasst. Anschließend folgt eine detaillierte Visualisierung und Diskussion der allgemeingültigen Unterschiedsschwellen.

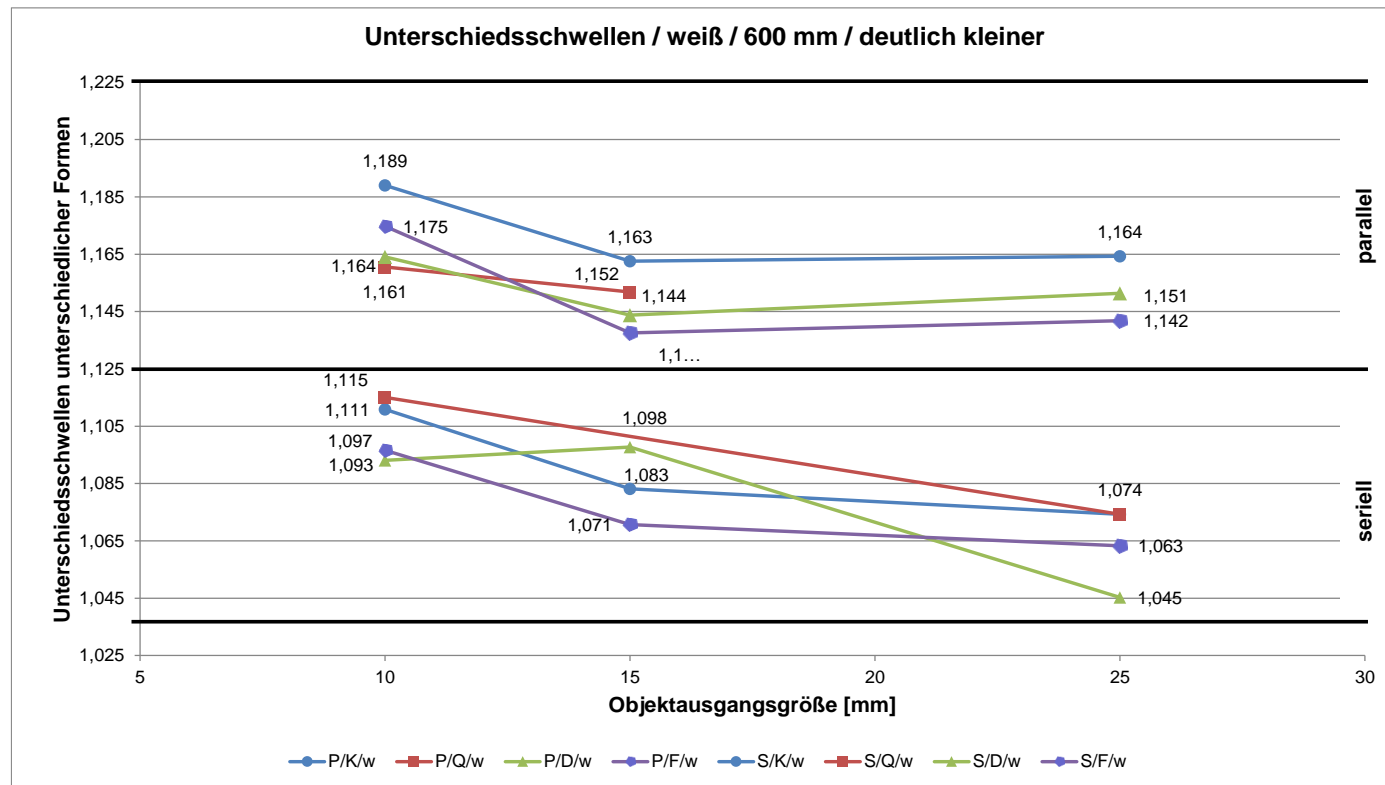


Bild 5.7: Ermittelte Unterschiedsschwellen (weiß / 600 mm / „deutlich kleiner“)

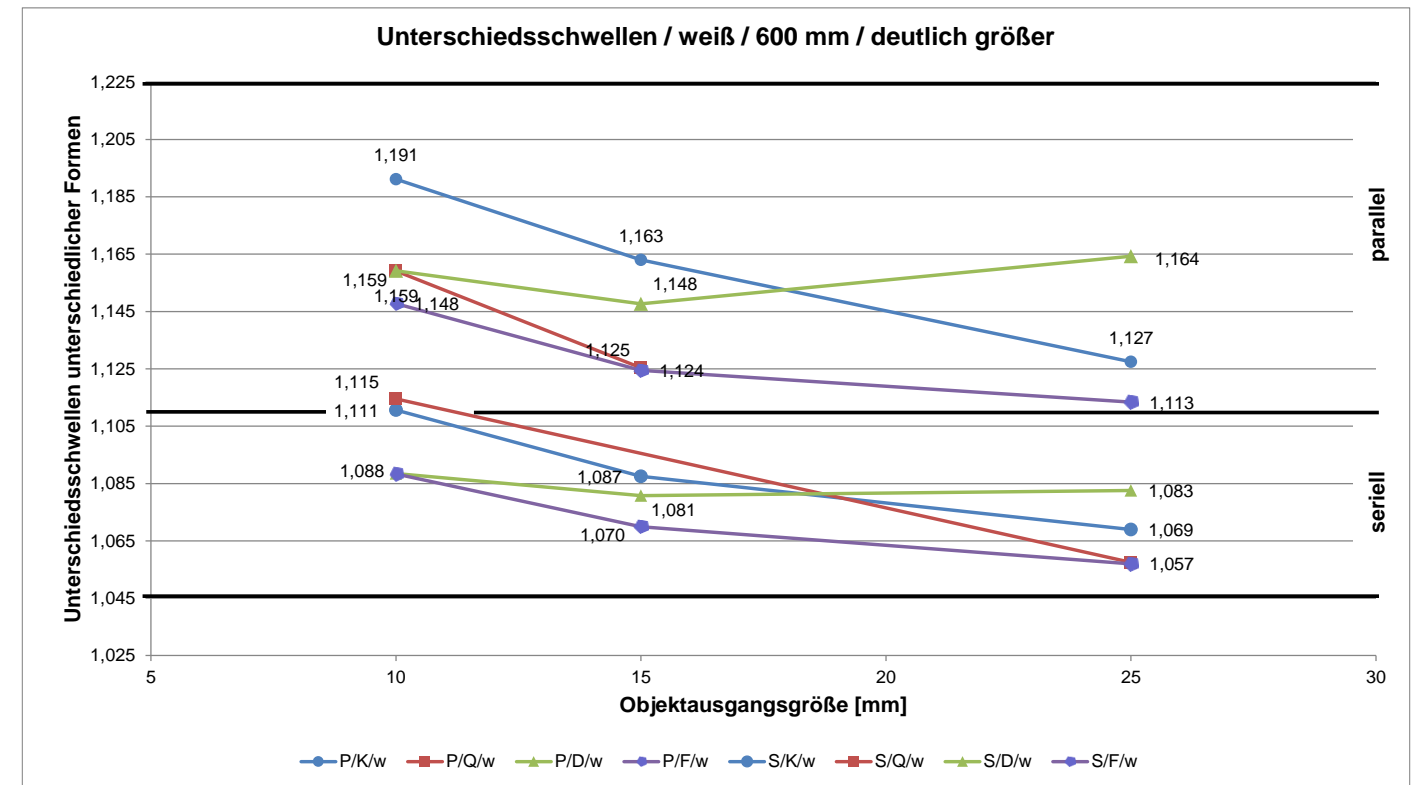


Bild 5.8: Ermittelte Unterschiedsschwellen (weiß / 600 mm / „deutlich größer“)

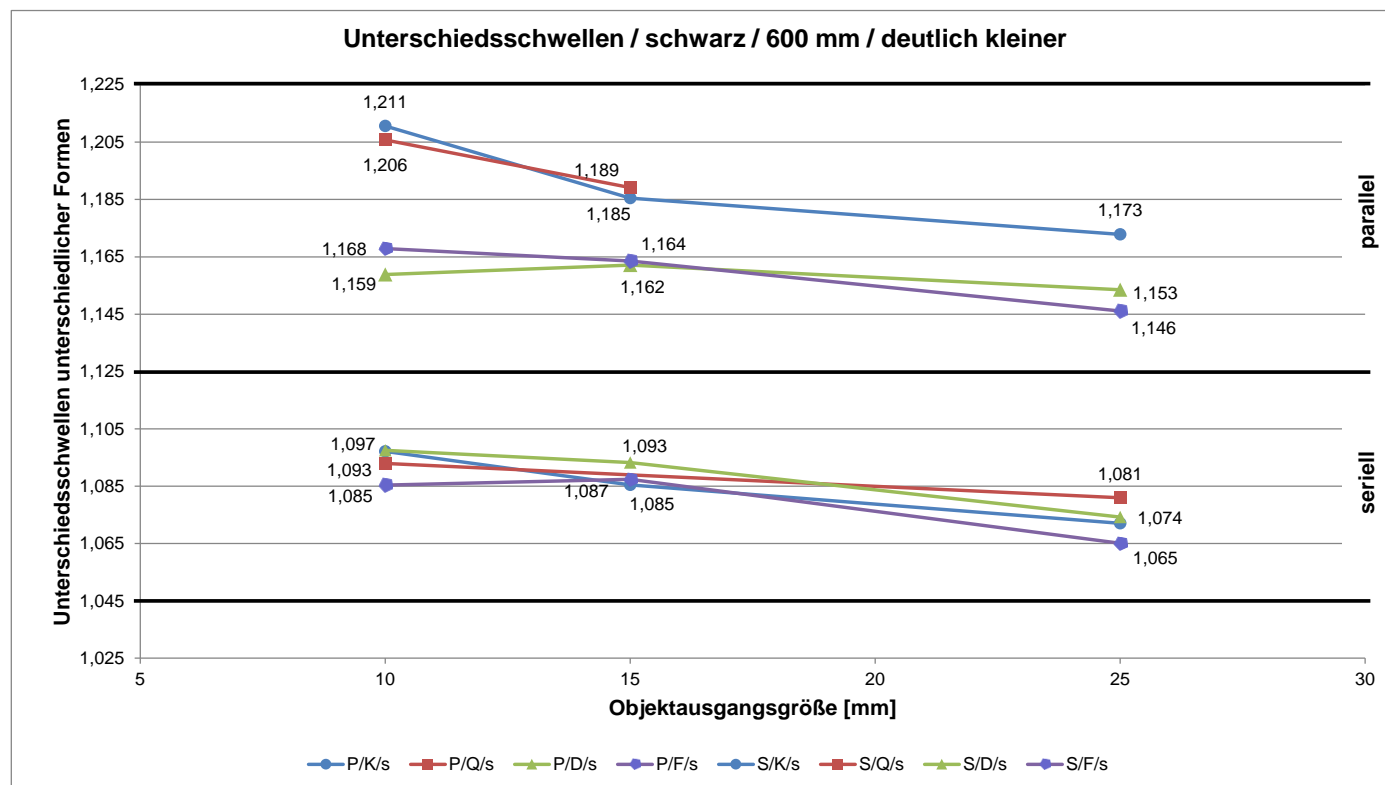


Bild 5.9: Ermittelte Unterschiedsschwellen (schwarz / 600 mm / „deutlich kleiner“)

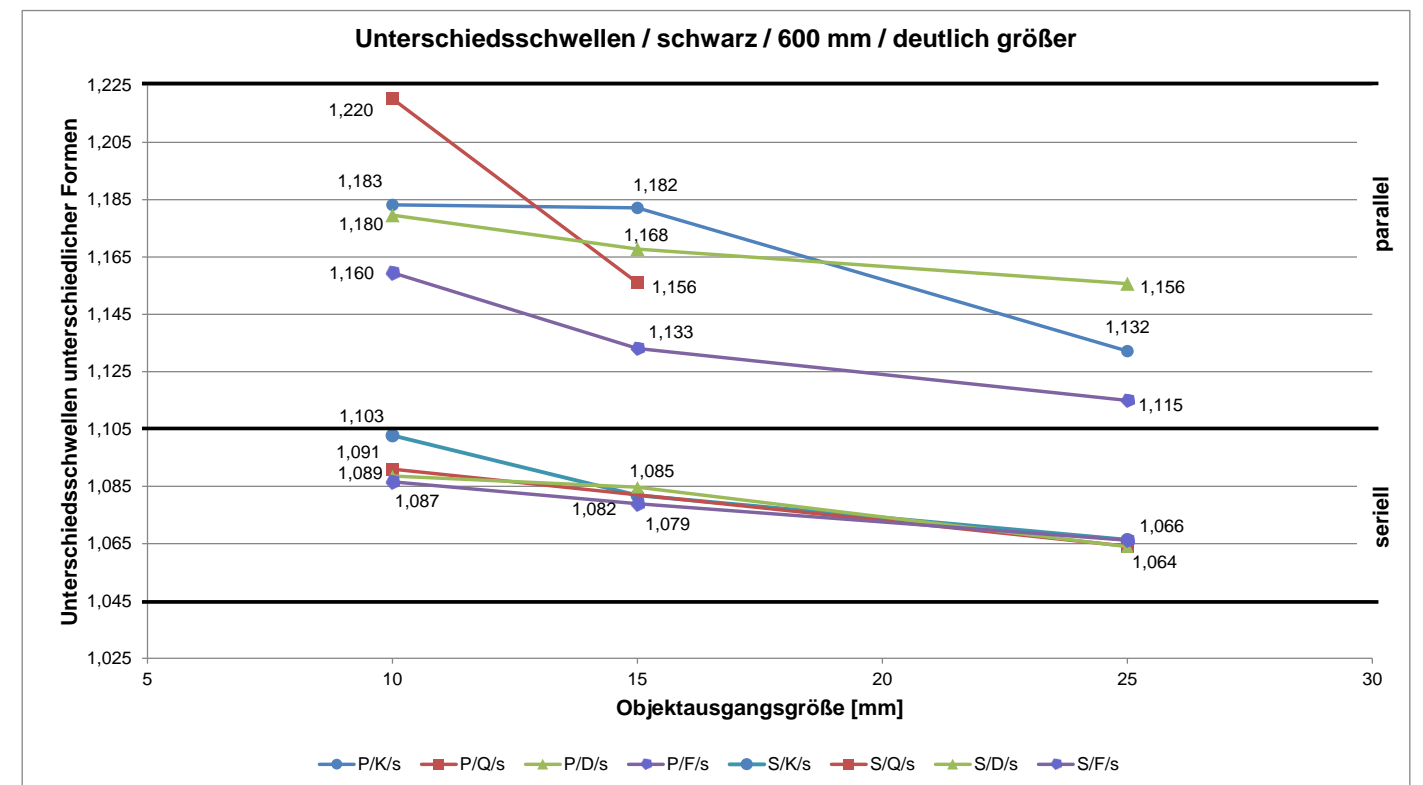


Bild 5.10: Ermittelte Unterschiedsschwellen (schwarz / 600 mm / „deutlich größer“)

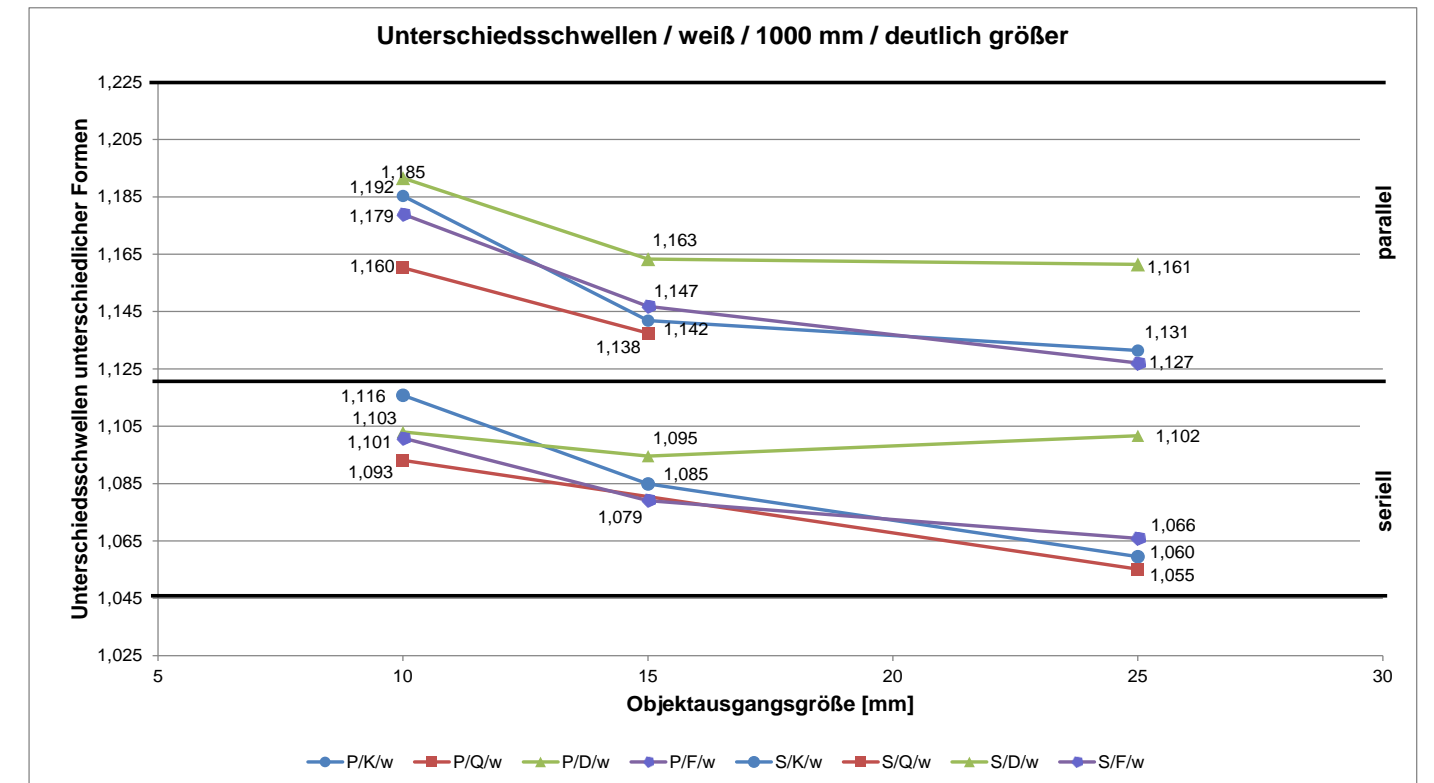
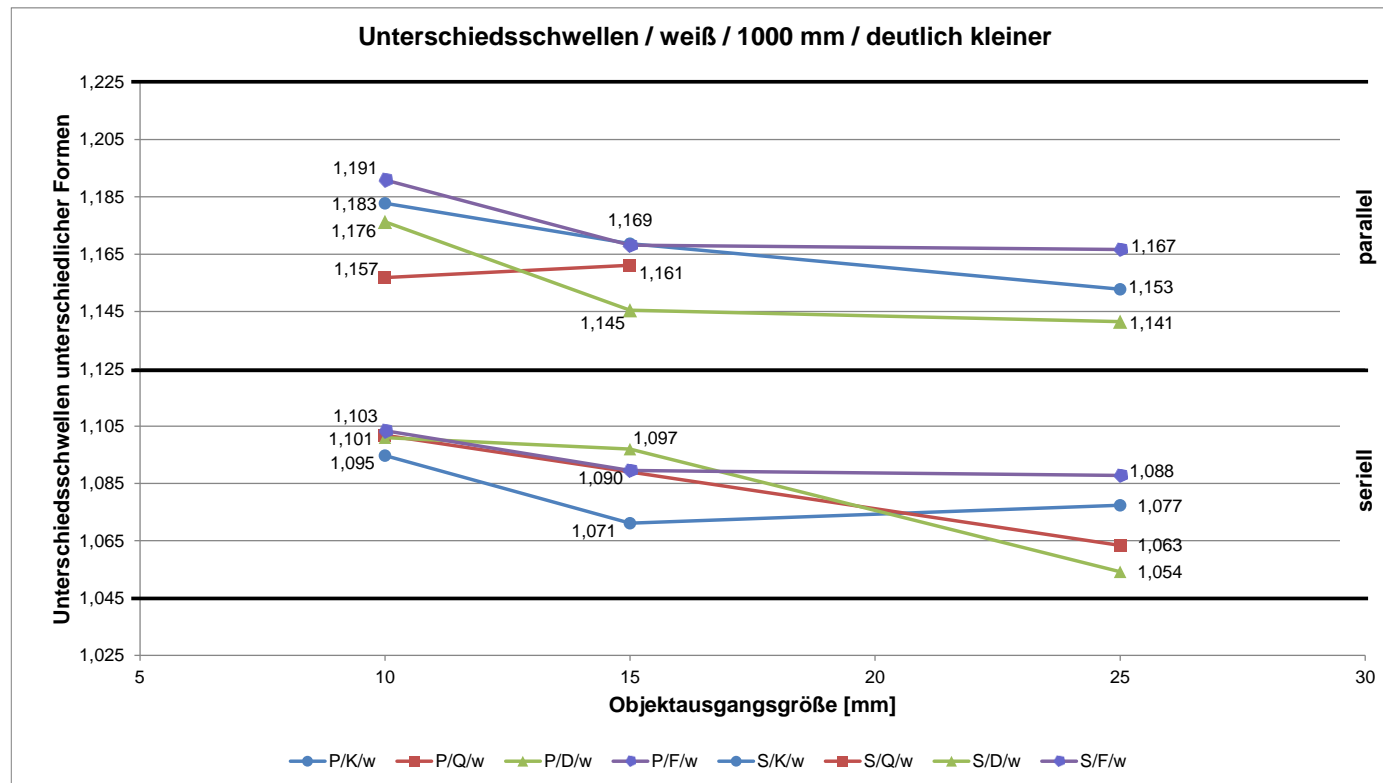


Bild 5.11: Ermittelte Unterschiedsschwellen (weiß / 1000 mm / „deutlich kleiner“)

Bild 5.12: Ermittelte Unterschiedsschwellen (weiß / 1000 mm / „deutlich größer“)

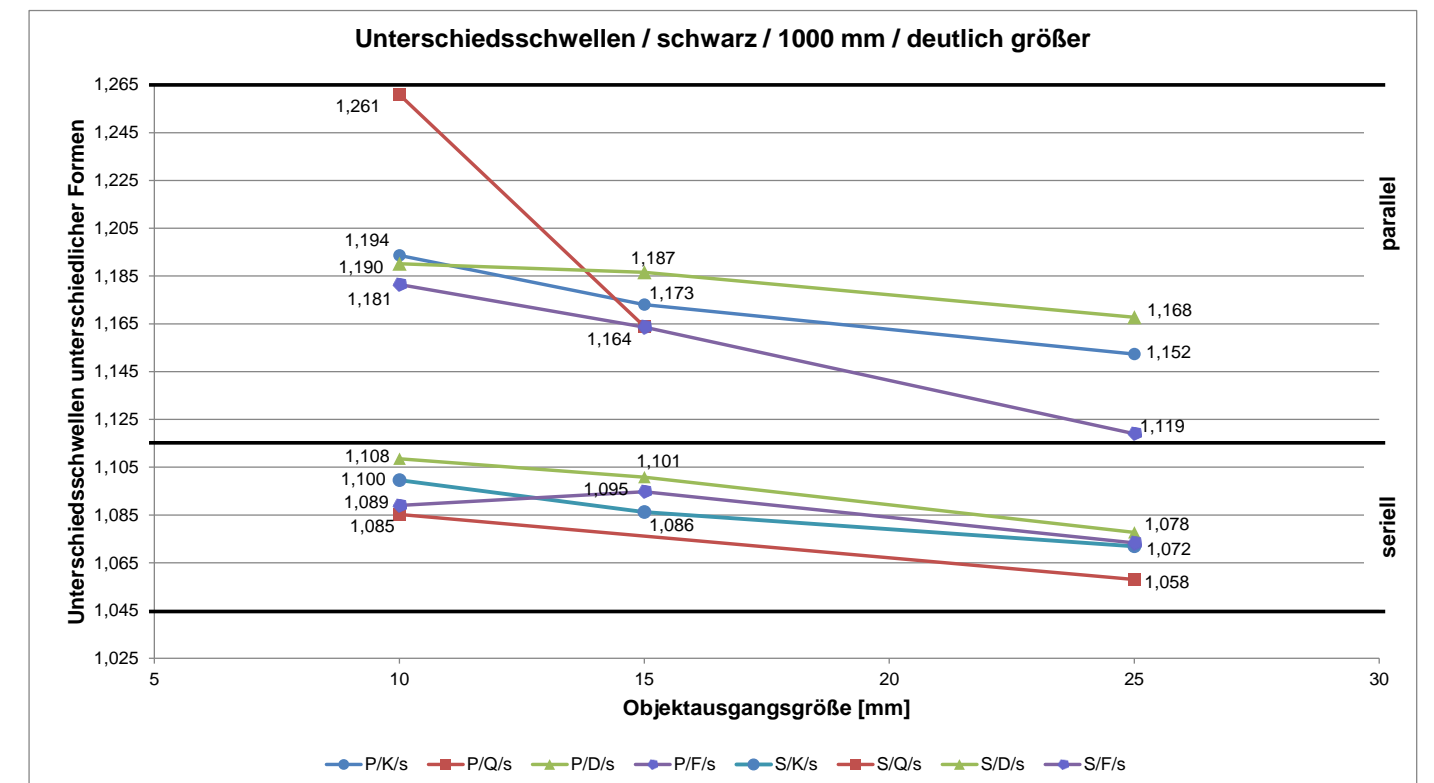
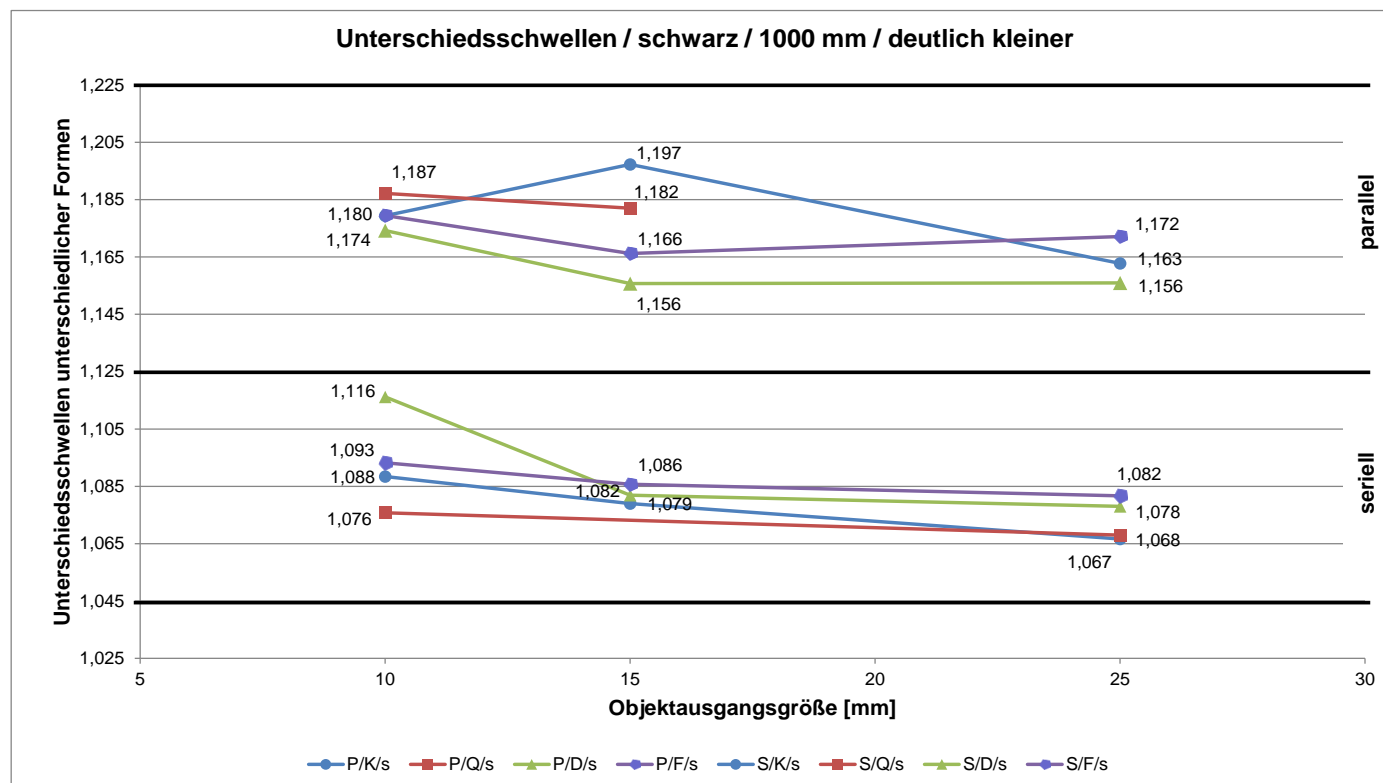


Bild 5.13: Ermittelte Unterschiedsschwellen (schwarz / 1000 mm / „deutlich kleiner“)

Bild 5.14: Ermittelte Unterschiedsschwellen (schwarz / 1000 mm / „deutlich größer“)

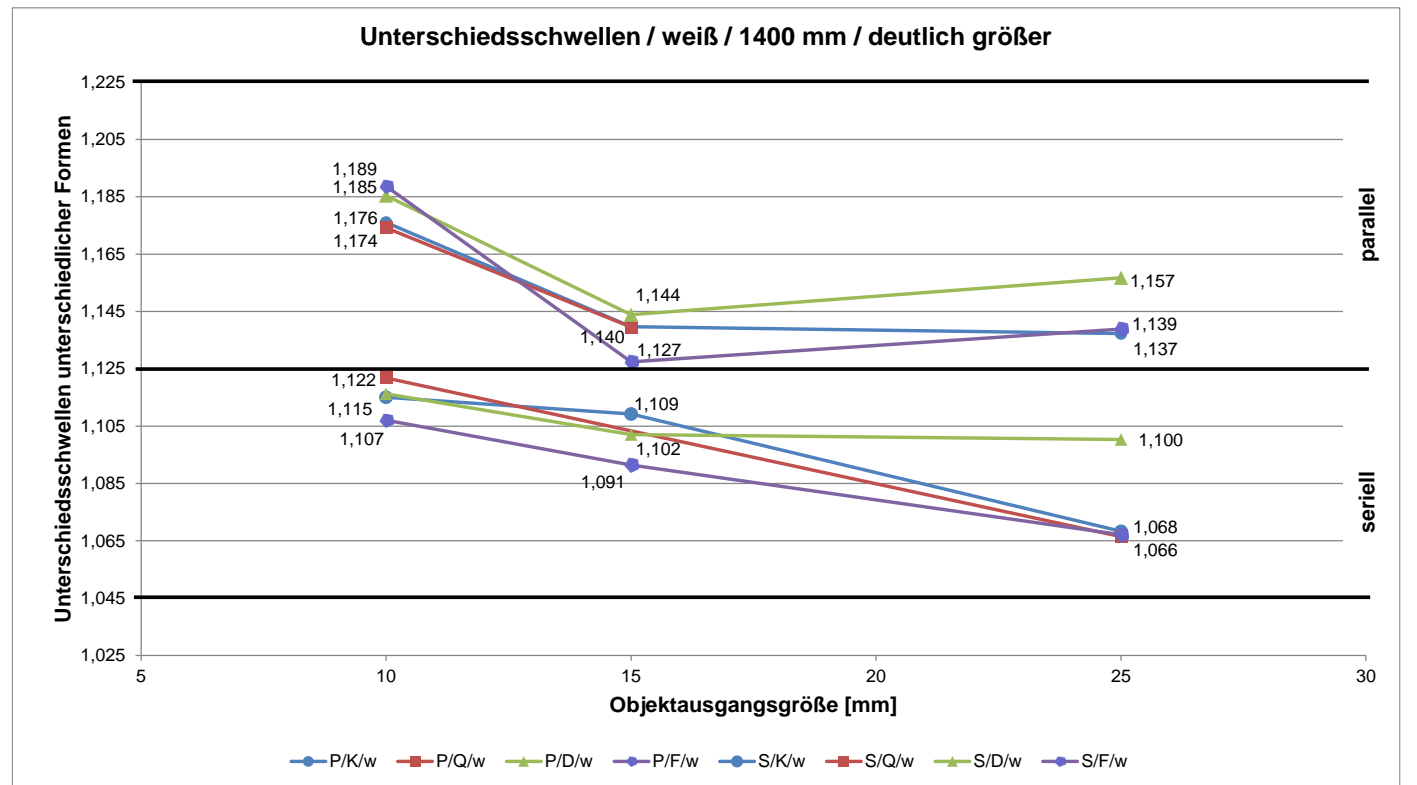
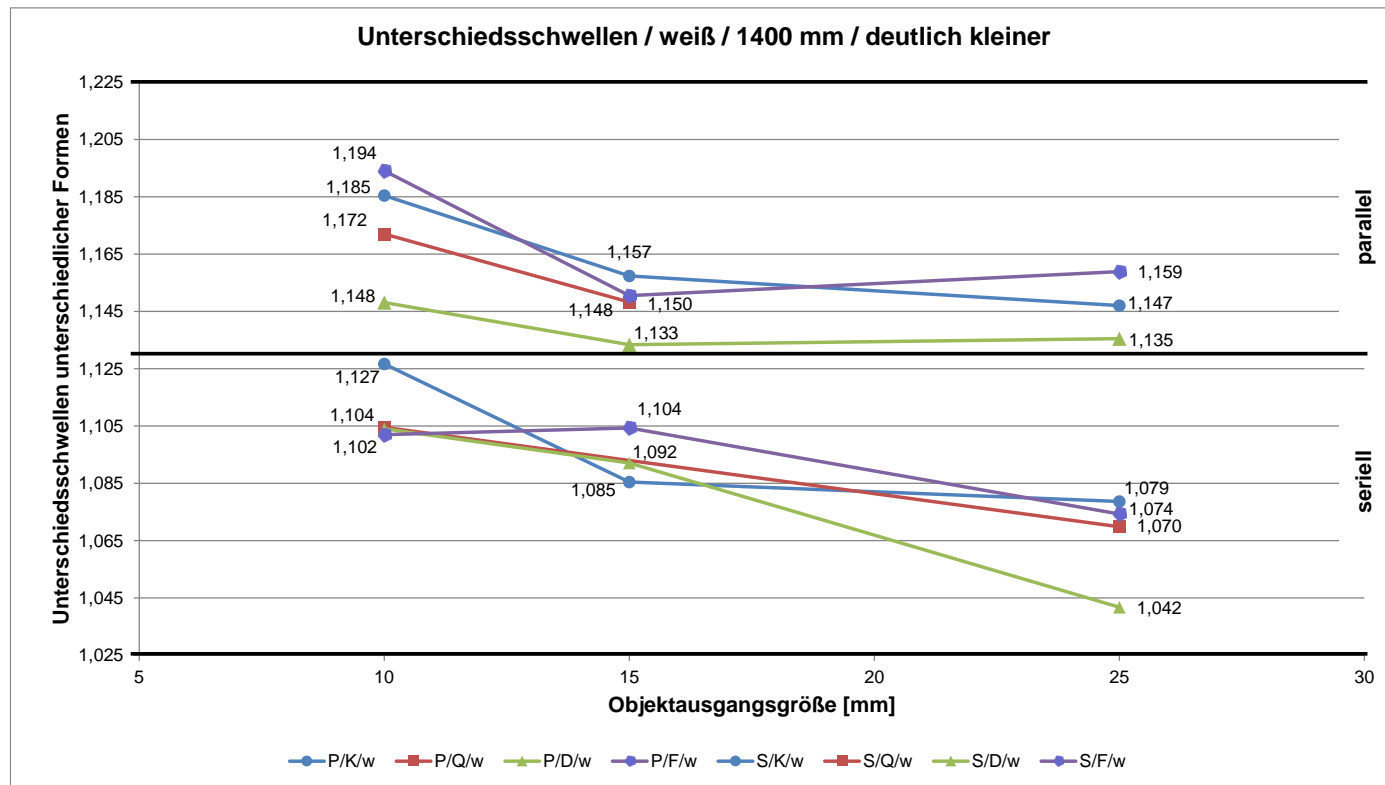


Bild 5.15: Ermittelte Unterschiedsschwellen (weiß / 1400 mm / „deutlich kleiner“)

Bild 5.16: Ermittelte Unterschiedsschwellen (weiß / 1400 mm / „deutlich größer“)

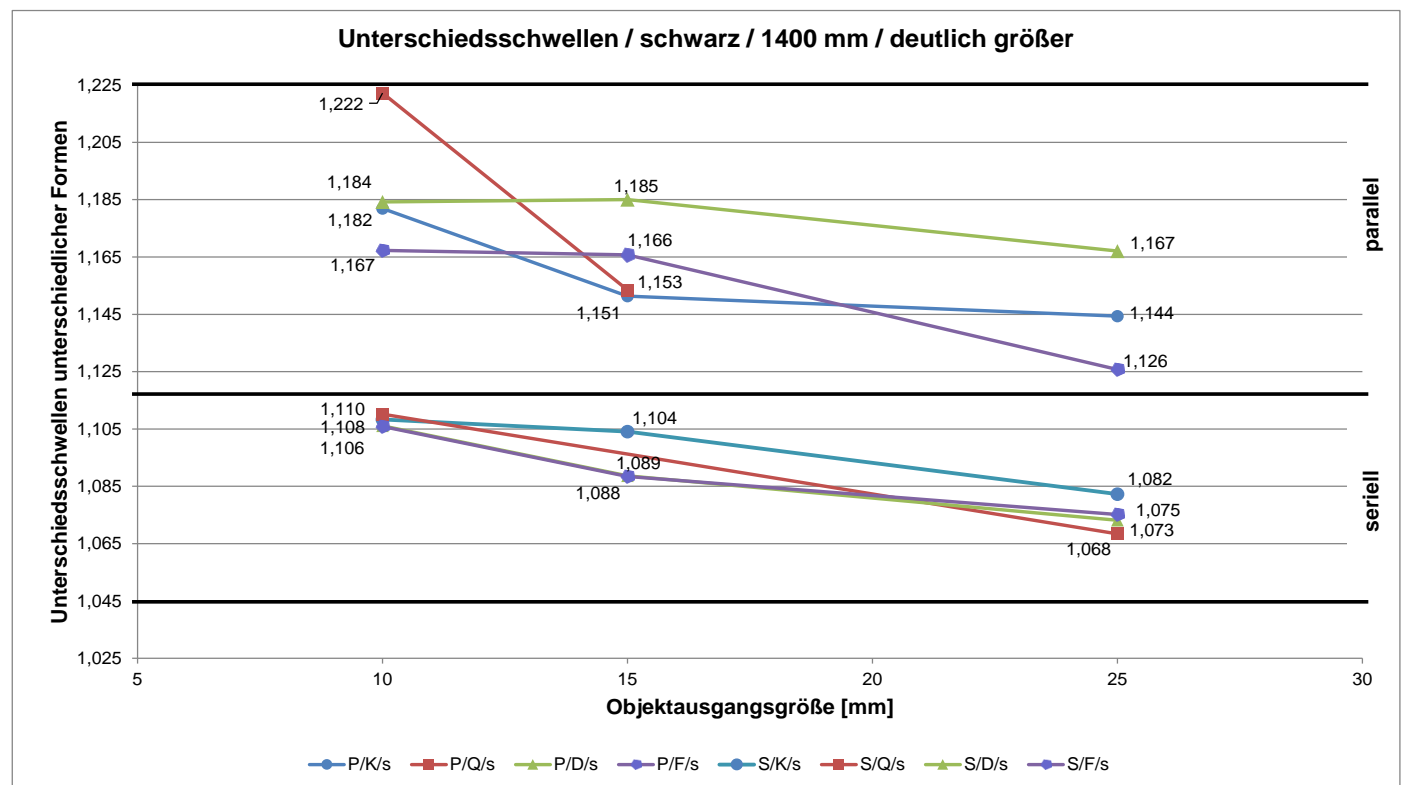
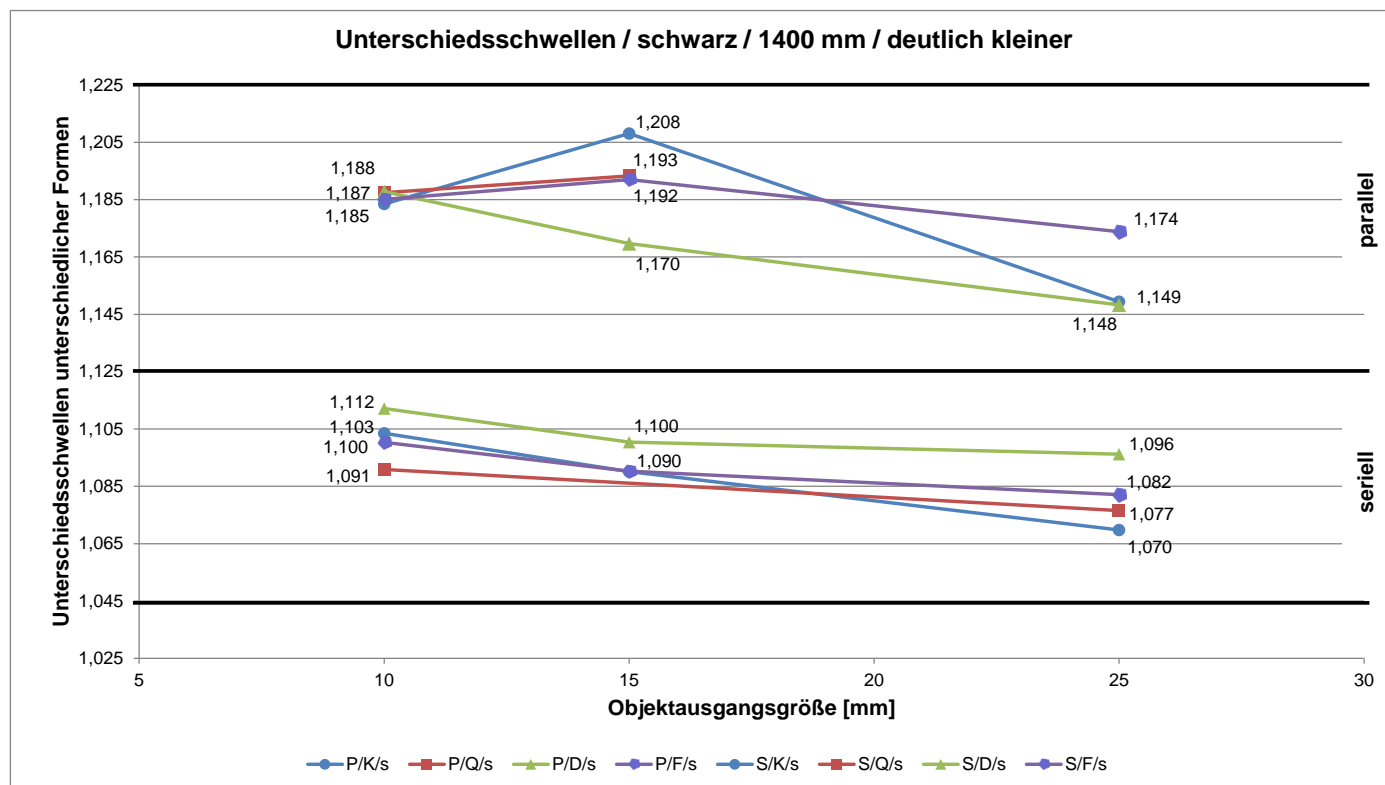


Bild 5.17: Ermittelte Unterschiedsschwellen (schwarz / 1400 mm / „deutlich kleiner“)

Bild 5.18: Ermittelte Unterschiedsschwellen (schwarz / 1400 mm / „deutlich größer“)

5.4.1 Diskussion der Ergebnisse bezüglich der Skalierungsrichtung, Darbietungsvariante und Objektgröße

Für die explorativen Zusammenhangs- und Unterschiedsanalysen der Ergebnisse in Bezug auf die Hypothesen H-1.1, H-1.2 und H-1.3 werden mehrere statistische Auswertungsverfahren eingesetzt. Mit Hilfe der bivariaten Korrelation wird vorerst über alle Versuchsreihen hinweg der triviale Zusammenhang zwischen der Unterschiedserkennung und den Skalierungsfaktoren als statistisch hoch signifikant ($p < 0,001$) bestätigt – je größer der Skalierungsfaktor, desto deutlicher die Erkennung.

Um den Zusammenhang zwischen der Unterschiedserkennung und der Skalierungsrichtung festzustellen, wird das Verfahren der Kreuztabellen für die entsprechend transformierte Antwortskala (ordinal \rightarrow dichotom) eingesetzt. Bis auf vereinzelte Ausreißer (3,7 % aller Fälle) wird die hypothetische Abhängigkeit zwischen der Unterschiedserkennung und der Skalierungsrichtung (H-1.1) zurückgewiesen, da die Kennzahlen Chi-Quadrat X^2 kein statistisch bedeutendes Signifikanzniveau ($p \gg 0,05$) erreichen und somit auch die Stärke der Abhängigkeit durch die Kennzahlen Cramers V ($C \ll 1$) deutlich gegen Null gehen, also demnach „keine Abhängigkeit“ vorliegt. Letztendlich ist die Unterschiedserkennung unabhängig von der Skalierungsrichtung. Sogar einzelne Signifikanztests mit dem statistischen Analyseverfahren „nichtparametrischer Test zweier verbundener Stichproben“ bestätigen zudem, durch die Wilcoxon- und McNemar-Kennzahlen ($p \gg 0,05$), keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen der Unterschiedserkennung und der Skalierungsrichtung. D. h., dass die Verkleinerung oder Vergrößerung eines Objektes keinen signifikanten Einfluss auf die Unterschiedsschwelle hat.

Zwischen der parallelen und der seriellen Darbietungsvariante sind schon deskriptiv die unterschiedlichen Unterschiedsschwellenniveaus deutlich erkennbar. In allen Diagrammen zeigen die Ergebnisse zwei Korridore auf, in denen sich die Werte für die jeweilige Darbietungsvariante befinden. Dieser eindeutige Unterschied wird zusätzlich durch Signifikanztests für zwei verbundene Stichproben ($p < 0,001$) über alle Versuchsreihen hinweg statistisch bewiesen. D. h. die Hypothese H-1.2 wird akzeptiert. Die Unterschiedsschwelle hängt eindeutig von der Darbietungsvariante ab. Die Unterschiedsschwelle bei paralleler Darbietung ist größer als die bei serieller Darbietung.

Die Überprüfung der Abhängigkeit der Unterschiedsschwelle in Bezug auf die Objektgrößen liefert folgende Feststellungen: Der Vergleich zwischen den Objektgrößen 10 mm und 15 mm ergeben bei paralleler Objektdarbietung für die Objektgestalten „Kreis“,

„Quadrat“ und „Fünfeck“ zu 58,3 % aller Fälle statistisch signifikante Unterschiede ($p < 0,05$). Die Objektgestalt „Dreieck“ erreicht hingegen mit 75 % aller Fälle keine statistisch signifikanten Unterschiede ($p > 0,05$). Dasselbe gilt für die jeweiligen Objektgestalten beim Vergleich zwischen den Objektgrößen 10 mm und 25 mm. Zwischen den Objektgrößen 15 mm und 25 mm sind für alle Objektgestalten keine statistisch signifikanten Unterschiede ($p > 0,05$) festzustellen. Bei der seriellen Darbietung ergeben sich für jede Objektgestalt keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Größen 10 mm und 15 mm. Dahingegen weisen alle Objektgestalten einen statistisch signifikanten Unterschied zwischen den Größen 10 mm und 25 mm auf. Beim Vergleich zwischen den Objektgrößen 15 mm und 25 mm treten nur für die Objektgestalten „Dreieck“ und „Fünfeck“ zu 58,3 % aller Fälle statistisch signifikante Unterschiede ein. Zudem ist bei der Ermittlung einer linearen Regression in 93,7 % (parallel) und 97,9 % (seriell) aller Fälle eine negative Steigung festzustellen. Dies bedeutet, dass je größer das Ausgangsobjekt ist, desto kleiner ist der anzuwendende Größenkodierungsfaktor, damit ein deutlicher Größenunterschied erkannt wird (siehe Kapitel 5.5).

Daraus wird die Schlussfolgerung getroffen, dass die Hypothese H-1.3 akzeptiert wird und somit die Unterschiedsschwelle abhängig von der Objektgröße ist.

5.4.2 Diskussion der Ergebnisse bezüglich des unbunten Form-Hintergrund-Kontrasts

Die Signifikanztests mit dem statistischen Analyseverfahren „nichtparametrischer Test zweier verbundener Stichproben“ werden ebenso bei der Ergebnisauswertung des unbunten Form-Hintergrund-Kontrastes eingesetzt.

Die Überprüfung des Einflusses des Form-Hintergrund-Kontrastes auf die Unterschiedsschwelle in Bezug auf die Darbietungsvarianten ergibt folgende Feststellungen. Bei paralleler Objektdarbietung ergeben sich in 65,2 % aller Fälle keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den zwei unbunten Form-Hintergrund-Kontrasten weiß und schwarz. Bei serieller Darbietung hat der unbunte Kontrast nach statistischer Auswertung zu 80,3 % aller Fälle keinen Einfluss auf die Unterschiedsschwelle.

Daraus folgt, dass für beide Darbietungsvarianten die Hypothese H-2 verworfen wird. Es gilt die Aussage, dass der unbunte Form-Hintergrund-Kontrast keinen statistisch signifikanten Einfluss auf die Unterschiedsschwellen hat.

5.4.3 Diskussion der Ergebnisse bezüglich der Abstandsabhängigkeit

Für die Abstandsabhängigkeit werden dieselben statistischen Signifikanztests eingesetzt.

Aus der statistischen Auswertung der einzelnen Unterschiedsschwellen resultieren bei paralleler Darbietung zu 88,6 % und bei serieller Darbietung zu 81,1 % aller Fälle keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Objektgrößen und den Darbietungsabständen (600 mm, 1000 mm, 1400 mm). Ein statistisch signifikanter Zusammenhang ist ebenso nicht gegeben. Aus statistischer Sicht ist die Hypothese H-3 zu verwerfen. D. h. es kann jeweils eine Unterschiedsschwelle für alle drei Abstände ermittelt werden.

Die Ungültigkeit der Hypothese lässt vermuten, dass aufgrund des menschlichen Sehvermögens die gewählten Darbietungsabstände die Unterschiedsschwelle nicht dermaßen ausreizen, sodass eindeutige Unterschiede auftreten. Da aber das visuelle Sehvermögen u. a. vom Darbietungsabstand abhängig ist, wird von einem Zusammenhang zwischen dem Darbietungsabstand und den Unterschiedsschwellen ausgegangen. Die entsprechenden Unterschiedsschwellen werden auf Basis der erörterten Hypothesen zu arithmetisch gemittelten Werten zusammengefasst. Die deskriptive Auswertung dieser gemittelten Werte ergeben für die Abstandsabhängigkeit zu 63,6 % (parallel) und zu 100 % (seriell) aller Fälle lineare Regressionen mit positiven Steigungen. Es ist zu vermuten, dass für die serielle Darbietung die allgemeine Aussage getroffen werden kann, dass je größer der Abstand zwischen Betrachter und dem Objekt ist, desto größer ist der Verkleinerungs- bzw. Vergrößerungsfaktor für die Größenkodierung zu wählen. Für die widersprüchlichen Ergebnisse der parallelen Darbietung gilt diese Aussage jedoch nicht. Die Objektgestalt „Kreis“ weist stets eine negative lineare Regression auf, die zu diesem Zeitpunkt fragwürdig bleibt. In Kapitel 5.5 werden die endgültigen Unterschiedsschwellen in Abhängigkeit des Darbietungsabstandes vorgestellt.

5.4.4 Diskussion der Ergebnisse bezüglich der Objektgestalt

Im Weiteren wird sich nun der Frage gewidmet, ob die entsprechende Objektgestalt einen Einfluss auf die Unterschiedserkennung hat.

Für die Feststellung eventueller Unterschiede der ermittelten Unterschiedsschwellen zwischen den einzelnen Objektgestalten werden ebenso für jede Versuchsreihe statistische

Auswertungen durchgeführt. In Anbetracht der vielen Versuchsreihen basiert die folgende Diskussion auf der versuchsreihenübergreifenden Zusammenführung und Aufzählung der einzelnen Auswertungsergebnisse.

Bezugnehmend auf den Darbietungsabstand ist zu erwähnen, dass bei der parallelen Darbietung keine statistisch signifikanten Unterschiede der Unterschiedsschwellen zwischen den einzelnen Objektgestalten auftreten. Bei der seriellen Darbietung sind ebenso keine extremen Auffälligkeiten zu vernehmen. D. h. bezogen auf den Darbietungsabstand sind bei der versuchsübergreifende Auswertung keine Einflüsse der Objektgestalt auf die Unterschiedsschwelle feststellbar.

In Bezug auf die Objektgrößen stellen sich interessantere Ergebnisse ein. Tab. 5.7 visualisiert die entsprechende Auswertung und Verteilung der statistisch signifikanten Unterschiede der Unterschiedsschwellen zwischen den Objektgrößen.

Objektgröße 10 mm					Objektgröße 15 mm					Objektgröße 25 mm				
Parallel														
	diagonal lines					diagonal lines					diagonal lines			
	Unterschied	diagonal lines				–	diagonal lines				–	diagonal lines		
	Unterschied	–	diagonal lines			Unterschied	Unterschied	diagonal lines			–	–	diagonal lines	
	Unterschied	Unterschied	–	diagonal lines		–	–	Unterschied	diagonal lines		–	–	Unterschied	diagonal lines
Seriell														
	diagonal lines					diagonal lines					diagonal lines			
	–	diagonal lines				–	diagonal lines				Unterschied	diagonal lines		
	–	Unterschied	diagonal lines			–	–	diagonal lines			–	–	diagonal lines	
	–	–	Unterschied	diagonal lines		–	–	–	diagonal lines		–	Unterschied	–	diagonal lines
– bedeutet kein Unterschied														

Tab. 5.7: Übersicht zur Verteilung der statistisch signifikanten Unterschiede

Bei der parallelen Darbietung sind im Vergleich zu den anderen beiden Objektgrößen bei der Objektgröße 25 mm deutlich weniger Unterschiede zwischen den Objektgestalten feststellbar. D. h. je größer das Objekt ist, desto weniger nimmt die Objektgestalt bei der Größenkodierung einen Einfluss auf die Erkennung eines deutlichen Unterschiedes. Eine zweite Auffälligkeit bei paralleler Darbietung ist, dass für die Objektgröße 10 mm die Unterschiedsschwelle der Objektgestalt „Kreis“ statistisch signifikante Unterschiede zu allen drei anderen Unterschiedsschwellen aufweist und dass sich die Unterschiedsschwellen der Objektgestalt „Quadrat“ und „Fünfeck“ ebenso unterscheiden. Dadurch entsteht die Vermutung, dass die Objektgestalt einen Einfluss auf die Erkennung des Größenunterschiedes bei kleinen Objektgrößen nimmt.

Die Auswertung der seriellen Darbietung weist nur wenige, vereinzelte Unterschiede zwischen den Objektgestalten auf. Bei der Objektgröße von 15 mm sind sogar keine statistisch signifikanten Unterschiede der Unterschiedsschwellen zwischen den Objektgestalten feststellbar. Da die Unterschiedsschwellen der seriellen Darbietung sehr nah beieinander liegen, werden die Auswertungsergebnisse der seriellen Darbietung im Vergleich zur parallelen Darbietung als nicht ausschlaggebend angesehen. In diesem Fall bedeuten keine Unterschiede so viel wie, dass für jede Objektgestalt ein definierter Größenkodierungsfaktor eingesetzt werden kann.

Um auf die einheitlichen Unterschiede zwischen den Objektgestalten bei der parallelen Darbietung für die Objektgröße 10 mm zurückzukommen, stellt sich an dieser Stelle eher die Frage, woher die Unterschiede der Unterschiedsschwellen bezogen auf die unterschiedlichen Objektgestalten stammen. Beinhaltet jede Objektgestalt unterschiedlich viele Informationen? Besteht ein eventueller Zusammenhang mit der Übertragung von Informationen zwischen der dargebotenen zweidimensionalen Objektgestalt und der menschlichen Informationsverarbeitung? Es liegt die Vermutung nahe, dass die hier untersuchten Objektgestalten unterschiedliche Informationen – hiermit ist ein quantitativer Wert gemeint – beinhalten. Dieser quantitative Wert wird durch die Begrifflichkeit Informationsgehalt definiert.

Bevor in Kapitel 6 die Quantifizierung des Informationsgehalts zweidimensionaler geometrischer Objektgestalten vorgestellt wird, werden im Folgenden die ausgewerteten Ergebnisse zusammengefasst und letztendlich die den Formen zugehörigen Unterschiedsschwellendiagramme vorgestellt.

5.5 Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse und Darstellung der Unterschiedsschwellendiagramme

Die Ergebnisse der Untersuchung zeigen, dass die Skalierungsrichtung keinen Einfluss auf die Unterschiedsschwellen hat. Bei jeder Ausgangsgröße (10 mm / 15 mm / 25 mm) liegen die Unterschiedsschwellen bei Vergrößerung sehr nah an den reziproken Unterschiedsschwellen bei Verkleinerung, teilweise stimmen sie sogar exakt überein.

Zwischen der parallelen und der seriellen Darbietungsvariante ist ein deutlicher Unterschied der Unterschiedsschwellen erkennbar. Die Unterschiedsschwellen der seriellen Darbietung sind deutlich niedriger als die der parallelen Darbietung. Dies ist ein Beweis dafür, dass unterschiedliche informationsverarbeitende Prozesse bei der Unterschiedserkennung zwischen paralleler und serieller Darbietung stattfinden. Probandenäußerungen bestätigen zudem, dass eine mögliche Erklärung darin besteht, dass bei serieller Darbietung eine Bewegung erkannt wird. Wie in den thematischen Grundlagen erörtert, reagiert die visuelle Wahrnehmung und Aufmerksamkeit evolutionsbedingt hoch sensibel auf Bewegungen aus der Umwelt. Das führt dazu, dass bei serieller Darbietung im Vergleich zur parallelen Darbietung ein Unterschied früher als „deutlich“ eingeschätzt wird und dementsprechend sich ein kleinerer Faktor einstellt. Denn im Gegensatz dazu findet bei der parallelen Darbietung eine ständig ver- und abgleichende Suche nach Anhaltspunkten statt, die eine Unterscheidung ermöglichen. Aus diesem Grund ergeben sich zwischen der parallelen und seriellen Darbietung unterschiedliche Unterschiedsschwellenniveaus. Der unbunte Form-Hintergrund-Kontrast hat weder bei paralleler noch bei serieller Darbietung einen Einfluss auf die Unterschiedserkennung.

Die Überprüfung der Abhängigkeit der Unterschiedsschwelle in Bezug auf die Objektgrößen liefert folgende Ergebnisse: Bei paralleler Darbietung treten zwischen den Objektgrößen 10 mm und 15 mm für die Objektgestalt „Kreis“, „Quadrat“ und „Fünfeck“ statistisch signifikante Unterschiede auf. Im Gegensatz dazu weist die Objektgestalt „Dreieck“ keine statistisch signifikanten Unterschiede auf. Zwischen den Objektgrößen 10 mm und 25 mm stellen sich dieselben Aussagen ein. Die statistische Auswertung zwischen den Objektgrößen 15 mm und 25 mm liefert für keine Objektgestalt signifikante Unterschiede. Allgemein kann die Aussage getroffen werden, dass die ermittelten Unterschiedsschwellen für die Objektgröße von 10 mm im Vergleich zu den anderen beiden Objektgrößen bedeutend differieren und beachtet werden müssen. Bezugnehmend auf

die WEBER'sche Konstante wird mit hoher Wahrscheinlichkeit der WEBER'sche Randbereich, in dem das Gesetz leichte Abweichungen aufweist, definiert. Im Gegensatz dazu pendelt sich nämlich für die Objektgrößen 15 mm und 25 mm eine charakteristische WEBER'sche Konstante ein, die eine durchschnittliche Unterschiedsschwelle definiert. Bei der seriellen Darbietung sind für jede Objektgestalt zwischen den Objektgrößen 10 mm und 15 mm keine statistisch signifikanten Unterschiede zu konstatieren. Dahingegen weisen alle Objektgestalten einen statistisch signifikanten Unterschied zwischen den Größen 10 mm und 25 mm auf. Beim Vergleich zwischen den Objektgrößen 15 mm und 25 mm werden nur für die Objektgestalten „Dreieck“ und „Fünfeck“ statistisch signifikante Unterschiede ermittelt. In diesem Fall zeigt auch dieses Resultat, dass sich die Unterschiedsschwellen, die sich im Randbereich des WEBER'schen Gesetzes befinden, eine sehr enge Schwellenspanne (zw. 1,067 und 1,106) definieren und deshalb keine eindeutigen Unterschiede liefern. Allgemein wird die Aussage getroffen, dass die ermittelten Unterschiedsschwellen für die Objektgröße von 25 mm im Vergleich zu den anderen beiden Objektgrößen bedeutend differieren und auch hier beachtet werden müssen.

Aus den statistischen Auswertungen zur Abstandsabhängigkeit resultiert, dass sowohl bei paralleler als auch bei serieller Darbietung keine signifikanten Unterschiede der jeweiligen Unterschiedsschwellen auftreten. Dieses Ergebnis lässt vermuten, dass die gewählten Darbietungsabstände nicht deutlich genug eine differenzierte Unterschiedserkennung ausreizen. Aufgrund der erörterten Hypothesen und des Zusammenhangs zwischen Darbietungsabstand und der menschlichen Sehschärfe sind jedoch aus den arithmetisch gemittelten Unterschiedsschwellen deskriptiv lineare Regressionen mit positiven Steigungen erkennbar. An dieser Stelle kann aber nur für die serielle Darbietung die allgemeine Aussage getroffen werden, dass je größer der Abstand zwischen Betrachter und dem Objekt ist, desto größer ist der Verkleinerungs- bzw. Vergrößerungsfaktor für die Größenkodierung zu wählen. Für die parallele Darbietung kann dies nicht allgemeingültig behauptet werden, da die Objektgestalt „Kreis“ eine unerklärliche negative lineare Regression aufweist. Dieses aufgetretene Phänomen müsste durch zusätzliche Untersuchungen näher erörtert werden.

In Bild 5.19 - Bild 5.23 sind die jeweiligen Unterschiedsschwellen in Abhängigkeit des Darbietungsabstandes für jede Objektgestalt dargestellt. Alle vier Diagramme bilden sowohl die Unterschiedsschwellen der parallelen (P/...) als auch der seriellen (S/...) Darbietung für die jeweilige Objektgröße (10 mm / 15 mm / 25 mm) ab. Zudem sind die linearen Regressionen, deren Gleichungen in Tab. 5.8 und Tab. 5.9 ausgewiesen sind,

visualisiert. Für jede Objektgestalt und -größe kann nun bei entsprechendem Abstand die Unterschiedsschwelle bzw. der Größenkodierungsfaktor abgelesen werden.

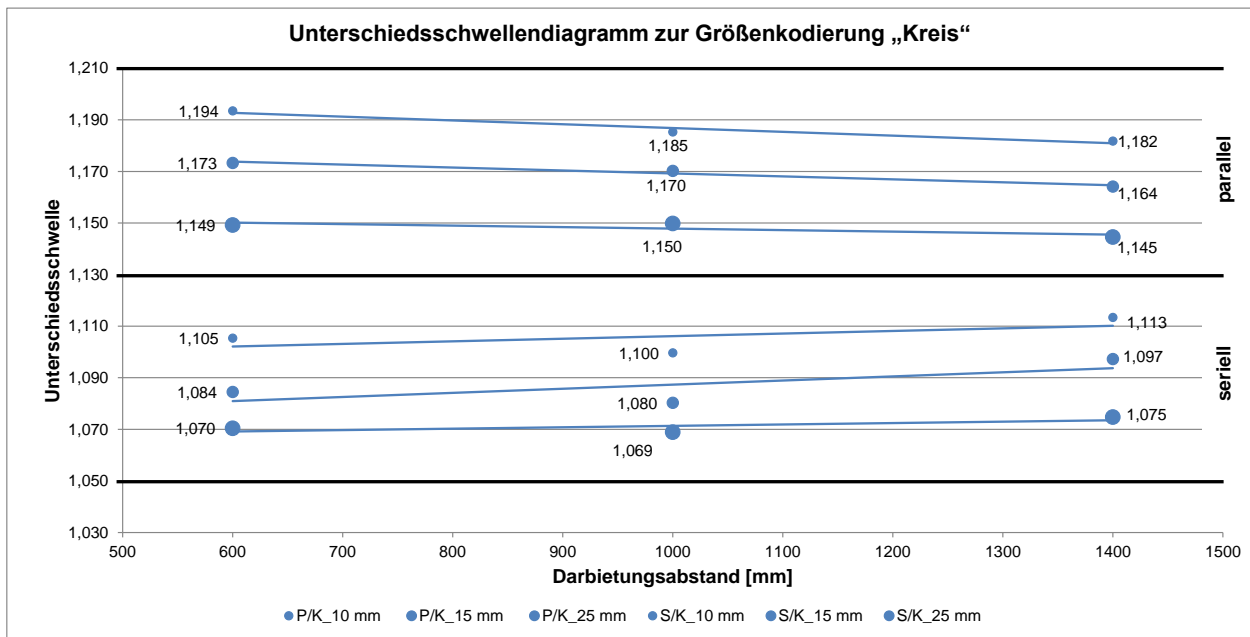


Bild 5.19: Unterschiedsschwellen in Abhängigkeit vom Darbietungsabstand – Kreis

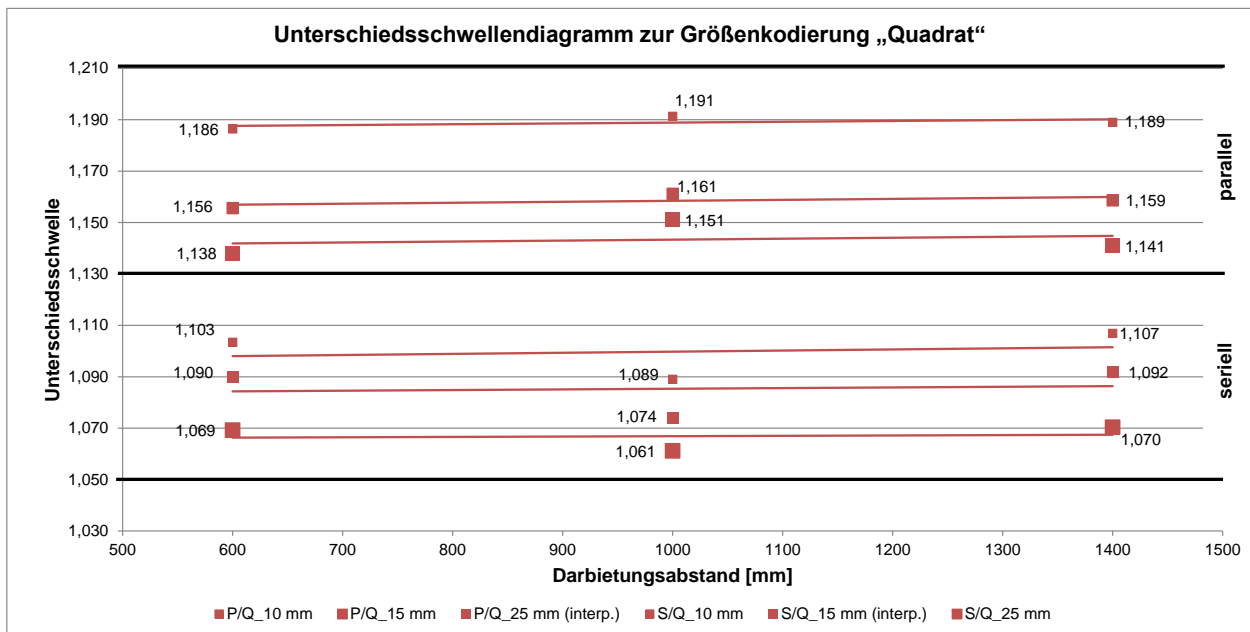


Bild 5.20: Unterschiedsschwellen in Abhängigkeit vom Darbietungsabstand – Quadrat

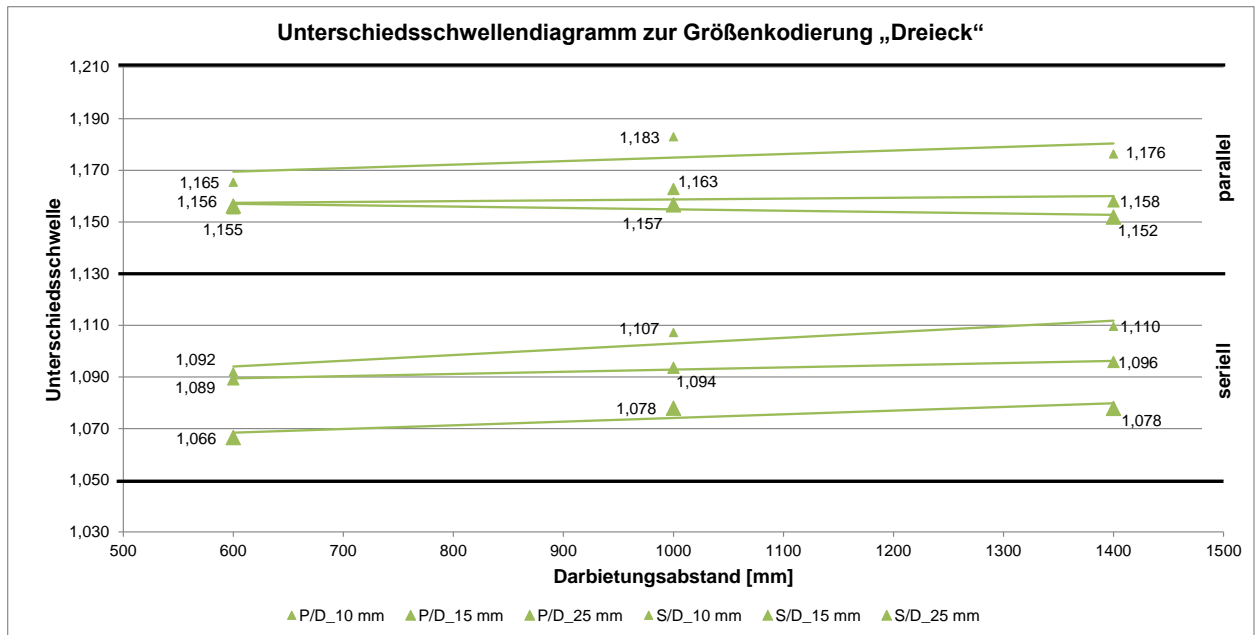


Bild 5.21: Unterschiedsschwellen in Abhängigkeit vom Darbietungsabstand – Dreieck

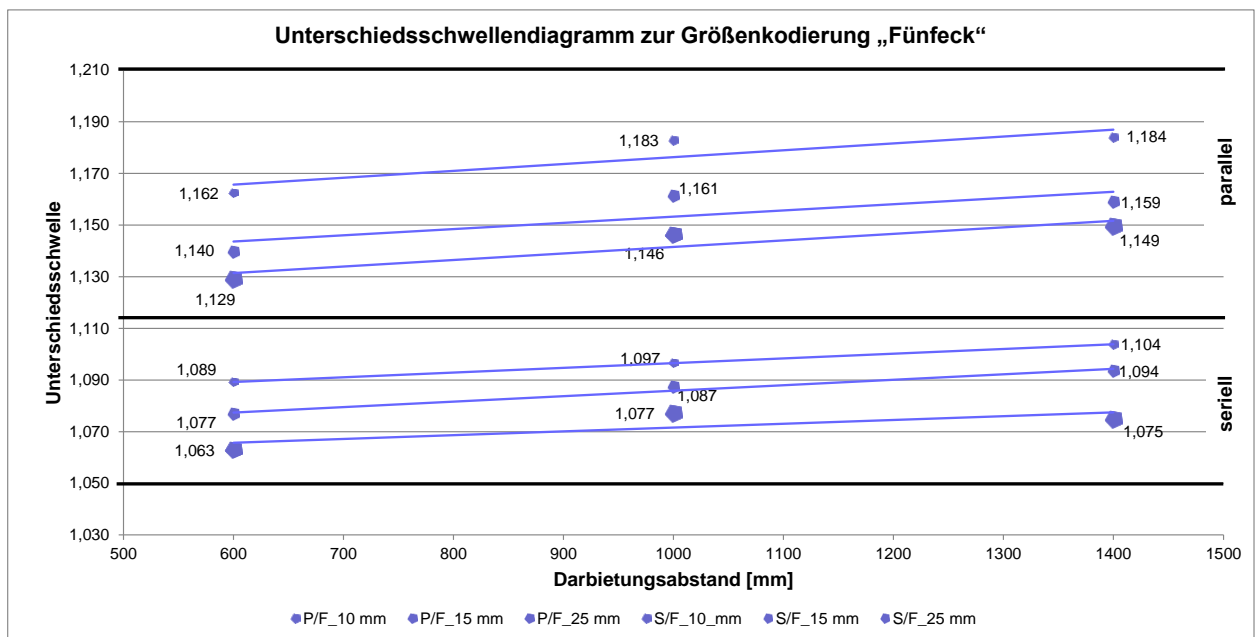
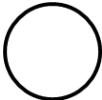
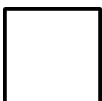




Bild 5.22: Unterschiedsschwellen in Abhängigkeit vom Darbietungsabstand (Fünfeck)

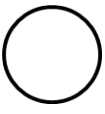
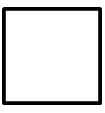
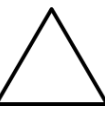

Ergänzend zu den oben aufgeführten Diagrammen werden in Tab. 5.8 und Tab. 5.9 einzelne Zahlenwerte der Unterschiedsschwellen für beide Darbietungsvarianten vorgeschlagen. Darin werden konkrete Größenkodierungsfaktoren (GKF) für jede Objektgestalt und -größe aufgelistet ohne dabei die Aussagen des Zusammenhangs über die Objektgrößen miteinzubeziehen. Der GKF-Wert ist aufgrund der statistischen Ergebnisse ein

aus den Unterschiedsschwellen der Abstände 600 mm, 1000 mm und 1400 mm arithmetisch gemittelter Zahlenwert. Bei beiden Darbietungsvarianten ist zu erkennen, dass mit steigender Objektgröße der GKF sinkt. D. h. das Verhältnis zwischen Ausgangsreiz und dem zu verändernden Reiz ist nicht konstant. Bei der seriellen Darbietung ist auffällig, dass über alle Objektgestalten hinweg jede Ausgangsgröße einen einheitlichen GKF aufweist, wenn dieser auf- oder abgerundet wird. Für die Ausgangsgröße 10 mm stellt sich ein Wert von 1,1 ein. Bei der Ausgangsgröße 15 mm ist der GKF = 1,09 und bei 25 mm ist der GKF = 1,07. Für die parallele Darbietung trifft diese eindeutige Feststellung nicht zu.

Für eine zusätzliche Ermittlung eines GKF in Bezug auf gewünschte Zwischenabstände sind zudem die jeweiligen Näherungsgleichungen der linearen Regressionen angegeben. Bei der Größenkodierung durch Verkleinerung muss der reziproke Wert des angegebenen Faktors verwendet werden.

Parallele Darbietung				
Objektgestalt	Objektgröße	Gemittelter Größenkodierungsfaktor GKF ¹⁾	Lineare Regression der Abstandsabhängigkeit ²⁾	WEBER'sche Konstante K ³⁾
	10 mm	1,187	$y = -147 \cdot 10^{-7}x + 1,202$	0,187
	15 mm	1,169	$y = -115 \cdot 10^{-7}x + 1,181$	0,169
	25 mm	1,148	$y = -58 \cdot 10^{-7}x + 1,154$	0,148
	10 mm	1,189	$y = 32 \cdot 10^{-7}x + 1,187$	0,189
	15 mm	1,158	$y = 38 \cdot 10^{-7}x + 1,155$	0,158
	25 mm	1,143⁴⁾	$y = 37 \cdot 10^{-7}x + 1,140$	0,143
	10 mm	1,175	$y = 137 \cdot 10^{-7}x + 1,161$	0,175
	15 mm	1,159	$y = 33 \cdot 10^{-7}x + 1,155$	0,159
	25 mm	1,155	$y = 54 \cdot 10^{-7}x + 1,160$	0,155
	10 mm	1,176	$y = 267 \cdot 10^{-7}x + 1,150$	0,176
	15 mm	1,153	$y = 241 \cdot 10^{-7}x + 1,130$	0,153
	25 mm	1,142	$y = 253 \cdot 10^{-7}x + 1,116$	0,142
<p>1) Gemittelte Werte aller Unterschiedsschwellen</p> <p>2) $y = \text{GKF}$, $x = \text{Abstand in mm}$</p> <p>3) $K = \text{GKF} - 1$</p> <p>4) Linear interpoliert</p>				

Tab. 5.8: Größenkodierungsfaktoren in Abhängigkeit des Abstandes – parallel

Serielle Darbietung				
Objektgestalt	Objektgröße	Gemittelter Größenkodierungsfaktor GKF ¹⁾	Lineare Regression der Abstandsabhängigkeit ²⁾	WEBER'sche Konstante K ³⁾
	10 mm	1,104	$y = 101 \cdot 10^{-7}x + 1,096$	0,106
	15 mm	1,087	$y = 159 \cdot 10^{-7}x + 1,071$	0,087
	25 mm	1,071	$y = 55 \cdot 10^{-7}x + 1,066$	0,071
	10 mm	1,100	$y = 44 \cdot 10^{-7}x + 1,095$	0,100
	15 mm	1,085 ⁴⁾	$y = 25 \cdot 10^{-7}x + 1,083$	0,085
	25 mm	1,067	$y = 14 \cdot 10^{-7}x + 1,065$	0,067
	10 mm	1,103	$y = 222 \cdot 10^{-7}x + 1,081$	0,103
	15 mm	1,093	$y = 84 \cdot 10^{-7}x + 1,084$	0,093
	25 mm	1,074	$y = 142 \cdot 10^{-7}x + 1,060$	0,074
	10 mm	1,097	$y = 183 \cdot 10^{-7}x + 1,078$	0,097
	15 mm	1,086	$y = 211 \cdot 10^{-7}x + 1,065$	0,086
	25 mm	1,072	$y = 147 \cdot 10^{-7}x + 1,057$	0,072
<p>1) Gemittelte Werte aller Unterschiedsschwellen</p> <p>2) $y = \text{GKF}$, $x = \text{Abstand in mm}$</p> <p>3) $K = \text{GKF} - 1$</p> <p>4) Linear interpoliert</p>				

Tab. 5.9: Größenkodierungsfaktoren in Abhängigkeit des Abstandes – seriell

In Anbetracht der statistischen Auswertungen, der daraus getroffenen Aussagen und der letztendlich ermittelten bzw. gemittelten Zahlenwerte soll die Zielerreichung der vorliegenden Arbeit – die Generierung eines Unterschiedsschwellendiagramms, in dem für jede Objektgröße ein Größenkodierungsfaktor entnommen werden kann – durch das folgende Bild 5.23 bestätigt werden. Es wird das resultierende Unterschiedsschwellendiagramm dargestellt, indem sowohl die Unterschiedsschwellen als auch die linearen Regressionen der parallelen und seriellen Darbietung eingetragen sind.

Zusätzlich zum Unterschiedsschwellendiagramm werden unter Beachtung der Aussagen zu Abstands- und Objektgrößenabhängigkeiten, wie im oberen Abschnitt, entsprechend die Unterschiedsschwellen, die Gleichungen der linearen Regressionen und die berechneten WEBER'schen Konstanten in Tab. 5.10 und Tab. 5.11 aufgelistet.

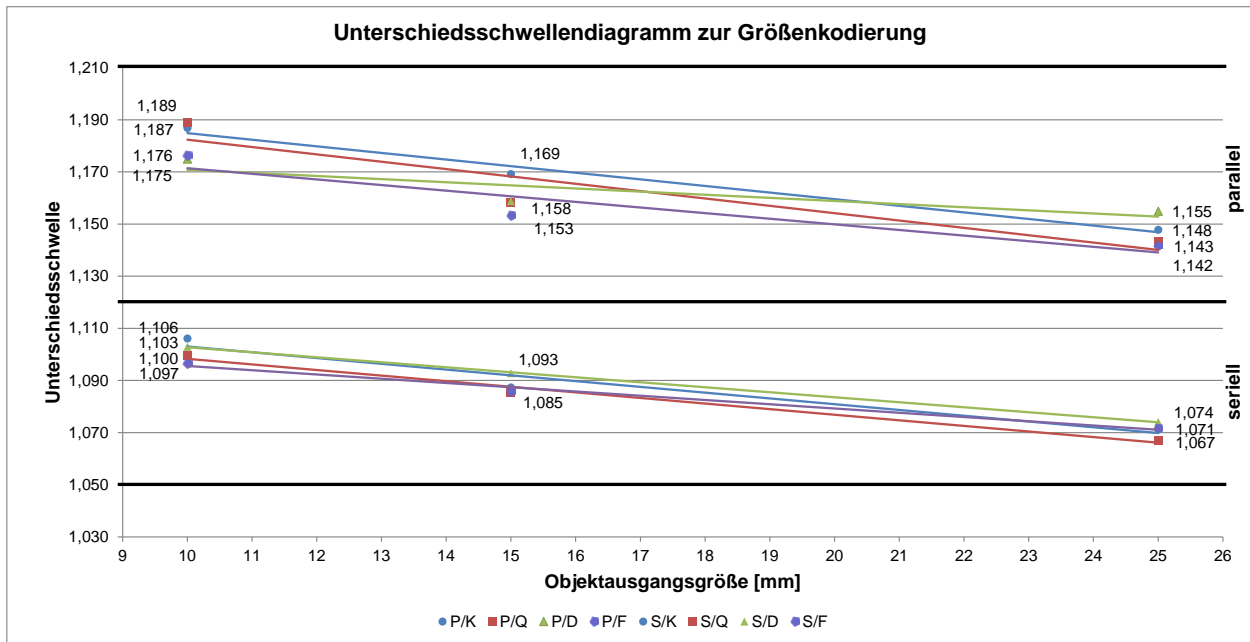






Bild 5.23: Unterschiedsschwellendiagramm zur Größenkodierung

Parallele Darbietung				
Objektgestalt	Objektgröße	Gemittelter Größenkodierungsfaktor GKF	Lineare Regression der Größenabhängigkeit ¹⁾	WEBER'sche Konstante K
○	10 mm	1,191	$y = -25 \cdot 10^{-4}x + 1,210$	0,191
	15 mm	1,159		0,159
	25 mm	1,159		0,159
□	10 mm	1,189	$y = -28 \cdot 10^{-4}x + 1,211$	0,189
	15 mm	1,151		0,151
	25 mm	1,151		0,151
△	10 mm	1,175	$y = -12 \cdot 10^{-4}x + 1,183$	0,175
	15 mm	1,157		0,157
	25 mm	1,157		0,157
⬠	10 mm	1,176	$y = -22 \cdot 10^{-4}x + 1,193$	0,176
	15 mm	1,148		0,148
	25 mm	1,148		0,148

¹⁾ $y = \text{GKF}$, $x = \text{Objektgröße in mm}$

Tab. 5.10: Größenkodierungsfaktoren in Abhängigkeit der Objektgröße – parallel

Serielle Darbietung				
Objektgestalt	Objektgröße	Gemittelter Größenkodierungsfaktor GKF	Lineare Regression der Größenabhängigkeit¹⁾	WEBER'sche Konstante K
	10 mm	1,096	$y = -22 \cdot 10^{-4}x + 1,125$	0,096
	15 mm	1,096		0,096
	25 mm	1,071		0,071
	10 mm	1,100	$y = -21 \cdot 10^{-4}x + 1,120$	0,100
	15 mm	1,100		0,100
	25 mm	1,067		0,067
	10 mm	1,098	$y = -19 \cdot 10^{-4}x + 1,122$	0,098
	15 mm	1,098		0,098
	25 mm	1,074		0,074
	10 mm	1,091	$y = -16 \cdot 10^{-4}x + 1,112$	0,091
	15 mm	1,091		0,091
	25 mm	1,072		0,072

¹⁾ $y = \text{GKF}$, $x = \text{Objektgröße in mm}$

Tab. 5.11: Größenkodierungsfaktoren in Abhängigkeit der Objektgröße – seriell

Zusammengefasst ergeben sich für die parallele Darbietung je nach Objektgestalt und Ausgangsgröße unterschiedliche Größenkodierungsfaktoren zwischen 1,148 und 1,191 und für die serielle Darbietung zwischen 1,067 und 1,098. Dies bedeutet, dass bei der visuellen Rückmeldung einer Statusänderung durch Größenkodierung eine Vergrößerung bzw. Verkleinerung von 14,8 % bis 19,1 % stattfinden soll und die visuelle Positions-/Positionierungs-Rückmeldung und/oder Auswahl-Rückmeldung mit einer Vergrößerung bzw. Verkleinerung von 6,7 % bis 9,8 % erfolgen soll. Bei der Größenkodierung durch Verkleinerung muss der reziproke Wert des angegebenen GKF genommen werden.

Im Vergleich zur Unterschiedserkennung der Linienlänge mit einem Faktor von 1,29 und somit einer Vergrößerung von 29 % liegen die hier resultierten Ergebnisse für die Größenkodierung deutlich unterhalb dieses Zahlenwertes [HAGENDORF ET AL.11]. Auch im Vergleich zu dem in Kapitel 4.3 beschriebenen Zahlenwert aus SCHMIDTKE & JASTRZEBSKA-F. [2013], der eine 50 %-ige Vergrößerung vorgibt, sind die hier ermittelten Unterschiedsschwellen deutlich verschieden und kleiner.

Interessant ist, dass der von PETROV [2011] angegebene haptische Größenkodierungsfaktor von 1,189 in der hier ermittelten Spanne für die visuelle Größenkodierung bei paralleler Darbietung liegt.

Da nun die einzelnen Größenkodierungsfaktoren definiert sind, wird im Folgenden den signifikanten Unterschieden zwischen den Objektgestalten bei paralleler Darbietung auf den Grund gegangen. Die Vermutung liegt darin, dass die vier untersuchten Objektgestalten unterschiedliche Informationen beinhalten. Deshalb wird im nächsten Kapitel eine mathematische Berechnung eines informatorischen Wertes der einzelnen Objektgestalten vorgestellt, um darin eine mögliche Begründung des Unterschiedes zu finden. Über den informatorischen Wert einer Gestalt könnten ebenso Ableitungen der informatorisch-visuellen Verarbeitung im Kontext der Unterschiedserkennung getroffen werden.

6 Grundlagenorientierte Quantifizierung des Informationsgehalts und des Auffälligkeitsmaßes

In diesem Kapitel wird eine konzeptionelle Methode zur Berechnung des formabhängigen Informationsgehalts und Auffälligkeitsmaßes vorgestellt. Der informatorische Wert und die Auffälligkeit einer Gestalt beziehen sich auf den Kontext der Unterschiedserkennung. Dabei werden ausschließlich die statistischen und syntaktischen Aspekte beachtet, denn die grundlegenden informatorischen Prozesse bei einer Unterschiedserkennung werden nicht zusätzlich von der Bedeutung, der Handlung und der Zielerreichung determiniert.

Mit Hilfe dieser Berechnungsmethode werden den jeweiligen Gestalten informationstheoretische Werte zugeschrieben. Diese können zur Diskussion über die unterschiedlichen Größenkodierungsfaktoren zwischen den Gestalten gestellt werden und eine mögliche Antwort dieses Effekts liefern.

Ein jeweiliger Exkurs zu den Definitionen der Gestalt und der Information sollen grundlegend zur konzeptionellen Berechnungsmethode hinführen. Die Unterkapitel beschreiben die Berechnungsmethode, fassen die errechneten Werte der jeweiligen Gestalt zusammen und geben zuletzt eine Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse wieder.

6.1 Exkurs 2: Die Objektgestalt im Sinne des Technischen Designs

Es gibt viele unterschiedliche Fachbereiche, die den Begriff Objektgestalt, im Folgenden „Gestalt“ genannt, auf eigene Art und Weise beschreiben. Aus Sicht des Technischen Designs wird die Gestalt nach SEEGER [2005] und MAIER & SCHMID [2014] als ein-, zwei- und dreidimensionales Objekt definiert, das mit einem Aufbau versehen, geformt, farbig und beschriftet ist. D. h. die Gestalt wird in die Teilgestalten Aufbau, Form, Farbe und Grafik aufgeteilt. Jede dieser Teilgestalten besitzt wiederum Ordnungen und Elemente. Sie werden aber immer als Ganzheit betrachtet. Es werden nämlich nicht die Objekte wahrgenommen, sondern das, was die Objekte konstruiert – Farben, Formen, Strukturen [BENSE82]. Auch BIRKHOFF [1928], dem die Definition über ein ästhetisches Maß M (siehe Gl. 6.1) als Quotient der Ordnung O und Komplexität C zur Kennzeichnung einer Gestalt zugeschrieben wird, und GARNICH [1968 & 1982], der diese Definition allgemein fasst und objektiviert, verwenden diese Einteilung und definieren die Ordnungen O als bewusst wahrgenommene Eigenschaften.

$$M = \frac{O}{C} \quad (\text{Gl. 6.1})$$

Diese betreffen Aspekte wie Harmonie und Symmetrie bzw. Ordnungsrelationen, die nicht offensichtlich, sondern versteckt auftreten und den psychologischen Tatsachen entsprechen müssen sowie einer gewissen Erfahrung genügen. Die Anzahl an geometrisch definierbaren Elementen verkörpert die Komplexität C der entsprechenden Gestalt.

Diese Einteilung und gleichzeitige Definition einer Objektgestalt wird für das Quantifizieren des gestaltabhängigen Informationsgehalts im Weiteren verwendet und in Kapitel 6.3 in Tab. 6.1 und Tab. 6.2 erneut aufgegriffen.

6.2 Exkurs 3: Der Informationsgehalt und das Auffälligkeitsmaß

Den Begriff der Information insgesamt zu beschreiben, würde definitiv den Rahmen der vorliegenden Arbeit überschreiten. Deshalb soll in diesem Kapitel das nötige Wissen vermittelt werden, um die folgende konzeptionelle Methode zur Berechnung des formabhängigen Informationsgehalts nachvollziehen zu können.

Der Begriff Information ist Bestandteil unserer Umgangssprache und sollte im Sinne von Nachricht oder Auskunft verstanden werden. Eine Information ist nicht mit einem Signal zu verwechseln. Signale sind physikalische Träger der Information. Eine Information ist ein Komplex von Zeichen, bspw. von Wörtern, die meist selbst wiederum Komplexe von Unterzeichen, bspw. Buchstaben, sind. Deshalb gibt es keinen wesentlichen Unterschied zwischen Information und Zeichen.

Die Information lässt sich definieren als ein von einem Signal bzw. einem Zeichenträger ausgelöster Bewusstseinsprozess, der auf seine Quelle oder Bedeutung gerichtet ist. Ein Geldbeutel auf einer Parkbank ist an sich keine Information. Es wird erst im eigenen Bewusstsein zu einer Information, falls daraus geschlossen wird, dass jemand den Geldbeutel verloren hat (Quelle) oder falls die Mitteilung aufgenommen wird, auf die mich meine Begleitperson während dem Spazieren mittels eines vereinbarten Codes aufmerksam machen wollte (Bedeutung). Eine Information verweist auf eine Ursache hin [FRANK64].

GITT [1994] beschreibt in seinem Buch sowohl Diskussionen als auch gedankliche Ergänzungen zum Begriff Information. Er ist derselben Meinung wie der Kybernetiker Hans-Joachim FLECHTNER, dass Information eine geistige Größe und keine materielle Eigenschaft, wie Masse und Energie, sei. *„Das Bilden eines Signals ist das Codieren eines geistigen Inhalts, ob dieses bedeutend, unbedeutend, wertvoll, brauchbar oder sinnlos ist, darüber enthält das Signal nichts. Ein solches Urteil kann erst aufgrund einer Informationsverarbeitung im Empfänger entstehen“* [FLECHTNER69, S. 423].

Information entsteht stets zwischen einem Sender und einem Empfänger und die wichtigste Voraussetzung dafür ist der geistige Wille des Senders, der die Information mit einer bestimmten Absicht abgibt [GIT94].

Der ursprüngliche Sinn der Information besteht also in der Übermittlung einer beabsichtigten Zielvorgabe an einen Empfänger, der dadurch aufgefordert wird dieses Ziel zu verwirklichen. Auf Basis dieser Festlegung erklärt GIT [1994] die Information anhand von fünf Aspekten: Statistik, Syntax, Semantik, Pragmatik und Apobetik (siehe Bild 6.1).

Die Statistik beschreibt lediglich das Auftreten und die Häufigkeit von Elementen, Zeichen oder Buchstaben. Die statistische Information bildet die Grundlage der existenziellen Information.

Die Syntax beinhaltet die Regeln der Kombination einzelner Elemente, Zeichen oder Buchstaben, also die Grundsätze der geometrischen Anordnung oder entsprechenden Sprache nach denen die Elemente, Zeichen oder Buchstaben miteinander verknüpft sind (Code). Sie erfasst ebenso sämtliche strukturelle Merkmale der Informationsdarstellung (Formen, Lage, Farben und Ordnungsrelationen) und bildet demnach die Möglichkeit, Information richtig erfassen zu können.

Die Semantik ist der eigentliche, anfängliche Aspekt einer Information, da erst durch die Bedeutung, einen Sinn oder eine Aussage (Semantik) die kodierten Zeichen, Buchstaben oder Objekte zur Information werden. Ob die Information letztendlich vom Empfänger verstanden wird oder nicht, ändert nichts an der Tatsache, dass Information vorhanden ist. Das Bestreben die Bedeutung auszudrücken, nennen wir Sprache. Erst durch die Sprache wird Information sendbar und auf materiellen Medien speicherbar. Die Information ist dementsprechend invariant, sowohl gegenüber dem Wechsel der sinnesseitigen Übertragung (akustisch, optisch, elektrisch) als auch dem verwendeten Speichermedium (Gehirn, Buch, Magnetband).

Der vierte Aspekt, die Pragmatik, definiert nun die vom Empfänger auszuführende Handlung, die der Sender mit der Übermittlung der Information verfolgt, um das beabsichtigte Ziel zu erreichen. Eine Information bewirkt also eine Handlung.

Die Apobetik, als fünfter und abschließender Aspekt einer Information, beinhaltet die Zielvorgabe des Senders, diese für den Empfänger eindeutig zu formulieren, um an das beabsichtigte Ergebnis zu gelangen.

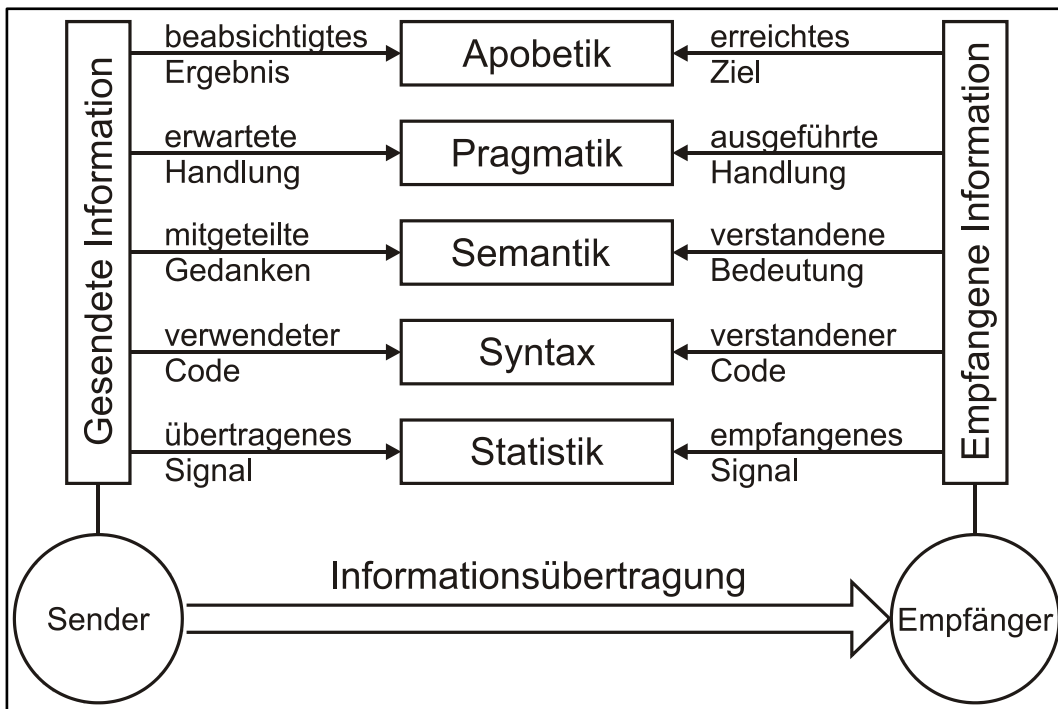


Bild 6.1: Die fünf Aspekte der Information [GIT94]

In Anbetracht des komplexen Sachverhalts und in Anwendung des Informationsmodells kann folglich der Informationsbegriff in fünf Teilaspekte gegliedert werden. Im Zusammenhang mit der in der vorliegenden Arbeit durchgeführten grundlagenorientierten Untersuchung zur Unterschiedserkennung zwischen variierenden Objektgrößen und unterschiedlicher Objektgestalten, trägt für das Aufstellen einer Berechnungsmethode des formabhängigen Informationsgehalts lediglich der statistisch-syntaktische Informationsaspekt bei. Die Untersuchung zielt weder auf die Übermittlung von bestimmten Bedeutungen noch auf die Analyse von bestimmten eingeleiteten Handlungen oder auf das Erreichen eines bestimmten Ziels ab. Aus diesem Grund wird zur Berechnung eines statistisch-syntaktischen Informationsgehalts hier die SHANNON'sche Informationstheorie hinzugezogen.

Bis heute wird die Wissenschaft auf diesem Fachgebiet durch die von SHANNON & WEAVER [1949] veröffentlichte Arbeit geprägt. Sie bearbeitet das Problem, unter welchen Bedingungen eine von einem Sender kodierte und durch einen gestörten Kommunikationskanal übermittelte Information am Zielort wiederhergestellt, also ohne Informationsverluste dekodiert werden kann. Dabei geht es um den Informationsgehalt digitaler Signale, der für das Aufstellen der Theorie als eine physikalische Größe angenommen wird.

Der Informationsgehalt trägt die Maßeinheit „bit“ und steht für die Abkürzung „binary digit“. Getrieben von der Festlegung, dass „eine“ und eine „zweite“ Information mit den Zahlen „Null“ und „Eins“ kodiert werden können und wie beim Binärsystem mehrere Informationen proportional der Potenz zur Basis 2 sind, zusätzlich die „eine“ und die „zweite“ Information mit der gleichen Wahrscheinlichkeit $p_0(x_0) = p_1(x_1) = 0,5$ auftreten können, ergibt sich für die jeweilige Information ein errechnetes Informationsmaß $I_i(x_i)$ von 1 bit. Wenn demnach eine Quelle x_n verschiedene Informationen mit den gleichen Wahrscheinlichkeiten $p_i(x_i) = 1/x_n$ sendet, ergibt sich für das SHANNON'sche Informationsmaß mit dem Logarithmus zur Basis zwei, dem Logarithmus dualis, folgende Gleichung:

$$I_i(x_i) = - \log_2 p_i(x_i) = - \log_2 \frac{1}{x_n} \quad (\text{Gl. 6.2})$$

Es folgt der mittlere SHANNON'sche Informationsgehalt \bar{H} mit den relativen Informationsmaßen $H_i(x_i)$:

$$\bar{H}_j = \sum_{i=1}^n H_i(x_i) = \sum_{i=1}^n p_i(x_i) \cdot I_i(x_i) \quad (\text{Gl. 6.3})$$

Es folgt der SHANNON'sche Informationsgehalt:

$$I_j = \bar{H}_j \cdot x_i \quad (\text{Gl. 6.4})$$

Zuletzt errechnet sich das Auffälligkeitsmaß aus folgender Gleichung:

$$A_j = \sum \frac{H_i(x_i)}{\bar{H}_j} \quad (\text{Gl. 6.5})$$

Das zusätzlich aufgeführte Auffälligkeitsmaß ist auf Helmar FRANK [1961], [1995] zurückzuführen. In seinem informationspsychologischen Modell für die Informationsverarbeitung im Menschen definiert er das Auffälligkeitsmaß als Wert für die Selektion von Information. Folglich liegt nahe, das Auffälligkeitsmaß durch das SHANNON'sche Informationsmaß zu beschreiben, indem das Auffälligkeitsmaß ferner definiert wird als Verhältnis

des Informationsmaßes eines auffälligen Elements zur Gesamtheit des Informationsmaßes aller Elemente [FRANK61]. Für die weiterführende Berechnung wird das Auffälligkeitsmaß konkret als die Summe der Verhältnisse des Informationsmaßes auffälliger Elemente zum mittleren Informationsgehalt definiert. Da bei der Unterschiedserkennung die Selektion bzw. die Suche und das Vergleichen von Informationen im Vordergrund steht, ist dieses Maß zusätzlich zum Informationsgehalt ein Kriterium zur Begründung der festgestellten statistisch signifikanten Unterschiede der Unterschiedsschwellen zwischen den Objektgestalten. Es gibt vor, wie viel Prozent an Gesamtinformation entnommen wird, damit eine eindeutige Aussage über den Unterschied getroffen werden kann.

Für die Datenübertragung und Kodierung von Information spielt in der SHANNON'schen Theorie ebenso der Begriff „Redundanz“ eine bedeutende Rolle. Jedoch werden die theoretischen Hintergründe dazu hier nicht weiter betrachtet, da dies für diese Untersuchung nicht relevant ist [SHANNON & WEAVER49].

Die zuvor vorgestellten Gleichungen werden für die konzeptionelle Berechnungsmethode zur Quantifizierung des statistisch-syntaktischen Informationsgehalts der jeweiligen Objektgestalten benötigt. Der Zusammenhang zwischen der Definition einer Objektgestalt durch Ordnungen und Elemente und der Hinzunahme des statistisch-syntaktischen Informationsgehalts wird im folgenden Kapitel nochmal genauer verdeutlicht.

6.3 Konzeptionelle Methode zur Berechnung des Informationsgehalts zweidimensionaler visuell dargebotener Objekte

Die konzeptionelle Berechnungsmethode beruht auf der Analogie zwischen den Definitionen der Objektgestalt und des statistisch-syntaktischen Informationsgehalts. Die Analogie besteht darin, dass beide Begriffe im Wesentlichen grundlegend durch Elemente und Ordnungen definiert werden. D. h. die vollständige Beschreibung einer Objektgestalt durch die Anzahl der Elemente und Ordnungen ermöglicht gleichzeitig die Berechnung des Informationsgehalts. Bild 6.2 stellt die objekt- und informationspezifische Einteilung und die Analogie zur Berechnung des statistisch-syntaktischen Informationsgehalts schematisch dar.

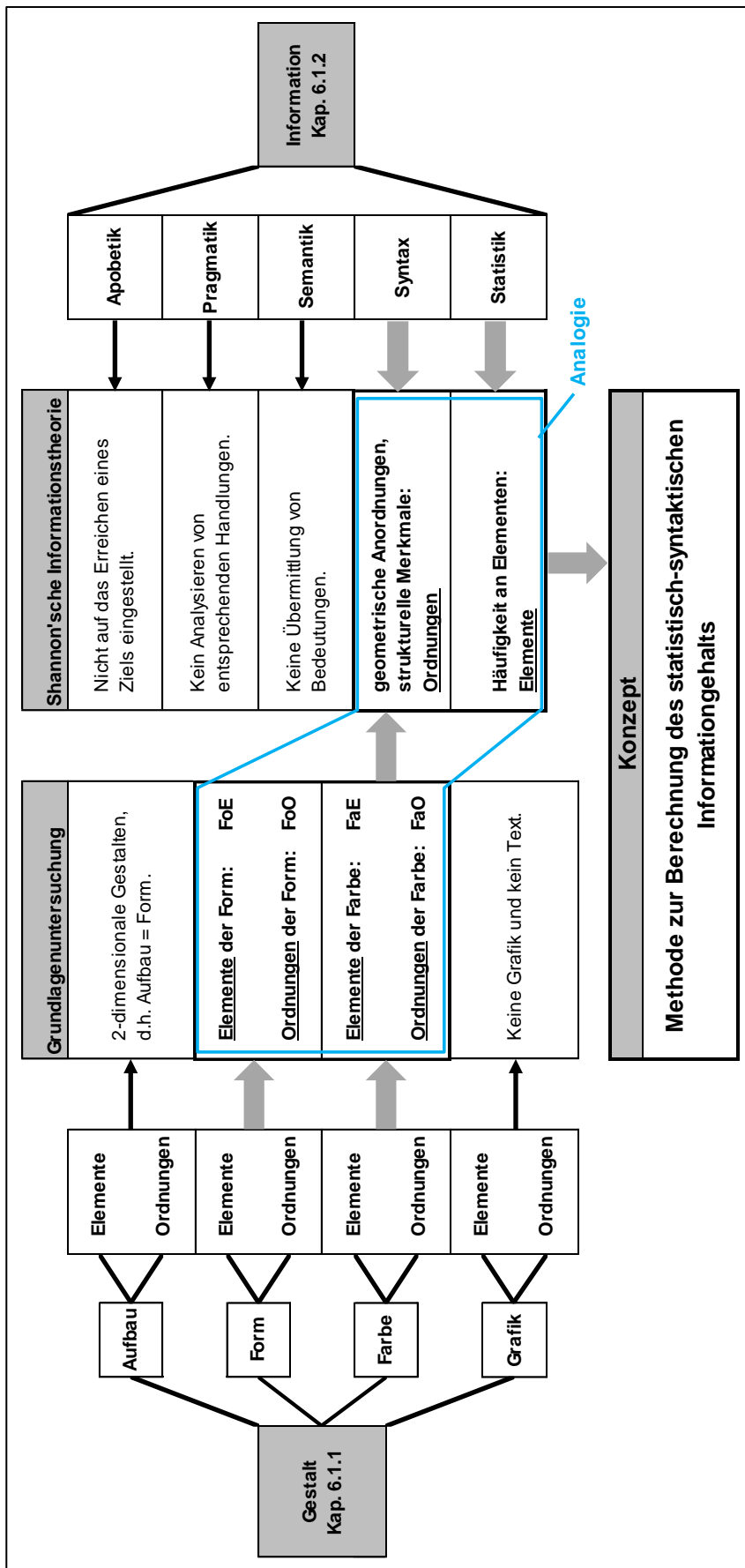


Bild 6.2: Zusammenhang zwischen Gestalt und Informationsgehalt

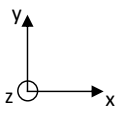
Aufgrund des Untersuchungsaufbaus (Kapitel 5.2) und der darin verwendeten Stimuli, werden die Teilgestalten Aufbau und Grafik für die Berechnungsmethode nicht betrachtet. Somit baut die Berechnungsmethode nur auf der Beschreibung der Objektgestalt durch die Elemente und Ordnungen der Teilgestalten Form (F_o) und Farbe (F_a) auf. Im Folgenden wird die analytische Klassifizierung einer Objektgestalt, welche die Grundlage der konzeptionellen Berechnungsmethode bildet, vorgestellt.

Eine Form kann wie folgt in grundlegende Elemente wie Ecken bzw. Knoten oder Linien bzw. Kanten, die geradlinig oder konvex, konkav oder freigeformt sind, eingeteilt werden. Sie definiert eine zweidimensionale Fläche, die zusätzlich durch das Element der Farbe wahrgenommen wird und einfarbig oder mehrfarbig ist. Tab. 6.1 zeigt die Klassifizierung der Objektgestalt in ihre Elementarten.

Objektgestalt	Elementarten		
	Form (F_o)	Ecke / Knoten	
Linie / Kante		geradlinig	a = b a ≠ b
		konvex / konkav / freigeformt	
Farbe (F_a)	einfarbige / mehrfarbige Fläche	schwarz / weiß	

Tab. 6.1: Elementarten der Teilgestalten Form und Farbe

Eine Objektgestalt wird durch einige grundlegende Ordnungsarten gekennzeichnet. Allgemein beschreiben die Gestaltordnungen sämtliche Relationen zwischen zwei und mehreren Elementen. In Tab. 6.2 sind die allgemeingültigen Ordnungsarten klassifiziert. Unter Proportionen sind Maßverhältnisse der Haupt- und Teilabmessungen wie Gesamtlänge, -breite und -höhe gemeint, die in einem bestimmten Verhältnis zueinander stehen und die eigentliche Gesamtform charakterisieren. Die Einzelemente beeinflussen und definieren die Ordnung einer Form durch ihre relative Lage. Deshalb werden diese zusätzlich in die Beschreibung aufgenommen. Der Begriff Stetigkeit beschreibt eine zu erwartende harmonische und natürliche Linien- und Kantenführung. Die Ordnungsarten der Farbelemente befassen sich mit der Frage, ob Gleichheit und Gleichmäßigkeit (kein Kontrast) oder Ungleichheit (Kontrast) in der Farbigkeit vorliegt. Der Quantität-Null-Kontrast beschreibt, ob gleichgroße oder unterschiedliche Farbflächen existieren. Die letzten drei Kontraste werden von den Farbbestimmungsgrößen Farbton, Sättigung und Helligkeit bestimmt. Herrscht eine homogene Farbgebung, so besteht kein Kontrast und die Ordnung kann gesteigert werden.

Objektgestalt	Ordnungsarten		
	Form (Fo) 	Achsensymmetrie	horizontal (x-Achse)
			vertikal (y-Achse)
			diagonal (xy-Ebene)
		Rotationssymmetrie	um die z-Achse
		Punktsymmetrie	Zentralsymmetrie
		Proportionen / Dimensionen	1:1, 1:2, Ø, Länge, Breite
		Relative Lage der Einzelelemente	horizontal (x-Achse)
			vertikal (y-Achse)
			im Raum (xy-Ebene)
Parallelitäten	horizontal (x-Achse)		
	vertikal (y-Achse)		
	diagonal (xy-Ebene)		
Winkligkeit	0° / 45° / 90° / 180°		
Bündigkeit	horizontal Bündigkeit-Null-Kontrast		
	vertikal Bündigkeit-Null-Kontrast		
	diagonal Bündigkeit-Null-Kontrast		
Stetigkeit	Stetigkeit-Null-Kontrast		
Farbe (Fa)	Kontrast	Quantität-Null-Kontrast	
		Bunt-Unbunt-Null-Kontrast	
		Hell-Dunkel-Null-Kontrast	
		Komplementär-Null-Kontrast	

Tab. 6.2: Ordnungsarten der Teilgestalten Form und Farbe

Die an die Untersuchung angepasste Klassifizierung einer Objektgestalt durch allgemeingültige Element- und Ordnungsarten wird nun mit den Berechnungsformeln der SHANNON'schen Theorie verknüpft. Es ergibt sich exemplarisch die grundlegende Berechnungstabelle (siehe Tab. 6.3).





Objektgestalt (Kreis, Quadrat, Dreieck, Fünfeck)			Anzahl	relative Häufigkeit	Informationsmaß	relatives Informationsmaß	Informationsgehalt	Auffälligkeitsmaß
	Elementarten	x_i	$p_i(x_i) = x_i / x_{ges}$	$I_i(x_i) = -\log p_i(x_i)$	$H_i(x_i) = p_i(x_i) \cdot I_i(x_i)$	$I_i(x_i) = x_i H_i(x_i)$	$A_i = H_i / H_{ges}$	
Form (Fo)	...							
	...							
	...							
Farbe (Fa)	...							
Ordnungsarten								
Form (Fo)	...							
	...							
	...							
Farbe (Fa)	...							
	...							

Tab. 6.3: Übersicht der Berechnungstabelle

Nachdem an dieser Stelle die Grundlage der konzeptionellen Berechnungsmethode definiert ist, werden im folgenden Kapitel die Einzelergebnisse des Informationsgehalts und des Auffälligkeitsmaßes präsentiert.

6.4 Ergebnisse des Informationsgehalts und des Auffälligkeitsmaßes

Ein auf die Berechnung einflussnehmender Aspekt ist die objektive Anzahlvergabe (x_i) der Element- und Ordnungsarten. Die zu bestimmenden Zwischenwerte des Informationsgehalts lassen sich anhand der mathematischen Gleichungen problemlos ermitteln. Die Berechnung des Auffälligkeitsmaßes, welches neben dem Informationsgehalt ebenso für die Begründung der unterschiedlichen Unterschiedsschwellen hinzugezogen wird, beruht auf den fokussierten Bereichen zwischen den Stimuli während der Unterschiedserkennung. Diese relevanten Element- und Ordnungsarten, die letztendlich die relativen Informationsmaße, also die relativen Auffälligkeiten bzw. Anhaltspunkte für die Erkennung eines Unterschiedes, definieren, sind in einer Eye-Tracking-Vorstudie erkannt worden. D. h. analysierte Blickbewegungen und Fixationsorte haben einen Aufschluss darüber gegeben, welche Stellen während der Stimuli-Darbietung von Probanden in den meisten Fällen bei der Unterschiedserkennung fokussiert werden. Diese Stellen kennzeichnen eine mögliche Informationssuche bzw. einen Prozess des Vergleichens zwischen zwei dargebotenen Stimuli. Die relativen Informationsmaße werden ausschließlich mit diesen fokussierten Element- und Ordnungsarten berechnet und fließen in das Auffälligkeitsmaß mit ein. Die Berechnungstabellen für die vier Objektgestalten sind im Anhang A2 (siehe Tab. A2.1 - Tab. A2.2) zu finden. Es sind für jede Objektgestalt jeweils drei Teilrechnungen vorhanden: die der alleinstehenden Objektgestalt („Objektgestalt einfach“), die der jeweiligen Objektgestalt bei paralleler Darbietung und die der jeweiligen Objektgestalt bei serieller Darbietung. Die Ergebnisse der Berechnung sind in Tab. 6.4 aufgelistet.

Objektgestalt	Objektgestalt einfach			Parallele Darbietung		Serielle Darbietung	
	Info-Gehalt [bit]	Ästh. Maß $M_{Botta} = O/E$	Ästh. Maß nach Birkhoff	Info-Gehalt [bit]	Auffälligkeitsmaß [%]	Info-Gehalt [bit]	Auffälligkeitsmaß [%]
	43,0	5	keine Angabe	42,1	12,8	46,1	11,7
	82,1	1,44	1,5	110,5	26,5	90,0	26,1
	49,1	1,14	1,16	85,2	28,4	67,2	32,0
	63,2	0,82	0,9	104,1	26,7	79,3	29,7

Tab. 6.4: Ergebnisse des Informationsgehalts und des Auffälligkeitsmaßes

Betrachtet man die Objektgestalten einfach, d. h. nicht in Bezug zur Unterschiedserkennung zwischen zwei Objekten, so weisen die Objektgestalten „Kreis“ und „Dreieck“ etwa einen ähnlichen Informationsgehalt auf. Im Vergleich zu den Objektgestalten „Quadrat“ und „Fünfeck“ bedeutet dies, dass der Kreis und das Dreieck weniger Information enthalten als das Quadrat und das Fünfeck. Den höchsten Wert an Informationsgehalt weist die Objektgestalt „Quadrat“ mit 82,1 bit auf.

Für die Werte des Informationsgehalts speziell bei der Unterschiedserkennung, also den zwei Darbietungsvarianten, ergibt sich erwartungskonform stets dieselbe Rangfolge: das Quadrat weist den höchsten Informationsgehalt auf, gefolgt vom Fünfeck, vom Dreieck und zuletzt vom Kreis mit 42,1 bit.

Interessant sind die berechneten Auffälligkeitsmaße. Analog zu den Werten des Informationsgehalts sind die des Kreises mit 12,8 % bei paralleler und 11,7 % bei serieller Darbietung wiederum die niedrigsten. D. h., dass etwa nur ein Zehntel der Gesamtinformation, die zur Verfügung steht, für die Unterschiedserkennung in Anspruch genommen wird. Die anderen drei Objektgestalten weisen bei paralleler Darbietung einen Wert von ca. 27 % für die parallele und ca. 29 % für die serielle Darbietung auf. Der Berechnung zur Folge weist das Dreieck mit 28,4 % bei paralleler Darbietung und mit 32,0 % bei serieller Darbietung das höchste Auffälligkeitsmaß auf. Respektive steht mehr Information für die Unterschiedserkennung bereit. Es wird die Schlussfolgerung getroffen, dass aufgrund eines quantitativen Auffälligkeitsunterschiedes, die Unterschiedsschwellen in Abhängigkeit der Objektgestalt variieren.

In der Spalte „Objektgestalt einfach“ wird zusätzlich das ästhetische Maß M_{Botta}

$$M_{Botta} = \frac{O}{C} \quad (\text{Gl. 6.6})$$

für jede Objektgestalt aufgenommen, das mit der hier erarbeiteten Klassifizierung der Element- und Ordnungsarten berechnet werden kann. BIRKHOFF [1928] beschreibt ebenso die Berechnung eines ästhetischen Maßes verschiedenster Formen. Im Vergleich dazu liegen die hier berechneten Maße (M_{Botta}) recht nahe an denen von BIRKHOFF. Damit scheint die in diesem Kapitel vorgestellte Klassifizierung einer zweidimensionalen Gestalt ebenso interessant, wie die des Mathematikers BIRKHOFF aus dem Jahr 1928, zu sein. Diese Aussage könnte durch weitere wissenschaftliche Arbeiten verifiziert werden. Ein Beleg dafür, dass diese konzeptionelle Berechnungsmethode auf einer soliden Grundlage aufbaut, ist somit vorerst gegeben.

Es folgt eine Zusammenfassung, in der die Ergebnisse des Informationsgehalts und des Auffälligkeitsmaßes in Zusammenhang mit den Ergebnissen der Unterschiedsschwellen in Abhängigkeit der Objektgestalten aus Kapitel 5.4.4 gebracht und diskutiert werden.

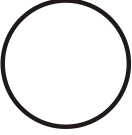
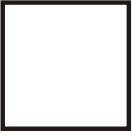

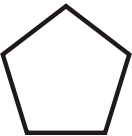
6.5 Zusammenfassung zum Informationsgehalt und Auffälligkeitsmaß

Mit Hilfe der vorgestellten konzeptionellen Methode kann der Informationsgehalt zweidimensionaler Objekte quantifiziert und ein speziell auf die Grundlagenuntersuchung bezogenes Auffälligkeitsmaß berechnet werden. Die daraus resultierten Einzelwerte sollen letztendlich die ermittelten statistischen Unterschiede der Unterschiedsschwellen zwischen den Objektgestalten rechtfertigen.

Es hat sich herausgestellt, dass das Auffälligkeitsmaß das ausschlaggebende Maß ist, welches für die Begründung der statistischen Unterschiede zwischen den Objektgestalten zur Diskussion gestellt wird. Denn es gilt nicht, je größer der Informationsgehalt ist, desto besser wird der Unterschied erkannt und desto kleiner ist die Unterschiedsschwelle. Diese Aussage kann schon aus Gründen der begrenzten menschlichen Informationsverarbeitung nicht getragen werden. Ein Zusammenhang wird eher durch die Auffälligkeit charakterisiert, die das Verhältnis zwischen den herausstechenden Merkmalen zu den Gesamtmerkmalen beschreibt. Es gilt, je auffälliger, desto schneller die Erkennung und in diesem Fall desto kleiner die Unterschiedsschwelle. Diese Aussage wird im Folgenden zuerst auf die statistische Auswertung aller Unterschiedsschwellen (siehe Tab. 5.7) bezogen und, wenn die statistischen Unterschiede bedeutend sind, im zweiten Schritt an den einzelnen zusammengefassten Größenkodierungsfaktoren gemessen.

Zurückblickend auf die statistischen Auswertungsergebnisse der Objektgestalten (siehe Tab. 5.7) sind nur die Unterschiede bei paralleler Darbietung und Objektgröße von 10 mm für die Gegenüberstellung des Zusammenhangs zwischen Auffälligkeitsmaß und Unterschiedsschwelle der jeweiligen Objektgestalt relevant. Sowohl die Ergebnisse der anderen beiden Objektgrößen bei paralleler Darbietung als auch insgesamt die der seriellen Darbietung sind für die Verifikation der Aussage „je auffälliger, desto kleiner die Unterschiedsschwelle“ irrelevant, da keine statistischen Unterschiede zu erkennen sind. Deshalb werden auch nur die Größenkodierungsfaktoren der parallelen Darbietung bei einer Objektgröße von 10 mm für die Verifikation der Aussage hinzugezogen. Tab. 6.5 bestätigt die Aussage „je auffälliger, desto kleiner die Unterschiedsschwelle“ und begründet hiermit, dass die Unterschiede in diesem Fall abhängig von der Objektgestalt sind.

Die Objektgestalt „Dreieck“ mit dem höchsten Auffälligkeitsmaß von 28,4 % weist den kleinsten GKF (1,175) auf. Die Objektgestalt „Kreis“ mit der niedrigsten Auffälligkeit von 12,8 % verfügt über den größten GKF (1,191).

Objektgestalt	Parallele Darbietung und Objektgröße 10 mm		
	Informationsgehalt [bit]	Auffälligkeitsmaß [%]	Gemittelter Größenkodierungsfaktor GKF
	42,1	12,8	1,191
	110,5	26,5	1,189
	85,2	28,4	1,175
	104,1	26,7	1,176

Tab. 6.5: Übersichtstabelle zum Informationsgehalt, Auffälligkeitsmaß und GKF

Eine Objektgestalt mit ihren unterschiedlichen Element- und Ordnungsarten besitzt folglich eine eigene Auffälligkeit. Im Zusammenhang zur hier vorgestellten Quantifizierung der Größenkodierung spielt die Auffälligkeit für die Unterscheidserkennung eine bedeutende Rolle. Deshalb wird die Hypothese H-4 bestätigt. Die Objektgestalt hat einen Einfluss auf die Erkennung eines Unterschiedes. Ferner gilt sogar, dass je mehr Auffälligkeit eine Objektgestalt aufweist, desto schneller kann die Erkennung des Unterschiedes erfolgen.

7 Gestaltungsempfehlungen für die visuelle Größenkodierung

Die zusammengefassten Ergebnisse der durchgeführten Untersuchung (Kapitel 5) sollen als Hinweise für die visuelle Größenkodierung sowohl allgemein bei einer nutzerzentrierten Gestaltung einer Benutzeroberfläche als auch speziell bei der Gestaltung einer blickbasierten Interaktion beachtet werden. Aus Sicht der Benutzungseffizienz kann die Informationsdarstellung die jeweilige Betätigung einer Benutzeroberfläche fördern, indem die visuellen Informationen für den Benutzer verständlicher gemacht und dadurch Betätigungsgeschwindigkeit und -genauigkeit gesteigert werden. Die vorgestellten Empfehlungen bezüglich der visuellen Rückmeldung durch Größenkodierung können das herkömmliche Betätigen einer Benutzeroberfläche, aber auch speziell das visuelle Ausführen von Aktionen, Suchen und Finden von Informationen durch die Unterscheidbarkeit von Informationen verbessern.

Wie schon für die Untersuchung abgeleitet, wird bei der Informationsrückmeldung durch Größenkodierung während der herkömmlichen Betätigung einer Benutzeroberfläche zwischen zwei Betätigungssituationen unterschieden. Die erste Betätigungssituation beschreibt eine Statusänderung eines Systems, die einem Benutzer angezeigt werden soll. D. h. inmitten einer angezeigten Statusinformation soll eine Statusänderung durch Änderung der Objektgröße erfolgen. Diese erste Betätigungssituation wird als parallele Darbietung bezeichnet. Eine Statusänderung wird demzufolge gleichzeitig bzw. parallel zu zusätzlichen Statusinformationen angezeigt. Die zweite Betätigungssituation beschreibt eine aktive Betätigungsabfolge. Diese Betätigungsabfolge bestehend aus zwei Stufen (Fixation und Auswahl) sollte durch eine zeitnahe visuelle Rückmeldung, Positions-/Positionierungs- und Auswahl-Rückmeldung (siehe Kapitel 4), durch Änderung der Objektgröße ergänzt und angezeigt werden. Diese Betätigungssituation wird als serielle Darbietung definiert, da die Änderung zeitnah hintereinander geschieht.

Als Gestaltungshinweise können für die Rückmeldung durch Größenkodierung folglich drei auftretende Möglichkeiten vorgestellt werden:

- 1) Statusänderung eines Systems (parallele Darbietung)
- 2) Statusänderung bei aktiver Betätigung (serielle Darbietung)
- 3) Kombinierte Betätigungssituation aus 1) und 2) (parallele + serielle Darbietung)

Bild 7.1 stellt exemplarisch drei Gestaltungshinweise für die visuelle Rückmeldung durch Größenkodierung dar. Eine eckige, quadratische Objektgestalt mit einer Kantenlänge von $x_0 = 10 \text{ mm}$ sei ausgewählt. Demzufolge werden aus den Tab. 5.10 und Tab. 5.11 die Größenkodierungsfaktoren $GKF_p = 1,189$ (parallel) und $GKF_s = 1,1$ (seriell) definiert. Für die erste Betätigungssituation wird die Statusänderung eines Systems durch die Vergrößerung bzw. Verkleinerung (Multiplikation bzw. Division) des Ausgangsobjektes (x_0) mit dem GKF_p vorgegeben. Für die zweite Betätigungssituation wird die Abfolge zuerst durch die Vergrößerung bzw. Verkleinerung des Ausgangsobjektes mit dem GKF_s bestimmt, welche die Positions-/Positionierungsrückmeldung charakterisiert, und danach durch die darauffolgende Vergrößerung bzw. Verkleinerung des zuvor vergrößerten bzw. verkleinerten Ausgangsobjektes mit dem GKF_s festgelegt, welche die Auswahlrückmeldung kennzeichnet. Diese Betätigungsabfolge unterliegt einer seriellen Darbietung, deshalb wird der GKF_s eingesetzt. Der letzte Gestaltungshinweis beschreibt die kombinierte Variante aus paralleler und serieller Darbietung und die entsprechend eingesetzten GKF.

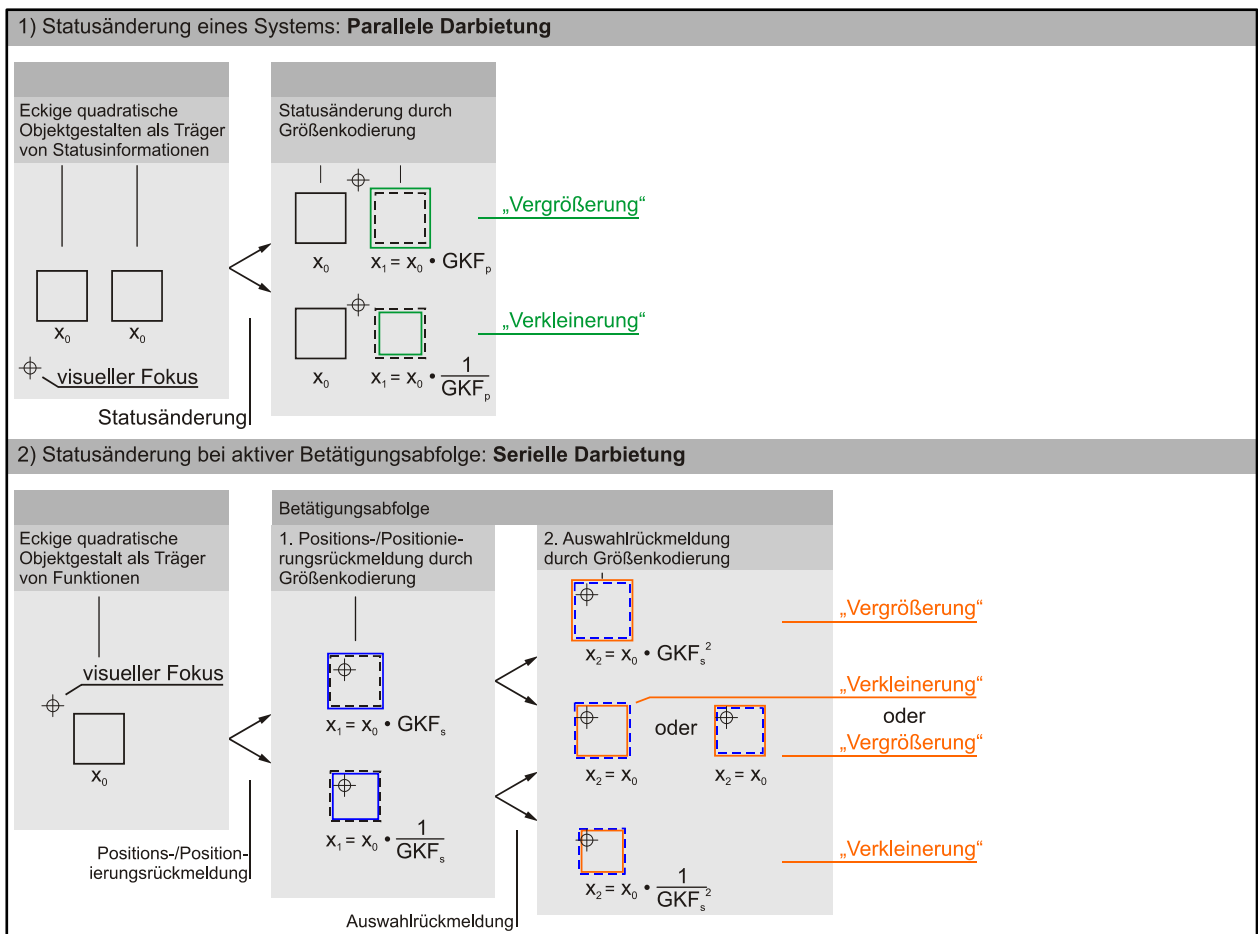


Bild 7.1: Gestaltungsempfehlungen für die visuelle Größenkodierung

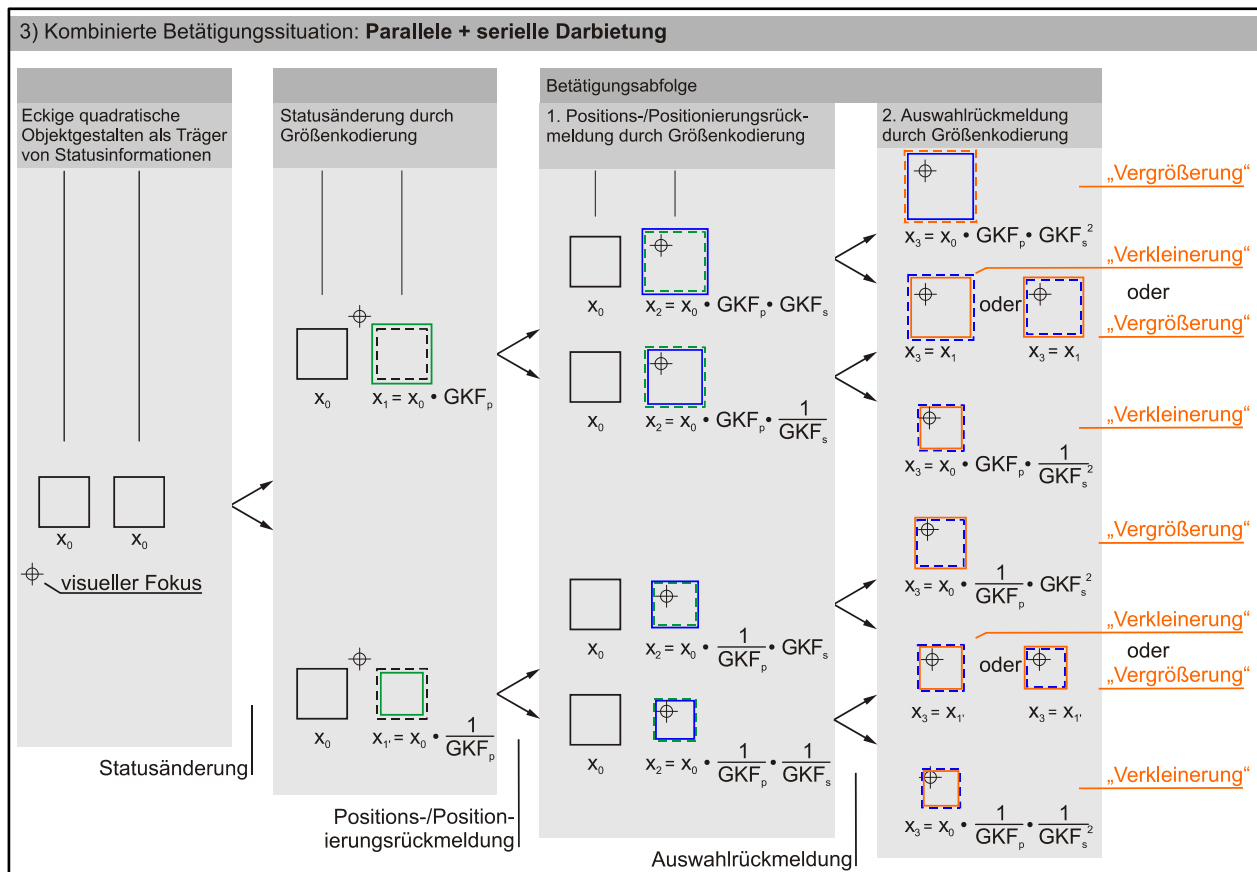


Bild 7.1: Gestaltungsempfehlungen für die visuelle Größenkodierung (Fortsetzung)

Bei der Blickinteraktion wird der visuelle Fokus zur Informationsaufnahme, aber auch zur Informationseingabe verwendet. Deshalb müssen die normbehafteten klassischen Gestaltungsempfehlungen für grafische Benutzungsoberflächen entsprechend angepasst werden. Es wird davon ausgegangen, dass der visuelle Fokus nur für die Wahrnehmung eingesetzt wird. Die speziellen Eigenschaften eines Eingabevorgangs bei der Blickinteraktion, welche von der Position-/Positionierungs- und der Auswahl-Rückmeldung abhängig sind, sind darin nicht berücksichtigt. Ausgehend von den Untersuchungsergebnissen sowie Ergebnissen aus anderen wissenschaftlichen Arbeiten können für die visuelle Rückmeldung bei jeweiliger Blickinteraktionsart und -form (siehe Kapitel 2.3.3.1) folgende Hinweise ergänzend ausgesprochen werden:

1. Short-dwell-time- oder Blinzelbetätigung:

Betätigung per Blick durch eine kurze Verweildauer oder durch Blinzeln erfordert eine zeitnahe und eindeutige visuelle Rückmeldung, die ausschließlich einstufig realisiert werden soll.

2. Blickgestik oder kombinierte Blickbetätigung (visuell-haptisch/ -verbal/ -gestisch):

Diese Interaktionsarten verlangen nach einer präzisen und eindeutigen Rückmeldung, bei der eine zweistufige Rückmeldung zuerst für das Fokussieren und anschließend für das Auswählen beachtet und klar unterscheidbar gestaltet werden soll.

3. Long-dwell-time-Betätigung:

Da es unnatürlich ist über eine längere Zeit ein und denselben Punkt zu fixieren, werden für die Betätigung per Blick durch eine lange Verweildauer Animationen eingesetzt. Diese unterstützen dabei, den Blick auf das bestimmte Ziel zu halten.

Allgemein gibt es neben der rein visuellen auch eine kombinierte Rückmeldung, bspw. visuell-auditiv. Je nach Art der Interaktionsaufgabe kann die visuelle durch eine zusätzliche Rückmeldung unterstützt werden. Was die Kombination der Rückmeldungsarten und die Interaktionsoptimierungen anbelangt, gibt es dazu einige wissenschaftliche Arbeiten und Normen (siehe Kapitel 4).

8 Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit der vollständigen Quantifizierung der Größenkodierung als visuelle Rückmeldung von Systemzustandsänderungen auf Basis der Blickinteraktion, um damit eine optimale, nutzerzentrierte Gestaltung der blickbasierten Bedienoberfläche zu erreichen. Zudem wird eine Methode zur Berechnung des statistisch-syntaktischen Informationsgehalts unterschiedlicher Objektgestalten und das sich daraus ergebende Auffälligkeitsmaß vorgestellt, um die ermittelten, signifikanten Unterschiede der Größenkodierungsfaktoren zwischen den Objektgestalten zu begründen.

Die methodische Vorgehensweise der Forschungsarbeit lehnt sich an die allgemeingültige Methode und deren Arbeitspakete, wie sie in der frühen Produktplanungsphase aus dem Produktprozessmodell von KRAMER [1986] definiert sind.

Nach der Festlegung des Forschungsumfeldes werden zu Beginn die Begrifflichkeiten der Wechselbeziehung zwischen Mensch und Maschine definiert. Dabei liegt der Fokus auf der menschlichen, visuellen Sinnesmodalität. Die umfangreiche Definition der visuellen Wahrnehmung und Kognition sollen als Basiswissen dazu dienen, die möglichen Zusammenhänge bei der Unterschiedserkennung zu verstehen und richtig zu interpretieren.

In der Recherche zum Stand der Technik und Forschung in Bezug auf die blickbasierte Interaktion wird festgestellt, dass in bisherigen Untersuchungen eine eindeutige visuelle Rückmeldung der Systemzustandsänderung unabdingbar ist und zu einer festen Forderung zählt. D. h. die fixierte bzw. ausgewählte Interaktionsfläche muss sich von den restlichen Flächen der Benutzeroberfläche hervorheben. Eine Hervorhebung der Interaktionsfläche kann bspw. durch die hier fokussierte Größenkodierung erfolgen. Diese Kodierungsmöglichkeit wird u. a. von MAJARANTA angedeutet und in Untersuchungen als visuelle Rückmeldung gegenüber anderen Möglichkeiten geprüft. Auffallend ist, dass weder in MAJARANTAS [2009] noch in anderen Forschungsarbeiten eine Quantifizierung der Größenänderung in Form von Größenkodierungsfaktoren vorgenommen und angegeben wird, die zur optimalen Auslegung der blickbasierten aber auch allgemeinen Benutzeroberfläche eingesetzt werden könnten. Aus diesem Grund wird in einer weiteren Recherche das Thema der visuellen Rückmeldung in Bezug auf die Größenkodierung eines Zielobjektes tiefgründiger betrachtet und analysiert. Dabei werden Gestaltungsempfehlungen aus allgemeingültigen Normen und Richtlinien zur ergonomischen und nutzerzentrierten Gestaltung von Benutzerschnittstellen analysiert, klassifiziert und auf

qualitative Aussagen und quantitative Angaben hin bewertet. Die darin definierte Gestaltungsempfehlung zur Größenkodierung wird als nur „teilweise quantifiziert“ bewertet. Es kommt die kritische Frage auf, ob die Größenänderung bzw. die Erkennung eines Größenunterschiedes, wie in der Norm vorgegeben, nämlich durch die Anzahl der Informationskategorien begrenzt und durch den Exponenten der Kategorienanzahl ausreichend festgelegt werden kann. Vielmehr müssten andere, visuelle Wahrnehmungsvariablen (Objektformen, Abstand, Hintergrund) für die Erkennung eines Größenunterschiedes eine Rolle spielen. Zudem sind keine Herleitung, keine Begründung und kein Verweis des exponentiellen Größenunterschiedes angegeben, sodass die Angabe nachvollzogen werden kann. Zusätzlich zu dieser Fragestellung wird festgestellt, dass diese Gestaltungsempfehlung zur Größenkodierung nur eine quantitative Angabe zur Statusrückmeldung beschreibt. Jedoch ist die Größenkodierung für die visuelle Rückmeldung bei einer ausführenden Aktion durch Positions-/Positionierungs- und Auswahl-Rückmeldung ebenso zu unterscheiden und zu quantifizieren. Hierin besteht ein großes Potenzial die Gestaltungsempfehlung zur visuellen Größenkodierung vollständig zu quantifizieren. Eine gezielte Recherche zum Forschungsstand über die visuelle Rückmeldung durch Größenkodierung zeigt zudem, dass keine Literatur existiert, die die Größenkodierung vollständig quantifiziert. Aus diesem Grund wird das Ziel verfolgt, die vollständige Quantifizierung der Größenkodierung durch eine grundlagenorientierte Untersuchung zu erreichen und allgemeine Empfehlungen für die optimale Auslegung der visuellen Rückmeldung durch Größenkodierung abzugeben. Denn die visuelle Größenkodierung erhöht durch Verbesserung der Unterscheidbarkeit die Benutzungssicherheit und mindert die Betätigungszeiten.

Die grundlagenorientierte Untersuchung beruht auf der visuellen Unterschiedserkennung von geometrisch einfachen Objektgestalten, normiert-gestufte Objektgrößen in paralleler und serieller Darbietung bei unterschiedlichem Darbietungsabstand und unterschiedlich unbuntem Form-Hintergrund-Kontrast. Somit werden die Unterschiedsschwellen bei entsprechender Skalierungsrichtung (kleiner / größer), Darbietungsvariante (parallel / seriell), Objektgröße (10 mm / 15 mm / 25 mm), unbuntem Form-Hintergrund-Kontrast (weiß / schwarz), Darbietungsabstand (600 mm / 1000 mm / 1400 mm) und einzelnen Objektgestalten (Kreis / Quadrat / Dreieck / Fünfeck) unter Laborbedingungen mit Probanden erfasst. Die statistische Auswertung und Interpretation der Ergebnisse zeigen eindeutig, dass die Unterschiedserkennung unabhängig von der Skalierungsrichtung ist. Dahingegen hängt die Unterschiedsschwelle eindeutig von der Darbietungsvariante ab. In Bezug auf die zwei Darbietungsvarianten ist die Unterschiedsschwelle bei paralleler

Darbietung größer als die bei serieller Darbietung. Zudem ist die Unterschiedsschwelle abhängig von der Objektgröße. Dies bedeutet, dass je größer das Ausgangsobjekt ist, desto kleiner ist der anzuwendende Größenkodierungsfaktor, um einen deutlichen Größenunterschied zu erkennen. Zum unbunten Form-Hintergrund-Kontrast gilt, dass die Unterschiedsschwelle davon nicht beeinflusst wird.

Nach der Zusammenfassung der entsprechenden Unterschiedsschwellen zu arithmetisch gemittelten Werten zwecks der erörterten Hypothesen ist die Schlussfolgerung zur Abstandsabhängigkeit, dass je größer der Abstand zwischen Betrachter und dem Objekt ist, desto größer ist der Vergrößerungs- bzw. Verkleinerungsfaktor für die Größenkodierung zu wählen. Zusammengefasst ergeben sich für die parallele Darbietung je nach Objektgestalt und Ausgangsgröße unterschiedliche Größenkodierungsfaktoren zwischen 1,148 und 1,191 und für die serielle Darbietung zwischen 1,067 und 1,098. Dies bedeutet, dass bei der visuellen Rückmeldung einer Statusänderung durch Größenkodierung eine Vergrößerung bzw. Verkleinerung um 14,8 % bis 19,1 % stattfinden soll und die visuelle Positions-/Positionierungs-Rückmeldung und/oder Auswahl-Rückmeldung mit einer Vergrößerung bzw. Verkleinerung von 6,7 % bis 9,8 % erfolgen soll. Zum einen sind Empfehlungen in Form von quantifizierten Faktoren angegeben. Zum anderen sind in Diagrammen quantifizierte Gleichungen abgebildet, die zur Entnahme und Berechnung der Größenkodierungsfaktoren für das entsprechende Betätigungsszenario dienen.

Die ermittelten, signifikanten Unterschiede der Größenkodierungsfaktoren bezüglich der Objektgestalten lassen vermuten, dass die jeweiligen Objektgestalten unterschiedlich viele Informationen bzw. Auffälligkeiten besitzen, die die eindeutige Unterschiedserkennung beeinflussen können. Um diese Vermutung zu belegen, wird zusätzlich eine Methode zur Berechnung des statistisch-syntaktischen Informationsgehalts und des entsprechenden Auffälligkeitsmaßes der eingesetzten Objektgestalten vorgestellt. Zusammengefasst wird die Aussage getroffen, dass eine Objektgestalt mit ihren unterschiedlichen Element- und Ordnungsarten folglich eine eigene Auffälligkeit besitzt. Im Zusammenhang zur vorgestellten Quantifizierung der Größenkodierung spielt die Auffälligkeit für die Unterschiedserkennung eine bedeutende Rolle. Im Vergleich zu den drei anderen Objektgestalten Quadrat, Dreieck und Fünfeck besitzt die Kreisgestalt mit 12,8 % die niedrigste Auffälligkeit, woraus ein größerer Größenkodierungsfaktor resultiert. D. h. die Objektgestalt hat einen Einfluss auf die Erkennung eines Unterschiedes und ferner gilt, dass die Erkennung eines Unterschiedes umso schneller erfolgt, je mehr statistisch-syntaktische Auffälligkeiten eine Objektgestalt aufweist.

9 Ausblick

Die in der vorliegenden Arbeit durchgeführte grundlagenorientierte Untersuchung liefert Größenkodierungsfaktoren speziell für zweidimensionale geometrische Objekte. Es stellt sich die Frage, ob diese quantifizierten Faktoren ebenso für die Größenkodierung von Buchstaben bzw. Wörtern eingesetzt werden können. In dieser Hinsicht wird ein weiterer Untersuchungsbereich vorgeschlagen, der auf die Erkennung eines Größenunterschiedes bei Buchstaben bzw. Wörtern aufbaut.

Zusätzlich ließe sich die hier quantifizierte Größenkodierung auch durch eine Untersuchung zum Einfluss eines dynamischen Hintergrunds ergänzen. Bei der grundlagenorientierten Untersuchung in der vorliegenden Arbeit ist ein statisch unbunter Form-Hintergrund-Kontrast gewählt worden. Aus Sicht des Verfassers könnten durch die visuelle Aufmerksamkeitslenkung, ausgelöst von einem sich bewegenden Hintergrund, größere Größenkodierungsfaktoren entstehen.

Einen weiteren Forschungsbedarf liegt in der Quantifizierung der Unterschiedsschwellen dreidimensionaler Objektgestalten. Das Thema „Augmented Reality“ gewinnt in der Forschung, im Handel und in der Industrie immer mehr an Bedeutung, worin die dreidimensionale Abbildung der Umwelt in Kombination mit virtuellen dreidimensionalen Objektgestalten angezeigt wird. Dementsprechend wäre die visuelle Rückmeldung in der virtuellen Umgebung, in diesem Fall durch eindeutig definierte Größenkodierungsfaktoren, eine Erweiterung der hier untersuchten Forschungsrichtung.

Neben den oben genannten Ansätzen die Quantifizierung der Größenkodierung durch zusätzliche Untersuchungen zu erweitern, gilt es nach der Festlegung der Größenkodierungsfaktoren ebenso zu untersuchen, ob eine Anwendung dieser Faktoren in realitätsnahen Bedienoberflächen bei einem entsprechenden Interaktionsumfeld eine optimale, visuelle Rückmeldung bestätigen.

Abschließend kann zum Thema der Blickinteraktion erwähnt werden, dass der Einsatz der Blickinteraktion in der alltäglichen Kommunikation mit technischen Systemen von Vorteil sein kann, sie aber eher als eine ergänzende Interaktionsmöglichkeit diskreter Eingaben gesehen werden soll. In diesem Zusammenhang wäre es lohnenswert eine konkrete Einteilung derjenigen Bedienschritte einer MMIA zu definieren, die mittels Blickinteraktion gebrauchstauglicher als mit anderen Interaktionsarten umgesetzt werden können. Durch die Kombination mehrerer Interaktionsarten wird letztendlich eine nutzerzentrierte MMIA erreicht.

Literaturverzeichnis

- [AHRENS91] Ahrens, A.: Die Bewegung der Augen beim Schreiben. Rostock: University of Rostock, 1891.
- [ANDERSON01] Anderson, J. R.: Aufmerksamkeit und Leistung. Buchkapitel in: Kognitive Psychologie, Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag, S. 75-87, 2001.
- [ANDERSON07] Anderson, J. R.: Kognitive Psychologie. 6. Aufl., Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2007.
- [ASHMORE ET AL.05] Ashmore, M.; Duchowski, A. T. & Shoemaker, G.: Efficient eye pointing with a fisheye lens. In: Proc. Of Graphics Interface 2005, S. 203-210, 2005.
- [ATKINSON & SHIFFRIN71] Atkinson, R. C. & Shiffrin, R. M.: The control of short-term memory. Scientific American, Vol. 225, S. 82-90, 1971.
- [BALZER02] Balzer, R.: Modellierung der Außengestalt von Personenkraftwagen zur Ermittlung eines Gestaltwertes. Stuttgart: Universität Stuttgart, IMK – Technisches Design, Dissertation, 2002.
- [BARTH99] Bates, R.: Multimodal Eye-based Interaction for Zoomed Target Selection on a Standard Graphical User Interface. In: Proc. Of Interact '99, Vol. 11, S. 7-8, British Computer Society, 1999.
- [BATES & ISTANCE02] Bates, R. & Istance, H. O.: Zooming interfaces! Enhancing the performance of eye controlled pointing devices. In: Proc. Of the Fifth international ACM Conference on Assistive Technologies, ASSETS '02, New York: ACM Press, S. 119-126, 2002.
- [BAYRHUBER & KULL05] Bayrhuber, H. & Kull, U.: Linder Biologie – Lehrbuch für die Oberstufe. 22. Aufl., Braunschweig: W. Schroedel, 2005.
- [BENSE82] Bense, M.: Ästhetica – Einführung in die neue Ästhetik. 2. Aufl., Baden-Baden: Agis Verlag, 1982.
- [BIEDERMANN87] Biederman, I.: Recognition-by-components – A theory of human image understanding. In: Psychological Review, Vol. 94, S. 115-147, 1987.
- [BIRBAUMER & SCHMIDT06] Birbaumer, N. & Schmidt, R. F.: Biologische Psychologie. 6. Aufl., Heidelberg: Springer Medizin Verlag, 2006.
- [BIRKHOFF28] Birkhoff, G. D.: Einige mathematische Elemente der Kunst. Rot 37, 1928.
- [BOLT82A] Bolt, R. A.: Gaze-orchestrated dynamic windows. In: Proc. Of the 8th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques, SIGGRAPH '81, ACM Press, S. 109-119, 1982.
- [BOLT82B] Bolt, R. A.: Eyes at the interface. In: Proc. ACM Human Factors in Computer Systems Conf., ACM Press, S. 360-362, 1982.

- [BOTTA & MAIER11A] Botta, A. & Maier, T.: Blicksteuerungsbasierte Interaktion (BSBI) im Fahrzeug – Hypothese und Analyse. In: 9. Berliner Werkstatt Mensch-Maschine-Systeme, Berlin, S. 48-49, 2011.
- [BOTTA & MAIER11B] Botta, A. & Maier, T.: Blickinteraktion – Innovative Interaktion in der Produktentwicklung. In: Engineering – Eine Herausforderung für die Zukunft (Stuttgarter Symposium für Produktentwicklung 2011), Stuttgart, S. 101-102, 2011.
- [BOTTA ET AL.12A] Botta, A.; Pfeffer, S. & Maier, T.: Blickinteraktion im OP – Potenziale innovativer Interaktionsformen. In: 58. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft, Kassel, S. 253-256, 2012.
- [BOTTA ET AL.12B] Botta, A.; Arnold, M. & Maier, T.: Blickinteraktion – Potenzielle Optimierung einer multimodalen Mensch-Computer-Interaktion. In: 6. VDI Fachtagung USEWARE 2012 Mensch-Maschine-Interaktion, VDI-Berichte 2179, Kaiserslautern, S. 9-15, 2012.
- [BOTTA & MAIER13] Botta, A. & Maier, T.: Blickinteraktion in der nutzerzentrierten Mensch-Computer-Interaktion. In: Spath, D.; Bertsche, B.; Binz, H. (Hrsg.): Stuttgarter Symposium für Produktentwicklung 2013, Stuttgart, 2013.
- [BROCKHAUS14] Brockhaus: Website der Online-Enzyklopädie, <http://www.brockhaus-zyklopaedie.de>, zuletzt geprüft am 03.09.2014.
- [BUBB01] Bubb, H.: Haptik im Kraftfahrzeug. In: Kraftfahrzeugführung, Jürgensohn, T.; Timpe, K.- P. (Hrsg.). Berlin, Heidelberg: Springer Verlag, S. 155-175, 2001.
- [BULLINGER ET AL.94] Bullinger, H.- J.; Ilg, R. & Schmauder, M.: Ergonomie – Produkt- und Arbeitsplatzgestaltung: Technologiemanagement. Stuttgart: Teubner Verlag, S. 335, 1994.
- [BVA11] Berufsverband der Augenärzte Deutschlands e.V.: Wenn die Welt weniger bunt ist – Gar nicht so selten: Farbschwächen. Pressereferat: Dr. med. Georg Eckert. Düsseldorf: 15.02.2011 Pressemitteilung: [http:// cms.augeninfo.de/uploads/media/PM_Farbschwaechen_01.pdf](http://cms.augeninfo.de/uploads/media/PM_Farbschwaechen_01.pdf), zuletzt geprüft am 26.01.2016.
- [COCKBURN & BROCK06] Cockburn A. & Brock P.: Human On-Line Response to Visual and Motor Target Expansion. In: Proc. Of Graphics Interface GI '06. Canadian Information Processing Society, S. 81-87, 2006.
- [CYMEK ET AL.14] Cymek, D. H.; Venjakob, A. C.; Ruff, S.; Lutz, O. H.; Hofmann, S. & Rötting, M.: Entering PIN codes by smooth pursuit eye movements. In: Jour. Of Eye Movement Research, S. 1-11, 2014.
- [DELABARRE98] Delabarre, E. B.: A method of recording eye movements. In: American Jour. Of Psychology, Vol. 9, S. 572-574, 1898.
- [DIETERICH ET AL.93] Dieterich, H.; Malinowski, U.; Kühme, T. & Schneider-Hufschmidt, M.: Adaptive user interfaces – Principles and practice. In: State of the art in adaptive user interfaces. Amsterdam, S. 13-48, 1993.

- [DIN323-1] DIN 323-1: Normzahlen und Normzahlreihen – Teil 1: Hauptwerte, Genauwerte, Rundwerte. August 1974.
- [DIN323-2] DIN 323-2: Normzahlen und Normzahlreihen – Teil 2: Einführung. November 1974.
- [DIN1450] DIN 1450: Schriften – Leserlichkeit. April 2013.
- [DIN4844] DIN 4844: Graphische Symbole – Sicherheitsfarben und Sicherheitszeichen – Teil 1. Juni 2012, Teil 2. Dezember 2012.
- [DINEN614-1] DIN EN 614-1: Sicherheit von Maschinen – Ergonomische Gestaltungsgrundsätze – Teil 1: Begriffe und allgemeine Leitsätze. Juli 2006.
- [DINEN842] DIN EN 842: Sicherheit von Maschinen – Optische Gefahrensignale – Allgemeine Anforderungen, Gestaltung und Prüfung. Januar 2009.
- [DINEN894-1] DIN EN 894-1: Sicherheit von Maschinen – Ergonomische Anforderungen an die Gestaltung von Anzeigen und Stellteilen – Teil 1: Allgemeine Leitsätze für Benutzer-Interaktion mit Anzeigen und Stellteilen. Januar 2009.
- [DINEN894-2] DIN EN 894-2: Sicherheit von Maschinen – Ergonomische Anforderungen an die Gestaltung von Anzeigen und Stellteilen – Teil 2: Anzeigen. Februar 2009.
- [DINEN894-4] DIN EN 894-4: Sicherheit von Maschinen – Ergonomische Anforderungen an die Gestaltung von Anzeigen und Stellteilen – Teil 4: Lage und Anordnung von Anzeigen und Stellteilen. November 2010.
- [DINEN60073] DIN EN 60073 (VDE 0199): Grund- und Sicherheitsregeln für die Mensch-Maschine-Schnittstelle – Kennzeichnung. Mai 2003.
- [DINEN60617-2] DIN EN 60617: Graphische Symbole für Schaltpläne. Teil 2. August 1997.
- [DINEN80416-4] DIN EN 80416-4: Allgemeine Grundlagen für graphische Symbole auf Geräten und Einrichtungen – Teil 4: Leitlinien für das Anpassen graphischer Symbole zur Darstellung auf Bildschirmen und Anzeigen. Dezember 2008.
- [DINENISO6385] DIN EN ISO 6385: Grundsätze der Ergonomie für die Gestaltung von Arbeitssystemen. Mai 2004.
- [DINENISO9000A] DIN EN ISO 9000: Qualitätsmanagementsysteme – Grundlagen und Begriffe (Entwurf). August 2014.
- [DINENISO9000B] DIN EN ISO 9000: Qualitätsmanagementsysteme – Grundlagen und Begriffe (Kap. 3.1.1). Dezember 2005.
- [DINENISO9241-9] DIN EN ISO 9241-9: Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten – Teil 9: Anforderungen an Eingabemittel – ausgenommen Tastaturen. März 2002.

- [DINENISO9241-11] DIN EN ISO 9241-11: Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten – Teil 11: Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit; Leitsätze. Januar 1999.
- [DINENISO9241-12] DIN EN ISO 9241-12: Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeit mit Bildschirmgeräten – Teil 12: Informationsdarstellung. August 2000.
- [DINENISO9241-13] DIN EN ISO 9241-13: Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten – Teil 13: Benutzerführung. August 2000.
- [DINENISO9241-16] DIN EN ISO 9241-16: Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten – Teil 16: Dialogführung mittels direkter Manipulation. März 2000.
- [DINENISO9241-20] DIN EN ISO 9241-20: Ergonomie der Mensch-System-Interaktion – Teil 20: Leitlinien für die Zugänglichkeit der Geräte und Dienste in der Informations- und Kommunikationstechnologie. August 2009.
- [DINENISO9241-110] DIN EN ISO 9241-110: Ergonomie der Mensch-System-Interaktion – Teil 110: Grundsätze der Dialoggestaltung. September 2008.
- [DINENISO9241-143] DIN EN ISO 9241-143: Ergonomie der Mensch-System-Interaktion – Teil 143: Formulardialoge. Juni 2012.
- [DINENISO9241-171] DIN EN ISO 9241-171: Ergonomie der Mensch-System-Interaktion – Teil 171: Leitlinien für die Zugänglichkeit von Software. Oktober 2008.
- [DINENISO9241-210] DIN EN ISO 9241-210: Ergonomie der Mensch-System-Interaktion – Teil 210: Prozess zur Gestaltung gebrauchstauglicher interaktiver Systeme. Januar 2011.
- [DINENISO9241-302] DIN EN ISO 9241-302: Ergonomie der Mensch-System-Interaktion – Teil 302: Terminologie für elektronische optische Anzeigen. Juni 2009.
- [DINENISO9241-303] DIN EN ISO 9241-303: Ergonomie der Mensch-System-Interaktion – Teil 303: Anforderungen an elektronische optische Anzeigen. März 2012.
- [DINENISO9241-400] DIN EN ISO 9241-400: Ergonomie der Mensch-System-Interaktion – Teil 400: Grundsätze und Anforderungen für physikalische Eingabegeräte. Mai 2007.
- [DINENISO9241-420] DIN EN ISO 9241-420: Ergonomie der Mensch-System-Interaktion – Teil 420: Auswahlverfahren für physikalische Eingabegeräte. Oktober 2011.
- [DINENISO9241-910] DIN EN ISO 9241-910: Ergonomie der Mensch-System-Interaktion – Teil 910: Rahmen für die taktile und haptische Interaktion. November 2011.

- [DINENISO10075-1] DIN EN ISO 10075-1: Ergonomische Grundlagen bezüglich psychischer Arbeitsbelastung – Teil 1: Allgemeines und Begriffe. November 2000.
- [DINENISO11064] DIN EN ISO 11064: Ergonomische Gestaltung von Leitzentralen. Teil 1. August 2001, Teil 2. August 2001, Teil 3. Juni 2003, Teil 4. November 2011, Teil 5. Oktober 2008, Teil 6. Oktober 2005, Teil 7. Oktober 2006.
- [DINENISO13407] DIN EN ISO 13407: Benutzer-orientierte Gestaltung interaktiver Systeme. Februar 1998.
- [DINENISO14915-3] Software-Ergonomie für Multimedia-Benutzungsschnittstellen – Teil 3: Auswahl und Kombination von Medien. April 2003.
- [DINENISO26800] DIN EN ISO 26800: Ergonomie – Genereller Ansatz, Prinzipien und Konzepte. November 2011.
- [DINISO3864] DIN ISO 3864: Graphische Symbole – Sicherheitsfarben und Sicherheitszeichen – Teil 1. Juni 2012, Teil 2. September 2011, Teil 3. November 2012.
- [DINISO7000] DIN ISO 7000: Graphische Symbole auf Einrichtungen – Index und Übersicht. Dezember 2008.
- [DODGE & CLINE01] Dodge, R. & Cline, T. S.: The angle velocity of eye movements. In: Psychological Review, Vol. 8, S. 145-157, 1901.
- [DREWES & SCHMIDT06] Drewes, H. & Schmidt, A.: Mauszeigerpositionierung mit dem Auge. In: Mensch & Computer 2006, Oldenbourg-Verlag, S. 185-194, 2006.
- [DREWES & SCHMIDT09] Drewes, H. & Schmidt, A.: The MAGIC Touch – Combining MAGIC-Pointing with a Touch-Sensitive Mouse. In: Proc. of Human-Computer Interaction, Springer LNCS, S. 415-428, 2009.
- [DREWES10] Drewes, H.: Eye Gaze Tracking for Human Computer Interaction. München: Ludwig-Maximilians-Universität München, LFE – Medien-Informatik, Dissertation, 2010.
- [DUCHOWSKI07] Duchowski, A. T.: Eye Tracking Methodology – Theory & Practice. New York: Springer, 2007.
- [ERNST01] Ernst, M. O.: Psychophysikalische Untersuchungen zur visuomotorischen Integration beim Menschen – Visuelle und Haptische Wahrnehmung Virtueller und Realer Objekte. Tübingen: Eberhard-Karls-Universität zu Tübingen, Physik, Dissertation, 2001.
- [FÄHNRICH87] Fähnrich, K. P.: Software-Ergonomie. München, 1987.
- [FECHNER60] Fechner, G.: Elemente der Psychophysik. Leipzig: Breitkopf und Härtel, S. 8, 1860.
- [FECTEAU & MONOZ06] Fecteau, J. H. & Munoz, D. P.: Saliency, relevance, and spiking neurons – a priority map governs target selection. In: Trends Cogn. Sci., Vol. 10, S. 382-390, 2006.

- [FELDHUSEN & GROTE13] Feldhusen, J. & Grote, K.-H.: Pahl/Beitz Konstruktionslehre – Methoden und Anwendung erfolgreicher Produktentwicklung. 8. Aufl., 2013.
- [FITT47] Fitts, P. M.: The Information Capacity of the Human Motor System in Controlling the Amplitude of Movement. In: Jour. of Experimental Psychology, Vol. 47, S. 381-391, 1954.
- [FLECHTNER69] Flechtner, H.-J.: Grundbegriffe der Kybernetik. 4. Aufl., Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft, S. 423, 1969.
- [FOULDS80] FOULDS, R. A.: Studies in the use of visual line of gaze as a selection technique in nonvocal communication. In: Proposal to National Science Foundation by Tufts-New England Medical Center. Department of Rehabilitation Medicine, 1980.
- [FRANK61] Frank, H.: Zur Mathematisierbarkeit des Ordnungsbegriffes. In: GrKG, Band 2, Heft 2, S. 33-42, 1961.
- [FRANK64] Frank, H.: Kybernetische Analysen subjektiver Sachverhalte. Hamburg: Schnelle Verlag, 1964.
- [FRANK95] Frank, H.: Informationsästhetik, Kybernetische Ästhetik, Aesthetokybernetik – Eine Einführung. Paderborn: IfK-Verlag, 1995.
- [GARNICH68] Garnich, R.: Konstruktion, Design und Ästhetik. Stuttgart: Universität Stuttgart, Dissertation, 1968.
- [GARNICH82] Garnich, R.: Ästhetik, Konstruktion und Design – Eine strukturelle Ästhetik. Ravensburg: Ravensburg Verlag G, S. 15, 1982.
- [GESCHEIDER85] Gescheider, G. A.: Psychophysics – method, theory and application. Hillsdale (N.J.): Erlbaum, 1985.
- [GIBSON50] Gibson, J. J.: The Perception of the Visual World. Boston: Roughton, (deutsche Version: Miffiin: Die Wahrnehmung der visuellen Welt. Weinheim: Beltz, 1973.) 1950.
- [GIPS ET AL.93] Gips, J.; Olivieri, C. P. & Tecce, J. J.: Direct control of the computer through electrodes placed around the eyes. In: Proc. of HCI International '93, Amsterdam: Elsevier, S. 630-635, 1993.
- [GITT94] Gitt, W.: Am Anfang war die Information. 2. Aufl., Stuttgart: Hänssler-Verlag, 1994.
- [GLENN ET AL.86] Glenn, F. A.; Iavecchia, H. P.; Ross, L. V.; Stokes, J. M.; Weiland, W. J.; Weiss, D. & Zaklad, A. L.: Eye-voice-controlled interface. In: Proc. 30th Annual Meeting of the Human Factors Society, Santa Monica (CA), S. 322-6, 1986.
- [GOLDSTEIN11] Goldstein, E. B.: Wahrnehmungspsychologie. 8. Aufl., Heidelberg: Spektrum Akad. Verlag, 2011.
- [GOOGLE15] Google: Website, <http://www.google.com/glass/start>, zuletzt geprüft am 08.02.2015.
- [GRANDJEAN79] Grandjean, E.: Physiologische Arbeitsgestaltung – Leitfaden der Ergonomie. Ott Verlag, 1979.

- [GREGORY66] Gregory, R. L.: Eye and brain – The psychology of seeing. New York: McGraw-Hill, 1966.
- [GUSKI00] Guski, R.: Grundriss der Psychologie – Wahrnehmung, eine Einführung in die Psychologie der menschlichen Informationsaufnahme. 2. Aufl., Kohlhammer, 2000.
- [HAGENDORF ET AL.11] Hagendorf, H.; Krummenacher, J.; Müller, H.-J. & Schubert, T.: Wahrnehmung und Aufmerksamkeit. Berlin Heidelberg: Springer Verlag, S. 50, 2011.
- [HAMPEL11] Hampel, T.: Untersuchungen und Gestaltungshinweise für adaptive multifunktionale Stellteile mit aktiver haptischer Rückmeldung. Stuttgart: Universität Stuttgart, IKTD – Technisches Design, Dissertation, 2011.
- [HANSEN ET AL.08] Hansen, D. W.; Skovsgaard, H. H. T.; Hansen, J. P. & Møllenschbach, E.: Noise tolerant selection by gaze-controlled pan and zoom in 3D. In: Proc. of ETRA '08, ACM, S. 205-212, 2008.
- [HEDICKE00] Hedicke, V.: Multimodalität in Mensch-Maschine-Schnittstellen. In: Mensch-Maschine-Systemtechnik, Düsseldorf: Symposium Publishing, Kap. 7, S. 202-232, 2000.
- [HELLBUSCH05] Hellbusch, J. E.: Barrierefreies Webdesign – Praxishandbuch für Webgestaltung und grafische Programmoberflächen. Dpunkt Verlag, 1. Aufl., S. 11, 2005.
- [HERCZEG06] Herczeg, M.: Interaktionsdesign – Gestaltung interaktiver und multimedialer Systeme. Oldenbourg, 2006.
- [HILD ET AL.13] Hild, J.; Müller, E.; Klaus, E.; Peinsipp-Byma, E. & Beyerer, J.: Evaluating Multi-Modal Eye Gaze Interaction for Moving Object Selection. In: ACHI 2013, The Sixth International Conference on Advances in Computer-Human Interactions, 2013.
- [HUEY98] Huey, E. B.: Preliminary experiments in the physiology and psychology of reading. In: American Jour. of Psychology, Vol. 9, S. 575-586, 1898.
- [HUTCHINSON ET AL.89] Hutchinson, T. E.; White, K. P.; Martin, W. N.; Reichert, K. C. & Frey, L. A.: Human-computer interaction using eye-gaze input. In: IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Vol. 19(6), S. 1527-1534, 1989.
- [HYRSKYKARI ET AL.05] Hyrskykari, A.; Majaranta, P. & Rähä, K.-J.: From Gaze Control to Attentive Interfaces. In: Proc. of International Conference on Human-Computer Interaction, HCI 2005, 2005.
- [ISO3958] ISO 3958: Passenger cars - Driver hand-control reach (deutsch: Straßenfahrzeuge - Personenkraftwagen - Handreichweiten des Fahrzeugführers). Februar 1996.
- [ITTI & KOCH01] Itti, L. & Koch, C.: Computational Modelling Of Visual Attention. In: Macmillan Magazines, Neuroscience, Vol. 2, 2001.

- [ITTI05] Itti, L.: Models of bottom-up attention and saliency. In: Itti, L.; Rees, G. & Tsotsos, J. (Hrsg.). In: *Neurobiology of Attention*, Elsevier, 2005.
- [JACOB & KARN03] Jacob, R. J. K. & Karn, K. S.: Eye Tracking in Human-Computer Interaction and Usability Research – Ready to Deliver the Promises. In: *The Mind's Eyes – Cognitive and Applied Aspects of Eye Movements*, Oxford: Elsevier Science, 2003.
- [JACOB90] Jacob, R. J. K.: What You Look At is What You Get – Eye Movement-Based Interaction Techniques. In: *Proc. of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems CHI '90*, ACM Press, S. 11-18, 1990.
- [JACOB95] Jacob, R. J. K.: Eye Tracking in Advanced Interface Design. In: *Virtual Environments Advanced Interface Design*, Oxford: University York, S. 258-288, 1995.
- [JAMESON & HURVICH59] Jameson, D. & Hurvich, L. M.: Note on factors influencing the relation between stereoscopic acuity and observation distance. In: *Jour. of the Optical Society of America*, Vol. 49, S. 639, 1959.
- [JAVAL79] Javal, L. E.: Essai sur la physiologie de la lecture. In: *Annales d'Oculistique*, Vol. 82, S. 242-253, 1879.
- [JOHANNSEN93] Johannsen, G.: *Mensch-Maschine-Systeme*. Berlin: Springer, 1993.
- [JUDD ET AL.05] Judd, C. H.; McAllister, C. N. & Steel, W. M.: General introduction to a series of studies of eye movements by means of kinoscopic photographs. In: *Psychological Review*, Baltimore: The Review Publishing Company, 1905.
- [JUNG39] Jung, R.: Eine elektrische Methode zur mehrfachen Registrierung von Augenbewegungen und Nystagmus. In: *Jour. of Molecular Medicine*, Vol. 18, S. 21-24, 1939.
- [KANIZSA55] Kanizsa, G.: Margini quasi-percettivi in campi con stimolazione omogenea. In: *Rivista di Psicologia*, Vol. 49, S. 7-30, 1955.
- [KEBECK97] Kebeck, G.: *Wahrnehmung – Theorien, Methoden und Forschungsergebnisse der Wahrnehmungspsychologie*. 2. Aufl., 1997.
- [KOFFKA35] Koffka, K.: *Principles of Gestalt psychology*. London: Kegan Paul, 1935.
- [KÖHLER62] Köhler, I.: Experiments with goggles. *Scientific American*, Vol. 206, S. 62-86, 1962.
- [KRAMER86] Kramer, F.: *Innovative Produktpolitik, Strategie – Planung – Entwicklung – Einführung*. Berlin: Springer, 1986.
- [KUNSCH & KUNSCH07] Kunsch, K. & Kunsch, S.: *Der Mensch in Zahlen*. 3. Aufl., München: Elsevier, 2007.

- [LAND06] Land, M. F.: Eye movements and the control of actions in everyday life. In: Progress in Retinal and Eye Research, Vol. 3, S. 296-324, 2006.
- [LANKFORD00] Lankford, C.: Effective Eye-Gaze Input Into Windows. In: Proc. of the Eye Tracking Research & Applications, ETRA '00, Florida: ACM Press, S. 23-27, 2000.
- [LEVINE81] Levine, J. L.: An Eye-Controlled Computer. Research report RC-8857, IBM T. J. Watson Research Center, New York, 1981.
- [LEVINE84] Levine, J. L.: Performance of an eyetracker for office use. Comput. Biol. Med., Vol. 14, S. 77-89, 1984.
- [LUCZAK98] Luczak, H.: Arbeitswissenschaft. 2. Aufl., Berlin, Heidelberg: Springer Verlag, S. 608, 1998.
- [MAGLIO ET AL.00] Maglio, P.; Matlock, T.; Campbell, C.; Zhai, S. & Smith, B.: Gaze and speech in attentive user interfaces. In: Proc. of the Third International Conference on Multimodal Interfaces, 2000.
- [MAIER & SCHMID14] Maier, T. & Schmid, M.: IDeEn Kompakt – Manuskript zur Vorlesung Technisches Design. Stuttgart: Universität Stuttgart, IKTD – Technisches Design, 2014.
- [MAJARANTA & RÄIHÄ02] Majaranta, P. & Rähä, K.-J.: Twenty years of eye typing – systems and design issues. In: Proc. of the 2002 symposium on Eye tracking research & applications, ETRA, New York: ACM, S. 15-22, 2002.
- [MAJARANTA09] Majaranta, P.: Text Entry by Eye Gaze. Tampere: University of Tampere, Depart. of Computer Sciences, Dissertation, 2009.
- [MAJARANTA ET AL.03] Majaranta, P.; MacKenzie, I. S.; Aula, A. & Rähä, K.-J.: Auditory and visual feedback during eye typing. In: CHI '03 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems, CHI '03, ACM Press, S. 766-767, 2003.
- [MAJARANTA ET AL.06] Majaranta, P.; MacKenzie, I.S.; Aula, A. & Rähä, K.-J.: Effects of feedback and dwell-time on eye typing speed and accuracy. Universal Access in the Information Society, S. 199-208, 2006.
- [MARR82] Marr, D.: A Computational Investigation into the Human Representation and Processing of Visual Information. San Francisco: W. H. Freeman and Company, 1982.
- [MCGUFFIN & BALAKRISHNAN02] McGuffin, M. & Balakrishnan, R.: Acquisition of Expanding Targets. In: Proc. of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '02, ACM Press, S. 57-64, 2002.
- [MERCEDES15] Mercedes Benz: Website, <https://www.mercedes-benz.com/de/mercedes-benz/innovation/forschungsfahrzeug-f-015-luxury-in-motion>, zuletzt geprüft am 08.02.2015.
- [MERCHANT ET AL.74] Merchant, J.; Morrissette, R. & Porterfield, J. L.: Remote measurement of eye direction allowing subject motion over one cubic foot of space. In: IEEE Transactions on Biomedical Engineering, BME-21, S. 309-317, 1974.

- [METZGER67] Metzger, W.: Figural-Wahrnehmung. In: Handbuch der Psychologie, (Bd. 1), Göttingen: Hogrefe, 1967.
- [MICROSOFT10] Microsoft: Official Microsoft Windows User Experience Interaction Guidelines for Windows 7 and windows vista, Microsoft Corporation, 2010. Website, <https://msdn.microsoft.com/en-us/library>, zuletzt geprüft am 27.11.2014.
- [MICROSOFT14] Microsoft: Official Guidelines Microsoft Windows Guidelines for Runtime Apps, Microsoft Corporation, Website, <https://msdn.microsoft.com/en-us/library>, zuletzt geprüft am 02.12.2014.
- [MICROSOFT15] Microsoft: Website, <https://www.microsoft.com/microsoft-holo-lens/en-us>, zuletzt geprüft am 08.02.2015.
- [MILES & SHEN25] Miles, W. R. & Shen, E.: Photographic recording of eye movements in the reading of Chinese in vertical and horizontal axes; method and preliminary results. In: Jour. of Experimental Psychology, Vol. 8, S. 344-362, 1925.
- [MINIOTAS ET AL.04] Miniotas, D.; Špakov, O. & MacKenzie, I. S.: Eye gaze interaction with expanding targets. In: Proc. of ACM CHI 2004, 2004.
- [MÜRI ET AL. 2009] Müri, R. M.; Cazzoli, D.; Nyffeler, T. & Pflugshaupt, T.: Visual exploration pattern in hemineglect. In: Psychological Research, Vol. 73, S. 147-157, 2009.
- [MUTSCHLER ET AL.07] Mutschler, E.; Schaible, H.-G. & Vaupel, P.: Anatomie, Physiologie, Pathophysiologie des Menschen. 6. Aufl., Stuttgart: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft, S. 756, 2007.
- [NEISSER76] Neisser, U.: Cognition and reality. Principles and implications of cognitive psychology. San Francisco: Freeman, (deutsche Version: Neisser, U.: Kognition und Wirklichkeit: Prinzipien und Implikationen der kognitiven Psychologie. Stuttgart: Klett-Cotta, 1979.) 1976.
- [PETROV12] Petrov, A.: Usability-Optimierung durch adaptive Bediensysteme. Stuttgart: Universität Stuttgart, IKTD – Technisches Design, Dissertation, 2012.
- [POITSCHKE11] Poitschke, T. M.: Blickbasierte Mensch-Maschine Interaktion im Automobil. München: Technische Universität München, Lehrstuhl für Mensch-Maschine-Kommunikation, Dissertation, 2011.
- [PORTERFIELD37] Porterfield, W.: An essay concerning the motions of our eyes. In: Edinburgh medical essays and observations, Vol. 3, S. 160-263, 1737.
- [PREECE93] Preece, J.: A Guide To Usability. Workingham: Addison-Wesley, 1993.
- [REINAGEL & ZADOR99] Reinagel, P. & Zador, A.: Natural scene statistics at the centre of gaze. Network: Comput. Neural Sys., Vol. 10, S. 341-50, 1999.

- [RIGGS ET AL.76] Riggs, L. A.: Saccadic suppression of phosphenes: proof of a neural basis for saccadic suppression. In: Eye Movements and Psychological Processes, Hillsdale: Lawrence Erlbaum, 1976.
- [RINARD & RUGG76] Rinard, G. & Rugg, D.: An ocular control device for use by the severely handicapped. In: Conference on Systems and Devices for the Disabled, 1976.
- [ROBINSON63] Robinson, D. A.: A method of measuring eye movement using a scleral search coil in a magnetic field. In: IEEE Transactions on Biomedical Electronics, Vol. 10, S. 137-145, 1963.
- [ROCK85] Rock, I.: Wahrnehmung – vom visuellen Reiz zum Sehen und Erkennen. Heidelberg: Spektrum der Wissenschaft, 1985.
- [RÖSLER11] Rösler, F.: Psychophysiologie der Kognition – Eine Einführung in die Kognitive Neurowissenschaft. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag, 2011.
- [RÖTTING01] Rötting, M.: Parametersystematik der Augen- und Blickbewegungen für arbeitswissenschaftliche Untersuchungen. Aachen: RWTH Aachen, IAW – Institut für Arbeitswissenschaft, Dissertation, 2001.
- [SALVUCCI & ANDERSON00] Salvucci, D. D. & Anderson, J. R.: Intelligent Gaze-Added Interfaces. In: Proc. of the ACM CHI '00, Human Factors in Computing Systems Conference, Addison-Wesley: ACM Press, S. 273-280, 2000.
- [SAMSUNG15] Samsung: Website. <http://www.samsung.com/de/consumer/mobile-devices/smartphones/galaxy-s/GT-I9505ZKADBT>, zuletzt geprüft am 19.09.2014.
- [SCHANDRY11] Schandry, R.: Biologische Psychologie – Ein Lehrbuch. 3. Aufl., Weinheim: Beltz Verlag, 2011.
- [SCHMAUDER96] Schmauder, M.: Händigkeitsgerechte Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstelle. Stuttgart: Universität Stuttgart, IAT, Dissertation, 1996.
- [SCHMIDT & SCHAIBLE06] Schmidt, R. F. & Schaible, H.-G.: Neuro- und Sinnesphysiologie. 5. Aufl., Heidelberg: Springer Medizin Verlag, 2006.
- [SCHMIDT & LANG07] Schmidt, R. F. & Lang, F.: Physiologie des Menschen mit Pathophysiologie. 30. Aufl., Heidelberg: Springer Medizin Verlag, 2007.
- [SCHMIDT02] Schmidt, A.: Ubiquitous Computing – Computing in Context. Lancaster: Lancaster University, Computer Department, Dissertation, 2002.
- [SCHMIDTKE & JASTRZEBSKA-F.13] Schmidtke, H. & Jastrzebska-Fraczek, I.: Ergonomie – Daten zur Systemgestaltung und Begriffsbestimmungen. München: Carl Hanser Verlag, 2013.
- [SCHMIDTKE76] Schmidtke, H.: Ergonomische Bewertung von Arbeitssystemen. München: Carl Hanser Verlag, S. 130, 1976.

- [SCHMIDTKE81] Schmidtke, H.: Lehrbuch der Ergonomie. 2. Aufl., Wien: Hanser, 1981.
- [SCHMIDTKE ET AL.89] Schmidtke, H. et al.: Handbuch der Ergonomie – mit ergonomischen Konstruktionsrichtlinien und Methoden. 2. Aufl., Koblenz: Bundesamt für Wehrtechnik und Beschaffung, 1989.
- [SCHNEIDER & EGGERT07] Schneider, E. & Eggert, T.: Methoden der Augenbewegungsmessung. München, 2007.
- [SCHÖNHAMMER13] Schönhammer, R.: Einführung in die Wahrnehmungspsychologie – Sinne, Körper, Bewegung. 2. Aufl., Wien: Facultas Verlags- und Buchhandels AG, 2013.
- [SCHOTT22] Schott, E.: Über die Registrierung des Nystagmus und anderen Augenbewegungen mittels des Seitengalvanometers. In: Deutsches Archiv für Klinische Medizin, Vol. 140, S. 79-90, 1922.
- [SCHRIEVER25] Schriever, W.: Experimentelle Studien über stereoskopisches Sehen. In: Zeitschrift für Psychologie, Vol. 96, S. 113-170, 1925.
- [SEEGER05] Seeger, H.: Design technischer Produkte, Produktprogramme und -systeme. 2. Aufl., Heidelberg: Springer Verlag, 2005.
- [SEIFERT02] Seifert, K.: Evaluation multimodaler Computer-Systeme in frühen Entwicklungsphasen. Berlin: Technische Universität Berlin, Verkehrs- und Maschinensysteme, Dissertation, S. 83, 2002.
- [SHANNON & WEAVER49] Shannon, C. E. & Weaver, W.: The mathematical theory of communication. Urbana: University of Illinois Press, (deutsche Version: Dreßler, H.: Mathematische Grundlagen der Informationstheorie. München: R. Oldenbourg Verlag, 1976.) 1949.
- [SIBERT & JACOB00] Sibert, L. & Jacob, R.: Evaluation of eye gaze interaction. In: Proc. of Human Factors in Computing Systems Conference, S. 281-288, 2000.
- [SMI15] SMI: Website, <http://www.smivision.com/en/gaze-and-eye-tracking-systems/products/overview.html>, zuletzt geprüft am 08.02.2015.
- [SOLSO05] Solso, R. L.: Kognitive Psychologie. Heidelberg: Springer, 2005.
- [SPAKOV & MINIOTAS05] Spakov, O. & Moniotas, D.: Extending the limits for gaze pointing through the use of speech. In: Information Technology and Control, Vol. 34, S. 225-230, 2005.
- [SPRENGER ET AL.02] Sprenger, A.; Kömpf, D. & Heide, W.: Visual search in patients with left visual hemineglect. In: Progress Brain Res, Vol. 140, S. 395-416, 2002.
- [STELLMACH & DACHSELT12] Stellmach, S. & Dachsel, R.: Look & Touch – Gaze-supported Target Acquisition. In: Proc. of the Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '12, Texas: ACM, S. 2981-2990, 2012.

- [STELLMACH & DACHSELT13] Stellmach, S. & Dachsel, R.: Still Looking – Investigating Seamless Gaze-supported Selection, Positioning, and Manipulation of Distant Targets. In: Proc. of the Conference on Human Factors in Computing Systems, ACM, S. 285-294, 2013.
- [STEVENS75] Stevens, S. S.: Psychophysics – Introduction to its perceptual, neural, and social prospects. New York: Wiley, 1975.
- [THURSTONE27] Thurstone, L. L.: Psychophysical analysis. In: American Journal of Psychology, Vol. 38, S. 368-389, 1927.
- [TIMPE & KOLREP00] Timpe, K.-P. & Kolrep, H.: Das Mensch-Maschine-System als interdisziplinärer Gegenstand. In: Timpe, K.-P.; Jürgensohn, T. & Kolrep, H. (Hrsg.): Mensch-Maschine-Systemtechnik. Düsseldorf: Symposion Publishing, S. 9-40, 2000.
- [TOBII15] Tobii: Website, <http://www.tobii.com/en/tech>, zuletzt geprüft am 08.02.2015.
- [TREISMAN & GELADE80] Treisman, A. M. & Gelade, G.: A feature-integration theory of attention. In: Cognitive Psychology, Vol. 12, S. 97-136, 1980.
- [TULVING00] Tulving, E.: The Oxford handbook of memory. Oxford: Oxford University Press, 2000.
- [VAN DER MEER79] Van Der Meer, H.C.: Interrelation of the effects of binocular disparity and perspective cues on judgements of depth and height. In: Perception & Psychophysics, Vol. 26, S. 481-488, 1979.
- [VDI/VDE2258] VDI/VDE 2258: Feinwerkelemente; Bedienelemente, mechanisch. Juni 1987.
- [VDI/VDE3850-1] VDI/VDE 3850-1: Gebrauchstaugliche Gestaltung von Benutzungsschnittstellen für technische Anlagen – Blatt 1: Konzepte, Prinzipien und grundsätzliche Empfehlungen. April 2014.
- [VELDEN82] Velden, M.: Die Signalentdeckungstheorie in der Psychologie. Stuttgart: Kohlhammer, 1982.
- [VERTEGAAL02] Vertegaal, R.: Designing attentive interfaces. In: Proc. of the ACM Symposium on Eye Tracking Research & Applications, ETRA 2002, 2002.
- [VERTEGAAL03] Vertegaal, R.: Attentive User Interfaces. In: Communications of the ACM, Vol. 46, S. 30-33, 2003.
- [VERTEGAAL08] Vertegaal, R.: A Fitts' Law Comparison of Eye Tracking and Manual Input in the Selection of Visual Targets. In: Proc. of the 10th international conference on Multimodal Interfaces, ICMI '08, 2008.
- [WADE ET AL.03] Wade N. J.; Tatler B. W. & Heller D.: Dodge-ing the issue – Dodge, Javal, Hering and the measurement of saccades in eye-movement research. S. 793-804, 2003.

- [WARE & MIKAELIAN87] Ware, C. & Mikaelian, H. H.: An Evaluation of an Eye Tracker as a Device for Computer Input. In: Proc. of the SIGCHI/GI Conference on Human Factors in Computing Systems and Graphics interface, CHI '87, ACM Press, S. 183-188, 1987.
- [WEBER34] Weber, E. H.: De pulsu, resorptione, auditu et tactu. Annotationes anatomicae physiologicae. Leipzig: Koehler, 1834.
- [WEBER05] Weber, E. H.: Tastsinn und Gemeingefühl. Leipzig: Engelmann, 1905.
- [WELLS92] Wells, W. C.: An essay upon single vision with two eyes – together with experiments and observations on several other subjects in optics. London: T. Candell, 1792.
- [WERNER35] Werner, H.: Studies on contour – 1. Qualitative analyses. In: American Jour. Of Psychology, Vol. 47, S. 40-64, 1935.
- [WERTHEIMER23] Wertheimer, M.: Untersuchungen zur Lehre von der Gestalt. In: II. Psychologische Forschung, Vol.2 (4), S. 301-350, 1923.
- [WOLFE & HOROWITZ04] Wolfe, J. & Horowitz, T.: What attributes guide the deployment of visual attention and how do they do it? In: Nature Review Neuroscience, S. 495-501, 2004.
- [WOLFE ET AL.89] Wolfe, J. M.; Cave, K. R. & Franzel, S. L.: Guided search: an alternative to the feature integration model for visual search. In: Jour. of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, Vol. 15, S. 419-433. 1989.
- [ZHAI ET AL.99] Zhai, S.; Morimoto, C. & Ihde, S.: Manual And Gaze Input Cascaded (MAGIC) Pointing. In: Proc. of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '99, ACM Press, S. 246-253, 1999.
- [ZHAI ET AL.03] Zhai, S.; Conversy, S.; Beaudouin-Lafon, M. & Guiard, Y.: Human On-line Response to Target Expansion. In: Proc. of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '03, ACM Press, S. 177-184, 2003.
- [ZINK87] Zink, K.: Arbeitswissenschaftliche Aspekte einer benutzerfreundlichen und wirtschaftlichen Software-Produktion. AIT, Band 1, Kaiserslautern: ATI Verlag, 1987.
- [ZÜHLKE12] Zühlke, D.: Nutzergerechte Entwicklung von Mensch-Maschine-Systemen – Useware-Engineering für technische Systeme. 2. Aufl., Heidelberg: Springer-Verlag, 2012.

Verwendete Abschlussarbeiten unter Anleitung des Verfassers

- [BARTELS12] Bartels, F.: Konzeption und Entwurf einer grafischen Oberfläche zur Bedienung des Radios und Telefons im Fahrzeug mittels Blickinteraktion. Stuttgart: Universität Stuttgart, IKTD – Technisches Design, unveröffentlichte Bachelorarbeit, 2012.

- [GÖZCÜ12] Gözcü, A.: Konzeption und Entwurf einer grafischen Oberfläche zur Bedienung der Navigation im Fahrzeug mittels Blickinteraktion. Stuttgart: Universität Stuttgart, IKTD – Technisches Design, unveröffentlichte Bachelorarbeit, 2012.
- [HRVACANIN12] Hrvacanin, M.: Konzeption und Entwurf einer grafischen Oberfläche zur Bedienung der Klimaautomatik im Fahrzeug mittels Blickinteraktion. Stuttgart: Universität Stuttgart, IKTD – Technisches Design, unveröffentlichte Bachelorarbeit, 2012.
- [HRVACANIN13] Hrvacanin, M.: Experimentelle Untersuchung zur Einsatztauglichkeit der Blickinteraktion im PKW am Beispiel der Klimabedienung. Stuttgart: Universität Stuttgart, IKTD – Technisches Design, unveröffentlichte Studienarbeit, 2013.
- [JENKE14] Jenke, M.: Konzeption und Entwurf eines Interfaces zur Interaktion und Übertragung relevanter Informationen während des Motorradfahrens auf Basis der Blickinteraktion. Stuttgart: Universität Stuttgart, IKTD – Technisches Design, unveröffentlichte Studienarbeit, 2014.
- [SCHUHMANN13] Schuhmann, M.: Konzeption und Entwicklung eines blicksteuerungs-basierten Infotainment-Systems im Kraftfahrzeug. Stuttgart: Universität Stuttgart, IKTD – Technisches Design, unveröffentlichte Bachelorarbeit, 2013.

Anhang

A1 Vollständige Klassifizierung mit Bewertung

Grundsätze der Gestaltung einer MMIA				
Leitsätze der Gestaltung einer MMIA				
	Gestaltungsanforderungen	Gestaltungsempfehlung	qualitativ	quantitativ
Aufgabenangemessenheit				
	Allgemein	Ein MMIF ist aufgabenangemessen, wenn es den Benutzer unterstützt, die entsprechende Arbeitsaufgabe in einer bestimmten Arbeitsumgebung effektiv, effizient und zufriedenstellend zu erledigen. [DINEN894-1], [DINENISO9241-9/-110/-400]	-	-
	Funktionszuweisung	Die Funktionszuweisung ist aufgabenangemessen, wenn die Aufgabenerfordernisse sowie die Fähigkeiten und Grenzen des Benutzers in Betracht gezogen werden und das MMIF dementsprechend ausgelegt wird. [DINEN894-1]	●	○
	Komplexität (Dichte der angezeigten Information)	Bezogen auf die Arbeitsaufgabe, die Art und den Umfang der vom Benutzer zu verarbeitenden Information ist die Komplexität (Dichte der angezeigten Information) angemessen, wenn diese weitestgehend reduziert wird. [DINENISO9241-12], [DINEN894-1]	●	●
	Effektivität	Ein MMIF ist effektiv, wenn bei entsprechender Benutzung die damit erreichte Genauigkeit und Vollständigkeit zu einer erhöhten oder optimierten Benutzerleistung führen. [DINENISO9241-9]	●	●
	Effizienz	Ein MMIF ist effizient, wenn bei entsprechender Benutzung die Erledigung der Arbeitsaufgabe unter geringstem Aufwand an Zeit und Anstrengung funktioniert. [DINENISO9241-9]	●	●
	Zufriedenheit und Zufriedenstellung	Ein MMIF ist zufriedenstellend, wenn bei entsprechender Benutzung eine Reduzierung der Beeinträchtigung des Benutzers erreicht wird und die Benutzereinstellungen (bspw. Motivation) positiv angeregt werden. [DINENISO9241-9]	●	●
	Nutzungskontext	Ein MMIF ist aufgabenangemessen, wenn bei dessen Gestaltung der Nutzungskontext miteinbezogen wird. [DINENISO9241-11]	●	○
Handhabbarkeit				
	Allgemein	Ein MMIF ist handhabbar, wenn dessen vorgesehene Nutzung eindeutig, vorhersehbar und konsistent ist. [DINENISO9241-400]	-	-
	Eindeutigkeit (Klarheit)	Der beabsichtigte Einsatz eines MMIF mit entsprechendem Informationsgehalts für eine Elementaraufgabe ist entweder eindeutig oder leicht erkennbar und wird schnell und genau weiterverarbeitet. [DINENISO9241-9/-12/400]	●	◐
	Vorhersehbarkeit	Der Gebrauch eines MMIF ist vorhersehbar, wenn es entsprechend den Erwartungen des Benutzers funktioniert und reagiert. [DINENISO9241-9/-400]	●	●
	Konsistenz	Ein MMIF ist konsistent, wenn es beim Gebrauch in ähnlichen Situationen auf die gleiche Art und Weise funktioniert und reagiert, sowie entsprechende Stellteile und Anzeigen in gleicher Art und Weise angeordnet sind. [DINEN894-1], [DINENISO9241-9/12]	●	●
	Lesbarkeit	Die textuelle Information eines MMIF sollte leicht zu lesen sein. [DINENISO9241-12]	●	●
	Verständlichkeit	Die entsprechende Information und dessen zu übermittelnde Bedeutung eines MMIF sollten leicht verständlich, eindeutig, interpretierbar und erkennbar sein. [DINENISO9241-12]	●	○
	Kontinuität	Die Information eines MMIF sollte stets so angezeigt werden, dass der Benutzer seine Arbeitsaufgabe fortsetzen kann und dadurch ohne Unterbrechung unmittelbar zur nächsten Information geführt wird. [VDI/VDE3850-1]	●	◐
	Kompatibilität (zum Erlernen / zur Praxis)	Ein MMIF ist benutzerkompatibel, wenn bei Benutzung die natürlichen kognitiven und anthropometrischen Eigenschaften und biomechanischen Fähigkeiten des Benutzers finden. [DINENISO9241-9/-400]	●	◐
	Kompaktheit (Prägnanz)	Ein MMIF ist kompakt, wenn dem Benutzer nur jene Information gegeben wird, die für das Erledigen der Aufgabe benötigt wird. [DINENISO9241-12]	●	◐
	Unterscheidbarkeit	Ein MMIF (Stellteile und Anzeigen) mit entsprechend angezeigter und dazugehöriger Information sollte leicht unterscheidbar sein. [DINENISO9241-12], [DINEN894-1]	-	-
	Unterscheidung von Objekten gleicher Art	Bei Verwendung von unterschiedlichen grafischen Darstellungen (Bilder, Symbole) für gleichartige Objekte sollte jede grafische Darstellung durch eine Beschriftung eine eindeutige Identifikation erhalten. [DINENISO9241-12]	●	●

Legende: ● = qualitativ vollständig beschrieben, ◐ = qualitativ teilweise beschrieben, ○ = qualitativ nicht beschrieben, - = qualitative Beschreibung nicht möglich

Tab. A1: Vollständige Klassifizierung mit Bewertung

Grundsätze der Gestaltung einer MMIA				
Leitsätze der Gestaltung einer MMIA			qualitativ	quantitativ
	Gestaltungsanforderungen	Gestaltungsempfehlung		
	Statusunterscheidung (s. Rückmeldung)	Bei Kennzeichnung von unterschiedlichen Zuständen sollten Kodier-Verfahren (s. u.) verwendet werden. [DINENISO9241-12]	●	●
	Entdeckbarkeit (Erkennbarkeit / Auffälligkeit)	Die Entdeckbarkeit beschreibt die Lenkung der Benutzeraufmerksamkeit auf die benötigte/angezeigte Information. [DINENISO9241-12]	-	-
	Position von Anzeigen /Information	Die Anforderungen an die Arbeitsaufgabe, die physiologisch-funktionellen Eigenschaften des Benutzers, dessen Erwartungen sowie die ungehinderte Sicht bei der Ausführung der Arbeit bestimmen die Positionierung von Anzeigen. [DINENISO9241-12]	●	●
	relative Position der Information	„Übersteigt die vorhandene Information den verfügbaren Eingabe-/ Ausgabebereich, so sollte die relative Position der augenblicklich dargestellten Information im Verhältnis zur Gesamtmenge der Information angezeigt werden.“ [DINENISO9241-12]	●	◐
	Umweltfaktoren	Bei der Auslegung von Anzeigen sollte auf die Kompensation der möglichen nachteiligen Umwelteinflüsse, wie Beleuchtung und Vibration, besonders geachtet werden. [DINEN894-2]	●	◐
	Kontrast	Der Kontrast zwischen einzelnen grafischen Darstellungen und dem direkten Hintergrund sowie der nächsten Umgebung sollte Lesbarkeit und Unterscheidbarkeit sicherstellen. [DINEN894-2]	●	●
	Verwechselbarkeit	Verwechselbarkeit von Anzeigen (Teilen der Anzeigen oder Stellteilen) untereinander muss durch Gestaltung und Einsatz verschiedener Formen, Farben, Beschriftungen verringert werden. [DINEN894-2]	●	●
	Weitere Anforderung	Die freie Sicht auf Anzeigen sollte für alle Benutzerbelangen sichergestellt sein. Schwarz-Weiß-Darstellungen verbessern die Erkennbarkeit, jedoch können farbig kodierte Anzeigen für das Erkennen hilfreich sein. (s. u. Rückmeldung) [DINEN894-2]	●	●
	Rückmeldung / Informationsverfügbarkeit	Ein MMIF sollte den Systemzustand als Rückmeldung/Information dem Benutzer bei Betätigung unmittelbar, leicht verständlich und wahrnehmbar zur Verfügung stellen können. [DINEN894-1], [DINENISO9241-9/-400]	-	-
	Allgemeine Kodierung (Aufbau)	Unterscheidbarkeit der Kodierung: Es sollen Codes verwendet werden, die sich wahrnehmungsmäßig voneinander unterscheiden. [DINENISO9241-12, S. 13]	●	○
		Konsistente Kodierung: Codes sollten konsistent mit derselben Funktion und/oder derselben Bedeutung verwendet werden. [DINENISO9241-12, S. 13]	●	○
		Sinnhafte Kodierung: Codes sollten sinnhaft durch klare Assoziationen zwischen kodierter Information und beabsichtigter Bedeutung vorgesehen werden. [DINENISO9241-12, S. 13]	●	○
		Erläuterung der Kodierung: Codes sollten Informationen über dessen Bedeutung leicht zugänglich gemacht werden. [DINENISO9241-12, S. 14]	●	○
		Anwendung von etablierten Standards oder Konventionen (Kompatibilität): Codes sollten nach etablierten Standards oder konventionellen Bedeutungen festgelegt werden. [DINENISO9241-12, S. 14]	●	○
		Aktive/Inaktive Kodierung: Codes sollten eine inaktive Systemfunktion ebenso wie eine aktive Systemfunktion anzeigen, anstatt die inaktive Systemfunktion dem Benutzer nicht anzuzeigen. [DINENISO9241-12, S. 14]	●	○
	Grafische Kodierung (Form)	Allgemein: Für jede Informationskategorie sollte eine eindeutig unterscheidbare geometrische Form verwendet werden. Die Anzahl an geometrischen Formen sollte so gering wie möglich ausfallen und auf ≤ 10 begrenzt sein. [SCHMIDTKE & JASTRZEBSKA-F.13, S.49]	●	◐
		Dreidimensionale Kodierung: Es sollten grafische Methoden zur dreidimensionalen Darstellung angewendet werden, um die Unterscheidung der verschiedenen Informationskategorien zu erleichtern. [DINENISO9241-12, S. 14]	●	○
		Kodierung mittels Linien: Bei der Kodierungen mittels verschiedenartiger Linien sollten die Unterschiede der Linienart und der Linienstärke deutlich voneinander unterscheidbar sein. [DINENISO9241-12, S. 15]	●	○
		Richtung von Linien: Bei der Kodierung einer Richtung oder eines Wertes mittels Richtung einer Linie sollte ausreichend Kontextinformation hinzugezogen werden, damit die Richtung/Wert eindeutig identifizierbar ist. [DINENISO9241-12, S. 15]	●	●
		Kodierung durch Blinken: Die Aufmerksamkeit des Benutzers kann durch blinkende Anzeigeelemente geweckt werden. Es sollten höchstens nur zwei Blinkcodes verwendet werden. Die Blinkfrequenz liegt bei 0,5 Hz bis 3 Hz. [DINENISO9241-12, S. 16]	●	●

Legende: ● = qualitativ vollständig beschrieben, ◐ = qualitativ teilweise beschrieben, ○ = qualitativ nicht beschrieben, □ = qualitative Beschreibung nicht möglich

Tab. A1: Vollständige Klassifizierung mit Bewertung (Fortsetzung)

Grundsätze der Gestaltung einer MMIA				
Leitsätze der Gestaltung einer MMIA			qualitativ	quantitativ
	Gestaltungsanforderungen	Gestaltungsempfehlung		
		Größenkodierung: Das Verändern der Größe (Höhe, Breite) der Anzeigeelemente zur Einteilung in Informationskategorien sollten üblicherweise zumindest zwei oder drei Größen leicht unterscheidbar sein. [DINENISO9241-12, S. 16]	●	◐
	Farbliche Kodierung (Farbe)	Farbe als Hilfskodierung: Farbe ist gut geeignet als Hilfscode mit anderen Kodier-Verfahren, sollte aber nicht allein als Kodierung auftreten, da manche Menschen bestimmte Farben schwer auseinander halten können. [DINENISO9241-12, S. 15]	●	●
		Angemessene Verwendung: Eine willkürliche Farbverwendung oder eine hohe Farbanzahl sollte vermieden werden, da dies eine ungeordnete Darstellung wiedergibt und die Effektivität der Farbkodierung vermindern kann. [DINENISO9241-12, S. 15]	●	◐
		Zugehörigkeit durch konsistente Farbkodierung: Jede Farbe sollte nur eine Informationskategorie versinnbildlichen. Bekannte Konventionen für Farbkodierung sollten unter Berücksichtigung des Nutzungskontexts eingehalten werden. [DINENISO9241-12]	●	●
		Vordergrundfarben: Vor einem neutralen Hintergrund sollen Vordergrundfarben verwendet werden, die auf einem Farbdigramm weit auseinander liegen, um die Fähigkeit der Farbunterscheidung des Benutzers zu verbessern. [DINENISO9241-12]	●	●
		Hintergrundfarben: Farben hoher Sättigung (helles Weiß, Grau oder Schwarz, siehe ISO 9241-8; 1997, 3.1) sollten als Hintergrundfarbe vermieden werden. [DINENISO9241-12, S. 15]	●	●
		Leuchtdichte- / Helligkeitskodierung: Diese Kodier-Art kann eine Unterscheidung zwischen zwei Kategorien angezeigter Elemente kodieren. Die Helligkeit sollte als ein Code mit zwei Zuständen verstanden werden. [DINENISO9241-12, S. 16]	●	●
		Kodierung von Flächen: Anstelle der Unterscheidung nur durch Farbkodierung sollte auch das Füllen der Flächen mit unterschiedlichen Mustern (Schraffur, Schattierung, Punktieren) bzw. Texturen in Betracht gezogen werden. [DINENISO9241-12, S. 16]	●	○
	Alphanumerische Kodierung (Grafik)	Länge von Zeichenfolgen: Codes sollten kurz sein, sodass die Sinnhaftigkeit und eindeutige Erkennbarkeit erfüllt ist. Am besten sechs oder weniger Zeichen verwenden. [DINENISO9241-12, S. 14]	●	●
		Alphabetische Kodierung vs. numerische Kodierung: Alphabetische Codes sollten eher vor den numerische Codes bevorzugt werden. Außer es kann gezeigt werden, dass numerische Codes eine bessere Sinnhaftigkeit ergeben. [DINENISO9241-12, S. 14]	●	○
		Verwendung von Großbuchstaben: Groß- und Kleinbuchstaben sollten für die Eingabe alphabetischer Kodierung dieselbe Bedeutung haben. [DINENISO9241-12, S. 14]	●	○
		Abkürzungen von Kodierungen: Abkürzungen sollten so kurz wie möglich sein. Es sollten konventionelle und aufgabenbezogene Abkürzungen benutzt werden. [DINENISO9241-12, S. 14]	●	◐
		Hervorheben durch Blinken / Text: Ist das Lesen des Textes wichtig, so sollte besser ein anderes Verfahren zur Hervorhebung der Information in Betracht gezogen werden. [DINENISO9241-12, S. 16]	●	●
		Unterstreichen: Die zusätzliche Unterstreichen eines Elements zum Hervorheben und/oder Bezeichnen sollte in einem angemessenen Maße eingesetzt werden. Die Lesbarkeit sollte nicht vermindert werden. [DINENISO9241-12, S. 16]	●	○
	Zusammengehörigkeit / funktioneller Zusammenhang (Gruppierung)	Nach den folgenden Gruppierungsverfahren sind die Elemente so anzuordnen, dass sie sie als Gruppe wahrgenommen werden, leicht kombiniert zu nutzen und eindeutig von anderen Informationen unterscheidbar sind. [DINEN894-1], [VDI/VDE3850-1]	-	-
	Visuell getrennte Gruppen	Die Anzahl der Gruppen sollte so gering wie möglich sein, wenn die Ausführung der Arbeitsaufgabe eine rasche visuelle Suche fordert. [DINENISO9241-12, S. 10]	●	●
	Unterscheidung von Gruppen	Die Wahrnehmung der Unterscheidbarkeit von Gruppen sollte durch entsprechende Anpassung der Abstände und Lage verbessert werden. [DINENISO9241-12, S. 9]	●	●
	Gesetze der Gruppierung	Die Wahrnehmung der Unterscheidbarkeit, aber auch die Kennzeichnung von Gruppen sollte durch Anwendung der einzelnen Gruppierungsgesetze verbessert werden. [SCHMIDTKE & JASTRZEBSKA-F.13, S.49], [GOLDSTEIN11]	●	●
	Gruppierung nach Funktion	Wenn die Arbeitsaufgabe keine besondere Arbeits-Reihenfolge verlangt, so sollte die auf diese Aufgabe bezogene Information in semantische Gruppen / nach ihrer Funktion organisiert werden. [DINENISO9241-12, S. 10]	●	●
	Gruppierung nach Reihenfolge	Wenn die Arbeitsaufgabe eine besondere Arbeits-Reihenfolge verlangt, so sollte die Information entsprechend dieser Reihenfolge gruppiert und angeordnet werden. [DINENISO9241-12, S. 10]	●	●
	Gruppierung durch Beachten von Konventionen	Informationsgruppen sollten so geordnet und angeordnet werden, dass übliche Anordnungen, Konventionen und Gebräuche widerspiegeln (z. B. Adressen). [DINENISO9241-12, S. 10]	●	●
Steuerbarkeit				
	Allgemein	Der Benutzer sollte das System steuern/beherrschen können und seine Absichten sollten nicht vom System eingeschränkt werden. Er sollte den Ablauf starten sowie die Richtung und die Geschwindigkeit beeinflussen können. [DINEN894-1]	-	-

Legende: ● = qualitativ vollständig beschrieben, ◐ = qualitativ teilweise beschrieben, ○ = qualitativ nicht beschrieben, ▣ = qualitative Beschreibung nicht möglich

Tab. A1: Vollständige Klassifizierung mit Bewertung (Fortsetzung)




Grundsätze der Gestaltung einer MMIA				
Leitsätze der Gestaltung einer MMIA			qualitativ	quantitativ
	Gestaltungsanforderungen	Gestaltungsempfehlung		
	Redundanz	Vorkehrungen für redundant auszulegende Anzeige- und Bedienelemente sollten getroffen werden, wenn dadurch die Sicherheit des gesamten Systems erhöht werden kann. [DINEN894-1]	●	○
	Zugänglichkeit	Die benötigten Informationen sollten für den Benutzer und dessen Interessen leicht zugänglich sein. [DINEN894-1]	●	○
	Bewegungsraum	Die zur Aufnahme der Information und Betätigung der Anzeige- und Bedienelemente erforderlichen Körperbewegungen sollten für den Benutzer nicht unbequem sein. [DINEN894-1]	●	●
	Ansprechbarkeit	Ein MMIF sollte ansprechbar sein, indem die nach der Betätigung folgende Rückmeldung kontinuierlich, konsistent, rechtzeitig und genau erfolgt. [DINENISO9241-9/-400]	●	○
	Störungsfreiheit	Ein MMIF sollte seinen eigenen Gebrauch nicht stören. [DINENISO9241-9/-400]	●	○
	Erreich- und Greifbarkeit / Gerätezugriff	Der Zugriff auf ein MMIF sollte zugänglich sein, indem dessen Bedienelemente schnell und einfach gegriffen und betätigt werden können und damit positioniert werden kann, ohne dass sich dies auf die Gesamtnutzung nachteilig auswirkt. [DINENISO9241-9]	●	●
	Zuverlässigkeit des Gerätezugriffs	Die Bedienung eines Eingabemittels ist zuverlässig, wenn die Greif- und Kontaktflächen bei der vorgesehenen Benutzung ein unbeabsichtigtes Abrutschen oder Fehlbedienung verhindern. [DINENISO9241-9]	●	●
Selbsterklärungsfähigkeit / Selbstbeschreibungsfähigkeit				
	Allgemein	Ein MMIF ist selbsterklärend, wenn der Benutzer zu jeder Zeit Anzeigen und Stellteile mühelos erkennen und den Dialog verstehen kann, indem er die Dialogposition stets in Überblick hat und weitere Bedienschritte eindeutig sind. [DINEN894-1]	-	-
Erwartungskonformität				
	Allgemein	Ein MMIF ist erwartungskonform (s. vorhersehbar), wenn er den aus dem Nutzungskontext heraus vorhersehbaren Benutzererwartungen und praktischen Benutzererfahrungen sowie allgemein anerkannten Konventionen entspricht. [DINEN894-1],	-	-
Fehlerrobustheit / Fehlertoleranz				
	Allgemein	Ein MMIF ist fehlerrobust, wenn das beabsichtigte Arbeitsergebnis trotz erkennbar fehlerhafter Bedieneingabe entweder mit keinem oder mit minimalem Korrekturaufwand erreicht werden kann. [DINEN894-1], [DINENISO9241-110]	-	-
	Fehlerkontrolle	Ein MMIF sollte einen Eingabefehler prüfen können und dem Benutzer die Möglichkeit zur Korrektur und Kontrolle derartiger Bedienfehler anbieten. [DINEN894-1]	●	○
	Fehlerbehandlungszeit	Ein MMIF sollte dem Benutzer ausreichend Zeit bieten, um jeden Bedienfehler zuverlässig korrigieren zu können. [DINEN894-1]	●	●
Individualisierbarkeit (Anpassbarkeit)				
	Allgemein	Ein MMIF ist individualisierbar, wenn der Benutzer die Interaktion und die Darstellung von Informationen ändern kann, um diese an seine individuellen Fähigkeiten und Bedürfnisse anzupassen. [DINENISO9241-110]	-	-
	Flexibilität	Ein MMIF sollte ausreichend flexibel sein, um sich an Unterschiede der persönlichen Bedürfnissen und Kulturen, allgemeinen physiologischen und psychologischen Fähigkeiten und Lernvermögen anpassen zu lassen. [DINEN894-1]	●	○
Erlernbarkeit / Lernförderlichkeit				
	Allgemein	Ein MMIF sollte leicht erlernbar und lernförderlich sein, indem es den Benutzer das Verständnis über die Bedienphilosophie vermittelt und beim Erlernen der interaktiven Systemnutzung unterstützt und anleitet. [DINENISO9241-110]	-	-
Biomechanische Belastung				
	Allgemein	Die biomechanische Belastung sollte unter Berücksichtigung der gesamten Körperhaltungen und des für die Benutzung des Eingabegerätes relevanten Körperteils auf ein Minimum der statischen Muskelbelastungen reduziert werden. [DINENISO9241-400]	-	-
	Körperhaltung	Ein MMIF sollte ohne übermäßige Abweichung von der neutralen Körperhaltung des Benutzers bedient werden können, d. h., die Bewegungen von Gelenken, die bei der Bedienung des MMIF entstehen, liegen im neutralen Bereich. [DINENISO9241-9/-400]	●	●
	Anstrengung	Ein MMIF, welches für eine bestimmte Bedienaufgabe und Benutzergruppe ausgewählt wurde, sollte ohne übermäßige Anstrengung benutzbar sein. [DINENISO9241-9/-400]	●	●
	Benutzerschulung und -einweisung	Durch ordnungsgemäße Benutzerschulungen und -einweisungen können übermäßige Anstrengungen vermieden und eine verbesserte Ausführung der Arbeitsaufgabe erzielt werden. [DINENISO9241-9]	●	●

Legende: ● = qualitativ vollständig beschrieben, ◐ = qualitativ teilweise beschrieben, ○ = qualitativ nicht beschrieben, - = qualitative Beschreibung nicht möglich

Tab. A1: Vollständige Klassifizierung mit Bewertung (Fortsetzung)

A2 Die Berechnungstabellen des Informationsgehalts und Auffälligkeitsmaßes

Berechnung der Informationsgehalts eines Einzelement

				Anzahl	relative Häufigkeit	Informationsmaß	relatives Informationsmaß	Informationsgehalt	
Einteilung in Elementarten entsprechend der untersuchten Formen				x_i	$p_i(x_i) = x_i / x_{ges}$	$I_i(x_i) = - \log p_i(x_i)$	$H_i(x_i) = p_i(x_i) \cdot I_i(x_i)$	$I_j(x_i) = x_i \cdot H_i(x_i)$	
Form Fo	Ecke („Knoten“)			0	0	0	0	0	
	Linie / Kante	geradlinige	$a = b$ $a \neq b$	0	0	0	0	0	
		konvex / konkav / freigeformt			1	0,083333333	3,584962501	0,298746875	0,298746875
Farbe Fa	einfarbige/farbige Flächen	schwarz / weiß		1	0,083333333	3,584962501	0,298746875	0,298746875	
Einteilung in Ordnungsarten entsprechend der untersuchten Formen				-	-	-	-	-	
Form Fo	Achsensymmetrie	horizontal (x-Achse)		1	0,083333333	3,584962501	0,298746875	0,298746875	
		vertikal (y-Achse)		1	0,083333333	3,584962501	0,298746875	0,298746875	
		diagonal (xy-Ebene)		1	0,083333333	3,584962501	0,298746875	0,298746875	
	Rotationssymmetrie	um die z-Achse		1	0,083333333	3,584962501	0,298746875	0,298746875	
	Punktsymmetrie / Drehsymmetrie	Zentralsymmetrie		1	0,083333333	3,584962501	0,298746875	0,298746875	
		Zentrierung / Streckung		0	0	0	0	0	
	Proportionen / Dimensionen	1:1, 1:2, Ø, Länge, Breite		1	0,083333333	3,584962501	0,298746875	0,298746875	
	Relative Lage der Einzelement	horizontal (x-Achse)		0	0	0	0	0	
		vertikal (y-Achse)		0	0	0	0	0	
		im Raum (xy-Ebene)		1	0,083333333	3,584962501	0,298746875	0,298746875	
	Parallelitäten	horizontal (x-Achse)		0	0	0	0	0	
		vertikal (y-Achse)		0	0	0	0	0	
		diagonal (xy-Ebene)		0	0	0	0	0	
	Winkligkeit	0° / 45° / 90° / 180°		0	0	0	0	0	
	Bündigkeit	horizontal Bündigkeit-Null-Kontrast		0	0	0	0	0	
		vertikal Bündigkeit-Null-Kontrast		0	0	0	0	0	
		diagonal Bündigkeit-Null-Kontrast		0	0	0	0	0	
	Stetigkeit	Stetigkeit-Null-Kontrast		1	0,083333333	3,584962501	0,298746875	0,298746875	
	Farbe Fa	Kontrast	Quantität-Null-Kontrast		0	0	0	0	0
			Bunt-Unbunt-Null-Kontrast		0	0	0	0	0
Hell-Dunkel-Null-Kontrast				1	0,083333333	3,584962501	0,298746875	0,298746875	
Komplementär-Null-Kontrast				1	0,083333333	3,584962501	0,298746875	0,298746875	
				12	1	-	3,584962501	43,01955001 Informationsgehalt	

Tab. A2.1: Die Berechnungstabellen des Informationsgehalts und Auffälligkeitsmaßes für die Objektgestalt „Kreis“

Berechnung der Informationsgehalts bei der Untersuchung_parallel





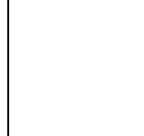
Einteilung in Elementarten entsprechend der untersuchten Formen				Anzahl	relative Häufigkeit	Informationsmaß	relatives Informationsmaß	Informationsgehalt		
				x_i	$p_i(x_i) = x_i / x_{ges}$	$I_i(x_i) = - \log p_i(x_i)$	$H_i(x_i) = p_i(x_i) \cdot I_i(p_i(x_i))$	$I_j(x_i) = x_i \cdot H_i(x_i)$		
Form Fo	Ecke („Knoten“)			0	0	0	0	0		
	Linie / Kante	geradlinige	—	0	0	0	0	0		
		konvex / konkav / freigeformt		2	0,153846154	2,700439718	0,415452264	0,830904529		
Farbe Fa	einfarbige/farbige Flächen	schwarz / weiß		2	0,153846154	2,700439718	0,415452264	0,830904529	Überraschungsmaß	Auffälligkeitswert
Einteilung in Ordnungsarten entsprechend der untersuchten Formen				-	-	-	-	-	$\bar{U}_i = I_i / H_{ges}$	$A_i = H_i / H_{ges}$
Form Fo	Achsensymmetrie	horizontal (x-Achse)		1	0,076923077	3,700439718	0,284649209	0,284649209	1,142498466	0
		vertikal (y-Achse)		1	0,076923077	3,700439718	0,284649209	0,284649209	1,142498466	0
		diagonal (xy-Ebene)		0	0	0	0	0	0	0
	Rotationssymmetrie	um die z-Achse		0	0	0	0	0	0	0
	Punktsymmetrie / Drehsymmetrie	Zentralsymmetrie		1	0,076923077	3,700439718	0,284649209	0,284649209	1,142498466	0
		Zentrierung / Streckung		0	0	0	0	0	0	0
	Proportionen / Dimensionen	1:1, 1:2, Ø, Länge, Breite		2	0,153846154	2,700439718	0,415452264	0,830904529	0,833751789	0,128269506
	Relative Lage der Einzelement	horizontal (x-Achse)		0	0	0	0	0	0	0
		vertikal (y-Achse)		0	0	0	0	0	0	0
		im Raum (xy-Ebene)		1	0,076923077	3,700439718	0,284649209	0,284649209	1,142498466	0
	Parallelitäten	horizontal (x-Achse)		0	0	0	0	0	0	0
		vertikal (y-Achse)		0	0	0	0	0	0	0
		diagonal (xy-Ebene)		0	0	0	0	0	0	0
	Winkligkeit	0° / 45° / 90° / 180°		0	0	0	0	0	0	0
	Bündigkeit	horizontal Bündigkeit-Null-Kontrast		0	0	0	0	0	0	0
		vertikal Bündigkeit-Null-Kontrast		0	0	0	0	0	0	0
		diagonal Bündigkeit-Null-Kontrast		0	0	0	0	0	0	0
	Stetigkeit	Stetigkeit-Null-Kontrast		1	0,076923077	3,700439718	0,284649209	0,284649209	1,142498466	0
Farbe Fa	Kontrast	Quantität-Null-Kontrast		0	0	0	0	0	0	0
		Bunt-Unbunt-Null-Kontrast		0	0	0	0	0	0	0
		Hell-Dunkel-Null-Kontrast		1	0,076923077	3,700439718	0,284649209	0,284649209	1,142498466	0
		Komplementär-Null-Kontrast		1	0,076923077	3,700439718	0,284649209	0,284649209	1,142498466	0
				13	1	-	3,238901257	42,10571634	8,831241053	0,128269506

Tab. A2.1: Die Berechnungstabellen des Informationsgehalts und Auffälligkeitsmaßes für die Objektgestalt „Kreis“ (Fortsetzung)

Berechnung der Informationsgehalts bei der Untersuchung_seriell




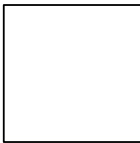
Anzahl x_i	relative Häufigkeit $p_i(x_i) = x_i / x_{ges}$	Informationsmaß $I_i(x_i) = -\log_2 p_i(x_i)$	relatives Informationsmaß $H_i(x_i) = p_i(x_i) \cdot I_i(x_i)$	Informationsgehalt $I_j(x_i) = x_i \cdot H_i(x_i)$		
0	0	0	0	0		
0	0	0	0	0		
0	0	0	0	0		
1	0,076923077	3,700439718	0,284649209	0,284649209		
1	0,076923077	3,700439718	0,284649209	0,284649209	Überraschungsmaß	Auffälligkeitswert
-	-	-	-	-	$\bar{U}_i = I_i / H_{ges}$	$A_i = H_i / H_{ges}$
1	0,076923077	3,700439718	0,284649209	0,284649209	1,043378569	0
1	0,076923077	3,700439718	0,284649209	0,284649209	1,043378569	0
1	0,076923077	3,700439718	0,284649209	0,284649209	1,043378569	0
1	0,076923077	3,700439718	0,284649209	0,284649209	1,043378569	0
1	0,076923077	3,700439718	0,284649209	0,284649209	1,043378569	0
0	0	0	0	0	0	0
2	0,153846154	2,700439718	0,415452264	0,830904529	0,76141787	0,117141211
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
1	0,076923077	3,700439718	0,284649209	0,284649209	1,043378569	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
1	0,076923077	3,700439718	0,284649209	0,284649209	1,043378569	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
1	0,076923077	3,700439718	0,284649209	0,284649209	1,043378569	0
1	0,076923077	3,700439718	0,284649209	0,284649209	1,043378569	0
13	1	-	3,546593564	46,10571634	10,15182499	0,117141211

Tab. A2.1: Die Berechnungstabellen des Informationsgehalts und Auffälligkeitsmaßes für die Objektgestalt „Kreis“ (Fortsetzung)

				Berechnung der Informationsgehalts eines Einzelement					
				Anzahl	relative Häufigkeit	Informationsmaß	relatives Informationsmaß	Informationsgehalt	
				x_i	$p_i(x_i) = x_i / x_{ges}$	$I_i(x_i) = - \log p_i(x_i)$	$H_i(x_i) = p_i(x_i) \cdot I_i(x_i)$	$I_i(x_i) = x_i \cdot H_i(x_i)$	
Einteilung in Elementarten entsprechend der untersuchten Formen									
Form Fo	Ecke („Knoten“)			4	0,181818182	2,459431619	0,447169385	1,788677541	
			geradlinige	a = b	4	0,181818182	2,459431619	0,447169385	1,788677541
	Linie / Kante		a ≠ b	0	0	0	0	0	
			konvex / konkav / freigeformt		0	0	0	0	0
Farbe Fa	einfarbige/farbige Flächen	schwarz / weiß		1	0,045454545	4,459431619	0,202701437	0,202701437	
Einteilung in Ordnungsarten entsprechend der untersuchten Formen				-	-	-	-	-	
Quadrat 	Achsensymmetrie	horizontal (x-Achse)		1	0,045454545	4,459431619	0,202701437	0,202701437	
		vertikal (y-Achse)		1	0,045454545	4,459431619	0,202701437	0,202701437	
		diagonal (xy-Ebene)		1	0,045454545	4,459431619	0,202701437	0,202701437	
	Rotationssymmetrie	um die z-Achse		0	0	0	0	0	
	Punktsymmetrie / Drehsymmetrie	Zentralsymmetrie		1	0,045454545	4,459431619	0,202701437	0,202701437	
		Zentrierung / Streckung		0	0	0	0	0	
	Proportionen / Dimensionen	1:1, 1:2, Ø, Länge, Breite		1	0,045454545	4,459431619	0,202701437	0,202701437	
	Relative Lage der Einzelement	horizontal (x-Achse)		1	0,045454545	4,459431619	0,202701437	0,202701437	
		vertikal (y-Achse)		1	0,045454545	4,459431619	0,202701437	0,202701437	
		im Raum (xy-Ebene)		0	0	0	0	0	
	Parallelitäten	horizontal (x-Achse)		1	0,045454545	4,459431619	0,202701437	0,202701437	
		vertikal (y-Achse)		1	0,045454545	4,459431619	0,202701437	0,202701437	
		diagonal (xy-Ebene)		0	0	0	0	0	
	Winkligkeit	0° / 45° / 90° / 180°		1	0,045454545	4,459431619	0,202701437	0,202701437	
	Bündigkeit	horizontal Bündigkeit-Null-Kontrast		0	0	0	0	0	
		vertikal Bündigkeit-Null-Kontrast		0	0	0	0	0	
		diagonal Bündigkeit-Null-Kontrast		0	0	0	0	0	
	Stetigkeit	Stetigkeit-Null-Kontrast		1	0,045454545	4,459431619	0,202701437	0,202701437	
	Farbe Fa	Kontrast	Quantität-Null-Kontrast		0	0	0	0	0
			Bunt-Unbunt-Null-Kontrast		0	0	0	0	0
Hell-Dunkel-Null-Kontrast				1	0,045454545	4,459431619	0,202701437	0,202701437	
Komplementär-Null-Kontrast				1	0,045454545	4,459431619	0,202701437	0,202701437	
				22	1	-	3,732158891	82,10749561 Informationsgehalt	

Tab. A2.2: Die Berechnungstabellen des Informationsgehalts und Auffälligkeitsmaßes für die Objektgestalt „Quadrat“

Berechnung der Informationsgehalts bei der Untersuchung_parallel

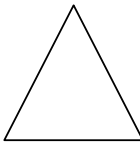



Einteilung in Elementarten entsprechend der untersuchten Formen				Anzahl	relative Häufigkeit	Informationsmaß	relatives Informationsmaß	Informationsgehalt			
				x_i	$p_i(x_i) = x_i / x_{ges}$	$I_i(x_i) = - \log p_i(x_i)$	$H_i(x_i) = p_i(x_i) \cdot I_i(x_i)$	$I_i(x_i) = x_i \cdot H_i(x_i)$			
Form Fo	Ecke („Knoten“)			8	0,242424242	2,044394119	0,495610696	3,964885565			
	Linie / Kante	geradlinige	a = b	8	0,242424242	2,044394119	0,495610696	3,964885565			
			a ≠ b	0	0	0	0	0			
	konvex / konkav / freigeformt			0	0	0	0	0			
Farbe Fa	einfarbige/farbige Flächen	schwarz / weiß		2	0,060606061	4,044394119	0,245114795	0,49022959	Überraschungsmaß Auffälligkeitswert		
Einteilung in Ordnungsarten entsprechend der untersuchten Formen				-	-	-	-	-	$\ddot{U}_i = I_i / H_{ges}$ $A_i = H_i / H_{ges}$		
Quadrat 	Achsensymmetrie	horizontal (x-Achse)		1	0,03030303	5,044394119	0,152860428	0,152860428	1,506947875	0	
		vertikal (y-Achse)		1	0,03030303	5,044394119	0,152860428	0,152860428	1,506947875	0	
		diagonal (xy-Ebene)		0	0	0	0	0	0	0	
	Rotationssymmetrie	um die z-Achse		0	0	0	0	0	0	0	
	Punktsymmetrie / Drehsymmetrie	Zentralsymmetrie		1	0,03030303	5,044394119	0,152860428	0,152860428	1,506947875	0	
		Zentrierung / Streckung		0	0	0	0	0	0	0	
	Proportionen / Dimensionen		1:1, 1:2, Ø, Länge, Breite		2	0,060606061	4,044394119	0,245114795	0,49022959	1,208210734	0,073224893
	Relative Lage der Einzelement	horizontal (x-Achse)		1	0,03030303	5,044394119	0,152860428	0,152860428	1,506947875	0	
		vertikal (y-Achse)		1	0,03030303	5,044394119	0,152860428	0,152860428	1,506947875	0	
		im Raum (xy-Ebene)		0	0	0	0	0	0	0	
	Parallelitäten	horizontal (x-Achse)		2	0,060606061	4,044394119	0,245114795	0,49022959	1,208210734	0,073224893	
		vertikal (y-Achse)		0	0	0	0	0	0	0	
		diagonal (xy-Ebene)		0	0	0	0	0	0	0	
	Winkligkeit	0° / 45° / 90° / 180°		1	0,03030303	5,044394119	0,152860428	0,152860428	1,506947875	0,045665087	
	Bündigkeit	horizontal Bündigkeit-Null-Kontrast		2	0,060606061	4,044394119	0,245114795	0,49022959	1,208210734	0,073224893	
		vertikal Bündigkeit-Null-Kontrast		0	0	0	0	0	0	0	
		diagonal Bündigkeit-Null-Kontrast		0	0	0	0	0	0	0	
	Stetigkeit	Stetigkeit-Null-Kontrast		1	0,03030303	5,044394119	0,152860428	0,152860428	1,506947875	0	
	Farbe Fa	Kontrast	Quantität-Null-Kontrast		0	0	0	0	0	0	
			Bunt-Unbunt-Null-Kontrast		0	0	0	0	0	0	
Hell-Dunkel-Null-Kontrast			1	0,03030303	5,044394119	0,152860428	0,152860428	1,506947875	0		
Komplementär-Null-Kontrast			1	0,03030303	5,044394119	0,152860428	0,152860428	1,506947875	0		
				33	1	-	3,347424422	110,4650059	17,18716308	0,265339766	

Tab. A2.2: Die Berechnungstabellen des Informationsgehalts und Auffälligkeitsmaßes für die Objektgestalt „Quadrat“ (Fortsetzung)

Berechnung der Informationsgehalts bei der Untersuchung_seriell

Anzahl	relative Häufigkeit	Informationsmaß	relatives Informationsmaß	Informationsgehalt		
x_i	$p_i(x_i) = x_i / x_{ges}$	$I_i(x_i) = - \log p_i(x_i)$	$H_i(x_i) = p_i(x_i) \cdot I_i(x_i)$	$I_i(x_i) = x_i \cdot H_i(x_i)$		
4	0,16666667	2,584962501	0,430827083	1,723308334		
4	0,16666667	2,584962501	0,430827083	1,723308334		
0	0	0	0	0		
0	0	0	0	0		
1	0,041666667	4,584962501	0,191040104	0,191040104	Überraschungsmaß	Auffälligkeitswert
-	-	-	-	-	$\ddot{U}_i = I_i / H_{ges}$	$A_i = H_i / H_{ges}$
1	0,041666667	4,584962501	0,191040104	0,191040104	1,222125721	0
1	0,041666667	4,584962501	0,191040104	0,191040104	1,222125721	0
1	0,041666667	4,584962501	0,191040104	0,191040104	1,222125721	0
0	0	0	0	0	0	0
1	0,041666667	4,584962501	0,191040104	0,191040104	1,222125721	0
0	0	0	0	0	0	0
2	0,083333333	3,584962501	0,298746875	0,59749375	0,955574856	0,079631238
1	0,041666667	4,584962501	0,191040104	0,191040104	1,222125721	0
1	0,041666667	4,584962501	0,191040104	0,191040104	1,222125721	0
0	0	0	0	0	0	0
2	0,083333333	3,584962501	0,298746875	0,59749375	0,955574856	0,079631238
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
1	0,041666667	4,584962501	0,191040104	0,191040104	1,222125721	0,050921905
1	0,041666667	4,584962501	0,191040104	0,191040104	1,222125721	0,050921905
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
1	0,041666667	4,584962501	0,191040104	0,191040104	1,222125721	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
1	0,041666667	4,584962501	0,191040104	0,191040104	1,222125721	0
1	0,041666667	4,584962501	0,191040104	0,191040104	1,222125721	0
24	1	-	3,751629167	90,03910002	15,35453264	0,261106286

Tab. A2.2: Die Berechnungstabellen des Informationsgehalts und Auffälligkeitsmaßes für die Objektgestalt „Quadrat“ (Fortsetzung)

				Berechnung der Informationsgehalts eines Einzelement						
				Anzahl	relative Häufigkeit	Informationsmaß	relatives Informationsmaß	Informationsgehalt		
				x_i	$p_i(x_i) = x_i / x_{ges}$	$I_i(x_i) = - \log_2 p_i(x_i)$	$H_i(x_i) = p_i(x_i) \cdot I_i(x_i)$	$I_j(x_i) = x_i \cdot H_i(x_i)$		
<div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> <div style="margin-right: 10px;">Dreieck</div>  </div>	Einteilung in Elementarten entsprechend der untersuchten Formen									
	Form Fo	Ecke („Knoten“)			3	0,2	2,321928095	0,464385619	1,393156857	
		Linie / Kante	geradlinige	a = b	—	3	0,2	2,321928095	0,464385619	1,393156857
				a ≠ b	—	0	0	0	0	0
		konvex / konkav / freigeformt			0	0	0	0	0	
	Farbe Fa	einfarbige/farbige Flächen	schwarz / weiß			1	0,066666667	3,906890596	0,260459373	0,260459373
	Einteilung in Ordnungsarten entsprechend der untersuchten Formen				-	-	-	-	-	
	Form Fo	Achsensymmetrie	horizontal (x-Achse)		1	0,066666667	3,906890596	0,260459373	0,260459373	
			vertikal (y-Achse)		0	0	0	0	0	
			diagonal (xy-Ebene)		0	0	0	0	0	
		Rotationsymmetrie	um die z-Achse		0	0	0	0	0	
		Punktsymmetrie	Zentralsymmetrie		0	0	0	0	0	
			Zentrierung / Streckung		0	0	0	0	0	
		Proportionen / Dimensionen	1:1, 1:2, Ø, Länge, Breite		1	0,066666667	3,906890596	0,260459373	0,260459373	
		Relative Lage der Einzelement	horizontal (x-Achse)		1	0,066666667	3,906890596	0,260459373	0,260459373	
			vertikal (y-Achse)		0	0	0	0	0	
			im Raum (xy-Ebene)		1	0,066666667	3,906890596	0,260459373	0,260459373	
		Parallelitäten	horizontal (x-Achse)		0	0	0	0	0	
			vertikal (y-Achse)		0	0	0	0	0	
			diagonal (xy-Ebene)		0	0	0	0	0	
		Winkligkeit	0° / 45° / 90° / 180°		1	0,066666667	3,906890596	0,260459373	0,260459373	
		Bündigkeit	horizontal Bündigkeit-Null-Kontrast		0	0	0	0	0	
	vertikal Bündigkeit-Null-Kontrast		0	0	0	0	0			
	diagonal Bündigkeit-Null-Kontrast		0	0	0	0	0			
	Stetigkeit	Stetigkeit-Null-Kontrast		1	0,066666667	3,906890596	0,260459373	0,260459373		
Farbe Fa	Kontrast	Quantität-Null-Kontrast		0	0	0	0	0		
		Bunt-Uhbunt-Null-Kontrast		0	0	0	0	0		
		Hell-Dunkel-Null-Kontrast		1	0,066666667	3,906890596	0,260459373	0,260459373		
		Komplementär-Null-Kontrast		1	0,066666667	3,906890596	0,260459373	0,260459373		
				15	1	-	3,272905595	49,09358393 Informationsgehalt		

Tab. A2.3: Die Berechnungstabellen des Informationsgehalts und Auffälligkeitsmaßes für die Objektgestalt „Dreieck“




				Berechnung der Informationsgehalts bei der Untersuchung_parallel							
Einteilung in Elementarten entsprechend der untersuchten Formen				Anzahl	relative Häufigkeit	Informationsmaß	relatives Informationsmaß	Informationsgehalt			
				x_i	$p_i(x_i) = x_i / x_{ges}$	$I_i(x_i) = - \log_2 p_i(x_i)$	$H_i(x_i) = p_i(x_i) \cdot I_i(p_i(x_i))$	$I_j(x_i) = x_i \cdot H_i(x_i)$			
<div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> <div style="margin-right: 10px;">Dreieck</div> </div>	Form Fo	Ecke („Knoten“)		⊙	6	0,230769231	2,115477217	0,48818705	2,929122301		
		Linie / Kante	geradlinige	a = b	—	6	0,230769231	2,115477217	0,48818705	2,929122301	
				a ≠ b	—	0	0	0	0	0	
			konvex / konkav / freigeformt		⤿	0	0	0	0	0	
	Farbe Fa	einfarbige/farbige Flächen	schwarz / weiß	△	2	0,076923077	3,700439718	0,284649209	0,569298418	Überraschungsmaß	Auffälligkeitswert
	Einteilung in Ordnungsarten entsprechend der untersuchten Formen				-	-	-	-	-	$\bar{U}_i = I_i / H_{ges}$	$A_i = H_i / H_{ges}$
	Form Fo	Achsensymmetrie	horizontal (x-Achse)		1	0,038461538	4,700439718	0,180786143	0,180786143	1,434543161	0
			vertikal (y-Achse)		0	0	0	0	0	0	0
			diagonal (xy-Ebene)		0	0	0	0	0	0	0
		Rotationssymmetrie		um die z-Achse		0	0	0	0	0	0
Punktsymmetrie		Zentralsymmetrie		0	0	0	0	0	0	0	
		Zentrierung / Streckung		0	0	0	0	0	0	0	
Proportionen / Dimensionen		1:1, 1:2, ∅, Länge, Breite		2	0,076923077	3,700439718	0,284649209	0,569298418	1,129349765	0,086873059	
Relative Lage der Einzelement		horizontal (x-Achse)		1	0,038461538	4,700439718	0,180786143	0,180786143	1,434543161	0	
		vertikal (y-Achse)		0	0	0	0	0	0	0	
		im Raum (xy-Ebene)		1	0,038461538	4,700439718	0,180786143	0,180786143	1,434543161	0	
Parallelitäten		horizontal (x-Achse)		0	0	0	0	0	0	0	
		vertikal (y-Achse)		0	0	0	0	0	0	0	
		diagonal (xy-Ebene)		2	0,076923077	3,700439718	0,284649209	0,569298418	1,129349765	0,086873059	
Winkligkeit		0° / 45° / 90° / 180°		1	0,038461538	4,700439718	0,180786143	0,180786143	1,434543161	0,055174737	
Bündigkeit		horizontal Bündigkeit-Null-Kontrast		1	0,038461538	4,700439718	0,180786143	0,180786143	1,434543161	0,055174737	
		vertikal Bündigkeit-Null-Kontrast		0	0	0	0	0	0	0	
		diagonal Bündigkeit-Null-Kontrast		0	0	0	0	0	0	0	
Stetigkeit		Stetigkeit-Null-Kontrast		1	0,038461538	4,700439718	0,180786143	0,180786143	1,434543161	0	
Farbe Fa		Kontrast	Quantität-Null-Kontrast		0	0	0	0	0	0	
			Bunt-Unbunt-Null-Kontrast		0	0	0	0	0	0	
	Hell-Dunkel-Null-Kontrast		1	0,038461538	4,700439718	0,180786143	0,180786143	1,434543161	0		
	Komplementär-Null-Kontrast		1	0,038461538	4,700439718	0,180786143	0,180786143	1,434543161	0		
				26	1	-	3,276610872	85,19188266	13,73504482	0,284095592	

Tab. A2.3: Die Berechnungstabellen des Informationsgehalts und Auffälligkeitsmaßes für die Objektgestalt „Dreieck“ (Fortsetzung)

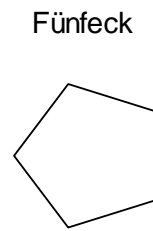
Berechnung der Informationsgehalts bei der Untersuchung_seriell

Anzahl	relative Häufigkeit	Informationsmaß	relatives Informationsmaß	Informationsgehalt		
x_i	$p_i(x_i) = x_i / x_{ges}$	$I_i(x_i) = - \log p_i(x_i)$	$H_i(x_i) = p_i(x_i) \cdot I_i(p_i(x_i))$	$I_i(x_i) = x_i \cdot H_i(x_i)$		
3	0,157894737	2,662965013	0,42046816	1,26140448		
3	0,157894737	2,662965013	0,42046816	1,26140448		
0	0	0	0	0		
0	0	0	0	0		
1	0,052631579	4,247927513	0,223575132	0,223575132	Überraschungsmaß	Auffälligkeitswert
-	-	0	-	-	$\dot{U}_i = I_i / H_{ges}$	$A_i = H_i / H_{ges}$
1	0,052631579	4,247927513	0,223575132	0,223575132	1,201035782	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
2	0,105263158	3,247927513	0,341887107	0,683774213	0,918301254	0,09666329
1	0,052631579	4,247927513	0,223575132	0,223575132	1,201035782	0
0	0	0	0	0	0	0
1	0,052631579	4,247927513	0,223575132	0,223575132	1,201035782	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
2	0,105263158	3,247927513	0,341887107	0,683774213	0,918301254	0,09666329
1	0,052631579	4,247927513	0,223575132	0,223575132	1,201035782	0,06321241
1	0,052631579	4,247927513	0,223575132	0,223575132	1,201035782	0,06321241
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
1	0,052631579	4,247927513	0,223575132	0,223575132	1,201035782	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
1	0,052631579	4,247927513	0,223575132	0,223575132	1,201035782	0
1	0,052631579	4,247927513	0,223575132	0,223575132	1,201035782	0
19	1	-	3,536886724	67,20084775	11,44488877	0,319751399




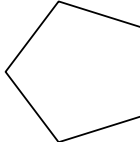
Tab. A2.3: Die Berechnungstabellen des Informationsgehalts und Auffälligkeitsmaßes für die Objektgestalt „Dreieck“ (Fortsetzung)

				Berechnung der Informationsgehalts eines Einzelement					
				Anzahl	relative Häufigkeit	Informationsmaß	relatives Informationsmaß	Informationsgehalt	
				x_i	$p_i(x_i) = x_i / x_{ges}$	$I_i(x_i) = -\log p_i(x_i)$	$H_i(x_i) = p_i(x_i) \cdot I_i(x_i)$	$I_i(x_i) = x_i \cdot H_i(x_i)$	
Einteilung in Elementarten entsprechend der untersuchten Formen									
Form Fo	Ecke („Knoten“)			5	0,25	2	0,5	2,5	
	Linie / Kante	geradlinige	a = b	5	0,25	2	0,5	2,5	
			a ≠ b	0	0	0	0	0	
		konvex / konkav / freigeformt			0	0	0	0	0
Farbe Fa	einfarbige/farbige Flächen	schwarz / weiß		1	0,05	4,321928095	0,216096405	0,216096405	
Einteilung in Ordnungsarten entsprechend der untersuchten Formen				-	-	-	-	-	
Form Fo	Achsensymmetrie	horizontal (x-Achse)		0	0	0	0	0	
		vertikal (y-Achse)		1	0,05	4,321928095	0,216096405	0,216096405	
		diagonal (xy-Ebene)		1	0,05	4,321928095	0,216096405	0,216096405	
	Rotationssymmetrie	um die z-Achse		0	0	0	0	0	
	Punktsymmetrie	Zentralsymmetrie		0	0	0	0	0	
		Zentrierung / Streckung		0	0	0	0	0	
	Proportionen / Dimensionen	1:1, 1:2, Ø, Länge, Breite		1	0,05	4,321928095	0,216096405	0,216096405	
	Relative Lage der Einzelement	horizontal (x-Achse)		0	0	0	0	0	
		vertikal (y-Achse)		1	0,05	4,321928095	0,216096405	0,216096405	
		im Raum (xy-Ebene)		1	0,05	4,321928095	0,216096405	0,216096405	
	Parallelitäten	horizontal (x-Achse)		0	0	0	0	0	
		vertikal (y-Achse)		0	0	0	0	0	
		diagonal (xy-Ebene)		0	0	0	0	0	
	Winkligkeit	0° / 45° / 90° / 180°		1	0,05	4,321928095	0,216096405	0,216096405	
	Bündigkeit	horizontal Bündigkeit-Null-Kontrast		0	0	0	0	0	
		vertikal Bündigkeit-Null-Kontrast		0	0	0	0	0	
		diagonal Bündigkeit-Null-Kontrast		0	0	0	0	0	
	Stetigkeit	Stetigkeit-Null-Kontrast		1	0,05	4,321928095	0,216096405	0,216096405	
	Farbe Fa	Kontrast	Quantität-Null-Kontrast		0	0	0	0	0
			Bunt-Unbunt-Null-Kontrast		0	0	0	0	0
Hell-Dunkel-Null-Kontrast			1	0,05	4,321928095	0,216096405	0,216096405		
Komplementär-Null-Kontrast			1	0,05	4,321928095	0,216096405	0,216096405		
				20	1	-	3,160964047	63,21928095 Informationsgehalt	

Tab. A2.4: Die Berechnungstabellen des Informationsgehalts und Auffälligkeitsmaßes für die Objektgestalt „Fünfeck“



Berechnung der Informationsgehalts bei der Untersuchung_parallel

Einteilung in Elementarten entsprechend der untersuchten Formen				Anzahl	relative Häufigkeit	Informationsmaß	relatives Informationsmaß	Informationsgehalt		
				x_i	$p_i(x_i) = x_i / x_{ges}$	$I_i(x_i) = - \log p_i(x_i)$	$H_i(x_i) = p_i(x_i) \cdot I_i(x_i)$	$I_i(x_i) = x_i \cdot H_i(x_i)$		
Form Fo	Ecke („Knoten“)			10	0,277777778	1,847996907	0,513332474	5,13332474		
	Linie / Kante	geradlinige	a = b	10	0,277777778	1,847996907	0,513332474	5,13332474		
			a ≠ b	0	0	0	0	0		
		konvex / konkav / freigeformt			0	0	0	0	0	
Farbe Fa	einfarbige/farbige Flächen	schwarz / weiß		2	0,055555556	4,169925001	0,2316625	0,463325	Überraschungsmaß	Auffälligkeitswert
Einteilung in Ordnungsarten entsprechend der untersuchten Formen				-	-	-	-	-	$\dot{U}_i = I_i / H_{ges}$	$A_i = H_i / H_{ges}$
Fünfeck 	Achsensymmetrie	horizontal (x-Achse)		1	0,027777778	5,169925001	0,143609028	0,143609028	1,788401208	0
		vertikal (y-Achse)		1	0,027777778	5,169925001	0,143609028	0,143609028	1,788401208	0
		diagonal (xy-Ebene)		0	0	0	0	0	0	0
	Rotationssymmetrie	um die z-Achse		0	0	0	0	0	0	0
	Punktsymmetrie	Zentralsymmetrie		0	0	0	0	0	0	0
		Zentrierung / Streckung		0	0	0	0	0	0	0
	Proportionen / Dimensionen	1:1, 1:2, Ø, Länge, Breite		2	0,055555556	4,169925001	0,2316625	0,463325	1,442477194	0,080137622
	Relative Lage der Einzelement	horizontal (x-Achse)		0	0	0	0	0	0	0
		vertikal (y-Achse)		0	0	0	0	0	0	0
		im Raum (xy-Ebene)		1	0,027777778	5,169925001	0,143609028	0,143609028	1,788401208	0
	Parallelitäten	horizontal (x-Achse)		0	0	0	0	0	0	0
		vertikal (y-Achse)		0	0	0	0	0	0	0
		diagonal (xy-Ebene)		5	0,138888889	2,847996907	0,395555126	1,97777563	0,985190522	0,136832017
	Winkligkeit	0° / 45° / 90° / 180°		1	0,027777778	5,169925001	0,143609028	0,143609028	1,788401208	0,049677811
	Bündigkeit	horizontal Bündigkeit-Null-Kontrast		0	0	0	0	0	0	0
		vertikal Bündigkeit-Null-Kontrast		0	0	0	0	0	0	0
		diagonal Bündigkeit-Null-Kontrast		0	0	0	0	0	0	0
	Stetigkeit	Stetigkeit-Null-Kontrast		1	0,027777778	5,169925001	0,143609028	0,143609028	1,788401208	0
	Farbe Fa	Kontrast	Quantität-Null-Kontrast		0	0	0	0	0	0
			Bunt-Unbunt-Null-Kontrast		0	0	0	0	0	0
Hell-Dunkel-Null-Kontrast			1	0,027777778	5,169925001	0,143609028	0,143609028	1,788401208		
Komplementär-Null-Kontrast			1	0,027777778	5,169925001	0,143609028	0,143609028	1,788401208		
				36	1	-	2,890808269	104,0690977	14,94647618	0,26664745

Tab. A2.4: Die Berechnungstabellen des Informationsgehalts und Auffälligkeitsmaßes für die Objektgestalt „Fünfeck (Fortsetzung)

Berechnung der Informationsgehalts bei der Untersuchung seriell

Anzahl x_i	relative Häufigkeit $p_i(x_i) = x_i / x_{ges}$	Informationsmaß $I_i(x_i) = -\text{ld } p_i(x_i)$	relatives Informationsmaß $H_i(x_i) = p_i(x_i) I_i(x_i)$	Informationsgehalt $I_j(x_i) = x_i H_i(x_i)$		
5	0,2	2,321928095	0,464385619	2,321928095		
5	0,2	2,321928095	0,464385619	2,321928095		
0	0	0	0	0		
0	0	0	0	0		
1	0,04	4,64385619	0,185754248	0,185754248	Überraschungsmaß	Auffälligkeitswert
-	-	-	-	-	$\ddot{U}_i = I_i / H_{ges}$	$A_i = H_i / H_{ges}$
0	0	0	0	0	0	0
1	0,04	4,64385619	0,185754248	0,185754248	1,464615753	0
1	0,04	4,64385619	0,185754248	0,185754248	1,464615753	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
2	0,08	3,64385619	0,291508495	0,58301699	1,149227917	0,091938233
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
1	0,04	4,64385619	0,185754248	0,185754248	1,464615753	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
5	0,2	2,321928095	0,464385619	2,321928095	0,732307876	0,146461575
1	0,04	4,64385619	0,185754248	0,185754248	1,464615753	0,05858463
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
1	0,04	4,64385619	0,185754248	0,185754248	1,464615753	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
1	0,04	4,64385619	0,185754248	0,185754248	1,464615753	0
1	0,04	4,64385619	0,185754248	0,185754248	1,464615753	0
25	1	-	3,170699333	79,26748332	12,13384606	0,296984439

Tab. A2.4: Die Berechnungstabellen des Informationsgehalts und Auffälligkeitsmaßes für die Objektgestalt „Fünfeck (Fortsetzung)

Lebenslauf

Persönliche Angaben:

Name: Antonio Botta
Geburtsdatum: 15.11.1982
Geburtsort: Potenza (Italien)
Staatsangehörigkeit: italienisch

Ausbildung:

10/2002 – 10/2008 Diplomstudium der Fahrzeug- und Motorentechnik an der Universität Stuttgart, Hauptfächer: Konstruktionstechnik, Kraftfahrzeuge
Abschluss: Diplomingenieur
09/1993 – 06/2002 Württemberg-Gymnasium, Stuttgart-Untertürkheim
Abschluss: Allgemeine Hochschulreife

Studienbegleitende Tätigkeiten:

03/2008 – 10/2008 Diplomand bei der Daimler AG im Bereich Ergonomie-Absicherung, Sindelfingen
04/2007 – 09/2007 Praktikant bei der Daimler AG im Bereich Bedien- und Anzeigekomponenten, Sindelfingen
10/2006 – 04/2007 Studentische Hilfskraft am IKTD der Universität Stuttgart im Bereich Technisches Design
02/2005 – 09/2006 Werkstudent bei der Robert Bosch GmbH, Stuttgart-Feuerbach

Beruflicher Werdegang:

05/2009 – 05/2015 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Konstruktionstechnik und Technisches Design (IKTD), Forschungs- und Lehrgebiet Technisches Design, Universität Stuttgart
seit 02/2016 Entwicklungsingenieur bei der Tacho GmbH im Auftrag der Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG

ISBN: 978-3-922823-93-3