



Institut für Konstruktionstechnik
und Technisches Design
Universität Stuttgart

Forschungs- und Lehrgebiet
Technisches Design
Prof. Dr.-Ing. T. Maier

Marcus Jenke

**Gestaltungsempfehlung nutzergerechter
Bedienschnittstellen zur Steuerung
virtueller Interfaces durch Blickgesten**

Bericht Nr. 695

Gestaltungsempfehlung nutzergerechter Bedienschnittstellen zur Steuerung virtueller Interfaces durch Blickgesten

Von der Fakultät Konstruktions-, Produktions- und Fahrzeugtechnik der
Universität Stuttgart

zur Erlangung der Würde eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)

genehmigte Abhandlung

vorgelegt von

Marcus Jenke, M.Sc.

geboren in Dresden

Hauptberichter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Thomas Maier

Mitberichter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. Dr. h. c. Dieter Spath

Tag der mündlichen Prüfung: 05.08.2021

Institut für Konstruktionstechnik und Technisches Design

Forschungs- und Lehrgebiet Technisches Design

Universität Stuttgart

D 93

ISBN-13: 978-3-946924-12-8

Institut für Konstruktionstechnik und Technisches Design

Forschungs- und Lehrgebiet Technisches Design

Univ. 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

Vorwort

Diese Arbeit entstand während meiner Tätigkeit am Institut für Konstruktionstechnik und Technisches Design (IKTD) der Universität Stuttgart.

Ich danke meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr.-Ing. Thomas Maier für das Vertrauen, den wissenschaftlichen Freiraum und die Möglichkeit zur Promotion. Zudem danke ich Herrn Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. Dr. h. c. Dieter Spath für das Interesse an meiner Arbeit und die Übernahme des Mitberichts.

Für die fachlichen Diskussionen, den Zusammenhalt und die stetige Hilfsbereitschaft bedanke ich mich bei allen ehemaligen Kolleginnen und Kollegen des Instituts, insbesondere bei Herrn Dr.-Ing. Benedikt Janny und Herrn Dr.-Ing. Matti Schwalk, deren Input meinen Horizont erweiterte und die Arbeit stets bereicherte. Ein besonderer Dank gilt auch meinem Gruppenleiter im Bereich des Interface Designs Dr.-Ing. Markus Schmid für seinen besonderen Blickwinkel und die gesamtheitliche Einordnung.

Einen wesentlichen Beitrag zu dieser Arbeit leisteten zudem die vielen wissenschaftlichen Hilfskräfte, Studien-, Bachelor-, Master- und Diplomarbeiter/innen, welche mir bei der Versuchsdurchführung, dem Versuchsprüfstand und dem Prototypenbau zur Seite standen.

An dieser Stelle sei allen Probandinnen und Probanden für die Teilnahme an den experimentellen Studien gedankt, die mir die Erhebung wertvoller Daten und die Ableitung spannender Ergebnisse ermöglichten.

Besonderer Dank gilt meinen Eltern, die mich in allen Lebenslagen immer unterstützten und mir diesen Weg ermöglichten. Ich danke meiner Schwester für ihren Rückhalt und meinen Großeltern für ihre bedingungslose Zuversicht und die vorgelebte Tugendhaftigkeit. Der letzte Dank gilt euch Sabrina und Emilio, ihr die mich immer wieder motivieren über mein Bestes hinaus zu wachsen und so meiner Existenz einen Sinn gebt.

Stuttgart, August 2021

Marcus Jenke

*Meinen Eltern,
Isabell,
Sabrina und Emilio*

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|------------|
| Bezeichnungen, Abkürzungen und Formelzeichen..... | V |
| Abstract..... | XIV |
| 1 Motivation und Forschungsziel..... | 1 |
| 1.1 Spannungsfeld der Blicksteuerung als Interaktionsmethode | 2 |
| 1.2 Ziele und Abgrenzung der Arbeit | 4 |
| 1.3 Struktur der Arbeit..... | 5 |
| 2 Grundlagen blickgesteuerter Systeme | 7 |
| 2.1 Visuelle Wahrnehmung und Informationsverarbeitungsprozess | 7 |
| 2.1.1 Visueller Sehapparat | 8 |
| 2.1.2 Grundlagen visueller Aufmerksamkeit..... | 10 |
| 2.1.3 Bestandteile des Sehens..... | 12 |
| 2.1.4 Leistung und Grenzen der Wahrnehmung | 14 |
| 2.1.5 Kognitive Informationsverarbeitung | 16 |
| 2.2 Interfacegestaltung | 19 |
| 2.2.1 Blickbasierte Mensch-Technik-Interaktion..... | 19 |
| 2.2.2 Gestaltungsempfehlung grafischer Nutzerschnittstellen..... | 20 |
| 2.2.3 Elemente von grafischen Nutzerschnittstellen..... | 24 |
| 2.3 Gesten zur Interaktion mit technischen Systemen | 29 |
| 2.3.1 Grundprinzip von Gesten | 29 |
| 2.3.2 Interaktionsgesten für direkte Nutzerschnittstellen | 31 |
| 3 Stand der Forschung und Technik in der Blicksteuerung..... | 34 |
| 3.1 Eye-Tracking-Methoden und Technologien | 35 |
| 3.1.1 Grundlagen der Blicherfassung | 35 |
| 3.1.2 Zeitgenössische apparative Aufbauten | 37 |
| 3.1.3 Blickdatenanalyse und deren Visualisierung | 40 |
| 3.2 Experimentelle Studien zu Blicksteuerungsmethoden | 42 |
| 3.2.1 Studien zur Beschreibung des Blickverhaltens und deren abgeleitete Auswirkungen auf die Schnittstellengestaltung | 43 |
| 3.2.2 Eye-Pointing..... | 47 |
| 3.2.3 Dwell-Time | 48 |
| 3.2.4 Smooth Pursuits..... | 50 |
| 3.2.5 Blickgesten | 51 |
| 3.2.6 Gegenüberstellung der Blickinteraktionsarten | 57 |
| 3.3 Zwischenfazit und Feststellung des Forschungsbedarfs..... | 59 |
| 4 Methode zur Parametrisierung der Blickgesteninteraktion | 62 |
| 4.1 Anforderungsdefinition der Nutzerschnittstelle..... | 62 |
| 4.2 Zusammenfassung der Anforderungen..... | 71 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 4.3 | Ausgestaltung des funktionalen Interfacekonzepts | 75 |
| 4.3.1 | Konzeption der Blickgestenbedienung | 76 |
| 4.3.2 | Konzeption des Menüs zur Blickgestenbedienung | 81 |
| 4.3.3 | Entwicklung des situativen visuellen Anzeigers..... | 82 |
| 4.3.4 | Entwicklung des computergestützten Blickgestendetektionsverfahrens | 87 |
| 5 | Experimentelle Validierung der Blickgestenunterstützung | 92 |
| 5.1 | Planung des Experiments | 92 |
| 5.1.1 | Verfahren zur Evaluation des situativ visuellen Anzeigers..... | 92 |
| 5.1.2 | Forschungshypothesen | 94 |
| 5.1.3 | Metrikauswahl und Operationalisierung der Forschungshypothesen | 96 |
| 5.1.4 | Spezifikation des Nutzungskontextes | 102 |
| 5.1.5 | Spezifikation der Interfacegestalt..... | 105 |
| 5.2 | Experimentdurchführung..... | 116 |
| 5.2.1 | Voruntersuchung und Versuchseinweisung..... | 116 |
| 5.2.2 | Hauptteil des Experiments..... | 119 |
| 5.3 | Ergebnisse des Experiments..... | 122 |
| 5.3.1 | Statistische Methoden | 123 |
| 5.3.2 | Das Versuchspersonenkollektiv..... | 126 |
| 5.3.3 | Vortests und Vorerfahrungen..... | 128 |
| 5.3.4 | Untersuchung des situativ visuellen Anzeigers zur Unterstützung | 129 |
| 5.3.5 | Diskrepanz zwischen subjektivem Empfinden und objektiver Messung..... | 158 |
| 5.3.6 | Einfluss von Interfaceaufbau und Blickgesten | 161 |
| 5.3.7 | Berücksichtigung der individuellen Merkmale..... | 168 |
| 5.4 | Ergebnisbewertung und Gestaltungsempfehlung..... | 173 |
| 5.5 | Hypothesenüberprüfung..... | 184 |
| 6 | Zusammenfassung | 187 |
| 7 | Ausblick..... | 189 |
| | Literaturverzeichnis..... | 192 |
| | Anhang | 209 |
| | Lebenslauf | 235 |

Bezeichnungen, Abkürzungen und Formelzeichen

Glossar

| Begriff | Beschreibung | Quelle / Hinweis |
|---------------------------------------|---|---|
| Analyse | Analytische Bewertung von Artefakten durch einen oder mehrere Experten | vgl. Kapitel 3 |
| Anzeiger (Anzeige- einrichtung) | Einrichtung zur Darstellung von sich ändernden Informationen mit der Aufgabe, diese sichtbar, hörbar, fühlbar oder unterscheidbar anzugeben | vgl. Kapitel 2.2.1; [DIN EN 894-2: 2009] |
| Arbeitsaufgabe | Tätigkeit, die erforderlich ist, um das beabsichtigte Ergebnis des Arbeitssystems zu erreichen | vgl. Kapitel 4.1; [DIN EN 894-2: 2009] |
| Augmented Reality | Darstellung, welche die reale Welt um virtuelle Aspekte im Wahrnehmungsspektrum des Nutzers computergestützt erweitert (übers. erweiterte Realität) | vgl. Kapitel 7 |
| Auswählen (Selektieren) | Vorgang, bei dem ein oder mehrere Objekte aus einer visuell dargestellten Menge von Objekten ausgewählt werden | vgl. Kapitel 3.2.2 ff.; [DIN EN ISO 9241- 16: 2000] |
| Beanspruchung | Subjektiv empfundener Zustand, der durch externe Belastungen ausgelöst wird und von individuellen Eigenschaften und individueller Leistungsfähigkeit abhängt | vgl. Kapitel 5.1.3 |
| Bedien- charakteristik | Teilmenge der Gestaltung, welche die Bedienelementhandhabung betrifft und die Gestaltungsdimensionen Position, Bedienung, Interaktion, Anordnung umfasst | vgl. Kapitel 4.1; [vgl. SCHLICK ET AL. 2010, S. 39, 41] |
| Bedienelement | Analog-physikalischer Befehlsgeber oder digital-graphische Darstellung eines solchen, die dem Benutzer ermöglicht, Daten anderer Objekte oder deren Attribute zu manipulieren | vgl. Kapitel 2.2.2 |
| Bedienen | i. S. v. regulieren, führen, steuern, betätigen | vgl. Kapitel 5.1.4 |
| Belastung | Objektiv messbare Einflüsse, welche äußerlich auf den Menschen einwirken (z. B. physikalische Belastungen von Kräften oder psychosoziale Belastungen wie Zeitdruck) | vgl. Kapitel 5.1.3; [vgl. SCHLICK ET AL. 2010, S. 39, 41] |
| Beschreibung | Qualitative, i. S. v. wertefreie Darstellung des Sachverhalts | vgl. Kapitel 5.1.3 |

| Begriff | Beschreibung | Quelle / Hinweis |
|--------------|---|--|
| Bewertung | Zuweisung von Werten zu bestimmten Sachverhalten | vgl. Kapitel 5 |
| Blickpunkt | Punkt im Raum, auf den die Augenachsen gerichtet sind | vgl. Kapitel 3.2.1; [DIN EN ISO 9241-302: 2009] |
| Button | Interaktive Fläche im Interface zum Auslösen einer Aktion, ggf. auch kombiniert mit einer Statusanzeige als sog. Toggle Button | vgl. Kapitel 3.2.3; vgl. Kapitel 3.2.5 |
| Diskret | Im Gegensatz zu kontinuierlich, im Sinne der Anzeige- und Bedienmöglichkeit als eindeutige Informationsübertragung bzw. -änderung zwischen zwei Zuständen zu verstehen | [DIN EN 894-2: 2009] |
| Dorsal | Vom Rücken her, i. S. v. rückenwärts | vgl. Kapitel 5.1.5 |
| Effektivität | Genauigkeit und Vollständigkeit, mit der Benutzer bestimmte Ziele erreichen | vgl. Kapitel 5.1.5; [DIN EN ISO 9241-11: 2018] |
| Effizienz | Im Verhältnis zur Genauigkeit und Vollständigkeit eingesetzter Aufwand, mit dem Benutzer bestimmte Ziele erreichen | vgl. Kapitel 5.1.5; [DIN EN ISO 9241-11: 2018] |
| Ergonomie | Wissenschaftliche Disziplin über das Verständnis von Interaktionen zwischen Menschen und anderen Elementen eines Systems, die unter dem Gesichtspunkt des menschlichen Wohls und Systemleistung sowie durch Verwendung von Theorie, Prinzipien, Daten und Methoden zur Gestaltung dient, auch Human Factors genannt | vgl. Kapitel 4; vgl. Kapitel 5; [IEA 2019] |
| Evaluation | Praktische Überprüfung, empirische Bewertung und Auswahl von Funktionsprototypen auf Basis realer Nutzungsszenarien und Kriterien | vgl. Kapitel 5 |
| Experiment | Forschungsstrategie zur Untersuchung des Einflusses auf abhängige Variablen durch systematische Variation unabhängiger Variablen bei Konstanthaltung bzw. Kontrolle übriger Variablen | vgl. Kapitel 4; vgl. Kapitel 5.1.1 |
| Feedback | i. S. v. Rückmeldung des technischen Systems durch Bereitstellung von Informationen an den Sender | vgl. Kapitel 3.2.2; vgl. Kapitel 3.2.3; vgl. Kapitel 3.2.5 |
| Fixieren | Ausrichten der Augen, sodass das Bild des fixierten Reizes auf die Netzhaut fällt | vgl. Kapitel 2.1.3; [DIN EN ISO 9241-302: 2009] |

| Begriff | Beschreibung | Quelle / Hinweis |
|------------------------|---|--|
| Formal | i. S. v. formal-ergonomisch, das Gefallen betreffend | vgl. Kapitel 5.1.1 |
| Funktional | i. S. v. funktional-ergonomisch, die Ergonomie betreffend | vgl. Kapitel 4.3.2; vgl. Kapitel 5.1.1 |
| Funktionales Interface | Bedienschnittstelle, basierend auf funktional-ergonomischen Kriterien | vgl. Kapitel 4 |
| Gestalt | Gegliederte Gesamtheit eines Produktes (in vorliegender Arbeit eines virtuellen Bedienelementes), die sich in die Teilgestalten Aufbau, Form, Farbe, Grafik unterteilen lässt | vgl. Kapitel 4.1 |
| Handlung | Verhalten, bei dem kognitive Prozesse miteinbezogen werden | vgl. Kapitel 2.1 |
| Heuristik | Systematisches Vorgehen, bei dem mit begrenztem Wissen mit Hilfe vermutender Schlussfolgerungen Aussagen zu einem Sachverhalt getroffen werden | vgl. Kapitel 2.1.5 |
| Icon | Grafik, die einen Inhalt oder eine hinterlegte Funktion symbolisiert | vgl. Kapitel 4.3.1 |
| Innersubjekt-Design | Studiendesign mit Messwiederholung zur Prüfung individueller Veränderung durch eine (gestalterische) Intervention (engl. within-subjects design) | vgl. Kapitel 5.1.1 [vgl. DÖRING & BORTZ 2016, S. 209] |
| Interaktion | Wechselseitige Beeinflussung zweier, voneinander weitgehend unabhängiger Größen oder Funktionseinheiten | vgl. Kapitel 2.2 |
| Interaktionsmodell | Hierarchisches Modell der Mensch-Technik-Interaktion | vgl. Kapitel 4.1.5 |
| Interaktive Elemente | Objekte im virtuellen Interface, i. S. v. aktivierbar über den Blickpunkt | vgl. Kapitel 4.3.2 |
| Interface-Qualität | Modell zur quantitativen Bewertung der Qualität einer Mensch-Technik-Schnittstelle auf Basis operationalisierbarer Kriterien | vgl. Kapitel 5.1.1 [vgl. Janny 2018] |
| Item | Aufgaben und Fragen, welche zu einem bestimmten, zu messenden Merkmal zugeordnet sind und einen Wert liefern | vgl. Kapitel 5.1.3 |
| Kontext | Kontext der Nutzung (örtliche und situative Begebenheiten) | vgl. Kapitel 2 |

| Begriff | Beschreibung | Quelle / Hinweis |
|--------------------------------------|--|--|
| Kognition | Gesamtheit der geistigen Aktivität | vgl. Kapitel 2.1.5 |
| Lateral | Von der Körpermitte abgewandt, i. S. v. seitlich | vgl. Kapitel 5.1.5 |
| Mensch- Technik- Schnittstelle | Komponenten eines Arbeitssystems zur funktionellen Interaktion zwischen dem Menschen und einem technischen System | vgl. Kapitel 2.2.2 |
| Messung | Objektive, gerätebasierte Datenerhebung, bei der die Ausprägung eines Merkmals in quantitativer Form erfasst wird | vgl. Kapitel 5.1 |
| Methode | Planmäßiges Vorgehen zur Erreichung eines Ziels | vgl. Kapitel 4 |
| Methodik | In der Art des Vorgehens festgelegte Arbeitsweise | vgl. Kapitel 3.1.1 |
| Metrik | Funktion, welche eine Eigenschaft der Mensch-Technik-Interaktion in einem Zahlenwert abbildet | vgl. Kapitel 5.1.1 |
| Modalität | Art und Weise einer Sache in Bezug auf vordefinierte Gesichtspunkte | vgl. Kapitel 2.2 |
| Monomodal | Einzige Interaktionsmodalität / Interaktionsart | vgl. Kapitel 2.2.1 |
| Nutzungs- kontext | Benutzer, Arbeitsaufgabe, Arbeitsmittel (Hardware, Software und Materialien) sowie die physische und soziale Umgebung, in der das Produkt genutzt wird | vgl. Kapitel 2.2; [DIN EN ISO 9241-302: 2009] |
| Priming-Effekt | Psychologischer Effekt, welcher durch einen Eingangsreiz bestimmte Assoziationen und Reaktionen zur Folge hat | vgl. Kapitel 5.2.1 |
| Qualität | Beschaffenheit, Gesamteindruck aus Teilqualitäten bzw. Grad, in dem ein Satz inhärenter Merkmale eine Anforderung erfüllt | vgl. Kapitel 5.1.1 |
| Sample | Stichprobe eines Datensatzes | vgl. Kapitel 4.3.4 |
| Scanpath | Zeitlicher Ablauf von Augenbewegungen im Raum, primär bestehend aus Fixierungen (Rast) und Sakkaden (Bewegung), (übers. Blickpfad) | vgl. Kapitel 3.1.3 |
| Screen | Spezifischer Menüaufbau i. S. v. einem grafischen Interface zur Bereitstellung der Funktionen und Informationen | vgl. Kapitel 2.2.2 |

| Begriff | Beschreibung | Quelle / Hinweis |
|------------------------------|---|---|
| Skala | Art, in der eine Ausprägung eines Merkmals erfasst wird | vgl. Kapitel 5.1.3 |
| Software Developer Kit | Sammlung von Programmierwerkzeugen und Programmierbibliotheken zur Entwicklung von Software | vgl. Kapitel 4.3.4 |
| Stellteil | Physisches oder virtuelles Interfaceelement, über welches der Nutzer Veränderungen an einem System bewirken kann | vgl. Kapitel 2.2 [vgl. DIN EN 894-3:2010, S.5] |
| Stimulus | Reiz zur Aktivierung des menschlichen Verhaltens | vgl. Kapitel 2.1.2 |
| Taxonomie | Einheitliches Verfahren oder Modell zur Klassifizierung von Objekten unter bestimmten Kriterien | vgl. Kapitel 3.2.1 |
| Torsional / Zyklorotatorisch | Drehung des Auges um die Achse | vgl. Kapitel 2.1.1 |
| Usability | Ausmaß, in dem ein technisches System durch bestimmte Benutzer in einem bestimmten Nutzungskontext genutzt werden kann, um bestimmte Ziele effektiv, effizient und zufriedenstellend zu erreichen; auch Gebrauchstauglichkeit genannt | vgl. Kapitel 2.2.2 [ISO 9241-110: 2020] |
| User Experience | Nutzungserfahrung oder Nutzungserlebnis, das Erfahrungen sowie Empfindungen und Gefühle einer Person bzgl. eines Produktes widerspiegelt | vgl. Kapitel 2.2.2 |
| Virtuelle Realität | Computergenerierte, interaktive Umgebung, welche vollständig oder teilweise das Wahrnehmungsspektrum des Nutzers einnimmt (engl. Virtual Reality) | vgl. Kapitel 7 |
| Wirkteil | Teil der Interfacegestalt, welcher durch Nutzereingaben zu Änderung des Systemzustand hinwirkt | [SCHMID & MAIER 2017, S. 73] |

Abkürzungen

| Abkürzung | Beschreibung |
|----------------|--|
| 3D | Test zum räumlichen Vorstellungsvermögen (Wiener Testsystem) |
| A _E | Elementanzahl |
| A _i | Anzeiger (Interfaceelement) |
| A _o | Ordnungszahl |

| Abkürzung | Beschreibung |
|---------------------------------|---|
| AG | Arbeitsgedächtnis |
| ANOVA | Analysis of Variance (statistisches Verfahren, übers. Varianzanalyse) |
| AOI | Area of Intrest (übers. Interessensbereich) |
| AR | Augmented Reality |
| A _s | Sakkadenamplitude |
| A _i S _i W | Anzeige-Stellteil-Wirkteil |
| A _U | Situativ visueller Anzeiger zur Unterstützung |
| AV | Abhängige Variable |
| B | Benachrichtungsfenster (Intefaceelement) |
| B _x | Breite (Unterstützungsparameter der Blickgeste) |
| BG | Blickgeste |
| BS | Bedienschritt |
| BZ | Bewegungszeit |
| CAD | Computer-Aided Design (übers. rechnerunterstütztes Konstruieren) |
| d _{iE} | Interaktive Elementgröße |
| d _N | Scharfsehbereich |
| D _P | Dynamisch (Unterstützungsparameter der Blickgeste) |
| d _s | Sehabstand |
| D _s | Sakkadendauer |
| E | Elemente (Interface) |
| E _L | Elementarten |
| ETDRS | Early Treatment Diabetic Retinopathy Study (Sehtest) |
| F | Ausführungsfehler (Blickinteraktion) |
| Fa. | Firma |
| FP | Fix-Points (Unterstützungspunkte bei der Blickinteraktion) |
| G | Gruppe (Evaluation) |
| G _A | Gesamt (Unterstützungsparameter der Blickgeste) |
| G _{BS} | Gruppe nach Bedienschritt sortiert (Evaluation) |
| GOMS | Goals, Operators, Methods, Selection rules (Metriken der Evaluation) |
| GUI | Graphical User Interface (übers. grafische Nutzerschnittstelle) |
| G _x | Größe (Kombination aus Unterstützungsparameter Länge und Breite) |
| H | Helligkeit (Unterstützungsparameter der Blickgeste) |
| H _{0x} | Nullhypothese |

| Abkürzung | Beschreibung |
|-----------|--|
| H_{1x} | Alternativhypothese |
| HCI | Human Computer Interaction (übers. Mensch-Computer-Interaktion) |
| HEAT | Hits, Errors, Accuracy, Time (Metriken der Evaluation) |
| IDE | Integrated Development Environment (übers. integrierte Entwicklungsumgebung) |
| iE | Interaktives Element |
| IG | Interfacegestalt |
| IQR | Interquartilsabstand |
| IV | Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit |
| K | Korrelation |
| KSS | Karolinska Schläfrigkeitsskala |
| L_A | Letztes Segment (Unterstützungsparameter der Blickgeste) |
| l_{iE} | Minimaler Blickwinkel zwischen zwei interaktiven Elementen |
| L_x | Länge (Unterstützungsparameter der Blickgeste) |
| LED | Licht emittierende Diode |
| LG | Langzeitgedächtnis |
| LKW | Lastkraftwagen |
| M | Ästhetisches Maß nach Birkhoff |
| M_L | Lokales Ordnungsmaß |
| MTI | Mensch-Technik-Interaktion |
| n | Objektanzahl |
| NUI | Natural User Interface (übers. natürliche Nutzerschnittstelle) |
| O_L | Ordnungsarten |
| p_i | Paralleler Informationsverarbeitungsprozess |
| P | Proportion |
| P_A | Auslösewahrscheinlichkeit (Blickinteraktion) |
| PG | Produktgestalt |
| R | Rastpunkt (Unterstützungsparameter der Blickgeste) |
| R_A | Erkennungsrate (Blickgestendetektion) |
| R_T | Ruhezeit (in einer Blickgeste) |
| RT | Reaktionstest (Wiener Testsystem) |
| RV | Reizvariation (Stimulus im Experiment) |
| RZ | Entscheidungsfindung (Größe im Gitt'schen Gesetz) |

| Abkürzung | Beschreibung |
|------------------|--|
| S _i | Serieller Informationsverarbeitungsprozess |
| S | Sakkadenstrecke (Unterstützungsparameter der Blickgeste) |
| S _i | Stellteil (Interfaceelement) |
| S _x | Segment (Blickgeste) |
| S _A | Schrittweise (Unterstützungsparameter der Blickgeste) |
| SDK | Software Development Kit (Softwareentwicklungssystem) |
| SF | Sicherheitsfaktor (sensorische Genauigkeit) |
| S _{FS} | Sicherheitsfaktor (räumliche Dimension) |
| SG | Sensorisches Gedächtnis |
| S _p | Statisch (Unterstützungsparameter der Blickgeste) |
| S/A _s | Visuelles Bedienelement (Stellteil / Anzeigerfunktion) |
| u | Unterstützbare Segmente (Blickgeste) |
| UX | User Experience (übers. Nutzungserlebnis) |
| V | Verluste (innerhalb der Kognition) |
| VL | Versuchsleiter |
| VP | Versuchsperson |
| VR | Virtual Reality |
| W | Wirkteil (Interfaceelement) |
| WTS | Wiener Testsystem |
| x _s | Segmentlänge |
| Zoll | Längenmaßeinheit |
| ZSF | Zwischensubjektfaktor |

Formelzeichen

| Symbol | Einheit | Größe / Erläuterung |
|-----------------------|---------|--|
| <i>d</i> | - | Effektstärke nach Cohen´s <i>d</i> (Statistik) |
| <i>d</i> _I | mm | Durchmesser interaktives Element |
| <i>d</i> _N | mm | Durchmesser Scharfsehbereich |
| <i>d</i> _s | mm | Durchmesser sensorische Ungenauigkeit |
| <i>D</i> _s | s | Sakakdendauer |
| <i>E</i> _v | Lux | Beleuchtungsstärke |
| <i>f</i> | - | Effektniveau |
| <i>f</i> | Hz | Herz (Frequenz) |

| | | |
|----------------|-------------------|---|
| GB | Bytes | Gigabyte (Datenmengen) |
| l | mm | Abstand zwischen Nutzer und sensorischem System |
| L_{iE} | mm | Abstand zwischen interaktiven Elementen |
| L_v | cd/m ² | Leuchtdichte |
| m | - | Million |
| n | - | Stichprobengröße (Statistik), Objektanzahl, Segmentanzahl |
| p | - | Signifikanzwert (Statistik) |
| η_p^2 | - | Partielles Eta-quadrat (Effektstärke, Statistik) |
| Pixel | px | Pixel |
| r | - | Korrelationsmaß (Statistik) |
| t | s | Sekunde, Zeit, Zeitpunkt |
| x_s | - | Minimale Segmentlänge |
| α | - | Signifikanzniveau (Statistik) |
| α_{min} | ° | Sakkadenwinkel |
| β | ° | Blickwinkeländerung (zwischen Segmenten einer Blickgeste) |
| ε | - | Korrekturfaktor des Mauchly-Tests (Statistik) |
| σ | - | Standartabweichung (Statistik) |
| p | - | Wahrscheinlichkeitswert (Statistik) |
| μ | - | Mittelwerte (Statistik) |
| ω | °/s | Winkelgeschwindigkeit |

Hinweise für den Leser

Die Quellenangaben in dieser Arbeit erfolgen innerhalb des fortlaufenden Textes in eckigen Klammern und verweisen auf einen ausführlichen Eintrag im Literaturverzeichnis. Quellenangaben am Ende eines Absatzes beziehen sich auf den gesamten Absatz.

Im Interesse einer besseren Lesbarkeit wird in dieser Arbeit nicht ausdrücklich in geschlechtsspezifische Personenbezeichnungen differenziert. Es soll an dieser Stelle jedoch darauf hingewiesen werden, dass die gewählten sprachlichen Formen stets alle Geschlechter gleichberechtigt einschließen.

Abstract

The approach of exclusively gaze-based interaction with technical systems offers great potential in many fields of application. Due to continuous improvements in eye-tracking technology, this interaction modality is set to expand into application fields other than the originally envisaged assistance systems for physically disabled people. Together with growing trends, a general shift can be observed in the relationship of the corresponding human-technology interaction where either the context of use or the type of user is changing. For example, in consumer sectors, gaze interaction is already involved in gaming and virtual-reality applications. As another example, the trend of autonomous driving changes the constraints of the car interior and interface through new seating positions and user activities. However, there are many other areas that might benefit from gaze-interaction applications, such as robotic surgery, industrial maintenance, and public services.

Chapter 2 provides the theoretical background of this thesis and clarifies the information process of visual cognition, the fundamentals of virtual-interface design, and gesture-interaction principles.

In an attempt to make gaze interaction usable, a large research field has emerged to improve the technology on the one hand (Chapter 3.1) and, on the other, to identify usability constraints and define modality-specific guidelines for interface and interaction design (Chapter 3.2) [cf. MØLLENBACH, 2010]. Nevertheless, gaze interaction also encounters some drawbacks because the eyes' functionality is ultimately intended for the visual perception of information and not the strictly controlled motor system needed for the execution of functions. Therefore, a number of interaction methods have evolved over the years. Alongside dwell time or smooth-pursuit interactions, these include unique gaze gestures. In particular, the characteristics of gaze gestures have the potential to compensate for any drawbacks without noticeably limiting the positive aspects [ISTANCE ET AL. 2010], [DREWES 2010].

Investigations have shown that the cognition process for visual information, which is mandatory for interaction, is not entirely assisted during the interaction process (cf. Figure 1) [KÖPEL ET AL. 2016]. The topic of this paper is therefore the investigation of situational visual guidance during the gaze-gesture execution process by presenting a suitable indicator in cooperation with the visual-control element in the interface (Chapter 3.3).

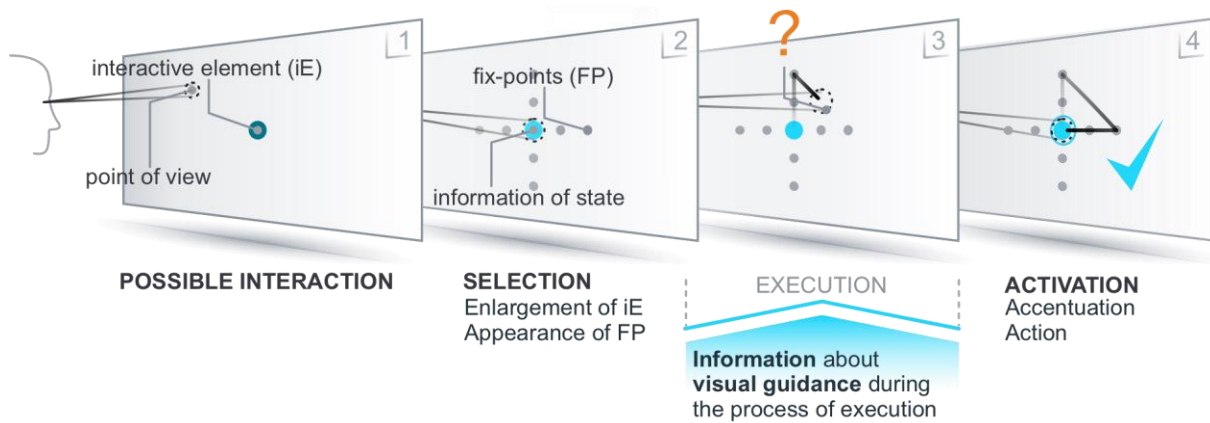


Figure 1: Information presentation during gaze gesture interaction process

Fundamental research into visual cognition revealed the strong effects of external attractions on visual attention and cognition. Evaluation of the potential indicator variants in an application-oriented usage context is thus necessary in order to test its robustness against such interfering stimuli. The survey of common and promising future applications defines menu navigation as a suitable context for use. In the theoretical phase, a methodological approach for designing a functional interface framework is developed (Chapter 4).

This approach is based on a parametric model for visual-control elements in a virtual interface as a derivation of the model for physical interfaces developed by JANNY ET AL. [2017], [cf. JENKE & MAIER 2017]. This model subdivides the design of a visual-control element into multiple design dimensions, which contain relevant design parameters (cf. Figure 2). Based on the parametric model, the operation characteristic is defined during the conceptual phase. The menu navigation therefore needs a gaze-gesture catalog comprising a total of six closed and spatially dependent gaze gestures.

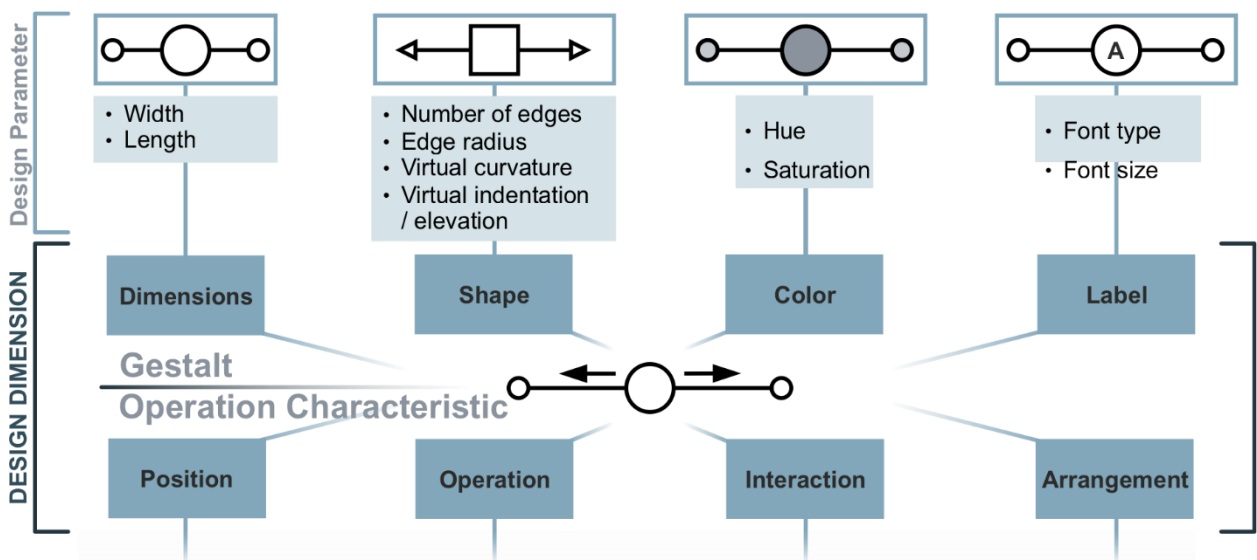


Figure 2: Collocation of the holistic-design categorization of relevant design parameters for gaze-gesture-controlled visual control elements

The designed framework includes the interface structure as well as the design of the visual-control element with regard to the operation characteristics of gaze-gesture interaction (cf. Figure 3).

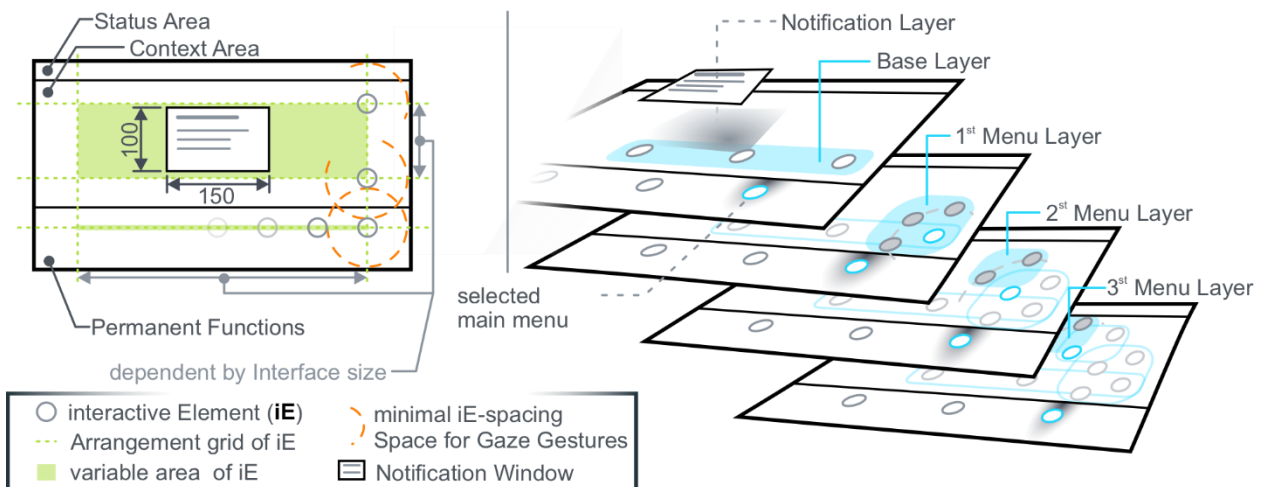


Figure 3: Wireframe of the functional interface (left); layer-dependent logic of control element placement (right)

Both the requirements of the sensor system for interaction and the user's ergonomic constraints in terms of perception and motor function result in a complete parametric-design definition for the central visual-control element that comprises the interactive element and a static grid of fixed points.

The parametric model was also used for the parametrization of the situational visual indicator for visual-gesture guidance. With regard to the potential aspects of the gaze gesture executions, several parameters for providing guidance have been identified, such as the element, procedure, principle, and intensity, whereby intensity was further subdivided into shape (length, width), size, and lightness. Due to the strong general effect on cognition, however, the hue did not form part of the investigation (cf. Figure 4).

This parametrization enables the identification and definition of potentially suitable design-indicator variations for evaluation. Chapter 4.3.4 provides a short insight into the computational gaze-detection algorithm that was developed for the experimental evaluation.

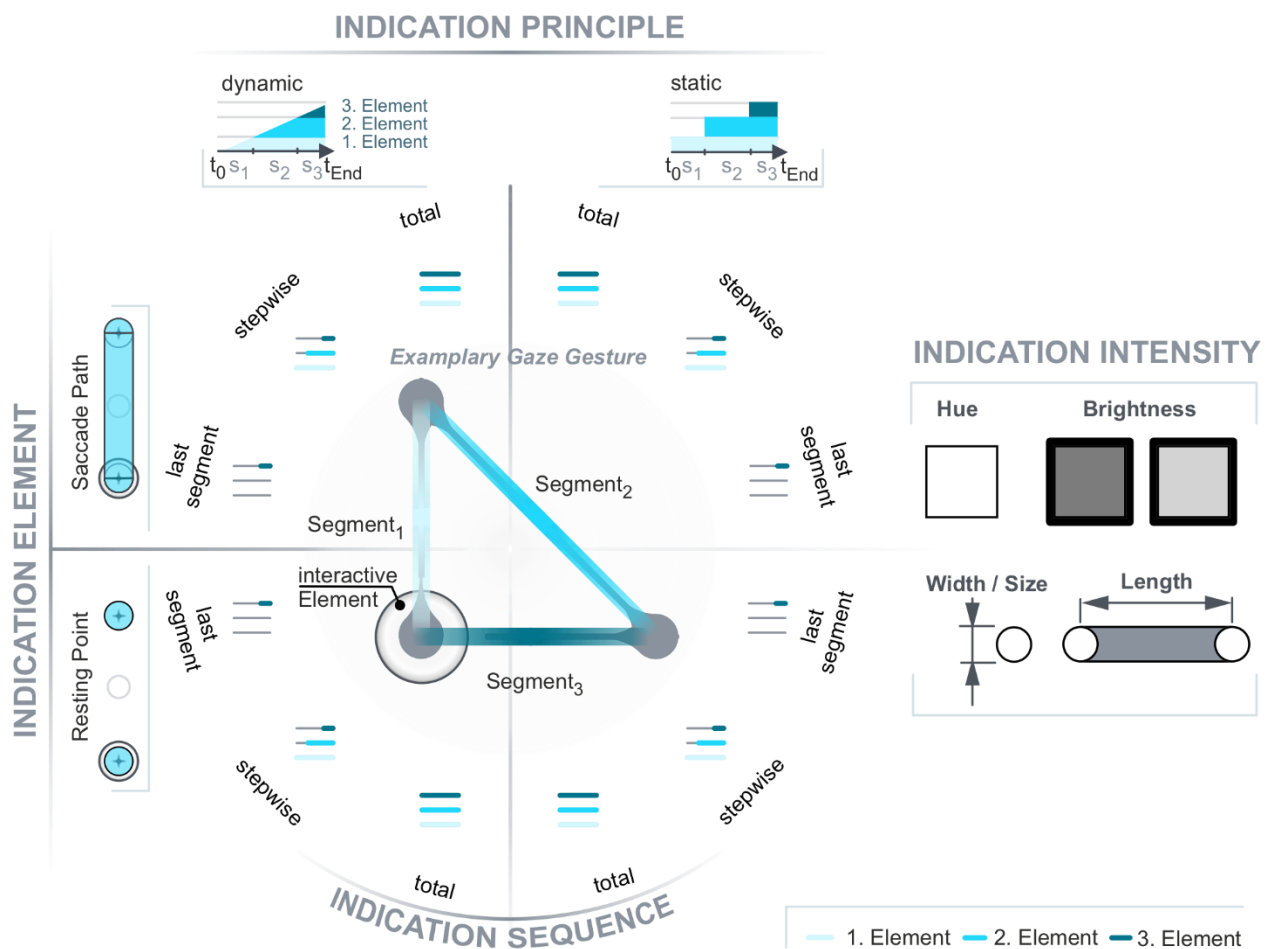


Figure 4: Overview of the researched indicator parameters

In the experimental work phase, the previous conceptual design could be evaluated under analytical criteria close to the context of use and a related application (Chapter 5). Therefore, in the evaluation phase, users evaluate the different situational visual indicators based on the “quality of use” as part of the “interface quality” according to PFEFFER’s [2016, pp. 71 et seq.] methodology. The chosen use case includes several guided configuration tasks in the menu within the context of autonomous driving using gaze gestures. The evaluation took place on a gaze-interaction test bench (cf. Figure 5). Before the main part of the experiment, the relevant individual abilities of the user were tested, such as visual acuity, visual responsiveness, and spatial orientation. A written survey was conducted before the experiment, during the break, and after the experiment. In order to determine the mental and physical efficiency of use, this survey not only records demographic data, but also subjective feelings regarding fatigue and eye strain in the course of the experiment.

In the main part of the experiment, the gaze data was captured with the help of the eye tracker and used for both interaction and subsequent analysis. The interaction behavior

with the interface while solving the tasks was analyzed with regard to the aspects of functional efficiency of use and functional effectiveness of use.

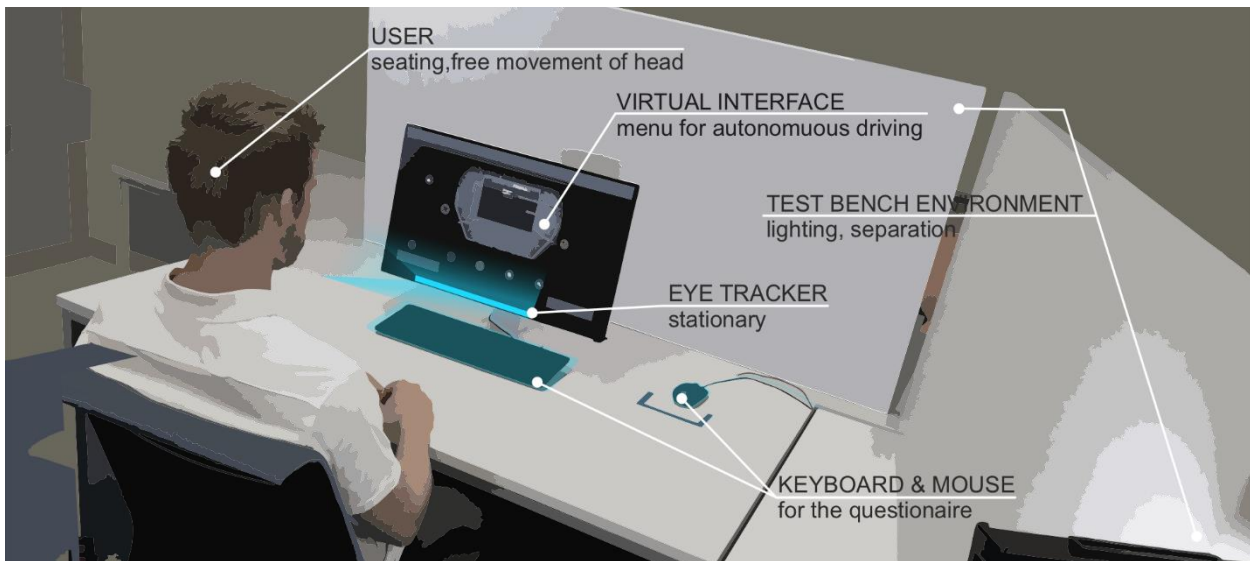


Figure 5: Experimental setup of the interface and the user's position at the gaze-interaction test bench

To determine the functional efficiency of use, the interaction times of an operating step and the gesture execution times recorded therein were used. The functional effectiveness of use, on the other hand, was determined through valid and invalid attempts to execute the gaze-gesture interaction. The functional user-satisfaction examination was carried out after the experiment, whereby the degree of support and the preferred presentation parameters for guidance were recorded from the users' point of view. The results were visualized in the form of box plots and distribution-frequency diagrams. From the measurements of the variables used to determine the quality of use, certain groups of promising stimuli were identified. However, comparing these with subjective preferences reveals a certain difference. The best parameter combinations for the individual criteria of the quality of use were determined using inferential statistical methods, while the interactions have been examined further with regard to the intensity characteristics. From this multi-stage analysis process, design recommendations could be made with regard to two support orientations, which concern both the saccade and the fixation in the gaze movement. In particular, the influence on the operation of the visual-control element and the virtual interface became clear, which turned out to be the main focus of such human-technology-interaction. In addition, statements could be made on suitable interface design in terms of aspects of the structure, the interactive-element set and the interactive-element density. These describe the transferable criteria of the menu navigation's context of use to other potential fields of gaze-gesture-based application.

1 Motivation und Forschungsziel

In der heutigen Gesellschaft umgeben uns technische Produkte in den verschiedensten alltäglichen Situationen. Dabei spielen virtuelle Schnittstellen wie zum Beispiel graphische Displays, mit natürlichen Eingabemöglichkeiten eine immer stärkere Rolle. Deren Einsatz zielt auf eine möglichst direkte und einfache Bedienung ab. Dennoch zeigen aktuelle Studien, dass sich über 50 % der deutschen Bevölkerung eine einfachere und verständlichere Bedienung ihrer technischen Geräte wünscht [vgl. VUMA 2019].

Um die Gebrauchsqualität dieser virtuellen Schnittstellen zu optimieren, obliegt es den Designern umso mehr, innovative Bedienansätze nahe am Benutzer und im Kontext der Nutzung zu entwickeln. Darunter fällt auch das bewusste Steuern von technischen Geräten mit Hilfe des Blickes. Dies ist zwar teils noch schwer vorstellbar, stellt jedoch schon lange keine reine Zukunftsvision mehr dar. Darüber hinaus birgt das Vorhandensein von Kameras in nahezu jedem mobilen Gerät das Potenzial, diese Bedienart aus den Forschungslaboren in die Gesellschaft zu bringen.

Bei der sogenannten Blicksteuerung werden mittels sensorischer Abtastung der Augenposition und Blickrichtung des Anwenders computergestützt Rückschlüsse über das Betrachtete gezogen und Handlungsintentionen in physischen und virtuellen Interfaces abgeleitet. Obgleich dabei primär der Blick und nicht die Augen das entscheidende Kriterium darstellt, hat sich der Begriff *Eye Tracking* für diese sensorische Erfassung etabliert.

Das ursprüngliche Anwendungsfeld entstammt der „*Flexibilität von Computersoftware, [welche gepaart mit einer geeigneten Sensorik] [...] Designern [ermöglicht], behinderten Anwendern besondere Dienste bereitzustellen*“ [SHNEIDERMAN 2002, S. 39]. Produkte wie das *I-Series* der Firma Tobii AB oder das *Eyegaze Edge* der Firma LC Technologies zeigen beispielhaft auf, wie weiterhin intensive Forschungs- und Entwicklungsarbeit in diesem Bereich geleistet wird. Dieses Anwendungsfeld zählt immer noch zu einem der wichtigsten. Dies verdeutlicht beispielhaft auch der aktuelle Firmenumsatz von Tobii AB (Abbildung 1.1).



Abbildung 1.1: Jahresumsatz der Tobii AB [TOBII 2019A] (angepasste Darstellung)

Doch auch neuere Anwendungsfelder werden sowohl durch die, über die Jahre, verbesserte und günstigere Eye-Tracking-Sensorik als auch Rechnerleistung ermöglicht. Die Verbreitung der, über den Blick gesteuerten, Nutzerschnittstelle in der Mensch-Technik-Interaktion stellt Entwickler vor neue Herausforderungen. Beispielhaft ist es durch den Trend des automatisierten Fahrens sinnvoll, die passive Fahrerbeobachtung mit einer aktiven Blicksteuerung im Fahrzeugcockpit zu verbinden. So wäre es Insassen bei komfortabler Sitz- oder Liegeposition dennoch möglich berührungslos mit den Fahrzeugsystemen interagieren zu können. Dabei stellen variable Positionen, Individualität des Nutzers und Bedienlogik nur einige von vielen Anforderungen an deren Interfacegestaltung dar [vgl. STELLMACH & DACHSELT 2012, S. 7].

Diese blickbasierte Interaktionsmodalität erweist sich vor allem in den von MØLLENBACH [2010, S. 90] und MARAJANTA ET AL. [2012, S. 386] identifizierten Bedienhandlungen der Manipulation von Objekten im realen und virtuellen Raum, der Navigation sowie der Kommunikation als geeignet. Jedoch besteht beim Steuern durch den Blick die allgegenwärtige Problematik, das reine „Betrachten“ von einer Interaktionshandlung sicher zu differenzieren.

Die in dieser Arbeit verwendete Blickgesteninteraktion bietet dafür einen Lösungsansatz, denn bei dieser Interaktionsmethode können, mittels eindeutig vom natürlichen Blickverhalten unterscheidbaren Blickbewegungen, abgeschlossene Interaktionshandlungen im Interface vorgenommen werden. [vgl. MØLLENBACH, 2010, S. 53], [DREWES 2010]

1.1 Spannungsfeld der Blicksteuerung als Interaktionsmethode

Gerade bei einfachen Selektionen im Vergleich zu herkömmlichen Peripherien erweist sich die Blicksteuerung zumeist als deutlich schneller [vgl. JACOB 1990]. Zudem entsteht durch das Fehlen einer physischen Kopplung über das Interface zwischen dem Nutzer und dem technischen System ein neuer gestalterischer Freiraum. Des Weiteren kann sie, sofern sensorisch erfassbar, über größere Distanzen stattfinden. Weiterhin vermag diese Interaktionsart, ähnlich der Spracheingabe, eine zusätzliche Bedienmodalität bereitzustellen, wenn eine Belegung der Hände bereits durch andere Arbeitsaufgaben besteht. Auch die berührungslose Steuerung durch bestimmte Medien hindurch ist denkbar und verspricht in Bereichen klinischer Sterilität große Potenziale in der Risikoreduktion von Kontaminationen und in der Zeitersparnis durch weniger zu reinigenden medizinischen Geräten.

Darüber hinaus kann eine Blicksteuerung durch Ersatz herkömmlicher mechanischer Betätigungen zu einer körperlichen Entlastung, wie z. B. des Hand-Arm-Systems, des Nutzers beitragen. Die Reduzierung der physischen Interfacebestandteile durch die direkte Interaktionsmodalität über den Blick ermöglicht neue Freiheiten bei der Interfacegestaltung. Diese entstehen z. B. durch den frei gewordenen Bauraum, welcher anders genutzt werden kann oder durch die Zusammenführung von Stellteilen und Anzeigern im Interface. Weitere potenzielle Vorteile der Blickinteraktion sind eine direktere Informationsaufnahme durch die visuelle Präsentation der Bedienungsaufgaben, ein leichtes Erlernen und Erinnern und einhergehend durch Ermutigung bei einer Exploration eine hohe subjektive Befriedigung. [vgl. SHNEIDERMAN 2002, S. 97]

Jedoch bestehen auch Einschränkungen und erhöhte Aufwände bei der Interaktion durch den Blick. Die Steuerung erfordert eine teils aufwändige Programmierung des Interfaceverhaltens und den damit verbundenen grafischen Anzeigern. Die zu berücksichtigenden Aspekte sind zum Beispiel: der Platzbedarf von Elementen, der Lernaufwand von Bildzeichen, die Eindeutigkeit der Darstellung und die Einschränkung von erfahrenen Anwendern [vgl. EBD. S. 247 f.].

Die sogenannten *Natural User Interactions* (kurz NUI), beziehen sich auf intuitive und alltägliche Gesten und Kommunikation durch Sprache, Hand-, Körperbewegungen und Blicke. Dennoch sind diese nicht in Gänze natürlich. [vgl. WIGDOR & WIXON 2011]

Auch bei NUIs muss der Nutzer die Interaktionsmöglichkeit wahrnehmen und deren spezifische Befehlsarten zunächst verstehen, erlernen und anwenden können. Bei den virtuellen Bedienelementen dieser Interaktionsarten erfährt der Nutzer im Gegensatz zu physischen Bedienelementen nicht zu jeder Zeit eine Rückmeldung über die momentane Handlung und den Systemstatus.

Dies birgt das Risiko von kritischen Fehlhandlungen bei der Bedienung. Indirekte Feedbacks über den visuellen oder akustischen Sinneskanal finden bereits Anwendung, unterstützen den Nutzer jedoch nicht unmittelbar bei der Ausübung der Blickgestenbefehle. Zudem besteht bei der konkreten Anwendung die Gefahr einer Überlagerung der dargebotenen Information durch äußere Reize. Diese dargelegten Aspekte sind bei der Gestaltung einer Ausführungsunterstützung für die Blickgestensteuerung zu berücksichtigen, welche das Forschungsziel dieser Arbeit definiert.

1.2 Ziele und Abgrenzung der Arbeit

Die übergeordneten Ziele zur Entwicklung einer Unterstützung des Nutzers bei der Blickgestenausführung untergliedern sich dabei wie folgt:

- Ermittlung von relevanten Anforderungen und Randbedingungen an ein Blickgesteninterface,
- Gestaltung visueller Bedienelemente im funktionalen Blickgesteninterface,
- Gestaltungsvariation von situativen visuellen Anzeigern zur Unterstützung der Blickgestenausführung,
- Experimentelle Untersuchung der identifizierten Varianten in einem anwendungsnahen Kontext der Mensch-Technik-Schnittstelle,
- Ableitung sinnvoller Gestaltungsempfehlungen hinsichtlich der Gebrauchsgüte von situativ visuell unterstützten Blickgesteninterfaces.

In der vorliegenden Arbeit werden ausschließlich Blickgesten als Interaktionsmethode verwendet. Der stetig steigende Einsatz von virtuellen Interfaces und der Trend von NUIs in der Produktgestaltung erfordern zunächst eine konkrete Untersuchung der Blickgestenunterstützung über den rein visuellen Informationskanal. Zusätzliche akustische und haptische Unterstützungseffekte bei der Mensch-Technik-Interaktion stellen dabei keinen Untersuchungsinhalt dar. Bei der Gestaltung des situativ visuellen Anzeigers werden ausschließlich Effekte der Unterstützung auf den ausgeführten Blickgestenbefehl berücksichtigt [vgl. DREWES 2010].

Die Optimierung der Erkennung bzw. geeigneten Gestaltung der Blickgesten bezüglich des Anwendungsfalls ist dabei kein Untersuchungsinhalt. Aufgrund ihrer Komplexität bergen reale Anwendungsfälle auf die Interaktion zum Teil unvorhersehbare und sich negativ auf den visuellen Wahrnehmungsprozess auswirkende Einflüsse. Um eine visuelle Unterstützung zu entwickeln, welche diesen Einflüssen gegenüber robust ist, hat deren Evaluation in einem anwendungsnahen Nutzungskontext zu erfolgen.

Dieser wird durch eine gezielte Konkretisierung des Interfaces in Form eines funktionalen Gestaltaufbaus dargestellt und grafisch mit nutzungskontextspezifischen Elementen bestückt. In dem betrachteten Einsatzfeld der Mensch-Technik-Interaktion stellen vor allem Navigations- und Einstellungsvorgänge zentrale Interaktionshandlungen dar [vgl. BEINHAUER 2019]. Dadurch wird es Anwendern ermöglicht den Systemzustand gezielt zu manipulieren. Aus diesem Grund findet die experimentelle Untersuchung im Kontext einer Menünavigation und Menüeinstellung statt. In dieser ist es den Anwendern möglich, gezielt Informationen durch Blickgestenbefehle aufzurufen oder den Systemzustand zu beeinflussen.

Dies ist als Anwendungsbeispiel anzusehen, wobei die Randbedingungen zum Übertrag der Erkenntnisse auf andere Anwendungsbereiche erläutert werden.

1.3 Struktur der Arbeit

Zur gezielten Hervorhebung und Differenzierung von Informationen wird in dieser Arbeit ein Farbschema definiert, welches Grau- und Anthrazittöne als Basisfarben verwendet und diese mit Hellblau zur Kennzeichnung wichtiger Inhalte ergänzt. An Stellen, bei denen ein informatorischer Mehrwert durch Mehrfarbigkeit entsteht, wird der bestehende Kennzeichnungsfarbtönen durch Orange und Hellgrün ergänzt.

Die Struktur der Arbeit basiert auf den drei Säulen der Nutzerschnittstellenentwicklung nach SHNEIDERMAN [2002, S. 130]. Neben *Guidelines* und *Gestaltungsprinzipien* zur Interfacegestaltung kommt geeignete Software zur *Konzeption* des Interfaces zum Einsatz, welches abschließend im Rahmen eines *Usability-Tests* evaluiert wird. Diese Säulen dienen der angestrebten Ableitung der Gestaltungsempfehlungen für den Einsatz situativer visueller Anzeiger bei der Blickgestenunterstützung. Dazu gliedert sich die vorliegende Arbeit in sieben Kapitel, deren jeweilige Schwerpunkte und Erkenntnisse in Abbildung 1.2 visualisiert sind.

Der vorausgegangenen Motivation (Kapitel 1) folgt die Darlegung der Grundlagen, welche sich in zwei Kapitel unterteilt. Zunächst werden relevante Erkenntnisse und die damit verbundene Terminologiedefinition der Wissensdisziplinen zur visuellen Informationsverarbeitung (Kapitel 2.1), der grafischen Interfacegestaltung (Kapitel 2.2) und der Gesteninteraktion (Kapitel 2.3) erläutert. Anschließend erfolgt die Sichtung aktueller Forschungsarbeiten und Experimente zur Blicksteuerung (Kapitel 3) zeigen den *State of the Art* (übers. Forschungsstand) auf, welcher den Ausgangspunkt für den hergeleiteten Forschungsbedarf darstellt (Kapitel 3.3). Das Vorgehen bei der Gestaltungsparametrisierung des situativ visuellen Anzeigers setzt sich aus der Anforderungsdefinition für blickgestengesteuerte Interfaces (Kapitel 4.2), der Konzeption des visuellen Bedienelements sowie des funktionalen Interfaces und der Entwicklung der zu evaluierenden Anzeigervarianten zusammen (Kapitel 4.3).

Zur Bereitstellung der Interaktionsfunktionalität im Experiment wird das computer-gestützte Detektionsverfahren anschließend erläutert (Kapitel 4.3.4).

Der Hauptteil der Forschungsarbeit besteht in der Evaluation der visuellen situativen Anzeigervariationen zur Unterstützung der Blickgestenausführung in einem anwendungsnahen Nutzungskontext. Dieser Teil der Arbeit untergliedert sich in die Phasen

Hypothesendefinition und Planung (Kapitel 5.1), Durchführung (Kapitel 5.2), Auswertungen (Kapitel 5.3), Ergebnisbewertung und Gestaltungsempfehlung (Kapitel 5.4) und Hypothesenprüfung (Kapitel 5.5).

Die Erkenntnisse der empirisch evaluierten Gestaltungsempfehlungen werden anschließend mit der Hypothesenüberprüfung zusammengefasst. (Kapitel 5.5). Den Abschluss der Arbeit bildet der Ausblick von empfohlenen, weiterführenden Studien auf Basis der Ergebnisse sowie zukünftigen Anwendungsfeldern (Kapitel 7).

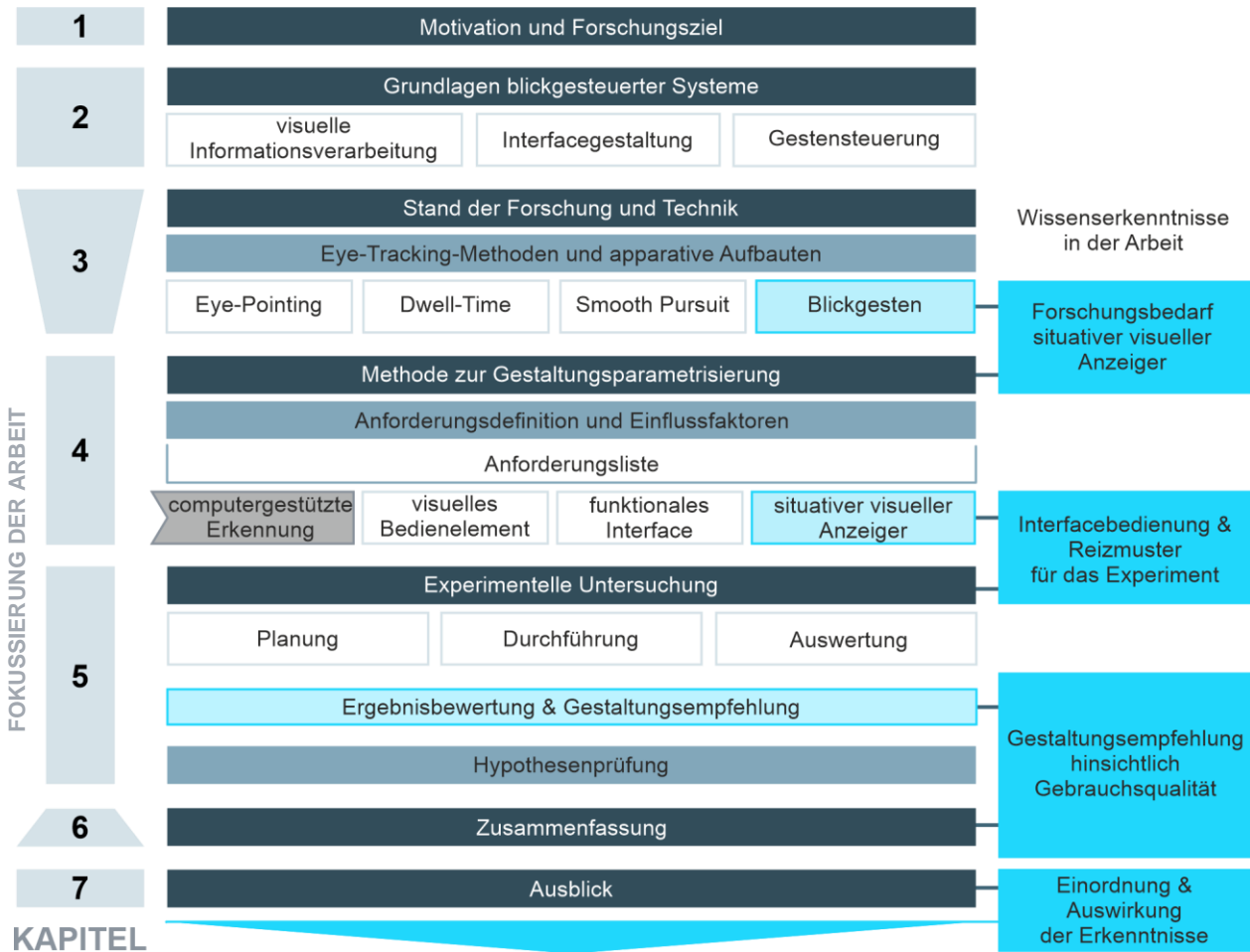


Abbildung 1.2: Struktur und Wissenstransfer innerhalb der Arbeit

Mit dem folgenden Kapitel werden die relevanten Wissensdisziplinen und die damit verbunden theoretischen Grundlagen der Arbeit aufgezeigt.

2 Grundlagen blickgesteuerter Systeme

Die Gestaltung technischer Blickgestenschnittstellen beruht auf den Erkenntnissen verschiedener Fachdisziplinen. Dieses Kapitel dient der Bereitstellung dieser Grundlagen unter Berücksichtigung der Schwerpunkthemen für die vorliegende Arbeit sowie der Definition relevanter Begriffe.

Dazu ist die Disziplin der psychophysischen Kognitionswissenschaft zu berücksichtigen, aus welcher insbesondere die Erkenntnisse des visuellen Informationsverarbeitungsprozesses betrachtet werden. Weitere Disziplinen stellen die Produktgestaltung im Sinne der Mensch-Technik-Interaktion (kurz MTI) im Allgemeinen und die grafische Interfacegestaltung im Konkreten dar. Bei dieser werden die Einflüsse seitens des Anwenders, der Umwelt und des Nutzungskontextes in den Gestaltungsprozess mit einbezogen. Die dritte noch jüngste Disziplin beschäftigt sich mit der Gestik als interaktivem Verhalten im Kontext technischer Systeme. Die Einordnung dieser Themen in die MTI, innerhalb der nachfolgenden Kapitel, ist in Abbildung 2.1 dargestellt.

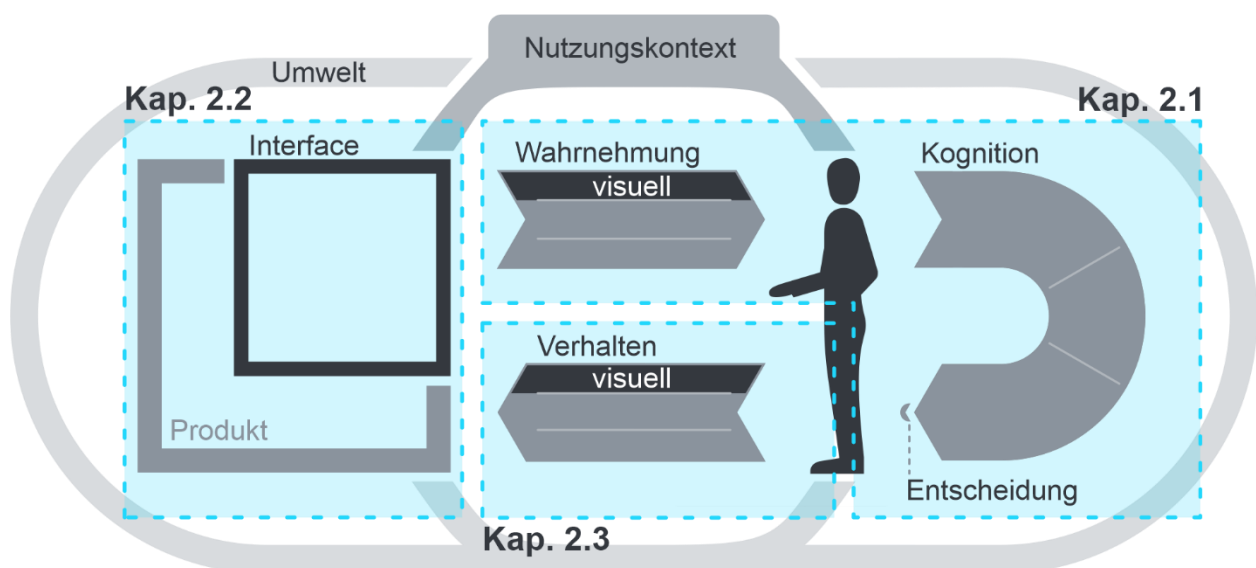


Abbildung 2.1: Einordnung der behandelten Wissensdisziplinen in die MTI

2.1 Visuelle Wahrnehmung und Informationsverarbeitungsprozess

Der Blicksteuerungsansatz beruht darauf, die natürliche und als direkt empfundene Handlung des Sehens gezielt für manipulative Aufgaben von technischen Systemen einzusetzen. Daher ist bei der Gestaltung von Blickgesteninterfaces insbesondere ein Verständnis über die Zusammenhänge der visuellen Informationsverarbeitung notwendig. Ein zentraler Aspekt ist die Überlagerung der primär empfangenden Funktionalität des Auges mit einer sendenden Funktion bei der Steuerung. Daher kommt es unabdingbar zu Konflikten, welche bei der Gestaltung kompensiert werden müssen.

Der Informationsbegriff als einer von drei Parametern (Energie, Stoff, Information (Signal)) der abstrakten Produktbeschreibung wird nach DIN 44300-1 [1995] als „*Kenntnis, die die Ungewissheit über das Eintreten eines bestimmten Ereignisses aus einer Menge von möglichen Ereignissen verringert oder beseitigt*“, interpretiert.

Nach BROCKHAUS [1996] ist dabei zwischen syntaktischen, semantischen und pragmatischen Aspekten zu unterscheiden. Neben anderen Informationsmodellen erweist sich Werner Gitts Modell, welches die Ebenen der Information in einen prozeduralen Zusammenhang bringt, als geeignet für den Informationsaustausch bei der Interaktion mit technischen Produkten [vgl. SCHMID & MAIER 2017, S. 50] (Abbildung 2.2). In diesem Modell wird die Information vom reinen Signal bis hin zum abgeleiteten Handlungsziel veranschaulicht. Dabei wird der, in der Interaktion gängige Aspekt verdeutlicht, dass die empfangene Information nicht zwingend der gesendeten entsprechen muss.

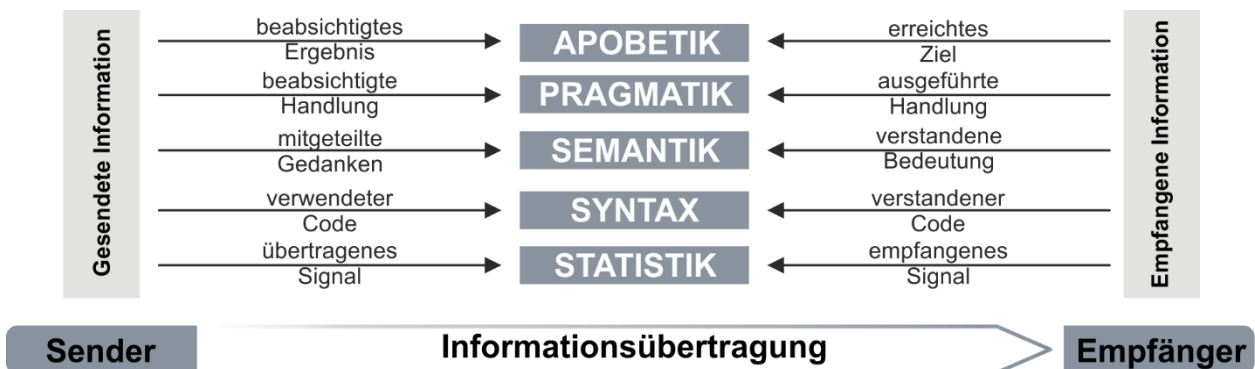


Abbildung 2.2: Informationsmodell nach GITT [1998]

Auf Grundlage der, in den vergangenen Jahren erzielten, Erkenntnisse aus Neuro- und Kognitionswissenschaften sowie der Psychophysik und Biologie [vgl. SCHIERWAGEN 1998], [SNOWDDEN ET AL. 2006], [ZAKIA 2002] werden im Folgenden die zentralen Aspekte der visuellen Aufmerksamkeit und Wahrnehmung erläutert. Die Einflüsse auf die Übertragung und Verarbeitung von visuellen Informationen liegen dabei im Fokus.

2.1.1 Visueller Sehapparat

Der visuelle Sehapparat stellt ein speziell abgestimmtes, optisches System dar, welches sich aus mehreren funktionellen Bestandteilen zusammensetzt. Die für das Sehen relevanten Funktionen sind nachfolgend beschrieben.

Der Augapfel besteht aus der äußeren Augenhaut (Hornhaut und Lederhaut), der mittleren Augenhaut (Iris, Ziliarkörper und Aderhaut) und der inneren Augenhaut (Netzhaut). [FRANCOIS & HOLLWICH 1977]. Die Sehsinneszellen (Rezeptoren) in der Netzhaut (Retina) setzen sich aus Stäbchen (skotopisches Sehen bzw. Dämmerungssehen) und Zapfen (photopisches bzw. Farbsehen) zusammen. Im Ort des schärfsten Sehens (Fovea Centralis), auch Gelber Fleck, existieren ausschließlich Zapfen. An dieser

Stelle konvergieren nur wenige Zapfen auf eine retinale Ganglienzelle, deren Aktivität direkt an das zentrale Nervensystem weitergeleitet wird und charakterisieren somit das foveale Sehen. Dies erfolgt über den Sehnerv (Nervus Opticus), in dessen Zentrum keine Stäbchen und kaum Zäpfchen existieren (blinder Fleck). [THOMPSON 1992], [GOLDSTEIN 2015, S. 41 f.], [ANSORGE & LEDER 2011, S. 80]

Die Abbildung 2.3 beschreibt den Aufbau des visuellen Sehapparates und die winkelabhängige Häufigkeitsverteilung beider Rezeptorarten.

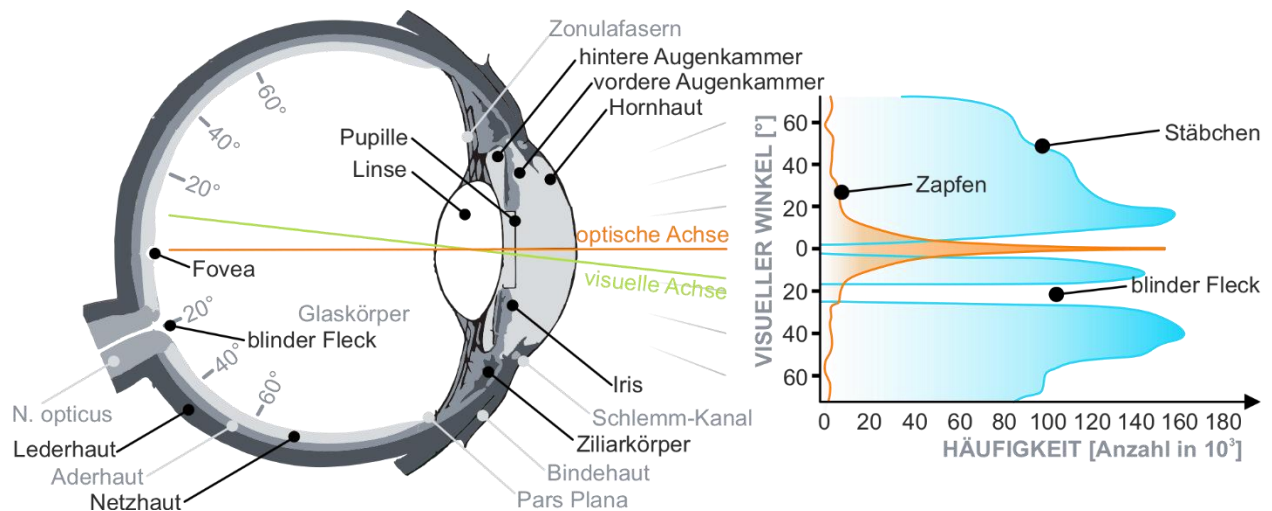


Abbildung 2.3: Aufbau des Auges (links), nach MUTSCHLER ET AL. [2007] und Häufigkeitsverteilung der Rezeptoren (rechts), nach DUCHOWSKI [2003, S. 34]

Funktionsweise der Objektivfokussierung: Das abbildende System stellt ein reelles, umgekehrtes und verkleinertes Bild der betrachteten Umwelt auf der Netzhaut dar. Die Akkommodation (Fähigkeit des Auges, die Brechkraft – gemessen in Dioptrien – der Linse der Entfernung des fixierten Objektes anzupassen) erfolgt zur Naheinstellung (< 5 m) durch das passive Streben der elastischen Linse zur Kugelform und zur Ferneinstellung (> 5 m) mittels der Zugwirkung des radiären Aufhängeapparats (Zonulafasern). [vgl. KUNSCH & KUNSCH 2007, S. 140]

Von der visuellen Aufmerksamkeit (siehe Kapitel 2.1.2) bestimmt, wird das Auge durch extraokulare Muskelbewegungen so positioniert, dass ein Objekt, welches als Quelle der Aufmerksamkeit identifiziert wird, in der Fovea liegt [ANSORGE & LEDER 2011, S. 79], [KOWLER ET AL. 1995]. Dieser Vorgang nimmt nicht nur für das gezielte Wahrnehmen, sondern auch bei der Erfassung des Blickes durch das Eye-Tracking eine zentrale Rolle ein (siehe Kapitel 3.1).

Augenmuskulatur: Der Augapfel wird mittels sechs mit der Oberfläche des Augapfels verbundenen Muskeln in der Augenhöhle quasi ideal rotiert (ca. 1 mm Translation) [vgl. MARAJANTA ET AL. 2012, S. 17]. Wobei je ein Muskelpaar für die horizontale, die vertikale sowie für die zyklorotatorische (torsionale) Ausrichtung verantwortlich ist. Dabei

wird Letztere durch Umlenkung des schrägverlaufenden Muskelstrangs über eine Schädelöffnung ermöglicht (siehe Abbildung 2.4). Die Muskeln sind dabei unter ständiger Spannung (tonisiert). Zur gezielten Ausrichtung und Bewegung des Auges ist ein exaktes Zusammenwirken der einzelnen Muskeln notwendig. [GREGORY 1966, S. 43]

Visuelle Reizverarbeitung: Wahrnehmbare Reize stellen Lichtwellen (physikalische Informationen) dar, welche durch die Hornhaut (Cornea) in das Auge eindringen und über die Pupille, Linse und den Glaskörper zu den Rezeptoren geleitet werden [vgl. HAMMOUD 2008, S. 4], [GUSKI 2000, S. 30 f.]. Im Auge werden mittels des beschriebenen optischen Systems Objekte der Umwelt auf der Netzhaut abgebildet und durch elektrisch kodierte Informationen über den Sehnerv in das primäre Sehzentrum der Großhirnrinde geleitet [vgl. KUNSCH & KUNSCH 2007, S. 137], [FRANCOIS & HOLLWICH 1977] (siehe Abbildung 2.4). Dieser Nerv befindet sich wie in Abbildung 2.3 dargestellt ca. 4-8° außerhalb der optischen Achse des Augapfels. Nach ZIMBARDO & GERRIG [2008, S. 124] finden schon erste Umwandlungsprozesse in der Retina statt, welche wahrscheinlich bereits erste Handlungsreaktionen ermöglichen. Wie von Geise hervorgehoben, ist bei der Interpretation von Eye-tracking-Daten stets zu beachten, dass die an das Gehirn gesendeten Informationen schnelle elektrische Impulse darstellen und „*niemals ein [exaktes] Abbild*“ [GEISE 2011B, S. 166] der Außenwelt [vgl. GUSKI 2000 S. 32].

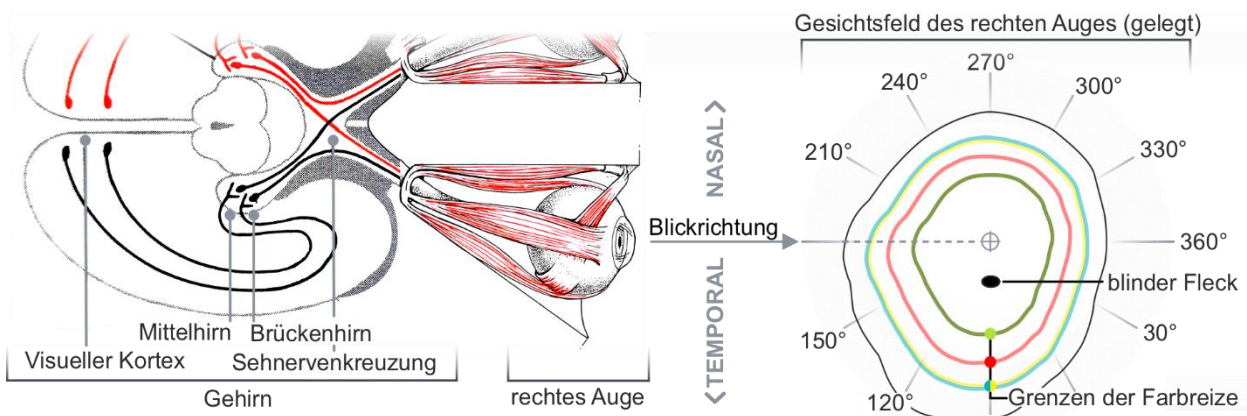


Abbildung 2.4: Nervenverbindung (links), Augenmuskulatur (Mitte) und Gesichtsfeld (rechts), bearbeitet aus GREGORY [1966] und MUTSCHLER ET AL. [2007]

2.1.2 Grundlagen visueller Aufmerksamkeit

Die moderne Auffassung von Aufmerksamkeit beschreibt diese als ein komplexes Konstrukt unter Einfluss mentalen Aufwands und zeitabhängiger Erregung, welche die früheren selektiven und kapazitiven Aufmerksamkeitsmodelle abgelöst hat [vgl. KAHNEMAN 1973]. Die visuelle Aufmerksamkeit (offene Aufmerksamkeit) stellt eine explizite Konzentration der mentalen Bemühung (verdeckte Aufmerksamkeit) auf visuelle sensorische und mentale Ereignisse dar. Sie befindet sich daher zu Beginn des

Wahrnehmungsprozesses und ist der sensorischen Registrierung und Verarbeitung eines visuellen Reizes vorgelagert [vgl. SOLSO 2005, S. 79]. Sie kann nach BUNDESEN & HABEKOST [2008] sowie JENKINS & HARRIS [2001] als Konstrukt zur grundsätzlichen Bereitschaft eines Individuums zur Aufnahme von visuellen Kommunikationsinhalten bzw. Reizen aus der Umwelt verstanden werden. Dabei dient die visuelle Aufmerksamkeit zur Selektion einer kleinen Menge bewusstwerdender Informationen aus der weit größeren Menge unbewusst eingehender Informationen [vgl. FINDLAY & GILCHRIST 2003, S. 3]. Nach STERNBERG [2009] und GOLDSTEIN & FINK [1981] ist diese Selektion mit einer Sensibilisierung gegenüber bestimmten Reizen verbunden, welche zur Steigerung der gedanklichen und emotionalen Verarbeitung führt [EBD.], [BUNDESEN & HABEKOST 2008]. Dabei ist das Zusammenspiel aus visueller Aufmerksamkeit, Wahrnehmung und Verarbeitung als ein sich ständig wiederholender Prozess zu interpretieren [GEISE 2011B, S. 171].

Der Blick gilt als direkter Prädiktor der Aufmerksamkeit, wobei dieser eher die Initialisierung und Beendigung von Handlungen darstellt und weniger der Fortschrittsüberwachung laufender Prozesse dient [vgl. MARAJANTA ET AL. 2012, S. 139]. Dabei wird die visuelle Aufmerksamkeit über ein komplexes Zusammenwirken von zwei visuellen Systemen (dorsaler Pfad – Wo im hier und jetzt? und ventraler Pfad – Was?) im Gehirn gesteuert [vgl. VOSSEL ET AL. 2014].

Dominanz der exogenen Reize: In der Wissenschaft existiert die Auffassung, dass sich die visuelle Wahrnehmung nach visuellen Stimulusmerkmalen, individuellen Wahrnehmungsimpulsionen und evolutionsbiologischen Konditionierungen ausrichtet [FELLMANN 2011], [MCLESKEY ET AL. 1982] und durch die visuelle Aufmerksamkeit gedeutet werden kann [PROULX 2007], [WRIGHT 1998]. Wie GODIJN & THEEUWES [2003, S. 3] darlegen, kann diese *„primär durch die Charakteristika des Stimulus gelenkt werden, unabhängig von individuellen Wahrnehmungsimpulsionen“* [GEISE 2011B, S. 171].

„Dieser affektiv-intuitive Modus einer externen Blicklenkung wird – analog zu psychologischen Motivationstheorien – auch als exogene Kontrolle bzw. bottom-up-Wahrnehmung bezeichnet“ [EBD, S. 172]. [vgl. GODIJN & THEEUWES 2003, S. 3], [PROULX 2007], [BARNARD ET AL. 1984] Dabei stellte HARRIS ET AL. [1989, S. 401] fest, dass gewisse elementare Reize bei fast allen Menschen zu invarianten Reaktionen führen. Dies konnte bereits in verschiedenen Untersuchungen, durch die Erstellung von sogenannten Aufmerksamkeitslandschaften, nachgewiesen werden [vgl. GEISE 2011A], [GEISE & BRETTSCHEIDER 2010]. Gerade in der frühen Rezeptionsphase wird der Blickverlauf *„stark als ein physiologisches [...] Wahrnehmungsmuster strukturiert“* [GEISE 2011B, S. 174]. Die damit einhergehende Steuerungsmöglichkeit der visuellen

Aufmerksamkeit durch visuelle Reize kann bei der Blicksteuerung gezielt zur Ausführungsförderung eingesetzt werden.

Endogene Kontrolle der visuellen Wahrnehmung: Der exogenen Kontrolle durch Reize steht die bewusste Steuerung der Wahrnehmung (top-down-Wahrnehmung) [vgl. ZAKIA, 2002], [MCLESKEY ET AL. 1982] aufgrund bestimmter Handlungs- und Wahrnehmungsziele und deren Erwartungen gegenüber [GODJIN & THEEUWES 2003, S. 4]. Erwiesen durch frühe Blickpfadanalysen (engl. Scanpath) von YARBUS [1967, S. 174] liegt in diesem individuell bestimmten Wahrnehmungsprozess auch die Grundlage einer aktiven, auf dem Blick basierenden Steuerung technischer Systeme.

Die Beeinflussung der visuellen Aufmerksamkeit sowohl aus dem Äußeren als auch aus dem Inneren zeigt eine tiefe neurophysiologische Vernetzung. Diese wird durch die notwendige Eigenschaft der retinalen (außerfovealen) Perzeption verdeutlicht. Zur Erfassung eines neuen Zielobjektes durch foveale Wahrnehmung ist stets eine vorherige retinale Wahrnehmung notwendig [vgl. FISCHER 1990, S. 44 f.]. Dabei wird, abhängig von der Entfernung zur Fovea, zwischen parafovealer (näherliegend) und peripherer (weiter entfernt) Wahrnehmung unterschieden [vgl. BALOTA & RAYNER 1991, S. 199], [PANNASCH 2003, S. 3].

2.1.3 Bestandteile des Sehens

Das Gehirn suggeriert eine permanente und vollständige Wahrnehmung durch das Sehen, welches in Wirklichkeit eine Abfolge von kurzen Rastphasen des Blicks (Fixationen) und schnellen Sprüngen (Sakkaden), hin zur nächsten Fixation, darstellt [vgl. DUCHOWSKI 2003, S. 4, 17]. Dabei existiert eine ausgeprägte Interpendenz zwischen der dafür notwendigen Augenbewegung und der Gesamtheit visueller Wahrnehmung [SCHIERWAGEN 1998, S. 275], [MÜHLENDYCK & RÜSSMANN 1990], [OREGAN & LÉVY-SCHOEN 1987]. Solche Augenbewegungen lassen sich in verschiedene Komponenten dechiffrieren [vgl. MAJARANTA ET AL. 2012, S. 17 f.].

Die konjugierten Augenbewegungen beschreiben die Ausrichtung des visuellen Sehapparats auf das Zielobjekt. Sie können mit und ohne Kopfbewegung erfolgen. Vergenzbewegungen ermöglichen durch Konvergenz (mit und ohne Pupillenverengung) und Divergenz die Akkommodation beider Augen auf das Zielobjekt. Spiegelbildliche Torsionsbewegungen ermöglichen bei der Vergenzänderung die Fokussierung auf das Objekt. [vgl. RÖTTING 2001], [BIRBAUMER & SCHMIDT 2006]

Im Folgenden wird auf die vier basalen Komponenten der Augenbewegungen, im Sinne der Blicksteuerung vertiefend eingegangen:

- Fixation – Fokussierung der Fovea auf das wahrzunehmende Objekt,
- Sakkade – Ausrichtung des Auges als Vorbereitung der Fixation,
- Mikrobewegungen – ungerichtete physiologische Fixationskontrolle,
- Vestibuläre Augenbewegungen – Nachführen der sensorischen Information auf der Retina in der Bewegung.

Fixation: Fixationen beschreiben ein Verweilen des Blickes an einem bestimmten Punkt von ca. 200-300 ms [vgl. LEVEN 1991, S. 14], [HOLMQVIST ET AL. 2011, S. 84] und ermöglichen die Informationsaufnahme, welche ca. 90 % der Sehzeit beansprucht [vgl. DUCHOWSKI 2003, S. 17]. Die minimale Fixationsdauer zur Informationsaufnahme beträgt etwa 100 ms, wobei die meisten Fixationen deutlich länger andauern [RÖTTING 2001, S. 16 f.]. Dabei wird nach POSNER [2011] die visuelle Aufmerksamkeit des Rezipienten während der Betrachtung durch das Zielobjekt gebunden (engl. Attentional Engagement).

Sakkade: Die Sakkade bezeichnet extrem schnelle, näherungsweise proportionale Sprünge des Auges mit Hilfe der Augenmuskulatur mit Winkelgeschwindigkeitsspitzen von bis zu 1000°/s [vgl. RÖTTING 2001, S. 69, 76], [vgl. RÖTTING 1999A], [RÖTTING 1999B], welche durchschnittlich drei bis fünf Mal pro Sekunde stattfinden. Deren Bewegung ist ballistisch nicht mehr modifizierbar, sobald diese begonnen hat [FINDLAY & GILCHRIST 2003, S. 25], [vgl. DUCHOWSKI 2007]. Bei großen Sakkadensprüngen wird der Kopf gen Zielobjektrichtung mitbewegt. Zwar können diese Sakkaden auch bewusst erfolgen, finden jedoch im natürlichen Blickverhalten meist unbewusst statt [FINDLAY & GLICHRIST 2003, S. 25], [FANG ET AL. 1987]. Während der ca. 30-90 ms andauernden Sakkadenbewegung erfolgt keine Informationsaufnahme. Aufgrund des Unvermögens der Netzhaut auf schnelle Veränderung des Abbilds zu reagieren, wird für den Zeitraum von 30-40 ms vor und bis zu 120 ms nach dem Sakkadenbeginn von einer Sakkadenblindheit gesprochen [HUBEL 1989, S. 89], [vgl. DUCHOWSKI 2003, S. 44], [HOFFMANN 1996]. Ebenso wie die Rastdauer auf einem Zielobjekt durch die visuelle Aufmerksamkeit bestimmt wird, führt erst eine Ablösung dieser zu einer Sakkade (engl. Attentional Disengagement) [POSNER 2011], [vgl. JOOS ET AL. 2003].

Mikrobewegungen: Selbst während der Fixation ruht das Auge nicht gänzlich. Um die Sensitivität der Nervenzellen für den wahrzunehmenden Reiz aufrecht zu erhalten, finden kleinste Augenbewegungen unbewusst mehrmals pro Sekunde statt [vgl. RÖTTING 2001, S. 17]. Diese mehr oder weniger ungerichteten Mikrobewegungen werden unterschieden in Tremor, Drift und Mikrosakkade [DUCHOWSKI 2007, S. 46], [RÖTTING 2001, S. 17], [MÜHLENDYCK & RÜSSMANN 1990]. Der Mikrotremor, auch Mikro-Nystagmus genannt, versteht sich als eine Zitterbewegung des Auges, welche eine Verschiebung der

Netzhaut von fünf bis zehn Sehzellen auslöst [RÖTTING 2001, S. 17]. Der Drift stellt hingegen eine langsame, eher zufällige räumliche Abgleitbewegung (2-3 Winkelminuten über eine Abweichung des Seh winkels von bis zu 5°) dar [DUCHOWSKI 2007, S. 46]. Die Mikrosakkade bezeichnet eine schnelle Korrekturbewegung, um die Fovea wieder auf das zu fixierende Objekt zu repositionieren [EBD., S. 49], [HUBEL 1989, S. 91], [FISCHER 1995, S. 121]. Die Glissade, als spezielle Form der Mikrosakkade, stellt eine abklingende Bewegung direkt nach der Sakkade und vor dem zur Ruhe kommen in einer Fixation dar [HOLMQUIST ET AL. 2011, S. 23].

Vestibuläre Augenbewegungen: Die Nachfolgebewegungen (engl. Smooth Pursuits), welche von relativ zum Auge bewegten Objekten ausgelöst werden, passen diese kontinuierlich der Geschwindigkeit und Richtung der Augenbewegung an [MARAJANTA ET AL. 2012, S. 18]. Solche Bewegungen sind von anderen Arealen des Gehirns gesteuert als die Sakkaden. Wohingegen Sakkaden frei im Raum durchgeführt werden können, erfordern Smooth Pursuits ein Objekt, welches verfolgt werden kann. [vgl. HOLMQUIST ET AL. 2011, S. 23]

Die erläuterten Komponenten der Augenbewegung und deren gängigen zeit- und räumlichen Charakteristiken sind mittels des nachfolgenden Scanpath in Abbildung 2.5 dargestellt.

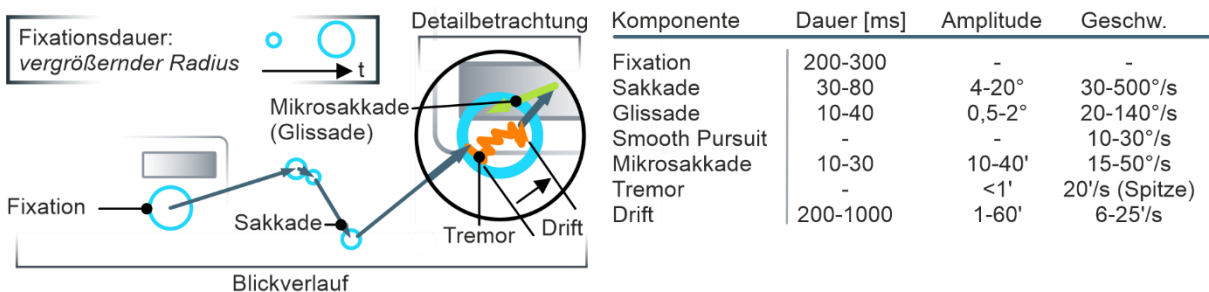


Abbildung 2.5: Komponenten der Blicksteuerung, nach HOLMQUIST ET AL. [2011, S. 23]

2.1.4 Leistung und Grenzen der Wahrnehmung

Die Wahrnehmungsfähigkeiten des visuellen Sehapparates spielen eine maßgebliche Rolle bei der Gestaltung von blickgesteuerten technischen Systemen. Daher werden im Folgenden die relevanten Aspekte der visuellen Wahrnehmung umrissen.

Die visuelle Wahrnehmung unterliegt, wie jede perzeptorische Fähigkeit, bestimmten Einflüssen wie z. B. Wachsamkeit, Ermüdung, Belastung, sensorische Deprivation usw. [vgl. KANTONWITZ & SORKIN 1983], [WICKINS 1992]. Die Auswirkungen auf die Leistungsfähigkeit ist diesen Einflüssen nicht abzusprechen, stellen in dieser Arbeit jedoch keinen spezifischen Untersuchungsgegenstand dar. Dies gilt auch bezüglich der persönlichen, demographischen Vielfalt [vgl. SHNEIDERAN 2002, S. 35]. Die Wahrnehmung wird vom reinen Sehen unterschieden durch die „Inbesitznahme“ des Gesehenen, wodurch erst

ein kognitiver Prozess des Begreifens und Handelns abgeleitet werden kann [vgl. BÖLKNER ET AL. 2010, S. 133]. Das reine Farbsehen ist nur innerhalb von 1-2° in der Fovea möglich und fällt somit mit dem Bereich des schärfsten Sehens zusammen [MARAJANTA ET AL. 2012, S. 14], [KAHNEMAN 1973, S. 50]. Das Gesichtsfeld reicht von 94° temporal (schalenwärts), nach unten 70°, nasal 62° und nach oben 55° und beschreibt das Gesehene bei fixiertem Auge [SCHMIDTKE 1981, S. 34]. Das Blickfeld hingegen beschreibt das Gesehene bei fixiertem Kopf aber beweglichem Auge und verlagert somit das Sehfeld um rund 45° nach außen, innen und unten, sowie 35° nach oben (siehe Abbildung 2.6). [EBD., S. 34]

Visuelles Wahrnehmungsspektrum: Das wahrnehmbare Farbspektrum erstreckt sich über die Wellenlängenfrequenz von 350 nm (Dunkelblau) bis 780 nm (Dunkelrot) [GREGORY 1966, S. 121]. Da Helligkeit eine Funktion der Farbe darstellt, werden unterschiedliche Farben verschieden hell wahrgenommen. Diese Reaktion der jeweiligen Rezeptoren auf die Lichtintensität wird in der spektralen Empfindlichkeitskurve veranschaulicht (siehe Abbildung 2.6). [EBD., S. 77-79] Aufgrund der gegenseitigen Verbindung der Rezeptoren trägt es somit auch zum beleuchtungsintensitätsabhängigen Helligkeitsempfinden von Objekten bei. Somit erscheint ein Farbton dunkler (vor hellem Hintergrund) oder heller (vor dunklem Hintergrund) [EBD., S. 76]. Dieses Wahrnehmungsphänomen ist als Simultankontrast bekannt. Aus dieser Farbwirkung können weitere verschiedenartige Kontraste entstehen wie z.B.: der Kontrast zwischen Farben, der quantitative Kontrast durch verschiedene Farbtöne, der qualitative Kontrast im selben Farbton verschiedener Helligkeit, der Bunt-Unbunt-Kontrast, der Hell-Dunkel-Kontrast, sowie der Kalt-Warm-Kontrast [vgl. STAPELKAMP 2007, S. 58-70].

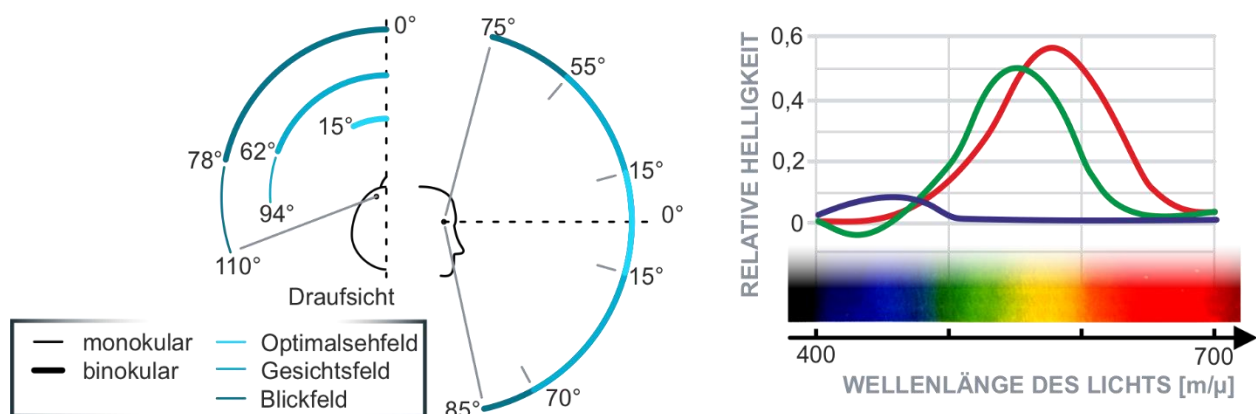


Abbildung 2.6: Sehfelder ohne Kopfbewegung (links), relative Farbhelligkeit (rechts) bearbeitet aus SCHMIDTKE [1981, S. 34] und GREGORY [1966, S. 121]

Wahrnehmung bewegter Objekte: Die Ortsveränderung des Wahrgenommenen ist uns Menschen, welche sich durch ihre Umgebung bewegen, evolutionär vertraut. Erst aus der kognitiven Entscheidung, welche Objekte fest und welche bewegt sind, können

Ableitungen von wahrgenommenen Größen, Entfernungen und Geschwindigkeiten getroffen werden. Aufgrund der gegenseitigen Bedingung dieser Wahrnehmungsmaße führt ein einzelner Wahrnehmungsirrtum zwangsläufig zu einer Fehlbeurteilung der andere Wahrnehmungsurteile. Dies lässt darauf schließen, dass visuelle Reizattribute kombiniert verarbeitet werden. [vgl. GREGORY 1966, S. 112 f.]

2.1.5 Kognitive Informationsverarbeitung

Die Verarbeitung der empfangenen Information unterliegt verschiedenen kognitiven Prozessen. Bei der visuellen Informationsverarbeitung spielen spezielle Abläufe der Reizinterpretation eine wichtige Rolle. Mittels retinaler Wahrnehmung kann die Bedeutung, Auswahl, Ordnung und Menge von Objekten nach BERTIN [1983], [vgl. JULIE 2012, S. 527] über bestimmte Parameter beeinflusst werden. Diese können hinsichtlich ihres Einflusses auf den Informationsverarbeitungsprozess parallel (p_i) oder seriell (s_i) erkannt werden [vgl. HELANDER ET AL. 1997, S. 116] und kategorisieren sich wie folgt:

- Größe / Form (s_i),
- Helligkeit (Value) (p_i),
- Textur (p_i),
- Farbe (p_i),
- Orientierung (s_i),
- Form (s_i).

Das dadurch beeinflusste Blickverhalten richtet sich dabei intuitiv und möglichst ökologisch nach den informativsten Bereichen aus [KAHNEMAN 1973, S. 56]. So beschreiben TATLER [2007] und TATLER ET AL. [2005] in ihren Interfaceuntersuchungen ein spezielles Verhalten im Umgang mit grafischen Interfaces, den Bias der zentralen Fixation (engl. Central Fixation Bias). Dabei richtet sich der Blick automatisch auf das Zentrum eines neu erscheinenden Screens, welches mutmaßlich den Ausgangspunkt einer optimalen Informationsgewinnung für den visuellen Wahrnehmungsprozess darstellt. Bei der weiteren Informationsaufnahme nimmt die Aufmerksamkeitsintension eine wesentliche Rolle ein. Mögliche Ansätze, diese Aufmerksamkeit durch exogene Reize mit Hilfe gestalterischer Manipulation der Informationen grafisch zu beeinflussen, sind nach PREIM & DACHSELT [2015, S. 542-560]:

- Hervorheben,
- Unterdrücken,
- mehrstufiges Verzerrern,
- kontinuierl. Verzerrern,
- magische Linse (mehr Information im Zielbereich).

Speicher zur Informationsverarbeitung: Die menschliche Informationsverarbeitung erfolgt mittels des weit verbreiteten Multi-Speicher-Modells auf Basis von drei verbundenen Informationsspeichern: kurzweilige sensorische Speicher haben zwar eine hohe Kapazität, verlieren die visuelle Information allerdings schon nach 0,2 Sekunden, insofern der Stimulus nicht wiederholt dargeboten wird. Das nachgeschaltete Arbeitsgedächtnis hat eine begrenzte Kapazität und hält vor allem symbolische Informationen

ca. 15 Sekunden. Das Langzeitgedächtnis stellt einen nahezu unbegrenzten Speicher dar und dient unter anderem zur Mustererkennung aufgrund der Informationen im sensorischen Speicher durch Heranziehen der gespeicherten semantischen, episodischen und prozeduralen Informationen. [PREIM & DACHSELT 2015, S. 33 f.]

Bei der Verarbeitung von visuell wahrgenommenen Informationen scheint eine grundsätzliche Korrelation zwischen Informationsdichte und Interaktionszeit zu existieren, wie TULLIS [1984] in Studien am Beispiel von Suchaufgaben nachweist. Dabei erfolgt die Beeinflussung der visuellen Informationsverarbeitung durch die Gestaltung von Objekten nach festen kognitiven Prozessen. In diesen scheint die Mustererkennung eine wesentliche Rolle zu spielen, um die Informationsdichte des Wahrgenommenen zu reduzieren. Diese ist definiert als *„komplexe Komposition von sensorisch wahrgenommenen Reizen, welche ein menschlicher Beobachter als Bestandteil einer Gruppe von Objekten wiedererkennen vermag“* [übers. SOLSO 1991, S. 86]. Dabei definiert sich eine Gestalt nach GLEITMAN [1991] in Übereinstimmung mit verschiedenen Gesetzen der Ordnung, welche sich nach ANDERSON [1996, S. 43] zu folgenden Gestaltgesetzen formulieren lassen:

- Gesetz der Nähe,
- Gesetz der Ähnlichkeit,
- Gesetz des glatten Verlaufs,
- Gesetz der Geschlossenheit.

und nach GUSKI [2000], [vgl. GOLDSTEIN 2015] mit folgenden Prinzipien erweitert werden:

- Prinzip der Prägnanz,
- Prinzip des gemeinsamen Schicksals,
- Prinzip der gemeinsamen Region,
- Prinzip der zeitlichen Synchronisation,
- Prinzip der Verbundenheit von Elementen.

Heuristiken: Heuristiken beschreiben erwünschte Eigenschaften der Interaktion zwischen dem Nutzer und einem interaktiven System. [vgl. LAVERY ET AL. 1997] Die Verletzung einer Heuristik drückt sich oft durch eine Bedienproblematik aus, welche im Prozess der Evaluation erkannt wird und in der Interfacegestaltung zu lösen ist.

Metapher: Der Einsatz einer Metapher in grafischen Systemen stellt eine visuelle Repräsentation von Objekten der realen Welt auf Grundlage der ihr innewohnenden Bedeutung dar [vgl. BÖLKER ET AL. 2010, S. 117 f.]. KUHN [2007] beschreibt diese als eine unvollständige und teils erweiterte Abbildung von Aspekten einer Quell- in eine Zieldomäne. Auf dieser Basis wird Metaphern auch vielseitig in der Interfacegestaltung eingesetzt, um schnelle Rückschlüsse auf die dem interaktiven Objekt innewohnenden Funktionalität zu ermöglichen, wie z.B. das Symbol eines Mülleimers als Ort von nicht mehr benötigten Dateien eines Betriebssystems. Für das Einsatzfeld der Interface-

gestaltung hat HUTCHINS [1989] eine treffende Metapherklassifikation bereitgestellt, welche Metaphern in Bereiche der Aktivität, Interaktionsart und Aufgabenbereich unterteilt. Metaphern können dabei auf fünf dichotomen Attributkategorien aufgebaut werden [vgl. VÄÄNÄNEN & SCHMIDT 1994], die aus der Verständniswelt des Anwenders (User Mental Model) zu stammen haben:

- real / imaginär,
- flexibel / strikt,
- konkret / abstrakt,
- räumlich / zeitlich.
- generell / spezifisch,

Ein gezielter Einsatz von Metaphern und Heuristiken kann sich förderlich auf verschiedenen Aspekte des Kognitionsprozesses auswirken und stellt die Grundpfeiler weitreichender Gestaltungsrichtlinien zur nutzergerechten Interfacegestaltung dar (vgl. Kapitel 2.2.2). Beispielhaft tragen CARD ET AL. [1991] Empfehlungen zur grafischen Informationsdarbietung in Interfaces zusammen, welche Einfluss auf den kognitiven Verarbeitungsprozess nehmen (auszugsweise in Tabelle 2.1 dargestellt).

| Parameter | beispielhafte Empfehlung |
|--|---|
| 1. Ressourcen erhöhen | Transfer von kognitiven- zu Wahrnehmungsaufwand |
| 2. Suchen verringern | Erzeugung visueller Gruppen |
| 3. Verbesserung von Mustererkennung | Erkennen anstatt Erinnern |
| 4. Schlussfolgern durch Wahrgenommenes | visuelle Darbietung von Prozessen |
| ... | ... |

Tabelle 2.1: Informationsdarbietung zur Förderung kognitiver Prozesse
[CARD ET AL. 1991]

Der Einfluss von Blicksteuerung auf die mentale Last: Wie von KAHNEMAN [1973] beschrieben, spielt die mentale Last (engl. Mental Load) eine maßgebliche Rolle bei kognitiven Verarbeitungsprozessen. Untersuchungen von RAYNER [1978] haben angedeutet, dass die Interaktion mit blickgesteuerten Systemen, aufgrund der Überlagerung von Sender- und Empfängerfunktion des visuellen Sehapparates, zu Ressourcenintensiveren kognitiven Prozessen führt. Dies äußert sich bei kritischer Last in längeren Fixationen und einem geringeren wahrgenommenen Bereich um die Fixation (engl. Functional Field of View). Dabei verringern sich die Sakkadenamplituden, wohingegen die Höhe der sakkadischen Geschwindigkeitsspitzen steigt. Darüber hinaus können weitere physiologische Veränderungen des visuellen Wahrnehmungsprozesses bei erhöhter mentaler Last beobachtet werden, wie z.B. die Reduktion der Blinzelhäufigkeit. [vgl. MARAJANTA ET AL. 2012, S. 141-142]

2.2 Interfacegestaltung

Die Gestaltung einer visuellen Unterstützung für eine blickgesteuerte MTI wird neben den in Kapitel 2.1 erläuterten Aspekten zur visuellen Informationsverarbeitung auch von den Freiheitsgraden und Restriktionen des grafischen Interfaces beeinflusst. Aus diesem Grund ist eine Sichtung etablierter Gestaltungsempfehlungen für den Aufbau und die Bedienung derartiger Interfaces notwendig, um darauf basierend sinnvolle Ableitungen für die Gestaltung von Blickgesteninterfaces (vgl. Kapitel 4.3) zu erhalten. Ein interaktives System mit einer hohen Benutzungsqualität und ästhetischer Qualität ruft in dem Anwender äußerst positive Gefühle wie z. B. Freude, Vertrauen und Beherrschung des Systems hervor. Diese können bei mangelnder Qualität aber genauso deutlich in negative Gefühle umschlagen. [vgl. SHNEIDERMAN 2002, S. 227]

Um die bestehenden Konflikte zwischen Nutzerverhalten und Systemreaktion bei einer neuartigen Bedienmodalität wie der Blicksteuerung zu lösen, ist ein grundlegendes Verständnis über die Mensch-Technik-Interaktion und deren Einflüsse umso wichtiger.

2.2.1 Blickbasierte Mensch-Technik-Interaktion

Die Interaktion mit technischen Systemen unterliegt, wie jede Handlung, mehreren Phasen: Zielbildung, Orientierung, Planung und Ausführung [vgl. VOLPERT 1983]. Darüber hinaus ist die damit verbundene Handlungsregulation auf drei hierarchischen Ebenen aufgeteilt nach [RASMUSSEN 1983], [HACKER 1998]:

- Intellektuelle Regulation – wissensbasierte Handlungssteuerung,
- Perzeptiv-begrifflichen Regulation – Handlungsentwürfe zur Reizverarbeitung,
- Sensomotorische Regulation – stereotypische Handlungsformen.
(z. B. Bewegungskoordination)

Die von NORMAN [1986] im Kontext der Mensch-Computer Interaktion (Human Computer Interaction, kurz HCI) beschriebene Interaktionsdefinition bezeichnet diese als durch Nutzerziele motivierte, durchgeführte Aufgaben und steht daher mit der Handlungsregulierungstheorie im Einklang. Bei dem Gestaltungsprozess ist der Gestalter verantwortlich, sein konzeptuelles Modell derart in die Interfacegestalt (kurz IG) als Teil der Produktgestalt (kurz PG) [vgl. SCHMID & MAIER 2017, S. 30] zu implementieren, sodass dessen Funktionsweise dem mentalen Modell des Anwenders entspricht [NORMAN 1986]. Dies gilt neben der HCI ebenso für die allgemeiner bezeichnete Mensch-Technik-Interaktion (kurz MTI). Im Kontext der MTI wird das Interface aus Art und Anzahl der Stellteile (S_i) und Anzeiger (A_i) (aktive IG), deren Anordnung im Produkttragwerk, sowie allen Kontaktflächen zwischen Mensch und Produkt (passive IG) definiert [EBD., S. 32]. Im expliziten Fall eines blickgesteuerten Interfaces wird die Sensorik

zusammen mit, im Interface dargestellten, Steuerungselementen als *visuelles Stellteil* bezeichnet [vgl. EBD., S. 147]. Selbst bei der typischen HCI werden physische Peripherien (engl. Tangible User Interfaces) als Schnittstellen verwendet, um die meist digital hinterlegten Funktionen zu steuern (Wirkteil, kurz W) und um die Ergebnisse der Manipulation anzuzeigen [JULIE 2012, S. 468 f.].

Bei der monomodalen visuellen Blicksteuerung entfällt eine solche Peripherie jedoch gänzlich. Daher ist es bei der Gestaltung des virtuellen Interfaces erforderlich, die sonst über die haptische Peripherie vermittelten relevanten Informationen dem visuellen Informationsverarbeitungsprozess (Kognition) anzubieten [vgl. SCHMID & MAIER 2017, S. 119-121]. Darüber hinaus erfährt diese, zur Interaktion verwendete, Modalität die bereits in Kapitel 2.1 beschriebene Überlagerung der empfangenden Funktion (Wahrnehmung) und der sendenden Funktion (Betätigung). Die beschriebenen Bereiche der MTI werden wiederum von den Faktoren der Umgebung bzw. Umwelt beeinflusst. Diese Faktoren werden nach HELANDER ET AL. [1997, S. 164] in die Kategorien: Inhalte (Akteure und Objekte, z.B. Anzahl interagierender Personen), Geometrie (Dimensionen, Metriken, Umfang, z.B. Helligkeit und Lärm) und Dynamik (Interaktionsgesetze, z.B. statische und dynamische Verlagerungen) aufgeteilt. Das in Abbildung 2.7 dargestellte Mensch-Technik-Interaktions-Basisschema dient zur Veranschaulichung der genannten Zusammenhänge.

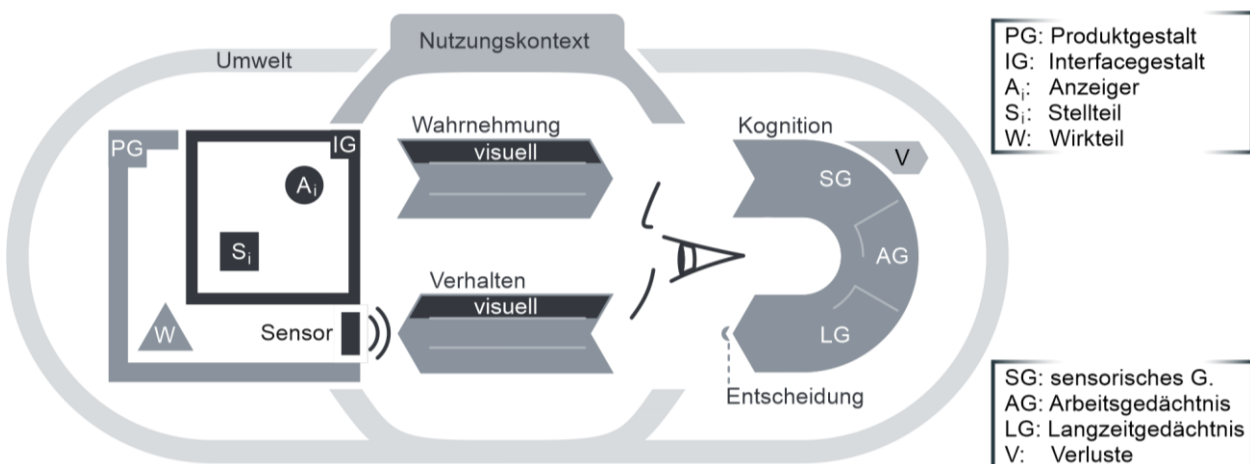



Abbildung 2.7: Mensch-Technik-Interaktions-Basisschema für die Blicksteuerung

2.2.2 Gestaltungsempfehlung grafischer Nutzerschnittstellen

Die Evaluation einer visuellen Unterstützung während der Blickgestenausführung erfordert eine speziell auf diese Interaktionsmodalität abgestimmte, erlebbare Interfacegestaltung. Dabei unterliegt die blickgestengesteuerte Mensch-Technik-Schnittstelle prinzipiell denselben Grundprinzipien einer gebrauchstauglichen Gestaltung, wie andere virtuell ausgerichtete Interfaces. Die Gebrauchstauglichkeit (engl. Usability) nach

DIN EN ISO 9241-11 [2018] gibt dabei Auskunft über die Interfacequalität und die Eignung eines Produktes bei der Nutzung durch bestimmte Benutzer in einem bestimmten Nutzungskontext die vorgegebenen Ziele effektiv und effizient und zufriedenstellend zu erreichen.

Im Sinne der funktionalen Umsetzung sind virtuelle Interfaces als grafische Nutzerschnittstellen (engl. Graphical User Interfaces, kurz GUI) zu betrachten, für welche bereits etablierte Gestaltungsprinzipien und Empfehlungen vorhanden sind. Bei deren Betrachtung ist festzustellen, dass *„bei den meisten interaktiven Systemen [...] die Bildschirmpräsentationen eine Schlüsselkomponente erfolgreicher Designs und gleichermaßen die Quelle endloser Debatten [darstellen]“* [SHNEIDERMAN 2002, S. 448]. Diese Äußerung zeigt die Komplexität auf, sich bei einer Gestaltung nach nur einer bestimmten Empfehlung zu richten. Aus der Forschung und Entwicklung stammen daher bereits eine Vielzahl an Richtlinien, Empfehlungen und Prinzipien welche je nach Anwendung einen unterschiedlichen Schwerpunkt aufweisen, jedoch wiederkehrende Gemeinsamkeiten besitzen [TULLIS 1988A], [TULLIS 1988B], [MARCUS 1992]. Nach SARODNICK & BRAU [2011, S. 124] lassen sich fünf Kategorien von Gestaltungsrichtlinien (engl. Guidelines) unterscheiden, welche nach ihrem Maß der Spezifikation nachfolgend aufgelistet sind [vgl. PREIM & DACHSELT 2015, S. 239]:

- Gestaltungsregeln,
 - Ergonomische Algorithmen,
 - Richtlinienammlung,
 - Styleguides,
 - Standards und Normen.
- 
- spezifisch / lose
- unspezifisch / richtungsweisend

Richtlinien zur Gestaltung von Mensch-Technik-Schnittstellen: Das Verwenden von Standards und einer konsistenten Bedienlogik verringert die Notwendigkeit seitens des Anwenders, neue Repräsentationen und Werkzeuge zu erlernen, mindert auf der anderen Seite jedoch auch Möglichkeiten zur Innovation. Daher hat der Designer eine verantwortungsvolle Rolle in der Aufrichterhaltung der Balance zwischen Konsistenz und Innovation in der Interaktionsgestaltung. Da Blicksteuerung immer noch ein neuartiges Interaktionsprinzip darstellt, ist es mit Blick auf die Evaluation somit umso wichtiger, sich an vertrauten Interfacegestaltungsprinzipien zu orientieren, um keine ungewünschten Einflussfaktoren aus der Interfacegestaltung miteinfließen zu lassen. Dabei ist eine konsistente Gestaltung über alle Teilgestalten des Interfaces umzusetzen.

Im Sinne der Produktteilgestalten von SCHMID & MAIER [2017, S. 30] berücksichtigt die strukturelle Konsistenz die Anordnung von Bedienelementen, die grafische Konsistenz hingegen Form, Farbe und Grafik und die Interaktionskonsistenz Betätigungsarten und

Reaktionen des Systems [vgl. PREIM & DACHSELT 2015, S. 215 f.]. Analog zu diesem Ansatz sind auch die allgemein gehaltenen Richtlinien auf die einzelnen Teilgestalten des Produkts und somit auch explizit auf die Interfacegestalt anwendbar.

Die 10 Interfacegestaltungsregeln nach NIELSEN & MOLICH [1994] bezeichnen gängige Empfehlungen auf Makroperspektive (Heuristiken) zur Interfacegestaltung. SHNEIDERMAN [2002, S. 100-102] hat in 8 goldenen Regeln explizitere Gestaltungsprinzipien zusammengetragen. Auch die Gestaltungsrichtlinien zur Fehlerreduktion nach HELANDER ET AL. [1997] befinden sich ähnlicher Konkretisierungsebene. Nachfolgend sind die maßgeblichen Richtlinien im Sinne einer gebrauchstauglichen Interfacegestaltung in Tabelle 2.2 zusammengetragen.

| Richtlinie | Quelle |
|---|---|
| • Sichtbarkeit des Systemstatus | [NIELSEN & MOLICH 1994], [SHNEIDERMAN 2002] |
| • Kompatibilität System und reale Welt | [NIELSEN & MOLICH 1994] |
| • Benutzerkontrolle und Freiheit | [NIELSEN & MOLICH 1994], [SHNEIDERMAN 2002] |
| • Konsistenz und Standards | [NIELSEN & MOLICH 1994], [SHNEIDERMAN 2002] |
| • Fehler vermeiden | [NIELSEN & MOLICH 1994], [HELANDER ET AL. 1997], [SHNEIDERMAN 2002] |
| • Erkennen statt Erinnern | [NIELSEN & MOLICH 1994], [SHNEIDERMAN 2002] |
| • Flexibilität und effiziente Nutzung | [NIELSEN & MOLICH 1994] |
| • Ästhetisches und minimalistisches Design | [NIELSEN & MOLICH 1994] |
| • Unterstützung beim Erkennen; Verstehen und Bearbeiten von Fehlern | [NIELSEN & MOLICH 1994], [HELANDER ET AL. 1997], [SHNEIDERMAN 2002] |
| • Hilfe und Dokumentation | [NIELSEN & MOLICH 1994] |
| • Für unterschiedliche Nutzer gestalten | [SHNEIDERMAN 2002] |
| • Bedienkonsequenzen aufzeigen | [SHNEIDERMAN 2002] |

Tabelle 2.2: Gestaltungsrichtlinien für ein gebrauchstaugliches Interface

Diese Richtlinien dienen der Gewährleistung bestimmter (Produkt)-Dialogeigenschaften, welche sich nach ISO 9241-110 [2020] in Aufgabenangemessenheit, Selbsterklärungsfähigkeit, Erwartungskonformität, Lernförderlichkeit, Steuerbarkeit, Fehlertoleranz, Nutzerbindung (übers. User Engagement) unterteilen. Doch Gestaltungsrichtlinien entstammen nicht nur der akademischen Forschung, sondern auch der industriellen Praxis, welche diese als eine Art firmenspezifischen Gestaltungskodex zur Verfügung stellen. Als Beispiel sind die GUI-Guidelines von Unternehmen wie z. B. Apple zu nennen. [vgl. APPLE 2019]

Für die Kriterien des Nutzererlebnisses (engl. User Experience, kurz UX) ist auf Morville [SEMANTICSTUDUIOS 2019] und seine 7 UX Prinzipien zu verweisen. Deren Berücksichtigung spielt bei der Gestaltung von Produkten eine wichtige Rolle. Für die Evaluation der rein funktionalen Aspekte der Unterstützung werden die Aspekte der UX in der

vorliegenden Arbeit jedoch nicht weiter betrachtet. Dasselbe gilt für die formal, ästhetischen Gestaltungsprinzipien, welche zu einer angenehmen Erscheinung des Interfaces beitragen und somit den Anreiz zur Interaktion erhöhen. Als weiterführende Literatur ist an dieser Stelle MARCUS [1992] zu nennen.

Prinzipien zur Orientierung und Navigation in grafischen Nutzerschnittstellen:

Unabhängig von der Bedienmodalität können spezifische Gestaltungsregeln für grafische, virtuelle Interfaces herangezogen werden, um die bereits genannten Dialogeigenschaften zu erfüllen. Ein besonderer Fokus liegt bei diesen Regeln auf der Orientierung innerhalb eines Screens, welcher den spezifischen Menüaufbau eines grafischen Interfaces darstellt und der Navigation im gesamten Menüstruktur. Die Orientierung (Informationsaquisie) und Navigation (Handlung) kann durch bestimmte Grundstrukturen, so genannte Baumstrukturen [vgl. JULI 2012, S. 532], sinnvolle Verknüpfungen von Funktionen und Screens bereitstellen, um den Arbeitsfluss (engl. Workflow) zu unterstützen. Wichtige Aspekte dafür sind die Implementierung eines Home-Screens als Ausgangspunkt wesentlicher Aufgaben, sowie die Gestaltung eines horizontal oder vertikal orientierten Flusses innerhalb des Screens durch Ausrichtung von zusammengehörigen Interfaceinhalten. [WEINSCHENK & YEO 1995, S. 51-53]

Screen-übergreifend existieren in einem Interfacemenü Verknüpfungen verschiedener Kategorien, welche sich nach ihrer Dimension und der Berücksichtigung von Hierarchien unterscheiden (Abbildung 2.8). [vgl. EBD., S. 187-189].

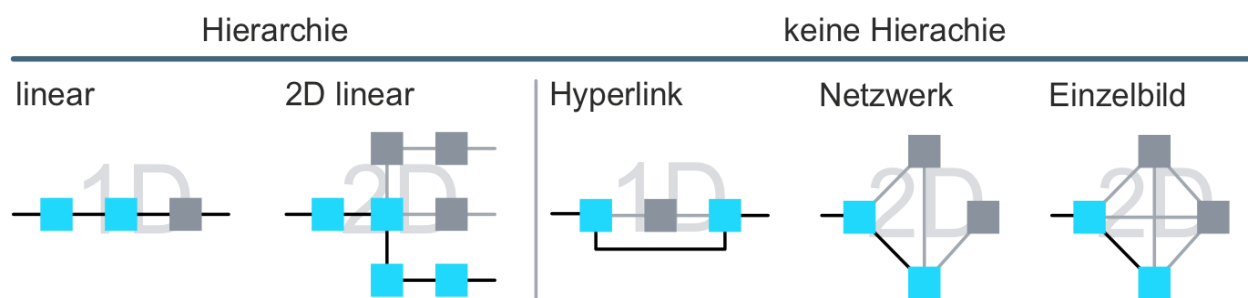


Abbildung 2.8: Kategorien von Baumstrukturen zur Menünavigation

In einem Menü mit Baumstruktur werden Interfaceelemente nach Kategorien zusammengefasst [CLAUER 1972], [NORMAN 1991]. Somit besitzen derartige Menüaufbauten die Möglichkeit große Datenmengen übersichtlich und leicht zugänglich zu halten. Ein wesentlicher Aspekt bei der Gestaltung solcher Menüs ist das Verhältnis zwischen Menütiefe und -breite. Untersuchungen von LANDAUER & NACHBAR [1985] sowie WALLACE ET AL. [1987] zeigen auf, dass breitere Menüs mit flacherer Tiefe (3 Ebenen x 4 Elemente) besser zu navigieren sind als tiefere Menübaume mit geringerer Breite (6 Ebenen x 2 Elemente).

Diese Untersuchungen werden durch das Hick'sche Gesetz gestützt. Dieses stellt den Zusammenhang zwischen Objektanzahl (n) und Entscheidungsfindung (RZ) unter Einfluss der Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit (IV) und Bewegungszeit des Manipulators (BZ) dar. Auch wenn es viele Ausnahmen zu dieser Regel gibt, wie z. B. der Einfluss einer bereits bestehenden Intension, zeigt dieser Zusammenhang dennoch den grundlegenden Effekt auf die Performanz durch zu viele visuelle Informationen auf einer Menüebene auf: [HICK 1952]

$$RZ = BZ + \log^2(n) * IV \quad (2.1)$$

Weitere Menüaufbauten sind Menü-Landschaften und virtuelle Desktops (Schreibtische). Diese werden verwendet, wenn die Tiefe von Baummenüs zu groß wird [SHNEIDERMAN 2002, S. 298]. Virtuelle Desktops dienen räumlich linear zur Orientierung [PREIM & DACHSELT 2015, S. 314]. Nutzerangepasste Menüstrukturen können individualisiert oder durch Anzeigen bzw. Weglassen von Informationen und Schaltflächen angepasst an die Nutzerexpertise erstellt werden [HELANDER ET AL. 1997, S. 567].

Bereiche des Interfaces: Innerhalb eines Screens sind die verfügbaren Bereiche hinsichtlich der Bedienungsaufgabe in primäre (wichtige Funktionen mit häufiger Nutzung), sekundäre (wichtige Funktionen mit moderater Nutzung) und tertiäre Bereiche (unwichtigere Funktionen) aufzuteilen [vgl. STAPELKAMP 2007, S. 236]. Nach Schmid & Maier [2017, S. 169] wird der Screen bei der Interfacegestaltung von Menüs mit direkter Eingabemodalität (Touch) in Statusbereich, Arbeitsbereich, permanenten Funktionenbereich, kontextabhängigen Funktionsbereich und Hauptbedienbereich aufgeteilt [vgl. VDI/VDE 3850-3 2015].

2.2.3 Elemente von grafischen Nutzerschnittstellen

Interfaceelemente ermöglichen dem Anwender die grundsätzliche Interaktion mit dem technischen System und stellen daher eine entscheidende Komponente der Schnittstellengestaltung dar. Wie in Kapitel 2.2.1 beschrieben, können diese Elemente in Stellteile, Anzeiger und Wirkteile unterteilt werden. Visuelle, analoge Anzeigen werden dabei in der Regel durch einen Anzeiger in Verbindung mit einer Skale und Symbolen dargestellt [vgl. SCHMID & MAIER 2017 S. 133-136]. Während Anzeiger rein der menschlichen Informationsaufnahme dienen, besteht der Hauptzweck von Stellteilen in der Kopplung von Anwenderhandlung (Bewegung und Kräfte) und der damit verbundenen Manipulation des technischen Systems. Zugleich können Stellteilen ebenfalls einen gewissen informativen Charakter haben. [vgl. SEEGER 2006, S. 43]

Die Gestaltung der eingesetzten Stellteile hängt stark von der Kopplungsart ab, über welche der Anwender mit den Elementen in Interaktion treten kann. Diese Kopplungsart

definiert sich maßgeblich über die eingesetzten Technologien zur Erfassung der psychophysischen Fähigkeiten des Anwenders und deren Leistungsfähigkeit zur Weitergabe in Richtung des Wirkteils.

X-Kompatibilitäten: Im Kontext der technischen Interfacegestaltung bestehen im konkreten Zusammenwirken zwischen Anzeigern, den zugehörigen Stellteilen und Wirkteilen bestimmte Prinzipien – sogenannte Kompatibilitäten, welche seit ihrer Einführung in das MTI-Forschungsfeld immer weiter verfeinert werden [vgl. SCHMIDTKE 1981], [BUBB 1992], [BULLINGER 1994], [TIMPE ET AL. 2000]. SCHMID & MAIER [2017, S. 175] fassen diese bestehenden Anforderungen der Anzeiger-Stellteil-Wirkteil-Beziehung (kurz A_iS_iW, vgl. Kapitel 2.2.1) in den X-Kompatibilitäten zusammen (Abbildung 2.9).

Eine Verletzung dieser Kompatibilitäten kann zu syntaktischen Widersprüchen in der Bedienung führen und sich somit negativ auf das Systemverständnis des Anwenders auswirken. Daher ist auch bei der Gestaltung virtueller Interfaces eine Berücksichtigung dieser Kompatibilitäten notwendig.

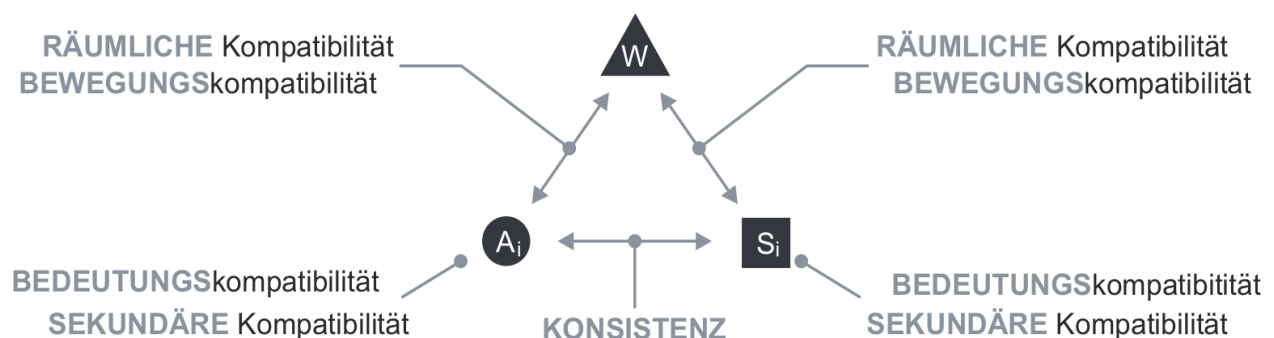


Abbildung 2.9: X-Kompatibilitäten in A_iS_iW -Beziehung [SCHMID & MAIER 2017, S. 175]

Aufgrund der Verwendung des Auges als Manipulator in der Blicksteuerung im Allgemeinen und der Blickgestensteuerung im Speziellen werden sämtliche Kopplungseigenschaften und Kompatibilitäten in der A_iS_iW-Beziehung in dem visuellen Stellteil zusammengefasst [vgl. EBD., S. 146]. Die im Folgenden betrachteten, für die Blickgestensteuerung relevanten, Aspekte dienen der fachlichen Ergänzung der in Kapitel 3.2 erläuterten modalitätsspezifischen Einflüsse auf die Interfacegestalt. Einen großen Bestand von grundlegenden Werken stellen detaillierte Gestaltungsempfehlungen hinsichtlich einer Vielzahl von Interfaceelementen dar [vgl. WEINSCHENK & YEO 1995], [STAPELKAMP 2007]. Die für ein blickgesteuertes Interface in Frage kommenden Elemente müssen durch bestimmte Handlungen manipulierbar sein, welche KENNETH ET AL. [1994] wie folgt unterteilt:

- Selektion,
- Öffnen / Schließen,
- Ziehen und Ablegen, (engl. *Drag & Drop*)
- Scrollen,
- Kopieren / Speichern,
- Vergrößern /Verkleinern.

In der tatsächlichen Anwendung finden sich diese interaktiven Elemente (kurz IE) nicht nur in ihrer grundsätzlichen Form, sondern je nach Kontext auch in Mischformen unterschiedlicher Ausprägung wieder. Hierzu dienen die in Tabelle 2.3 ausgewählten interaktiven Elemente als Übersicht.







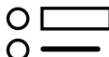
| Elementtyp | | Merkmale | |
|--|---|---|--|
| Schalter & Knöpfe |  | einzelnes interaktives Element mit zwei Zuständen | [SHNEIDERMAN 2002, S. 286] |
| Auswahllisten & Check-Boxen |  | Elementgruppe aus mehreren binären Elementen | [SHNEIDERMAN 2002, S. 288] |
| Pull-Down |  | jederzeit verfügbar (meist im oberen Screenbereich) | [SHNEIDERMAN 2002, S. 289] |
| Pop-Up & Marking Menü |  | Inhalt hängt bei Betätigung vom Ort des Zeigers (Blickes) ab, z. B. Kontextmenü durch rechten Mausklick. Auswahl innerhalb des Menüs durch gestenähnliche Bedienung möglich (Klick & Swipe) | [SHNEIDERMAN 2002, S. 290], [PREIM & DACHSELT 2015, S. 346 f.] |
| Scroll-Leiste & zweidimensionales Menü |  | zur Navigation oder Manipulation in Form von Schiebereglern, Interaktion verlangt eine kontinuierliche Steuerung | [SHNEIDERMAN 2002, S. 291] |
| Werkzeuglisten & Menüs |  | Menüleisten und Reiter besitzen eine umschaltende Funktion, zur Aktivierung neuer Interfaceinhalte oder Bearbeitungsfunktionen | [SHNEIDERMAN 2002, S. 293] |
| Dialogboxen |  | zur Lösung zusammenhängender Interaktionsschritte, bei Verwendung von Vorselektionen | [PREIM & DACHSELT 2015, S. 376, 412] |








Tabelle 2.3: Elemente zur Interaktion in virtuellen Interfaces

Beim Abgleich der Gestaltungsrichtlinien für physische und virtuelle Stellteile zeichnen sich ähnliche Gestaltungsparameter ab. [vgl. BOWMAN ET AL. 1997, S. 47] Diese sind auch bei der Gestaltung von blickgesteuerten, virtuellen Stellteilen mit zu berücksichtigen. Die bereits in Kapitel 2.2.2 aufgeführten Gestaltungsprinzipien erweisen sich für die gestalterische Definition eines solchen Stellteils als zu unspezifisch. Daher wird im Folgenden genauer auf die Gestaltungsparameter eingegangen, welche zur Erstellung eines virtuellen Interfaces definiert werden müssen.

Visuelle Parameter des Interfaces: Der Einfluss der Farbe erweist sich bei den visuellen Interfaceparametern als ein zentraler Aspekt, nicht nur wegen der technologischen Darbietungsform virtueller Interfaces durch die Verwendung illuminierender Elemente, sondern auch aufgrund der sensorischen Wahrnehmungsfähigkeit des

Menschen. Die ausgewogene Verwendung von Farbe in einem Interface wirkt für den Nutzer nicht nur ansprechend. Ein gezielter Farbeinsatz verbessert auch gleichzeitig die Aufgabenerfüllung. [vgl. SHNEIDERMAN 2002]

Die Farbgebung unterstützt bei der Erkennung und Auffinden bestimmter Informationsarten und vermag die Aufmerksamkeit auf wichtige Informationen, wie z. B. Warnungen zu lenken. Dabei ist eine konsistente Verwendung sowie die Orientierung an bekannten Standards zur Farbkodierung, wie der DIN EN ISO 9241-12 [2000], zu beachten. Die Verwendung von Farbe – bestehend aus den Parametern: Farbton, Sättigung und Helligkeit, hat einen maßgeblichen Effekt auf die Wahrnehmung von virtuellen Stellteile. Durch diese Bestandteile der Farbe werden visuelle Parameter den Anwender erst wahrnehmbar, welche nach BERTIN [1974] wie folgt kategorisiert werden:

- Position, 
- Größe, 
- Orientierung, 
- Form, 
- Sättigung, 
- Textur, 
- Farbe. 

Effekte, die bei der Verwendung von Farbe im Interface ebenso zu berücksichtigen sind, sind die sich kulturell unterscheidende Wirkung und damit verbundene Assoziation von Farbe, sowie negative Auswirkungen von Sehschwächen wie Farbfehlsichtigkeit und Farbblindheit [vgl. WICK & WICK 1987, S. 14, 32], [FRANCOIS & HOLLWICH 1977]. In Anbetracht von Sehschwächen wie Farbfehlsichtigkeit und Farbblindheit sollten Farbtöne stets auch in Kombination mit verschiedenen Helligkeiten verwendet werden. [WEINSCHENK & YEO 1995, S. 85].

Diese gestalterischen Aspekte im Umgang mit Sehschwächen stellen zwar ein eigenständiges Wissensfeld dar, stehen jedoch nicht im Fokus dieser Arbeit und werden daher weiterführend nicht berücksichtigt.

Grafiken und Symbole als Anzeiger im Interface: Die im virtuellen Interface verwendeten informativen Grafiken auf oder in der Nähe von interaktiven Elementen werden als Icons bezeichnet. Ein Icon repräsentiert durch eine gezielte Abstraktion der Realität in Form einer bildlichen Darstellung oder einem Symbol ein bestimmtes Konzept [ROGERS 1989], [MARCUS 1992]. Die Assoziation der Bedeutung von Icons geht auf verschiedene „kognitive Stile“ [SHNEIDERMAN 2002, S. 251], sogenannte mentale Modelle zurück, welche auf den evolutionären und gesellschaftlichen Heuristiken des Individuums basieren.

Dabei ist die verwendete Metapher, näher an der Anwendungsaufgabe zu orientieren als an der technischen Operation des Systems [SHNEIDERMAN 2002, S. 331]. Die Icon-spezifischen Gestaltungsrichtlinien nach SHNEIDERMAN [2002, S. 252 f.] beschreiben die Einflussparameter auf die Gestaltung von Icons (engl. Icon-Design) über vier Ebenen [MARCUS 1992], [PREIM & DACHSELT 2015, S. 316] (Tabelle 2.4).

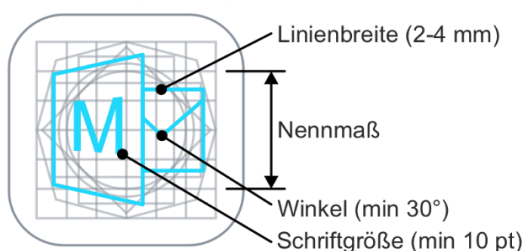
| Ebenen des Icon-Designs | Parameter |
|-------------------------|---|
| Lexikalische Qualitäten | Form, Farbe, Helligkeit, Blinken der Pixel |
| Syntaktiken | Linien, Muster, modulare Teile, Größe, Form, ausreichender Kontrast zum Hintergrund |
| Semantiken | konkret vs. abstrakt, teilweise vs. vollständig |
| Pragmatiken | insgesamt lesbar, Nutzen, identifizierbar, erinnerbar, erfreulich, einfach und klar, verständlich, einprägsam, leicht unterscheidbar, im selektierten Zustand klar von anderen Icons abhebbar |

Tabelle 2.4: Ebenen des Icon-Designs und deren Einflussparameter

Es gibt bereits ein breites Feld an Studien zur Wirkung von Grafiken und Icons im Umgang mit virtuellen Interfaces [vgl. HELANDER ET AL. 1997, S. 112]. Darüber hinaus sind universelle Standards für die Darstellung und Verwendung von Icons in der DIN EN 80416-1 [2009] niedergelegt (vgl. Abbildung 2.10). Icons in virtuellen Interfaces lassen sich grundsätzlich in drei Arten aufteilen: *Programmanwendung*, *Stellteile*, *Benachrichtigung* [WEINSCHENK & YEO 1995, S. 95].

Auch wenn Ordnungen und Vereinfachungen für die reine Informationsaufnahme hilfreich erscheinen, ist beim Icon-Design stets der informative Nutzen für den Betrachter im Vergleich zur ästhetischen Ausgestaltung höher zu gewichten [TIANYANG & XIAOLI 2017]. Bestimmte Systemzustände können durch eine Anpassung der Icon-Gestalt im virtuellen Interface dem Anwender sichtbar gemacht werden, z. B. die Zustandsänderung von einem leeren zu einem vollen Email-Postfach durch Anzeigen eines Brief-Icons oder nicht aktivierbare Funktionen durch Ausgrauen des Icons (Abbildung 2.10). PREIM & DACHSELT [2015, S. 318]

Grundraster (Grundfigur) nach DIN EN 80416-1



Zustand 1: Leeres Postfach Zustand 2: E-Mail im Postfach



Abbildung 2.10: Beispielhafte normgerechte Gestaltung eines an Microsoft Outlook 2010 angelehnten Icons mit mehreren Zuständen

Die Typographie spielt ebenfalls eine Rolle bei der Interfacegestaltung. Deren Einfluss wird in dieser Arbeit nicht berücksichtigt. Für weiterführende Literatur zum Einsatz von Typographie im Interfacedesign wird auf JULIE [2012] und WICK & WICK [1987] verwiesen.

2.3 Gesten zur Interaktion mit technischen Systemen

Eine Geste stellt nach Raskin, einem der Pioniere interaktiver Benutzerschnittstellen, *„eine kombinierte Sequenz menschlicher Aktionen, welche automatisch zu Ende geführt werden sobald sie begonnen hat [dar]“* [übers. RASKIN 2000, S. 37]. Aus dieser Aussage ist abzuleiten, dass eine Geste aus jeglicher wiederholbarer und erkennbarer „Bewegung oder Pose des Körpers bzw. von Körperteilen“ [DIN EN ISO 9241-960: 2017] zur Absicht der Kommunikation bestehen kann, welche von natürlichen, physischen Handlungen unterscheidbar ist.

Im Sinne einer gestengesteuerten MTI bezeichnet SAFFER [2008, S. 2] eine Geste als *„any physical movement that a digital system can sense and respond to without the aid of a traditional pointing device such as a mouse or stylus“*. Unter Berücksichtigung der, für interaktive Handlungen, maßgeblich verwendeten Körperteile können Gesten nach ihrer Art in Finger-, Freihand-, Kopf-, Mimik-, Blick-, und anderen Körpergesten unterschieden werden [PREIM & DACHSELT 2015]. Somit unterscheiden sich diese Gesten von Peripherie-basierten Gesten mit einer Maus oder einem digitalen Stift bei der Interaktion mit dem technischen System. In der zwischenmenschlichen Interaktion dient Gestik überwiegend als koverbale Interaktionsform zur Gewichtung bestimmter Inhalte. In Form von Gebärdensprache und Zeichensprache wird die Geste sogar als allein stehendes Kommunikationsmerkmal eingesetzt.

2.3.1 Grundprinzip von Gesten

Prinzipiell kann zwischen statischen (Pose) und dynamischen Gesten (Bewegung) unterschieden werden. Die dafür notwendige Gestenhandlung ist in verschiedene Phasen zu unterteilen, welche in dem nach McNeill benannten Phasenmodell zusammengetragen sind [vgl. MCNEILL 1992]. NOWACK [2017, S. 80] erweiterte dieses Modell in seiner Ausarbeitung um die Gestenausführungsweise (statisch, dynamisch). In der Einleitung der Geste wird der Operator (z. B. Hand, Arm, Auge) in den Gestenraum bewegt (1) in welchem dieser in einer Haltephase (engl. Pre-Stroke-Hold) (2) verweilt. Die eigentliche, der Geste die Bedeutung-gebende, Handlung (engl. Stroke) (3) kann aus mehreren statischen oder dynamischen Teilhandlungen bestehen, welche in einem abschließenden Verweilen (engl. Post-Stroke-Hold) (4) enden können. Der Operator kann anschließend wieder aus dem Gestenraum ausgeleitet (5) werden.

Eine ausgeführte Blickgeste ist innerhalb dieser Phasen durch bestimmte Faktoren parametrisierbar, auf welche nachfolgend eingegangen wird.

Die Präsenz beschreibt das Auffinden von einem oder zwei Augen (Bimanualität) im Gestenraum durch den Gestenempfänger. Im Gegensatz zu Hand- und Fingergesten befinden sich bei der Blicksteuerung die beiden Augen (Operatoren) im Gleichlauf. Daher dient die Bimanualität vorwiegend der sensorischen Robustheit. Im Gestenraum ist über die Position und Blickrichtung der Operatoren das Zielobjekt erschließbar. Die Gestenbewegung wird durch Blickbewegung (Orientierung) über eine bestimmte Dauer und Winkeländerung (Größe) ausgeführt, deren Bedeutung durch Konkatenation nahtlos verknüpfter Gesten erweitert und verändert werden kann (Abbildung 2.11). [vgl. PREIM & DACHSELT 2015, S. 520 f.]

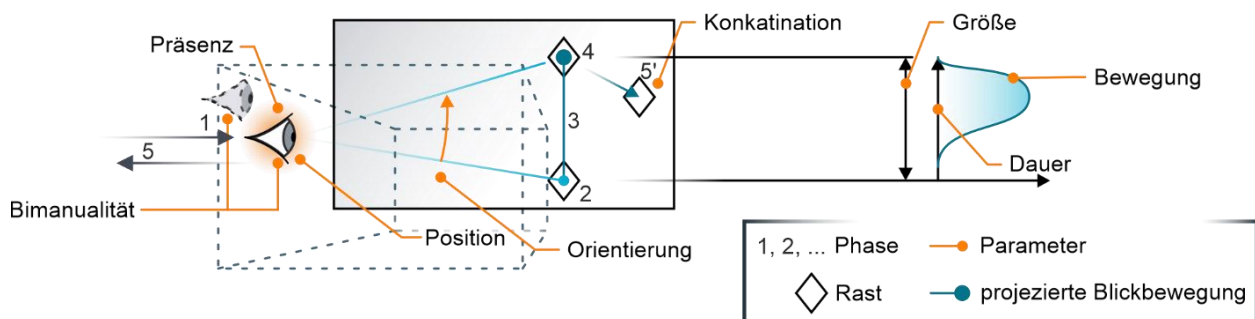


Abbildung 2.11: Phasen und Parameter der Blickgestenausführung

Die für die Interaktion mit technischen Systemen verwendeten Gesten können nach MCNEILL [1992] in drei Kategorien untergliedert werden. Abhängig von der Interaktionsumgebung und dem verwendeten Operator stellen sich bestimmte Gestentypen als geeigneter heraus. Symbolische Gesten stellen eine formale Beziehung zum semantischen Inhalt der intendierten Interaktion des Anwenders her, durch z. B. die Beschreibung der Form und Lage [vgl. JUNG ET AL. 2000].

Bei metaphorischen Gesten wird die Intension nicht durch korrekte Symbole, sondern durch abstrakte Metaphern beschrieben, wie z. B. das Zoomen mit zwei Fingern oder das Wischen zum Umblättern bei Handgesten auf Touch-Displays. Deiktische Gesten (Zeigegesten) werden verwendet, um bestimmte Objekte aus der Umgebung zu adressieren.

Die Anforderung an Blickgesten im Kontext der Interaktion mit virtuellen Interfaces besteht darin, die gewohnten Aktivitäten im Umgang mit solchen Systemen zu gewährleisten. Diese Aktivitäten können sich dabei auch aus mehreren Einzelhandlungen zusammensetzen und werden nach HELANDER ET AL. [1997, S. 67] und PREIM & DACHSELT [2015] in nachfolgende Nutzerintensionen gegliedert:

- Sehen,
- Navigieren,
- Steuern,
- Stöbern /
Explorieren,
- Konstruieren /
Rekonfigurieren,
- Gestalten,
- Suchen /
Filtern,
- Überwachen /
Selektieren,
- Abstrahieren /
Detaillieren,
- Filtern,
- Kodieren,
- Verknüpfen.

2.3.2 Interaktionsgesten für direkte Nutzerschnittstellen

Der von Ben Shneiderman verbreitete Begriff der direkten Manipulation bezog sich im Ursprung auf den Fortschritt von Computersystemen, Anwendungen nicht mehr mittels Text, sondern unmittelbar im grafischen Desktop, CAD oder anderen Umgebungen zu manipulieren. Der verwendete Kontext dieses Begriffs wandelte sich über die Jahre hin zur Beschreibung von Manipulationen durch direkte Bewegungen von Körperteilen. [vgl. SHNEIDERMAN 1994], [FORLEY 1987], [JACOB 1990] „Die direktmanipulative Handhabung – stark vom Vorbild der Interaktion in der „realen“ Welt geprägt – orientiert sich an Fähigkeiten und Fertigkeiten der Benutzer [durch physisches Zeigen und Bewegen von grafischen Repräsentationen, die ihre Daten, Anwendungen oder den Systemzustand darstellen]“ [PREIM & DACHSELT 2015, S. 351]. Dabei liefert das System unmittelbar eine klar erkennbare Rückkopplung, wie z.B. durch Hervorhebung eines selektierten Buttons, Icons oder Menüeintrags [EBD.].

In der Stellteilsystematik nach SCHMID & MAIER [2017, S. 147] wird zwischen direkten und indirekten Stellteilen unterscheiden. Bei der Interaktion über ein haptisches Stellteil ist eine indirekte Übersetzung zwischen Bedienhandlung des Nutzers und der Manipulation im System über die Kopplungsparameter notwendig. Solch eine Kopplung ist bei der Blickgestensteuerung jedoch nicht von Nöten. Die Augen sind dazu lediglich in dem Gestenbereich zu positionieren (vgl. Abbildung 2.11). Daher ist das durch Blicke manipulierbare interaktive Element als direktes Stellteil zu bezeichnen. Über die etablierte Einteilung der Bewegungsformen zur Interaktion mit indirekten, mechanischen Stellteilen nach VDI/VDE 2258 [1987] kann auch die Bewegungsform der Blickgestik kategorisiert werden. Allerdings sind dabei die Freiheitsgrade des visuellen Sehapparats, welche in Kapitel 2.1.1 beschrieben sind, zu berücksichtigen (siehe Abbildung 2.12).

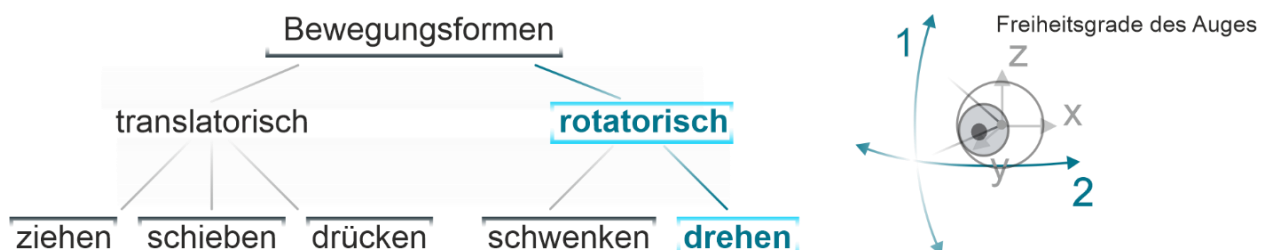


Abbildung 2.12: Bewegungsformen des Auges bei der Blickinteraktion

Zur Umsetzung von direkten Schnittstellen sind die in Abbildung 2.11 beschriebenen Blickgestenparameter, unter Berücksichtigung der rotatorischen Bewegungsform der Augen, durch geeignete Sensorik seitens des technischen System zu erfassen. Durch diese kann eine Manipulation durch Blickpunktänderungsgesten erkannt und ausgelöst werden.

Vor- und Nachteile der direkten Nutzerschnittstelle: Direkt zu manipulierende Nutzerschnittstellen bieten große Vorteile, weshalb sie zum Beispiel auch in modernen Bedienoberflächen auf Basis der Touch-Bedienung auf Smartphones und Tablets weitreichend zum Einsatz kommen. Die Verwendung von Blickgesten unterliegt, so wie auch andere Interaktionsarten mit technischen Produkten, bestimmten Randbedingungen. Diese sorgen z.B. bei der Touch-Screen-Gestaltung für das Einhalten ausreichender Elementabstände, die Vermeidung von Verdeckungen durch Hände und Finger und die Verwendung von direkten Rückmeldeformen, welche in Richtlinien wie der VDI/VDE 3850-3 [2015] festgehalten werden.

Daraus entstehen Anforderungen, welche der Gestalter bei der Umsetzung derartiger MTI-Schnittstellen zu lösen hat. Gerade in Bezug auf die Manipulation ist es wichtig einen räumlichen Bezugspunkt für die Geste zu definieren, der auch für den Nutzer verständlich und ersichtlich ist. Eine weitere Herausforderung stellt die Diskrepanz zwischen der, vom Nutzer ausgeführten, absoluten und der, von der Schnittstelle verwendeten, relativen Geste dar.

Wird diese bei der Schnittstellengestaltung nur unzureichend gelöst, bleibt das Risiko auf Seiten des technischen Systems bestehen, Missverständnisse zu ignorieren und Fehlinterpretationen zu tätigen. Dabei gilt es, die physikalischen Randbedingungen der sensorischen Erfassungstechniken, sowie die darüber möglichen Kopplungsmechaniken zur Gesteneinleitung zu berücksichtigen. [vgl. HINCKLEY ET AL. 1994] Gestaltungshilfen zur Vermeidung solcher Fehlinterpretationen stellen z.B. interaktive Bereiche dar, die über das grafische Element hinausreichen [vgl. PREIM & DACHSELT 2015, S. 355]. Eine Gegenüberstellung der bestehenden Vorteile (grün) und Nachteile (orange) direkter Nutzerschnittstellen der Mensch-Technik-Interaktion sind der Tabelle 2.5 zu entnehmen [vgl. SHNEIDERMAN & PLAISANT 2009].

| | Schnittstellenebene | Beschreibung |
|---|--------------------------|--|
| Vorteile | Informationsverarbeitung | Existenz eines visuellen Modells der Aufgabe und beinhalteten interaktiven Elemente durch grafische Anwendungsrepräsentation |
| | | Unterstützung der Assoziation von bereits bekannten Darstellungen und Metaphern |
| | | Interface relativ dialogunabhängig durch Verwendung eines visuellen Modells |
| | | Schreibfähigkeiten nicht erforderlich, u.a. auch für Kinder geeignet |
| | Wahrnehmung | direkte Anzeige des Handlungsergebnisses |
| | Betätigung | leichte Erinnerungsfähigkeit erlernter Aktionen zur direkten Manipulation |
| Betätigung durch Manipulation der Repräsentationen mittels geeigneter Eingabegeräte | | |
| Nachteile | Gestaltung | hoher Realisierungsaufwand |
| | | visueller Platzbedarf als limitierender Faktor |
| | Wahrnehmung | zeitnahes Feedback der Manipulation bei komplexen visuellen Modellen nicht immer umsetzbar |
| | | nur sichtbare interaktive Elemente direkt manipulierbar |
| | Betätigung | Manipulation im Vergleich zu indirekten Eingaben relativ ungenau, im Zweifel Ergänzung durch numerische Eingabemöglichkeit |
| | | komplexe Interaktionen oft aufwändiger und langwieriger im Vergleich zur indirekten Manipulation |
| | | kein Zeitgewinn für routinierte Anwender |

Tabelle 2.5: Vorteile und Nachteile direkter Nutzerschnittstellen, nach SHNEIDERMAN & PLAISANT [2009]

3 Stand der Forschung und Technik in der Blicksteuerung

Die Messmethode der Blickfassung (engl. Eye Tracking oder Gaze Tracking) bezeichnet die Blickrichtungsdeutung einer Person bei der Betrachtung bestimmter Situationen und Objekte. Basierend auf der, in der Kognitionspsychologie relevanten, Eye-Mind-Hypothese von JUST & CARPENTER [1980] ermöglichen die beim „Sehen“ verarbeiteten „Signale“ das Ziehen von Rückschlüssen über das Nutzerverhalten und den kognitiven Zustand des Nutzers bei der Interaktion mit technischen Systemen [MARAJANTA ET AL. 2012, S. 19]. Neben der Verfolgung beider Augen und deren Blickrichtung im Raum können darüber hinaus auch Ableitungen zur Kopfposition und Körperhaltung erfolgen. Daher stellt das Eye Tracking eine vielseitig einsetzbare Methode dar, deren wesentlichste Anwendungsfelder sich folgendermaßen unterteilen:

- Assistierende Blicksteuerung – z. B. Rollstuhlsteuerung, Schreiben mit den Augen,
- Psychologie – z. B. Marktforschung, Nutzerverhalten,
- Diagnostik & Rehabilitation – z. B. Schädigung feststellen, Heilungsüberwachung,
- Kommerzielle Blicksteuerung – z. B. Gaming, Attentive User Interfaces,
- Ubiquitäre Mensch-Technik-Systeme – z. B. Smart-Home,
- Verhaltensüberwachung – z. B. Fahrerzustandsüberwachung.

Ein wissenschaftlicher Austausch in diesen Bereichen ist international auf einer Vielzahl von Konferenzen möglich, wie die ECVP (European Conference on Visual Perception), ETRA (Eye-Tracking Research an Application), ECEM (European Conferences on Eye Movements) oder PETMEI (Pervasive Eye-Tracking and Mobile Eye-Based Interaction) zeigen. Darüber hinaus wird von 2004 bis heute ein Exzellenznetzwerk namens COGAIN (Communication by Gaze Interaction) betrieben. Wie weit das Eye Tracking nicht nur in der Wissenschaft, sondern bereits auch in andere Anwendungsbereiche alltäglicher Produkte reicht, zeigen die festgehaltenen Verfahren der Blickdatenanalyse und deren Dokumentation bei automobilen Studien in der DIN EN ISO 15007-1 [2015].

Der in dieser Arbeit betrachtete Einsatzbereich nutzt das Eye Tracking primär zur Datenerhebung, um intentionelle Handlungen des Anwenders zu detektieren und die damit verbundenen Manipulationen im technischen System auszuführen. Für eine nutzungsgerechte Gestaltung solcher blickgesteuerten Anwendungen spielen neben der Interfacegestaltung zwei weitere Forschungsbereiche eine entscheidende Rolle. Zum einen ist ein Verständnis der technologischen Möglichkeiten und Grenzen der Hard- und Software, hinsichtlich Präzision und Zuverlässigkeit (vgl. Kapitel 3.1), notwendig und zum anderen ist es erforderlich die speziellen physiologischen und kognitiven Randbedingungen in die Gestaltung der Anwendung mit einfließen zu lassen [MØLLENBACH 2010, S. 10]

(vgl. Kapitel 3.2). Die Einordnung dieser Randbedingungen zur Gestaltung der blickgesteuerten MTI, welche in den folgenden Kapiteln vertieft werden, ist in Abbildung 3.1 dargestellt.

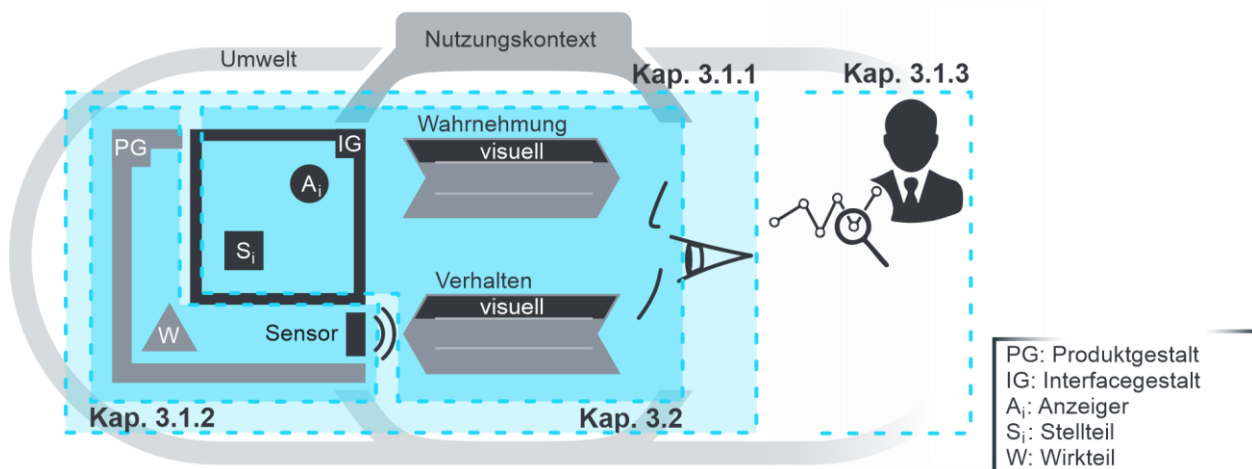


Abbildung 3.1: Einordnung der behandelten Forschungsbereiche in die MTI

3.1 Eye-Tracking-Methoden und Technologien

Das Erschließen der in Kapitel 3 genannten, unterschiedlichen Anwendungsfelder wird durch frühzeitige Forschungen begünstigt, deren Untersuchungen des Blickverhaltens bis in das 18. Jahrhundert zurückreichen. Die ersten invasiven (mittels Hornhautkontakt) Eye-Tracking-Methoden existieren ab dem Ende des 19. Jahrhunderts [vgl. JAVAL 1879]. Von der ersten nicht invasiven Technik 1901 wurde durch DODGE & CLINE [1901] berichtet. Diesen schlossen sich in der ersten Jahrhunderthälfte weitere Entwicklungen an und ermöglichten somit erste Usability-Forschungen, wie z. B. im Kontext von Piloten und deren Cockpitbedienung [FITTS ET AL. 2005]. Die Entwicklung des Personal Computers ermöglichte in den 80ern, zusammen mit der digitalen Entwicklung, die Echtzeitanalyse und dadurch den Einsatz des Eye Trackings in der HCI. Für einen tieferen Einblick ist an dieser Stelle auf die Ausarbeitung von GEISE [2011B] zu verweisen. Nachfolgend wird auf die grundlegenden Aspekte der Blickerfassung und deren Umsetzung in apparative Aufbauten und im Weiteren auf die Blickanalyseverfahren und deren Visualisierung im Kontext der Blickverhaltensforschung eingegangen.

3.1.1 Grundlagen der Blickerfassung

Zwar sind die sensorischen Eigenschaften eines Eye Trackers grundsätzlich optimierbar, doch aufgrund der Anatomie der Fovea mit einer Ausdehnung von ca. 1° entsteht eine nicht zu umgehende Unschärfe des Betrachteten, selbst bei höchster Genauigkeit und Präzision des technischen Systems (vgl. Kapitel 2.1.1). Unterhalb dieser Unschärfe ($\pm 0,5^\circ$ um die visuelle Achse) ist keine definitive Aussage über den Betrachtungspunkt

möglich. [vgl. DREWES 2010, S. 35 f.] Die auswertbaren Daten der Blickbewegung stellen psychophysiologische Messwerte dar, welche in der Rezeptionsphase aufgenommen werden und nach RÖTTING [1999B] auch als Online-Messwerte zu bezeichnen sind. Aus diesen sind verschiedene, meist reizabhängige, Indikatoren ableitbar.

Qualitätskriterien eines Eye Trackers: Die Genauigkeit (engl. Accuracy) beschreibt die Exaktheit der Blickpositionserkennung. Die gängigsten Eye Tracker können bereits auf die beschriebene, physiologisch-mögliche Genauigkeit von ca. $\pm 0,5^\circ$ auflösen.

Die Präzision (engl. Precision) drückt den Grad der Messvektorenstreuung, um das theoretische Betrachtungszentrum, aus und wird dabei von Mikrosakkaden, Tremor und dem System innewohnenden sensorischen Rauschen beeinflusst. Die Zeitauflösung beschreibt die Datenbereitstellung des Eye Trackers in einem bestimmten Intervall an das System, welche bei videobasierten Eye Trackern (siehe Kapitel 3.1.2) maßgeblich durch die Bildrate begrenzt wird. Die Verzögerung (engl. Latency) beschreibt die inhärente Bereitstellungszeit der Daten an das System. Dieses Kriterium stellt gerade für die MTI, bei welcher ein möglichst verzögerungsfreies Bereitstellen zu erstreben ist, den kritischeren Faktor dar. Die Robustheit der Nachverfolgung (engl. Robustness) bezeichnet ein, für optische Sensorik im Allgemeinen, gültiges Kriterium. Sie stellt ein Maß der akkuraten Identifikation der zu erfassenden Blickrichtung und deren Verfolgung, solange Informationen darüber verfügbar sind, dar. [vgl. KÖNIG 2010, S. 8], [HOLMQVIST ET AL. 2011, S. 33-58]

Dabei stellen Genauigkeit, Präzision und Robustheit die Faktoren dar, welche am stärksten vom Anwender und den Umweltfaktoren beeinflussbar sind [vgl. TOBII 2012]. Abbildung 3.2 stellt die prinzipiellen Auswirkungen verschiedener Güten der Genauigkeit und Präzision beim Betrachten eines Stimulus dar.



Abbildung 3.2: Fallunterscheidung unterschiedlicher Genauigkeit und Präzision

Besonders die Genauigkeit und Präzision werden von dem Umweltfaktor Ausleuchtung stark beeinflusst. Dieser stellt einen Zusammenschluss der umgebenen Lichtintensität, der Illuminatorposition und der Lichtstrahlenstreuung dar. [vgl. EBD., S. 11]

Softwarebasierte Filterung: Blickbewegungen rauschen grundsätzlich schon aufgrund der Mikrosakkaden und des Tremors. Hinzu kommt beim Eye Tracking das technisch

bedingte sensorische Rauschen (engl. Noise). Daher ist es für eine eindeutige Analyse notwendig dieses Rauschen durch verschiedene Filter vorab zu glätten. Grundsätzlich ist darauf zu achten, dass bei der Filterung keine analyserelevanten Informationen aus den Daten gefiltert werden. In der Regel wird ein sogenannter Mittenbandfilter (engl. Mid-Pass Filter) verwendet. Je nach Analyseschwerpunkt sind jedoch auch andere Filterprinzipien möglich. [vgl. OLSEN 2012]

Notwendigkeit der sensorischen Kalibrierung: Zweck der Kalibrierung ist es, die inhärenten Parameter, welche notwendig sind, um den individuellen Blick zu verfolgen, zu adaptieren [MARAJANTA ET AL. 2012, S. 24]. Diese variieren sowohl im Versatz der optischen Ache zur visuellen Achse um ca. 4-8°, als auch durch die Augengeometrie sowie der äußeren Nutzer-Eye-Tracker-Geometrie. Über den Verlauf der Blicherfassung hinweg kann die Blickverfolgung über ein Abdriften (engl. Drift) negativ beeinflusst werden. Als mögliche Einflussfaktoren auf das Abdriften sind z.B. Veränderungen der Beleuchtungsverhältnisse oder Änderung des Pupillendurchmessers zu nennen. Das kontinuierliche Abdriften der erfassten Blickposition kann allerdings durch dynamische Nachregulation korrigiert werden, solange die bekannten Geometrien konstant bleiben. [vgl. EBD., S. 25] Das spezifische Kalibrierungsverfahren hängt dabei im Wesentlichen vom technischen Aufbau des Eye Trackers und der Nutzerschnittstelle ab. Für ein komfortableres Nutzererlebnis in Anwendungen außerhalb der experimentellen Forschung werden Verfahren entwickelt, welche einen bewussten, durch den Anwender gesteuerten, Kalibrierungsvorgang ersetzen. Dabei wird z.B. durch algorithmisches Übereinanderlegen von Blickverläufen und Interfaceobjekten (engl. Gaze-Map Matching) eine dynamische, für den Anwender unbewusste, Kalibrierung durchgeführt [vgl. KIEFER 2014].

Ein anderer regressionsbasierter Ansatz ist die Verwendung von Smooth Pursuits zur exakten Bestimmung der Augenposition und Geometrie. [vgl. DREWES ET AL. 2019] Als vertiefende Literatur zur Messmethodik und zu Kalibrierungsverfahren von bildbasierten Eye Trackern wird auf den technischen Bericht von TOBII [2012] verwiesen.

3.1.2 Zeitgenössische apparative Aufbauten

Wie auch die Messmethoden zur Blicherfassung und die dafür notwendigen Technologien wurde die Eye Tracker im Laufe der Jahre kontinuierlich weiterentwickelt. Das folgende Kapitel stellt einen kurzen Überblick über diese Entwicklung bereit und vertieft anschließend die heute etablierten Methoden und daraus abgeleiteten apparativen Aufbauten. Obstrusive Verfahren wie skerale Kontaktlinsen oder Elektrookulografie benötigen allerdings einen hohen Aufwand in der Messvorbereitung und sind daher nicht

geeignet zur Mensch-Technik-Interaktion [vgl. DREWES 2010, S. 18]. Daher werden die videobasierten Verfahren in den Fokus der HCI-Gestaltung gerückt.

Videobasierte Methoden: Die Videookulografie basiert auf der Verwendung von bildgebenden Verfahren, durch welche die Bestimmung der Augenposition im Raum und damit die Blickrichtungen ermittelt wird. Eine Möglichkeit zur Ermittlung der Augenposition ist die Verwendung des hohen Kontrasts zwischen Iris und Augapfel. Dieses Verfahren resultiert zwar in einer sehr guten horizontalen Genauigkeit, aber nur einer mäßigen vertikalen Genauigkeit aufgrund der Verdeckung des oberen und unteren Teils des Augapfels durch die Lider. Weitere visuelle Verfahren zur Erfassung der Pupille stellen die Dark-Pupil-Methode und Bright-Pupil-Methode dar. Die Dark-Pupil-Methode versucht, die Position der dunklen Pupille zu erfassen. Dies kann sich allerdings aufgrund des geringen Kontrastes zwischen Iris und Pupille bei dunkelbraunen Augen als nachteilig erweisen. Die Bright-Pupil-Methode verwendet Infrarotlicht, welches auf der Retina reflektiert wird und somit die Pupille im Bild weiß darstellt. Dafür ist allerdings ein erhöhter technischer Aufwand erforderlich, denn das Infrarotlicht muss sich dabei möglichst auf derselben Achse befinden wie der Blick. Zusätzlich muss der benutzte Illuminator nahe bei oder direkt in der Kamera verbaut werden. [vgl. NGUYGEN ET AL. 2002], [MARAJANTA ET AL. 2012, S. 344]

Die Cornea-Reflex-Methode: Viele moderne Eye Tracker verwenden die Cornea-Reflex-Methode, welche durch einen Illuminator einen sogenannten Glint (übers. Glitzer) auf dem Augapfel erzeugen. Dies ist auch als "Erstes Purkinje Bild" bekannt. Die quasikugelartige Form des Auges gewährleistet, die Positionsfestigkeit des Glints im erfassten Bild, unabhängig der Blickposition (siehe Abbildung 3.3). Diese Methode funktioniert jedoch nicht bei Personen mit Deformationen des Augapfels und auch Kontaktlinsen können Probleme bei der Erkennung herbeiführen. Da der Radius der Cornea einen individuellen Faktor darstellt, erfordert diese Art der Blickverfolgung ein Kalibrierungsverfahren, wie z.B. das Betrachten definierter Kalibrierungspunkte im Interface. Durch diese Methode ist es nebenbei auch möglich den momentanen Pupillendurchmesser als Messgröße mit zu erfassen.

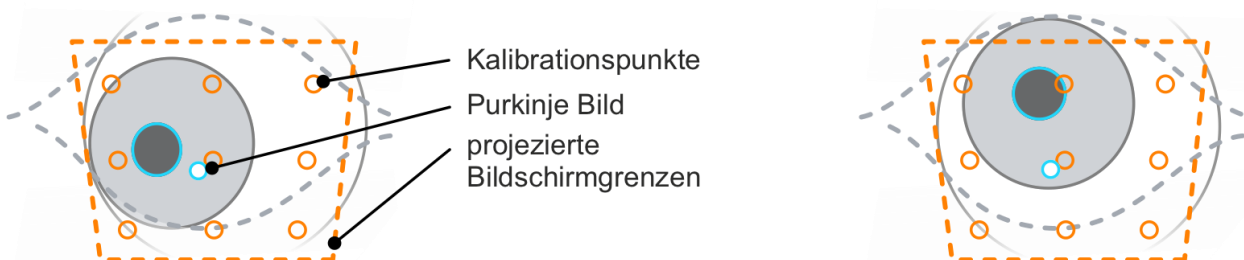


Abbildung 3.3: Erstes Purkinje Bild bei unterschiedlichen Blickrichtungen

Für eine robustere Blickverfolgung verwenden aufwendigere Eye-Tracking-Systeme einen stereoskopischen Aufbau. Dabei werden zwei Kameras sowie mehrere Lichtquellen zum Erfassen mehrerer Glints verwendet. Dadurch ist eine Kalibrierung prinzipiell überflüssig und eine freiere Kopfbewegung möglich. Beide Punkte stellen erstrebenswerte Eigenschaften für die MTI dar und weisen somit auf weitere Verbesserungen solcher Erfassungsmethoden durch zukünftige Entwicklungen hin. [vgl. OHNO ET AL. 2002], [HENNESSEY ET AL. 2006].

Zur Erfassung eines optimalen Bildes werden Kameras mit, auf die Distanz zum Anwender abgestimmten, Linsen eingesetzt. Die Illumination kann je nach Abstand gepulst erfolgen. Zum einen ermöglicht die gepulste Illumination größere Erfassungsabstände, zum anderen ist die systemursächliche Reflexion somit von möglichen Infrarotreflexionen des Umgebungstreulichts differenzierbar. Die dafür eingesetzten Infrarotlaserdioden strahlen mit einer Wellenlänge von ca. 785 nm und sind nach DIN EN 60825-1 [2015] in die Laser der Klasse 1 einzustufen und somit absolut harmlos für das Auge. Für eine Übersicht über geometriebasierte Eye-Tracking-Methoden für einfache und Stereo-Kamerasysteme wird auf MARAJANTA ET AL. [2012, S. 320] verwiesen.

Videobasiertes Eye Tracking benötigt neben der Sensorik auch meist eine Pupillenerkennung basierend auf Bilderkennungsalgorithmen. Für eine Übersicht der gängigen Verfahren ist auf DREWES [2010, S. 19] zu verweisen. Messtoleranzen von Brillen und Kontaktlinsen können darüber hinaus zu einem gewissen Teil algorithmisch rausgerechnet werden [MARAJANTA ET AL. 2012, S. 362].

Videobasierte Eye-Tracker-Systeme: Je nach Anwendungsfall und Untersuchungsfokus ist der Aufbau von Blickverfolgungssystemen verschieden. Für einen räumlich festen Einsatz bestehen kommerzielle Eye Tracker aus einem stationären System (engl. Remote Eye Tracker) und werden in Kombination mit einem Desktopcomputer (1) verwendet, um Blickbewegungen im Bezug zum gesamten System zu erfassen. Stationäre Systeme können unter Kenntnis der Szene auch zur Analyse einer realen Umgebung (2) verwendet werden. Eine mobile Alternative für mehr Freiraum in der Analyse stellen kopfgetragene Eye Tracker – brillenartige Geräte – mit einem portablen Prozessor und eigener Energiequelle, dar (3). Bei diesen Systemen wird die Blickbewegung relativ zum Kopf erfasst, daher ist eine zusätzliche Kamera, welche das Gesehene aufzeichnet, notwendig. Einen aufkommenden Trend stellt der Einsatz von Eye Trackern in der virtuellen Realitätsumgebung (engl. Virtual Reality) dar (4). Deren Integration ermöglicht zum einen Leistungsvorteile, indem nur betrachtete Bereiche hochauflösend berechnet werden müssen und zum anderen können somit auch

Blickanalysen im virtuellen Raum durchgeführt werden. Abbildung 3.4 visualisiert die beschriebenen Konfigurationen.

Kopfgetragene Systeme erzielen aufgrund der statischen Sensor-Augen-Beziehung eine bessere Genauigkeit und Präzision. Sie sind vorteilhaft, wenn z. B. die Reliabilität von Smooth Pursuits und sakkadischen Messungen im Untersuchungsfokus liegt. Wenn Komfort und Kopffreiheit wichtiger als höchste Erfassungsqualität sind, sollten jedoch stationäre Eye Tracker bevorzugt werden [MARAJANTA ET AL. 2012, S. 19]. Darüber hinaus gibt es in diesem Bereich eine breite Spanne von kostengünstigen Eye Trackern und Open-Source-Projekten [vgl. DREWES 2010, S. 22]. Die vorgestellten Systeme lassen sich somit in vier grundsätzliche MTI-Konfigurationen aufteilen.

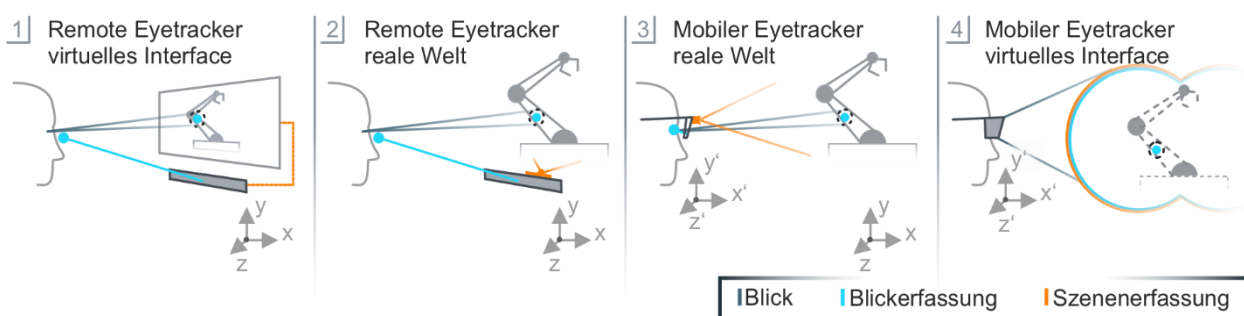


Abbildung 3.4: Anwendungsabhängige Eye-Tracking-Konfigurationen

3.1.3 Blickdatenanalyse und deren Visualisierung

Die Reliabilität der Eye-Tracking-Methode unterliegt meist der Prämisse, dass eine sensorische, visuelle Wahrnehmung eine notwendige Voraussetzung, zum Stattfinden einer kognitiven oder emotionalen Wirkung des visuell Wahrgenommenen, darstellt [vgl. RAAB ET AL. 2004, S. 140]. Trotz der Etablierung der Eye-Tracking-Methode besteht weiterhin eine nicht abgeschlossene Dechiffrierung der kognitiven und neurophysiologischen Teilprozesse der visuellen Informationsverarbeitung. [vgl. GEISE 2011B] Nach RICHTER [2008, S. 19] und GALE [2003, S. 729 f.] besitzt das Eye Tracking gewisse Vorteile (grün) und Nachteile (orange) bei der Analyse im Kontext visueller Stimulusrezeption (Tabelle 3.1).

| Analysebereiche | Vorteile | Nachteile |
|-----------------|--|--|
| Inhalte | █ foveal fixiert | █ peripher und parafoveal fixiert |
| Zuwendung | █ Intensität, Bereiche ohne Zuwendung | █ Gründe, Intention, Motivation |
| Abfolge | █ zeitlich, inhaltlich | █ - |
| Kognition | █ - | █ Denken, Fühlen, nachfolgende emotionale und kognitive Prozesse |

Tabelle 3.1: Vor- und Nachteile bei der Interpretation der Stimulusrezeption nach RICHTER [2008, S. 19] und GALE [2003, S. 729 f.]

Datentypen: Die für die Blickanalyse relevanten Datentypen setzen sich aus den Arten der Blickbewegungen (vgl. Kapitel 2.1.2), den für den Untersuchungs- bzw. Nutzungskontext relevanten Objekten (Stimuli) und definierten Interessensbereichen (engl. Areas of Interest, kurz AOI) zusammen. Aus diesen können nach bestimmten Metriken Indikatoren abgeleitet werden. Eine ausführliche Beschreibung der Indikatoren und deren jeweilige Untersuchungsaussage ist in GEISE [2011B, S.201 f.] und POOLE & BALL [2005] vertiefend nachlesbar. Nachfolgend stellt Tabelle 3.2 einen Überblick über die verbreitetsten Indikatoren dar. Dabei lassen sich diese jeweils einer Datenanalyseart zuordnen – qualitativ-deskriptiv (Rohdaten und deren unterschiedlichen Aggregationsstufen) und quantitativ-deskriptiv (Rohdaten innerhalb eines vorher definierten AOIs), bzw. in quantitativ-schließend [vgl. PERIS ET AL. 2015, S. 1515].

| fixationsbezogene Indikatoren | Untersuchungsaussage |
|--|---|
| Zeit zum Erstkontakt engl. Time to first Fixation | Aktivierungspotenzial eines Reizes |
| Blickverweildauer | Aufmerksamkeitsallokation |
| Fixationshäufigkeit | Grad des Interesses an und Aktivierungspotenzial eines Reizes, auch Rückschlüsse über zu hohe Komplexität |
| blickverlaufsbezogene Indikatoren | Untersuchungsaussage |
| relative Position im Blickverlauf engl. Scanpath Position | Aktivierungspotenzial, Reiz-Aufmerksamkeitsstärke, Ableitung des Optimierungspotenzials zur Blickführung |
| Sakkadenausdehnung | Aufmerksamkeitsfenster parafovealer Wahrnehmung |
| Verteilung der Fixationen | verschiedene Aspekte der Informationsverarbeitung |
| Rücksprünge | Verarbeitungsschwierigkeit gerade bei Leseaufgabe |
| Übergangsmatrix engl. Transition Matrix | typische Blickverlaufsmuster |
| Blickpfaddauer | Dauer einer globalen visuellen Suche |
| Blickpfadlänge | Dauer einer globalen visuellen Suche |
| sakkadenbezogene Indikatoren | |
| Fixations-Sakkaden-Verhältnis | Informationsverarbeitungsformen |
| Anzahl sakkadischer Augenbewegungen engl. Saccade Count | Qualität visueller Such- und Verarbeitungsprozesse |
| Sakkadendauer | visuelle Aufmerksamkeit, geistige Klarheit, Müdigkeit |
| Sakkadengeschwindigkeit | Vigilanz und kognitive Beanspruchung |
| Sakkadenlatenz | visuelle Reaktionszeit und arousal-Mechanismen (übers. Erregung) |
| Sakkadenlänge | Orientierungsreaktion, Stimulusbereich besonderer Prägnanz |

Tabelle 3.2: Indikatoren der Blickanalyse, nach GEISE [2011B, S.201 f.] und POOLE & BALL [2005]

Visualisierungsformen: Die durch Eye Tracker erfassten Blickdaten können in der qualitativ-deskriptiven Analyse helfen Schlussfolgerungen zu ziehen (siehe Abbildung 3.5). Dafür werden verschiedene Visualisierungsarten verwendet. Bei sogenannten Attention-Maps wird die Aufmerksamkeit auf bestimmte Bereiche meist durch Heatmaps dargestellt, in welchen ein Reiz gerastert (mehrere kleine AOIs) und grafisch eingefärbt wird. Die Einfärbung gibt dabei Informationen über die Betrachtungshäufigkeit oder -dauer. Eine rote Farbgebung steht beispielhaft für eine längere Betrachtungszeit bzw. häufigere Betrachtung. [HOLMQVIST ET AL. 2011, S. 231]

Eine andere Visualisierungsform stellen Scanpaths in Form von Gaze-Plots dar [BLAKE 2013, S. 277]. Diese visualisieren die zeitliche Abfolge von Fixationen und Sakkaden und beschreiben darüber die Blickabfolge der erfassten Person. Fixationen werden dabei als Kreise dargestellt, deren Größe die jeweilige Fixationsdauer beschreibt. Da längere Scanpaths schnell unübersichtlich werden, dient diese Darstellungsform eher der gezielten Analyse explizit ausgewählter Zeitpunkte. [vgl. SPAKOV 2008]

Zur Lösung dieser Analyseherausforderung werden Parallel-Scanpaths verwendet, bei welchen Blickdaten mehrerer Versuchspersonen entlang einer zeitlichen Achse dargestellt werden.

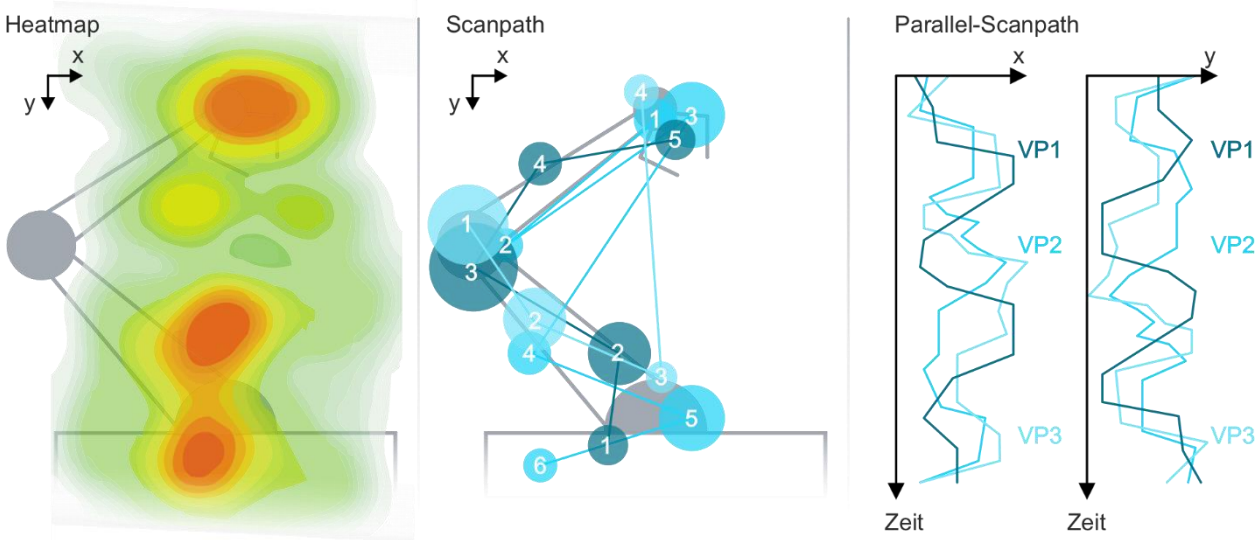


Abbildung 3.5: Visualisierungsmöglichkeiten dreier fiktiver Versuchspersonen

3.2 Experimentelle Studien zu Blicksteuerungsmethoden

Bei der Ausgestaltung der Blicksteuerungsschnittstelle ist ein entscheidender Aspekt das Maß des Bewusstseins seitens des Anwenders zur Möglichkeit der Manipulation über diese Schnittstelle. Nach MARAJANTA & BULLING [2014] kann diese Manipulation von expliziten, beabsichtigten Handlungsaufforderungen bis hin zu impliziten, unbeabsichtigten Handlungsüberwachungen variieren. Daneben kann bei einer automatisierten

Verwendung von Informationen zur Interaktion und Manipulation technischer Systeme [EBD., S. 181] von einer aufmerksamen (engl. Attentive) Schnittstelle gesprochen werden. Darüber hinaus ermöglichen solche „unsichtbaren“ Schnittstellen nach WEISER [1991] eine Anwendung bis in den täglichen Lebensraum (engl. Ubiquitous Computing). Damit erweitern sich die Anwendungsbereiche expliziter Bedienschnittstellen durch implizite Mensch-Computer-Schnittstellen. [vgl. BÖLKER ET AL. 2010, S. 105]. Je nach Nutzungskontext ist das Maß der expliziten bzw. impliziten Ausrichtung der Interaktionsart dabei vom Gestalter zu wählen. Die in dieser Arbeit behandelte Blickgestensteuerung steht dabei im Kontext einer vergleichbaren expliziten Anwendung. Die Einordnung dieser Steuerung in das aufgezeigte Spektrum ist in Abbildung 3.6 visualisiert.

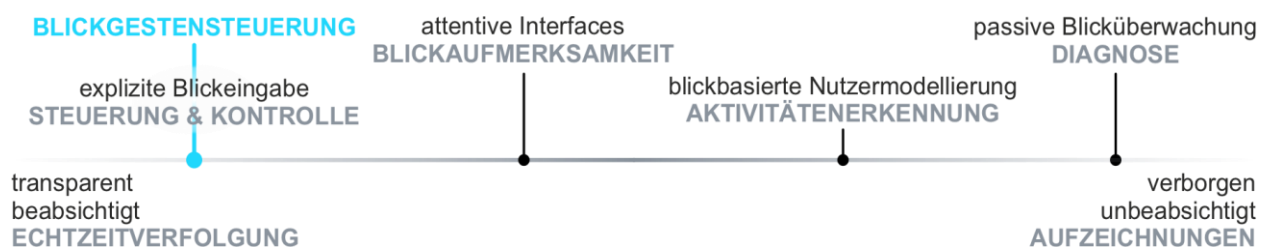


Abbildung 3.6: Eye-Tracking-Anwendung nach dem Maß der bewussten Interaktion, nach MARAJANTA & BULLING [2014, S. 51 f.]

Vorteile explizierter Interaktion: Die explizite Blicksteuerung besitzt aus verschiedenen Blickwinkeln Vorzüge für eine Interaktion mit technischen Systemen. Zum einen ist aufgrund der gekoppelten Wahrnehmung ohne bewussten Aufwand ein großer Informationsdurchsatz über die technische Schnittstelle möglich. Zum anderen entspricht es dem natürlichen Nutzerverhalten auf interessante Reize aufmerksam zu werden und diese zu betrachten. Daher benötigen Augenbewegungen kein explizites Training. Des Weiteren ist die Blickbewegung prinzipiell losgelöst von anderen Körperbewegungen und daher gut mit diesen koordinierbar. [AGAHJAN ET AL. 2009, S. 54 f.] Jedoch erweisen sich diese Vorzüge in der Anwendung nicht zwangsläufig als gegeben. Die nachfolgend beschriebenen Studien dienen zur Verdeutlichung der zu berücksichtigenden Aspekte einer gebrauchstauglichen Entfaltung dieser Interaktionsmodalität.

3.2.1 Studien zur Beschreibung des Blickverhaltens und deren abgeleitete Auswirkungen auf die Schnittstellengestaltung

Grundsätzliche Aspekte des Einsatzes der Blicksteuerung zur Manipulation von virtuellen technischen Systemen sind z.B. von JACOB [1990] beschrieben. Daraus gehen bestimmte Eigenschaften hervor, welche bei der Gestaltung zu berücksichtigen sind.

Midas-Touch-Effekt: Dieser, mit einer einprägsamen Benennung versehene Effekt (Sage des König Midas [EBD.]), beschreibt einen grundsätzlich bestehenden Konflikt in der Blicksteuerung. Durch das Überlagern einer sowohl empfangenden als auch sendenden Funktion der Augenbewegung bei der Blicksteuerung (siehe Kapitel 2.1) und der prinzipiell schwierigen Unterscheidbarkeit dieser Funktionen durch das System sind Fehlbedienungen grundsätzlich unvermeidbar. Als Kompensationsmechanismus ist bei der Gestaltung einer Blicksteuerungslogik darauf zu achten, dass die Betätigung sich in ausreißendem Maße von dem natürlichen Blickverhalten unterscheidet. Ansonsten führt das bloße Betrachten von Interfaceelementen oder eine bestimmte Blickfolge zu einer möglicherweise ungewollten Auslösung. [EBD.]

Aus diesem Grund beschäftigt sich ein Großteil der Forschung damit, das menschliche Blickverhalten unter Berücksichtigung der Randbedingungen in der MTI (siehe Kapitel 2.2.1) zu ergründen und mit Hilfe von computergestützten Algorithmen so weit wie möglich vorausszusehen.

Vergleich mit anderen Interaktionsmodalitäten: Eine Vielzahl an Studien beschäftigt sich mit der Evaluation potenzieller Anwendungsfälle und Modalitätskombinationen, bei welchen der Einsatz einer Blicksteuerung anderen Interaktionsarten vorzuziehen ist. Dabei ist einer der naheliegenden Vergleiche der zwischen Blick- und Maussteuerung, da letztere eine typische Peripherie darstellt und oftmals eng an die Augenbewegung gekoppelt ist [vgl. DREWES 2010, S. 86]. Eine umfangreiche Übersicht unter Berücksichtigung der expliziten und impliziten Ausprägung, sowie der zur Interaktion herangezogenen Blickcharakteristik zur Vertiefung erstellen FEIT ET AL. [2017, S. 2]. Aus den verfügbaren Studien geht hervor, dass die Steuerung technischer Systeme auf Basis des Blicks idealerweise für diskrete, einfache und direkte Interaktionen eingesetzt werden soll. Dazu zählen vor allem die Auswahl und Nachverfolgung von interaktiven Objekten. [vgl. HELANDER ET AL. 1997]

Kombinationen mit anderen Interaktionsmodalitäten: Offenkundige Nachteile der Blicksteuerung liegen in der mangelnden Genauigkeit der Blickpunktbestimmung (vgl. Kapitel 3.1.1) und in der Überlagerung der Rolle des Auges zur visuellen Wahrnehmung und Interfacemanipulation. Zum Ausgleich dieser Nachteile werden zur eindeutigen und sicheren Steuerung in bestimmten Anwendungen oftmals zusätzliche Interaktionsmodalitäten und Peripherien mit der Blicksteuerung kombiniert. Eine gängige und intuitive Modalitätskombination verwendet den Blick als Zeiger im Interface, wobei der Blick durch eine zweite Modalität eine Ausführung tätigt. In diesem Forschungsfeld existieren bereits zahlreiche Studien, welche Blicksteuerung in Kombination mit der haptischen Modalität, z. B. mit Maus, Tastatur und Touch [vgl. TURNER ET AL. 2013], [STELLMACH ET AL. 2011],

[STELLMACH & DACHSELT 2012] sowie Gesten [vgl. CHATTERJEE ET AL. 2015], Mimik und Blinzeln [vgl. PURWANTO ET AL. 2009], [MARAJANTA ET AL. 2012, S. 235] verwendeten. Das Einsatzspektrum in alltäglichen Anwendungen reicht dabei von kleinen Displays in Smartphones bis hin zu großen Displays in öffentlichen Anzeigeflächen [vgl. TURNER ET AL. 2013]. In der virtuellen Welt umfassen diese vor allem die Navigation- und Positionssteuerung [vgl. LEE ET AL. 2014].

Der Fokus der zu betrachteten Literatur wird durch die, der Arbeit zu Grunde gelegten, monomodale Blickinteraktionsart bestimmt. Daher wird an dieser Stelle von einer weitergehenden Untersuchung multimodaler Interaktionsarten im Kontext der Blicksteuerung abgesehen. Der Schwerpunkt der betrachteten Studien beschäftigt sich mit der Erfassung der visuellen Aufmerksamkeit und des Nutzerverhaltens, beim Umgang mit bestimmten Objekten im Kontext einer Handlungsintension. Dies kann schnittstellenextern zur Analyse des Interaktionsvorgangs oder schnittstellenintern zur Interaktionsentscheidung verwendet werden.

Taxonomie einer monomodalen Blickinteraktion: Die Taxonomie ist grundsätzlich in drei Kategorien zu unterteilen: Auswahl, Bewegung und Ausführungsbedingungen. Innerhalb dieser Kategorien stellen anwendungsfallabhängige Betrachtungen den Rahmen für zu definierende Gestaltungsparameter des visuellen Stellteils dar (siehe Abbildung 3.7).



Abbildung 3.7: Taxonomie der monomodalen Blicksteuerung, abgeleitet nach BOWMAN ET AL. [1997, S. 3]

Die Diskussion über das Fittsche Gesetz: Das FITTS'sche Gesetz [1954] ist eine gängige aber stark diskutierte Metrik zum Einordnen von Bedienqualitäten bei der Verwendung von Peripherien zur Steuerung technischer Systeme [vgl. ZHAI ET AL. 2004, [MACKENZIE 2002]. Das Gesetz beschreibt die Abhängigkeit zwischen der Zeit zum Zielobjekt und dessen Größe. Jedoch erweist sich der Übertrag dieses Ansatzes auf die Blicksteuerung als recht kontrovers [vgl. ZHAI ET AL. 1999], [DREWES 2010, S. 60-62]. Auf Grundlage der Erkenntnisse von [EBD. 63-68], BEINHAUER [2019, S. 47 ff.] und SCHÜTZ

ET AL. [2019] kann die Annahme des Fittschen Gesetzes bei der Blicksteuerung nicht direkt angewandt werden und wird daher bei der Gestaltung der visuellen Darbietungen nicht berücksichtigt.

Messungen zu Sakkaden: Im Gegensatz zu den in der Diagnostik relevanten Mikro-sakkaden (vgl. Kapitel 2.1.2), ist die Genauigkeit und Präzision von modernen Eye Trackern grundsätzlich ausreichend, um Fixationen und Sakkaden im Sinne der Blicksteuerung sensorisch zu erfassen. Untersuchungen von DREWES [2010, S. 43] haben am Beispiel einer Videobetrachtung ergeben, dass die meisten Fixationen kürzer als 500 ms sind. Das Häufigkeitsmaximum wurde bei deutlich kürzeren Fixationen (< 50 ms) nachgewiesen. Diese Varianz in der Dauer lässt auf eine starke Interpendenz von Fixationsdauer und durchgeführten Wahrnehmungsprozessen schließen, z. B. Lesen von Text oder Erkennung von Gesichtern. Dies wird durch eine zweite Studie mit anderem Betrachtungskontext (Surfen auf Webseiten) bestätigt. Dabei werden durchschnittlich deutlich kürzere Fixationsdauern ermittelt. [EBD., S. 43]. Darüber hinaus liegen die gemessenen Sakkadenweiten überwiegend unterhalb von $1,25^\circ$ bei einer durchschnittlichen Dauer von 50 ms [EBD., S. 39-41]. Bogenförmige Augenbewegungen können dabei ungleich schwerer durchgeführt werden als gerade Bewegungen, was auf die Augenmuskulatur zurückgeführt werden kann (vgl. Kapitel 2.1.1) [vgl. TCHALENKO 2001]. Eine genauere Betrachtung in mehreren Studien zeigt jedoch keine eindeutigen Ergebnisse, ob horizontale bzw. vertikale Augenbewegungen schneller ausführbar sind [vgl. MØLLENBACH 2010, S. 103, 213], [HEIKKILÄ & RÄIHÄ 2012].

Größe von interaktiven Elementen: Bei der Blicksteuerung ist aufgrund der begrenzten Messgenauigkeit eine bestimmte Größe von interaktiven Elementen vorzusehen. Bei den Studien zum Eye-Typing orientiert sich KUMAR [2007, S. 96] an der Mindesttoleranz von 1° bei einem Sicherheitsfaktor (kurz SF) von 2,5 für die ausgewählten interaktiven Elemente auf dem Screen. Diese Dimensionierung wird von den Studien von DREWES [2010, S. 66] bestätigt. FEIT ET AL. [2017, S. 8] variieren den Sicherheitsfaktor zwischen genauer Kalibrierung (SF = 2) bzw. ungenauer Kalibrierung (SF = 3,2). Bei einem angenommenen Messabstand von 600 mm, welcher sich nach SCHMIDTKE & JASTRZEBSKA-FRACZEK [2013, S. 65] innerhalb des komfortablen Sehabstands zu Bildschirmen befindet (300-700 mm), ergibt sich somit ein Objektdurchmesser von 35 mm bzw. 56 mm.

Untersuchungen zu Menüaufbauten bei der Blicksteuerung: MØLLENBACH [2010] beschäftigte sich bereits mit einer methodischen Aufbereitung von sinnvollen Aufbauvarianten für blickgesteuerte Interfaces. Die ersten grafischen Interfacegestalten besitzen einen kachelförmigen Aufbau mit virtuellen Auswahlbereichen (Größe des interaktiven Bereichs überragt visuell wahrgenommenen Bereich), welche eine vollständige

Darstellung der interaktiven Elemente ermöglichte [vgl. MARAJANTA ET AL. 2012, S. 282 f.]. In weiteren Experimenten werden interaktive Bereiche in Ecken, Rändern und außerhalb des Monitors bzw. innerhalb des Monitors in Gitterform oder kreisförmig angeordnet [vgl. ISTANCE ET AL. 2008] (Abbildung 3.8). Dabei werden Objektmanipulationen, diskrete Eingaben und Auswahlvorgänge durchgeführt [vgl. EBD.], [MØLLENBACH 2010, S. 38 f., 46]. Jedoch wird nicht nur die Gestaltung der Interaktionsform von der Blickinteraktion beeinflusst, sondern auch die Gestaltung der grafischen Schnittstelle. KAMMERER ET AL. [2008] untersucht die Unterschiede zwischen konventionellen Formen von Pull-Down Menüs, aufgabenabhängigen Pop-Up Menüs, ikonografischen Menüs und kreisförmigen Marking-Menüs (vgl. Kapitel 2.2.3). Dabei ist festzustellen, dass bei der Blicksteuerung kreisförmigen Menüs Vorteile hinsichtlich Effizienz und Aufwand gegenüber anderen Menüaufbauten haben [vgl. PREIM & DACHSELT 2015, S. 346 f.], [BEINHAUER 2019]. Diese Vorteile beruhen maßgeblich auf der Nähe des Blickpunktes zu den, im Sinne der Bedienhandlung nächsten interaktiven Bereichen.

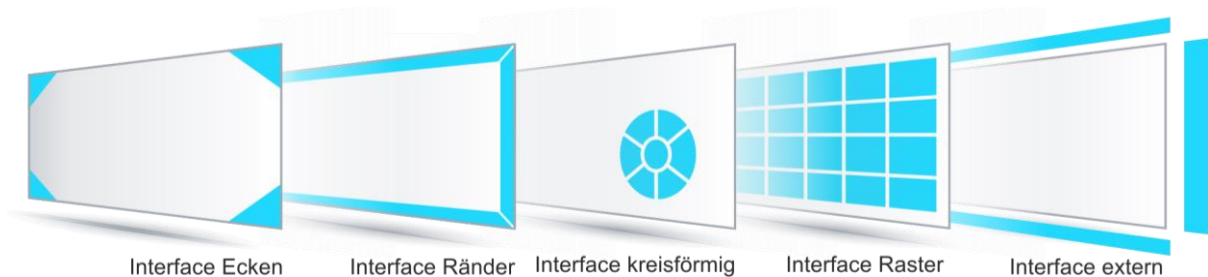


Abbildung 3.8: Aufbauvarianten monomodaler Blickinteraktionsinterfaces

Da die Blicksteuerung auf einer computergestützten Entscheidungslogik basiert und diese prinzipiell frei gestaltbar ist, sind Mischformen der einzelnen Methoden möglich und werden in der Praxis auch umgesetzt. Nachfolgend werden die verbreitetsten Arten der Blicksteuerung vorgestellt und jeweils die grundsätzliche Interaktionsmethode erläutert.

3.2.2 Eye-Pointing

Das Eye-Pointing (Zeigen mit den Augen) definiert sich durch die direkte Verarbeitung der Blickposition als einzigem Faktor zur Manipulation des Interfaces. Dabei führt eine Änderung der Blickposition zu einer unmittelbaren Änderung im Interface, wie z. B. das Hervorheben oder Erscheinen zusätzlicher Informationen beim Betrachten eines aktiven Bereichs oder der Nachsteuerung eines virtuellen Bildausschnitts in Abhängigkeit der Blickrichtung. Somit stellt diese Art der Blicksteuerung das direkteste Manipulationsverfahren dar [vgl. WARE & MIKAEIAN 1987], [SILBERT & JACOB 2000]. Die Verwendung der Blickposition als Interface-manipulierendem Parameter beansprucht keinen

zusätzlichen Bereich im Interface, die aktiven Bereiche ausgenommen. Das Interaktionsverfahren wird allerdings maßgeblich von der erreichbaren Kalibrierungsgenauigkeit beeinflusst (vgl. Kapitel 3.1.1). Eine schlechte Genauigkeit erschwert die Auswahl von interaktiven Elementen und reduziert daher deutlich das Bedienerlebnis. In der Praxis erweist sich darüber hinaus eine direkte Rückmeldung über die betrachtete Blickposition als störend. Durch das angezeigte Feedback entsteht eine Rückkopplungsschleife zwischen der, durch diesen visuellen Reiz, gelenkten visuellen Aufmerksamkeit und dem Feedback der Blickposition [vgl. DREWES 2010]. Da eine allzeit bewusste Kontrolle über den Blick nicht möglich ist und die Blickposition den einzigen Parameter zur Ausführung von Interaktionen darstellt, können nur wenige Kriterien herangezogen werden, um die Midas-Touch-Problematik zu umgehen [vgl. JACOB & KARN 2003]. Anwendungsfälle der Eye-Pointing-Methode auf verschiedenen Konkretisierungsstufen sind in der nachfolgenden Tabelle 3.3 dargestellt.

| Interaktionsbefehl | Anwendungsfall | Studie |
|-----------------------------------|---|---|
| Navigation & Bewegung | Virtuelle Landkarten, Schaltplänen: Blickposition bewegt Bildschirmausschnitt | [ADAMS ET AL. 2008] |
| | Scrollen von Text: diskret / kontinuierlich / beschleunigend | [JACOB 1990] |
| | Teleoperation bei mobilen Maschinen: diskret / kontinuierlich / beschleunigend | [ZHU ET AL. 2011], [FUJII ET AL. 2018] |
| | Kontrolle eines Zeigers im virtuellen Interface: Blickposition entspricht Zeigerposition | [CRAIG ET AL. 2008], [ZHAI ET AL. 1999] |
| | Rollstuhlsteuerung: diskret / kontinuierlich über Blick auf grafisches Interface | [WÄSTLUND ET AL. 2010] |
| Zoomen | Vergrößerungslinse für Bilder: Linse verschiebt sich mit dem Blick | [STELLMACH ET AL. 2011] |
| Auswahl durch semantisches Zoomen | Auswahl von interaktivem Element: Fokus vergrößert Elemente bis zur Auswahl | [HANSEN ET AL. 2008], [KUMAR 2007] |
| | Auswahl aktiver Fenster eines Desktopsystems: Betrachtung aktiviert und vergrößert Fenster | [FONO & VERTEGAAL 2005] |
| Auswahl durch Betrachtung | Texterstellung durch Betrachtung von virtuellen Tastaturen: bei Betrachtung wird Buchstabe ausgewählt | [AOKI ET AL. 2009], [MARAJANTA & RÄIHÄ 2002] |

Tabelle 3.3: Anwendungen der Eye-Pointing-Interaktionsmethode

3.2.3 Dwell-Time

Die Interaktionsmethode Dwell-Time (übers. Verweildauer) beschreibt die Auslösung einer Funktion durch Betrachtung des zugehörigen interaktiven Elementes über eine bestimmte Zeitspanne. Für diese Interaktionsart ist die Kenntnis über die momentane Blickposition analog dem Eye-Pointing eine grundlegende Voraussetzung. Die

Dwell-Time-Methode besitzt, aufgrund des bewussten Verweilens auf einem bestimmten Punkt, eine gewisse Analogie zur Aufmerksamkeit und ermöglicht somit ein leichtes Verständnis über das Verwenden der Fixation als Auslösung. Daher stellt die Dwell-Time das meist verwendete Blickinteraktionsverfahren dar.

Interaktionsabhängige Verweildauer: Die Verwendung deutlich unterschiedlicher Verweildauern als auslösender Parameter in verschiedenen Studien geht zum einen auf die Interaktion zwischen interaktiver Elementgröße und Ausführungsgenauigkeit – kleinere Elemente erfordern eine längere Auslösedauer – zurück [vgl. PENKAR ET AL. 2012]. Zum anderen ist die Wahl der nutzergerechten Dauer, neben Erfahrung und sensorischer Genauigkeit, unmittelbar vom Anwendungsfall abhängig [vgl. JACOB 1990], [JACOB 1993], [MARAJANTA ET AL. 2012, S. 86]. Studien von KUMAR [2007, S. 48] und MØLLENBACH [2010] beschäftigten sich mit der variablen Gestaltung der Verweildauer in Abhängigkeit der Art des interaktiven Elements. In diesen werden Auswahlfunktionen, wie der Auswahl eines Buttons, längere Verweildauern zugeordnet (400-500 ms) als z. B. der Aktivierung von Scroll-Bars durch sogenannte Mikro-Verweildauern (150-200 ms). Die zur sicheren Auslösung benötigten längeren Verweildauern stellen allerdings eine Art des Starrens dar und widersprechen im gewissen Maße dem natürlichen Blickverhalten [EBD., S. 168].

Sequenzielle Fixationen: Die bei der Dwell-Time-Methode verwendeten Parameter zur Differenzierung von natürlicher Blickbewegung reduzieren ungewollte Auslösungen in gewissem Maße. Allerdings kann ein zu langes Betrachten eines interaktiven Elements zur Informationsgewinnung weiterhin zu Fehlbedienungen führen. Um dies zu vermeiden werden Ansätze zur sequenziellen Dwell-Time-Auslösung untersucht, die eine Vorstufe von den in Kapitel 3.2.5 eingeführten Blickgesten darstellt [vgl. EBD., S. 46], [MARAJANTA ET AL. 2012, S. 81] (Abbildung 3.9).



Abbildung 3.9: Sequenzielle Dwell-Time-Interaktion eines Buttons

Demnach kann eine Dwell-Time-Interaktion in ihrer Dauer und Komplexität der Anwendung angepasst werden. Dabei ist es notwendig, dem Nutzer Informationen über die systemseitig erkannte Intension und den damit verbundenen Ausführungsprozess bereitzustellen. Dies kann in Form eines visuellen Feedbacks geschehen, z. B. durch einen sich ausfüllenden Kreis auf dem interaktiven Element. Damit werden dem Nutzer sowohl

der Ausführungsstatus als auch der sich verändernde Interfacestatus visuell dargeboten. [vgl. MARAJANTA ET AL. 2012, S. 71 f.]. Die Abbildung 3.10 dient als Übersicht der zu definierenden Parameter bei der Gestaltung von Dwell-Time-basierten Interfaces.

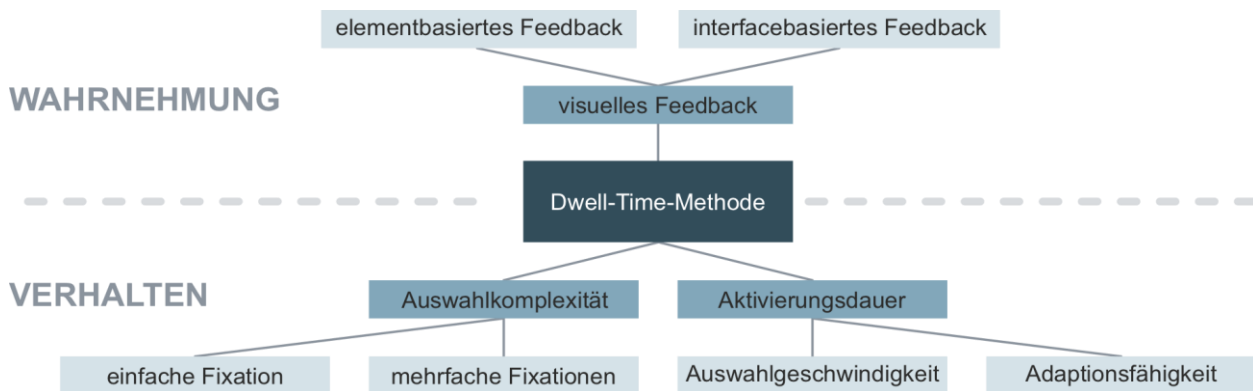


Abbildung 3.10: Parametrisierung der Dwell-Time-Gestaltung, nach MØLLENBACH [2010, S. 44]

Ausgewählte Anwendungsfälle der Dwell-Time-Methode aus den betrachteten Studien sind bezüglich ihrer verschiedenen Interfacekonkretisierungsstufen in nachfolgender Tabelle 3.4 zusammengetragen.

| Interaktionsbefehl | Anwendungsfall | Studie |
|-----------------------|--|------------------------------------|
| Zoom | Vergrößern der interaktiven Elemente durch Fixation | MARAJANTA ET AL. 2012, S. 82] |
| Auswahl & Aktivierung | mehrfache Verweildauern zum Freischalten und Aktivieren von Buttons | [MARAJANTA ET AL. 2012, S. 81] |
| | Steuerung von Objekten der realen Welt im Kontext der Smart-Home-Steuerung | [MARAJANTA ET AL. 2012, S. 110 f.] |
| Navigation | diskretes Auslösen von interaktiven Elementen in der virtuellen Umgebung | [VICKERS ET. AL. 2008] |

Tabelle 3.4: Anwendungen der Dwell-Time-Interaktionsmethode

3.2.4 Smooth Pursuits

Im Gegensatz zu Sakkaden, welche eine abgetrennte Handlung zu den Fixationen darstellen, beschreiben Smooth Pursuits eine Abfolge von Fixierungen in der Bewegung. Diese finden bei der Nachverfolgung eines sich bewegenden Ziels statt, um ein scharfes Abbild des Ziels auf der Fovea zu erhalten. [vgl. TATLER & WADE 2003]

Diese Bewegungen sind nur möglich durch ein visuell dargebotenes Objekt, welches sich im Sehfeld mit einer, auf das Auge bezogenen, Winkelgeschwindigkeit von maximal 100-120 °/s bewegt [ESTEVEZ ET AL. 2015]. Nachdem das bewegte Objekt durch eine initiale Bewegung fokussiert wird, beginnt nach meist weniger als 100 ms die ständige Nachverfolgung [vgl. DUCHOWSKI 2007]. Diese besondere Art der natürlichen

Blickbewegung kann unter anderem auch gezielt zur Interaktion eingesetzt werden, indem auf dem grafischen Interface bewegte interaktive Elemente nachverfolgt werden, um bei Vollendung eine Auslösung stattfinden zu lassen [vgl. VIDAL ET AL. 2013] (Abbildung 3.11).

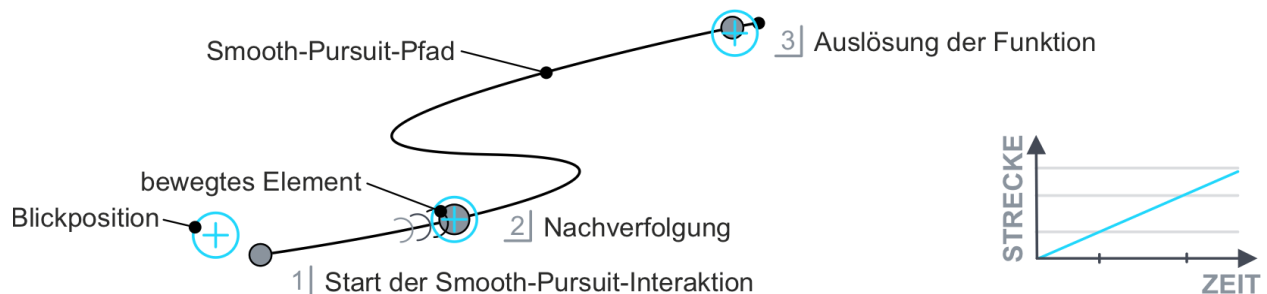


Abbildung 3.11: Prinzipieller Ablauf einer Smooth-Pursuit-Interaktion

Die Erfassung dieser einzigartigen Bewegungen benötigt keine exakte Genauigkeit seitens des technischen Systems und kann daher ohne eine vorangegangene Kalibrierung erfolgen. Bei einer Nachverfolgung über einen gewissen Zeitraum ist eine ungewollte Auslösung unwahrscheinlich. Allerdings zeigt die Studie von ESTEVES ET AL. [2015, S. 7], dass die Anzahl an bewegten interaktiven Elementen im Interface die Performanz der Interaktion deutlich reduzieren. Dies stellt eine Limitierung hinsichtlich der Komplexität von blickgesteuerten Interfaces auf Basis der Smooth-Pursuit-Methode dar. In der nachfolgenden Tabelle 3.5 sind Anwendungsfälle der Smooth-Pursuit-Methode auf verschiedenen Konkretisierungsstufen zusammengetragen.

| Interaktionsbefehl | Anwendungsfall | Studie |
|-----------------------|--|------------------------|
| Auswahl & Aktivierung | Smartwatch-Steuerung: kreisförmige Smooth Pursuits | [ESTEVES ET AL. 2015] |
| | öffentliche Anzeige: lineare und kreisförmige Smooth Pursuits | [KHAMIS ET AL. 2015] |
| | Erfassung von kognitiver Belastung | [KOSCH ET AL. 2018] |
| | Smart-Home-Steuerung mittels Augmented Reality | [DELMARE ET AL. 2017] |
| | Pin-Eingabe durch Smooth Pursuits | [CYMEK ET AL. 2014] |
| | Formen der Smooth Pursuits (rotatorisch, linear) im Vergleich zur Dwell-Time-Methode | [SPAKOV ET AL. 2016] |
| | Smooth-Pursuit-Interaktion handelsüblicher Kamera | [HASSOUMI ET AL. 2019] |

Tabelle 3.5: Anwendungen der Smooth-Pursuit-Interaktionsmethode

3.2.5 Blickgesten

„[Gaze gestures (übers. Blickgesten) are] a definable pattern of eye movements performed within a limited time period, which may or may not be constrained to a particular range or area, which can be identified in real time, and used to signify a particular command or intent.“ [ISTANCE ET AL. 2010] Die von EBD. proklamierte Definition

von Blickgesten umfasst bereits die wesentlichen Merkmale der Blickgesteninteraktion im Einklang mit RASKINS [2000] allgemeiner Gestendefinition. Sie unterscheiden sich von Augengesten, welche den Liedschlag und die Augenbrauen in die Bedeutung der Geste mit einbeziehen und welche sich somit stärker an der Mimik orientieren. Als Substitut der Dwell-Time-Methode stellen Blickgesten im Kontext der Mensch-Technik-Interaktion einzigartige Augenbewegungsmuster dar, welche bestimmte diskrete Interaktionsbefehle auslösen [vgl. HEIKKILÄ 2013]. Dabei kann die Blickgeste hinsichtlich ihrer Komplexität stark variieren. Blickgesten setzen sich, wie andere Gesten, aus den in Kapitel 2.3.1 definierten Phasen zusammen. Ein Segment stellt dabei die Gesamtheit des stattfindenden Strokes und der darauffolgenden bewussten Fixation dar und unterscheidet sich daher von einer Sakkade gefolgt von einer willkürlichen Fixation. Dabei kann der Stroke auch aus einer Abfolge mehrerer kleinerer Sakkaden (engl. Jitter) bis zum erzielten Fixationspunkt erfolgen. Somit erweisen sich Blickgesten als toleranter in Bezug auf Genauigkeit und Kalibrierung als die Dwell-Time-Methode.

Untersuchungen zu Blickgesten: Blickgestenbasierte Texteingaben, wie beispielhaft die Auswahl bestimmter Buchstaben durch sequenzielle Betrachtung von Interfaceecken, zeigen die Notwendigkeit einer eindeutigen Zuordnung von Nutzereingaben zu entsprechenden Manipulationen auf. Diese Zuordnungen werden dabei in einem Blickgestenkatalog festgehalten. [vgl. WOBROCK ET AL. 2008], [PORTA & TURINA 2008], [BEE & ANDRE 2008]. DREWES & SCHMIDT [2007] führen erstmals ortsunabhängige Blickgesten für eine kalibrierungsfreie Interaktion ein. Diese bestehen aus mehreren Segmenten ($2,24^\circ$; $\emptyset 557^\circ\text{ms}$), welche in acht verschiedenen Richtungen ausgeführt werden können. Ihre Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Ausführungszeit unabhängig von den jeweiligen Segmentrichtungen sowie dem verwendeten Hintergrund zu sein scheint. Dieser Ansatz wird von BULLING ET AL. [2008A] und BULLING ET AL. [2008B] mit anderen Blickerfassungsverfahren weiterverfolgt, um die technologische Universalität der Blickgestenerkennung zu untersuchen.

Die Untersuchungen von ISTANCE ET AL. [2010], welche den Einsatz von ortsgebundenen Blickgesten zur Auswahl von Buttons und zur Navigation im virtuellen Raum betrachten, zeigen im Vergleich zur Blickgestenlogik von DREWES & SCHMIDT [2007] deutlich kürzere Segmentdauern (247-293 ms) bei längeren Segmentlängen von 7° .

Ein Versuch die recht komplexen Blickgesten zu vereinfachen wird von MØLLENBACH ET AL. [2010] getätigt, indem Einzel-Segment-Blickgesten, von einem Bildschirmrand zum anderen (13° bzw. 14° Blickwinkeländerung), für übergeordnete Navigationsbefehle, z. B. Wechsel eines Fensters, eingesetzt werden. Darüber hinaus wurde auch die Anwendbarkeit von Blickgesten mit Segmenten, die über das grafische Interface

hinausreichen [vgl. MYTOBII 2011], [KUMAR 2007], [ISOKOSKI 2000], sowie die Kombination mit andern Blickcharakteristiken wie z. B. das Schließen der Augen (390 ms) zum Beenden der Blickgeste [vgl. HEIKKILÄ & RÄIHÄ 2012] untersucht. Die für die unterschiedlichen Blickgestenausprägungen gestalteten Interfaceaufbauten sind in Abbildung 3.12 dargestellt.

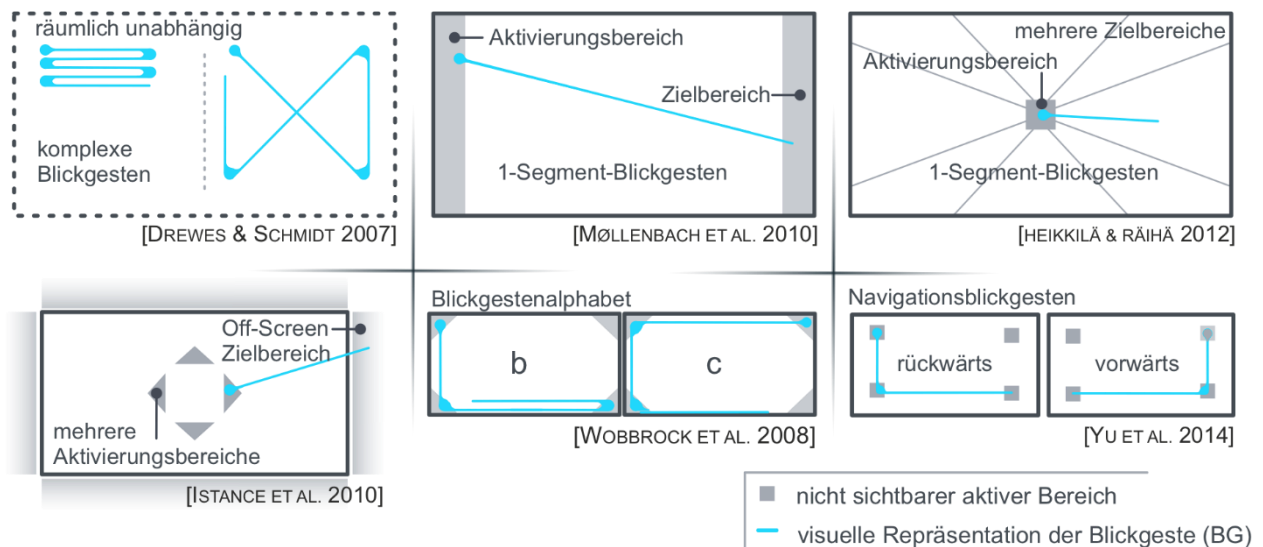


Abbildung 3.12: Interfaceaufbau und Blickgesten verschiedener Untersuchungen

Nachfolgend wird auf die maßgeblichen Erkenntnisse aus dem Forschungsbereich der Blickgesteninteraktion und aus den, vom Verfasser der vorliegenden Arbeit betreuten, Vorstudien eingegangen.

Unterstützung im Interface: Auch, wenn dem Anwender teilweise die Segmentlängen und Endposition der Blickgesten selbst überlassen werden, ist als ein durchgängiges Verhalten zu beobachten, dass die Anwender sich an bestimmten visuellen Markern, wie z. B. Monitorrändern orientiert haben [vgl. HEIKKILÄ & RÄIHÄ 2012], [DREWES & SCHMIDT 2007]. Dieser Aspekt wird von DREWES [2010, S. 103-105] weiter untersucht und es kann festgestellt werden, dass eine visuelle Unterstützung im Sinne einer statischen Führung zu einer deutlichen Steigerung der Performanz bei der Blickgesteninteraktion führt. Diese kann beispielhaft durch bestimmte opake oder halbtransparente Unterstützungspunkte (engl. Fix-Points) umgesetzt werden. MØLLENBACH [2010] vermerkt die damit verbundene Einschränkung der Interfacegestaltung, stellt jedoch in seinen Untersuchungen fest, dass Blickgesten ohne Fix-Points einen hohen kognitiven Aufwand erfordern, um diese im ausreichenden Maße korrekt auszuführen.

Die Bedeutung von Feedback für die Blickgestensteuerung: Dem Nutzer zeitnah eine Rückmeldung über die Handlung, das Ziel und den Status zu geben, spielt in allen Bereichen der MTI eine maßgebliche Rolle [ZÜHLKE 2012]. Bei einer überwiegenden Anzahl der Studien werden dem Nutzer nach erfolgreich erkannter Interaktion visuell ein

Feedback dargeboten, entweder global oder am Ort der Gestenbeendigung. BOTTA [2016] evaluiert in diesem Zusammenhang eine nutzergerechte visuelle Größenänderung für Blicksteuerungsarten übergreifende Auswahlvorgänge. In Bezug auf die Blickgesten untersucht KÖPEL ET AL. [2016] die Darbietung eines Feedbacks weiterführender. Dabei werden Darbietungsformen verschiedener Modalitäten herangezogen und das Feedback dem Nutzer nach jedem erfolgreich erkannten Segment der Blickgeste präsentiert [vgl. KANGAS ET AL. 2014], [RANTALA ET AL. 2017]. Die Untersuchungen ergeben, dass dem Nutzer auch bei der Blickgestensteuerung ein semantischer Rückschluss auf die erkannte Interaktion bereitzustellen ist.

Freiheitsgrade der Blickgesten: Blickgesten können ortsgebunden oder ortsungebunden verwendet werden und dabei geschlossen (Endposition entspricht Startposition) oder offen (Endposition entspricht nicht Startposition) konzipiert werden. Ortsungebundene Blickgesten bieten einen größeren Gestaltungsraum des Interfaces, schränken allerdings die auszuführende Funktionsanzahl ein. Ortsgebundene Blickgesten benötigen einen gewissen Platzbedarf im Interface, erlauben jedoch eine kontextabhängige Funktion je nach interaktivem Element. Verschiedene Segmentrichtungen und der grafische Ausführungshintergrund haben jedoch keine Auswirkung auf die Ausführungszeit der Blickgesten. DREWES & SCHMIDT [2007] Die Segmentlänge hat keinen Einfluss auf die Ausführbarkeit und nur unwesentlich auf die Ausführungsgeschwindigkeit, daher sind Blickgesten skalierbar [vgl. HEIKKILÄ & RÄIHÄ 2012], [DREWES & SCHMIDT 2007]. Die von MARAJANTA ET AL. [2012, S. 86] zusammengestellte Übersicht der verwendeten Blickgestenprinzipien, zeigt eine Variation der Segmentdauer. Die genaue Betrachtung der Untersuchungen zeigt, dass die Segmentdauer stark von der zu Grunde gelegten Fixationsdauer und der Experimenteinweisung abhängt.

Lernaufwand: Im Gegensatz zu Smooth Pursuits unterscheiden sich Blickgesten deutlich vom natürlichem Blickverhalten. Sie erfordern daher einen gewissen Lernaufwand. Deren korrekte Verwendung erfordert sowohl das Wissen über die durchzuführenden Blickgestenbewegungsabläufe, als auch ein Verständnis darüber, welche Blickgesten den momentanen Interfacezustand durch Interaktionsbefehle manipulieren können. Die damit verbundene deutliche Abweichung vom natürlichen Blickverhalten führt allerdings auch zu einer relativ robusten und fehlbedienungsarmen Interaktionsmethode, sofern ein erfolgreiches Lernen vorausgesetzt wird, welche in verschiedenen Einsatzgebieten notwendig ist. Wird die Interaktion mittels Touchgesten von Smartphones oder Tablets durch geeignete Analogie- und Assoziationsbildung betrachtet, scheint die Hürde des Anlernens von Gesten zur Interaktion mit technischen Systemen durchaus für eine breite Nutzergemeinschaft überwindbar zu sein. Darüber

hinaus ist dennoch eine, sich an den komfortablen Bewegungsabläufen des Auges orientierende (vgl. Kapitel 2.1.4), Parameterdefinition der Interaktionsmethode anzustreben. Neben den genannten restriktiven Aspekten haben Blickgesten im Vergleich zu andern blickbasierten Auswahlmethoden folgende Vorteile [vgl. DREWES 2010].

Geschwindigkeit: Die Ausführung eines Segmentes kann prinzipiell sehr schnell erfolgen [vgl. DUCHOWSKI 2007]. Somit können Blickgesten je nach verwendeter Segmentanzahl schneller als Dwell-Time-Interaktionen ausgeführt werden.

Interfaceplatzbedarf: Die Blickgesten besitzen keinen großen Platzbedarf im Interface, da die Segmente über andere Elemente ausgeführt werden können, welche von der Blickbewegung nicht beeinflusst werden. Das Anzeigen von Fix-Points relativiert diesen Vorteil jedoch [vgl. ISTANCE ET AL. 2010], [WOBBROCK ET AL. 2008].

Minimierung von Fehlbedienungen: Einzel-Segment-Gesten erweisen sich als nicht sicherer im Vergleich zu Dwell-Time-Auslösung [vgl. MØLLENBACH 2010, S: 203]. Jedoch erlaubt eine ausreichend deutliche Abweichung vom natürlichen Blickverhalten durch mehrere Segmente ein sicheres Betrachten interaktiver Elemente. Im Gegensatz zur der Dwell-Time-Methode, wird dadurch eine unkritische Informationsaufnahme, ohne die Gefahr der Fehlbedienung, gewährleistet. Dies führt allerdings zur unweigerlichen Erhöhung der Komplexität (Segmentanzahl) der Blickgeste. DREWES [2010, S. 119, 122] proklamiert Blickgesten, welche für große Interfaces (z. B. Desktop oder Laptop) aus vier Segmenten verschiedener Richtung und für kleinere Interfaces (z. B. Smartphone) aus sechs Segmenten verschiedener Richtung bestehen, als ausreichend sicher.

Eine vom Verfasser der vorliegenden Arbeit angeleitete Versuchsreihe betrachtet die Auswirkung von Segmentanzahl auf die Reliabilität (Fehlerkennungen des Systems) und der Usability (Fehlausführungen des Nutzers) bei der Desktop-Interface-Bedienung. Dabei werden Blickgesten mit einer Segmentanzahl ab drei unterschiedlichen Segmenten als ausreichend sicher beurteilt. Eine Verringerung von Fehlbedienungen ist bis zu einer Segmentanzahl von vier Segmenten beobachtbar. Unter Berücksichtigung beider Merkmale kann, im Vergleich zu Drewes Untersuchungen, somit auf eine weniger komplexe Gestaltung der Blickgesten zurückgegriffen werden. [vgl. DHYRINGER 2018]

Analogien und Assoziationen: Blickgestenausführungen können durch geeignete, dem Kontext entsprechende, metaphorische und heuristische Assoziationsbildung unter Verwendung von Analogien deutlich erleichtert werden, z.B. Swipe- und Zoom-Funktionen bei Touchgesten. MARKERT [2018] definiert im Rahmen einer Befragung die gängigsten Analogieprinzipien im Kontext einer Interfacebedienung. Demnach ist zwischen statischer und visueller Repräsentation, der damit verbundenen Proportion und

dem dynamischen Verlauf mit der dazugehörigen Geschwindigkeit bzw. Beschleunigung zu unterscheiden. Die jeweilige Gestaltung einer möglichen Blickgestenvariante auf Basis der genannten Analogieprinzipien und deren Funktion in der virtuellen Welt ist am Beispiel eines „Weiter“-Befehls in Abbildung 3.13 dargestellt. KELLER [2018] untersucht in einem vom Verfasser der vorliegenden Arbeit betreuten Experiment die praktische Übertragbarkeit dieser Analogieprinzipien im Kontext von kognitiven, proportionalen Einstellvorgängen, wie z. B. der stufenüberspringenden, diskreten Auswahl von Werten auf einer Skala. Die Ergebnisse zeigen, dass Anwender von blickgestengesteuerten technischen Systemen eine Analogie über die Geschwindigkeit – schneller ist mehr – unzureichend kontrollieren konnten. Die Proportion der Blickgeste – länger ist mehr – in einem mit geeigneten Fix-Points ausgestatteten Interface funktionierte allerdings vergleichsweise gut. Dies zeigt, dass blickgestengesteuerte Befehle auch zur proportionalen Manipulation eingesetzt werden können. Bei der Gestaltung von Blickgestenkatalogen ist prinzipiell der soziologische und kulturelle Einfluss auf die Bedeutungen zu berücksichtigen, welcher in dieser Arbeit nicht explizit betrachtet wird.

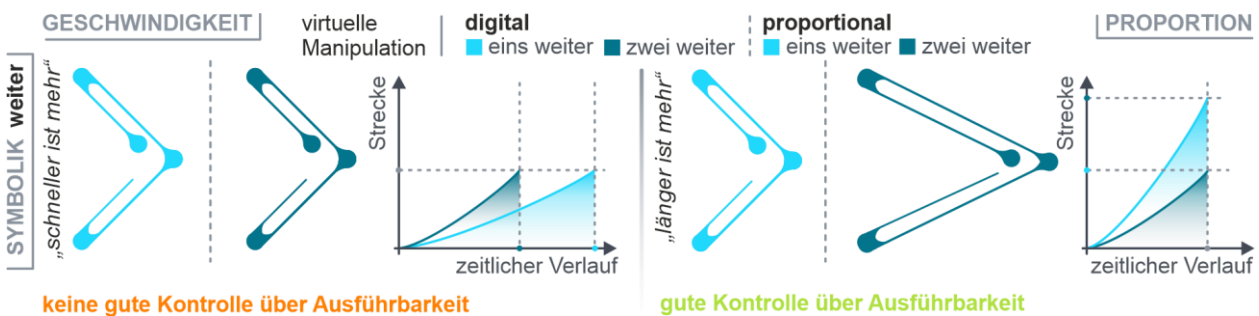


Abbildung 3.13: Übertragbarkeit der Analogieprinzipien der Geschwindigkeit und Größe auf die Blickgestensteuerung

Die Abbildung 3.14 dient zusammenfassend als Übersicht der zu definierenden Parameter bei der Blickgestengestaltung.

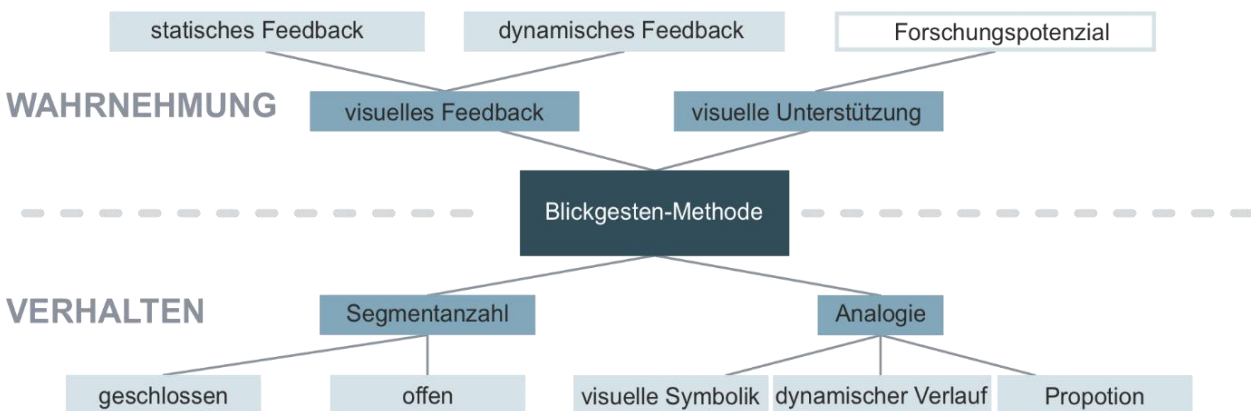


Abbildung 3.14: Parametrisierung der Blickgestengestaltung, auf Basis von MØLLENBACH [2010, S. 56]

Anwendungsfälle der Blickgesten-Methode sind in der nachfolgenden Tabelle 3.6 nach dem jeweiligen Interaktionsbefehl aufgeführt.

| Interaktionsbefehl | Anwendungsfall | Studie |
|--------------------|---|---|
| Auswahl | Blickgestensegmente ins Off-Screen: Umschalten diskreter aufgabenbasierter Modi zur Navigation im virtuellen Raum | [VICKERS ET AL. 2008] |
| | Smartphone-Steuerung: ortsungebundene Blickgesten für Hauptfunktionen, Bildschirmrand zur Ausführungsorientierung | [DREWES ET AL. 2007], [RANTALA ET AL. 2017]. |
| | Pin-Eingabe: Zahlenkatalog auf Basis von Multi-Segment-Blickgesten | [DE LUCA ET AL. 2007] |
| | Schreiben mittels Blickgesten: Buchstaben im Blickgestenkatalog, Blickgesten entlang Interfaceecken | [WOBBROCK ET AL. 2008] |
| Navigation | Roboter und Drohnensteuerung: Bewegungsbefehle durch Blickgesten mit mehreren Segmenten, Komplexität einer kontinuierlichen Steuerung | [YU ET AL. 2014] |
| | Anwendung zum Zeichnen: Einzel-Segment-Off-Screen-Blickgesten zur Vergrößerung und Positionierung von Elementen | [HEIKKILÄ 2013] |
| | Menü- & Browsernavigation durch räumlich unabhängige Blickgesten | [RAJANNA & HAMMOND 2018] |
| | Blickgesten in der Endoskopie: Zoom und Schwenkaktivierung durch Blickgesten bei laparoskopischen Eingriffen | [FUJII ET AL. 2013] |

Tabelle 3.6: Anwendungen der Blickgesten-Interaktionsmethode

3.2.6 Gegenüberstellung der Blickinteraktionsarten

In den vorangegangenen Kapiteln werden die wesentlichen Interaktionsmethoden auf Basis von Augenbewegungen beschrieben. Aus diesen Erläuterungen geht deutlich hervor, dass der Einsatz einer bestimmten Interaktionsart bzw. der gezielten Kombination mehrerer Interaktionsarten vom Nutzungskontext abhängt.

Die wesentlichen Eigenschaften der erläuterten Methoden sind in Form ihrer Vorzüge und Nachteile hinsichtlich der relevanten Schnittstellenparameter der MTI-Gestaltung in Tabelle 3.7 zusammengetragen. Die qualitative Bewertung der Parameter entstammt der in diesem Kapitel getätigten Rechercheen bzgl. der einzelnen Blickinteraktionsmethoden und dient zur relativen Einordnung beim Vergleich zwischen diesen Interaktionsmethoden. Zur visuellen Hervorhebung dieser Parameterbewertung sind für die jeweilige Methode Vorteile in Grün, Einschränkungen in Gelb, Nachteile in Orange und Anmerkungen in Grau markiert.

| Interaktionsparameter | Eye-Pointing | Dwell-Time | Smooth Pursuit | Blickgeste |
|-------------------------------|--|--|---|--|
| 1 Direktheit der Steuerung | direkt | direkt | mittelbar | indirekt |
| 2 Interaktionsgeschwindigkeit | unmittelbar, verzögerungsfrei | mäßig (150-1000 ms) | mäßig (150-1000 ms) | mäßig, segmentanzahlabhängig (120-1000°ms) |
| 3 virtueller Platzbedarf | kein virtueller Freiraum notwendig | iE dürfen nicht übereinander liegen | Smooth-Pursuit-Pfad kann, den anderer iE überlagern, benötigen jedoch Platz | Abhängig von statischer Unterstützungsform |
| 4 Ausführungssicherheit | empfangende und sendende Blickphasen schwer unterscheidbar | wird mit längerer Verweildauer, bzw. sequenziellen Fixationen sicherer | gut, erfordert kein explizites Training | gut, erfordert explizites Training |
| 5 Ausführungsvariation | Richtung, Geschw. und Beschleunigungsverlauf | Länge der Verweildauer | Geschw. (ideal bei 120°/s), Beschleunigungsverlauf | freie Ausführungsvariation entlang Blickgestenpfad |
| 6 kognitiver Aufwand | kein großer kognitiver Aufwand | kognitiver Aufwand: Einschätzung der Dauer | kein großer kognitiver Aufwand | kognitiver Aufwand: Einsatz BG-Vokabular |
| 7 sensorischer Aufwand | exakte Kalibrierung notwendig | Kalibrierung notwendig | keine Kalibrierung notwendig | keine exakte Kalibrierung notwendig |
| 8 Rückmeldung an Nutzer | Feedback über Blickposition problematisch | Feedback über Auslöseprozess sinnvoll | bewegtes iE muss ständig angezeigt werden | Feedback über Auslöseprozess sinnvoll |
| 9 Informationsgehalt der iE | möglichst gering | schnell erfassbare Informationen | sehr geringer Informationsgehalt | beliebig großer Informationsgehalt |

iE: interaktives Element BG: Blickgeste

Tabelle 3.7: Vor- und Nachteile der beschriebenen Blickinteraktionsmethoden

3.3 Zwischenfazit und Feststellung des Forschungsbedarfs

Die Betrachtung der Grundlagen aus den behandelten Wissensdisziplinen (Kapitel 2) und den durchgeführten Forschungsarbeiten zu blickgestengesteuerten Anwendungen (Kapitel 3) zeigt die Potenziale dieser Mensch-Technik-Interaktionsart auf.

Ein Schwerpunkt innerhalb der gesichteten wissenschaftlichen Untersuchungen besteht in der Optimierung des Blicksteuerungsinterfaces. Dabei lassen sich Bestrebungen zur Größen-, Form-, Inhalts- und Verhaltensdefinition beinhalteter interaktiver Elemente, unter Berücksichtigung sensorischer und menschlicher Fähigkeiten und Einschränkungen, feststellen.

Den meisten Untersuchungen wird dabei die Dwell-Time-Methode als Interaktionsmöglichkeit zu Grunde gelegt. Aufgrund der in Kapitel 3.2.6 aufgezeigten Unterschiede hinsichtlich der Gestaltungsrestriktionen, können die dabei gewonnen Erkenntnisse nicht unmittelbar auf die Gestaltung blickgestengesteuerter Interfaces übertragen werden. Wie jedoch im vorherigen Kapitel aufgezeigt, bietet der Einsatz von Blickgesten für die diskrete Manipulation gegenüber anderen Blickinteraktionsarten durchaus Vorteile, welche auch in einer realen Anwendung wirksam werden.

Die Steuerung mittels Blickgesten erweist sich insbesondere dann als vorteilhaft, wenn ein ausgewogenes Maß zwischen Bediensicherheit und Bedieneffizienz in einem komplexen Interface gefordert ist. Der dafür notwendige Lernaufwand des Blickgestenkataloges ist dabei überschaubar zu halten. Damit diese Vorteile in der MTI-Gestaltung zum Tragen kommen, ist insbesondere bei der Blickgestensteuerung die Bereitstellung von Informationen über den Interaktionsprozess notwendig.

Für die Blicksteuerung wurde die Relevanz eines adäquaten visuellen Feedbacks bereits von BOTTA [2016] nachgewiesen. Wie u.a. aus seinen Untersuchungsergebnissen geschlossen werden kann, ist der visuelle Informationsverarbeitungsprozess (vgl. Kapitel 2.1.5) und das damit verbundene Interaktionsverhalten bei der Blickgestensteuerung leicht durch visuelle Reize beeinflussbar.

Die bisher getätigten Untersuchungen zur positiven Beeinflussung des Nutzers bei der Ausführung von Blickgesten sind vielversprechend, zeigen jedoch den Bedarf nach einer parametrischen Überprüfung dieses Einflusses durch visuelle Darbietungen im Interface auf (siehe Abbildung 3.15).

Dabei sind vor allem zwei Aspekte von besonderer Bedeutung. Zum einen stellt das individuelle Blickverhalten (vgl. Kapitel 3.2.5) prinzipiell eine Herausforderung bzgl. der systemseitigen Blickgestenerkennung, sowie der Gewährleistung der nutzerseitigen Ausführungssicherheit dar. Zum anderen erweist sich die kontinuierliche Kontrolle über die Augenbewegung ohne adäquate optische Reize im Interface als ungleich schwerer im Vergleich zur Kontrolle der Feinmotorik ohne derartige haptische Rückmeldung.

Die bisherige Unterstützung findet zumeist lediglich in Form eines statischen Unterstützungsrasters aus Fix-Points (kurz FP) statt.

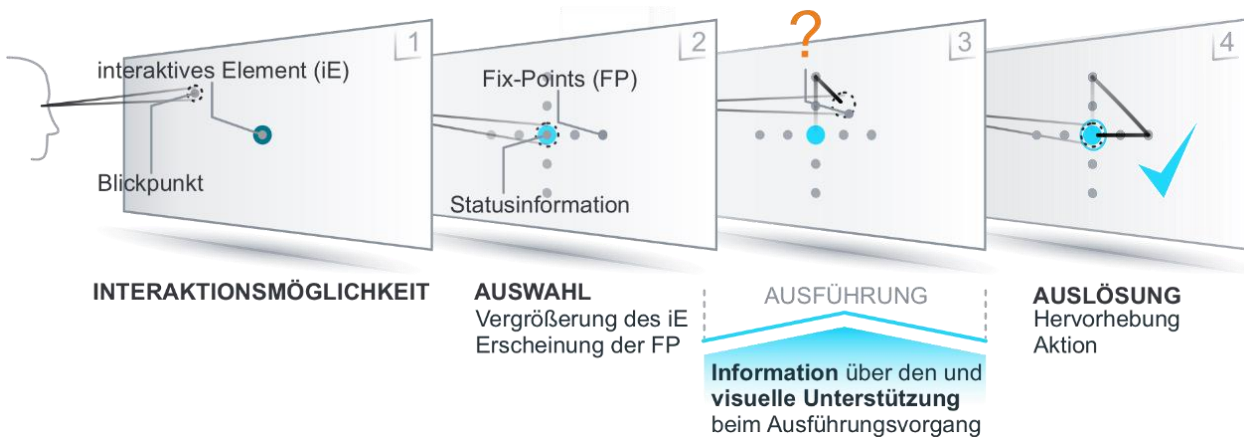


Abbildung 3.15: Forschungsbedarf beim Blickgesteninteraktionsprozess

Wie die in Kapitel 2.1 dargelegten Grundlagen verdeutlichen, ist der Blick eine Fähigkeit, welche nur zu einem gewissen Teil direkt steuerbar ist. Der visuelle Wahrnehmungsprozess und die damit verbundene unwillkürliche Reizreaktion sind deutlich evolutionär geprägt sind. Daher richtet sich der Forschungsansatz der vorliegenden Arbeit auf das zu Nutze machen dieser Reizreaktion aus, um eine positive Beeinflussung der Blickbewegung während der Blickgestenausführung – durch eine sogenannte situative visuelle Unterstützung – zu erzielen.

Dabei setzt diese Art der Unterstützung an dem noch zu absolvierenden und nicht an dem bereits passierten Blickgestenpfad an.

Die Untersuchung und Definition einer geeigneten Unterstützung durch einen situativ visuellen Anzeiger stellt somit den Kern des Forschungsvorhaben der vorliegenden Arbeit dar. Dazu sollen folgende Forschungsfragen geklärt werden:

- Kann die Gebrauchstauglichkeit eines Blickgesteninterfaces durch eine gezielte Gestaltung der situativen visuellen Unterstützung beeinflusst werden?
- Verbessert eine situative visuelle Unterstützung die Gebrauchstauglichkeit eines Blickgesteninterfaces im Vergleich zu Blickgesteninterfaces ohne eine solche Unterstützung?

- Kann eine gezielte Gestaltung des Blickgesteninterfaceaufbaus die Gebrauchstauglichkeit bei einer Blickgestensteuerung mit situativer visueller Unterstützung zusätzlich fördern?
- Ist die Gebrauchstauglichkeit eines Blickgesteninterfaces mit situativer visueller Unterstützung beeinflussbar durch die sensorisch, computerunterstützte Erfassungsqualität der Blickgesten?

Die Abbildung 3.16 visualisiert den beschriebenen situativen visuellen Unterstützungsbedarf und zeigt die dafür relevanten Schnittstellen der MTI auf. Das nachfolgende Kapitel legt weiterführend die methodisch-konzeptionelle Grundlage dieses Vorhabens dar.

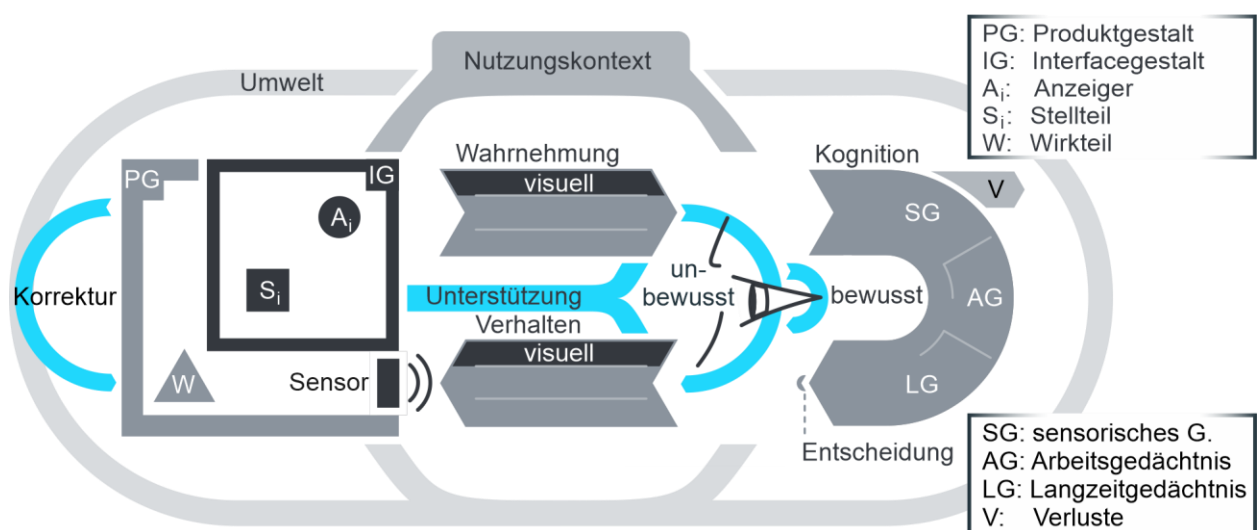


Abbildung 3.16: MTI-Schnittstellen der situativen visuellen Unterstützung bei der Blickgestenausführung

4 Methode zur Parametrisierung der Blickgesteninteraktion

Der Effekt einer visuellen Unterstützung während der Blickgestenausführung wird aufgrund der unmittelbaren Kopplung zwischen der visuellen Informationsverarbeitung und den Parametern der Interfacegestalt wie z. B. Freiräumen, Hintergrundhelligkeit oder Elementanzahl beeinflusst. Daher ist zur Überprüfung der Unterstützungseffekte eine experimentelle Evaluation in einem erlebbaren Interface unter Einbeziehung eines konkreten Nutzungskontexts notwendig (vgl. Kapitel 5.1.5). Innerhalb des nutzerzentrierten Gestaltungsprozesses einer solchen blickbasierten Mensch-Technik-Schnittstelle werden zunächst die Anforderungen an die Interfacegestaltung und die Bediencharakteristik der Blickgesten definiert. Anhand dieser Anforderungen wird anschließend das funktionale Interface (kurz IG) und die darin beinhalteten visuellen Bedienelemente zur Blickgestensteuerung konzipiert. Diese Bedienelemente vereinen die Eigenschaften von visuellen Stellteilen und Anzeigern (kurz S/A_s). Diese funktionale Konzeption stellt den Rahmen für die zu untersuchenden Interaktionsunterstützungen in Form des situativen visuellen Anzeigers (kurz A_u) und der damit verbundenen Gestaltungsparameterdefinition (vgl. Kapitel 4.3.3) dar. Neben der Konzeption des Blickgesteninterfaces ist es für das Erleben der Bediencharakteristik darüber hinaus notwendig, die Blickgestendetektion computerunterstützt bereitzustellen (vgl. Kapitel 4.3.4). Bei der Experimentplanung wird das Forschungsvorhaben durch Forschungshypothesen konkretisiert und anhand von messbaren Kriterien überprüfbar gemacht (Kapitel 5.1.2). Die Abbildung 4.1 visualisiert dazu das nachfolgende Vorgehen.

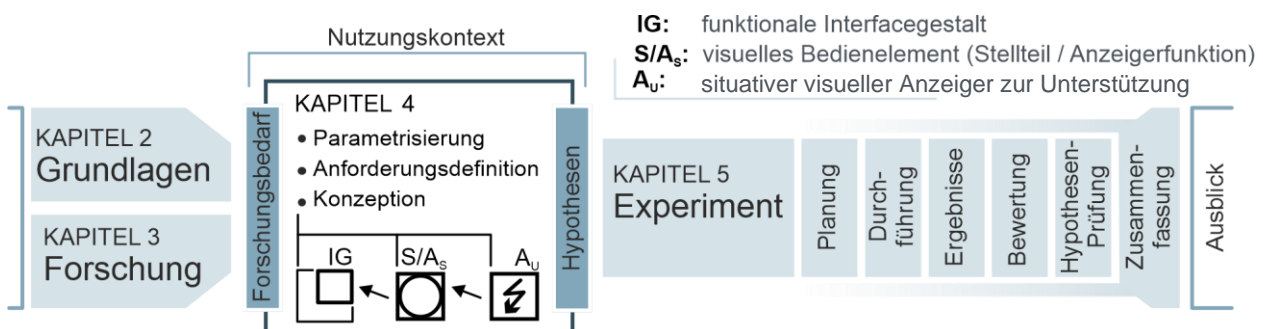


Abbildung 4.1: Methodischer Ablauf der Gestaltungsparametrisierung zur Definition der zu untersuchenden Unterstützungsvarianten

4.1 Anforderungsdefinition der Nutzerschnittstelle

Im Folgenden wird auf die entstehenden Anforderungen an die Blickgestenbedienung aus den Einflüssen der relevanten Bereiche – Nutzer, Arbeitsaufgabe und Umgebung der Mensch-Technik-Schnittstelle (Kapitel 2.2) – eingegangen. Die daraus resultierenden Interfaceanforderungen unterteilen sich nach SEEGER [2006, S. 79, 82] in technisch-physikalische, fertigungstechnische, wirtschaftliche, Umwelt- und Mensch-Produkt-

Anforderungen, wobei der Schwerpunkt der Anforderungen hinsichtlich der Forschungsfragen auf den Mensch-Produkt-Anforderungen liegt.

Nutzer: Aus den Anwendungsfeldern (vgl. Kapitel 3) geht die räumlich feste Nutzer-Interface-Relation als sinnvolle Untersuchungsanordnung hervor, wie es z. B. bei einer Desktopbedienung der Fall ist. In Laborstudien werden Kopffarretierungen zur Fixierung der räumlichen Nutzer-Eye-Tracker-Relation verwendet, wie z. B. Kinnstützen [vgl. DREWES ET AL. 2007]. Die Anforderung einer anwendungsnahen Evaluation schließt jedoch einen möglichst natürlichen Bewegungsfreiraum des Nutzers ein. Somit ist von derartigen Kopffixierungen abzusehen. Daraus ergeben sich die Vorgaben an die gebrauchstauglichen Unterstützungsvarianten, einen kompensierenden Effekt auf den Einfluss dieses Freiheitsgrades auszuüben. Der Einfluss des Nutzers kann anhand physiologischer und psychomentaler Kategorien [vgl. JORDAN 2002] sowie relevanter sensorischer, motorischer und anthropometrischer Nutzereigenschaften bestimmt werden [vgl. SCHMIDT & MAIER 2017]. Unter Berücksichtigung des zu Grunde gelegten Forschungsziels besteht der Fokus auf dem visuellen Wahrnehmungs- und kognitiven Verarbeitungsvermögen. Mit Blick auf das Nutzungsverhalten von technischen Geräten und der Affinität bei jüngeren Bevölkerungsgruppen im Umgang mit virtuellen Interfaces, wird der Fokus prinzipiell auf eine bedarfte und technikaffine Nutzergruppe gerichtet.

Arbeitsaufgabe: Die sinnvolle Auswahl der im Kontext der Nutzung stehenden Arbeitsaufgabe orientiert sich an den verbreitetsten Anwendungsfällen, welche sich aus der Sichtung der Blickinteraktionsstudien (vgl. Kapitel 3.2) und der Berücksichtigung zukünftiger Trends (vgl. Kapitel 1) ergeben. Dabei offenbart sich die für virtuelle Interfaces verbreitete Menübedienung als adäquate Arbeitsaufgabe, d. h. Navigation durch verschiedene Interfaceebenen zur Informationsbeschaffung und Systemzustandsmanipulation. Diese wird unter Einbezug der nach PFEFFER [2016, S. 23, 60 ff.] spezifizierten zugehörigen Prozesse des Explorierens, Verstehens und Manipulierens ermöglicht. Im Kontext der Blickgesteninteraktion besteht die Manipulation aus diskreten Stellaufgaben auf Basis von Blickgesteneingaben, welchen im Rahmen der folgenden Parametrisierung ein besonderer Fokus zuzusprechen ist. Damit einhergehend, sind die nach FORLEY ET AL. [1984] kategorisierten Navigationsaufgaben hinsichtlich ihrer Umsetzbarkeit durch die Blickgestenfunktionalität zu klassifizieren (vgl. Kapitel 3.2.5; von Grün: geeignet bis Rot: ungeeignet):

- | | | |
|-------------------------|--------------------|--------------------|
| ■ Auswahl, | ■ Position, | ■ Orientierung, |
| ■ (Interaktions-) Pfad, | ■ Quantifizierung, | ■ Textbearbeitung. |

Diese Aufgaben sind dabei stets den Freiheiten und Restriktionen hinsichtlich Genauigkeit (Exaktheit, Präzision), Geschwindigkeit, damit verbundenem Zeitaufwand,

translatorischer Bewegungsrichtung, Kopfposition-, sowie -haltung ausgesetzt, welche durch die Bedienart bedingt werden (vgl. Kapitel 3.1.1 und Kapitel 3.2.5).

Umgebung: Die Umgebungsfaktoren können sich sowohl unterstützend (z. B. durch ausreichende Helligkeit oder angenehme Umgebungstemperatur) als auch störend (z. B. durch Dunkelheit oder Lärm) auf die Mensch-Technik-Interaktion auswirken. Für die experimentelle Validierung der grundlegenden Auswirkungen des situativen visuellen Anzeigers auf die Interaktion ist ein möglichst günstiger Umgebungszustand herzustellen. Aufgrund der Arbeitsaufgabe einer Menübedienung im virtuellen Interface wird im Rahmen dieser Arbeit die vom Anwender wahrgenommene Produktgestalt sinnvollerweise ausschließlich auf die zu konzipierende Interfacegestalt reduziert. Dabei stellt dieses grafische Bedienmenü ebenso ein Teil der Umgebung des visuellen Bedienelements und des situativen visuellen Anzeigers dar. Dieses Bedienmenü ist zur Vermeidung störender Einflüsse nach den in Kapitel 2.2 beschriebenen Interfacegestaltungsrichtlinien zu konzipieren. Die beschriebenen Einflüsse auf die Konzeption des Blickgesteninterfaces bilden die zu Grunde gelegten Rahmenbedingungen. Diese werden mittels weiterer Vorüberlegungen hinsichtlich des Experiments und den modalitätsspezifischen Aspekten einer gebrauchstauglichen Schnittstellengestaltung [vgl. DIN EN ISO 9241-11: 2018] spezifiziert.

Farbneutralität: Die Verwendung von Farbe in virtuellen Interfaces stellt einen der grundlegenden Gestaltungsparameter dar, welcher das Erscheinungsbild maßgeblich beeinflussen kann. Um jedoch die grundsätzlichen Effekte einer visuellen Darbietung von Unterstützungsreizen auf die Blickgesteninteraktion zu evaluieren, wird der Einfluss der Farbgebung in den Untersuchungen dieser Arbeit bewusst ausgeschlossen. [vgl. WEINSCHENK & YEO 1995] Der damit verbundene Verzicht auf Farbtöne führt zu einer unbunten Darstellung des Interfaces. Dessen Erkennbarkeit hängt somit von den Kontrastverhältnissen ab, welche durch verschiedene Helligkeitsstufen entstehen.

Parametrisierung des virtuellen Bedienelements zur Blickgesteninteraktion: Die Evaluation sinnvoller Darbietungsvarianten zur Unterstützung der Blickgesteninteraktion (Kapitel 5) setzt eine eindeutige Definition der Gestaltung des visuellen Bedienelements und seiner Interfaceumgebung durch bestimmte Gestaltungsparameter voraus (vgl. Kapitel 4.3). Eine solche Parametrisierung stellt dabei eine gestaltungsgerechte Zerlegung der Interaktionseigenschaften, unter Berücksichtigung der speziellen Anforderungen und Randbedingungen der Blickgestensteuerung als implizierte Bedienmodalität, dar. Dabei sind die Gestaltungsparameter eines typischen Bedienelements in virtuellen Interfaces, analog realer Interfaces, in zwei Gestaltungskategorien spezifizierbar. Die virtuelle Bedienelementgestalt stellt die Gesamtheit aller visuell

wahrgenommenen Gestaltungsparameter dar. Nach [SEEGER 2006] können diese in die visuell wahrgenommene Anzeiger- und die Stellteilgestalt untergliedert werden. Die Bediencharakteristik umfasst hingegen Gestaltdimensionen, welche ausschließlich während der Interaktion wahrgenommen werden können. Die Parametersystematik erfolgt dabei in Anlehnung an die von JANNY ET AL. [2017] näher spezifizierte Gestaltungsparametrisierung realer Bedienelemente. Für eine vollständige Parametrisierung ist jedoch eine Adaption dieser Taxonomie auf das zur Blickgestensteuerung verwendete visuelle Bedienelement notwendig (siehe Abbildung 4.2) [vgl. JENKE & MAIER 2017].

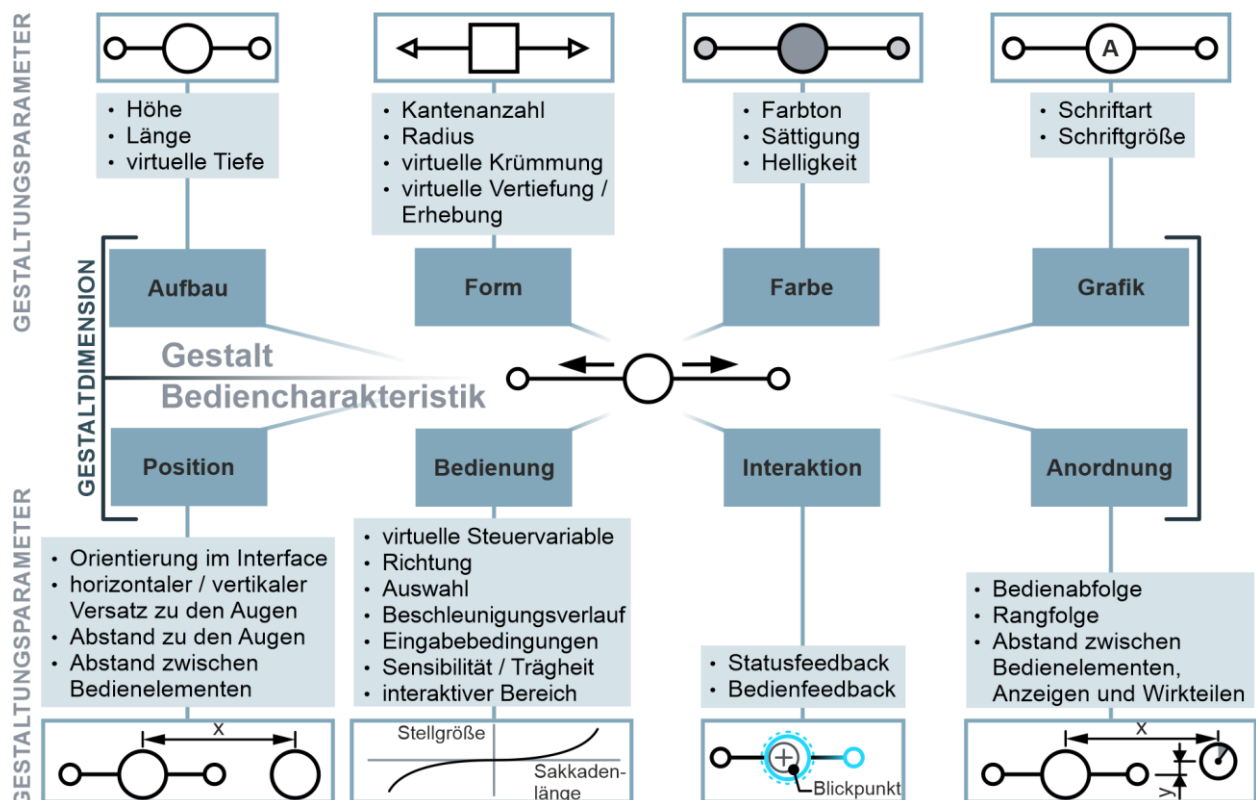


Abbildung 4.2: Gesamtheitliche Zusammenstellung relevanter Gestaltungsparameter für ein blickgestengesteuertes visuelles Bedienelement

Die Grundfunktionalität der Interaktionsmethode besteht aus diskreten und unimodalen Ausführungen von Blickpfaden, welche sich vom natürlichen Blickverhalten unterscheidenden. Blickgesten gehen aufgrund ihrer gewollt intentionellen Charakteristik mit einer bewussten kognitiven Handlung einher. Somit unterscheidet sich ihre Verwendung maßgeblich von Blickaufmerksamkeiten, welche im „Attentive User Interface“ Anwendung finden (vgl. Abbildung 3.6). Nachfolgend wird vertiefend auf die, in Anforderungen festzuhaltenden, Besonderheiten der Blickgesteninteraktion eingegangen.

Position der Blickgestenausführung: Blickgesten (kurz BG) können prinzipiell räumlich abhängig oder unabhängig ausgeführt werden (siehe Abbildung 4.3). Blickgesten sind aufgrund ihrer Eindeutigkeit prinzipiell nicht an bestimmte Initiierungsbefehle

gebunden, wie z. B. das Betrachten eines bestimmten Objektes. Daher ist sowohl eine räumliche Unabhängigkeit des Ausführungsortes als auch der, zur Interaktion herangezogenen, Information möglich. Beispielsweise wird bei den Untersuchungen von DREWES [2010, S. 108 ff.] zur Steuerung eines Musikinterfaces von solch räumlich unabhängigen Blickgesten Gebrauch gemacht, welche lediglich Orientierungspunkte wie Monitor- und Menüfensterecken verwenden. Allerdings ist dabei eine Zuordnung der Blickgeste zu einer bestimmten Interfacemanipulation notwendig und beschränkt somit die Interaktionsmöglichkeiten oder erhöht andererseits die benötigte Anzahl an Blickgesten im Blickgestenkatalog. Räumlich abhängige Blickgesten (kurz BG) ermöglichen hingegen den Einsatz von komplexeren Interfaceaufbauten aufgrund der räumlichen Zuordnung der Gesten zu bestimmten visuellen Bedienelementen, welche vielfach im Anzeigeraum dargestellt werden können. Eine solche Verwendung begünstigt auch die Umsetzung realer, dem Nutzer vertrauter Anwendungsfälle und Interfaceaufbauten. Allerdings benötigt ein derartiges Prinzip eine Kombination mit der Eye-Pointing-Methode und eine damit verbundene, vorangegangene Kalibrierung.

Da der Fokus des Experiments auf dem Effekt einer visuellen Unterstützung im Kontext der Blickgestenmenünavigation liegt, ist letztere Kombination aus den genannten Gründen einer räumlich unabhängigen Gestenausführung vorzuziehen. Im Rahmen des Experiments ist eine Kalibrierung zur Evaluation der Daten ohnehin vorzusehen.

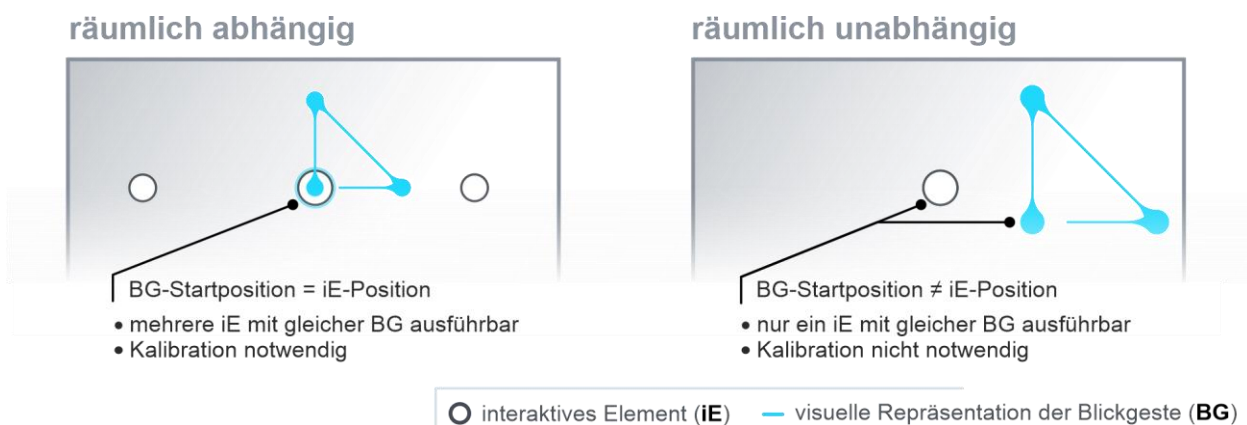


Abbildung 4.3: Unterschiede räumlich abhängiger und unabhängiger Blickgesten

Blickgestenkatalog zur Bedienung: Die für die Arbeitsaufgabe benötigten Manipulationsbefehle werden in einem Blickgestenkatalog zusammengefasst, dessen Gestaltung ebenfalls Einfluss auf die Interaktionsqualität besitzt. Zur Erfassung des Effekts von Segmentlänge, visueller Repräsentation und Konsistenz auf die Verständlichkeit von Blickgesten innerhalb desselben Gestenkatalogs zur Menübedienung dient eine betreute Befragung. Die Ergebnisse zeigen, dass die Segmentlänge innerhalb eines Gestenkataloges prinzipiell nicht gleich gehalten werden muss. Dabei ist grundsätzlich,

bei adäquater Ausführbarkeit der Blickgesten, eine semantische Konsistenz innerhalb eines solchen Kataloges anzustreben. Diese entsteht durch das Ziehen von Analogien und Assoziationen (vgl. Kapitel 3.2.5) innerhalb bekannter Themenfamilien im Kontext der Menübedienung, wie z.B. konsistente Aufbauten, Formen, Orientierungen oder Richtungen. [vgl. MARKERT 2018]

Grundsätzlich ist jedoch auf eine gleichbleibend gute Ausführbarkeit der Blickgesten Wert zu legen. Bei der Gestaltungsparameterdefinition sind sowohl die genannten Aspekte für einen gebrauchstauglichen Blickgestenkatalog als auch notwendige Randbedingungen und Restriktionen der durchzuführenden Evaluation zu berücksichtigen. Beispielhaft hat der Blickgestenkatalog aus Gesten gleicher Segmentlänge zu bestehen, um die Vergleichbarkeit verschiedener Bedienabfolgen hinsichtlich Ausführungslänge und Komplexität zu gewährleisten. Daher werden derartige Einschränkungen der Blickgestengestaltung zugunsten des Experimentdesigns vorgenommen.

Bereits durchgeführte Untersuchungen zeigen, dass bei hinreichender Eingewöhnung, d. h. Kennenlernen der Blickgesten und Trainingsphase, kein sich statistisch auswirkender Effekt durch solch einen BG-Katalog entsteht [JENKE ET AL. 2018]. Unabhängig von der Komplexität der einzelnen Blickgesten und der verwendeten Anzahl innerhalb des Blickgestenkataloges, können Blickgesten geschlossen oder offen gestaltet werden [vgl. MØLLENBACH 2010, S. 213]. Bei geschlossenen Blickgesten verweilt der Anzeiger, welcher die Möglichkeit zur Blickgesteninteraktion darstellt, in ihrer absoluten Position im Interface. Bei offenen Blickgesten ist jedoch eine Verschiebung des Anzeigers, aufgrund der Differenz zwischen Beginn- und Endblickpunkt, ähnlich der eines Smooth-Pursuit-Anzeigers, notwendig. Die Abbildung 4.4 verdeutlicht diesen Unterschied am Beispiel von Blickgestenvarianten aus jeweils drei Segmenten.



Abbildung 4.4: Arten der Blickgesten und deren Effekt auf das visuelle Feedback

Weitere Untersuchungen von DREWES [2010, S. 110] zeigen darüber hinaus auf, dass geschlossene Blickgesten vom Anwender bevorzugt werden, was sich durch die direkte Wiederholbarkeit bei räumlich abhängigen Blickgesten erklärt. Bei diesen muss das Auge keine zusätzliche Bewegung ausführen, um erneut an die Position des Gestenanfangs zu gelangen. Darüber hinaus besteht beim Einsatz von offenen BGs und der damit einhergehenden Verwendung von räumlich variablen rückmeldungsgebenden Anzeigern die Möglichkeit störender Einflüsse auf den zu untersuchenden Unterstützungseffekt. Daher ist der Einsatz von geschlossenen BGs zu bevorzugen. Zusammenfassend sind beschriebenen Merkmale in Abbildung 4.5 eingeordnet.

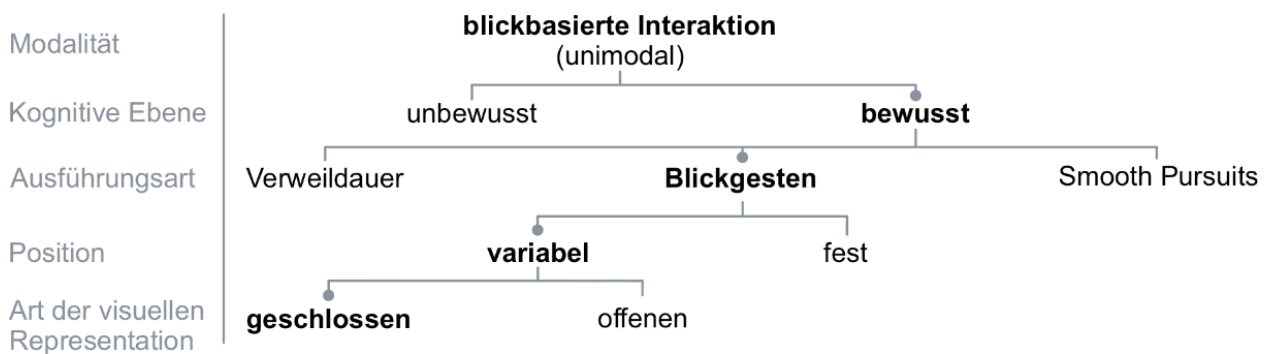


Abbildung 4.5: Merkmale der verwendeten Blickgesteninteraktionscharakteristik

Die Anzahl der Blickgesten richtet sich nach der Anzahl verschiedener Interaktionsbefehle, welche für eine adäquate Menübedienung notwendig sind. In Anbetracht des Experiments ist ein möglichst reduzierter Blickgestenkatalog aufgrund einer schnelleren Erlernbarkeit und Eingewöhnung anzustreben. Die Richtlinienrecherche und die bereits getätigten Untersuchungen zeigen auf, dass sich Interaktionsbefehle in einem semantisch konsistenten Spektrum auf zwei Dialog- bzw. Selektionsbefehle und vier Navigationsbefehle vereinfachen lassen [vgl. JENKE ET AL. 2017], [JENKE ET AL. 2018]:

- Dialogbefehle / Selektionsbefehle: „Ja“ / „Bestätigen“, „Nein“ / „Widerrufen“,
- Navigationsbefehle: „Weiter“/, „Zurück“/, „Hoch“/, „Runter“/,.
„Rechts“ „Links“ „Mehr“ „Weniger“

Richtungen der Segmente: Die Richtung der Blickgestensegmente ist primär entlang der Hauptachsen des Auges zu orientieren. Dieser Ausrichtung liegt zum einen die evolutionäre, physiologische Anordnung der Augenmuskulatur und zum anderen die heuristische Verankerung von horizontal und vertikal ausgerichteten Interfacegestalten bekannter Anwendungen zu Grunde. Diese Präferenz ist bereits in vorangegangenen Untersuchungen nachgewiesen worden. [vgl. HOLMQVIST ET AL. 2011, S. 304], [DREWES 2010, S. 108] Im Fall der Notwendigkeit nach einer weiteren Richtung bei der Blickgestengestaltung verläuft diese, unter der Prämisse einer gleichmäßigen Anordnung, in

einem Winkel von 45° zu den Hauptachsen. In den Voruntersuchungen wurde darüber hinaus aufgezeigt, dass andere Segmentrichtungen sich negativ auf die Ausführbarkeit von Blickgesten auswirken [KELLER 2018].

Minimale Segmentlänge: Die minimale Segmentlänge wird sowohl durch die sensorischen als auch nutzerbedingten Randbedingungen definiert. Bei einem angenommenen Scharfsehbereich (kurz d_N) von $2,5^\circ$ und der Berücksichtigung der sensorischen Ungenauigkeit eines kalibrierten Systems von $d_S = 1^\circ$ zuzüglich eines Sicherheitsfaktors (kurz S_{FS}) von $S_{FS} = 1,5$ beträgt der minimale Blickwinkel zwischen zwei interaktiven Elementen zur sicheren Unterscheidung $l_{iE} = 2^\circ$ (Formel 4.1).

$$l_{iE} = \frac{d_N + d_S * S_{FS}}{2} \quad (4.1)$$

Abhängig von der interaktiven Elementgröße (kurz d_{iE}) und dem Sehabstand (kurz d_S) ergibt sich die sinnvolle Mindestsegmentlänge (kurz x_S). Nach SCHMIDTKE & JASTRZEBSKA-FRACZEK [2013, S. 65] ist ein komfortabler Sehabstand zum Monitor im Bereich von $d_S = 600$ mm als Mindestabstand annehmbar. Die Größe eines interaktiven Elements orientiert sich an der sensorischen Ungenauigkeit und wird unter Berücksichtigung des Sehabstandes auf $d_{iE} = 30$ mm definiert. Die Formel 4.2 drückt diesen Zusammenhang mathematisch aus. Die minimale Segmentlänge beträgt somit $x_S = 51$ mm bei einem Sakkadenwinkel von $\alpha_{\min} = 4,86^\circ$.

$$\tan \alpha = \frac{x_S}{d_S} = \frac{d_N}{2} + \frac{d_S}{2} * S_{FS} + 2 * \arctan * \frac{d_{iE}}{2 * d_S} \quad (4.2)$$

Die Betrachtung des Nutzerverhaltens zeigt, dass sich dieser Sakkadenwinkel sowohl im komfortablen Bereich der üblichen Blickwinkeländerungen zwischen $4-20^\circ$ als auch im häufigsten Amplitudenbereich zwischen $3-5^\circ$ befindet [HOLMQVIST ET AL. 2011, S. 313]. Diese Übereinstimmung von ausreichender sensorischer Genauigkeit und der Entsprechung des anwendertypischen Verhaltens begründet die weitere Verwendung von $\alpha_{\min} = 4,86^\circ$ als minimale Blickwinkeländerung für eine Blickgestensteuerung.

Segmentdauer: Das Blickgestensegment setzt sich jeweils aus der Sakkade und der nachfolgenden Fixation zusammen. Wie die in EBD. [S. 158] zusammengetragenen Untersuchungen zeigen, hängt sowohl die Sakkadengeschwindigkeit als auch die Fixationsdauer von vielen Faktoren, wie unter anderem vom jeweiligen Nutzer und dem Nutzungskontext, ab. Ein visueller Reiz kann beide Faktoren ebenso beeinflussen und somit zu einem homogeneren Bedienverhalten führen. Dennoch haben sich die Gestaltungsparameter zur Fixations- und Sakkadendauer an dem natürlichen Nutzerverhalten zu orientieren.

Sakkadendauer: Die Darbietungsgeschwindigkeit des visuellen Reizes orientiert sich an der Sakkadendauer [CARPENTER 1988, S. 72]. Die Dauer unterscheidet sich nach COLLEWIJN ET AL. [1988A, S. 171 und 1988B, S. 189] jedoch für horizontale (zentripetal: Gl. 4.3, zentrifugal: Gl. 4.4) und vertikale (Gl. 4.5) Sakkaden. Anhand der von EBD. aufgestellten Zusammenhänge zwischen Sakkadenamplitude (kurz A_S), Sakkadenrichtung und Sakkadendauer (kurz D_S) sind die blickgestensegmentbezogenen Geschwindigkeiten in Tabelle 4.1 dargestellt. Die Geschwindigkeit der Segmente in 45°-Richtung wird dabei über eine anteilige Verwendung der Formeln berechnet.

$$D_S = 2,5 * A_S + 27 \quad (\text{horizontal, zentripetal}) \quad (4.3)$$

$$D_S = 3,9 * A_S + 13 \quad (\text{horizontal, zentrifugal}) \quad (4.4)$$

$$D_S = 3,3 * A_S + 31 \quad (\text{vertikal}) \quad (4.5)$$

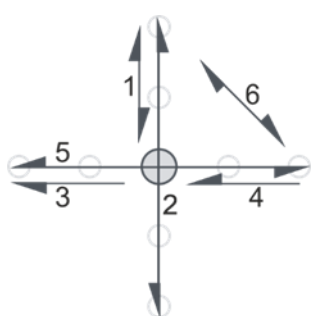
| Segment | Gleichung | A_S | D_S |
|--|---|-------|----------|
|  | 1 * Gl. 4.3 | 4,86° | 47,02 ms |
| | 2 * Gl. 4.4 | 9,71° | 63,04 ms |
| | 1 * Gl. 4.3 | 4,86° | 39,15 ms |
| | 1 * Gl. 4.4 | 4,86° | 31,94 ms |
| | $2 * (\frac{1}{2} * Gl. 4.3 + \frac{1}{2} * Gl. 4.4)$ | 9,71° | 71,09 ms |
| | $\frac{\frac{1}{2} * Gl. 4.3 + \frac{1}{2} * Gl. 4.4}{2} + \frac{1}{2} * Gl. 4.5$ | 6,87° | 47,84 ms |

Tabelle 4.1: Segmentabhängige Sakkadendauer der Blickgesten

Für eine gleichmäßige Reizdarbietung wird eine, auf die minimale Blickwinkeländerung normierte, durchschnittliche Sakkadendauer von 36,52 ms herangezogen.

Fixationsdauer: Die Untersuchungen von Tatler und Vincent stellen eine Abhängigkeit zwischen Fixationsdauer und Sakkadenamplitude bei der Betrachtung verschiedener Szenerien fest [TATLER & VINCENT 2008, S. 9]. Innerhalb des Amplitudenbereich (4,86-9,71°) der verwendeten Blickgestensegmente wird eine durchschnittliche Fixationsdauer zwischen 220-230 ms in den Blicksequenzen festgestellt. Daher wird für die Segmentdauer eine durchschnittliche Fixationsdauer von 225°ms zu Grunde gelegt.

Experimentelle Überprüfung: Auf Grundlage dieser theoretischen Anhaltswerte werden im Kontext der Blickinteraktion Voruntersuchungen vom Autor der vorliegenden Arbeit durchgeführt. Bei diesen werden die Ausführungsdauern (25 Versuchspersonen, mit je

20 Wiederholungen je Blickgeste) der durch die Gestaltungsparameter erstellten Blickgesten (vgl. Kapitel 4.3.1) erfasst. Dabei wird eine visuelle Repräsentation ohne situative visuelle Unterstützung während der Ausführung der Blickgesten dargeboten. Nach Normierung der unterschiedlichen Segmentlängen ergibt die Auswertung der Ausführungsdauer für die einfache „Norm“-Segmentlänge (vgl. Sakkadendauer) eine durchschnittliche Dauer von 310 ms. Dieser Wert wird sowohl der computergestützten Erkennung als auch der Konzeption des situativen visuellen Anzeigers zu Grunde gelegt.

Nutzergerechte Segmentanzahl: Die Definition der Gestaltungsparameter der Bediencharakteristik wird sowohl durch die nutzerseitigen Anforderung nach leicht umzusetzenden Blickgesten mit wenigen Segmenten und als auch durch die systemseitigen Anforderung, diese ausreichend zuverlässig vom natürlichen Blickverhalten zu unterscheiden, bedingt. Zur Bestimmung einer ausgewogenen Komplexität der Blickgesten werden daher Voruntersuchungen durchgeführt. Die dabei erhaltenen Ergebnisse zeigen, dass sich Blickgesten mit drei Segmenten ausreichend vom natürlichen Blickverhalten unterscheiden und gleichzeitig nur zu minimalen nutzerverschuldeten Fehl Ausführungen, im Vergleich zu BG mit mehr Segmenten, führen. [vgl. DYHRINGER 2018]

Definition der Gestaltungsparameter des visuellen Bedienelements: Aus den definierten Gestaltungsparametern der Bediencharakteristik erfolgt die Ableitung der Bedienelementgestaltungsparameter. Dabei setzt sich die vollständige Gestalt des visuellen Bedienelements prinzipiell aus mehreren Teilgestalten zusammen. Zum einen sind dies das interaktive Element (kurz iE), welches dem Nutzer visuell die Interaktionsmöglichkeit darbietet sowie die Fix-Points, welche zur statischen Unterstützung der Blickgeste an dem iE verwendet werden. Zum anderen kommt der situative visuelle Anzeiger zur aktiven Unterstützung der Blickgestenausführung zum Tragen. Die teilgestaltsspezifischen Anforderungen sind zusammen mit den anderen Mensch-Produkt-Anforderungen in der nachfolgenden Liste zusammengefasst.

4.2 Zusammenfassung der Anforderungen

Die getätigten Überlegungen lassen sich zusammen mit den relevanten Erkenntnissen aus den Grundlagen und der Forschung in Anforderungen an die Gestaltung des blickgestengesteuerten Interface formulieren (Kapitel 4.3.1). Dieses besteht aus den darin beinhalteten visuellen Bedienelementen und des zu evaluierenden situativen visuellen Anzeigers zur Unterstützung bei der Blickgestenausführung.

Wie bereits dargelegt, fokussiert die Anforderungsliste in Tabelle 4.2 die Mensch-Technik-Anforderungen, welche sich nach Kapitel 2.2.1 in Nutzer, Aufgabe, und Umgebung untergliedern. Gängige Einheiten zur Angabe von räumlichen Abhängigkeiten für die Darstellung von Informationen in einem virtuellen Interface (GUI) stellen mm oder Pixel (px) dar [HOELMQVIST ET AL 2011, S. 23]. Da die interaktionsrelevanten Zusammenhänge grundsätzlich nicht abhängig von der Auflösung des Anzeigemediums sind, werden die nachfolgend beschriebenen Längenangaben in mm angegeben.

| F | Nr. | Anforderungen | Beschreibung, Quantifizierung | Quelle |
|--|---|----------------------------------|---|------------------------------------|
| W | Forderungen (F), Bereichsanforderung (B), Wunsch(W) | | | |
| 1 Nutzer | | | | |
| 1.1 <i>Demografie, Soziologie und Anthropometrie</i> | | | | |
| F | 1.1.1 | Chronologisches Alter | 2. und 3. Lebensalter, junge Erwachsene, jüngere und Alte | [JANNY 2018, S. 75] |
| F | 1.1.2 | Geschlecht | männlich / weiblich | Kapitel 4.1 |
| 1.2 <i>Motorik</i> | | | | |
| F | 1.2.1 | Beweglichkeit des Auges | moderate Fähigkeiten | Kapitel 2.2.3 |
| 1.3 <i>Sensorik</i> | | | | |
| F | 1.3.1 | Sehschwäche | Kurz-, Weitsichtigkeit mit adäquater Sehhilfe | Kapitel 3.2.1 |
| F | 1.3.2 | Sehhilfe | Brille, Kontaktlinse | Kapitel 3.2.1 |
| 1.4 <i>Kognition</i> | | | | |
| F | 1.4.1 | Expertise | technikaffin | Kapitel 4.1 |
| F | 1.4.2 | Kognitive Fähigkeiten | keine kognitive Einschränkung | Kapitel 4.1 |
| 2 Aufgabe | | | | |
| F | 2.1 | Position bzgl. des Interfaces | räumlich fest, analog Büroarbeitsplatz | Kapitel 4.1 |
| F | 2.2 | Freiraum Kopfbewegung | ±35° schwenkbar, bei neutraler Neigung | Kapitel 4.1 |
| F | 2.3 | Freiraum Oberkörper | Oberkörper möglichst statisch | Kapitel 4.1 |
| F | 2.4 | Körperhaltung | hintere Sitzhaltung, 90° Kniewinkel, vertikal fluchtende Körpermitte zu Interfacemitte | Kapitel 4.1 [DIN EN 842: 2009] |
| F | 2.5 | Bewegungsform | rotatorisch | Kapitel 4.1 |
| F | 2.6 | Sakkadengeschwindigkeit | 100-900°/s | [HOLMQVIST ET AL. 2011, S. 313] |

Tabelle 4.2: Anforderungsliste der Blickgesteninterfacegestaltung (Teil 1/4)

| F B W | Nr. | Anforderungen | Beschreibung, Quantifizierung | Quelle |
|----------------------------------|------------|---|---|---|
| | | Forderungen (F), Bereichsanforderung (B), Wunsch(W) | | |
| 3 Umgebung | | | | |
| F | 3.1 | Einsatzort | im Gebäude | Kapitel 4.1 |
| F | 3.2 | Einsatzmilieu | heller Raum 300 lx, indirekte Beleuchtung | Kapitel 3.2.1 [TOBII 2015, S. 7] |
| F | 3.3 | Ausleuchtung | keine Schattenbildung, gleichmäßige Ausleuchtung, 2 Leuchtquellen, sensornah | [TOBII 2012, S. 16] [FREEMAN 2007, S. 188] |
| F | 3.4 | Ausleuchtung | Flimmerbeleuchtung vermeiden | [DIN EN 614-1: 2009] |
| F | 3.5 | Blendung | 62° außerhalb der optischen Achse, analog beidseitigem Führungslicht, parallel zu direkten Lichtquellen | [SCHMIDTKE 1981, S. 410] [HENTSCHEL 1987] |
| 4 Interface | | | | |
| 4.1 Bediencharakteristik | | | | |
| 4.1.1 Position | | | | |
| B | 4.1.1.1 | Abstand zum Interface | 300-700 mm, orientiert an komfortablen Blickwinkel und Bildschirmgröße → $d_s = 600$ mm | [SCHMIDTKE & JASTRZEBSKA- FRACZEK 2013, S. 65] |
| B | 4.1.1.2 | Anbringungshöhe | Interface vertikal zur Sehachse, Interfacezentrum in Sehachse | [DIN EN 842: 2009] |
| 4.1.2 Bedienung | | | | |
| F | 4.1.2.1 | Blickgestenkatalog | Befehle für die Navigation im Interface, 6 Blickgesten | Kapitel 2.2.3 |
| F | 4.1.2.2 | Blickgesten- segmentrichtung | primär: horizontal, vertikal; sekundär: diagonal (45°) | Kapitel 4.1 |
| F | 4.1.2.3 | Blickgesten- segmentanzahl | 3 Segmente | [DYHRINGER 2018] |
| F | 4.1.2.4 | Blickgestenart | räumlich abhängig, geschlossen | Kapitel 4.1 |
| B | 4.1.2.5 | Betätigungswinkel | 0-5° | Kapitel 4.1 |
| F | 4.1.2.6 | Sakkadendauer | 36,52 ms | Kapitel 4.1 |
| F | 4.1.2.7 | Segmentdauer | 310 ms | Kapitel 4.1 |

Tabelle 4.2: Anforderungsliste der Blickgesteninterfacegestaltung (Teil 2/4)

| F B W | Nr. | Anforderungen | Beschreibung, Quantifizierung | Quelle |
|---|------------|--|--|--|
| Forderungen (F), Bereichsanforderung (B), Wunsch(W) | | | | |
| 4.2 <i>Interfacegestalt</i> | | | | |
| F | 4.2.1 | Bildwiederholffrequenz | min. 50 Hz | [DIN EN ISO 13406-1: 2000] |
| 4.2.2 <i>Aufbaumaße</i> | | | | |
| B | 4.2.2.1 | Interfacegröße | gängige Monitorgröße: 22"- 27", > ±35° zu Sehachse | Kapitel 4.1 [DIN EN 894-2 2009] |
| F | 4.2.2.2 | Aufbau der iE zueinander | konzentrisch | [PREIM & DACHSELT 2015, S. 346 f.], |
| F | 4.2.2.3 | Durchmesser iE | d _{iE} = 30 mm | Kapitel 3.1.1 |
| F | 4.2.2.3 | Durchmesser Unterstützungsraster | Radius entspricht einfacher Segmentlänge, 102 mm | Kapitel 4.1 |
| 4.2.4 <i>Form</i> | | | | |
| F | 4.2.4.1 | Form iE | kreisförmig | Kapitel 3.2.5 |
| F | 4.2.4.2 | Durchmesser Fix-Points | 5 mm | Kapitel 3.2.5 [SCHMIDTKE & JASTRZEBSKA-FRACZEK 2013, S. 41] |
| F | 4.2.4.3 | Form Fixpoints | kreisförmig | Kapitel 3.2.5 |
| F | 4.2.4.3 | Visuelles Feedback bei iE-Auswahl durch Größenänderung | iE wird Vergrößerungs- faktor von 1,2 vergrößert auf d _{iE} = 30 mm | [BOTTA 2016], |
| B | 4.2.4.4 | Größe der Unterstützung | 5 mm ≤ x ≤ 10 mm | [SCHMIDTKE & JASTRZEBSKA-FRACZEK 2013, S. 41] |
| 4.2.5 <i>Farbe</i> | | | | |
| F | 4.2.5.1 | Farbton | unbunt | Kapitel 4.1 |
| F | 4.2.5.2 | Interfacehintergrund- kontrast | schwarz: rgb: 0/0/0 | [SCHMIDTKE & JASTRZEBSKA-FRACZEK 2013, S. 58] |
| B | 4.2.5.3 | Vorder-Hintergrund- Kontrast | ≥ 3:1 | [SCHMIDTKE & JASTRZEBSKA-FRACZEK 2013, S. 42] |
| B | 4.2.5.4 | Leuchtdichtekontrast farbiger Zeichen | ≥ 3:1 | [SCHMIDTKE & JASTRZEBSKA-FRACZEK 2013, S. 70] |
| F | 4.2.5.5 | Visuelles Feedback bei iE-Auswahl durch Farbänderung | Codierung über zwei Helligkeitsstufen | [SCHMIDTKE & JASTRZEBSKA-FRACZEK 2013, S. 67] |
| iE: interaktives Element | | | | |

Tabelle 4.2: Anforderungsliste der Blickgesteninterfacegestaltung (Teil 3/4)

| F | Nr. | Anforderungen | Beschreibung, Quantifizierung | Quelle |
|----------|---|--------------------------------------|--|---|
| B | | | | |
| W | Forderungen (F), Bereichsanforderung (B), Wunsch(W) | | | |
| B | 4.2.5.6 | Helligkeit des interaktiven Elements | $\geq 15 \text{ cd/m}^2$, Empfehlung ca. 250 cd/m^2 | [SCHMIDTKE & JASTRZEBSKA-FRACZEK 2013, S. 42] |
| B | 4.2.5.7 | Helligkeit visuelle Unterstützung | $\geq 15 \text{ cd/m}^2$, Empfehlung ca. 250 cd/m^2 | [SCHMIDTKE & JASTRZEBSKA-FRACZEK 2013, S. 42] |
| 4.2.6 | | <i>Schrift</i> | | |
| B | 4.2.6.1 | Schriftgröße | $\geq 3,6 \text{ mm}$ | [DIN EN ISO 9241-1: 2002] |
| B | 4.2.6.2 | Leuchtdichtekontrast | 10:1 - 100:1 | [DIN EN 894-4:2011] |

Tabelle 4.2: Anforderungsliste der Blickgesteninterfacegestaltung (Teil 4/4)

4.3 Ausgestaltung des funktionalen Interfacekonzepts

Zum Erreichen des Forschungsziels wird bei der Interfacegestaltung auf den Erkenntnissen bereits durchgeführter Studien zur virtuellen Interfacegestaltung aufgebaut. Da kein direkt zu Grunde gelegtes Interface existent ist, stellt dieser Gestaltungsprozess im Sinne der Konstruktionslehre eine Neugestaltung dar [vgl. FELDHUSEN & GROTE 2013, S. 293]. Die in der Anforderungsliste (Kapitel 4.2) definierten Rahmenbedingungen und zu implementierenden Funktionalitäten werden in den Konzeptionsprozess eingebunden und gestalterische Schlüsse abgeleitet. Dabei erfolgt die Detaillierung der Interfacegestalt entlang der vier Teilgestalten: Aufbau, Form, Farbe und Grafik zur Definition der beinhalteten Gestaltungsparameter (vgl. Kapitel 4.1) [SCHMID & MAIER 2017, S. 30]. Der Fokus der Konzeption liegt dabei auf dem Aufbau, den Aspekten der Form und der Helligkeitsdefinition der Interfacegestalt (siehe Abbildung 4.6). Die Ausgestaltung der Grafik berücksichtigt den konkreten Anwendungsfall der Menüsteuerung und findet daher im folgenden Kapitel 5.1 statt.

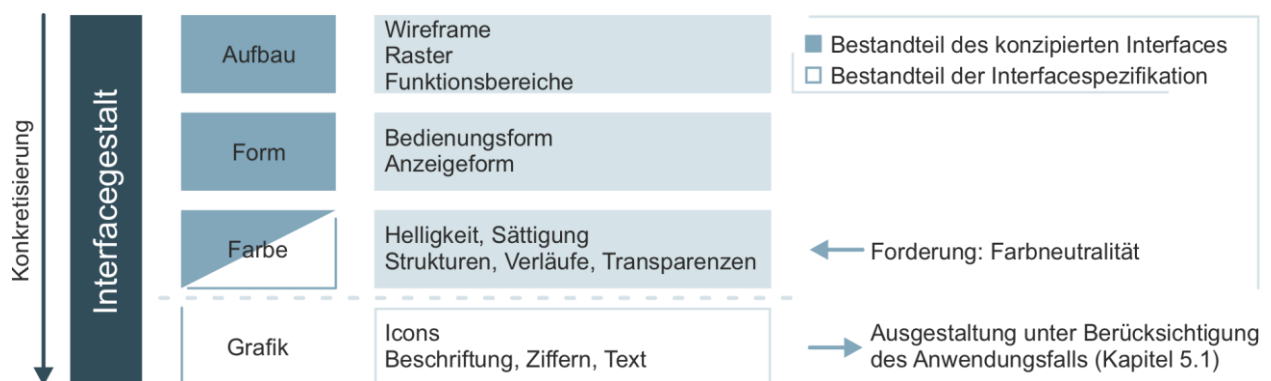


Abbildung 4.6: Teilgestalten des Interfaces nach SCHMID & MAIER [2017]

Der Konzeptionsprozess erfolgt dabei zunächst für das zentrale visuelle Bedienelement unter Berücksichtigung der Bediencharakteristik. Anschließend erfolgt die Konzeption des Aufbaus des funktionalen Menükonzepts, welches dem im Experiment ausgestalteten Interface zu Grunde gelegt wird.

4.3.1 Konzeption der Blickgestenbedienung

Die Bedienung des blickgestengesteuerten Interfaces findet über visuelle Bedienelemente statt. Nachfolgend ist das ausgestaltete Konzept der einheitlichen Bediencharakteristik und Gestalt beschrieben. Die mit dem interaktiven Element verbundene Funktion und die dafür dargebotenen Inhalte variieren jedoch kontextabhängig. Die Konzeption erfolgt anhand der einzelnen Bestandteile des visuellen Bedienelements: interaktives Element, statisches Unterstützungsraster und situativer visueller Unterstützungsanzeiger.

Letzteres Element stellt den zentralen Forschungsinhalt der Arbeit dar. Die Parametrisierung und die darauffolgende Ausgestaltung des zu untersuchenden situativen visuellen Anzeigers findet im Anschluss an die funktionale Interfacekonzeption statt.

Bediencharakteristik der Blickgesten: Die primär auf den Hauptblickachsen verlaufenden Blickgesten sind prinzipiell kompatibel zu den markanten Eigenschaften der jeweils ausgelösten Manipulation zu gestalten. Zum einen kann auf die Bewegungskompatibilität entlang der Achsen und zum anderen auf die Bedeutungskompatibilität der zugehörigen Bewegung im Raum, zurückzugegriffen werden.

Die Abbildung 4.7 fasst die Überlegungen für die Definition der Bediencharakteristik zusammen. Dabei werden die Randbedingungen der Gestenkonzeption grundsätzlich von drei Einflussfaktoren bestimmt. Diese sind die Reliabilität der Ausführung, die Usability und das Design des Experiments zur Evaluation der situativen visuellen Unterstützung.

Bei den in Kapitel 4.1 definierten Interaktionsbefehlen zur Navigation ist eine bewegungskompatible Gestaltung der Blickgesten entlang der Hauptblickachse, d. h. eindimensional, geeignet. Die Hauptintension der Blickgeste wird über das erste Segment deutlich und durch die andern beiden vervollständigt. Aufgrund der Belegung der Hauptblickachsen ist bei der Gestaltung der Dialogbefehle auf eine zweidimensionale Darbietung auszuweichen. Im Sinne der drehrichtungsgebundenen Bedeutungskompatibilität kann die Uhrzeigerrichtung zur jeweiligen Dialogintension herangezogen werden. Um die entgegengesetzte Intension zwischen der „Ja“- und „Nein“-Blickgeste zu verdeutlichen, werden diese beiden Befehle, bezogen auf das iE, gegensätzlich darstellt.

Kategorie: ■ Reliabilität ■ Usability ■ Experiment Design

| Gestaltungsparameter | Randbedingungen | Evidenz | Visualisierung |
|----------------------|---|---|----------------|
| Segmentanzahl(S) | <ul style="list-style-type: none"> ungewollte Auslösewahrscheinlichkeit (P_A) minimieren Ausführungsfehler (F) minimieren gleiche S innerhalb des Blickgestenkataloges | kritische P_A bei: $S < 3$ Korrelation zwischen F und S: $\rho(S,F)$ optimale Anzahl bei $S = 3$ Vorstudie: [DYHRINGER 2018] | |
| Segmentlänge (L) | <ul style="list-style-type: none"> oberhalb sensorischer Auflösungsfähigkeit 1° mit Sicherheitsfaktor: $S_{Fs} = 1,5$ innerhalb komfortablem Sichtbereich: Blickwinkel $\alpha = \pm 15^\circ$ | Explorationsakkade: $\alpha > 1,25^\circ$ [DREWES 2010] $x_s \rightarrow$ unterer Grenzbereich mit Interfaceabstand $l = 600\text{mm}$: $x_s = 51\text{mm}$ | |
| Ruhezeit (R_T) | <ul style="list-style-type: none"> kurze Fixationen unterhalb längerer Verweildauern: $R_T = 400\text{ms}$ gleiche RT innerhalb Blickgestenkataloges | $\emptyset R_T$ bei 220 - 230ms | |
| Proportion (P) | <ul style="list-style-type: none"> gleiche P innerhalb des Blickgestenkataloges | konzentrische Orientierung um Zentrum des interaktiven Elements | |
| Dimension (D) | <ul style="list-style-type: none"> 6 differenzierbare Blickgesten im Dimensionsraum darstellbar | Hauptblickrichtungen horizontale und vertikale Interfaceorientierung: 4 Blickgesten bewegungskompatibel Nebenblickrichtungen mit maximaler Unterscheidbarkeit: $\beta = 45^\circ$ 2 Blickgesten bedeutungskompatibel | |

Abbildung 4.7: Gestaltungsparameter der Bediencharakteristik und Randbedingungen

Aufbau der visuellen Bedienelemente: Die Ausrichtung der Bedienelemente zueinander erfolgt unter Berücksichtigung des Prinzips der Nähe und einer möglichst minimalen Augenbewegung. Darüber hinaus sind die zugehörigen interaktiven Elemente konzentrisch zueinander angeordnet (Abbildung 4.8).

Form des interaktiven Elements: Die interaktiven Bereiche im Raum des Blickgesteninterfaces, welche als Bestandteil des visuellen Bedienelements durch grafische interaktive Elemente dargestellt werden, besitzen im Sinne der konzentrischen Aufwandsminimierung eine kreisförmige Gestalt (siehe Abbildung 4.8). Diese reagieren bei Betrachtung durch den Nutzer und können die damit verbunden verschiedenen Zustände durch Größen- und Formänderung repräsentieren. Um eine Vielzahl von Funktionen zu ermöglichen sind diese interaktiven Elemente auf die ergonomische

Mindestgröße orientiert (vgl. Kapitel 4.1). Darüber hinaus zeigen die Untersuchungen von BEINHAUER [2019, S. 61-69], dass bei visuellen Objekten ab einer gewissen Größe die visuelle Aufmerksamkeit von der Fläche hin zur Kontur wechselt. Dies würde die Ausführung der Blickgesten negativ beeinflussen.

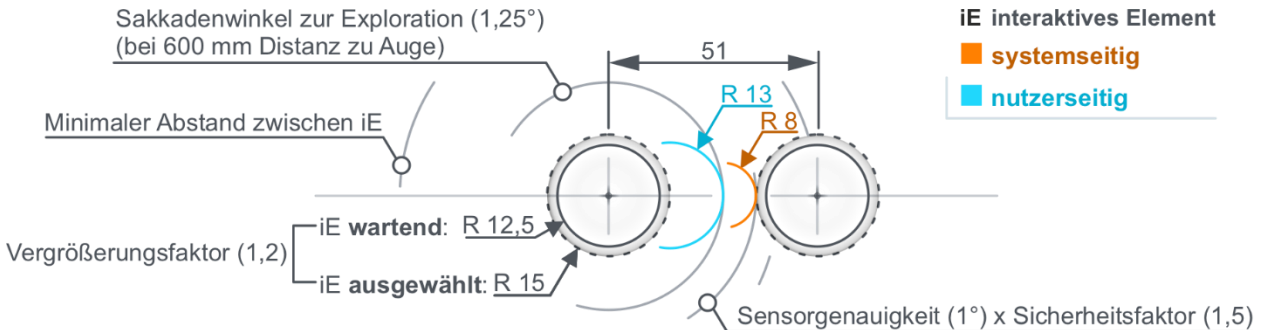


Abbildung 4.8: Interaktive Elementgröße und deren Abstände zueinander im Interface

Funktionell bedingte Position der Icons: Die Blickgesteninteraktion besitzt, ähnlich wie die Multi-Touch-Gesten oder die Mehrfachbelegung von Maustasten, den Vorteil an einem interaktiven Element oder Bereich verschiedene Manipulationen durchzuführen. Dies führt zu einer raumeffizienteren Gestaltung des Interfaces im Vergleich zu einer Einfachbelegung. Dabei ist eine verständliche Informationsdarbietung der jeweils möglichen Interaktionsbefehle über Icons auf dem iE notwendig. Für die Navigationsbefehle folgt die Position der Icons dabei der Richtungskompatibilität der Blickgeste am iE. Zum Beispiel ist das Piktogramm auf der linken Seite des iE positioniert, wenn die auszulösende Funktion mit der „Zurück“-Blickgeste (beginnend von links) aktivierbar ist. Für die räumlich komplexeren Dialoggesten ist der Bereich in der Mitte des iE somit noch verfügbar. In diesem Bereich wird das Icon der jeweiligen Funktion, welche durch eine „Ja“-Blickgeste ausgeführt wird, rechts, oberhalb der Mitte platziert. Umgekehrt ist das Icon für die jeweilige Funktion, welche durch eine „Nein“-Blickgeste ausgeführt wird, links, unterhalb der Mitte bedeutungskompatibel platziert. Da die Stärke der damit verbundenen Analogie nicht gleichzusetzen ist mit der der Richtungskompatibilität bei Navigationsgesten, wird an dieser Position die abstrakte, visuell repräsentierte Form der Blickgesten zusätzlich dargestellt. Bei iE, welche nur durch einen Interaktionsbefehl bedienbar sind, steht mehr Fläche für das damit korrespondierende Icon zur Verfügung. In diesem Fall wird dieses zentral positioniert und vergrößert (Vergrößerungsfaktor von 2). Die Abbildung 4.9 dient der Veranschaulichung der definierten Bereiche der Icons, welche auf dem dargestellten iE mittels Platzhalter symbolisiert sind. In diese werden in der späteren Anwendung die bedeutungskonformen Icons eingefügt.

Konzeption der Icons: Die Gestaltung der Icons erfolgt nach den in der Anforderungsliste zusammengetragenen Kriterien (Kapitel 4.2), wobei die spezifische Gestalt von der

jeweiligen Bedeutung im Kontext der Anwendung abhängt. Daher findet die finale Definition der Icons in der nachfolgenden Spezifikation der Interfacegestalt (Kapitel 5.1.5) als Teil der Experimentplanung statt.

Farbgebung der interaktiven Elemente: Zum Erhalt idealer Kontrastverhältnisse gegenüber unterschiedlich hellen Hintergründen, die von ruhigem schwarzem Hintergrund bis zu hellen, unruhig wirkenden Bildelementen reichen können, erfolgt die Farbgebung durch unbunte Helligkeitsanpassung. Ein hellgestaltetes iE, mit dem Ziel des maximalen Hintergrundkontrastes, verringert die Erkennbarkeit der beinhalteten Icons und umgekehrt. Daher gilt es einen Kompromiss zu finden, welcher sowohl die iE vor dem Hintergrund als auch die Icons auf den iE in einem ausreichenden Kontrastverhältnis darstellt. Um die Erkennung der Icons auf den interaktiven Elementen vor verschiedenen Hintergründen möglichst auf gleichem Niveau zu halten, ist bei unbunter Gestaltung die Verwendung von Teiltransparenz hilfreich. Bei der Verwendung von Transparenz ist aufgrund des Beibehaltens eines deutlichen Kontrastes darauf zu achten, dass diese 50 % nicht überschreitet. HARRISON & VICENTE [1996] haben festgestellt, dass bis zu diesem Transparenzmaß die Leistung konstant bleibt, jedoch bei höherer Transparenz (75 %) sowohl die Leistung abfällt als auch die Zahl an Bedienfehlern steigt. Wichtig für die Blickfokussierung ist eine klare Markierung des Zentrums des iE, welche als visuelle Orientierung für Blickbewegungen vom interaktiven Objekt weg und zu diesem hin dient. Die Abgrenzung zum Rand erfolgt durch eine zunehmende Kontrasterhöhung. Abbildung 4.10 zeigt die Auswirkung eines teiltransparenten iE mit beinhaltetem Piktogramm vor verschieden hellen Hintergründen.

Aufbau des Unterstützungsrasters: Untersuchungen zur statischen Unterstützung der Blickführung bei der Ausführung von Blickgesten zeigen, dass eine vollständige grafische Abbildung der Blickgeste als ungeeignet zu erachten ist. Dabei würde der visuell dargestellte Blickpfad, d. h. dargestellt als Linie, zu einer konstanten Verfolgung verleiten und somit das natürliche sakkadisch-sprunghafte Blickverhalten negativ unterdrücken [vgl. DREWES 2010, S. 110]. Dies wird im, vom Autor der vorliegenden Arbeit betreuten, Experiment von KELLER [2018] bestätigt.

Form des Unterstützungsrasters: Aus den Vorversuchen erweist sich ein verwendetes Unterstützungsraster aus Fix-Points entlang der Hauptblickrichtungen mit einer Rasterlänge einer halben einfachen Segmentlänge als geeignet (Abbildung 4.9). Der Fix-Point-Durchmesser orientiert sich dabei an dem Mindestmaß für Lichtquellen im Interface (5 mm vgl. Kapitel 4.2), welches vom Betrachtungsabstand abhängt.

Farbgebung des Unterstützungsrasters: Die Farbgebung des Unterstützungsrasters orientiert sich an der Helligkeit und dem teiltransparenten Verlauf der interaktiven

Elementzustände. Die Herleitung der konzipierten Blickgesten für die Menübedienung unter geometrischen und kognitiven Randbedingungen sowie deren Verfügbarkeitskennzeichnung auf dem iE durch grafische Informationen sind in Abbildung 4.9 dargestellt.

BLICKGESTEN

räumlich abhängig: Gestenausführung am iE
geschlossen: Gestenbeginn = Gestenende

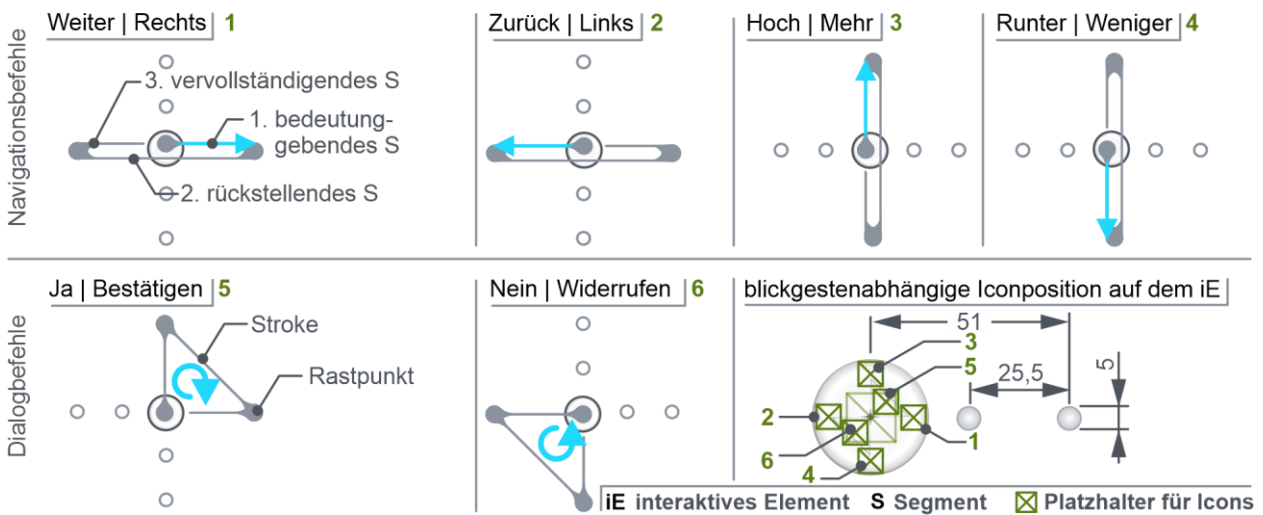


Abbildung 4.9: Konzeption der Blickgestenbefehle

Status interaktiver Elemente: Grundsätzlich ist zwischen zwei Zuständen zu unterscheiden: „auf den Blick wartender Zustand“ und „Zustand bei Blickauswahl“. Der wartende Zustand des iE dient dazu Informationen deutlich darzustellen, ohne die Aufmerksamkeit zu sehr zu binden. Der Zustand bei visueller Auswahl durch den Blick des Nutzers soll diesem ein visuelles Feedback vermitteln und dabei eine stärkere Bindung der visuellen Aufmerksamkeit erreichen. Dieser Effekt wird durch die Gestaltungsparameter Größe (Vergrößerungsfaktor von 1,2) und Helligkeit (Aufhellungsfaktor von 50 %) erreicht (vgl. Kapitel 4.2). Sind interaktive Elemente im Bedienkontext aktuell nachrangig, nehmen sie einen dritten Zustand ein. Dieser unterscheidet sich von den anderen durch eine Abdunklung (60 %) der mittleren Helligkeit (wartender Zustand). Die definierten Zustände eines iE sind beispielhaft vor dem neutralen schwarzen Hintergrund in Abbildung 4.10 dargestellt.



Abbildung 4.10: Zustandsabhängige grafische Darbietung eines interaktiven Elements

4.3.2 Konzeption des Menüs zur Blickgestenbedienung

Der für klassische Betriebssysteme gängige multiple Fensteraufbau profitiert bei der Nutzung von einer schnellen und freien Konfigurationen der angezeigten Fenster z.B. mittels Multi-Touch beim macOS Betriebssystem, Drack & Drop per Maus oder Durchschalten über Tastenanschlag [vgl. SHNEIDERMAN 2002, S. 520]. Bei einer haptisch, peripheriefreien Bedienmethode, wie der Blickgestensteuerung, kommt dieser Vorteil jedoch nicht zum Tragen. Daher wird bei der Konzeption eines geeigneten Interfaceaufbaus ein Aufbau ohne solitäre Fenster verwendet, bei welchem der Bildschirm des Interfaces den vollen Anzeigebereich darstellt. Das Funktionslayout des Interfaces wird in Form von Wireframes, welche bei der GUI-Gestaltung ein probates Mittel darstellen, in einer statischen Darstellung ausgelegt [STAPELKAMP 2007 S. 256]. Die Interfaceaufteilung erfolgt unter Berücksichtigung der technisch-sensorischen und Anwender-perzeptorischen Restriktionen.

Aufbau des Interfaces: Die grafische Strukturierung der interaktiven Elemente wird über eine Baumstruktur (siehe Kapitel 2.2.2) mit einer maximalen Tiefe von drei Ebenen ermöglicht. Dabei ist auf eine aufgabenbezogene Gruppierung innerhalb der Struktur zu achten [SHNEIDERMAN 2002, S. 298]. Die Einordnung der darin enthaltenen Interfacebereiche erfolgt in Übereinstimmung der Bereichsdefinition in Kapitel 2.2.2. Die Unterteilung erfolgt demnach in einen Hauptmenübereich, welcher permanente Funktionen mit festen Positionen beinhaltet, einen Hauptbedienbereich bzw. Kontextbereich, in welchem die Kontextmenüs mit variabler Position zu platzieren sind und einen Statusbereich zur Darstellung der momentanen Systemzustände. Für eine bessere Orientierung des aktuell aktivierten Hauptmenüs bleibt dieses im ausgewählten Zustand bis ein anderes Hauptmenü ausgewählt wird. Darüber hinaus wird der Bereich um das Hauptmenü ebenfalls grafisch durch Aufhellung hervorgehoben. Die Anordnung der interaktiven Elemente auf einer Menüebene erfolgt dabei durch konzentrische Gruppierung von funktionell zusammengehörigen Elementen auf Basis des in Kapitel 4.3.1 hergeleiteten minimalen Elementabstands von 51 mm zu den jeweiligen Mittelpunkten. Die Position der Inhalte des Hauptbedienbereichs erfolgt nach der Prämisse, relevante Funktionen zentral und weniger relevante dezentral anzuordnen. Dies gilt auch für das Benachrichtigungsfenster als alleinige Überlagerungsebene des Kontextbereichs, insofern dieses keinen Zusammenhang mit dargestellten Funktionen besitzt. Im Falle eines kontextuellen Zusammenhangs ist dieses Benachrichtigungsfenster in räumlicher Nähe zu der korrespondierenden Funktion anzuordnen. Die funktionale Gestaltung solcher Benachrichtigungsfenster ist grundsätzlich an der zu transportierenden Informationsmenge und Informationsart auszurichten. Hinsichtlich des

zu planenden Experiments gilt es, ein adäquates Maß zwischen zur Verfügung stehender Inhaltsfläche und Verdeckung anderer Interfaceelemente zu finden. Unter Berücksichtigung gängiger Bildschirmgrößen zwischen 21“ und 27“ am Desktoparbeitsplatz ist eine geeignete Größe von 100 mm Höhe und 150 mm Breite festzuhalten. Abbildung 4.11 veranschaulicht den Wireframe des funktionalen Menüs sowie das iE-Anordnungsprinzip bei steigender Menütiefe. Dabei befinden sich auf der Basisebene die zentralen Unterfunktionen der permanent dargestellten Hauptmenüs. Je nach Funktionstiefe der Unterfunktionen werden deren weitere Funktionen in den tieferen Menüebenen dargestellt. Die konzentrische Anordnung der Funktionen in tieferen Menüs erfolgt dabei nach dem Prinzip der räumlichen Nähe zu der jeweiligen zugehörigen Funktion auf der höheren Menüebene.

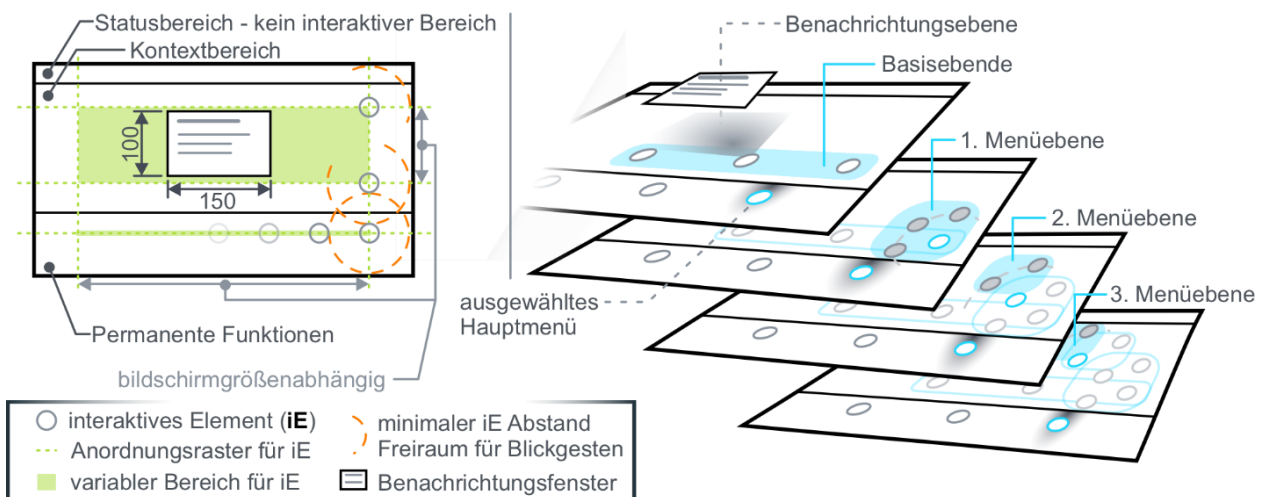


Abbildung 4.11: Wireframe des funktionalen Menükonzepts (links); iE-Anordnung und Ebenenstruktur im Kontextbereich (rechts)

4.3.3 Entwicklung des situativen visuellen Anzeigers

Um den Fokus des Experiments auf lediglich relevante Ausprägungen der visuellen Unterstützung zu setzen, besteht die Notwendigkeit einer durch sinnvolle Parameter-identifikation getroffenen Vorauswahl der abzurufenden Varianten. Diese lassen sich aus der in Kapitel 4.1 getroffenen Parametrisierung des visuellen Bedienelements unter Fokussierung auf die den Anzeiger beeinflussenden Gestaltungsparameter definieren. Die Dauer des angezeigten Reizes hängt mit der Blickgestenausführungszeit zusammen, welche durch die Sakkaden- und Fixationsdauer in Kapitel 4.1 detailliert hergeleitet ist. Für den Aufbau sinnvoller visueller Reize zur Unterstützung der Blickgestensteuerung sind mehrere Merkmale der Ausführung sowie des Interaktionsablaufes zu betrachten. Das Vorgehen beruht dabei auf dem Prinzip, Merkmale nach ihrer Effektstärke auf die visuelle Wahrnehmung zu definieren und daraus geeignete Gestaltungsparameterstufen abzuleiten. Somit erfolgt eine schrittweise

Betrachtung, welche Bestandteile der Blickgeste (das „Was“) zu welchem Zeitpunkt, mit welcher Dauer (das „Wann“), auf welche Arten und Weisen (das „Wie“) und mit welcher Intensität (das „Wie stark“) die Unterstützung beeinflussen können. Dennoch ist dabei von einer Interaktion der einzelnen Effekte untereinander grundsätzlich auszugehen.

Unterstützungsmerkmal – Darbietungselement: Die operativen Merkmale von Blickgesten teilen sich in Segmente auf, welche seitens der Augenbewegung (Sakkaden) und der Zeitabschnitte der Rast (Fixation) bestehen. Daher ist es sowohl möglich die Bewegung der Sakkade über die sogenannte „Sakkadenstrecke“ als auch den „Rastpunkt“ der Fixation während der Blickgestenausführung zu unterstützen. Da sich Start- bzw. Endposition der „Sakkadenstrecke“ mit dem „Rastpunkt“ überlagern, wird bei der visuellen Unterstützung über die „Sakkadenstrecke“ auch der „Rastpunkt“ inkludiert. Hinsichtlich der unterschiedlichen Wahrnehmung der jeweiligen Elemente ergeben sich Vorteile (Grün) und Nachteile (Orange), welche in Tabelle 4.3 veranschaulicht werden.

| Element: | Sakkadenstrecke | Rastpunkt |
|-----------|---|--|
| Vorteile | <ul style="list-style-type: none"> • Visualisierung des vollständigen Blickpfades • unbewusstere Reizverfolgung | <ul style="list-style-type: none"> • Aufmerksamkeit auf Zielposition der Augenbewegung • keine weitere Verdeckung von Inhalten |
| Nachteile | <ul style="list-style-type: none"> • Überblendung von Inhalten • Störung des natürlichen Blickverhaltens | <ul style="list-style-type: none"> • Notwendigkeit bewussterer Suchprozesse |

Tabelle 4.3: Vor- und Nachteile der jeweiligen unterstützbaren Elemente

Die Darstellung der Elemente wird maßgeblich von der Gestaltungsdimension Form bestimmt. Basierend auf dem in Kapitel 4.3.1 bestimmten Aufbau, wird die Grundform des Anzeigers analog dem Scharfsehbereich kreisförmig konzipiert. Bei der Unterstützung der Sakkadenstrecke wird dieser Anzeiger durch eine rechteckige Form zwischen hälftig aufgeteilten Kreisform umgesetzt. Somit ergibt sich für die Gestaltungsdimension Form die in Abbildung 4.12 veranschaulichten prinzipiellen Gestaltung.

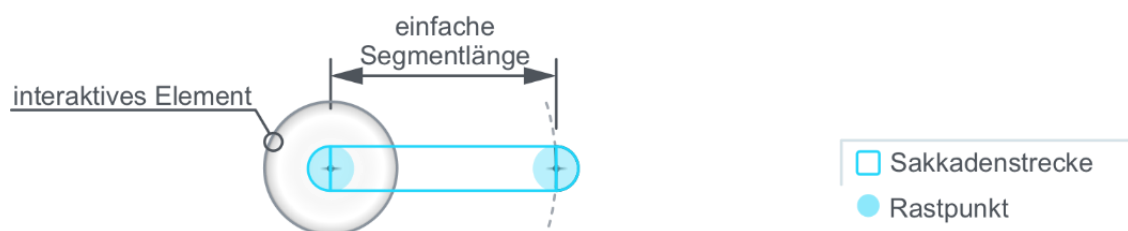


Abbildung 4.12: Definition der Form bei der Elementvariationen des Anzeigers

Unterstützungsmerkmal – Ablauf: Da die Bedienung mittels Blickgesten einen zeitabhängigen Ausführungsverlauf besitzt, ist eine differenzierte Betrachtung der

unterstützenden Wirkung in verschiedenen Ausführungsphasen notwendig. Prinzipiell ist dabei zu unterscheiden ob die Unterstützungen den zeitlichen Verlauf der Interaktion nicht berücksichtigt oder berücksichtigt. Ersteres stellen die zu unterstützenden Elemente „gesamtheitlich“ über alle Segmente der Blickgeste dar, Letzteres nur teil- bzw. „schrittweise“, welche prinzipiell noch weiter unterteilt werden kann. Die Blickgesten, welche aus drei Segmenten aufgebaut sind (vgl. Kapitel 4.2), ermöglichen eine „schrittweise“ Unterstützung, bei welcher nacheinander alle Segmente bzw. einzelne Segmente visuell unterstützt werden können. Die Unterstützung einzelner Teile der Interaktion ist bereits aus verschiedenen Anwendungen, wie z. B. der automatischen Vervollständigung von Wörtern und Textpassagen, bekannt. Um einen möglichen Effektunterschied durch die jeweilige Unterstützung zu ermitteln, wird im Rahmen des Experimentes eine dritte Ablaufvariante untersucht. Diese unterstützt lediglich das „letzte Segment“ der Blickgeste. Die Vorteile (Grün) und Nachteile (Orange) dieser drei Darbietungsarten, hinsichtlich der Unterstützungsmöglichkeiten, sind in Tabelle 4.4 dargestellt.

| Ablauf: | Gesamt | Schrittweise | Letztes Segment |
|-----------|---|---|--|
| Vorteile | <ul style="list-style-type: none"> • Visualisierung des vollständigen Blickpfades • unbewusstere Reizverfolgung | <ul style="list-style-type: none"> • Visualisierung des vollständigen Blickpfades • Ausführungsprozess visuell dargeboten | <ul style="list-style-type: none"> • minimale Überdeckung anderer Elemente • kein Ablenkungspotenzial |
| Nachteile | <ul style="list-style-type: none"> • Ausführungsprozess nicht visuell dargeboten • Störung durch blickpunktexterne Anzeigen | <ul style="list-style-type: none"> • Ablauf schränkt natürliches Blickverhalten ein | <ul style="list-style-type: none"> • Ausführungsprozess nicht visuell dargeboten • Unterstützungswirkung zu gering |

Tabelle 4.4: Vor- und Nachteile der unterstützenden Ablaufvarianten

Die drei beschriebenen Abläufe sind in Abbildung 4.13 am Beispiel der „Sakkadenstrecke“ als zu unterstützendes Element bei der „Ja“-Geste veranschaulicht. Derselbe Ablauf ist auch auf das Element „Rastpunkt“ übertragbar.

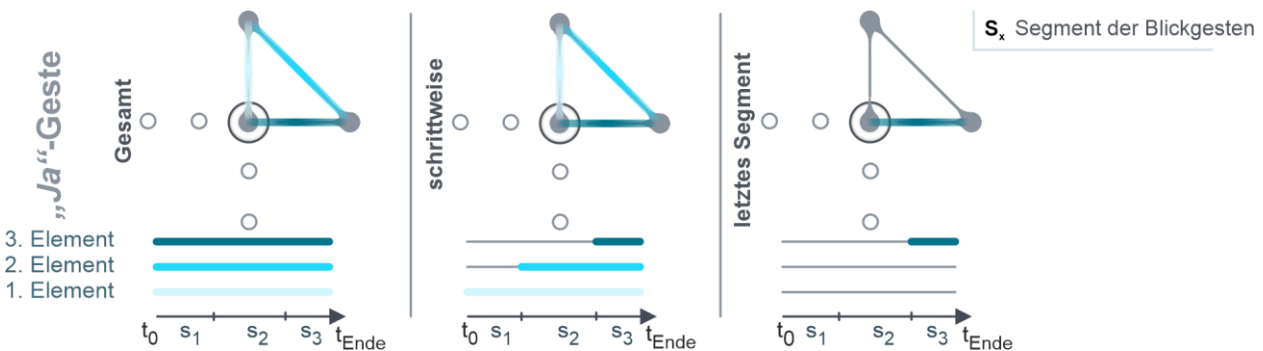


Abbildung 4.13: Definition der Ablaufvariationen des Anzeigers

Unterstützungsmerkmal – Prinzip: Der zeitabhängige Ausführungsablauf setzt sich aus der Aufeinanderfolge von Fixationen und Sakkaden zusammen. Diese bezeichnen einen sich wiederholenden Ablauf aus Bewegung und Rast und können in korrespondierender Weise auch in das Erscheinungsprinzip der Unterstützung mit übernommen werden. Daher ist die Unterstützung zeitverlaufsabhängig („dynamisch“) oder zeitverlaufsunabhängig („statisch“) darstellbar. Zur Überprüfung dieser Merkmalsart ist das Unterstützungsprinzip „dynamisch“ an den nichtlinearen Geschwindigkeitsverlauf der Sakkadenbewegung oder an den perzeptorisch anstrengungsärmeren, gleichmäßigen Geschwindigkeitsverlauf anzulehnen. Letzterer ist aufgrund des direkten wahrzunehmenden Effektes zu bevorzugen. Dabei wird das Darstellungsprinzip „dynamisch“ durch zeitabhängige Helligkeitsänderung der Lichtquelle angewandt. Aus diesem Grund ist ein konstanter Helligkeitswert, über die Abmessungen des Unterstützungselements hinweg, nicht sinnvoll. Der dabei gleichbleibende Kontrast könnte sonst die Darstellung der Bewegung des Elements überlagern und somit verbergen. Daher ist ein linearer Verlauf entlang der Bewegungsrichtung bei der „Sakkadenstrecke“ bzw. zentrisch bei dem „Rastpunkt“ mit einer Verlaufsänderung hin zum maximalen Helligkeitswert an der (in Blickrichtung) vordersten bzw. zentralen Stelle des Elements zu verwenden. Die Vorteile (Grün) und Nachteile (Orange) der Unterstützungsmöglichkeiten dieser beiden Darbietungsprinzipien sind in Tabelle 4.5 dargestellt.

| Prinzip: | statisch | dynamisch |
|-----------|--|--|
| Vorteile | <ul style="list-style-type: none"> • wahrnehmbare Start- und Endzeitpunkte der einzelnen Segmente • keine Ablenkung durch sich verändernden Reiz | <ul style="list-style-type: none"> • entspricht dem Ausführungsprozess • stärkerer Führungseffekt durch affektive Nachverfolgung |
| Nachteile | <ul style="list-style-type: none"> • keine exakte Übereinstimmung mit natürlichem Blickverhalten | <ul style="list-style-type: none"> • Störung durch größere Veränderungen im Blickbereich |

Tabelle 4.5: Vor- und Nachteile der unterstützenden Prinzipvariationen

Die beiden unterschiedlichen Darbietungsprinzipien sind in Abbildung 4.14 am Beispiel der „Sakkadenstrecke“ beim Ablauf „schrittweise“ als zu unterstützendes Element bei der „Ja“-Geste veranschaulicht. Auch hier ist dasselbe Prinzip auf die anderen Ablaufvariationen sowie das Element Rastpunkt übertragbar.

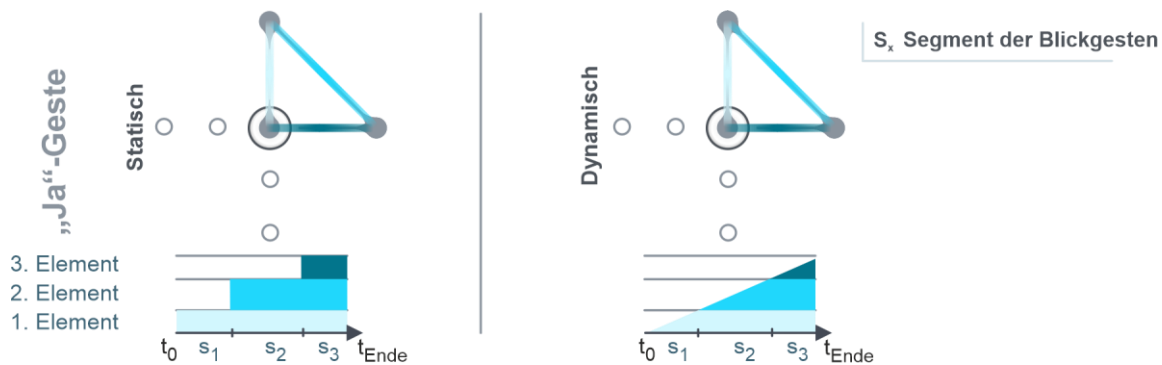


Abbildung 4.14: Definition der Darbietungsprinzipvariationen des Anzeigers

Unterstützungsmerkmal – Intensität: Die Intensität definiert das Maß der wahrzunehmenden Merkmalskategorien. Die Einstellung der Intensität erfolgt zum einen über die Variation der Form. Für die Variante Sakkadenstrecke wird diese über die Länge und Breite (rechtwinklig) definiert. Für die Variante Rastpunkt sind elliptische Formen nicht als sinnvoll zu erachten und daher wird die Formvariation aufgrund des gleichbleibenden Längen-Breiten-Verhältnis über den Durchmesser definiert. Unter Berücksichtigung des aus dem Forschungsvorhaben ausgegrenzten Einflusses des Farbtons beeinflusst die Helligkeit, als Teil der Farbgebung, über den Kontrast zum Hintergrund die Wahrnehmung. Hinsichtlich des zu planenden Experiments sind sinnvolle Schlussfolgerungen bezüglich der Parameterstufen zu ziehen. Zur Überprüfung, ob eine Veränderung des Parameters Länge einen Effekt auf die Unterstützungswirkung besitzt, kann dieser zunächst grundsätzlich in eine „vollständige“ und eine „teilweise“ Darbietungsstufe unterschieden werden. Aufgrund mangelnder Grundlage einer geeigneten teilweisen Darstellungslänge wird an dieser Stelle das mittlere Maß (50 % der gesamten Länge) für die Evaluation definiert. Bei der Definition der Breitestufen erweist sich die minimale Überdeckung der Fix-Points als sinnvoll. Die maximale Breite ist an dem perzeptorischen Scharfsehbereich von 2° (bei 600 mm Sehabstand ca. $\varnothing 20$ mm) zu orientieren. Bei vollständiger Belegung dieses Bereichs durch den Anzeiger wäre allerdings sämtliche foveale Wahrnehmung gebunden. Um dies zu vermeiden wird daher analog der Längendefinition aufgrund mangelnder Anhaltswerte eine mittlere Füllung von 10 mm als größte Breite definiert. Analog der Parameterstufen der Breite wird der Durchmesser für die Rastpunktelemente definiert. Die abzurufenden Helligkeitsstufen orientieren sich an der minimalen und maximalen Helligkeit optischer Reize (vgl. Kapitel 4.2). Aufgrund des großen Spektrums zwischen diesen beiden Grenzwerten wird ein mittlerer Helligkeitswert berücksichtigt, welcher durch das Potenzgesetz von Stevens für Helligkeitsmessung bestimmt wird [vgl. GOLDSTEIN 2015, S. 16]. Die beschriebenen Reizintensitätsvariationen sind in Abbildung 4.15, auf die jeweiligen Gestaltungsparameter aufgeteilt, dargestellt.

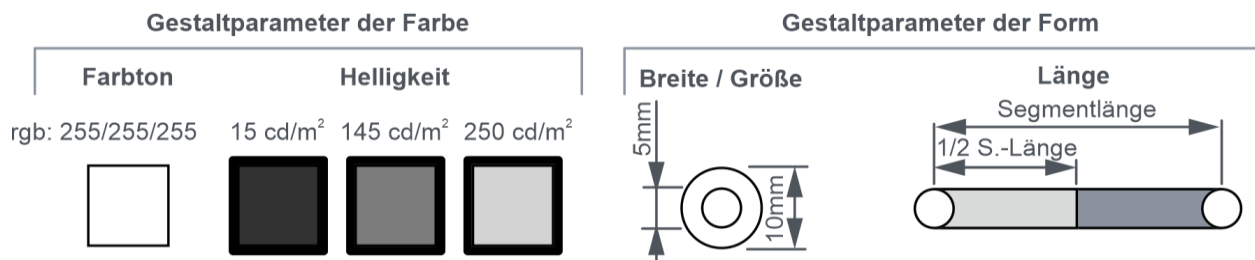


Abbildung 4.15: Definition der Gestaltungsparameter zur Intensitätsvariation

Die definierten Gestaltungsparameter des situativ visuellen Anzeigers und deren Parameterstufen werden in der Experimentplanung als Grundlage für die zu bildenden Reizvariationen herangezogen (vgl. Kapitel 5.1.4).

4.3.4 Entwicklung des computergestützten Blickgestendetektionsverfahrens

Zur Erkennung intentioneller Blickgesten durch das technische System wird ein geeignetes datenbasiertes Detektionsverfahren benötigt. Mangels bereits etablierter Anwendungen werden bei Experimenten in der Blickinteraktionsforschung eine Vielzahl von Einzellösungen beobachtet. Diese werden mittels verschiedener Programmiersprachen umgesetzt. Die gängigen kommerziellen Eye-Tracking-Anbieter stellen Entwicklern dafür explizit SDKs (Software Developer Kit) in den gängigen Sprachen (C+, Matlab, Python, Unity, usw.) zur Verfügung. Das computergestützte Detektionsverfahren stellt eine notwendige Grundfunktionalität zur Durchführung des Experiments in Kapitel 5.2 dar. Im Folgenden wird ein Einblick in die maßgeblichen konzeptionellen Schritte des speziell auf Blickgesten ausgelegte Detektionsverfahren gegeben.

Die literarische Sichtung der bei Blicksteuerungsexperimenten eingesetzten Verfahren zeigt eine Vielzahl von möglichen programmatischen Ansätzen auf. Diese reichen von klassischer Entscheidungsbaum-Klassifikation [vgl. DREWES 2010] über, Wahrscheinlichkeitsprädiktionen durch Hidden Markov Models [vgl. FUJII ET AL. 2013] bis zum Einsatz von neuronalen Netzen [ESSIG ET AL. 2006]. Bei dem Verfahren für das Experiment stellt eine deterministische Unterscheidung zwischen den Blickgesten und dem natürlichen Blickverhalten nicht das alleinige Kriterium dar. Insbesondere wird eine möglichst schnelle Gestenprognose auf Basis weniger Datensätze benötigt, um eine rasche Aktivierung der Unterstützungspräsentation im Interface darzubieten. Dazu wird dem Verfahren eine gerichtete Entscheidungsbaum-Klassifikation zu Grunde gelegt. Als weiterführende Literatur ist an dieser Stelle auf DÖRSAM [2007] und BREIMAN ET AL. [1984] zu verweisen.

Selbstverständlich ist diese Entscheidungslogik nur eine mögliche Lösung. Das Potenzial von Mustererkennungen aus der Signalverarbeitung oder künstlichen neuronalen Netzen steigert sich mit der Menge der Trainingsdatensätze und der Rechenleistung stetig. Die

Entscheidungslogik ist wie das Experimentinterface in Python (Version 3.5.7) programmiert und während der gesamten Interaktion im Einsatz, um aufgerufen zu werden sobald ein Anwender ein interaktives Element betrachtet.

Klassifikationsarchitektur: Die in Abbildung 4.16 dargestellte Architektur umfasst ausschließlich den programmatischen Softwareteil der Anwendung, welcher die Blickgestenentscheidung regelt. Die interaktive Elementerfassung, das Interfacedesign und die Einbindung des versuchspersonenspezifischen Experimentablaufs sind nicht Bestandteil der Arbeit. Für dieses Verfahren werden die Inputdaten des Eye Trackers mit den Elementpositionen im Interface abgeglichen. Bei einer Betrachtungsdauer über 200 ms beginnt der Detektionsprozess. Dazu werden die Daten zunächst vorprozessiert, um diese anschließend zu klassifizieren. Die erhaltene Gestenprognose wird mit der erforderlichen Blickgeste im Sinne des Experimentdesigns abgeglichen und abhängig davon das Feedback an den Nutzer über das Interface dargeboten.

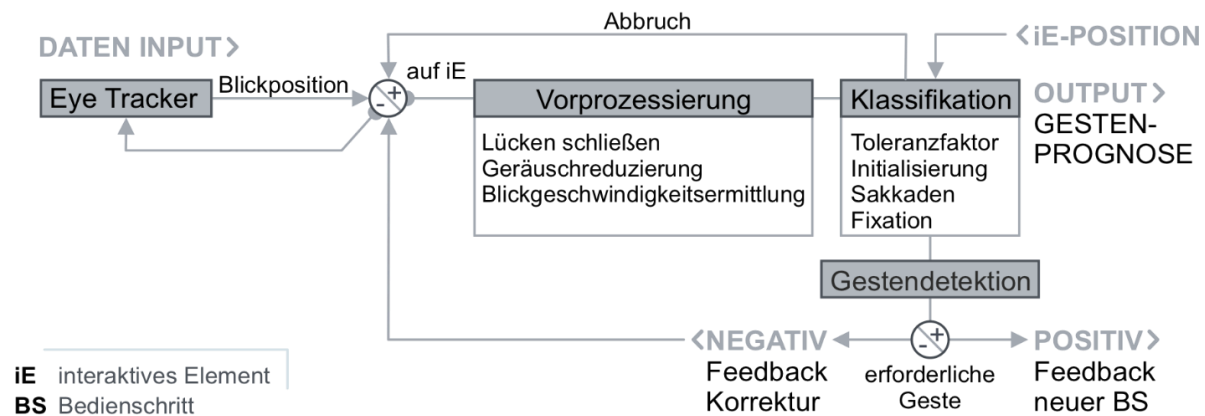


Abbildung 4.16: Architektur des Blickgestendetektionsverfahrens

Empirische Vorversuche zur Parameterdefinition: Zur Detektion werden verschiedene Grenzwerte von Parametern, wie zum Beispiel Sakkadengeschwindigkeit, Verweildauer und Gestenausführungszeit, herangezogen, um eine möglichst mit dem Nutzerverhalten übereinstimmende Prädiktion zu treffen. Die Untersuchungen von DREWES [2010, S. 110] zeigen, dass sich die Einstellung der relevanten Klassifikationsparameter als komplex erweist und deren Definition rein auf theoretischer Datengrundlage nicht möglich ist. Daher ist eine experimentnahe Datengenerierung zur Optimierung der theoretischen Grenzwerte notwendig. Dafür wird in einer Vorstudie das Blickverhalten bei der Ausführung von Interaktionsgesten aufgezeichnet, deren Datensätze möglichst exakt denen der Experimentanwendung entsprechen. Es finden drei Datenerhebungssitzungen mit jeweils verschiedenen Programmen statt. In den ersten beiden Sitzungen sollen Nutzer die abgebildeten Blickgesten mit ihrem Blick in dem für sie als komfortabel empfundenen Tempo abfahren. Parallel sollen sie bei Start

und Ende der Blickgeste den Zeitstempel per Knopfdruck festhalten, um das folgende manuelle Labeln zu beschleunigen. Das Labeling (übers. Kennzeichnung) stellt ein händisches Nachbearbeiten (Extraktion von Datensätzen, welche keine Blickgeste beinhalten, sowie die Trimmung auf relevante Datenbereiche) dar und wird mittels des Analyseprogramms Blickshift Analytics Ultimate (1.1.0.1) der Fa. Blickshift GmbH durchgeführt. Abbildung 4.17 veranschaulicht anhand von drei beispielhaften Datensätzen einer Blickgeste die nachträgliche Anpassung des, für die Blickgestendetektion, relevanten Datenbereichs (Grau). Die geringen Änderungsraten der Samples (übers. Stichproben) lassen auf Fixationen nach und vor der Blickgeste schließen. Für die Detektion der spezifischen Blickgeste werden diese Bereiche daher nicht berücksichtigt. Die herangezogenen Blickparameter bestehen für jedes Sample aus dem Zeitstempel und den Blickpunkten beider Augen, bezogen auf das Interface-Koordinatensystem:

- Zeitstempel,
- X-Koordinate linkes Auge,
- X-Koordinate rechtes Auge,
- Y-Koordinate linkes Auge,
- Y-Koordinate rechtes Auge.

Die Taktung des Eye Trackers gibt die Frequenz vor, in welcher die Samples zur Detektion bereitgestellt werden.

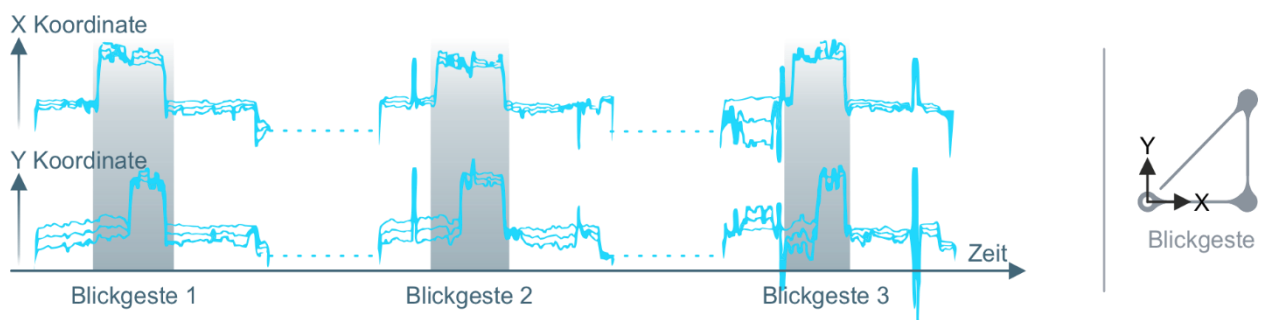


Abbildung 4.17: Beispielhaftes Labeling einer Blickgeste aus dem Datensatz

Die dritte Datenerhebung dient dem Abgleich der Blickgestendatensätze bei homogener Positionsverteilung der interaktiven Elemente im Interface. Tabelle 4.6 fasst die wesentlichen Erhebungskriterien der drei Sitzungen zusammen.


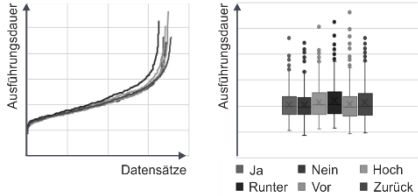
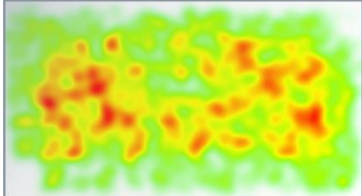
| 1. Sitzung für Experiment | 2. Sitzung für Experiment | 3. Sitzung für Experiment |
|---|--|---|
| <p>Vortest zur Generierung der Identifikation der Entscheidungslogikparameter</p> <ul style="list-style-type: none"> • 15 Versuchspersonen • 800 Datensätze von 5 Interfacepositionen  | <p>Vortest zur Definition der Parametereinstellung</p> <ul style="list-style-type: none"> • 25 Versuchspersonen • 833 Datensätze  | <p>Evaluation der Parametereinstellung für verschiedene Positionen im Interface</p> <ul style="list-style-type: none"> • 3 Versuchspersonen • 700 Datensätze - homogen im Interface  |

Tabelle 4.6: Überblick über die drei Vortests zur Parametereinstellung

Vorprozessierung: Die eingehenden Blickdaten werden zur weiteren Verwendung durch bestimmte Algorithmen vorbereitet. Dabei werden die sich teils deutlich unterscheidenden Datensätze in Bezug auf Länge, Datenlücken und Rauschen für ein optimales Detektionsergebnis in Echtzeit verarbeitet. Die Parameter der computergestützten Vorprozessierung sind in Tabelle 4.7 festgehalten.

| Parameter | Quantifizierung | Beschreibung |
|---------------------|----------------------------|---|
| Datenlücken | Lücken > 200 ms | lineare Interpolation [OLSEN 2012, S. 10] |
| Geräuschfilterung | gleitend über 3 Datensätze | ungewichteter gleitender Durchschnittsfilter [OLSEN 2012, S. 11] |
| Sakkadenschwellwert | min. 30 %/s, max. 900 %/s | [OLSEN 2012, S. 10], [HOLMQVIST ET AL. 2011, S. 171 f.], Vorstudie |

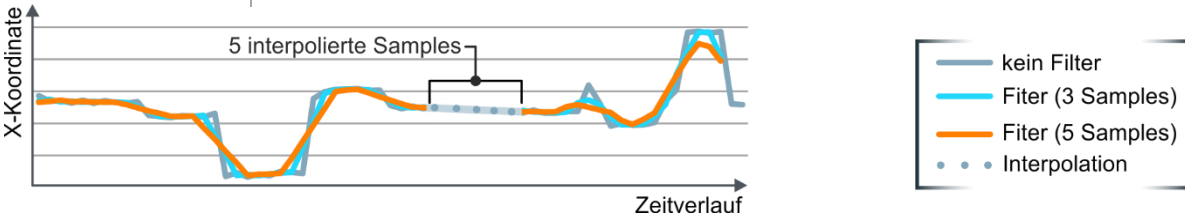


Tabelle 4.7: Parameterspezifikation der Vorprozessierung

Klassifikation: In der Klassifikation werden die eingehenden prozessierten Samples des Blickverhaltens in die jeweiligen Blicksegmente untergliedert. Anschließend erfolgt deren Identifikation als Teil einer Blickgeste oder nicht. Zum einen sind möglichst exakte und differenzierbare Parameterquantifizierungen für eine gute Entscheidungssicherheit notwendig. Zum anderen ist es, aufgrund des individuellen Nutzerverhaltens, erforderlich, eine ausreichende Toleranz gegenüber Variationen der einzelnen Parameter zuzulassen. Daher ist an dieser Stelle anzumerken, dass das Experiment eine bestmögliche

Unterstützungswirkung und nicht primär auf eine ideale Detektionsgenauigkeit fokussiert. Um die abzu prüfenden Anzeigervarianten leichter erlebbar zu machen, ist daher eine tolerantere Klassifikation zu wählen, welche eher zu einer Gestendetektion tendiert. Dabei ist die Auswirkung einer möglichen Fehlerkennung aus diesem Grund in Kauf zu nehmen.

Der für die Erkennung verwendete Eye Tracker 4C der Firma Tobii AB operiert bei einer maximalen Monitordiagonalen von ca. 740 mm mit einem Nutzerabstand von 500-900 mm. Aus der sich ergebenden Genauigkeit und Präzision sind bestimmte Schwankungsbereiche innerhalb der Blickabschnitte einer Blickgeste zu berücksichtigen. Diese können zur Identifikation von sakkadischen Bewegungen und Fixationen in drei Toleranzkategorien (zeitlich bzw. verteilungsbasiert, ortsbasiert, geschwindigkeitsbasiert) unterteilt werden. Wird die korrekte Abfolge von Sakkaden (korrekter Start- und Zielbereich sowie Geschwindigkeit) und Fixationen (korrekter Bereich und Dauer) im Sinne einer Blickgeste identifiziert, erfolgt die Zuordnung zu der jeweiligen Geste aus dem Blickgestenkatalog. Die Vorversuche zeigen auf, dass sich die Streuung der Blickdaten hin zu den Bildschirmrändern erhöht. Daher ist eine räumlich abhängige Toleranzanpassung notwendig. Abbildung 4.18 visualisiert die zur Erkennung der Blickgesten herangezogenen Klassifikationen am Beispiel des ersten Segments der „Ja“-Geste (links) und die räumliche Toleranzanpassung (rechts). Für jedes Segment existieren sowohl für die Sakkade (Orange), als auch für die Fixation (Blau) räumliche und zeitliche Klassifikatoren. Dabei variieren die räumlichen Klassifikatoren abhängig von der interaktiven Elementposition im Interface und von dem damit verbundenen Toleranzfaktor. Somit ergeben sich engere Grenzen im zentralen Bereich und linear größer werdende Grenzen im Randbereich des Interfaces.

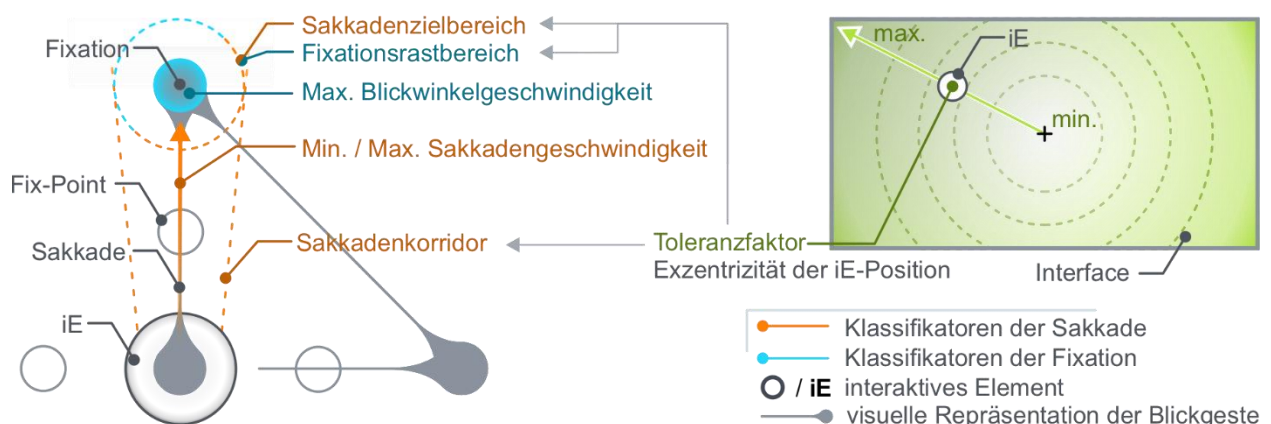


Abbildung 4.18: Prinzipielle Identifikation und Klassifikation der Blickgestensegmente

Das in diesem Kapitel beschriebene Detektionsverfahren vermag räumlich abhängige Blickgesten unabhängig ihrer Segmentlänge zu identifizieren und wird dem in Kapitel 5 beschriebenen Experiment als Funktionalität zu Grunde gelegt.

5 Experimentelle Validierung der Blickgestenunterstützung

Bei der gebrauchstauglichkeitsorientierten Entwicklung von Produkten (Usability Engineering [vgl. NIELSEN 1993, S. 17]) wird die Usability-Qualität nach DIN EN ISO 9241-11: 2018] als ein Zusammenschluss von Effektivität, Effizienz und Zufriedenstellung bei der Nutzung definiert. Dazu ist es notwendig *„das menschliche Verhalten zu verstehen [, denn dies stellt] [...] einen der wesentlichen Aspekte zur erfolgreichen Gestaltung von Mensch-Computer-Interaktionen [dar]“* [übers. NIELSEN 1993]. Nach BULLINGER [1994, S. 261] ist *„eine rein theoretische Auswahl und Bestimmung der ergonomisch optimalsten Gestaltungsalternative [...] nicht möglich“* und erfordert den Schritt der Evaluation. Das in der Evaluation beinhaltete Experiment dient somit der praktischen Überprüfung, Bewertung und Empfehlung der in Kapitel 4.3.3 theoretisch ausgearbeiteten Reizvariationen im Nutzungskontext der Menünavigation [vgl. JANNY 2018 S. 64]. Nach PFEFFER [2016, S. 115 ff.] kann der Evaluationsprozess in mehrere Phasen unterteilt werden und stellt sich zusammen mit der Experimentdurchführung wie folgt dar:

- Planung (Kapitel 5.1),
- Datenerhebung (Kapitel 5.2),
- Datenauswertung (Kapitel 5.3),
- Ergebnisinterpretation und -verwendung (Kapitel 5.4).

5.1 Planung des Experiments

In der Planungsphase werden grundlegende Analysen am und Spezifikationen im Interface durchgeführt. Somit stellt diese Phase die Grundlage für folgende Auswertungen und Interpretationen dar. [vgl. PFEFFER 2016, S. 116]

5.1.1 Verfahren zur Evaluation des situativ visuellen Anzeigers

Ein Metrik-basierter Ansatz bietet verschiedene Vorteile [vgl. TULLIS & ALBERT 2013, S. 8], um den aktuellen Gebrauch, im Sinne der Interfacebedienung, besser zu verstehen [PFEFFER 2016, S. 57]. Bekannte, leicht zugängliche Metriken sind z. B. in DIN ISO/TS 20282-2 [2008] beschrieben. Dabei können Metriken als Bewertungsformen binär und gestuft zur Evaluation herangezogen werden [vgl. TULLIS & ALBERT 2013, S. 66 ff.].

Gerade in der Messung der Performanz von blickgesteuerten Systemen spielen Faktoren wie Effizienz, Ausführbarkeit (Schwierigkeit der Blicksteuerung), Anstrengung der Blickinteraktion, Genauigkeit des sensorischen Systems und Begeisterungsfaktoren

(enjoyable Parts of Interaction) eine entscheidende Rolle [vgl. MARAJANTA ET AL. 2012, S. 198].

Die Gebrauchsqualität stellt den Bestandteil der Interface-Qualität nach JANNY [2018, S. 65] (Weiterentwicklung der Produktqualität nach PFEFFER [2016, S. 71, 81]) dar, welcher sich aus dem Nutzungskontext ergibt (siehe Abbildung 5.1). Unter Berücksichtigung der Forschungsfrage ist dies als geeignetes Evaluationsmaß für das Experiment zu sehen. Die Interface-Qualität dient als übergeordnetes Maß zur Erfassung der kontextbezogenen und kontext-unabhängigen Qualität. Im Fokus des Experiments befindet sich ausschließlich die im Nutzungskontext stehende Gebrauchsqualität des Interfaces. Zur Quantifizierung des Einflusses der Reizvariation können Evaluationskriterien der Nutzungseffektivität, der Nutzungseffizienz und der funktionalen Nutzerzufriedenheit herangezogen werden. Darüber hinaus sind Befragungen der physischen und mentalen Nutzereffizienz sowie Ergebnisse der Reizvariationen in den gesamtheitlichen Zusammenhang der MTI gesetzt.

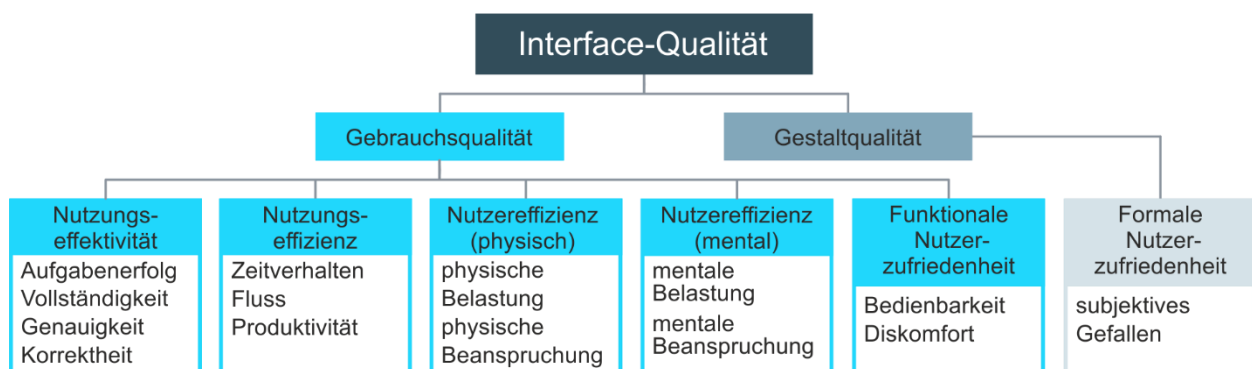


Abbildung 5.1: Kategorien der Interface-Qualität nach JANNY [2018, S. 65]

Experimentelle Methode: Die Evaluation hat das Ziel, auf Basis der in Kapitel 4.1 hergeleiteten Gestaltungsparameter der visuellen Reizvariation, eine abschließende Empfehlung für einen unterstützenden Einsatz des visuellen situativen Anzeigers in einer blickgestengesteuerten Menünavigation abzuleiten. Dazu wird ein summativer d.h. abschließender Experimentansatz benötigt, welcher mit einer nachweisbaren Erhebung der Gebrauchsqualität auszugestalten ist. Für eine valide Evaluation werden alle abzuprüfenden Reizvariationen von jeder Versuchsperson (kurz VP) während der Interaktion erlebt (Within-Subject Design) [DÖRING & BORTZ 2016, S. 209]. Die herangezogene Stichprobe liegt mit 30 geplanten Teilnehmern deutlich über der nach PFEFFER [2016, S. 100] definierten minimalen Stichprobe von 15 VP und orientiert sich stattdessen an der für statistische Verfahren empfohlenen Stichprobengröße von 30 bei RAAB-STEINER & BENESCH [2008, S. 20]. Bei einer so neuartigen Bedienmodalität wie der Blickgestensteuerung muss davon ausgegangen werden, dass bei unerfahrenen Nutzern

stets temporäre Verständnisprobleme oder andere Schwierigkeiten in der Ausführung und Steuerung auftreten können. Darüber hinaus führt eine möglicherweise technisch unzureichende Erkennung zu schlechteren Messungen innerhalb der jeweiligen Metriken. Bessere Werte hingegen resultieren grundsätzlich aus den natürlichen Fertigkeiten und Fähigkeiten des Nutzers. Es wird jedoch davon ausgegangen, dass Erkennungsraten von blickgesteuerten Systemen in Zukunft optimiert werden können. Um Ausreißer in den Messwerten aufgrund derartiger Probleme zu vermeiden, wird im Hauptteil des Experiments jede Reizvariation (kurz RV) durch eine zweite Messung bei jeder Versuchsperson zusätzlich abgefragt.

MTI-Spezifikation für das Experiment: Die Blickgesteninteraktion zur Menüsteuerung findet primär in einem raumfesten Koordinatensystem statt, in welchem das ortsunveränderliche, technische System die Umgebung des Nutzers repräsentiert [vgl. DIN VDE 0100-200, 2006], [SCHMID & MAIER 2017, S. 59]. Dabei umfasst die Interaktion im Rahmen eines durchzuführenden Bedienschrittes fünf mentale und physische Teilhandlungen. Diese Teilhandlungen sind die Erfassung der Bedienschrittaufgabe, die Exploration des Screens, die Lokalisierung des korrekten interaktiven Elements und die Verwendung einer adäquaten Blickgeste aus dem Gestenkatalog (vgl. Abbildung 4.9) bei gleichzeitiger Darbietung einer jeweiligen Reizvariation. Da der Effekt der eingesetzten, situativen visuellen Darbietungen während der Interaktion stark von der Anwendungsumgebung beeinflusst wird, ist die Robustheit der RV hinsichtlich ihrer Gebrauchsqualität ein wichtiges Kriterium. Wie bereits im Forschungsbedarf (vgl. Kapitel 3.3) aufgezeigt, ist ein simulierter Anwendungsfall als Evaluationskontext eine wichtige Voraussetzung. Im Gegensatz zu einem Experiment mit einem weniger konkreten Anwendungsfall ergeben sich aus dem anwendungsnahen Kontext Variablen, wie z.B. die kontextabhängigen Screeninhalte oder die Aufgabenkomplexität. Diese sind über die Kohorte hinweg per randbedingungsbehafteter Randomisierung zu kontrollieren. Für die Evaluation wird von einer unspezifischen Nutzergruppe ausgegangen, welche keine oder nur geringe Vorerfahrung im Bereich der Blicksteuerung mitbringt.

5.1.2 Forschungshypothesen

Das zugrunde gelegte Ziel des in Kapitel 5.2 erläuterten Experiments ist die Ableitung einer Gestaltungsempfehlung der visuellen situativen Unterstützung innerhalb einer nutzergerechten Bedienschnittstelle zur Blickgestensteuerung (vgl. Kapitel 3.3). Im Fokus stehen die untersuchten visuellen Interaktionsrepräsentationen, welche auf den in Kapitel 4.3.3 abgeleiteten Gestaltungsparametervariationen basieren. Die abgeprüften Darbietungsreize werden sowohl durch die zu bewältigenden Aufgaben innerhalb der Menüsteuerung als auch über die mit dem Experiment einhergehenden Variablen

beeinflusst. Daher werden neben den Gestaltungsparametern ebenfalls die Reizmusterbeeinflussenden Parameter des Interfaceausbaus untersucht. Im Detail dient das Experiment zur Überprüfung der folgenden Alternativhypothesen H_{1x} bzw. der korrespondierenden Nullhypothesen H_{0x} :

- H₁₁** Die bei der Blickgesteninteraktion erreichbare funktionale Nutzerzufriedenheit lässt sich mittels gezielter Gestaltungsparametervariation der visuellen Unterstützung beeinflussen.
- H₁₂** Die funktionale Nutzerzufriedenheit bei der Blickgesteninteraktion mit visueller Unterstützung übertrifft die der Blickgesteninteraktion ohne eine solche Unterstützung.
- H₁₃** Die bei der Blickgesteninteraktion erreichbare Nutzungseffektivität lässt sich mittels gezielter Gestaltungsparametervariation der visuellen Unterstützung beeinflussen.
- H₁₄** Die erreichbare Nutzungseffektivität bei der Blickgesteninteraktion mit visueller Unterstützung übertrifft die der Blickgesteninteraktion ohne eine solche Unterstützung.
- H₁₅** Die erreichbare Nutzungseffizienz bei der Blickgesteninteraktion mit visueller Unterstützung übertrifft die der Blickgesteninteraktion ohne eine solche Unterstützung.
- H₁₆** Die bei der Blickgesteninteraktion mit visueller Unterstützung erreichbare Nutzungseffizienz übertrifft die der Blickgesteninteraktion ohne eine solche Unterstützung.
- H₁₇** Die interaktive Objektdichte im Blickgesten-gesteuerten Interface hat keinen Einfluss auf die Nutzungseffektivität.
- H₁₈** Die interaktive Objektdichte im Blickgesten-gesteuerten Interface hat keinen Einfluss auf die Nutzungseffizienz.
- H₁₉** Die erreichbare Nutzungseffektivität bei der Blickgesteninteraktion lässt sich durch Verwendung gezielter Menüaufbauvarianten beeinflussen.
- H₁₁₀** Die bei der Blickgesteninteraktion erreichbare Nutzungseffizienz lässt sich durch Verwendung gezielter Menüaufbauvarianten beeinflussen.
- H₁₁₁** Die sensorische, computergestützte Erfassungsqualität hat keinen Einfluss auf die erreichbare Nutzungseffektivität der Blickgesteninteraktion.
- H₁₁₂** Die sensorische, computergestützte Erfassungsqualität hat keinen Einfluss auf die erreichbare Nutzungseffizienz der Blickgesteninteraktion.

5.1.3 Metrikauswahl und Operationalisierung der Forschungshypothesen

Um die Hypothesen im Experiment sinnvoll abprüfen und beantworten zu können, werden quantifizierbare Messmethoden in einem deduktiven Verfahren benötigt, welche sowohl objektive Messungen als auch subjektive Beschreibungen beinhalten [SARODNIK & BRAU 2011, S. 163]. Der Fokus des Experiments liegt allerdings in der summativen Evaluation der Metrik-basierten Bewertung der Gebrauchsqualität. Diese Qualität setzt sich aus mehreren Gebrauchsqualifikationen zusammen. Für jede Qualifikation ist im Rahmen der Evaluation mindestens eine Metrik zu verwenden, um die Beeinflussbarkeit der Gestaltungsparametervariation messbar zu machen. Dabei richtet sich der Güteanspruch und der damit verbundene Aufwand der Evaluation nach den Hypothesen aus Kapitel 5.1.2. Dieser Anspruch liegt für dieses Experiment eindeutig auf der Erfassung der Nutzungseffizienz und Nutzungseffektivität. Die am häufigsten verwendeten Metriken im Bereich der Human Factors (übers. Menschliche Faktoren) stellen dabei die Messung von Aufgabendauer, Aufgabenerfolg, und Fehler dar [vgl. ISO/IEC 25062: 2006], [RENGGER 1991], [TULLIS & ALBERT, 2013]. Nach HOFFMANN [2010, S. 12] sind diese als HEAT-Measures (übers. Messungen) beschrieben, d. h. Hits, Errors, Accuracy und Time (übers. Treffer, Fehler, Genauigkeit und Zeit). Diese allgemeinen Metriken sind auf die konkrete RV-Darbietung bei der Blickgestensteuerung anzupassen. In der DIN EN ISO 9241-9 [2002] sind verschiedene Metriken zur Messung der Leistungsfähigkeit von Non-Keyboard Input Devices (übers. Eingabeperipherien, Tastatur ausgeschlossen) festgehalten. Obwohl die Eye Tracker Blickgestensteuerung zu diesen zählt, sind die dort beschriebenen Ansätze nicht direkt übertragbar. Als Beispiel ist die unlängst belegte Ungültigkeit von Fittes Index of Performance [FITTS 1954] (übers. Leistungsindex) für den Kontext der Blickinteraktion zu nennen (vgl. Kapitel 3.2.1).

Metriken der Nutzungseffektivität: Aus bekannten Anwendungen der Blicksteuerung, wie z. B. dem Eye Typing (Selektion von Buchstaben über ein Interface zur Kommunikation, vgl. Kapitel 3.2), existieren bereits etablierte Metriken wie Words per Minute (übers. Wörter pro Minute), Fehlermetriken wie Keystrokes per Charakter (übers. Tastenanschlag je Zeichen) oder Minimum-String-Distance-based (übers. Korrekturaufwand bis zum fehlerfreien Text) [vgl. MACKENZIE 2002], [SOUKOREFF & MACKENZIE 2003]. Die Overproducing Rate (übers. Überproduktionsrate) stellt die getätigten Interaktionsversuche den minimal notwendigen Interaktionen gegenüber [HANSEN ET AL. 2003], [ITOH & HANSEN 2006]. In diesem Evaluationskontext werden Aufgabenarten absolviert, welche zugleich physisch als auch mental ausgelegt sind. Durch Beobachtung der Aufgabenbewältigung lassen sich daher Ursachen des Nutzerverhaltens sowohl auf die

interne und externe Syntax, die Semantik des Bedienelements, als auch auf die pragmatische Handlung und Ausführung (Handhabung) zurückführen [vgl. PFEFFER 2016, S. 85] (vgl. Kapitel 2.1). Um den Verhaltensursachen gesamtheitlich auf den Grund zu gehen erweisen sich allgemeingehaltene Metriken, wie z.B. die Overproducing Rate als unzulänglich und macht daher eine detailliertere Unterscheidung der Versuchsarten notwendig.

Manuelles Nachlabeln der Blickdaten: Die dazu notwendige Identifikation der Interaktionsversuche findet im Rahmen der Auswertung mittels einer geeigneten Software durch manuelles Labeling statt. Dabei wird prinzipiell zwischen Versuchen unterschieden, welche eine vollständige Blickgeste (valide Versuche) und Versuchen die keine vollständige Blickgeste (invalide Versuche) darstellen. Die relevanten Datensätze werden unabhängig von den Systementscheidungen erneut begutachtet, um den Einfluss systemseitiger Fehlentscheidungen zu vermeiden. Sie setzen sich aus den Daten zusammen, welche im Sinne der Bedienaufgabe als „keine Geste“, „korrekte Geste“ oder „inkorrekte Geste“ identifiziert werden.

Valide Versuche: Die validen Versuche beschreiben die Anzahl der erfassten Versuche nach dem händischen Labeling, welche bis zur korrekten Ausführung und korrekten Erkennung der geforderten Interaktion innerhalb eines Bedienschritts erfolgen. Abbildung 5.2 stellt die Spanne der Datengüte zwischen dem Best Case und Worst Case zweier, als valide klassifizierte Versuche am Beispiel der „Runter“-Blickgeste, dar.

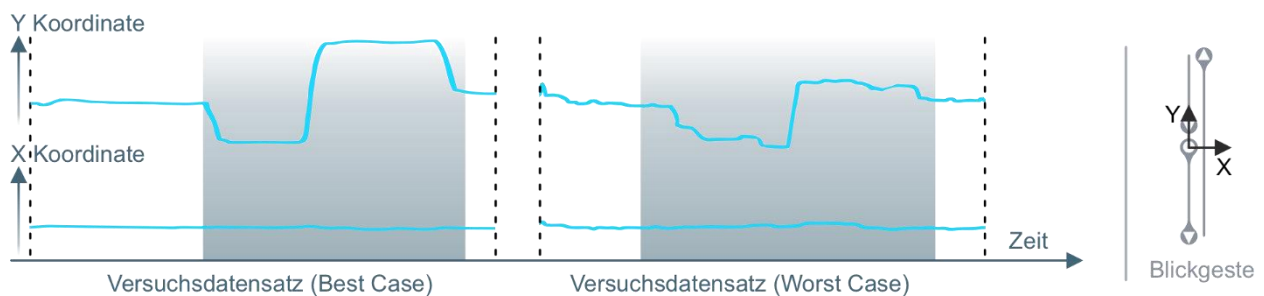


Abbildung 5.2: Labeling eines validen Versuchs („Runter“) aus zwei Versuchsdatensätzen; links: Best Case, rechts: Worst Case

Invalide Versuche: Die im Labeling als ungültig definierten Versuche entstammen verschiedenem Nutzer- und Systemverhalten. Darunter zählen Ausführungsabbrüche durch die Versuchsperson (Nachdenken, Zögern), Ausführungsdistraction der Interfaceinhalte, welche zu Ablenkungen führen (z. B. visuelle Darbietung der Reizvariation, umliegende interaktive Elemente, Bilder, usw.) und sensorisches Rauschen, durch welches die Geste nicht mehr identifizierbar ist. Individuelle Fehler beim Nachlabeln sind darüber hinaus ebenfalls nicht kategorisch auszuschließen. Allerdings werden die Einflüsse dieser Fehlerursachen (Labelfehler und fehlende Detektion durch sensorisches

Rauschen), welche nicht auf die RV-Darbietung zurückzuführen sind, durch die Randomisierung der Stimuli über die Versuchspersonen sowie die Blickgesten und die Interfacekomplexität hinweg, gleichermaßen kontrolliert. Abbildung 5.3 stellt zwei beispielhafte Datensätze von invaliden Versuchen dar. Der Datensatz links beschreibt einen Versuch, welcher eindeutig als invalide definiert werden kann. Der rechte Datensatz ist aufgrund des sensorischen Datenverlustes nicht eindeutig identifizierbar und wird daher ebenfalls als invalide gekennzeichnet.

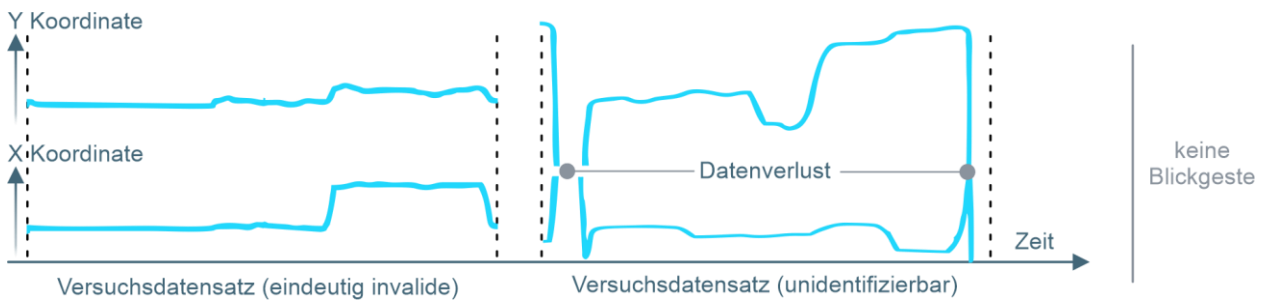


Abbildung 5.3: Labeling eines invaliden Versuchs aus zwei Versuchsdatensätzen; links: Best Case, rechts: Worst Case

Einteilung der Versuchsmetrik: Die nicht erfolgreichen Versuche, im Sinne der Blickgestenausführung, werden als invalide Versuche im Bedienschnitt (kurz BS invalide Versuche) bezeichnet. Da die Versuchspersonen bestimmte Bedienaufgaben zu erfüllen haben, existiert je Bedienschnitt nur eine korrekte Bedienhandlung in Form der korrekten Blickgeste (Identifikation des richtigen Icons und Ausführung der korrespondierenden Blickgeste) auf dem zu verwendenden interaktiven Element. Die Abweichung von dieser idealen Interaktion, z. B. durch falsches Interfaceverständnis, wird mittels der validen Versuche im Bedienschnitt (kurz BS valide Versuche) erfasst.

Die visuelle Darbietung mit dem Ziel der Interaktionsunterstützung erfolgt zeitgleich mit der nutzerinitialisierten Blickgestenausführung. An dieser Stelle ist die AOI-Platzierung als gängige Metrik in der Eye-Tracking-Analyse zur Erfassung des Interaktionsverhaltens heranzuziehen, indem die interaktiven Elemente als einzelne AOIs definiert werden. [vgl. GEISE 2011B, S. 162], [POOLE ET AL. 2004]. Die Versuche, welche somit ausschließlich auf dem zu bedienenden interaktiven Element stattfinden, sind daher bei der Evaluation von großer Bedeutung und werden als eine separate Messung definiert. Analog zu den Versuchen im gesamten Bedienschnitt werden diese ebenfalls in valide Versuche auf dem interaktiven Element (kurz iE valide Versuche) und invalide Versuche auf dem interaktiven Element (kurz iE invalide Versuche) unterschieden.

Metriken der Nutzungseffizienz: Zur Erfassung des Zeitverhaltens der Interaktion stellt die Aufgabendauer eine gängige Metrik dar [vgl. RENGGER 1991, S. 43]. Diese umfasst die Zeitabschnitte der Interaktionsphasen, Wahrnehmung, Kognition und Handlung

(siehe Kapitel 2.2.1). Im Experiment umfasst diese Metrik konkret den Zeitraum vom Erscheinen des Bedienschlittes bis zum vollständigen Erfüllen der geforderten Aufgabe, welche teils wiederholend durchlaufen werden. Dabei wird bei der Messung der Aufgabedauer in der Regel von einer instruierten Versuchsperson im Sinne des Aufgabenziels ausgegangen. Da allerdings die anwendungsnahe Interaktion die Versuchsperson immer wieder in einen neuen Handlungskontext setzt, erfolgt die Instruktion durch Lesen und Verstehen der Aufgabe in den dafür vorgesehenen Interfacebereichen. Mittels der Eye-Tracking-Analyse ist es möglich, diese perzeptorischen Prozesse von denen der Interaktion zu differenzieren [vgl. GEISE 2011B, S. 162]. Die Lesezeit wird folglich von der absoluten Dauer zum Absolvieren des Bedienschlittes abgezogen, um somit die reine Interaktionszeit für die Evaluation zu erhalten. Die gesamte Lesezeit eines Bedienschlittes stellt dabei die Summe aller einzelnen Aufgabesequenzen da. Um eventuelle Blicksequenzen über die Bereiche der Aufgabendarbietung hinweg, z. B. Schweben des Blickes, von dem tatsächlichen Lesen des Textes zu differenzieren, wird eine minimale Verweildauer von 1,5 s auf diesen AOIs vorausgesetzt. Zur sicheren Detektion der Lesedauern werden die jeweiligen AOIs mit einem Übermaß zum eigentlichen Lesebereich definiert. Dieses ergibt sich über den ermittelten Vergrößerungsfaktor aus Kapitel 4.3.1 (siehe Abbildung 4.8) von 1,2.

Gestenausführungszeit: Um den Einfluss der visuellen Darbietung der Reizvariation auf die Ausführung der Blickgeste zu erfassen, wird diese Gestenausführungszeit ebenfalls erfasst [vgl. DREWES 2010, S. 115]. Die Identifikation der Gestenausführungszeiten erfolgt dabei analog der Identifikation der Versuche mittels Labeling der Versuchsdatensätze. Sie umfasst die Dauer vom Beginn der Blickfolge, ausgehend vom interaktiven Element, bis zum abschließenden Wiederkehren auf dasselbe iE. Dabei werden nur die als valide definierten Versuche verwendet.

Metriken der physischen Nutzungseffizienz: Nach dem Belastungs-Beanspruchungskonzept von ROHMERT & RUTENFRANZ [1975] „*kann ein kausaler Zusammenhang zwischen den Eigenschaften der Maschine und menschenbezogenen Reaktionen beim Gebrauch [...] angenommen werden*“ [PFEFFER 2016 S. 26]. Die äußere Belastung durch die Blickgesteninteraktion wirkt sich somit auf kurzfristige, variable Anpassungsmerkmale des Nutzers über die Zeit aus und kann bei einer Unter- bzw. Überforderung zu verschiedenem Verhalten führen, wie z. B. Fehlern, Leistungsschwankungen und Konzentrationsschwäche [vgl. UDRIS & FRESE 1999, S. 432].

Die Auswirkung der energetischen und informatorischen Belastung hängt stark von den individuellen Eigenschaften und Fähigkeiten des Nutzers ab [vgl. SCHLICK ET AL. 2010, S. 39, 41]. Während die mentale Beanspruchung aus den objektiven Faktoren abgeleitet

werden kann, sind die internale physische Beanspruchung und das Müdigkeitsempfinden mittels Befragung zu ermitteln. „[Die physische Beanspruchung stellt dabei] die unmittelbare (nicht langfristige) Auswirkung der physischen Belastung im Individuum in Abhängigkeit von seinen jeweiligen [...] Voraussetzungen, einschließlich der individuellen Bewältigungsstrategien [dar]“ [PFEFFER 2016, S. 55].

Der Bedienkomfort nach DIN EN ISO 9241-420 [2011, S. 40 ff.] wird durch eine Befragung anhand einer 7-stufigen Likert-Skala in mehreren Dimensionen ermittelt. Allerdings spielen Items, wie z. B. Finger-, Handgelenks- oder Armbeanspruchung, keine Rolle und werden somit durch die Beanspruchung der Augen ersetzt. Zum Erhalt einer sicheren Tendenz des Empfindens der Versuchsperson wird die empfundene momentane Beanspruchung der Augen symmetrisch auf einer 6-stufigen Likert-Skala mit ordinalem Skalenniveau von sehr entspannend bis sehr beansprucht abgefragt [vgl. ALBERT & MARX 2016, S. 110].

Metriken der mentalen Nutzungseffizienz: Zur direkten Erfassung der empfundenen mentalen Beanspruchung erweist sich die Befragung nach der empfundenen Müdigkeit als eine effiziente Metrik. Dabei stellt die Karolinska Schläfrigkeitsskala (kurz KSS) eine für Experimente bewerte Abfrage dar, auf welcher die Versuchspersonen mittels definierter Items ihr momentanes Müdigkeitsempfinden wiedergeben [vgl. SHAHID ET AL. 2012, S. 209], [AKERSTEDT & GILLBERG 1990]. Da die Veränderung des Müdigkeitsempfindens ein zeitlich längerer Prozess ist und um den Interaktionsfluss über die einzelnen Bedienschritte der Aufgaben nicht zu gefährden, ist eine RV-bezogenen Abfrage nicht sinnvoll. Die Befragung ist daher nur in Experimentphasen, ohne eine Bedienaufgabe durchzuführen. Dabei erfolgt die Erfassung dieses Anpassungsmerkmals idealerweise ebenfalls, analog der Befragung zur physischen Beanspruchung, direkt nach dem Zeitpunkt der Reizwegnahme.

Metriken der funktionalen Nutzerzufriedenheit: Zur Beurteilung des erlebten Bedienkomforts und der Bedienbarkeit von Blickgesten bei gleichzeitiger Repräsentation der Reizvariation werden verschiedene Metriken in einer, dem interaktiven Teil des Experiments, folgenden Befragung, im Sinne der System Usability Scale von BROOKE [1996], herangezogen. Die Befragung zu den einzelnen Messgrößen findet mittels 6-stufigen Likert-Skala statt (symmetrische Items, ordinalskaliert, quasimetrische Intervallskala). Die Befragung erfolgt in folgenden Kategorien (vollständige Abfrage siehe Anhang Tabelle A1):

- Reizvariation,
- Blickgesten,
- Interfaceaufbau,
- Bedienmodalitäten.
- Einsatzpotenzial,

Erfassung der individuellen Daten: Zur Einordnung der Messungen bezüglich des Probandenkollektives werden relevante demographische Daten und nach LUCZAK [1998, S. 194] kategorisierte personenbezogene Merkmale erfasst. Die Auflistung dieser Kategorien und abgefragten Merkmale ist in Tabelle 5.1 zusammengefasst.

| Kategorie | Merkmale | Metrik |
|----------------------|--|---|
| Konstitution | Geschlecht | Benennung |
| Disposition | Alter | in Jahren |
| | Sehhilfe | keine / Art der verwendeten Sehhilfe |
| | Sehschwäche | Dioptrien pro Auge |
| | weitere Sehschwächen / Erkrankungen | Benennung |
| Qualifikation | Beruf | Benennung |
| | Erfahrung mit Eye-Tracking | 6-stufige Likert-Skala (symmetrisch, ordinal, quasimetrische Intervallskala, von "keine" bis "sehr viel") |
| | Erfahrung mit Blicksteuerung | 6-stufige Likert-Skala (symmetrisch, ordinal, quasimetrische Intervallskala, von "keine" bis "sehr viel") |
| | Berufliche Tätigkeiten Freizeit Tätigkeiten | Benennung, Häufigkeit pro Woche Benennung, Häufigkeit pro Woche |
| Anpassung | Ausgeführte Tätigkeiten vor dem Experiment | Benennung |
| | Empfundene Müdigkeit | Karolinska Schläfrigkeitsskala (siehe Kapitel 0) |
| | Empfundene Beanspruchung der Augenmuskulatur | 6-stufige Likert-Skala (siehe Kapitel 0) |

Tabelle 5.1: Demographische Daten und personenbezogene Merkmale

Vortests zur Erfassung von interaktionsaffinen Fähigkeiten und Fertigkeiten:

Zur Gewährleistung einer ausreichenden Sehschärfe der VP findet vor der Einweisung in das Experiment ein Sehtest statt [vgl. DIN 58220: 2013], [DIN EN ISO 8596: 2009]. Die konservative Akzeptanzschwelle mit einem minimalen Visuswert von 0,8 orientiert sich dabei an dem, für das Erlangen des Führerscheins der Klasse B vorausgesetzten, Visuswert von 0,7 [vgl. FeV:2014, §12(2)]. Bei der Durchführung wird das Norm-Optotype (Sehzeichen) Landoltring [LANDOLT 1905], [KAUFMANN & STEFFEN 2012, S. 94] verwendet. Im Vergleich zu anderen Tests, wie z. B. ETDRS [vgl. KAUFMANN & STEFFEN 2012, S. 100] fallen dessen Resultate gerade im unteren Sehschärfenbereich konservativer aus.

Die Einstufung des visuell-kognitiven Reaktionsvermögens und des visuellen räumlichen Vorstellungsvermögens unter Verwendung standardisierter Testverfahren ermöglicht ferner eine genauere Einschätzung der individuellen Fähigkeiten und Fertigkeiten hinsichtlich der zu bewältigenden Aufgaben im Experiment. Dazu werden zwei Tests, d. h. Reaktionstest S1 Einfachreaktion Gelb (kurz RT) [vgl. SCHUHFRIED 2015] und räumliches Vorstellungsvermögen 3D/S1 mit Zeitbegrenzung (kurz 3D) [vgl. BRATFISCH & HAGMAN 2014] des Wiener Testsystems (WTS, Fa. SCHUHFRIED) durchgeführt [SCHUHFRIED 2019]. Als kognitive Reaktionszeit wird dabei die Zeit zwischen Signal und Handlungsbeginn bezeichnet [vgl. SCHMID & MAIER 2017, S. 56]. Über die Vortests hinaus werden noch weitere anwendungsnahe Tätigkeiten abgefragt, denen die Versuchspersonen regelmäßig nachgehen. Darunter fallen insbesondere Tätigkeiten, welche einen besonderen Fokus auf die visuelle Wahrnehmung und Reizreaktion beinhalten, wie z. B. schnelle Reaktionen bei Ballsportarten oder auch präzise Arbeiten, wie die Qualitätskontrolle oder die Mikroskopie.

5.1.4 Spezifikation des Nutzungskontextes

Die visuell unterstützte Blickgestensteuerung wird in einer simulierten Menübedienung evaluiert. Durch mehrere geführte Aufgabenszenarien wird die Versuchsperson dazu angehalten das Interface häufig durch die Ausführung von Blickgesten zu bedienen. Um den durch die neuartige Steuerung bereits hohen Lernaufwand nicht noch weiter zu erhöhen, wird ein allgemeinverständlicher Nutzungskontext gewählt. Dieser darf nicht zu simpel sein, damit möglichst unterschiedliche Aufgabenarten durchlaufen werden können. Dazu bietet sich die Menübedienung eines Fahrzeuges an. Ein Großteil der Bevölkerung verbringt bis zu vier Jahren seines Lebens in Fahrzeugen [AUTOREVUE 2019]. Dabei sehen sich die Menschen mit der Bedienung verschiedener Fahrzeugfunktionen wiederkehrend konfrontiert, wie z. B. Klimaanlage, Navigation, Mediennutzung. Darüber hinaus sind beim automatisierten Fahren solch neuartige Interaktionskonzepte, wie die Blickgestensteuerung, denkbar. Gerade im Bereich des individuellen Güterverkehrs ist aufgrund der kontrollierbaren Systemgrenzen ein zeitnahe Einsatz automatisiert fahrender LKWs absehbar [vgl. TANGO 2019]. Zur Sicherstellung einer erfolgsversprechenden Evaluation wird aus diesen angeführten Gründen eine Menüsteuerung in einem automatisiert fahrenden LKW als sinnvoller Anwendungsfall definiert. Die Menüsimulation ist von den Versuchspersonen ausschließlich über die Blickführung und Auswahl von Befehlen mittels Blickgesten (kurz BG) möglich. Darüber werden durch die Eye-Pointing-Methode (vgl. Kapitel 3.2.2) interaktive Elemente ausgewählt und durch die im Blickgestenkatalog hinterlegten Befehle (siehe Kapitel 4.3.1) verfügbare Aktionen ausgeführt.

Reizvariationendefinition für die Evaluation: Aus den in Kapitel 4.3.3 hergeleiteten Gestaltungsparametern zur Variation der visuellen Darbietung werden die unabhängigen Variablen für das Experiment abgeleitet. Diese Variablen, i.F. als Reizvariation bezeichnet, stellen dabei die Reizmuster dar, deren jeweilige Ausprägung sich aus der Kombination aus Darbietungselement (Sakkadenstrecke, Rastpunkt), Darbietungsart (Ablauf, Prinzip) und Reizintensität (Höhe, Breite, Kontrast) ergibt. Unter der Randbedingung, dass die Darstellung des Rastpunkts als kreisförmige Geometrie zu verstehen ist, entspricht die Höhenausprägung der Breitenausprägung. Daher werden zur Vermeidung einer redundanten Darbietung für das Element Rastpunkt diese beiden Parameter zum einem Parameter Größe im kombinatorischen Verfahren zusammengefasst. Durch die Kombination aller Gestaltungsparameterausprägungen (vgl. Kapitel 4.3.3) entstehen 108 sinnvoll darstellbare Reizvariationen (siehe Anhang A4). Die folgende Abbildung 5.4 beschreibt die im Experiment evaluierten Reizvariationen unter Berücksichtigung der Blickgestenkomplexität (drei Segmente), der Gestaltungsparameter und deren Einfluss auf die Darbietung, welcher anhand zweier Reizvariationen für die „Ja“-Geste exemplarisch veranschaulicht wird.

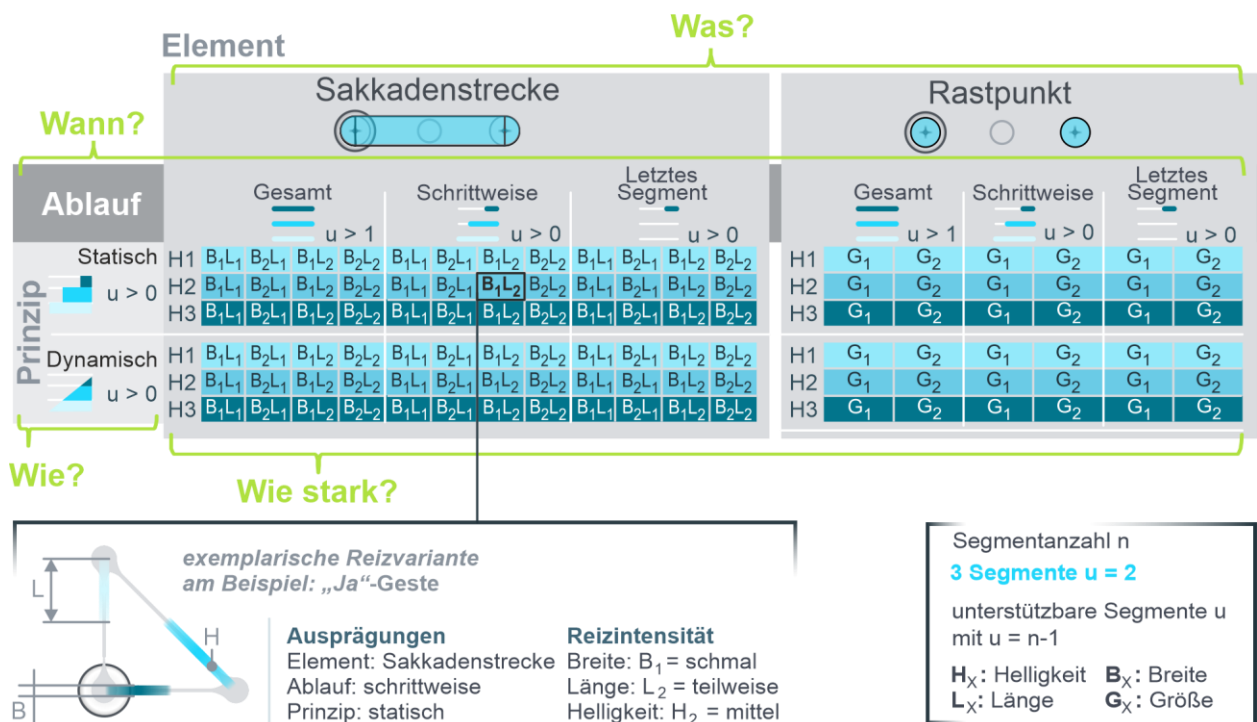


Abbildung 5.4: Zu evaluierende Reizvariationen aus der Parameterkombinatorik

Unter Verwendung der 108 Reizvariationen inklusive der Basiswertmessung ohne eine situativ visuelle Darbietung ergeben sich, unter Berücksichtigung der in Kapitel 5.1.1 erläuterten Wiederholungsmessung, 218 RV-Messungen im Experiment.

Aufgabenszenarien und Bedienschritte: Jede Reizvariation ist mittels eines abgeschlossenen Bedienschritts (kurz BS) abzuprüfen. Daher ist eine Simulation von

ebenso vielen Bedienschritten wie zu testende Reizvariationen notwendig (218). Um unerwünschte Effekte, wie in Kapitel 5.1.1 eingeführt, zu kontrollieren, wird ein gerichteter Sollablauf der Simulation zugrunde gelegt. Dies bedeutet, dass aufgrund der zu erfüllenden Aufgabe die Versuchsperson nur eine korrekte Bedienhandlung (auszuwählendes iE und notwendige BG) in einem Bedienschritt ausführen darf. Der Sollablauf wird mittels eines kausalen Handlungspfads plausibilisiert, d. h. es wird ein Ablauf eines Arbeitstages als Fahrer des LKWs mit Blickgestensteuerungsinterface simuliert [STIMM ET AL. 2018]. Somit werden alle einzelnen Aufgaben in einen gesamtheitlichen Nutzungskontext gesetzt. Tabelle 5.2 gibt einen Überblick über die zu absolvierenden Aufgaben.

| Nummer | Aufgabe | Bedienschritte |
|--------|---|----------------|
| 1 | Start / Sitz- und Fahrzeugeinstellungen | 28 |
| 2 | Tourdaten - 1. Lieferung | 6 |
| 3 | Routenplanung - 1. Lieferung | 22 |
| 4 | Musik - Playlistauswahl | 12 |
| 5 | Telefonanruf | 15 |
| 6 | Terminplanung | 12 |
| 7 | Routenplanung - Alternativroute / Pause | 29 |
| 8 | Start / Videoauswahl | 13 |
| 9 | Musik - Titelauswahl | 11 |
| 10 | Telefonanruf | 11 |
| 11 | Wettervorhersage | 14 |
| 12 | Musik - Radiosenderwahl | 12 |
| 13 | Tourdaten - 2. Lieferung | 6 |
| 14 | Routenplanung - 2. Lieferung / Ende | 27 |
| | | $\Sigma:218$ |

Tabelle 5.2: Bedienaufgabenabfolge und jeweilige Bedienschrittzahl im Experiment

Die ebenenweise Ausgestaltung des zu Grunde gelegten Interaktionsmodells nach PFEFFER [2016 S. 70] ist beispielhaft an der Bedienaufgabe *Tourdaten – 1. Lieferung* in Abbildung 5.5 dargestellt. Dabei untergliedert sich diese Aufgabe in mehrere Teilaufgaben (Makroebene), welche jeweils aus verschiedenen Teilhandlungen (Mesoebene) bestehen. Diese werden anhand spezifischer Interaktionen, d.h. Blickgesten, auf bestimmten interaktiven Elementen im Interface, ausgeführt (Mikroebene). Die Erstellung des vollständigen Interaktionsmodells erfolgt dabei analytisch-expertenorientiert [vgl. SHEPHERD 1998].

| AUFGABE | MAKROEBENE | | MESOEBENE | MIKROEBENE | | | |
|-------------------|------------|----------------------|-----------------------------------|------------|-------------------|------------------|---|
| | BS | Teilaufgabe | Teilhandlung | BG | iE _{ANZ} | iE _x | E |
| Tourdaten abrufen | 29 | Benachrichtung lesen | Benachrichtung weiterblättern | Runter | 12 | iE ₁₀ | B |
| | 30 | | Benachrichtung bestätigen | Nein | 12 | iE ₁₀ | B |
| | 31 | Menünavigation | Kommunikationsmenü auswählen | Ja | 11 | iE ₄ | |
| | 32 | | geschäftliche Kommunikation ausw. | Hoch | 8 | iE ₇ | |
| | 33 | Tourdaten anfordern | Planungsdatenabruf starten | Hoch | 10 | iE ₉ | |
| | 34 | | Home-Menü auswählen | Nein | 10 | iE ₁ | |

| | | |
|-------------------------|---|---------------------------------|
| BS Bedienschritt | iE_{ANZ} Anzahl von interaktiven Elementen | E weitere Elemente |
| BG Blickgeste | iE_x auszuführendes interaktives Element | B Benachrichtungsfenster |

Abbildung 5.5: Interaktionsmodell der Aufgabe: Tourdaten – 1. Lieferung

Eine Erkenntnis des vom Verfasser angeleiteten Experiments von DYHRINGER [2018] ist, dass Blickgesten (gleicher Segmentlänge, 45° Richtungsabstufung) statistisch keine Unterscheidbarkeit hinsichtlich ihrer Ausführbarkeit, gemessen an subjektiv empfundener Schwierigkeit, Ausführungszeit und Ausführungsfehler aufweisen. Da jedoch eine anwendbare, robuste visuelle Darbietung auch für verschiedene Blickgesten einen unterstützenden Effekt mitzubringen hat, werden die Reizvariationen gleichmäßig auf die BG über das Kollektiv hinweg verteilt. Bei einer Verteilung von 6 Blickgesten (siehe BG-Katalog Kapitel 4.3.1) auf 218 Messungen wird jede BG durchschnittlich 36,33-mal („Ja“ (37), „Nein“ (37), „Hoch“ (36), „Runter“ (36), „Vor“ (36), „Zurück“ (36)) als Sollbedienung in die Simulation integriert. Die Gleichverteilung der Gestenhäufigkeit, als eine ebenfalls zu kontrollierende Variable, stellt ein entscheidendes Kriterium für die jeweilige Operation im Bedienschritt dar und wirkt sich sowohl auf die Ausgestaltung der einzelnen Aufgaben als auch auf die Menügestalt aus. Diese Festlegung unterscheidet die Simulation, von einem Feldversuch, in welchem keine zwingende Gleichverteilung der Operationsarten vorherrscht.

Weitere Randbedingungen zur Gestaltung eines möglichst konsistenten Interfaceaufbaus, wie z.B Interfacebedienung (vgl. Kapitel 2.2) und Assoziationsfähigkeit der Anzeiger, werden ebenfalls mit einbezogen. Auftretende Inkonsistenzen in der Menüsimulation sind aufgrund der Prämisse einer Gleichverteilung der Blickgesten in der Interfacekonsistenz und Assoziationsfähigkeit nicht auszuschließen.

5.1.5 Spezifikation der Interfacegestalt

Das für das Experiment auszuarbeitende Interface basiert auf dem funktionalen Interfacekonzept, welches in Kapitel 4.3.2 hergeleitet wird und dient dem Erleben eines

Bedienmenüs eines automatisiert fahrenden LKWs. Der Abstraktionsgrad richtet sich dabei nach zwei wesentlichen Randbedingungen. Zum einen erfordert die Evaluation der Gestaltungsempfehlung unter Berücksichtigung der Umgebungsreize eine direkte Anwendung und somit einen konkreten Nutzungskontext. Zum anderen ist dennoch eine Gewährleistung der Übertragbarkeit auf andere Interfaces anzustreben. Daher erweist sich eine anwendungsnahe Ausgestaltung unter Berücksichtigung der Übertragbarkeit als sinnvoll. Die nachfolgende Abbildung 5.6 visualisiert die beiden Grenzen des Abstraktionsgrades von Blickgesteninterfaces und ordnet den für das Experiment sinnvollen Abstraktionsgrad innerhalb dieser Grenzen ein.



Abbildung 5.6: Abstraktionsgrad des zu spezifizierenden Blickgesteninterfaces

Die festpositionierten Hauptmenüs des Interfaces befinden sich im unteren Bereich des Screens und sind mittels einer Trennlinie vom kontextabhängigen oberen Interfacebereich getrennt. Insgesamt stehen der Versuchsperson vier solcher Hauptmenüs zur Verfügung und zusätzlich noch ein iE, welches eine Navigation in das Home-Menü (Basismenü) von jeder Menüebene aus ermöglicht. Die Abbildung 5.7 visualisiert die vier interaktiven Elemente der Hauptmenüs und das interaktive Element des Home-Menüs, sowie deren Anordnung im unteren Bereich.

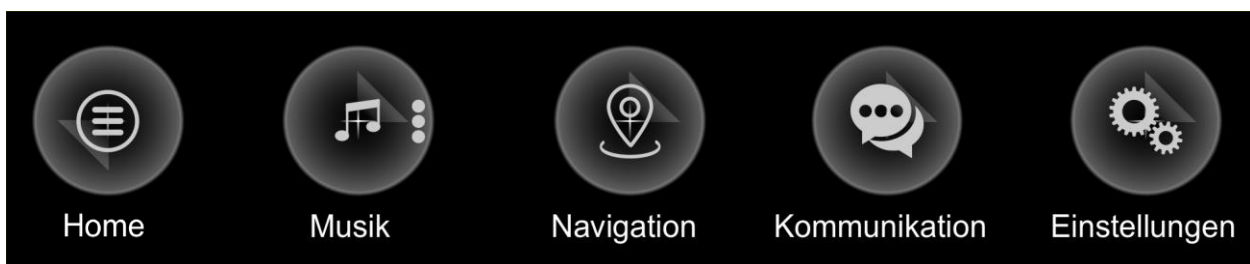


Abbildung 5.7: Darstellung der interaktiven Elemente des Home- und der Hauptmenüs

Die für die Ausgestaltung zugrunde gelegte Menüstruktur folgt dabei einem Strukturdiagramm, auch Flowchart genannt [STAPELKAMP 2007, S. 217]. Am Beispiel des Kommunikationsmenüs werden auszugsweise die Verbindungen der einzelnen Menüebenen aufgezeigt (siehe Abbildung 5.8).

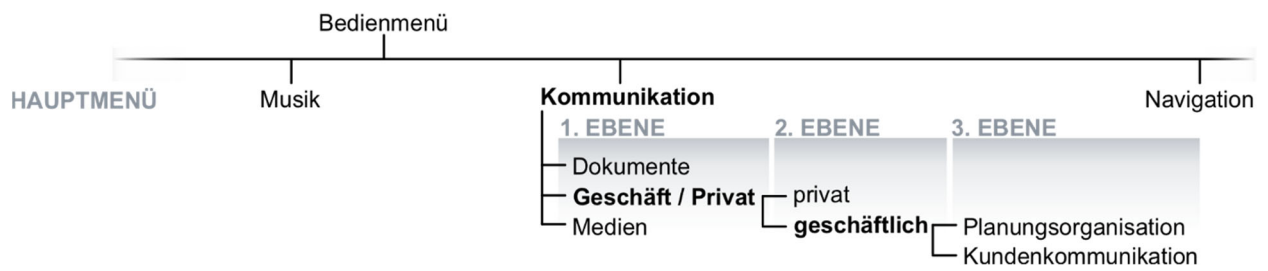


Abbildung 5.8: Exemplarischer Kommunikationsmenüabschnitt im Strukturdiagramm

In dem Interface sind vier verschiedene Grundaufbauten hinterlegt, deren Interface-Qualität im Sinne der Forschungshypothesen zu evaluieren ist. Sie orientieren sich an den Gestaltungsprinzipien aus Kapitel 2.2.2 und Kapitel 2.2.3 und lassen sich in Aufbauten unterscheiden, deren iE zentral im Interface (oben links), linear entlang einer Achse (oben rechts), radial um andere iE (unten links) oder relevante Informationsquellen umrahmend (unten rechts) angeordnet sind (siehe beispielhafte Darstellung in Abbildung 5.9).

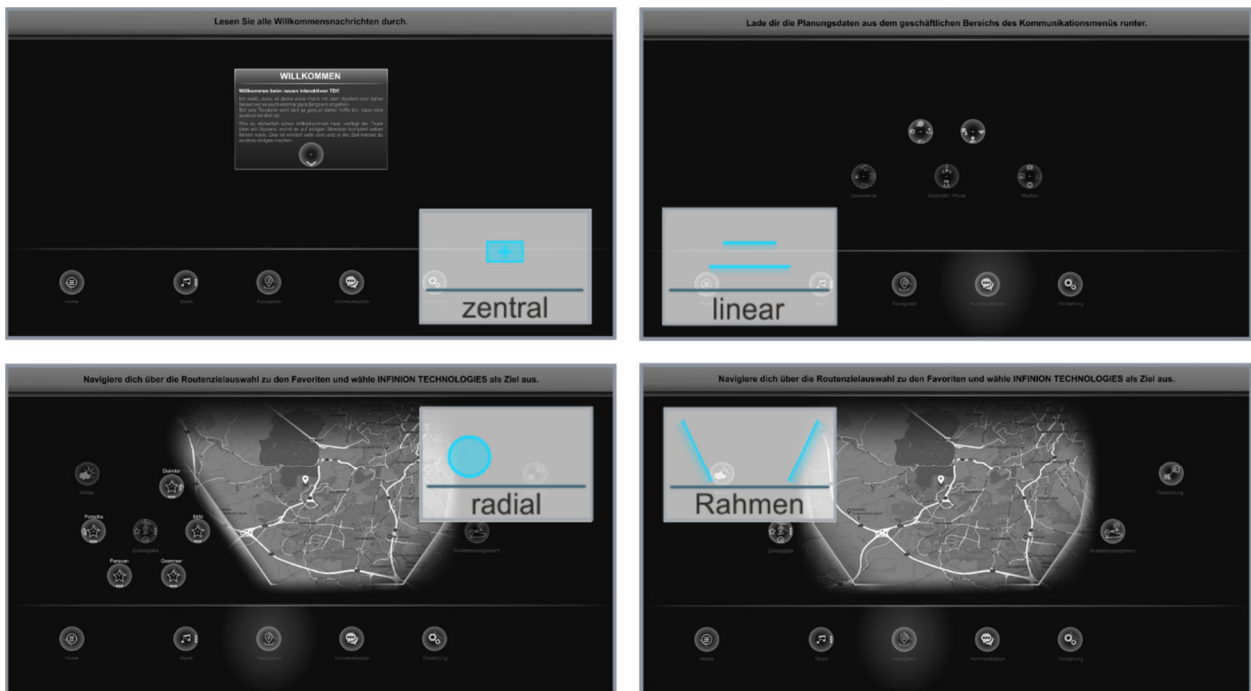


Abbildung 5.9: Verwendete Interfaceaufbauten in der Simulation: oben links: zentral, oben rechts: linear, unten links: radial, unten links: Rahmen

Wie SHNEIDERMAN [2002 S. 247] aufgezeigt, benötigen direkt manipulierbare Interfaces einen größeren Platzbedarf von beinhalteten Elementen im Vergleich zu anderen Interfaces. Wie in Kapitel 4.3.2 bereits beschrieben, hängt daher die darstellbare Menge von Elementen im Interface maßgeblich von dem minimalen Abstand zwischen den interaktiven Elementen ab (vgl. Abbildung 5.10). Dabei dienen die Hypothesen H₁₇ und H₁₈ zur Überprüfung, ob eine überlappende Anordnung, zu Gunsten mehrerer platzierbarer iE, im Vergleich zu einer konservativen (nicht überlappenden) weiten Darstellung mit den Kriterien der Interface-Qualität in Einklang zu bringen ist.

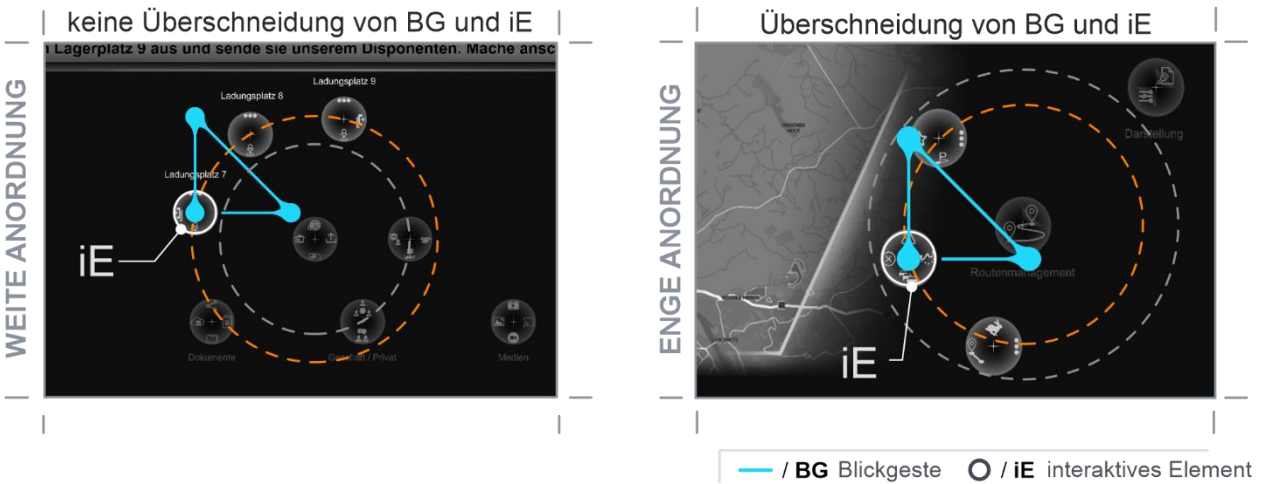


Abbildung 5.10: Elementdichteveriation des Interfaces

Icon-Gestaltung: Die Iconauswahl erfolgt analog der konzeptuellen Definition aus Kapitel 4.3.1 und berücksichtigt dabei die in den Grundlagen (Kapitel 2.2.3) beschriebenen und mit Anforderungen (Kapitel 4.2) ergänzten Erkenntnisse. Der Informationsgehalt der Icons richtet sich dabei nach den relevanten Funktionen einer Menübedienung eines automatisiert fahrenden LKWs. Für eine bessere initiale Orientierung ist eine textuelle Beschreibung der Icons auf der Basisebene und der ersten Menüebene integriert.

Verteilung der Reizvariationen: Das Interface zur Evaluation, d.h die Umgebung der Reizvariationen, variiert unweigerlich von Bedienschnitt zu Bedienschnitt (siehe Kapitel 5.1.4). Dieser Effekt beeinflusst somit die Blickgestenausführung. Das Blickverhalten bei verschiedenen Bedienschnitten veranschaulicht diesen Effekt (siehe Abbildung 5.11). In dieser wird in Bedienschnitt 1 zunächst die Aufgabe und der Benachrichtigungstext nach kurzer Orientierung gelesen und anschließend ein Blickbefehl auf dem zentralen iE ausgeführt wird. Bei Bedienschnitt 2 hingegen ist im Anschluss an das initiale Lesen ein umfangreicher Suchvorgang des iE von Nöten. Um diesen Effekt im Experiment auszugleichen ist eine Komplexitätseinteilung der Screens sinnvoll, um eine gleichmäßige Verteilung der RV über die eingestufted Screens zu ermöglichen.

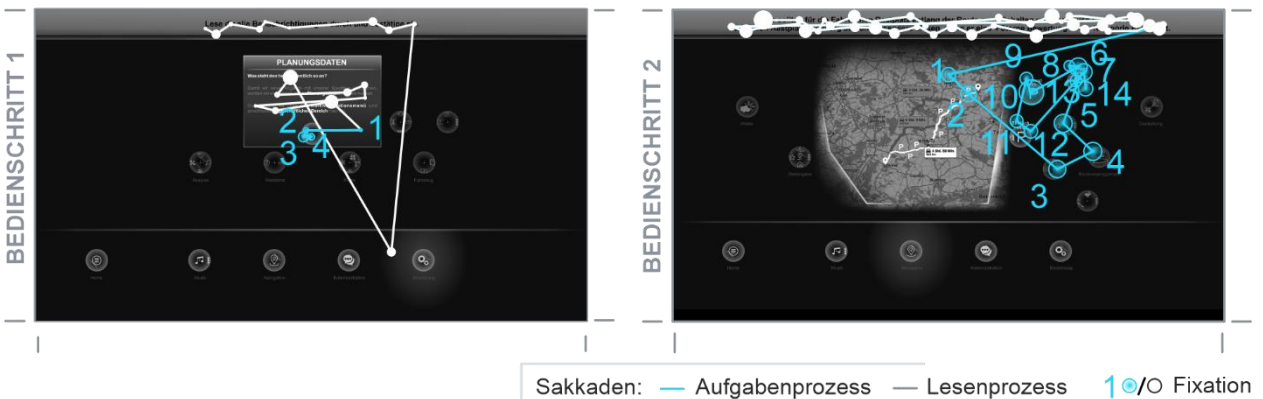


Abbildung 5.11: Blickpfad einer Versuchsperson bei zwei Bedienschnitten

In der Usability-Forschung existieren verschiedene etablierte Verfahren, um die Gebrauchstauglichkeit eines Interfaces zu beschreiben. Die teils aufeinander aufbauenden und weiter entwickelten Verfahren unterscheiden sich in ihrem Bewertungsfokus und der damit verbundenen Komplexität. Sie reichen je nach Nutzungskontext von schnell durchzuführenden qualitativen (Fokus eher auf der Semantik) bis hin zu aufwendigen quantitativen Verfahren. Eine Übersicht der gängigsten Metriken und deren Einteilung nach dem Auswertungsfokus ist in Tabelle 5.3 zusammengetragen [vgl. HELANDER ET AL. 1997, S. 121].

| Bewertungsmetriken | Bewertungsmaß | Komplexität |
|--|--|-------------|
| Konsistenzüberprüfungsverfahren [MAHAJAN & SHNEIDERMAN 1995] | <div style="display: flex; align-items: flex-start;"> <div style="width: 15px; height: 15px; background-color: #00b0f0; margin-right: 5px;"></div> <div style="width: 15px; height: 15px; background-color: #333; margin-right: 5px;"></div> <div> Farbvariation, Schriftart, Schriftgröße, Schriftstil, Kapitalisierung, Abkürzung, Elementgröße, Terminologie, Platzierung, Konsistenz </div> </div> | |
| Konsistenzmessungen <i>Weiterentwicklung der Bildschirmanalyse</i> [TANAKA ET AL. 1990] | <div style="display: flex; align-items: flex-start;"> <div style="width: 15px; height: 15px; background-color: #00b0f0; margin-right: 5px;"></div> <div style="width: 15px; height: 15px; background-color: #333; margin-right: 5px;"></div> <div> GOMS-Analyse Screen-übergreifende Konsistenz </div> </div> | |
| Bildschirmanalyse [TULLIS 1984], [TULLIS 1986], [TULLIS 1988B] | <div style="display: flex; align-items: flex-start;"> <div style="width: 15px; height: 15px; background-color: #00b0f0; margin-right: 5px;"></div> <div style="width: 15px; height: 15px; background-color: #333; margin-right: 5px;"></div> <div> globale Elementdichte, lokale Elementdichte, Datenelementanzahl, wahrgenommene Elementgruppen, Ø Gruppengröße, Ausrichtung </div> </div> | |
| Messungen räumlicher Eigenschaften [STREVELER & WASSERMAN 1984], [STREVELER & HARRISON 1984], [STREVELER & HARRISON 1987] | <div style="display: flex; align-items: flex-start;"> <div style="width: 15px; height: 15px; background-color: #00b0f0; margin-right: 5px;"></div> <div style="width: 15px; height: 15px; background-color: #333; margin-right: 5px;"></div> <div> Boxing (Verpacken), Fokuspunkt <i>ähnlich lokaler Elementdichte s. Bildschirmanalyse</i> Ausrichtungen, Orientierungen </div> </div> | |
| Axiomisches Modell [PERLMAN 1987] | <div style="display: flex; align-items: flex-start;"> <div style="width: 15px; height: 15px; background-color: #333; margin-right: 5px;"></div> <div> Semantische Elementbeziehung <i>Absicht des Nutzers im Fokus</i> </div> </div> | |
| Model zum Grafikverständnis [LOHSE 1991] | <div style="display: flex; align-items: flex-start;"> <div style="width: 15px; height: 15px; background-color: #333; margin-right: 5px;"></div> <div> Fixationssequenzen </div> </div> | |
| Keystroke-Level-Model <i>Vereinfachung der GOMS-Analyse</i> [CARD ET AL. 1983] | <div style="display: flex; align-items: flex-start;"> <div style="width: 15px; height: 15px; background-color: #00b0f0; margin-right: 5px;"></div> <div> Zeitangaben einzelner Interaktionsprozesse </div> </div> | |
| Eignung des Aufbaus [SEARS 1993] | <div style="display: flex; align-items: flex-start;"> <div style="width: 15px; height: 15px; background-color: #333; margin-right: 5px;"></div> <div> Effektivität der Aufgabenschrittunterstützung </div> </div> | |

Farbkodierung: ■ quantitativ ■ qualitativ / informationsbezogen Anmerkung: *kursiv*

Tabelle 5.3: Übersicht der etablierten Interfacebewertungsmetriken

Für die Evaluation gilt es eine praktikable Komplexitätseinstufung vorzunehmen, welche die experimentbedingten Einschränkungen mitberücksichtigt. Aufgrund der zu kontrollierenden Einflüsse des Interfaceaufbaus wird bei der Simulation auf bewegte Inhalte, ausgenommen der Reizvariationen, verzichtet. In jedem Bedienschnitt werden die einzelnen Menüs der Versuchsperson quasistatisch dargeboten. Somit sind in der

Versuchsplanung ausschließlich Effekte zu berücksichtigen, welche aufgrund der Interfaceobjektswahrnehmung entstehen.

Die berücksichtigte Definition der Interfacekomplexität verwendet den Zusammenhang zwischen wahrgenommenen Informationen über die Interfaceelemente und deren Ordnung bzw. Unordnung im Interface [vgl. SCHMID & MAIER 2017, S. 47 ff.]. Die untersuchten Reizvariationen werden unmittelbar während der Blickgestenausführung dargeboten. Zu diesem Zeitpunkt sind die Phasen der Orientierung und Informationsgewinnung innerhalb des gesamten Interfaces bereits abgeschlossen. Daher erweisen sich ausschließlich diejenigen Elemente als potenzielle Distractionen, welche sich unmittelbar um das interaktive Element befinden. Dieses Verfahren orientiert sich an der Bewertung der lokalen Dichte (Bildschirmanalyse) und den Messungen um den Fokuspunkt (Messungen räumlicher Eigenschaften, vgl. Tabelle 5.3).

Eine mögliche Unterstützung oder Störung durch die umliegenden Elemente hängt neben der reinen Elementanzahl und deren Erscheinungsarten stark von der individuellen Wirkung der auftretenden Ordnungen ab. Daher wird in diesem Zusammenhang der Begriff lokales Ordnungsmaß (M_L) eingeführt, welcher aus dem allgemeinen ästhetischen Maß (M) nach BIRKHOFF [1933] entwickelt wird. Das lokale Ordnungsmaß beschreibt das Verhältnis zwischen der Anzahl (A_O) förderlicher Ordnungsarten (O_L) und der Anzahl (A_E) potenziell störender Interfaceelementarten (E_L) im unmittelbaren Umfeld des Reizes.

$$M_L = \frac{(A_O * O_L)}{(A_E * E_L)} \quad (5.1)$$

Innerhalb dieses Bereichs werden die Anzahl der auffindbaren Elemente und deren Ordnungen zueinander erfasst. Eine Auflistung der im Experimentinterface verwendeten Elemente und Ordnungen sind in Tabelle 5.4 zusammengefasst.

| | | |
|-----------|--|----------------------------|
| Elemente | • interaktives Element (hervorgehoben) | • Benachrichtigungsfenster |
| | • interaktives Element | • Linien |
| | • interaktives Element (abgedunkelt) | • Text |
| | • Abbildungsbereich | • Zahlen |
| Ordnungen | • einfache Achsensymmetrie | • Proportion |
| | • zweifache Achsensymmetrie | • Konzentrizität |
| | • Parallellität | |
| | | |

Tabelle 5.4: Elemente und Ordnungen im verwendeten Interface

Abhängig von der Position des, für den Bedienschnitt relevanten, interaktiven Elements, beeinflussen daher die umliegenden Interfaceelemente das M_L . Dabei wird der sinnvolle Betrachtungsbereich um das relevante iE herum mittels des sog. Interessensradius beschrieben (siehe Abbildung 5.12). Dieser definiert die zu berücksichtigenden Elemente und Ordnungen für das lokale Ordnungsmaß.

Der zu Grunde gelegte Blickwinkel berücksichtigt den zentralen Sehbereich ($\pm 2,5^\circ$) [vgl. SCHMIDTKE 1981, S. 411], welchem ein Großteil der visuellen Informationsverarbeitung zukommt [vgl. DE VALOIS & DE VALOIS 1980] und der von CORNELL ET AL. [2003] gemessenen Abweichung von $\pm 2^\circ$ vom tatsächlich betrachteten Objekt. Zusammen mit dem Betrachtungsabstand von 600 mm (vgl. Kapitel 4.1 und Kapitel 4.2) und unter Berücksichtigung der äußersten möglichen Blickposition auf einem interaktiven Element ($r = 15$ mm zum iE-Zentrum) ergibt sich ein Interessensradius von 80 mm.

Anhand eines beispielhaften Interfaceaufbaus veranschaulicht Abbildung 5.12 das sich ergebende lokale Ordnungsmaß (M_L), um das hervorgehobene iE, welches für die korrekte Interaktion in dem Bedienschnitt zu verwenden ist. In diesem resultiert M_L aus der konzentrischen Anordnung (1x) der nahen iE und den verschiedenen umliegenden Elementen d. h. das hervorgehobene iE (x1), die normalen iE (3x) und die abgedunkelten iE (2x) sowie die Linie der Kartengrenze gemäß Gl.5.1 zu $M_L = 0,14$.

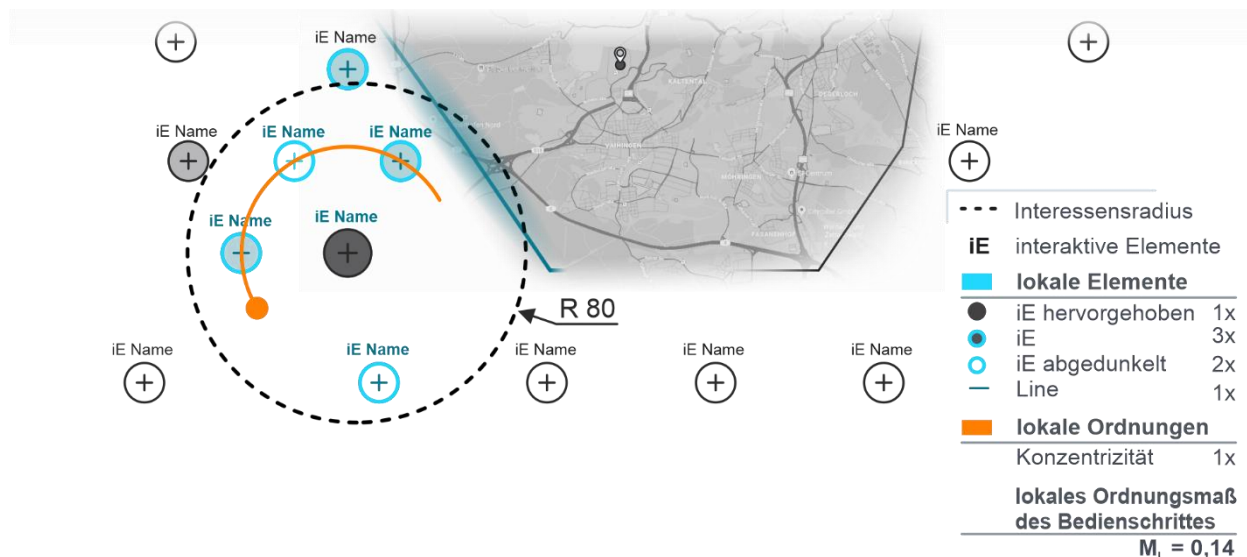


Abbildung 5.12: Interfaceausschnitt mit Beschreibung des lokales Ordnungsmaßes

Auch wenn das lokale Ordnungsmaß eine konkrete Quantifizierung ermöglicht, für die Experimentplanung ist es jedoch primär als grundsätzliche Richtgröße bezüglich der Verteilung der Reizvariationen über die verschiedenen Interfacebedienschritte zu verstehen. Darüber hinaus werden keine Schlüsse hinsichtlich der tatsächlichen Gebrauchstauglichkeit gezogen, welche von weit mehr Faktoren beeinflusst wird, wie die in Tabelle 5.3 genannten Metriken aufzeigen.

Bei jedem Bedienschnitt ist das lokale Ordnungsmaß, aufgrund der sich ändernden Konstellationen von Interfaceelementen und deren Ordnungen um das zu interagierenden iE herum, unterschiedlich. Um den in Abbildung 5.11 veranschaulichten Einfluss der Interfacedarstellung auf das Blickverhalten mit zu berücksichtigen, erfolgt die Verteilung der Reizvariationen im Experiment auch auf Grundlage des lokalen Ordnungsmaßes eines jeden Bedienschnittes.

Dabei werden die Reizvariationen entlang aller Bedienschnitte einer jeden Versuchsperson in der Art randomisiert, dass das zugeordnete, durchschnittliche lokale Ordnungsmaß eines jeden RVs eine Abweichung von $< 10\%$ zum Gesamtdurchschnitt des Experimentes besitzt. Durch dieses Vorgehen wird vermieden, dass eine bestimmte Reizvariation über das gesamte Kollektiv hinweg in über- oder unterdurchschnittlich komplexen Interfacesaufbauten evaluiert wird.

Neben dem lokalen Ordnungsmaß sind für die RV-Randomisierung noch weitere Randbedingungen zu berücksichtigen. Zu den zu kontrollierenden Variablen zählen die Bedienaufgaben und die unterschiedlichen Blickgesten. Die veränderlichen Variablen stellen dabei die zu evaluierenden Parameter während der Messung dar.

Die nachfolgende Tabelle 5.5 fasst alle auftretenden Variablen, welchen die Versuchsperson im Experiment ausgesetzt sind und die verwendeten Verfahren zur Kontrolle des Studiendesigns zusammen.

| veränderliche Variable | zu kontrollierende Variablen | verwendete Methode |
|--|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Element • Prinzip • Ablauf • Intensität der Reizvariation | <ul style="list-style-type: none"> • Aufgaben • Blickgesten • Interfacekomplexität | <ul style="list-style-type: none"> • gleichmäßige Verteilung verwendeter Blickgesten • gleichmäßige Verteilung der RV mittels lokalem Ordnungsmaß • Randomisierung der RV über Kohorte • Vermeidung der Aufeinanderfolge derselben Parameterkategorie • Vermeidung von wiederholtem Abprüfen einer RV am selben Bedienschnitt über die Kohorte |

Tabelle 5.5: Variablen des Experimentdesigns und Methoden zur Kontrolle

Beschreibung des Experimentaufbaus: Das Experiment zur Untersuchung des Einflusses von situativen visuellen Anzeigern bei der Blickgestensteuerung wird an dem, speziell für die Beantwortung der Forschungshypothesen entwickelten, Blicksteuerungsprüfstand in den Räumlichkeiten des Institutes durchgeführt.

Um potenzielle Ablenkungen und Störungen während der Versuche zu vermeiden, befindet sich der Prüfstand in einem separaten, ruhig gelegenen Raum. Der vollständige Experimentaufbau ist in Abbildung 5.13 dargestellt (Nummerierung bezieht sich auf nachfolgende Beschreibung). Zur Gewährleistung einer möglichst konstanten Erfassungsqualität des Eye Trackers wird die Ausleuchtung des Probandenkollektivs mithilfe von zwei regulierbaren LED Flächenleuchten (1) (Walimex Pro LED Square 312 BS) auf die, für den Eye Tracker optimale Helligkeit von 300 Lux (vgl. Kapitel 4.2), eingestellt.

Das Zentrum des Experiments ist ein 4K-LED-Monitor (2) (LG 27UK650_600, 27 Zoll, 3840x2160), welcher auf einem Tisch platziert die alleinige visuelle Informationsquelle darstellt. Sowohl die Vereinnahmung des Gesichtsfeldes [vgl. SCHMIDTKE 1981, S. 411], durch die gewählte Monitorgröße als auch ein neutraler Experimenthintergrund in Blickrichtung dienen zur Minimierung potenzieller Ablenkungen.

Während den Voruntersuchungen werden die Eingabekonsole (3) des Wiener Testsystems sowie in der Einweisungsphase die Maus und Tastatur (4) als Eingabemedium neben der Blickgestensteuerung benötigt. Für den Hauptteil des Experiments werden jedoch alle physischen Peripherien entfernt. Dadurch stellt die Blickgestensteuerung die einzige Eingabemöglichkeit dar. Die Maus und die Tastatur werden in der Pause und der Abschlussbefragung der Versuchsperson wieder zur Verfügung gestellt.

Die Ermittlung statistisch aussagekräftiger Messwerte aus der anwendungsnahen Bediensituation in der Simulation bedingt eine hohe Kontrolle bestehender Einflüsse und eine Vereinheitlichung der Ausgangssituation. Vorversuche zeigen Schwankungen in der Messqualität der Eye Tracker bei räumlich variabler Positionierung der Versuchsperson. Aus diesem Grund ist eine sitzende Bedienhaltung während des Experiments definiert, d. h. aufrecht, 90° Kniewinkel, vertikal fluchtende Körpermitte zu Bildschirmmitte, stirnseitig zum Experimenttisch und mit eingestellten Abstand von 600 mm zwischen Augenmittelpunkt und Bildschirmmittelpunkt senkrecht zum Monitor (siehe Abbildung 5.14).

Die Einhaltung der vorgegebenen Position wird mittels zweier Kameras (5) (lateral und dorsal) überwacht und bei Notwendigkeit durch den Versuchsleiter (kurz VL) korrigiert. Die Kopfposition ist in moderatem Maße variierbar, um sich auf die dezentraleren interaktiven Elemente zu fokussieren.

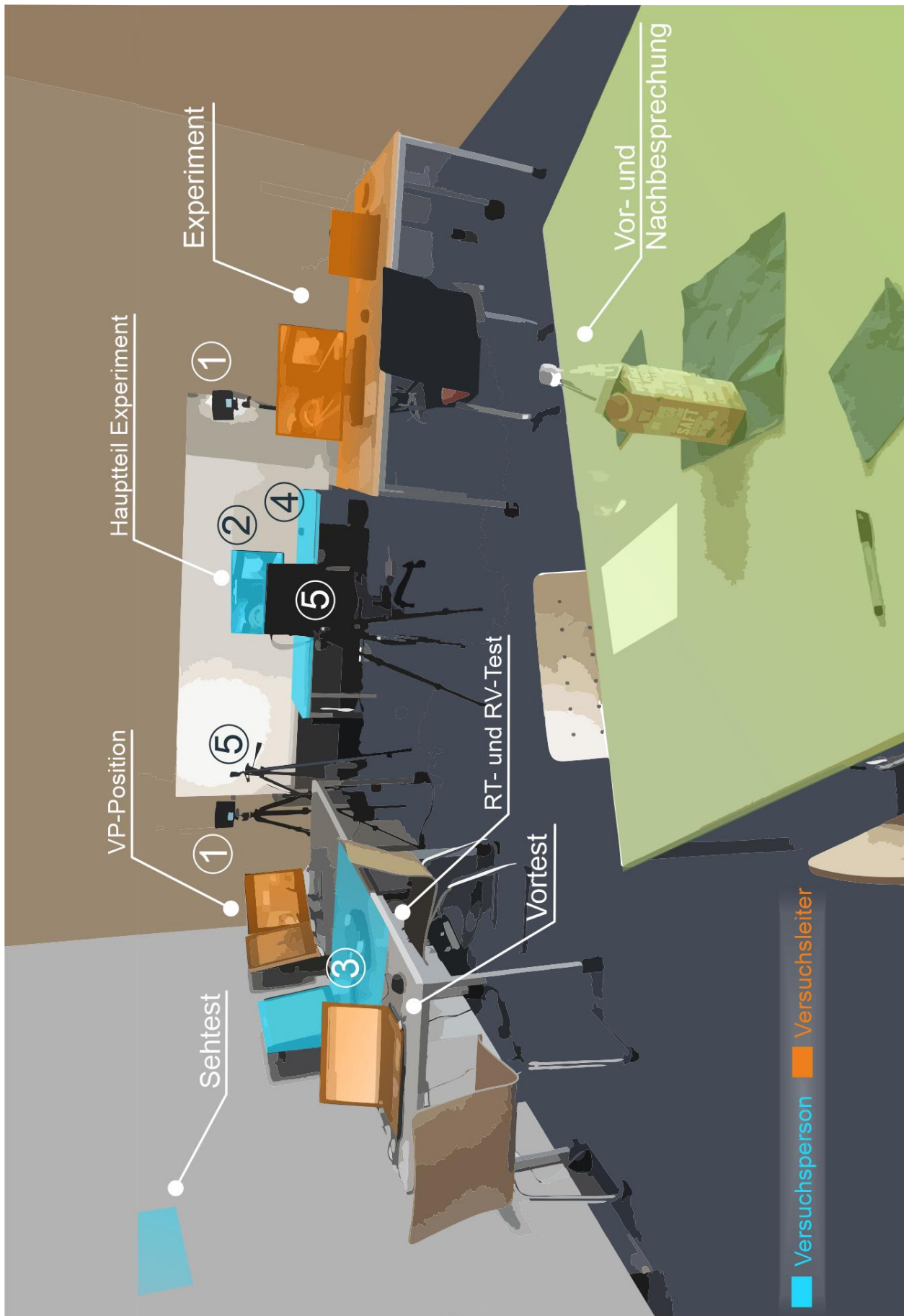


Abbildung 5.13: Experimentaufbau mit Kennzeichnung relevanter Komponenten

Die Erfassung der Blickfolgen erfolgt mit einem an der Unterseite des Monitors befestigten Eye Trackers (7) (Tobii Eye Tracker 4C, 90Hz der Firma Tobii Technology) [TOBII 2019C]. Das technische System zur Durchführung des Versuches besteht aus einem performanten Desktop-PC (Intel Core i7-7700, 360 GHz CPU, 32 GB Arbeitsspeicher, NVIDIA GeForce GTX 1080 Grafikkarte, Windows 10 64-bit Enterprise Betriebssystem), welcher den Ablauf der Simulation, die Datenerfassung und die Gestenerkennung direkt über den Interpreter der IDE (PyCharm 2018.3.5, Community Edition, Fa. JetBrains s.r.o [JETBRAINS 2019]) ermöglicht.

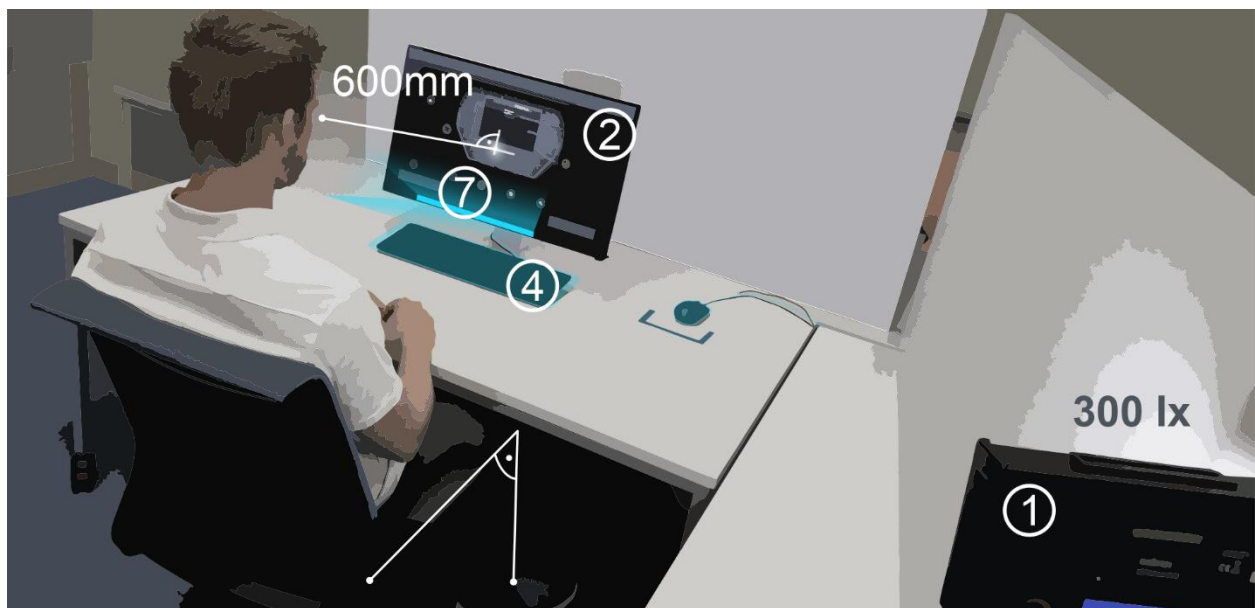


Abbildung 5.14: Probandenpositionierung während des Experimenthauptteils

Das in Kapitel 4.3 konzeptionierte und hier vorgestellte Blickgesteninterface wird als Vollbildanwendung (Pixelumrechnung: $0,1557 \text{ mm}^2$ je Pixel) ausgeführt und mit den für die Datenerhebung relevanten Befragungen erweitert. Der Versuchsperson wird somit das Experiment in einer abgeschlossenen Umgebung präsentiert. In dem Experiment ist der Hauptteil, in welchem die Interaktion durch die Blickgestensteuerung erfolgt, eindeutig von den Befragungen getrennt. Der Interaktionskontext, wird der Versuchsperson zu Beginn an Hand des Menüs eines zukunftsorientierten, automatisiert fahrenden LKWs beschrieben. Dabei durchläuft die Versuchsperson verschiedene Szenarien der Menübedienung, in welchen sie Aufgaben mithilfe der Blickgestensteuerung zu bewältigen hat. Der Hauptteil beinhaltet die Anwendung der Aufgabenpräsentation, den Interaktionsort und die Interaktionsrückmeldung. Der Versuchsleiter positioniert sich während des Hauptteils des Experiments im Hintergrund und steht für Rückfragen zur Verfügung.

5.2 Experimentdurchführung

Im Vorfeld des Experiments werden die potenziellen Versuchspersonen nach möglichen kognitiven und visuell-motorischen Einschränkungen befragt. Am Experiment selbst können zur Gewährleistung der Ergebnisvalidität nur Personen ohne Einschränkungen teilnehmen. Die nachfolgende Tabelle 5.6 fasst die Phasen des Experiments zusammen. Im Folgenden wird auf die einzelnen Phasen des Experiments vertiefend eingegangen.

| | Bezeichnung | Dauer |
|----|---------------------------------|--------|
| 1 | Begrüßung und Belehrung | 5 min |
| 2 | Vortest 1: Sehtest | 5 min |
| 3 | Vortest 2: RT | 10 min |
| 4 | Vortest 3: 3D | 10 min |
| 5 | Einweisung in Experiment | 5 min |
| 6 | Befragung 1 | 5 min |
| 7 | Kalibrierung und Eingewöhnung | 10 min |
| 8 | Hauptteil 1 | 30 min |
| 9 | Pause und Befragung 2 | 5 min |
| 10 | Hauptteil 2 | 30 min |
| 11 | Befragung 3 | 10 min |
| 12 | Verabschiedung & Incentivierung | 5 min |

Tabelle 5.6: Phasen und zeitlicher Ablauf des Experiments

5.2.1 Voruntersuchung und Versuchseinweisung

Nach Erläuterung des Versuchshintergrunds und der Einwilligung seitens der Versuchsperson [vgl. SHNEIDERMAN 2002, S. 166] werden in der Voruntersuchung zunächst deren relevante demografische Daten (vgl. Kapitel 5.1.2) erfasst. Die Angaben werden dabei von der Versuchsperson selbst getätigt und in den digitalen Fragebogen eingetragen. Neben Alter, Geschlecht und Erfahrungsgrad mit Eye Tracking im Allgemeinen und Blicksteuerung im Speziellen werden bestehende Sehschwächen erfasst.

Vortests: Um die Sehfähigkeit zu überprüfen führt jede Versuchsperson einen Sehtest (vgl. Kapitel 5.1.2) durch. Dazu wurden die Landoltringe aus zwei Metern Entfernung betrachtet und die Öffnungsrichtungen einer Zeile dem VL vorgelesen. Nach diesem ersten Vortest werden zur Einordnung des VP-Kollektivs zwei weitere themenaffine Tests an dem Wiener Testsystem durchgeführt. Der erste Test prüft die Reaktionsfähigkeit auf visuelle Reize, der zweite Test die räumliche Vorstellungsfähigkeit durch die korrekte Auswahl von Ansichten dreidimensionaler Geometrien, ab.

Die Einweisung in die jeweiligen Tests findet standardisiert und computergestützt statt. Darüber hinaus gegebene verbale Informationen des VL halten sich an die Vorgaben des jeweiligen Testmanuals [SCHUHFRIED 2015, S. 41], [BRATFISCH & HAGMAN 2014, S. 17].

Kalibrierung des technischen Systems und Eingewöhnung: Die Kalibrierung des Eye Trackers findet durch zweistufige Fixation von sechs Referenzpunkten mit der Software Tobii Pro Eye Tracker Manager (1.12.1) der Firma Tobii AB statt [TOBII 2019B]. Vorab ist zu sagen, dass eine wiederholte Durchführung des Kalibrierungsprozesses bei einigen Versuchspersonen in der Eingewöhnung und vereinzelt auch in der Experimentpause nach dem ersten Hauptteil notwendig ist, um die zuvor erzielte sensorische Erfassungsgüte des Eye Trackers auch nach der Pause beizubehalten. Anschließend findet eine stufenweise Einweisung, geleitet von dem Einweisungsprogramm des Systems, in die versuchsspezifische Blickgestensteuerung statt. Dabei werden zur Einhaltung einer möglichst hohen Objektivität der Durchführung eine schriftliche Instruktion verwendet [vgl. MOSSBRUGGER & KELAVA 2012, S. 9].

Initial wird die Reaktion des Systems bei Betrachtung aktiver Bereiche erlebbar gemacht. Neben dem Training der Blickgestenausführung können so auch auftretende Priming-Effekte durch eine Homogenisierung der Sensibilität gemindert werden. Diese aktiven Bereiche stellen im Rahmen des Experiments die interaktiven Elemente dar.

Im nächsten Schritt können sich die Versuchspersonen durch animierte Abläufe die sechs zu lernenden Blickgesten erstmals vergegenwärtigen, um diese daraufhin unter Anleitung mittels eines animierten visuellen Ablaufs selbst durchzuführen. Hierbei fährt ein Punkt die Blickgesten nacheinander ab, wobei die Bewegungsgeschwindigkeit analog der Darbietungsgeschwindigkeit der dynamischen Reizvariation ist. Den Versuchspersonen ist es durch das Nachverfolgen des Punktes möglich, die Blickgesten auszuführen. Bevor die eigentliche Lernphase der Blickgesten startet, ist es der Versuchsperson möglich, diese auch ohne animierten Ablauf durchzuführen.

Ein visuelles Signal gibt dabei Feedback über den Erfolg der Ausführung. Bis zu diesem Schritt der Eingewöhnung ist es der Versuchsperson möglich, aufgrund von Verständnisproblemen, Unsicherheit oder mangelnder Praxis zu einer der vorigen Blickgestenkennlernphasen zurück zu kehren. In der darauffolgenden Lernphasen waren die Versuchspersonen aufgefordert, fünf Sets (vgl. Annäherung an konstanten Leistungswert nach DIN EN ISO 9241-420 [2011, S. 33]) des Blickgestenkatalogs auszuführen: erste zwei Sets in zentraler Interfaceposition und fester Reihenfolge, letztere drei Sets mit variabler Position und Reihenfolge. Dazu wird sequenziell immer nur ein aktives Element dargeboten.

Zum mentalen Festigen der Verbindung auszuführender Blickgesten und der jeweiligen Icon-Position auf den interaktiven Elementen (vgl. Kapitel 4.3.1) wird die Blickgeste nicht direkt vorgegeben, sondern muss gedeutet werden. Dabei gibt es kein zeitliches Limit. Bei falscher Ausführung wird durch das System auf die richtige Blickgeste hingewiesen. Abbildung 5.15 zeigt die jeweiligen Stufen der Eingewöhnungsphase, wobei die dargestellte Blickgeste hier nur zur Veranschaulichung dient und nicht der Versuchsperson im Interface dargeboten wird.

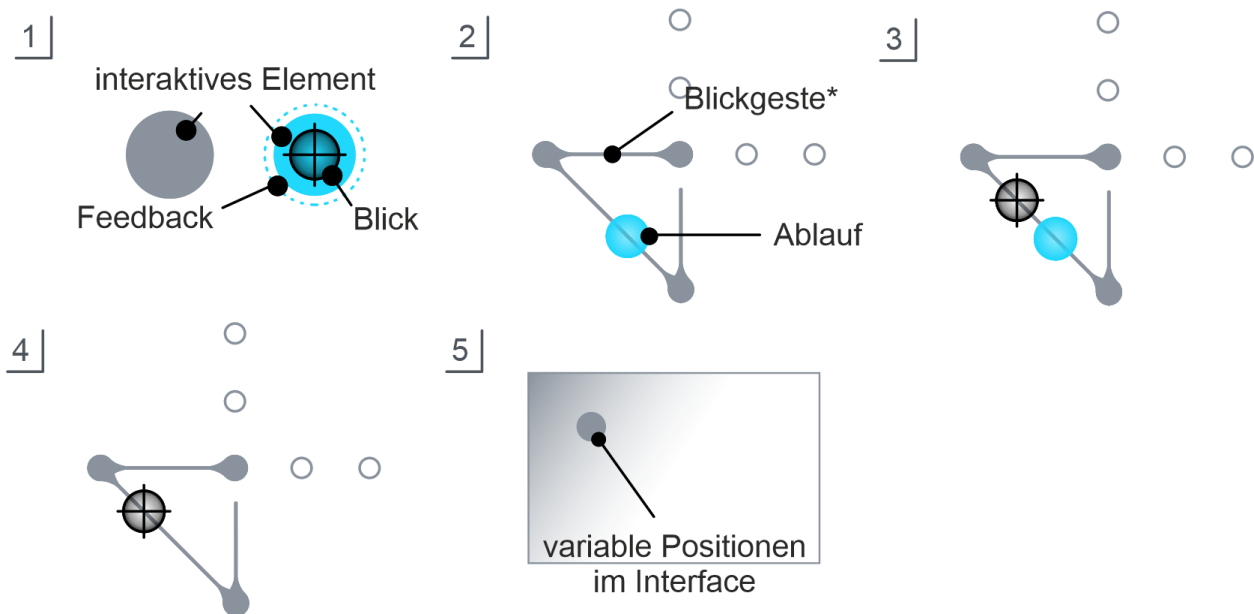


Abbildung 5.15: Stufen der Blickgesteneinführung während der Eingewöhnungsphase

Einweisung in das Interface: Im Anschluss an die Eingewöhnung in die Blickgestenausführung werden den Versuchspersonen die Bestandteile des Experimentinterfaces vorgestellt. Eine Erweiterung des in Kapitel 4.3.2 beschriebenen Interfaces stellen ein Statusbereich ($x_{\text{Status}} = 600 \text{ mm}$, $y_{\text{Status}} = 25 \text{ mm}$, Monitoranteil: 100 % x_{Anzeige} , 9,6 % y_{Anzeige}) im oberen Bereich des Monitors sowie Benachrichtigungsfenster im Kontextbereich dar. Der Statusbereich gibt zu jeder Zeit des Experiments die zu bewältigende Bedienhandlung wieder.

Zudem ist dieser visuell eindeutig vom Interaktionsbereich getrennt, welcher den restlichen Teil des Monitors einnimmt. Im Falle eines auftretenden Bedienfehlers wird eine temporäre Überblendung (Dauer: 2 s) der momentanen Aufgabe im Statusbereich angezeigt. Zusätzlich wird das zu bedienende interaktive Element mit Hinweis auf die verwendende Geste (Markierung des Icons) für dieselbe Dauer visuell hervorgehoben. Über eine Dialogbox (vgl. Kapitel 2.2.3) wird der Versuchsperson der Kontext der zu verfolgenden Bedienhandlung vermittelt. Somit erscheint zu Beginn einer bestimmten Aufgabe und der damit verbundenen Bedienschritte eine solche Benachrichtigung. Das erweiterte Interface wird in Abbildung 5.16 dargestellt.

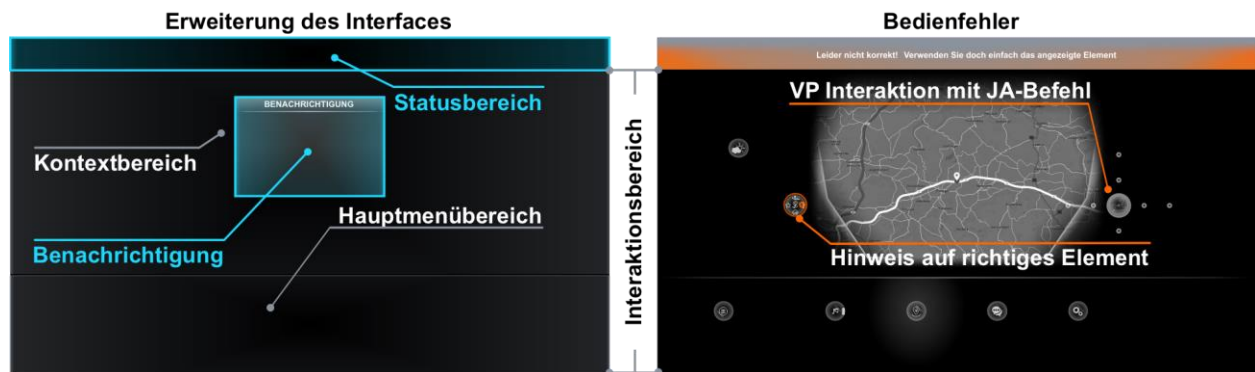


Abbildung 5.16: Interfaceerweiterung: Statusbereich (links); Bedienfehler (rechts)

Reizvariationenübergreifende Messungen: Nachdem die Eingewöhnung abgeschlossen ist, geben die Versuchspersonen direkt vor Beginn des Hauptteils ihre Einschätzung zur empfundenen Müdigkeit, mittels KSS und ihre Beanspruchung der Augenmuskulatur an (siehe Kapitel 5.1.2). Die reizvariationenübergreifenden Messungen finden jeweils erneut unmittelbar beim Eintritt in die Pause, zwischen den beiden Teilen des Experimenthauptteils und nach diesem statt (vgl. Kapitel 5.1.3). Sie dienen zur Erfassung von Lern-, aber vor allem Beanspruchungs- und Ermüdungseffekten über den Fortschritt des Experiments hinweg. Die dazu verwendete Maus und Tastatur wird anschließend wieder aus dem VP-Interaktionsbereich entfernt.

Abschließend werden die Versuchspersonen noch einmal nach ihrer Bereitschaft zum Beginnen des Hauptteils des Experiments gefragt.

5.2.2 Hauptteil des Experiments

Im Hauptteil des Experiments wird die Versuchsperson durch die visuelle Unterstützung beim Ausführen der Blickgesten über insgesamt 218 Bedienschritte hinweg unterstützt (vgl. Tabelle 5.2). Die Reizvariationen sind dabei auf die Bedienschritte, welche Bestandteile der kontextbezogenen Aufgaben aus Kapitel 5.1.4 darstellen, verteilt.

Interfaceinteraktion: Die Bedienschritte folgen aufeinander nach erfolgreicher Interaktion der Versuchsperson und dem dargestellten positiven Feedback (Dauer: 1,5 s). Ein erfolgreicher Bedienschritt definiert sich durch das Ausführen der korrekten Blickgeste, im Sinne der Aufgabe, auf dem notwendigen interaktiven Element und der Erkennung dieser durch das technische System. Das zugehörige Feedback erscheint in Form eines grünen Aufleuchtens des verwendeten iE.

Die Überleitungen in die Pause und das Experimentende werden ebenfalls mit einem Bedienschritt eingeleitet. Die Bedienaufgaben, welche mehrere Bedienschritte beinhalten können, werden in dem Benachrichtigungsfenster zu Beginn einer Aufgabe und dauerhaft im Statusbereich der Versuchsperson dargestellt. Im Falle eines Verständnisproblems

oder Unsicherheit ist zur Instruktion der korrekten Interaktion im Bedienschnitt ein intuitives Annahmebündelungsverfahren zu verwenden, auch als "best guess"-Verfahren (übers. Beste Annahme) bekannt [DÖNITZ 2008, S 251]. Die auf diesem Verfahren basierende Interaktion unterstützt zum einen die prinzipielle Interaktionsbereitschaft der Versuchsperson und verdeutlicht zum anderen die Gebrauchsqualität einzelner Screens des Interfaces. Bei Fehlbedienung ermöglicht das Programm durch das Fehlerfeedback und die Instruktion der richtigen Interaktion durch iE- und Icon-Hervorhebung (siehe Kapitel 5.2.1) das Finden des korrekten Bedienschnitts.

Reizmustervarianten: Der Versuchsperson wird die grundsätzliche Funktionsweise von visuellen Unterstützungen während der Ausführung von Blickgesten erklärt. Um Erwartungshaltungen zu vermeiden, werden die einzelnen Gestaltungsparameter und die daraus resultierenden Darbietungsvarianten aus Kapitel 5.1.2 den Versuchspersonen zu Beginn nicht vorgestellt. Aufgrund der randbedingungsabhängigen Randomisierung aus Kapitel 5.1.5 erfährt jede Versuchsperson eine andere RV-Darbietungsreihenfolge.

Die jeweilige Reizkombination wird für je einen Bedienschnitt konstant gehalten. Dies bedeutet, dass unabhängig von den ausgeführten Blickgesten und der verwendeten interaktiven Elemente, dieselbe Parameterkombination bis zum erfolgreichen Beenden des Bedienschnitts eingestellt bleibt. Somit wird trotz des freien Bedienerlebnisses einer anwendungsnahen Interaktion gewährleistet, dass die Messungen auf dem notwendigen iE und für die definierte Blickgeste erfolgen.

Objektive Messungen durch das Versuchsdesign: Das Blickverhalten der Versuchsperson wird durch den Eye Tracker überwacht. Die für jeden Bedienschnitt separat erfassten Blickdaten dienen der folgenden Analyse als Datenbasis. Dabei werden auf Basis des in Kapitel 4.3.3 beschriebenen Aufbaus 90 Datensätze je Sekunde aufgezeichnet.

Bestimmte Ereignisse, die während der Interfacebedienung erfasst werden, stellen relevante zeitliche Intervalle dar, mithilfe derer die Blickdaten zielgerichtet untersucht werden. Darunter fällt unter anderem die Betrachtung definierter AOIs durch die Versuchsperson. Einen AOI-Typ stellt z. B. der Status- und der Benachrichtigungsbereich dar. Dieser werden meist zu Beginn eines Bedienschnitts erfasst und repräsentieren kognitive Aufgabenerfassungsprozesse, wie z. B. Lesen der Bedienaufgabe im Statusbereich oder in dem Benachrichtigungsfenster. Weitere relevante AOIs sind die interaktiven Elemente eines Bedienschnitts. Diese werden in Form der iE-Nummer und iE-Position erfasst.

Daraus können nachfolgend bestimmte Betrachtungsfolgen zur Exploration des neuen Screens, analog einer Scan-Path-Analyse, erstellt werden. Weitere relevante Ereignisse sind Versuche einer Blickgeste. Dabei wird nach Kapitel 5.1.3 zwischen erfolgreichen Versuchen, welche in einer detektierten Blickgeste resultieren und nicht erfolgreichen Versuchen unterschieden. Letztere werden deutlich häufiger erfasst, da hierbei auch alle Abbrüche, nicht erfolgreiche Interaktionsversuche und iE-Wechsel zusammengefasst sind. Nicht erfolgreiche Versuche werden beim manuellen Nachlabeln während der Analyse in eine der jeweiligen Kategorien eingeteilt.

Zusätzlich werden die Betrachtungen von temporären Interfaceanzeigen ebenfalls aufgezeichnet. Dazu gehören zum einen Feedbackdarbietungen wie erfolgreiche Bedienungen und Bedienfehler und zum anderen Anzeigen, welche aufgrund von vorangegangenen Bedienschritten ausgelöst werden, wie z. B. das Einstellen der Helligkeit oder das Empfangen von Lieferdaten. Diese Ereignisse dienen ebenfalls der Deutung des Nutzerverhaltens in bestimmten Screens.

Subjektive Messungen durch das Versuchsdesign: Während des Hauptteils des Experiments wird die Kopfposition und Oberkörperhaltung vom Versuchsleiter auf zwei Monitoren überwacht. Im Falle einer Dislokation des Kopfes von der zur Kalibrierung verwendeten Ausgangsposition wurde die Versuchsperson verbal vom Versuchsleiter drauf hingewiesen und gegebenenfalls von ihm direkt korrigiert.

Darüber hinaus wird ein Versuchspersonenbegleitbogen geführt, in welchem neben individuellen und experimentellen Auffälligkeiten vor allem auch die verbalen Äußerungen der Versuchsperson zum Experiment festgehalten werden.

Pause und Zwischenbefragung: In der Pause wird die Versuchsperson wie bereits zu Beginn nach ihrem Müdigkeitsempfinden und ihrer Augenmuskulaturbeanspruchung befragt. Dazu werden die Maus und die Tastatur der Versuchsperson wieder zugänglich gemacht. Anschließend war es der Versuchsperson möglich, ihre feste Position aus dem ersten Experimentteil zu verlassen, um sich kurzfristig auszuruhen.

Vor Beginn des zweiten Experimentteils wird die korrekte Position der Versuchsperson durch den Versuchsleiter überprüft. Die Versuchsperson kann anschließend den zweiten Teil eigeninitiativ per Mausklick starten. Die Maus wird daraufhin wieder zusammen mit der Tastatur aus dem Interaktionsbereich der Versuchsperson entfernt.

Ende des Hauptteils und Abschlussbefragung: Nach Absolvieren aller Bedienschritte ist es der Versuchsperson möglich, sich wieder in eine andere komfortablere Haltung zu begeben. Maus und Tastatur werden wieder zur Verfügung gestellt.

Die Abschlussbefragung beginnt zunächst mit der dritten Müdigkeits- und Beanspruchungsabfrage über die jeweiligen Skalen. Die computergestützte Befragung als Standard der empirischen Forschung ermöglicht die Erfassung der detaillierten Probandenmeinung und Bewertung relevanter Aspekte des Experiments und dient somit als sinnvolle Methodenkombination mit der reinen Eye-Tracking-Analyse (vgl. Anhang Tabelle A1). Wie GEISE [2011B, S 218] feststellt, ermöglicht diese Art der Befragung *„die apparativ erhobenen physiologischen, inhaltlich wenig spezifischen, Messwerte [...] mit den Befragungsdaten zu ergänzen bzw. zu vergleichen, um somit Rückschlüsse auf die nachgelagerte Wirkung beziehen zu können“*.

Der erste Teil der Abschlussbefragung beschäftigt sich mit der Usability der wahrgenommenen Unterstützung durch die Reizvariation sowie der Wahrnehmung und Favorisierung einzelner Gestaltungsparameter (vgl. Kapitel 4.3.3). Hinsichtlich des Empfindens ist die Validität der Aussagen zu dieser Themenkategorie nach der Abfrage von Müdigkeit und Beanspruchung als am zeitkritischsten zu betrachten.

Anschließend wird die Meinung zu den interfaceaufbaubezogenen Forschungshypothesen (siehe Kapitel 5.1.2) abgefragt. Den Abschluss der Befragung bilden Einschätzungen zur Kombination von Blickgestensteuerung mit anderen Interaktionsmodalitäten und Potenziale möglicher zukünftiger Einsatzfelder. Bei der Verabschiedung wird der Versuchsperson für ihre Teilnahme gedankt und ihr zeitlicher Aufwand mit 20 € entschädigt.

5.3 Ergebnisse des Experiments

Die Ergebnisbeschreibung findet in der Rangfolge der dem Experiment zu Grunde liegenden Forschungshypothesen statt. Angefangen mit der Sichtung der teilgenommenen Kohorte werden die Ergebnisse der Vorversuche und der in Kapitel 5.1 beschriebenen demographischen und personenbezogenen Merkmale vorgestellt. Anschließend erfolgt die Erläuterung der summativen Datenauswertung der funktionalen Nutzerzufriedenheit, sowie der Nutzungseffizienz und der Nutzungseffektivität der geprüften Reizvariationen. Die erfassten Einflüsse der Interfacegestaltung auf die Blickgesteninteraktion sowie ermittelte Zwischensubjektfaktoren der Kohorte setzen die Ergebnisse der Reizvariationen in den anwendungsbezogenen Zusammenhang. Das grundsätzliche Vorgehen der Ergebnisauswertung ist in Abbildung 5.17 dargestellt.

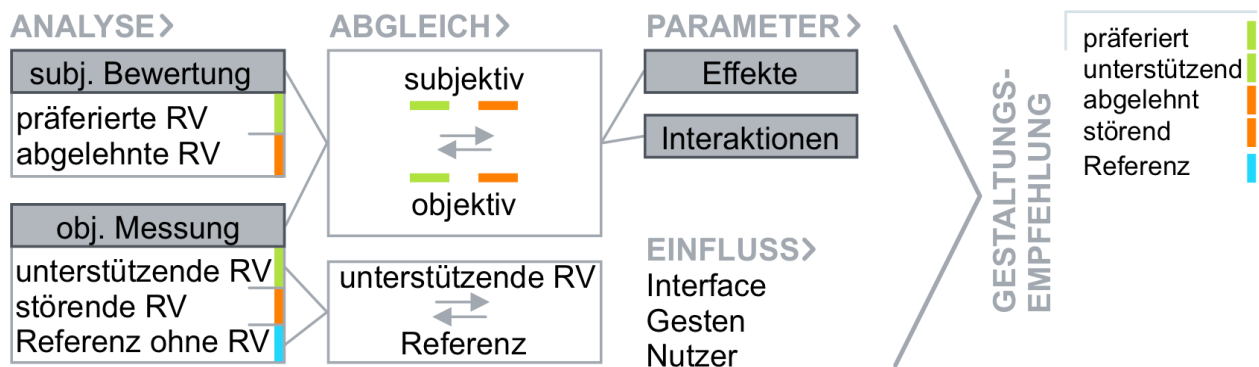


Abbildung 5.17: Vorgehen bei der Ergebnisauswertung

Blickdatenaufbereitung: Die im Experiment aufgezeichneten Datensätze werden im Vorfeld der Auswertung durch Skripte maschinell vorprozessiert, um die in Kapitel 5.1.3 beschriebenen Bewertungsmetriken zu ermöglichen. Diesen Datensätzen liegt eine erweiterte Scan-Path-Analyse zugrunde, deren Fokus die Abfolge und Ausführungsarten der Interaktionsversuche sind [vgl. MARAJANTA ET AL. 2012, S. 248-259], [GEISE 2011B, S. 230].

5.3.1 Statistische Methoden

Dieses Unterkapitel dient der Beschreibung und Definition relevanter statistischer Verfahren zur hypothesenbezogenen Ergebnisbetrachtung. Die Auswertung der Stichprobendatensätze erfolgt anhand quantitativer statistischer Verfahren, um Rückschlüsse auf die Grundgesamtheit zu ermöglichen und somit Empfehlungen zu den Gestaltungsparametern aussprechen zu können.

Dabei kommen zum einen grafisch-unterstützende deskriptive Darstellungen und zum anderen inferenzstatistische Verfahren zur Hypothesenüberprüfung zum Einsatz. In der Ergebnisauswertung finden zwei verschiedene Prüfverfahren Anwendung, die Unterschiedsprüfung für H_{15} und H_{16} sowie die Zusammenhangsprüfung (H_{11} - H_{14} , H_{17} und H_{18}) [DÖRING & BORTZ 2016, S. 657 ff.]. Bei der Darstellung von statistischen Kennzahlen und Werten wird zur Dezimaltrennung die international gängige punktierte anstatt der nationalen Kommatrennung verwendet.

Ausreißerkorrektur: Zur Identifikation von Ausreißern innerhalb der jeweiligen Datensätze wird eine konservative Ausreißerabgrenzung nach HOAGLIN & IGLEWICZ [1987, S. 1149] durch den 2,2-fachen Interquartilsabstand (kurz IQR) für normale Ausreißer und 4,4-fachen IQR für extreme Ausreißer verwendet. Die somit entstehenden symmetrisch getrimmten Datensätze dienen als Basis der Standardabweichung und weiteren statistischen Verfahren zur Auswertung [vgl. WILCOX, 2012, S 34].

Deskriptive Verfahren: Die deskriptiven Verfahren dienen der Sichtung und Ordnung von Datensätzen in Form von Mittelwerts- und Häufigkeitsbetrachtungen, sog. Histogrammen. Insofern nichts anderes angegeben wird, beschreibt der Durchschnitt in der vorliegenden Auswertung das arithmetische Mittel der zugrunde gelegten Datenmenge. Die Standardabweichung beschreibt die durchschnittliche Abweichung innerhalb der Datenmenge von dem zugehörigen Mittelwert und stellt somit ein Maß für deren Streuung dar. In der deskriptiven Ergebnisauswertung kommen zwei Darstellungsformen vor. Die Häufigkeit von Nennungen bei der Befragung, meist ordinal-skaliert, der Kohorte werden durch Verteilungsbalken dargestellt, welche die jeweiligen Antworthäufigkeiten bezogen auf die Gesamtmenge in [%] wiedergeben [vgl. ALBERT & MARX 2016, S. 121].

Zur umfangreichen deskriptiven Beschreibung der Datenverteilung einzelner Messergebnisse, meist intervall-skaliert, werden Box-Plots eingesetzt, welche die Quartilsverteilung, den Median, das arithmetische Mittel sowie die Ausreißerkennzeichnung über die Grenzen der Visker grafisch beschreiben. [vgl. HEDDERICH & SACHS 2016, S. 78]

Inferenzstatistische Verfahren: Die inferenzielle Auswertung erfolgt mit Hilfe der Statistiksoftware IBM SPSS Statistik (Version 25) der Firma IBM. Zur Ermittlung signifikanter Unterschiede der abhängigen Variablen zwischen einzelnen Reizvariationen wird ein Vergleich der Mittelwerte (kurz μ), der jeweiligen Evaluationsmetrik durchgeführt. Dabei stellt der Signifikanzwert (kurz p) ein Gütekriterium der Wahrscheinlichkeit eines durch Zufall entstandenen Unterschiedes dar. Dieser Signifikanzwert ist dabei mit definierten Signifikanzniveaus (kurz α) zu vergleichen, um eine Aussage über die Absicherung der statistischen Wahrscheinlichkeit zu erhalten [ALBERT & MARX 2016, S. 128]. Die gängigen Signifikanzniveaustufen definieren sich wie folgt:

- Signifikant,
($p \leq .05$)
- hoch signifikant,
($p \leq .01$)
- höchst signifikant.
($p \leq .001$)

Fällt der Signifikanzwert unter ein Niveau von zwischen $p < .1$ und $p > .05$ kann immer noch von Tendenzen gesprochen werden [SENDER 2008, S. 57]. Die Anpassung des Signifikanzniveaus erfolgt mittels Bonferroni-Adjustierung zum Ausgleich des sich multiplizierenden Test-inhärenten Fehlers bei Testwiederholung [HEDDERICH & SACHS 2016, S. 568]. Die für die parametrischen Verfahren oftmals notwendige Normalverteilung in der Datenmenge kann durch verschiedene grafische oder analytische Verfahren, z.B. Shapiro-Wilk-Test oder Kolmogorov-Smirnov-Test, nachgewiesen werden. [DÖRING & BORTZ 2016, S. 659 ff.]

In der Ergebnisauswertung kommen parametrische, einfaktorische Varianzanalyseverfahren (kurz ANOVA) mit und ohne Messwiederholung sowie t -Tests zum Einsatz. [vgl. DÖRING & BORTZ 2016, S. 916] Für nicht-parametrische Verfahren wird der Friedman-Test verwendet. [vgl. BORTZ & LIENERT 2008, S. 2003 ff.]

Bei der Ergebnisauswertung von dichotomen Variablen werden Binominaltests (zweiseitig) durchgeführt. Zur Untersuchung mehrstufiger Häufigkeitsverteilungen werden Chi-Quadrat-Tests durchgeführt [DÖRING & BORTZ 2016, S. 659 ff.].

Unter Annahme von Robustheit der ANOVA gegen die Verletzung der Normalverteilungsbedingung bei einer Versuchspersonenanzahl von mehr als 25, wird die ANOVA auch bei nicht normalverteilten Datensätzen verwendet [vgl. WILCOX 2012, S. 9]. Zur Verwendung der Varianzanalyse sind vorab ggf. Anpassungen aufgrund der Homogenitätsprüfung der Datensätze durchzuführen. Dafür ist der Mauchly-Test (Mauchly-W in ϵ) und eine Korrektur nach Greenhouse-Geiser (für $\epsilon < .75$), bzw. Hynh-Feldt (für $\epsilon > .75$) [GIRDEN 1992] bei nicht vorhandener Sphärizität durchzuführen. [vgl. BÜHNER & ZIEGLER 2009, S. 519]

Post-Hoc-Tests: Durch paarweisen Mittelwertsvergleich werden in dem Post-Hoc-Test die Merkmale identifiziert, zwischen welchen bei der vorangegangenen Varianzanalyse signifikante Unterschiede festgestellt werden. Der in dieser Arbeit verwendete Post-Hoc-Test wird nach Bonferroni durch Ermittlung des kleinsten signifikanten Unterschiedes durchgeführt. Dabei erfolgt eine α -Korrektur nach Bonferroni-Methode. [ALBERT & MARX 2016, S. 148], [ECKKSEIN 2016, S. 131]

Erfassung der Effektstärke: Die Effektstärke gibt Aufschluss über die Höhe des gemessenen Effekts der getesteten Merkmale und wird für mehrere Mittelwertsvergleiche wie bei einer ANOVA durch das partielle Eta-quadrat (kurz η_p^2) ausgedrückt. Für t -Tests erfolgt die Ermittlung der Effektstärke über Cohen's d . Bei dem Friedman-Test wird zur Ermittlung der Effektstärke der Korrelationskoeffizient (kurz r) verwendet. Die Grenzen der einzelnen Effektniveaus (kurz f) sind in folgenden Stufen definiert [vgl. DÖRING & BORTZ 2016, S. 820 f.], [ELLIS 2010]:

| | | | |
|------------|------------------------------|-------------------------------|-----------------------|
| η_p^2 | • klein: $.1 \leq f < .25$, | • mittel: $.25 \leq f < .4$, | • groß: $f \geq .4$, |
| d | • klein: $.2 \leq f < .05$, | • mittel: $.5 \leq f < .8$, | • groß: $f \geq .8$. |
| r | • klein: $.1 \leq f < .3$, | • mittel: $.3 \leq f < .5$, | • groß: $f \geq .5$, |

Korrelation: Die Rangkorrelation weist einen linearen, ungerichteten Zusammenhang verschiedener Merkmale zueinander nach, dabei bedeutet ungerichtet, dass nicht von einer abhängigen und einer unabhängigen Variablen gesprochen wird. Dieser stellt folglich nicht zwingend einen kausalen Zusammenhang dar.

Der ermittelte Korrelationskoeffizient befindet sich dabei zwischen -1 und +1 (perfektive negative bzw. positive Korrelation). Für die Zusammenhangsprüfungen kommt in der vorliegenden Arbeit das Verfahren nach Spearman zum Einsatz [UZH 2019] Deren Abstufung findet wie folgt statt: [ALBERT & MARX 2016, S. 121 ff.]

- sehr hohe K.: .9-1.0,
- hohe K.: .7-.89,
- mäßige K.: .4-.69.
- schwache K.: .2-.39,
- keine / leichte: K. 0-.19,
- K.: Korrelation

Als weiterführende Literatur zur Vertiefung des Auswertevorgangs und der Verwendung statistischer Verfahren wird an dieser Stelle auf DÖRING & BORTZ [2016] verwiesen.

5.3.2 Das Versuchspersonenkollektiv

Das Kollektiv der Versuchspersonen (VP) besteht aus 31 VP. Bei einer Versuchsperson kam es zu einem Versuchsabbruch aufgrund unzureichender Erfassung der Augenposition bereits während der Kalibrierung und der anschließenden Eingewöhnungsphase. Daher werden im Anschluss die Ergebnisse der 30 auswertbaren Versuchspersonen vorgestellt (Übersicht der VP-bezogenen Messungen siehe Anhang Tabelle A3. Abbildung 5.18 zeigt die Verteilung des Geschlechtes (links) sowie der beruflichen Qualifikation (rechts).

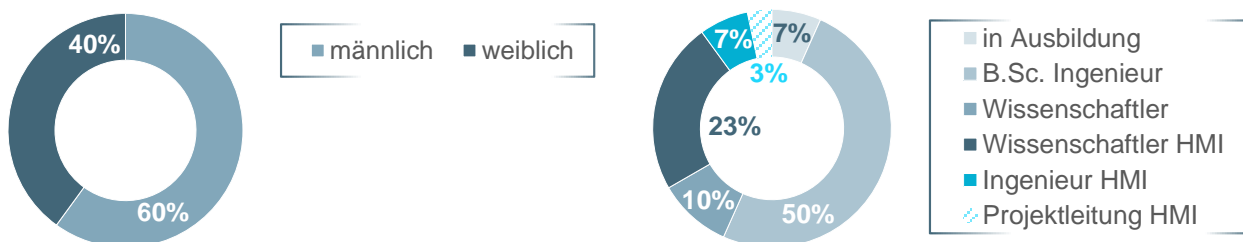


Abbildung 5.18: Geschlechterverteilung und berufliche Qualifikationen in der Kohorte

Das Alter für die Teilnahme wurde auf 18-35 Jahre bewusst definiert, um eine einheitliche Kohorte zu erzeugen (Abbildung 5.19).

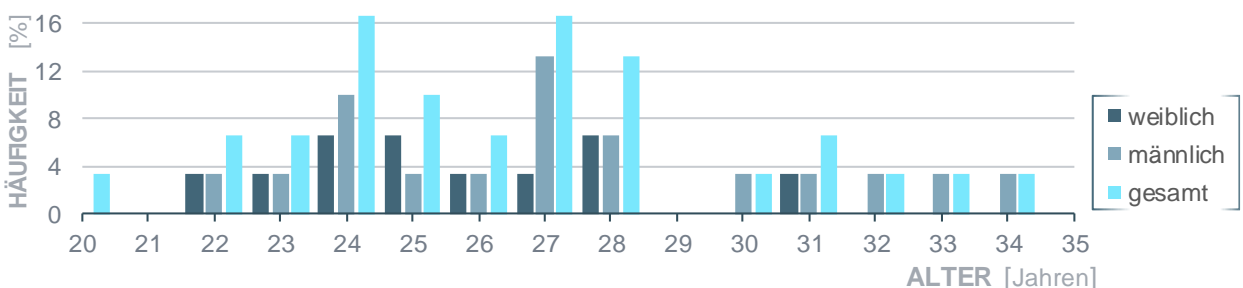


Abbildung 5.19: Geschlechterspezifische Altersverteilung innerhalb der Kohorte

Sehhilfen und Sehschwächen: Der Anteil der Personen mit Sehhilfe ist deutlich geringer als der ohne Sehhilfe. Somit ist der Anteil an Sehhilfe-bedürftigen Personen im Vergleich zu deren Bevölkerungsanteil in Deutschland (ab 14 Jahre, 66 %) unterrepräsentiert [STATISTA 2019A, STATISTA 2019B, STATISTA 2019C], siehe Abbildung 5.20. In der getesteten Kohorte haben zwei Versuchspersonen nach eigenen Angaben eine diagnostizierte Augenschädigung (leichte Netzhautablösung, allgemeine Schädigung).

Die daraufhin durchgeführte separate Ergebnisauswertung der beiden VP weist keinen statistisch-signifikanten Unterschied zu der übrigen Kohorte auf. Aus diesem Grund bleiben diese Versuchspersonen in der weiteren Auswertung berücksichtigt.

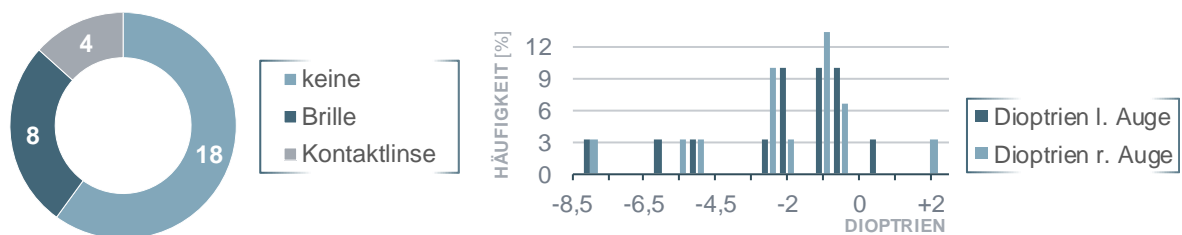


Abbildung 5.20: Sehhilfeverteilung (links), Sehschwächenausprägung (rechts)

Erfahrung mit Eye-Tracking und Blicksteuerung: Die Überprüfung der Erfahrungen zur Eye-Tracking-Technologie und deren Einsatz zur Blicksteuerung im Allgemeinen zeigt, dass die Kohorte nur auf eine sehr geringe Vorerfahrung zurückgreifen kann (Abbildung 5.21). Zwei Personen haben allerdings auch viel bzw. sehr viel Erfahrung mit Blickverfolgungsanalysen.

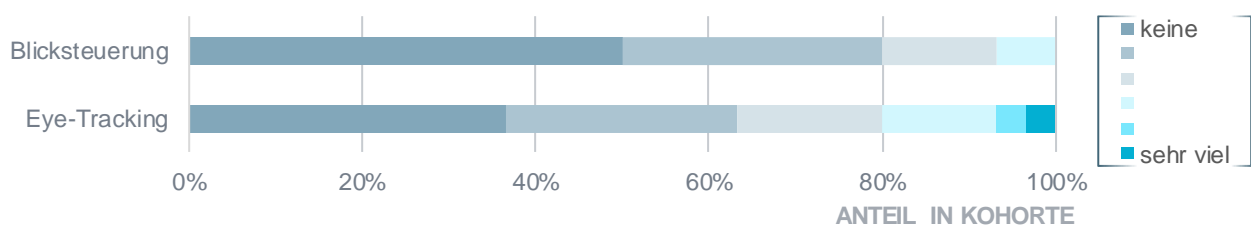


Abbildung 5.21: Erfahrung mit Eye-Tracking und Blicksteuerung innerhalb der Kohorte

Berufliche und private Tätigkeiten: Die beruflichen Tätigkeiten zeigen einen Tätigkeitsschwerpunkt der Büroarbeiten, welcher den Zusammenhang mit der Berufsverteilung (siehe Abbildung 5.18) herstellt. Bei der Betrachtung der privaten Tätigkeiten und Hobbies fällt keine dominierende Tätigkeit in der Kohorte auf.

Die Häufigkeitsverteilung der erfassten Tätigkeiten ist in Form der Ausübungshäufigkeit in Abbildung 5.22 dargestellt.

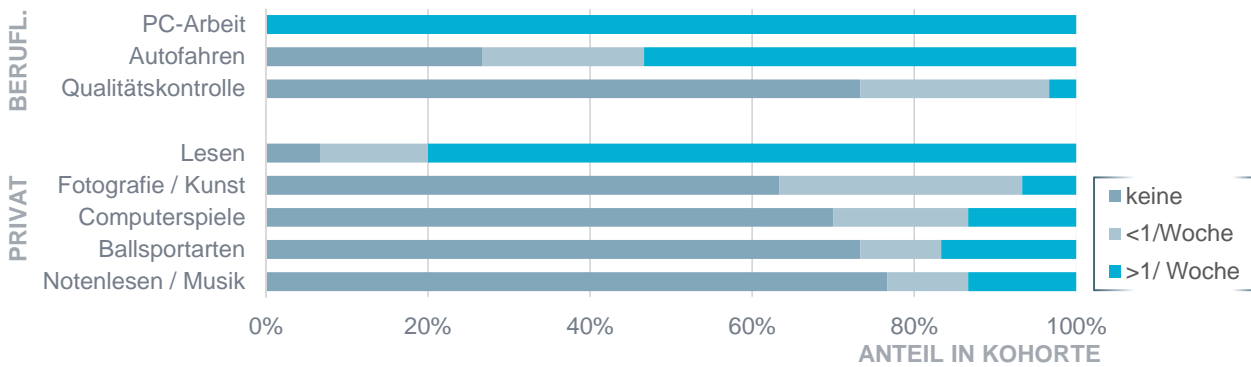


Abbildung 5.22: Verteilung beruflicher und privater Tätigkeiten

5.3.3 Vortests und Vorerfahrungen

Der Sehtest fällt positiv aus, da jeder Teilnehmer, ggf. mit geeigneter Sehhilfe, den minimalen Visuswert von 0,8 erreicht. Ebenfalls erfolgreich ist die Durchführung des Reaktionstests, welcher von der gesamten Kohorte ohne eine einzige Falschreaktion, d. h. Verpassen des visuellen Reizes, absolviert wird. Die Auswertung des Prozentrangs mittels Box-Cox-Transformation [BOX & COX 1964, S. 211-252] zur Stabilisierung der Varianz ergibt für beide WTS-Tests eine deutliche Überperformanz der Experimentteilnehmer gegenüber den relevanten Normstichproben, bezogen auf Alter, Geschlecht, Bildungsgrad und gesamtes Vergleichskollektiv.

Andererseits ist die Aktualität der Vergleichsgruppenleistung in Frage zu stellen, da diese Leistung aus dem Jahre 2013 für den Reaktionstest (RT) und 2004 bzw. 2007 für den Test zum räumlichen Vorstellungsvermögen (3D) stammen [SCHUHFRIED 2015], [BRATFISCH & HAGMAN 2014]. Die Abbildung 5.23 stellt den Prozentrang beider Tests im Vergleich zur Normstichprobe sowie das Reaktionsstreuungsmaß beim RT dar.

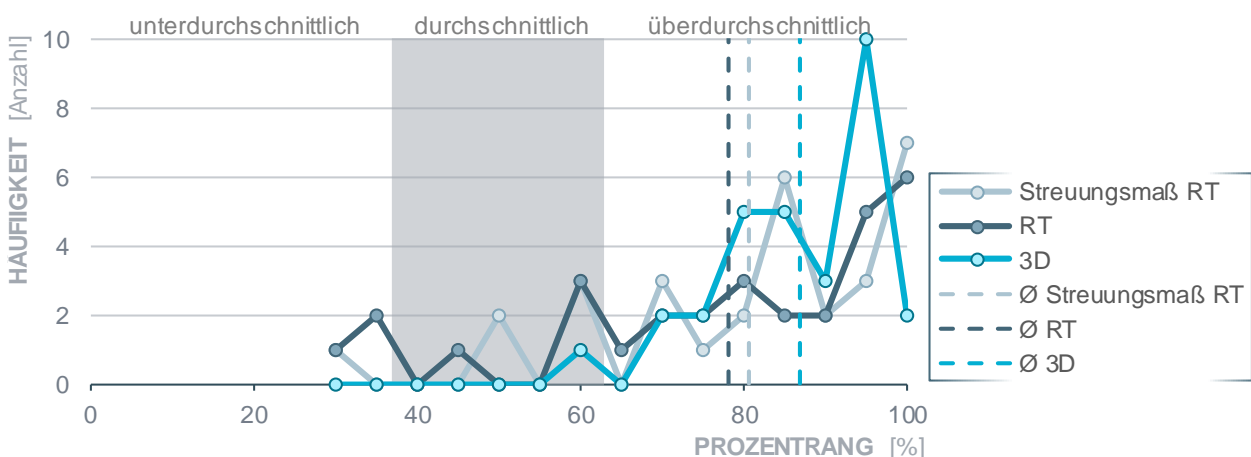


Abbildung 5.23: Einstufung der Kohorte für den RT (inkl. Streuungsmaß) und den 3D

Eine weitere Beobachtung ist, dass die Versuchspersonen gerade in der zweiten Tageshälfte schlechtere Leistungen im RT-Test erbringen als in der ersten. Die Leistung beim 3D-Test zeigt keinen solchen, von der Tageszeit abhängigen, Einbruch. Die

Abbildung 5.24 stellt den Einfluss der Durchführungszeit auf die, als Prozentrang eingestufte, Leistung der Versuchspersonen in den Vorversuchen dar.

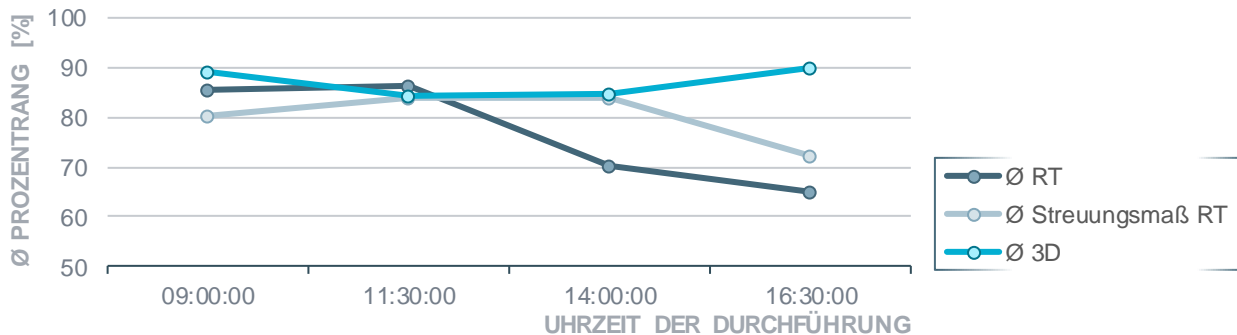


Abbildung 5.24: Tageszeiteinfluss auf die Leistung in RT (inkl. Streuungsmaß) und 3D

5.3.4 Untersuchung des situativ visuellen Anzeigers zur Unterstützung

Analog der Prozessschritte von PFEFFER [2016, S. 120] zur Analyse der objektiven und subjektiven Messungen der abgeprüften RV wird zunächst das direkte Nutzerempfinden untersucht. Anschließend werden die objektiven Messungen der, während der Interaktion erfassten, abhängigen Variablen diesen gegenübergestellt. Dabei liegt der Fokus auf den Reizvariationen, deren Parameterkombinationen eine Überperformanz bei den AV-Messungen aufzeigen. Diese werden anschließend mit den subjektiven Darbietungspräferenzen verglichen. Abschließend werden Effekte und Interaktionen der resultierenden präferierten RV-Gruppen betrachtet.

Subjektives Empfinden zur RV-Unterstützungswirkung: Die Gebrauchsqualitätskategorie funktionale Nutzerzufriedenheit wird über zwei quantitative Befragungen erfasst. Die erste Befragung richtet sich an das Empfinden nach der wahrgenommenen Unterstützungshöhe der Reizvariationen, d. h. wie sehr die dargestellten Reizvariationen bei der Ausführung der Blickgesten den Versuchspersonen helfen. Dabei kann festgestellt werden, dass alle Teilnehmer einen unterstützenden Effekt feststellen.

Darüber hinaus werden sehr deutliche Unterschiede hinsichtlich des empfundenen Unterstützungsgrades genannt. Die zweite Befragung bezieht sich auf die wahrgenommene Unterstützungsvarianz zwischen einzelnen Reizvariationen, d. h. wie sehr die Parametervariationen zwischen den Reizvariationen unterscheidbar sind. Es kann festgehalten werden, dass alle Versuchspersonen eine Varianz in der Unterstützung einzelner Reizvariationen feststellen. Abbildung 5.25 zeigt die Verteilung der Nennungen (Items von „keine“ bis „sehr viel“) beider Abfragen innerhalb der Kohorte.

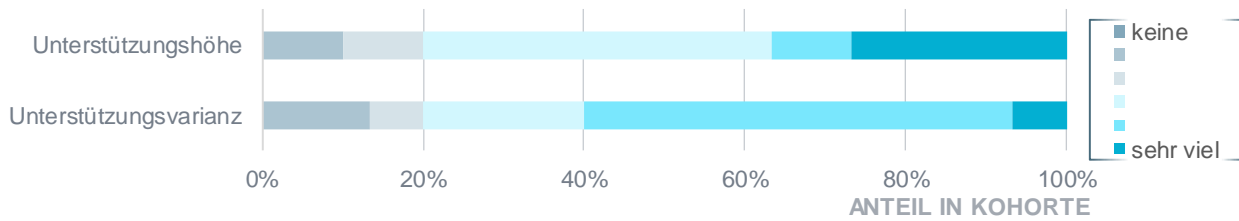


Abbildung 5.25: Empfundene Unterstützungshöhe (oben) und -varianz (unten)

Aus den Abfragen geht eindeutig hervor, dass eine visuelle Unterstützung in Form der Interaktionsrepräsentation dem Großteil der Versuchspersonen befürwortet wird. Um zu ermitteln welche Einstellungen innerhalb einzelner Parameter subjektiv bevorzugt werden, werden weiterführend die rangfolgenbasierten Präferenzen innerhalb der Gestaltungsparameter untersucht.

Die geringe Quote an n.b.-Nennungen, d. h. nicht beantwortbar, deutet darauf hin, dass die Versuchspersonen nicht nur eine Meinung zu der zuvor abgefragten Unterstützungshöhe und Unterstützungsvarianz haben, sondern auch die einzelnen Gestaltungsparameter der Reizvariation differenziert beurteilen können. Die Kennzeichnung der signifikanten Präferenzen beruht auf dem Chi-Quadrat-Test (Teststatistik siehe Anhang Tabelle A2).

Für das dargebotene Element wird die „Sakkadenstrecke“ tendenziell mit 53,3 % gegenüber dem „Rastpunkt“ 43,3 % präferiert. Das Darbietungs-Prinzip „dynamisch“ überwiegt mit einer präferierten Tendenz von 60 % gegenüber dem „statischen“ (33,3 %). Die Rangfolge der getesteten Abfolge zeigt eine deutliche Präferenz zur „schrittweisen“ RV-Darbietung (Chi-Quadrat; $df = 1$, $p = .002$ und somit $p \leq .01$).

Des Weiteren befindet sich keine Präferenz der Abfolgevariante „letzten Segment“ unter den Nennungen. Referenzierend auf einzelne Äußerungen der Versuchspersonen wird diese Reizvariationenabfolge als wenig hilfreich im Prozess der Ausführung empfunden, da die potenzielle Unterstützung durch das System erst bei nahezu abgeschlossener Ausführung visuell erfolgt.

Für den Parameter Größe, der für die „Sakkadenstrecke“ eine Breitenveränderung bedeutet, wird die Parameterstufe „schmal“ präferiert (Chi-Quadrat; $df = 1$, $p = .000$ und somit $p \leq .001$). Für den „Rastpunkt“ bedeutet dieser Parameter eine Durchmesseränderung. Bei den Nennungen wird eine Tendenz zu der Parameterstufe „groß“ festgestellt (56,7 % zu 36,7 %).

Die Präferenz der „Sakkadenstrecken“-Länge weist eine Tendenz zur Darbietung „teilweise“ auf. Bei der Bewertung der präferierten Helligkeit überwiegt die Abstufung „mittel“ (Chi-Quadrat; $df = 2$, $p = .000$ und somit $p \leq .001$). Aus den verbalen Rückmeldungen (3 Nennungen) geht hervor, dass eine zu helle Unterstützung leicht zu

einer Überblendung von wichtigen Informationsquellen führt und daher für den Orientierungs- und Informationsgewinnungsprozess als störend empfunden wird.

Die geringe Sättigung der Abstufung „dunkel“ führt möglicherweise vor hellerem Hintergrund zu einem zu geringen Hintergrundkontrast, was die unterstützende Wirkung neutralisiert. Bei dieser Rangfolgenbenennung ist die „Tendenz zur Mitte“ nicht außer Acht zu lassen, vgl. DÖRING & BORTZ [2016, S. 253]. Einzelne Versuchspersonen (2 Nennungen) beschreiben die Reizvariationen, welche mittels „Sakkadenstrecke“, „dynamisch“ dargeboten werden als störend, da die feste Ablaufgeschwindigkeit des Reizes ihrer persönlichen Blickgestenausführung nachlief. Dieses Verhalten zeigt einen möglichen Effekt der Darbietungsgeschwindigkeit auf, welcher nachfolgend ebenfalls betrachtet wird. In Abbildung 5.26 sind die Verteilungen der höchsten Ränge für jeden Gestaltungsparameter dargestellt.

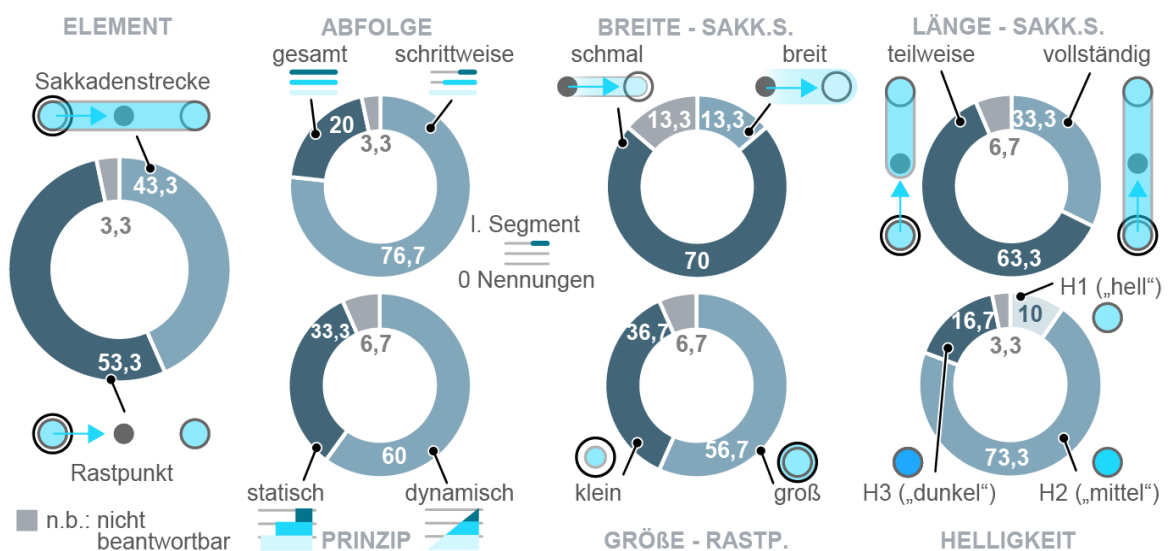


Abbildung 5.26: Prozentuale Verteilung in [%] innerhalb der Gestaltungsparameter

Aus den Nutzerpräferenzen der einzelnen Kategorien sind gesamtheitliche Reizvariationen ableitbar. Da die Präferenz der mehrheitlich genannten Sakkadenstrecke als Darbietungselement nicht statistisch signifikant ist, wird die präferierte Reizvariation mit Rastpunkt ebenfalls weiterführend untersucht. Tabelle 5.7 fasst die favorisierten Kategorien für beide Elemente zu je einer nutzerpräferierten Reizvariation zusammen und verweist auf den entsprechenden Stimuli-Schlüssel (vgl. Anhang Tabelle A4).

Diese werden im Folgenden mit der RV-Einordnung in Zusammenhang gebracht, die auf den objektiven Messungen der abhängigen Variablen (kurz AV, siehe Kapitel 5.1.2) beruht.












| Element | Abfolge | Prinzip | Breite /Größe | Länge | Helligkeit | Schlüssel |
|--|---|--|---|---|---|-----------------------|
|  Sakkadenstrecke |  schrittweise |  dynamisch |  schmal |  teilweise |  mittel | SD _P SA212 |
|  Rastpunkt |  schrittweise |  dynamisch |  groß | - |  mittel | RD _P SA22 |

Tabelle 5.7: Parameterzusammenführung in die präferierte Unterstützungsvarianten

Objektive Messung zur Nutzungseffizienz und Nutzungseffektivität: Für die Überprüfung der Haupthypothesen (H₁₁-H₁₆) sind vor allem die Reizvariationen relevant, welche neben einer hohen funktionalen Nutzerzufriedenheit auch in guten Ergebnissen bei den Messungen der objektiven Qualitäten Nutzungseffizienz und -effektivität resultieren. In Kapitel 4.4.3 wird bereits aufgezeigt, dass die unterschiedlichen Einflüsse der Gestaltungsparameter von deren spezifischen Kombinationen abhängen müssen. Ein inferenzielles, statistisches Verfahren zur Identifikation möglicher Haupteffekte durch einzelne Parameter wird nicht als zielgerichtet angesehen.

Daher werden zunächst Reizvariationen betrachtet, die zu einer objektiv messbaren Überperformanz bei der Interaktion mit dem Blickgesten-gesteuerten Interface führen. Für eine erste Eingrenzung werden die besten 20 Reizvariationen analysiert, d.h. kürzeste Zeit bzw. geringste Versuchsanzahl, für jede Messung einer abhängigen Variablen, das entspricht 18 % aller Reizvariationen (kurz AV_{x+}). Um zunächst den Effekt der Unterstützungswirkung über die gesamte Reizvariationengruppe zu erhalten, werden diese AV_{x+} statistisch mit den schlechtesten 20 Reizvariationen, d.h. Rang 90 bis 109 (kurz AV_{x-}) innerhalb der abhängigen Variablenmessung verglichen. Die *t*-Tests zwischen den AV_{x+/-} (Ø Reizvariationenmessungen pro Versuchsperson) resultieren für alle abhängigen Variablen in höchstsignifikanten Unterschieden (*t*-Test; *df* =29, *p* = .000 und somit *p* ≤ .001, vollständige Teststatistik siehe Anhang Tabelle A5).

Die Zuordnung der Reizvariationennummer zu deren Rangfolge innerhalb der einzelnen AV-Gruppe (AV_{x+/-}) ist im Anhang Tabelle A6 zu entnehmen (siehe Anhang Tabelle A4 bzgl. des Stimuli-Schlüssels der jeweiligen RV). Diese Ergebnisse bestätigen, dass weiterführend eine genauere Betrachtung der Reizvariationen innerhalb der Gruppe AV_{x+} sinnvoll ist. Um die Qualität bestimmten Reizvariationen übergreifend über verschiedene abhängige Variablen zu bestimmen, erfolgt zunächst eine qualitative Überprüfung von deren Vorkommen in den beiden Gruppen AV_{x+} und AV_{x-} (kurz AV_{x+/-}).

Die beiden nachfolgenden Abbildungen verschaffen einen Überblick zur qualitativen Betrachtung der AV-spezifischen Resultate innerhalb der beiden Gruppen AV_{x+/-}. Die AV_{x+/-} Interaktionszeiten (oben) und Gestenausführungszeiten (unten) sind

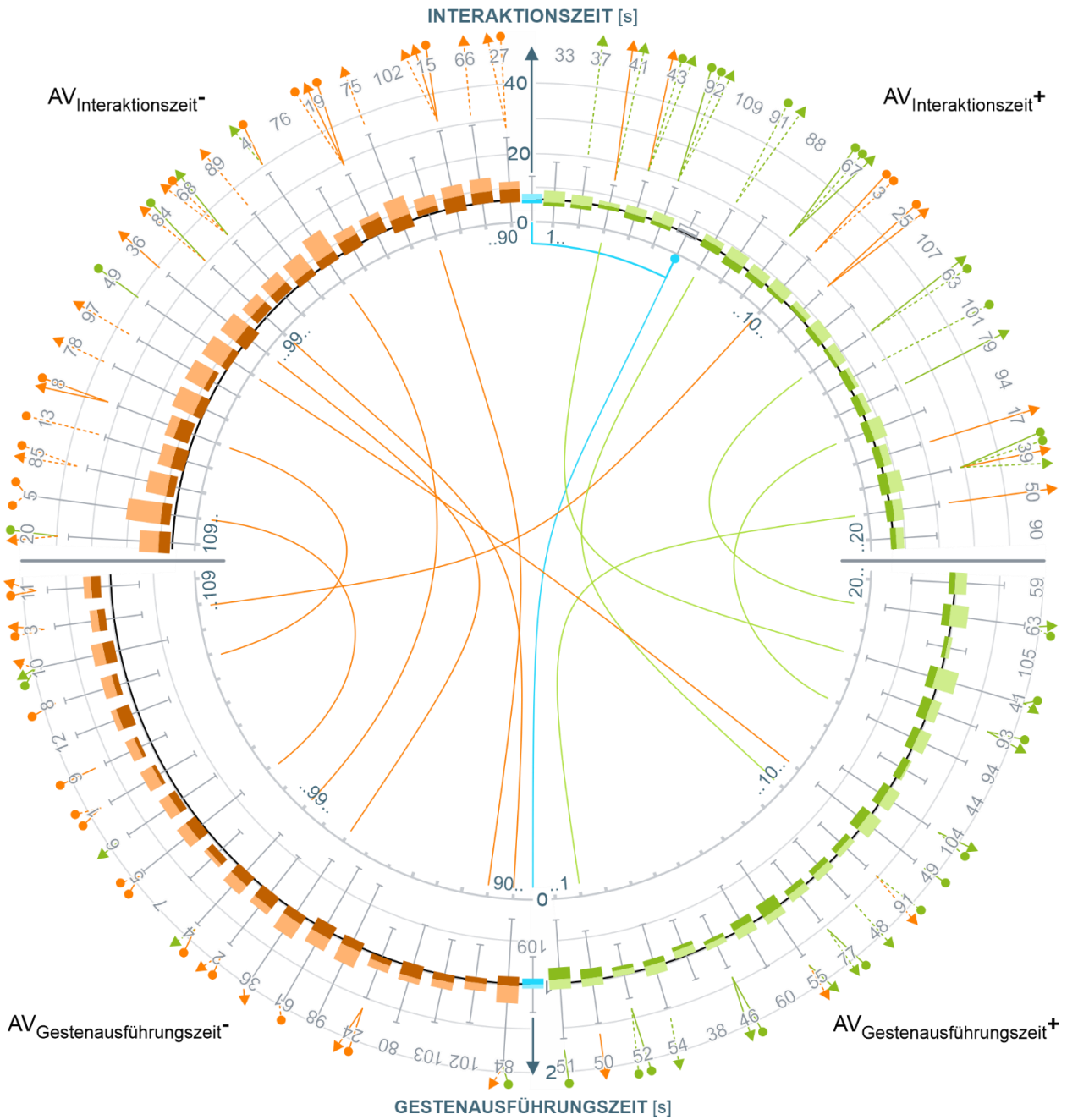
in Abbildung 5.27 dargestellt. Die $AV_{x+/-}$ validen Versuche im Bedienschnitt (oben), invaliden Versuche im Bedienschnitt (unten) sowie valide Versuche auf dem interaktiven Element (oben) und invalide Versuche auf dem interaktiven Element (unten) sind in Abbildung 5.28 dargestellt. Innerhalb dieser Abbildungen werden die Messungen als Box-Plots dargestellt.

Die grafische Abgrenzung der beiden Gruppen erfolgt zusätzlich durch farbliche Einteilung, d.h. die Box-Plots der AV_{x+} sind in Grün und die der AV_{x-} in Orange dargestellt. Die Referenzmessung (ohne Reizdarbietung) ist zwischen den jeweiligen AV_{x+} und AV_{x-} dargestellt (blauer Box-Plot). Befindet sich diese Messung innerhalb einer der jeweiligen abhängigen Variablengruppen, ist der Rang gekennzeichnet (grauer Box-Plot). Verlinkungen (grüne und orange Linien) innerhalb des Diagrammkreises repräsentieren das Vorkommen derselben RV in einer andere $AV_{x+/-}$ derselben Interfacequalitätskategorie (Nutzungseffizienz, -effektivität).

Die nach außen gerichteten Verlinkungen symbolisieren das Vorkommen in einer $AV_{x+/-}$ der anderen Kategorie. Bei dieser übergeordneten Betrachtung können Reizvariationen identifiziert werden, welche ausschließlich über verschiedene abhängige Variablen hinweg in den AV_{x+} bzw. AV_{x-} wiederzufinden sind. Bei weiterer Betrachtung werden auch Reizvariationen identifiziert, welche sich sowohl in den AV_{x+} als auch in den AV_{x-} bei verschiedenen abhängigen Variablen wiederfinden. Aus den Verlinkungen in der Abbildung 5.27 ist beispielsweise zu entnehmen, dass sich die Reizvariation d.h. RV-Nummer 41 auf Rang 3 der Interaktionszeiten auch für die abhängige Variable Gestenausführungszeit und die abhängige Variable invalide Versuche auf dem interaktiven Element unter den besten 20 Reizvariationen befindet, allerdings aber auch unter den schlechtesten 20 Reizvariationen für die abhängige Variable invalide Versuche im gesamten Bedienschnitt.

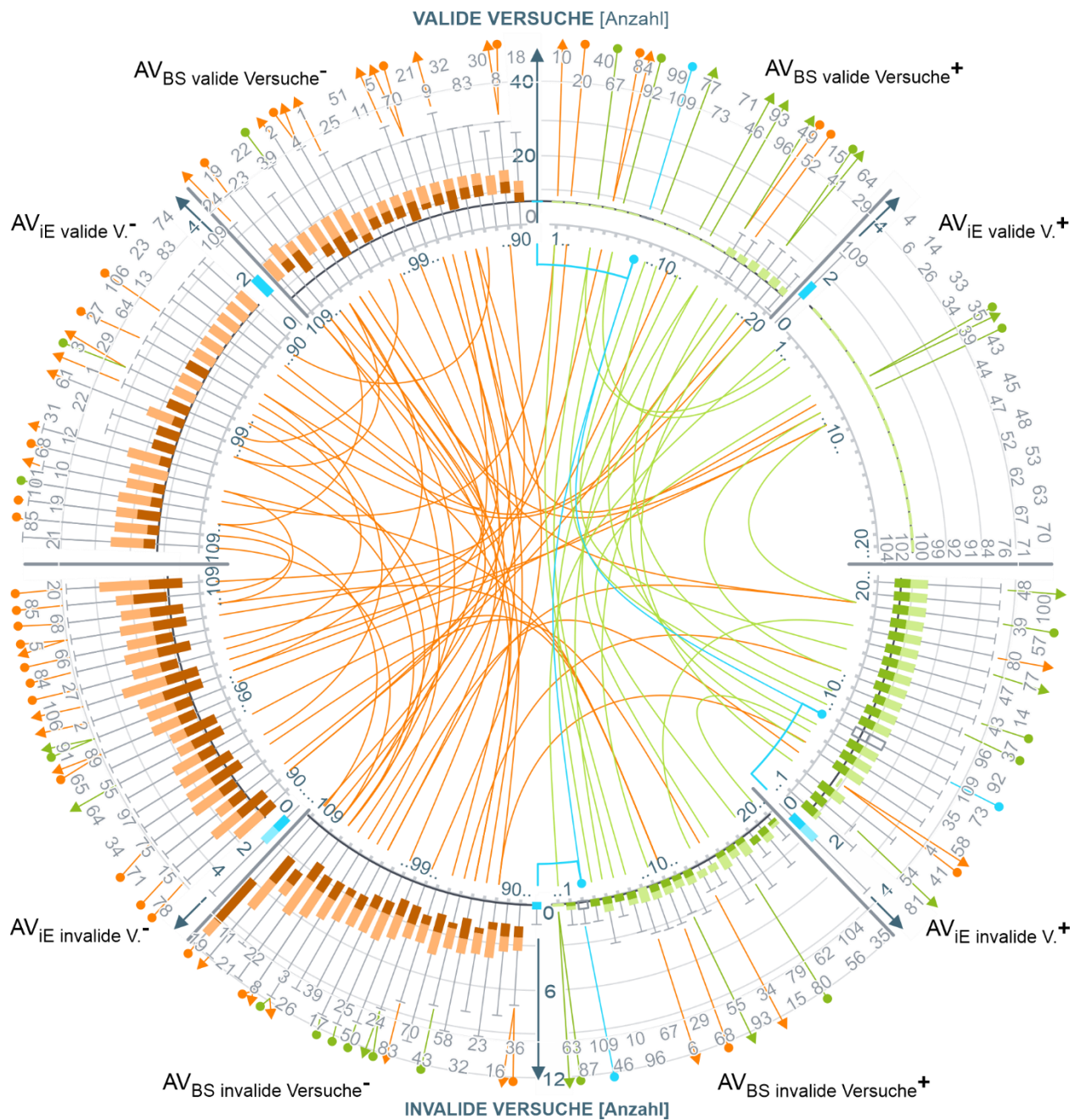
Dieses Verlinkungsprinzip gilt auch für die Abbildung 5.28. Jedoch findet sich beispielsweise die, für die abhängige Variable valide Versuche im Bedienschnitt, auf Rang 3 identifizierte Reizvariation hingegen in keiner der anderen $AV_{x+/-}$ Gruppen wieder.

Auf Grundlage der zuvor identifizierten höchst signifikanten Unterschiede zwischen den jeweiligen Gruppen AV_{x+} und AV_{x-} richtet sich die weitere Analyse daher auf die Reizvariationen, welche für möglichst viele abhängige Variablen in die Gruppe AV_{x+} eingestuft sind. Die exakte Identifikation der dabei weiter betrachteten Reizvariationen und das dafür verwendete Auswahlverfahren sind nachfolgend beschrieben.



| REIZVARIANTE | VORKOMMEN | |
|---|--|---|
| 33 Stimuli-Schlüssel | in AV zur Nutzungseffizienz (Abbildung 5.27) | in AV zur Nutzungseffektivität (Abbildung 5.28) |
| ■ in AV _x ⁺ | — in AV _x ⁺ | ●/▲ in AV _x ⁺ |
| ■ in AV _x ⁻ | — in AV _x ⁻ | ●/▲ in AV _x ⁻ |
| 1.. ..10.. ..20 RV-Rang in AV _x ⁺ | — Referenzmessung | ○ BS valide Versuche |
| 90.. ..99.. ..109 RV-Rang in AV _x ⁻ | — Median der Referenzmessung in AV _x | → BS invalide Versuche |
| REFERENZMESSUNG | | - - ○ iE valide Versuche |
| ■ in AV _x □ Rang in AV _x ^{+/-} | | - - ▶ iE invalide Versuche |
| iE interaktive Elemente BS Bedienschnitt | | |

Abbildung 5.27: RV-Vorkommen in AV_x^{+/-} der Kategorie Nutzungseffizienz



| REIZVARIANTE | VORKOMMEN | |
|---|---|---|
| 10 Stimuli-Schlüssel | in AV zur Nutzungseffizienz (Abbildung 5.28) | in AV zur Nutzungseffektivität (Abbildung 5.27) |
| ■ in AV _x ⁺ | — in AV _x ⁺ | ●/▲ in AV _x ⁺ |
| ■ in AV _x ⁻ | — in AV _x ⁻ | ●/▲ in AV _x ⁻ |
| 1.. ..10.. ..20 RV-Rang in AV _x ⁺ | — Referenzmessung | ○ Interaktionszeit |
| 90.. ..99.. ..109 RV-Rang in AV _x ⁻ | — Median der Referenzmessung in AV _x | → Gestenausführungszeit |
| REFERENZMESSUNG | | |
| ■ in AV _x | □ Rang in AV _x ^{+/-} | |
| ● iE interaktive Elemente | ■ BS Bedienschritt | |

Abbildung 5.28: RV-Vorkommen in AV_x^{+/-} der Kategorie Nutzungseffektivität

Zudem zeigt die qualitative Betrachtung auf, dass die Referenzmessungen in den meisten AV_{x+} Gruppen (Interaktionszeit, BS valide Versuche, BS invalide Versuche und iE invalide Versuche) jedoch in keiner einzigen AV_{x-}, aufzufinden sind. Diese guten Resultate der Referenzmessungen bestätigen, dass, obwohl einige Reizvariationen durchschnittlich bessere Ergebnisse aufweisen, sich die Messungen zwischen Referenzmessungen und den Reizvariationen innerhalb der AV_{x+} nur bei der AV_{Gestenausführungszeit+} und der AV_{iE valide Versuche+} statistisch signifikant unterscheiden (Teststatistik siehe Anhang Tabelle A6).

Die Tabelle 5.8 stellt die aufgeschlüsselten Referenzmessung und Reizvariationen in den jeweiligen AV_{x+} sowie deren Rang dar. Aus der qualitativen Betrachtung gehen zwei Qualitätsmerkmale für die Selektion dieser Reizvariationen hervor.

Ein Merkmal legt das häufige Vorkommen der Reizvariation in den AV_{x+} fest, dessen Entscheidungsgrenze durch ein Mindestvorkommen definiert wird. Für die Auswahl von performanten Reizvariationen, d.h. häufigstes Vorkommen in den AV_{x+}, wird ein Mindestvorkommen von 50 % über alle abhängigen Variablen (mindestens drei Vorkommen) definiert und in hellblau hervorgehoben. Dabei ist zu beobachten, dass Reizvariationen maximal vier Mal in den AV_{x+} vorkommen. Diese sind in dunkelblau hervorgehoben. Für eine bessere Übersicht sind alle RV-Nummern, welche das Mindestvorkommen nicht erfüllen, in der Tabelle ausgegraut.

Das Vorkommen in den AV_{x-} wird als ein zweites Qualitätsmerkmal herangezogen. Die Definition dieses Merkmals richtet sich dabei nach der zuvor getätigten Beobachtung der Referenzmessungen, welche in keiner der AV_{x-} vorkommen. Nach diesem haben performante Reizvariationen somit ebenfalls in keiner AV_{x-} vorzukommen. Reizvariationen welche dieses Qualitätsmerkmal nicht besitzen aber mehr als drei Mal in den AV_{x+} vorkommen, sind grau gekennzeichnet.

Eine Anmerkung gilt der Darstellung der abhängigen Variablen iE valide Versuche. Da 28 Reizvariationen bei der Ø-Messung für diese abhängige Variable den optimalen Wert von einem validen Versuch erreichen, spiegelt die Platzierung in der Tabelle nicht den tatsächlichen Rang wieder, sondern lediglich eine Auflistung der Reizvariationen mit aufzuweisenden Mindestvorkommen.

Der Rang der AV-bezogenen Referenzmessung (Stimuli-Schlüssel: 109, in gelb hervorgehoben) ist zur Einstufung der Reizvariationengruppe ergänzend in der rechten Spalte dargestellt.

| abhängige Variable | Rang in der AV _{x+} | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | Rang RV109 |
|----------------------------|------------------------------|----|-----|----|----|-----|----|-----|----|----|----|-----|-----|-----|----|----|----|-----|-----|----|------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | |
| Interaktionszeit | 33 | 37 | 41 | 43 | 92 | 109 | 91 | 88 | 67 | 3 | 25 | 107 | 63 | 101 | 79 | 94 | 17 | 39 | 50 | 90 | 6 |
| Gesten- ausführungszeit | 51 | 50 | 52 | 54 | 38 | 46 | 60 | 55 | 77 | 48 | 91 | 49 | 104 | 44 | 94 | 93 | 41 | 105 | 63 | 59 | 42 |
| BS val. Versuche | 10 | 20 | 40 | 67 | 84 | 92 | 99 | 109 | 77 | 73 | 71 | 46 | 93 | 96 | 49 | 52 | 15 | 41 | 64 | 29 | 8 |
| BS inval. Versuche | 63 | 87 | 109 | 46 | 96 | 10 | 67 | 6 | 29 | 68 | 55 | 93 | 80 | 34 | 15 | 79 | 56 | 104 | 62 | 35 | 3 |
| iE val. Versuche | 63 | 67 | 92 | 35 | 52 | 104 | 91 | 43 | 39 | | | | | | | | | | | | 75 |
| iE inval. Versuche | 81 | 54 | 41 | 4 | 58 | 35 | 73 | 109 | 92 | 96 | 37 | 43 | 14 | 47 | 77 | 80 | 57 | 39 | 100 | 48 | 8 |

Tabelle 5.8: Auflistung der Reizvariationen mit Mindestvorkommen und Referenzmessung für die einzelnen AV_{x+}

Die hervorgehobenen Reizvariationen aus Tabelle 5.8, welche die oben beschriebenen Qualitätsmerkmale aufweisen und deren spezifischen Gestaltungsparameterkombination sind nachfolgend in Tabelle 5.9 dargestellt.

In dieser Tabelle sind die ausgewählten Reizvariationen nach dem dargebotenen Element, Sakkadenstrecke (Tabelle 5.9, links) und Rastpunkt (Tabelle 5.9, rechts) aufgeteilt und nach den Parameterkategorien gruppiert. Bei den folgenden Erläuterungen kommt das in dieser Tabelle 5.9 eingeführte Abkürzungsprinzip ab sofort zur Anwendung.

| Sakkadenstrecke | | | | | | | Rastpunkt | | | | | |
|-----------------|---------|----------------|----------------|-------|--------|------------|--------------|---------|----------------|----------------|-------|------------|
| RV-Schlüssel | Element | Prinzip | Abfolge | Länge | Breite | Helligkeit | RV-Schlüssel | Element | Prinzip | Abfolge | Größe | Helligkeit |
| 41 | S | S _P | S _A | 1 | 1 | 2 | 92 | R | S _P | S _A | 1 | 2 |
| 46 | S | S _P | S _A | 1 | 2 | 1 | 93 | R | S _P | S _A | 1 | 3 |
| 48 | S | S _P | S _A | 1 | 2 | 3 | 96 | R | S _P | S _A | 2 | 3 |
| 63 | S | S _P | L _A | 2 | 1 | 3 | 104 | R | S _P | L _A | 2 | 2 |
| 67 | S | S _P | L _A | 2 | 2 | 1 | 77 | R | D _P | S _A | 2 | 2 |
| 52 | S | S _P | G _A | 1 | 1 | 1 | | | | | | |
| 35 | S | D _P | L _A | 1 | 2 | 2 | | | | | | |

| Element | Prinzip | Abfolge | Länge | Breite / Größe | Helligkeit |
|-----------------------------------|---|---|-----------------------|--------------------------|------------------|
| S: <u>S</u> akkadenstrecke | S_p: <u>s</u> tatisch | G_A: <u>g</u> esamt | 1: teilweise | 1: schmal / klein | 1: hell |
| R: <u>R</u> astpunkt | D_p: <u>d</u> ynamisch | S_A: <u>s</u> chrittweise | 2: vollständig | 2: breit / groß | 2: mittel |
| | | L_A: <u>l</u> etztes Segment | | | 3: dunkel |

Tabelle 5.9: Aufschlüsselung der RV (gruppiert) sortiert nach Darbietungselement

Die Mehrzahl dieser ausgewählten Reizvariationen (Anzahl jeweils in Klammern) weist sowohl beim Element „Sakkadenstrecke“ (6) als auch „Rastpunkt“ (4) das Darbietungsprinzip „statisch“ (S_P) auf. Dahingegen kommt jeweils nur eine Reizvariation mit

Darbietungsprinzip „dynamisch“ (D_P) vor. Bei der „Sakkadenstrecke“ teilen sich die Reizvariationen mit „statischem“ Darbietungsprinzip bzgl. der Abfolge in Varianten mit gesamt (G_A , 1), „schrittweise“ (S_A , 3) und Darbietung „letztes Segment“ (L_A , 2) auf. Eine interessante Beobachtung ist, dass bei den darin vorkommenden „schrittweisen“ Reizvarianten ausschließlich die Längeneinstellung „teilweise“ vorkommt, wohingegen Reizvariationen mit der Abfolge „letztes Segment“ nur die Längeneinstellung „vollständig“ beinhalten.

Auch bei den Reizvariationen auf Basis des Elements „Rastpunkt“ überwiegt die Abfolge „schrittweise“ (S_A , 4) gegenüber der Abfolge „letztes Segment“ (L_A , 1). Bei beiden elementsortierten Reizvariationengruppen ist weder eine überwiegend vorkommende Größenstufe noch eine Breitenstufe erkennbar. Dasselbe gilt für die Parametereinstellung der Helligkeit. Lediglich bei den Reizvariationen mit Element „Rastpunkt“ ist festzustellen, dass keine Reizvariationen mit der Parametereinstellung „hell“ innerhalb der ausgewählten Gruppe vorkommen.

Ein direkter Vergleich mit der vorab festgestellten Nutzerpräferenz der visuellen Interaktionsdarbietung (vgl. Tabelle 5.7) zeigt deutlich, dass der Stimuli SD_PSA212 (Reizvariation 5) in keiner der AV_{x+} zu finden ist. Wohingegen der Stimuli RD_PSA22 (Reizvariation 77) sich für die Gestenausführungszeit, die validen Versuche im Bedienschnitt und die invaliden Versuche auf dem interaktiven Element in den AV_{x+} befindet. Gerade die grundsätzliche Diskrepanz zwischen dem bevorzugten Darbietungsprinzip „dynamisch“ und dem Fehlen der korrespondierenden Reizvariationen innerhalb der AV_{x+} weist auf eine Unstimmigkeit zwischen subjektiver Präferenz und objektiven Messungen hin. Dieser Vergleich verdeutlicht, dass sich das gesamtheitliche Nutzerempfinden und die über die beschriebenen Qualitätsmerkmale identifizierten performanten Reizvariationen durchaus unterscheiden.

Auf diese Beobachtung wird in Kapitel 5.3.5 in weiteren Analysen genauer eingegangen. Um das identifizierte Vorkommen der performanten Reizvariationen in $AV_{x+/-}$ in Verbindung mit existierenden Effekten zu bringen, werden zunächst die übergeordneten Gestaltungsparametergruppen der ausgewählten Reizvariationen betrachtet.

Beruhend auf den Nutzerpräferenzen und der Reizvariationenauswahl in Tabelle 5.7 sind nachfolgend in Abbildung 5.29 die relevanten Reizvariationengruppen aufgelistet.

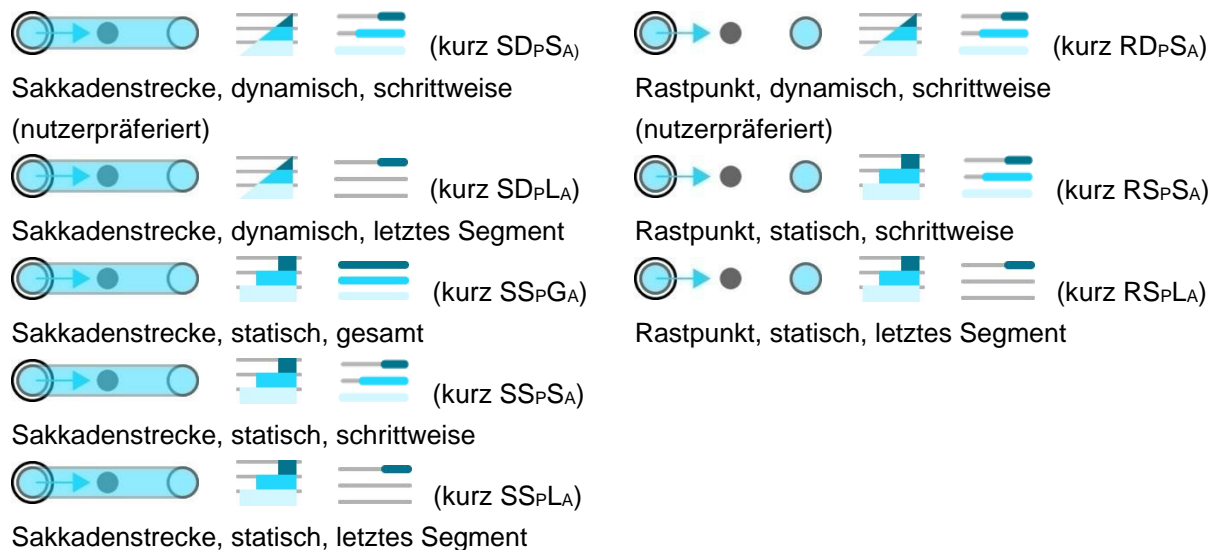


Abbildung 5.29: Prinzipielle Darstellung der relevanten Reizvariationengruppen

Im Folgenden werden die Ergebnisse der ausgewählten Reizvariationengruppen beschrieben. Das Vorhandensein von extremen Ausreißern ist gekennzeichnet und deren Werte im Anhang Tabelle A7 aufgelistet. Die vollständigen Ergebnisse sind zusammen mit der Homogenitätsprüfung der Varianzen (Mauchly-Test) und ggf. Korrekturfaktoren der Sphärizität im Anhang in den Tabellen A8-A21 zu finden.

Die Ergebnisse der abhängigen Variablenmessungen sind für jede Reizvariationengruppe (umklammert) in der Bewertungskategorie Nutzungseffizienz (linker Klammerteil) und Nutzungseffektivität (rechter Klammerteil) untergliedert. Nachfolgend wird ausschließlich auf inferenziell signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Reizvariationen eingegangen. Zunächst werden die Ergebnisse der Reizvariationen in Gruppen der jeweiligen Darbietungsmerkmalskombination (Element, Prinzip, Abfolge) eingeteilt und untersucht.

Anschließend findet eine Untersuchung nach den reizintensitätsbezogenen Gestaltungsparametergruppen (Helligkeit, Breite, Länge) statt.

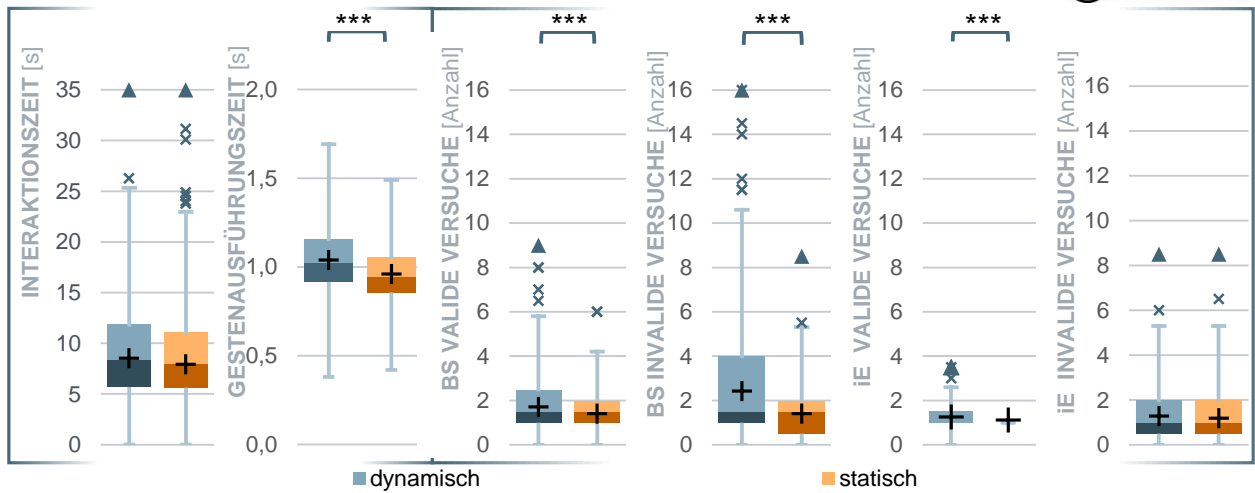
RV-Gruppen mit Element – „Sakkadenstrecke“: Beim Vergleich der „dynamischen“ und „statischen“ Reizvariationen, welche die „Sakkadenstrecke“ als Darbietungselement verwenden, zeigt sich sowohl für die abhängigen Variablen zur Bewertung der Nutzungseffizienz als auch der Nutzungseffektivität eine eindeutige Präferenz zu „statischen“ Reizvariationen. Diese Varianten zeichnen sich unter anderem durch kürzere Gestenausführungszeiten („dynamisch“: Ø 1,04 s; „statisch“: Ø 0,96 s) und geringere BS valide Versuche und iE valide Versuche aus (Abbildung 5.30, oben). Besonders deutlich ist der Unterschied jedoch bei den BS invalide Versuche. Bei diesen unterscheidet sich

die Versuchsanzahl „dynamischer“ Reizvariationen \bar{O} 2,43 und „statischer“ Varianten \bar{O} 1,4 deutlich.

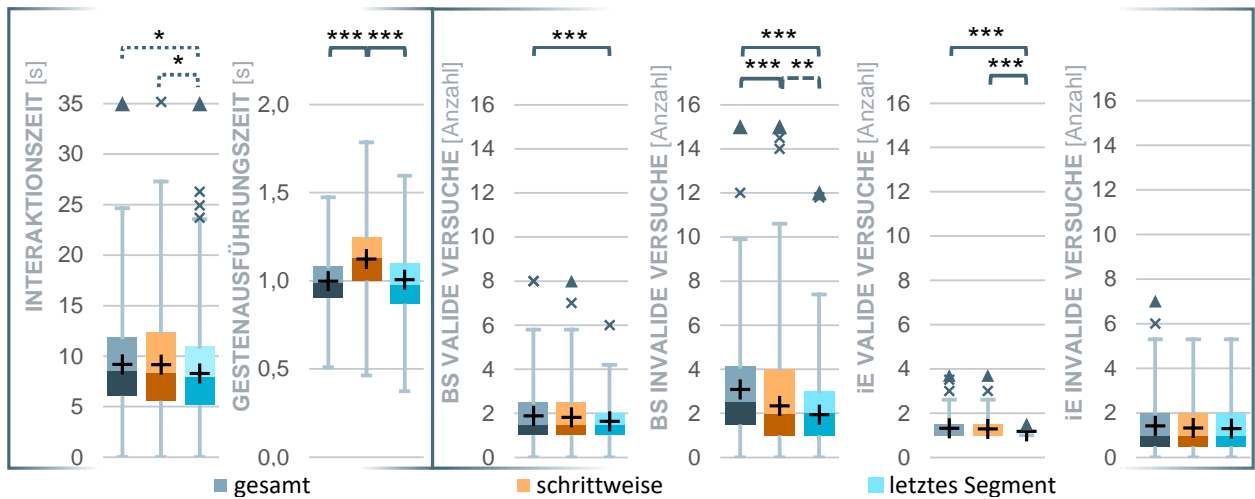
Jedoch resultieren die Messungen bezüglich Nutzungseffizienz und Nutzungseffektivität der zuvor identifizierten, nutzerpräferierten Reizvariation („Sakkadenstrecke“, „dynamisch“, „schrittweise“, SD_{PSA}) in keinen Ergebnissen, welche ausreichend für eine Platzierung innerhalb der AV_{x+} sind. Dahingegen finden Reizvariationen mit der Abfolge „letztes Segment“ (SD_{PLA}) sich in den AV_{x+} wieder. Für das Darbietungsprinzip „Sakkadenstrecke“, „dynamisch“ zeigt die RV-Abfolgevariante „letztes Segment“ bei allen abhängigen Variablen außer bei der Variablen iE invalide Versuche die besten Ergebnisse (siehe Abbildung 5.30, Mitte).

Die Resultate der Abfolgevarianten des aus der statistischen Auswertung präferierten „statischen“ Darbietungsprinzips zeigen ein ähnliches Bild (Abbildung 5.30, unten). Zugehörige Reizvariationen mit Abfolge „letztes Segment“ erweisen sich zum einen bei der Versuchsanzahl BS invalide Versuche als statistisch geeigneter („gesamt“: \bar{O} 1,65; „schrittweise“: \bar{O} 1,71; „letztes Segment“: \bar{O} 1,26 Versuche), zum anderen stellt sich die Abfolge „schrittweise“ bei einer AV-übergreifenden Betrachtung ebenfalls als geeignet heraus. Gerade bei der abhängigen Variablen Gestenausführungszeit führt diese Einstellung zu kürzeren Zeiten als die Abfolge „letztes Segment“ („gesamt“: \bar{O} 0,94 s; $\sigma = 0,018$ s; „schrittweise“: \bar{O} 0,96 s; $\sigma = 0,013$ s; „letztes Segment“: \bar{O} 0,99; $\sigma = 0,02$ s). Die Reizvariationen mit „statisch“, „schrittweiser“ Darbietung resultieren in einer niedrigeren Versuchsanzahl von iE invaliden Versuchen als die Reizvariationen mit „statisch“, „letztes Segment“ Darbietung (Abbildung 5.30, unten). Jedoch erzielten bei den BS validen Versuchen die Reizvariationen mit der Abfolge „letztes Segment“ die geringsten Versuche („gesamt“: \bar{O} 1,48; „schrittweise“: \bar{O} 1,46; „letztes Segment“: \bar{O} 1,39 Versuche). Die Reizvariationen mit der Abfolge „gesamt“ erzielten zwar in den oben genannten AV-Messungen ebenfalls gute Ergebnisse, weisen aber deutlich schlechtere Ergebnisse bei den Messungen BS invalide Versuche und iE valide Versuche auf.

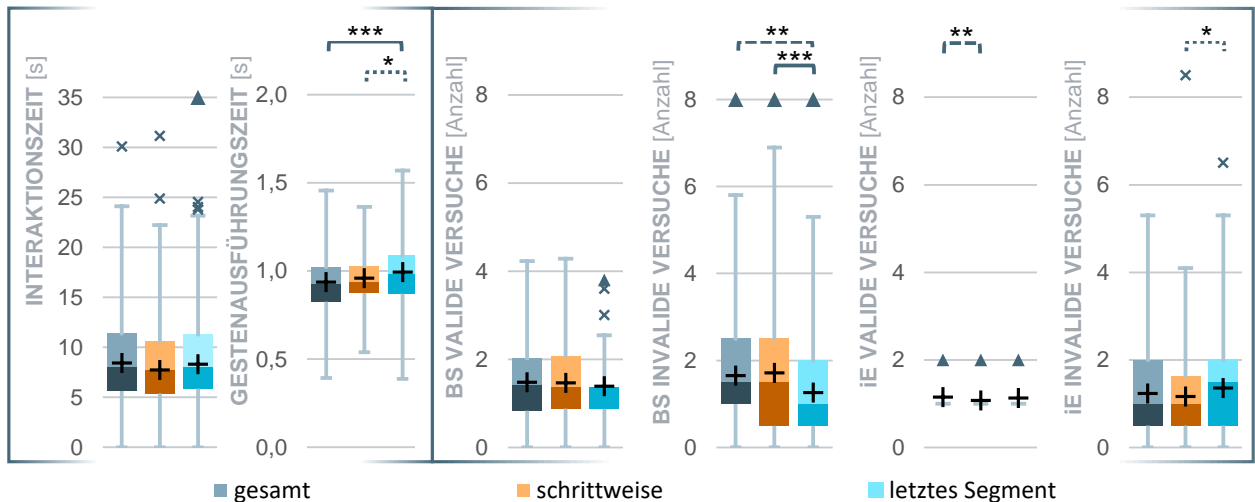
RV-Gruppe: Element – Sakkadenstrecke (S)



RV-Gruppe: Element – Sakkadenstrecke, Darbietungsprinzip – dynamisch (SD_P)



RV-Gruppe: Element – Sakkadenstrecke, Darbietungsprinzip – statisch (SS_P)



+ arith. Mittel × Ausreißer ▲ extreme Ausreißer $p \leq .05$ ** $p \leq .01$ *** $p \leq .001$

Abbildung 5.30: Ergebnisse der Gestaltkategorien: Prinzip (S, oben) und Ablauf (SD, Mitte und SS, unten)

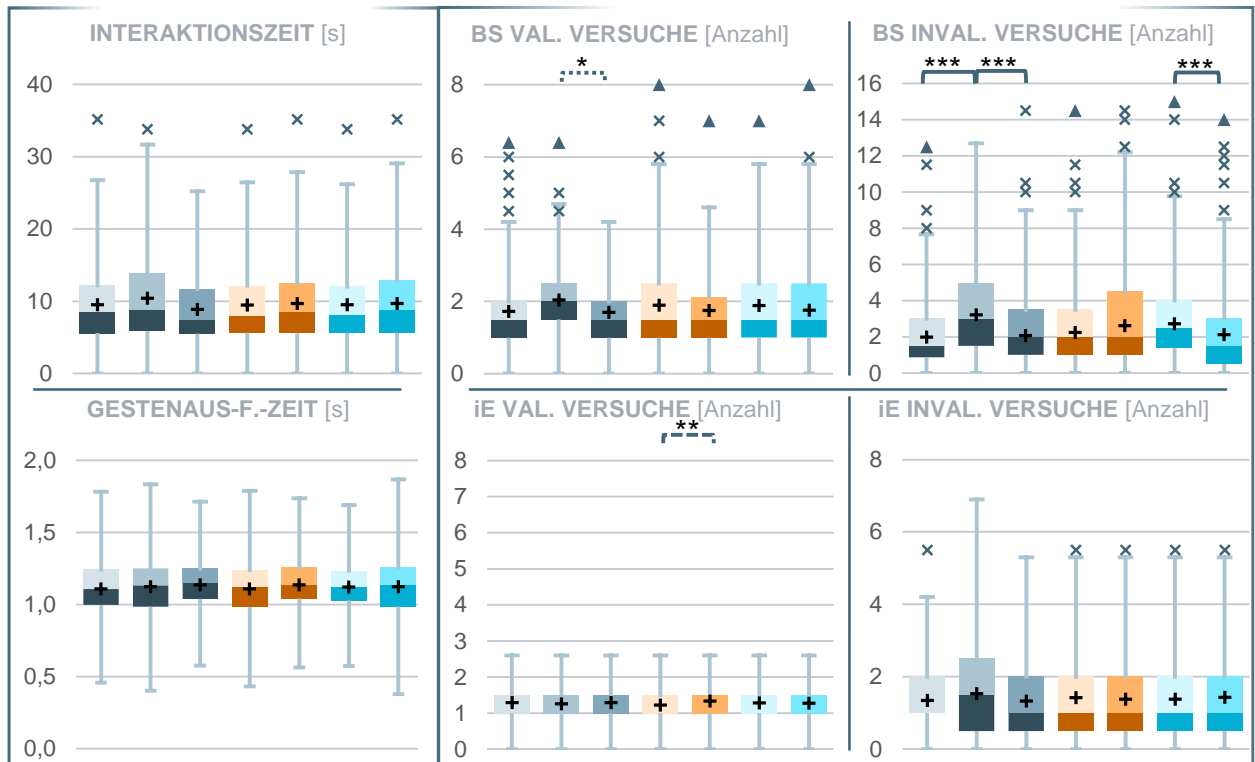
Gestaltungsparametergruppen – „Sakkadenstrecke“; „dynamisch“: Eine auffällige Beobachtung ist, dass sowohl für die nutzerpräferierte schrittweise als auch für die objektiv präferierte Abfolge „letztes Segment“ kein Effekt der Reizintensitätsvariationen auf die Nutzungseffizienz (abhängige Variablen: Interaktionszeit und Gestenausführungszeit) existiert. Abbildung 5.31 veranschaulicht die Ergebnisse.

SD_PSA: Bei der „schrittweisen, dynamischen“ „Sakkadenstrecke“, welche der subjektiven Nutzerpräferenz entspricht, stellt sich die Helligkeitsstufe „dunkel“ geeigneter als andere Helligkeitsstufen heraus. Begründbar ist dies anhand der geringsten Versuchsanzahl BS invalide Versuche und der besseren Ergebnisse bei den BS valide Versuche als die Helligkeitsstufe „mittel“. Bei den BS invalide Versuche führt die Längeneinstellung zu einer „teilweisen“ „Sakkadenstrecke“ zu besseren Ergebnissen („vollständig“: Ø 2,72 zu „teilweise“: Ø 2,12 Versuchen). Lediglich die Breiteneinstellung „schmal“ zeigt einen signifikanten Effekt bei den iE valide Versuche („schmal“: Ø 1,22; „breit“: Ø 1,33 Versuche).

SD_PLA: Bei der Abfolge „letztes Segment“ resultiert die Helligkeitseinstellung „mittel“ in den geringsten Versuchsanzahlen, im Gegensatz zu den Reizvariationen mit derselben Helligkeitsstufe der Gruppe SD_PSA. Bei den BS valide Versuche resultiert diese Parametereinstellung in der geringsten Versuchsanzahl. Darüber hinaus sind keine weiteren signifikanten Unterschiede zwischen den Helligkeitsstufen zu beobachten.

Der Parameter Breite resultiert tendenziell für die Stufe „breit“ bei BS valide Versuche und signifikant bei BS invalide Versuche („schmal“: Ø 2,28; „breit“: Ø 1,87) in besseren Ergebnissen. Auch bei dieser Abfolgevariante resultieren Reizvariationen mit „Sakkadenstrecke“, „teilweise“ für BS valide Versuche („vollständig“: Ø 1,84; „teilweise“: Ø 1,48) und BS invalide Versuche („vollständig“: Ø 2,74; „teilweise“: Ø 1,41) in einer niedrigeren Versuchsanzahl. Bei der Reizvariationengruppe SD_PLA ist allerdings kein Effekt der Reizintensitätsparameter auf die Ergebnisse der iE validen Versuche und iE invaliden Versuche nachweisbar.

RV-Gruppe: Element – Sakkadenstrecke,
Darbietungsprinzip – dynamisch, Ablauf – schrittweise (SD_{PSA})



RV-Gruppe: Element – Sakkadenstrecke,
Darbietungsprinzip – dynamisch, Ablauf – letztes Segment (SD_{PLA})

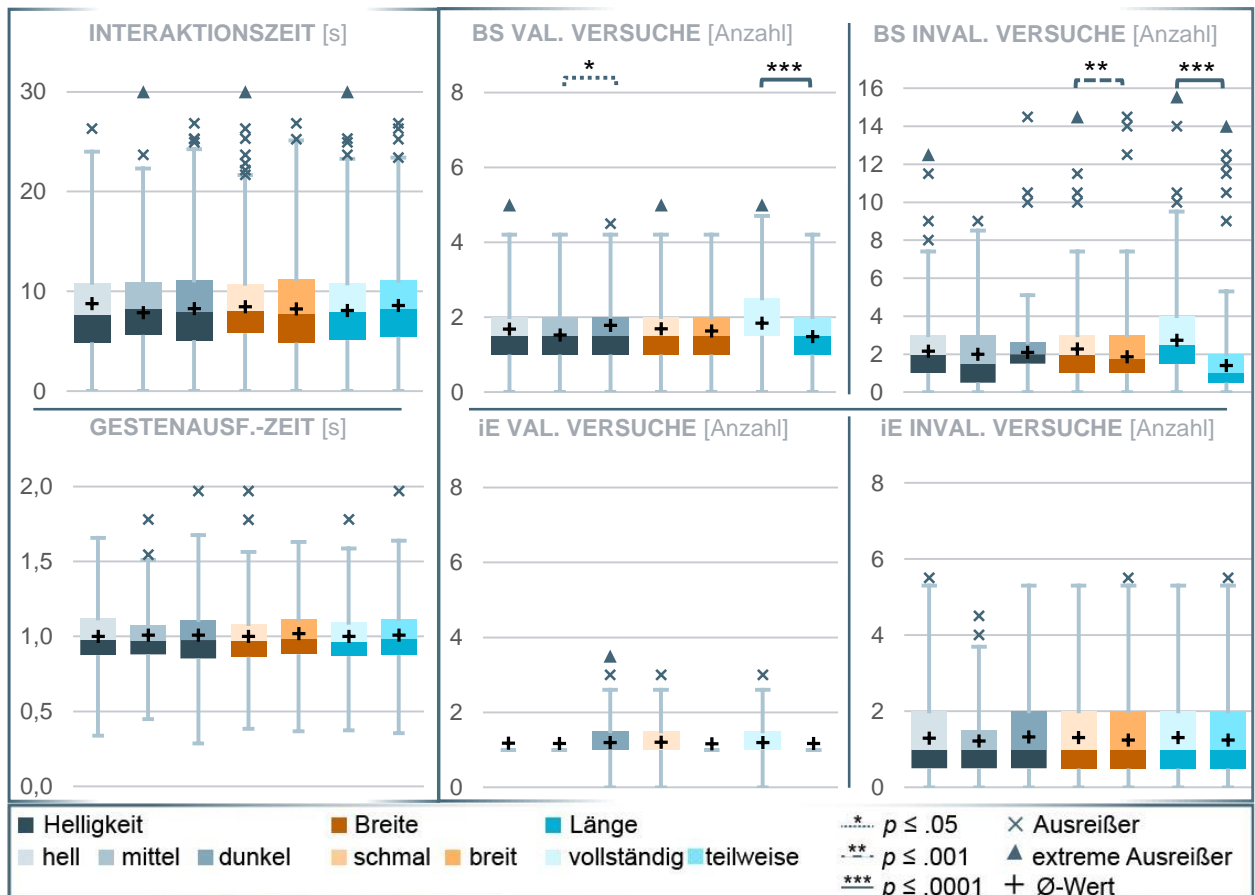


Abbildung 5.31: Ergebnisse der SD_{PSA} (oben) und SD_{PLA} (unten)

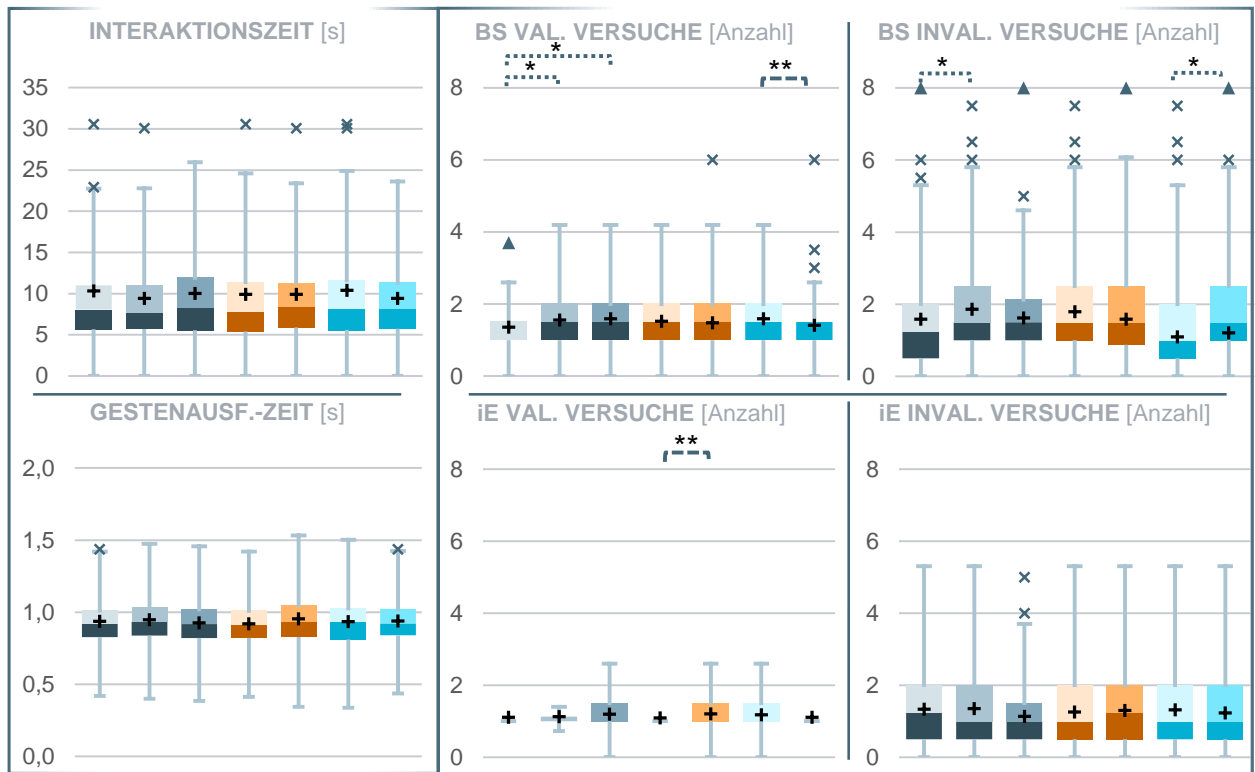
Gestaltungsparametergruppen: „Sakkadenstrecke“ – „statisch“: Wie bei den „dynamischen“ Gestaltungsparametergruppen hat auch bei den „statischen“ Gruppen die Veränderung der Reizintensität über die Gestaltungsparameter keinen nachweisbaren Effekt auf die abhängige Variable der Nutzungseffizienz.

SS_PGA: Bei den BS validen Versuchen („hell“: Ø 1,36; „mittel“: Ø 1,55; „dunkel“: Ø 1,59) und BS invaliden Versuchen („hell“: Ø 1,58; „mittel“: Ø 1,79; „dunkel“: Ø 1,62) erzielt die Helligkeitsstufe „hell“ die besten Ergebnisse. Die Variation des Reizes durch Helligkeitsänderung wirkt sich allerdings nicht auf die iE validen Versuche und iE invaliden Versuche aus. Die Veränderung der Breitenstufe zeigt lediglich bei den iE validen Versuchen einen Effekt („schmal“: Ø 1,09; „breit“: Ø 1,2). Die Ergebnisse der Gestaltungsparametervariation der Länge zeigt keinen eindeutigen Effekt. Bei der abhängigen Variable BS valide Versuche führt eine „teilweise“ Darbietung und bei der abhängigen Variable BS invalide Versuche eine „vollständige“ Darbietung zu besseren Ergebnissen (Abbildung 5.32, oben).

SS_PSA: Im Gegensatz zu der Abfolge „gesamt“ resultiert die Helligkeitseinstellung bei der „schrittweisen“ Abfolge in keinem eindeutigen Verhalten. Da sich für unterschiedliche abhängige Variablenmessungen verschiedene Helligkeitsstufen als geeignet erweisen, ist eine Interaktion mit weiteren Gestaltungsparametereinflüssen in Betracht zu ziehen. Die Darbietung „breit“ erweist sich vor allem bei der BS invalide Versuche („schmal“: Ø 1,96; „breit“: Ø 1,49) und den iE validen Versuchen („schmal“: Ø 1,13; „breit“: Ø 1,02) geeigneter als die Parameterstufe „schmal“ (Abbildung 5.32, unten). Die „teilweise“ Darbietung führt sowohl für die BS validen Versuche („vollständig“: Ø 1,74; „teilweise“: Ø 1,25) als auch für die BS invaliden Versuche („vollständig“: Ø 2,18; „teilweise“: Ø 1,29) zu einer niedrigeren Versuchsanzahl.

SS_PLA: Die Helligkeitsstufe „hell“ hat für die abhängige Variable BS invalide Versuche die höchste Versuchsanzahl zur Folge (siehe Abbildung 5.33). Für dieselbe abhängige Variable ergeben sich sowohl für eine „schmale“ Darbietung („schmal“: Ø 1,08; „breit“: Ø 1,48) als auch eine vollständige Darbietung („vollständig“: Ø 0,74; „teilweise“: Ø 1,81) bessere Ergebnisse. Die Gestaltungsparametervariation „vollständige“ Darbietung führt auch zu weniger BS validen Versuchen („vollständig“: Ø 1,26; „teilweise“: Ø 1,55).

RV-Gruppe: Element – Sakkadenstrecke,
Darbietungsprinzip – statisch, Ablauf – gesamt (SS_PGA)



RV-Gruppe: Element – Sakkadenstrecke,
Darbietungsprinzip – statisch, Ablauf – schrittweise (SS_PSA)

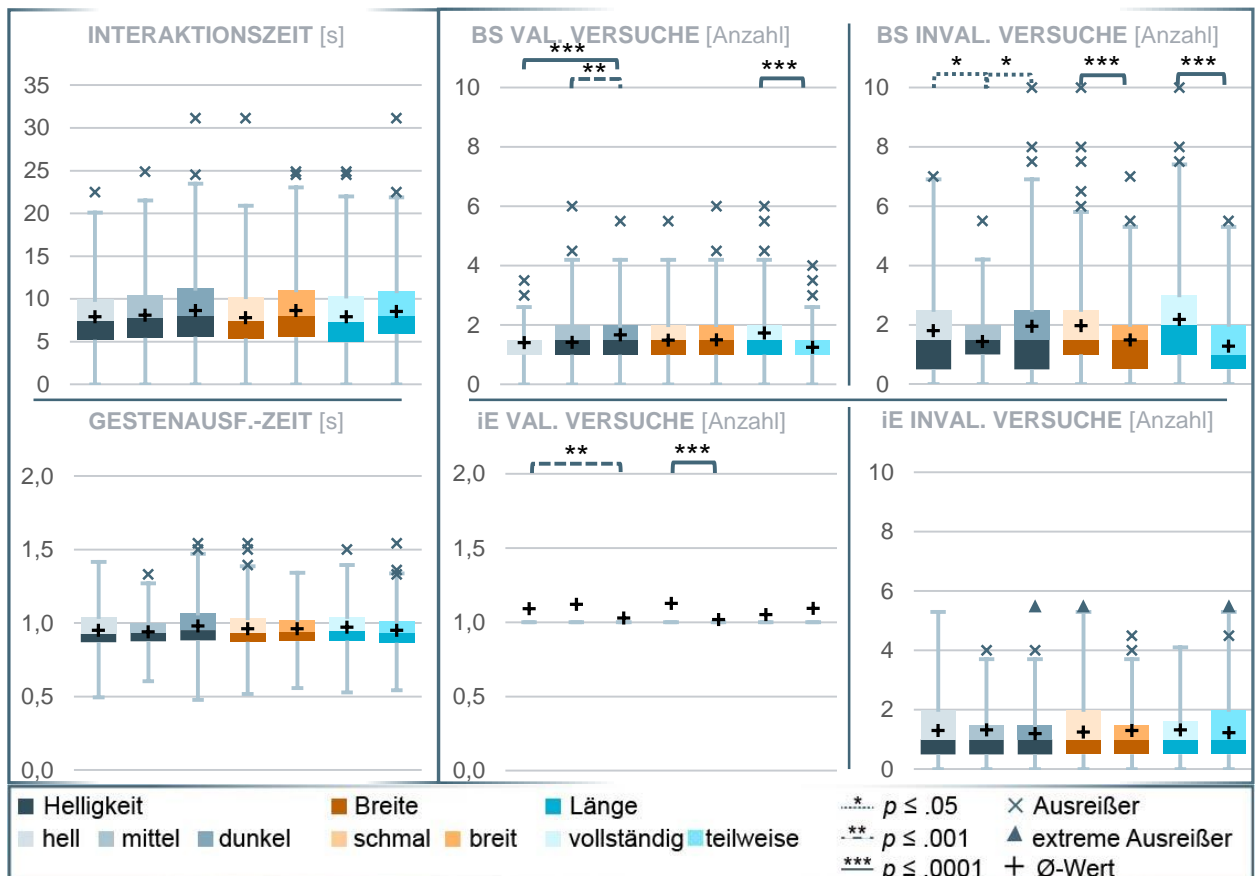


Abbildung 5.32: Ergebnisse der SS_PGA (oben), SS_PSA (unten)

RV-Gruppe: Element – Sakkadenstrecke,

Darbietungsprinzip – statisch, Ablauf – letztes Segment (SS_{PLA})

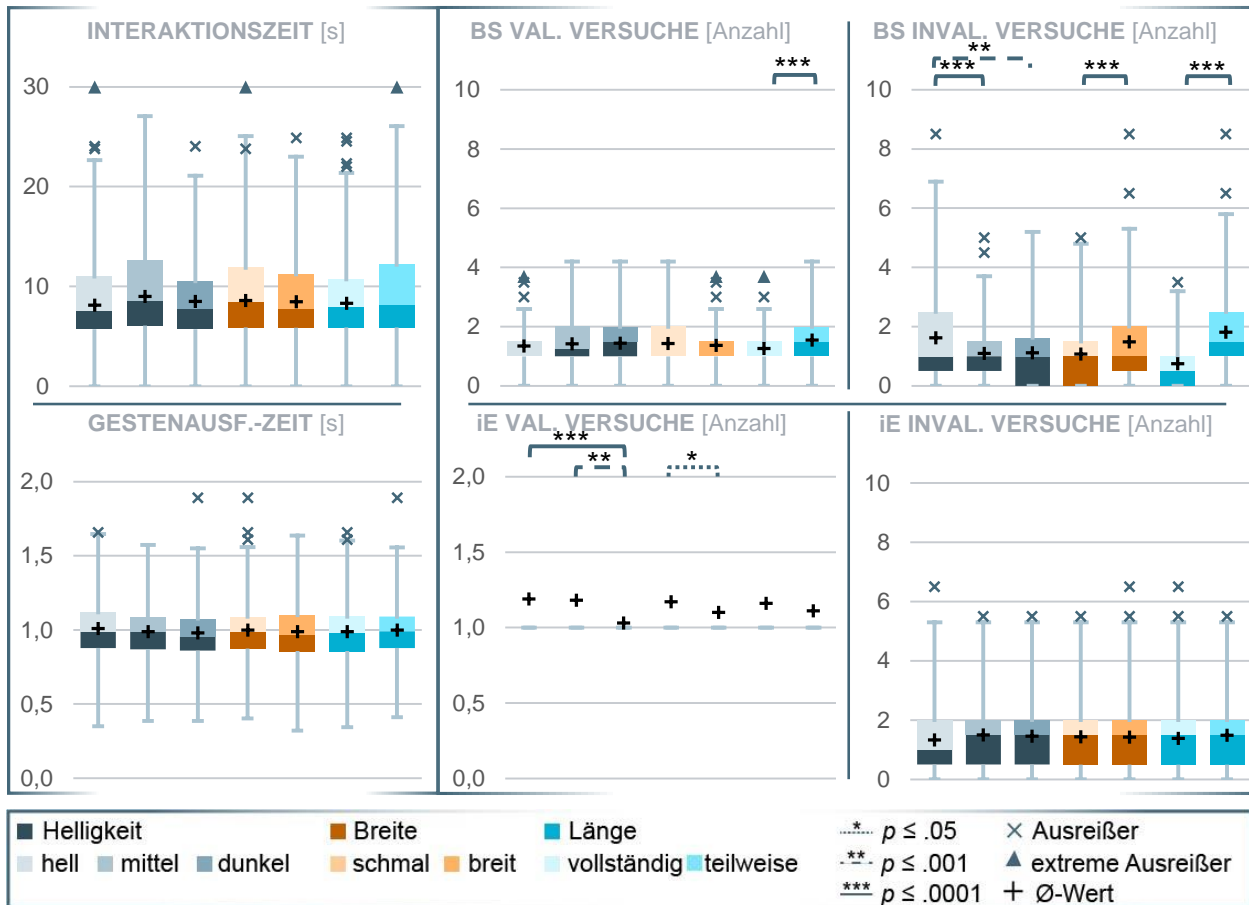


Abbildung 5.33: Ergebnisse der SS_{PLA}

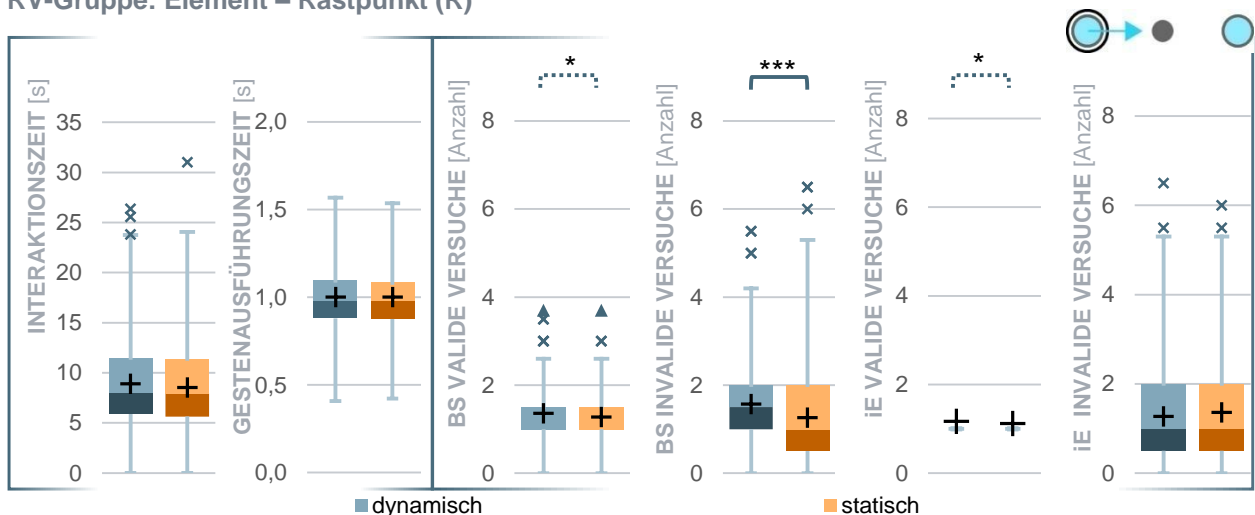
RV-Gruppen mit Element – „Rastpunkt“: Bei der Analyse der abhängigen Variablen-ergebnisse für das dargebotene Element „Rastpunkt“ ergeben sich für die abhängigen Variablen BS valide Versuche („dynamisch“: Ø 1,36; „statisch“: Ø 1,28), BS invalide Versuche („dynamisch“: Ø 1,57; „statisch“: Ø 1,26) und iE valide Versuche („dynamisch“: Ø 1,17; „statisch“: Ø 1,12) signifikante Unterschiede. Bei all diesen abhängigen Variablenmessungen führen Reizvariationen mit einem „statischen“ Prinzip zu einer geringeren Versuchsanzahl als die mit einem „dynamischen“ Prinzip. Diese Ergebnisse liegen in einem vergleichbaren Wertebereich wie die Ergebnisse der Reizvariationen mit dem dargebotenen Element „Sakkadenstrecke“ (Abbildung 5.34, oben).

In den Ergebnissen der Reizvariationengruppe mit „dynamisch“ dargestellten „Rastpunkten“ sind sowohl für die Nutzungseffizienz als auch für die Nutzungseffektivität signifikante Unterschiede festzustellen. Die Gestenausführungszeit für die Abfolge „gesamt“ ist signifikant länger als die Abfolge „schrittweise“ („gesamt“: Ø 1,02 s; „schrittweise“: Ø 0,97 s; „letztes Segment“: Ø 1 s). Die Reizvariationenabfolge „letztes Segment“ resultiert in der abhängigen Variablenmessung BS invalide Versuche in einer

geringeren Versuchsanzahl als die anderen Varianten („gesamt“: \bar{x} 1,84; „schrittweise“: \bar{x} 1,68; „letztes Segment“: \bar{x} 1,38; siehe Abbildung 5.34, unten).

Im Gegensatz zu den Ergebnissen der Reizvariationengruppe mit „Rastpunkt“, „dynamisch“ resultieren bei der Reizvariationengruppe mit „Rastpunkt“, „statisch“ die Abfolgen „schrittweise“ in signifikant kürzeren Interaktionszeiten („gesamt“: \bar{x} 9,01 s; „schrittweise“: \bar{x} 8,15 s; „letztes Segment“: \bar{x} 8,85 s) und Gestenausführungszeiten („gesamt“: \bar{x} 1,03 s; „schrittweise“: \bar{x} 0,95 s; „letztes Segment“: \bar{x} 0,98 s) als die Abfolge „gesamt“ (Abbildung 5.35). Hinsichtlich der Nutzungseffektivität erweisen sich auch die Reizvariationen mit Abfolge „schrittweise“ bei den abhängigen Variablen BS invalide Versuche („gesamt“: \bar{x} 1,56; „schrittweise“: \bar{x} 1,13; „letztes Segment“: \bar{x} 1,18) und iE valide Versuche („gesamt“: \bar{x} 1,15; „schrittweise“: \bar{x} 1,05; „letztes Segment“: \bar{x} 1,17) als geeigneter.

RV-Gruppe: Element – Rastpunkt (R)



RV-Gruppe: Element – Rastpunkt, Darbietungsprinzip – dynamisch (RD_P)

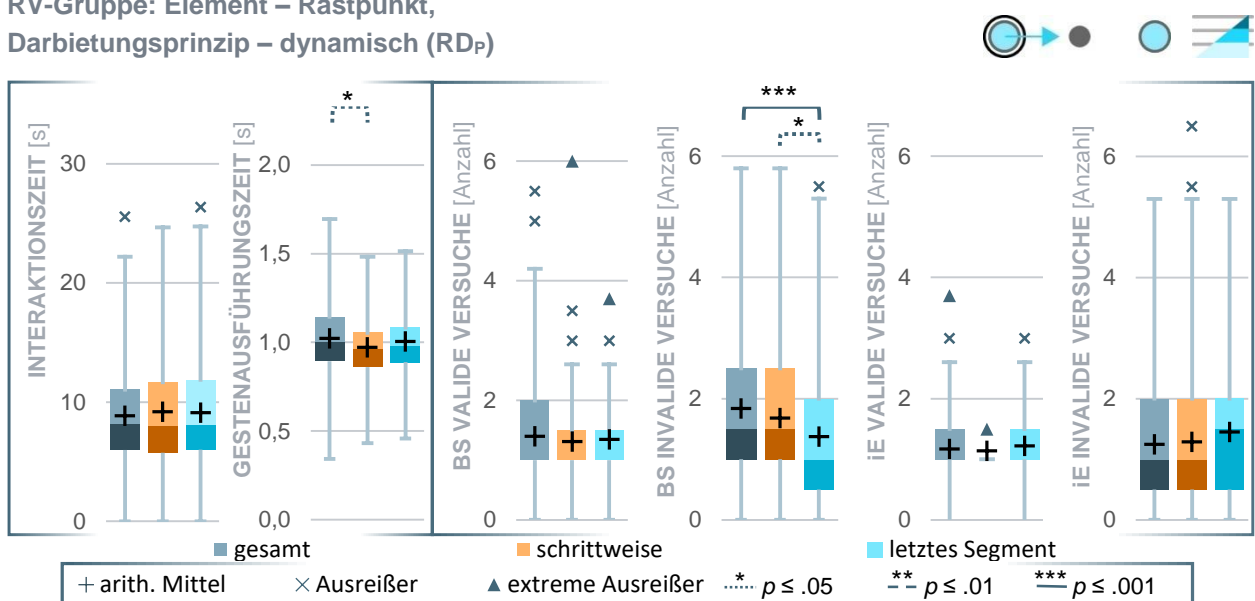


Abbildung 5.34: Ergebnisse der Gestaltkategorien: Prinzip (R, oben) und Ablauf (RD_P, unten)

RV-Gruppe: Element – Rastpunkt,
Darbietungsprinzip – statisch (RS_P)

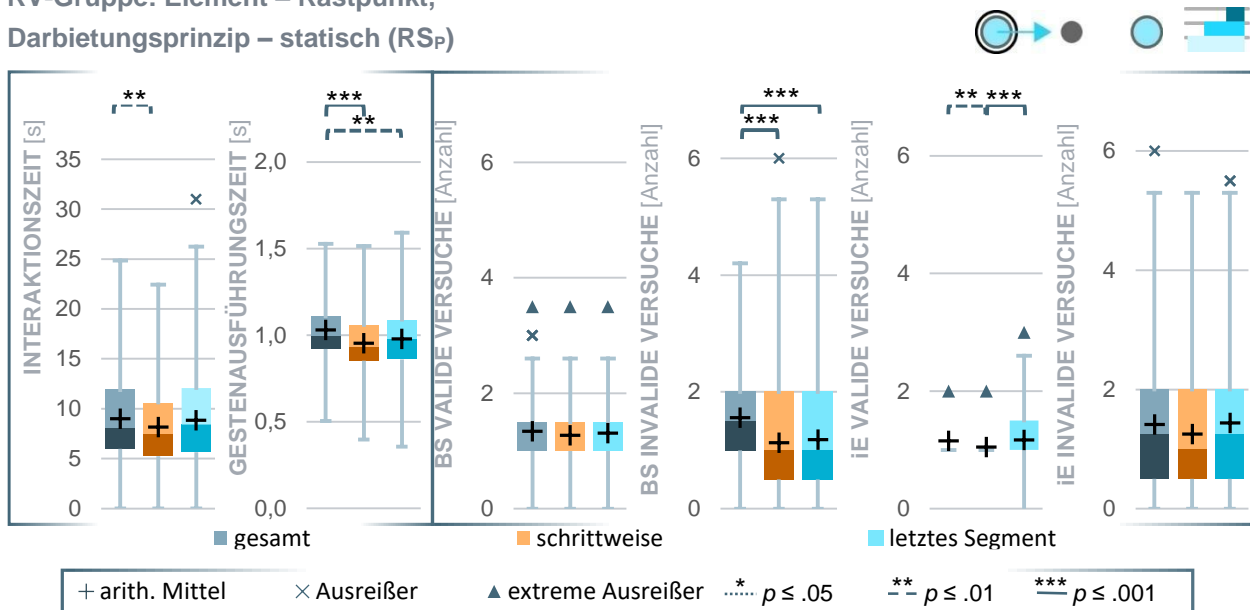


Abbildung 5.35: Ergebnisse der Gestaltkategorien: Ablauf (RS_P)

Gestaltungsparametergruppen: „Rastpunkt“ – „dynamisch“ / „statisch“: Die Ergebnisse dieser Reizvariationengruppen zeigen, dass sowohl Effekte auf die Nutzungseffizienz als auch auf die Nutzungseffektivität nachweisbar sind (vgl. Abbildung 5.36 und Abbildung 5.37).

RD_PSA: Bei der Betrachtung der Nutzungseffizienz ist ein signifikanter Unterschied der Messergebnisse in Bezug auf die Interaktionszeit zwischen Reizvariationen der Helligkeitsstufen „mittel“ und „dunkel“ („hell“: Ø 8,96 s; „mittel“: Ø 8,24 s; „dunkel“: Ø 10,46 s) zu erkennen. Bei den abhängigen Variablenmessungen der Nutzungseffektivität zeigt die Helligkeitsstufe „mittel“ bei den BS validen Versuchen („hell“: Ø 1,32; „mittel“: Ø 1,19; „dunkel“: Ø 1,44) die besten Ergebnissen. Bei den iE validen Versuchen resultiert jedoch die Helligkeitsstufe „hell“ („hell“: Ø 1,02; „mittel“: Ø 1,25; „dunkel“: Ø 1,14) in signifikant besseren Ergebnissen als die anderen. Vor allem verdeutlichen die Ergebnisse der iE invaliden Versuchen („hell“: Ø 1,14; „mittel“: Ø 1,13; „dunkel“: Ø 1,59), dass die Helligkeitsstufe „dunkel“ die Nutzungseffektivität verschlechtert. Die dargebotene Größe des „Rastpunkts“ hat nur einen Einfluss auf die Versuchsanzahl bei der abhängigen Variablen BS invalide Versuche („klein“: Ø 1,42; „groß“: Ø 1,98).

RS_PSA: Die Interaktionszeit lässt sich bei der Reizvariationengruppe („Rastpunkt“, „schrittweise“, „statisch“) durch die Größenstufe „klein“ positiv beeinflussen („klein“: Ø 7,75 s; „groß“: Ø 8,77 s). Bei der Betrachtung der Nutzungseffektivität erweist sich die Helligkeitsstufe „dunkel“ für die abhängige Variable BS invalide Versuche als signifikant besser als die anderen Stufen („hell“: Ø 1,41; „mittel“: Ø 1,43; „dunkel“: Ø 0,60). Die Größenvariation „klein“ zeigt für die BS validen Versuche („klein“: Ø 1,19; „groß“: Ø 1,36)

signifikant bessere Ergebnisse wohingegen die Größenvariation „groß“ für die BS invaliden Versuche („klein“: \bar{x} 1,31; „groß“: \bar{x} 0,98) in besseren Ergebnissen resultiert.

RS_{PLA}: Bei der Darbietungsabfolge „letztes Segment“ weisen die Reizvariationen mit der Helligkeitsstufe „mittel“ für die abhängigen Variablen iE valide Versuche und iE invalide Versuche die geringsten Versuchszahlen auf (Abbildung 5.37, unten). Jedoch resultiert auch die Helligkeitsstufe „dunkel“ im Vergleich zu der Stufe „hell“ für die abhängige Variable BS invalide Versuche in statistisch besseren Ergebnissen („hell“: \bar{x} 1,65; „mittel“: \bar{x} 1,09; „dunkel“: \bar{x} 0,90). Die Größenvariation hat bei dieser Reizvariationen-gruppe für die abhängige Variable BS invalide Versuche („klein“: \bar{x} 0,94; „groß“: \bar{x} 1,48) und die iE valide Versuche („klein“: \bar{x} 1,13; „groß“: \bar{x} 1,20) einen signifikanten Einfluss auf die Nutzungseffektivität.

RV-Gruppe: Element – Rastpunkt,
Darbietungsprinzip – dynamisch, schrittweise (RD_PSA)

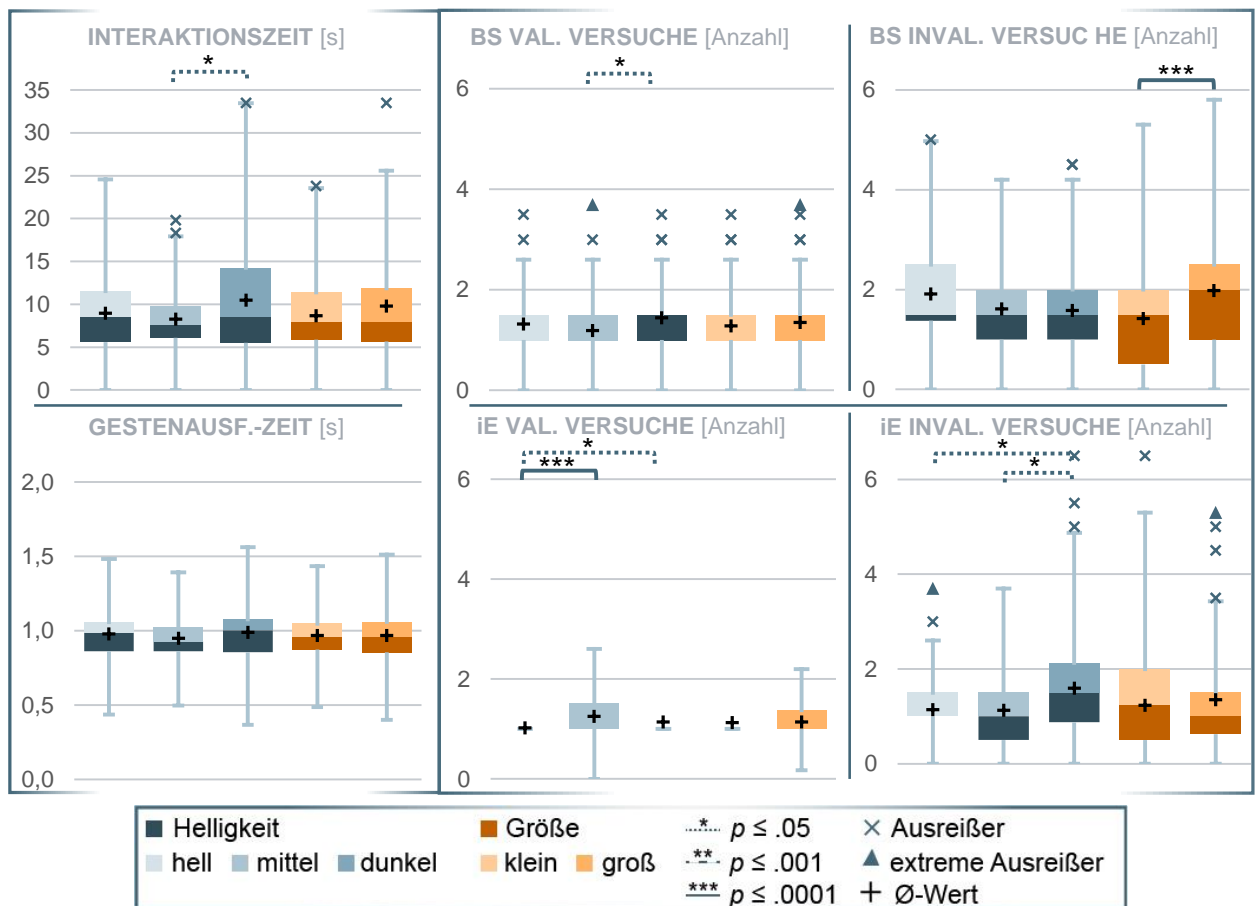
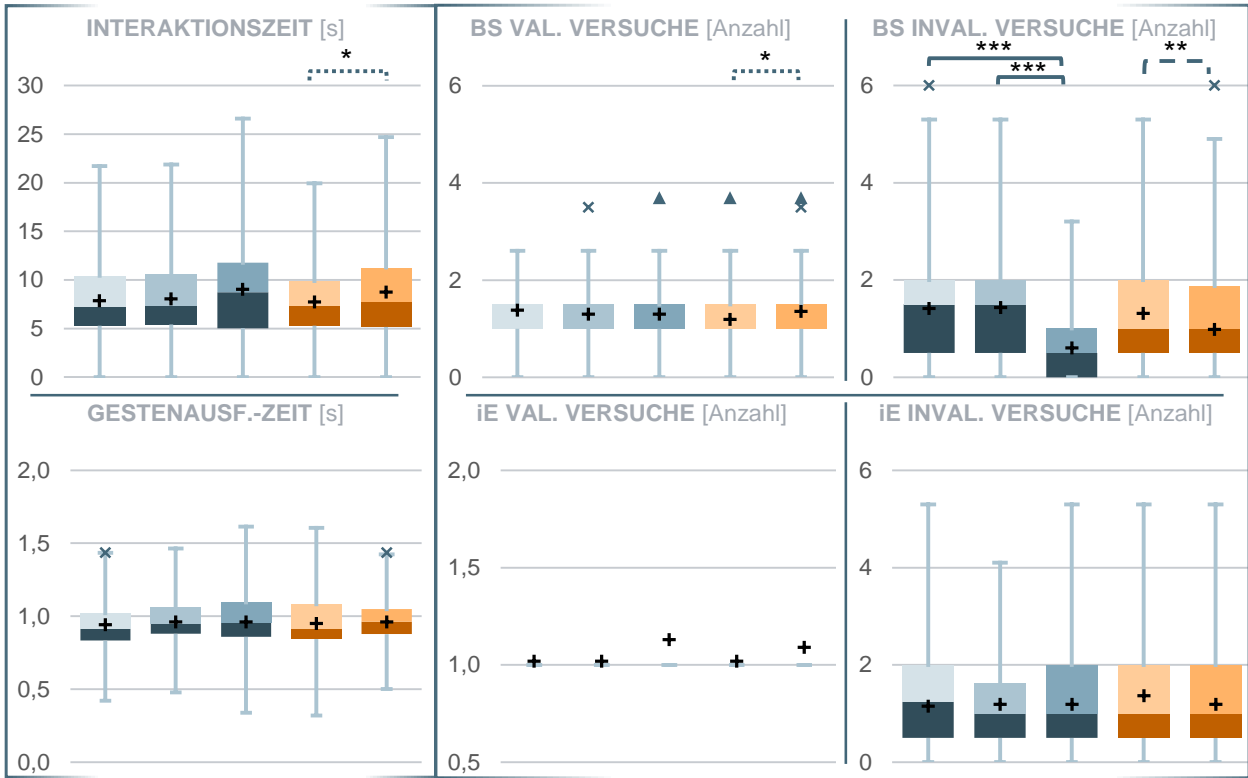


Abbildung 5.36: Ergebnisse der RD_PSA

RV-Gruppe: Element – Rastpunkt,
Darbietungsprinzip – statisch, schrittweise (RS_{PSA})



RV-Gruppe: Element – Rastpunkt,
Darbietungsprinzip – statisch, letztes Segment (RS_{PLA})

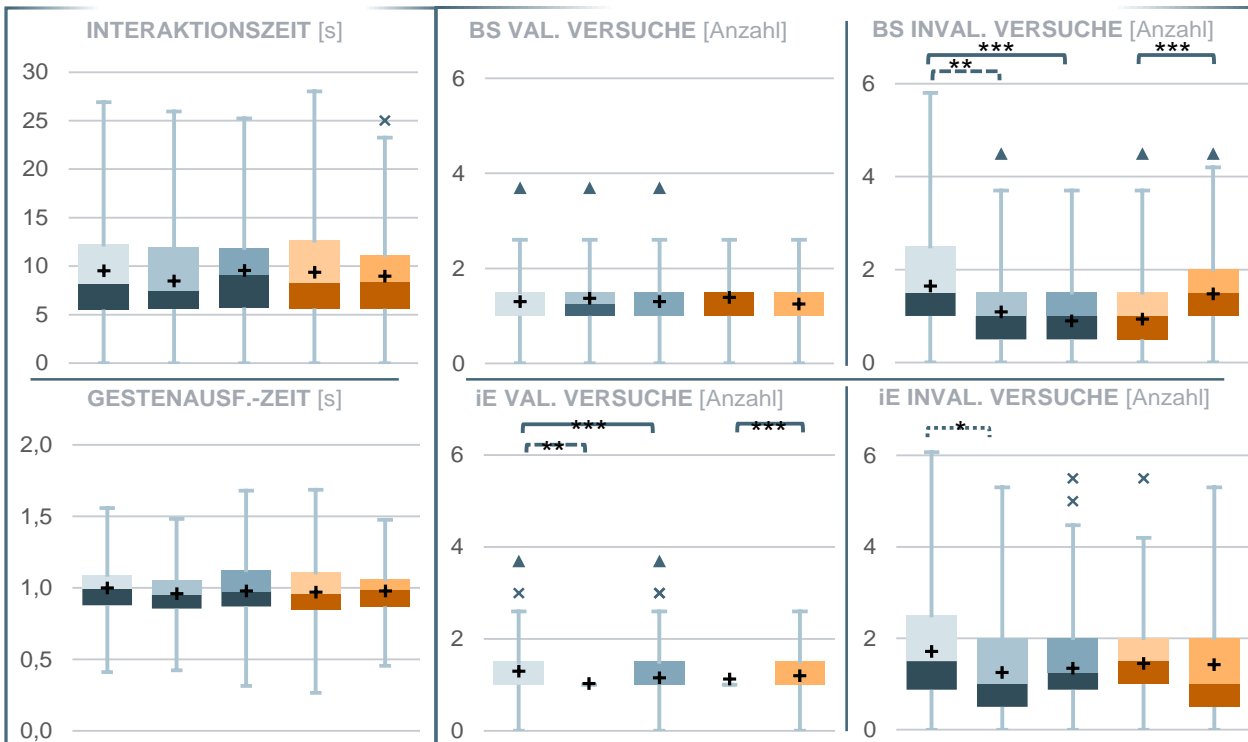


Abbildung 5.37: Ergebnisse der RS_{PSA} (oben) und RS_{PLA} (unten)

Interaktionen der Gestaltungsparameter innerhalb der RV-Gruppen: Zunächst findet die deskriptive Identifikation von existierenden Interaktionen zwischen den Gestaltungsparameterstufen der Reizintensität innerhalb der einzelnen Reizvariationengruppen statt. Der Effekt einer Reizvariation auf eine abhängige Variable (z. B. auf die Helligkeit) unterscheidet sich dabei, je nach Zustand der anderen abhängigen Variablen (z. B. je nach Größenstufe). Anschließend werden diese Effekte auf die übergeordneten Gestaltungsparameterkategorien (Element, Ablauf, Prinzip) übertragen. Die folgenden Abbildungen in Form von Netzdiagrammen (RV mit „Sakkadenstrecke“) und Flächendiagrammen (RV mit „Rastpunkt“) dienen zur Visualisierung der Interaktionen in einer multivariablen Betrachtung.

Für jede abhängige Variable veranschaulicht ein separates Diagramm die durchschnittlichen Messungen der jeweiligen Reizvariation innerhalb einer Reizvariationengruppe. Der Gestaltungsparameter Breite (B1: „schmal“/„klein“; B2: „breit“/„groß“) ist auf der horizontalen Achse aufgetragen. Der Gestaltungsparameter Länge (L1: „vollständig“, L2: „teilweise“) ist auf der vertikalen Achse aufgetragen (nur für RV mit „Sakkadenstrecke“). Der Gestaltungsparameter Helligkeit (H1: „hell“; H2: „mittel“; H3: „dunkel“) ist über verschieden helle Flächen der Grafik visualisiert. Aus dieser deskriptiven Darstellung werden für jede betrachtete Reizvariationengruppe Tendenzen des Interaktionsverhaltens abgeleitet. Interaktionen zwischen den Gestaltungsparametern Länge und Breite sind durch das Abweichen von horizontalen und vertikalen Symmetrien innerhalb der Diagramme gleicher Helligkeitsstufe erkennbar. Die Interaktionen zwischen der Helligkeit und den anderen Gestaltungsparametern werden durch unterschiedliches Abweichen von horizontalen und vertikalen Symmetrien über die verschieden hellen Flächen im Diagramm dargestellt.

Mögliche Zusammenhänge werden dabei durch gleichläufiges (positiver Zusammenhang) bzw. gegenläufiges Verhalten (negativer Zusammenhang) mehrerer abhängiger Variablen bei bestimmten Parameterkombinationen visualisiert.

SD_PSA: Die Variation der Längenänderung in Bezug auf Nutzungseffizienz hat nur bei der Interaktionszeit für Reizvariationen mit Darbietung „schmal“, „dunkel“ einen Effekt. Für die Nutzungseffektivität gibt es eine, bis auf die iE validen Versuche, tendenzielle Verbesserung für Reizvariationen mit Länge „teilweise“. Bei den iE validen Versuchen ist vor allem eine Interaktion mit der Breite und Helligkeit zu beobachten. Die AV-Messungen der BS validen Versuche und BS invaliden Versuche zeigen eine tendenzielle Verbesserung bei „schmalen“ Reizvariationen gegenüber „breiten“ RV mit B2 (Abbildung 5.38).

SD_PLA: Für die abhängigen Variablen zur Ermittlung der Nutzungseffizienz besteht lediglich bei der Interaktionszeit zwischen den RV-Kombinationen L1B1H3 („vollständig“, „schmal“, „dunkel“) und L1B2H3 („vollständig“, „breit“, „dunkel“) ein Effekt bei der Breitenänderung. Allerdings zeigen sich bei den abhängigen Variablen der Nutzungseffektivität BS valide Versuche und BS invalide Versuche Interaktionseffekte zwischen der Längenänderung und der Helligkeitsstufe (Abbildung 5.39).

SS_PGA: Diese Reizvariationengruppe zeigt für die Parameterkombinationen L1B1Hx („vollständig“, „schmal“) einen negativen Zusammenhang zwischen den Qualitätskategorien Nutzungseffizienz und Nutzungseffektivität. Eine „helle“ Darbietung führt zu schlechteren Ergebnissen der abhängigen Variablen bzgl. der Nutzungseffizienz, allerdings zu besseren Ergebnissen bzgl. der Nutzungseffektivität. Dieser negative Zusammenhang kehrt sich für die Helligkeitsstufen „mittel“ und „dunkel“ um. Allerdings führen Variationen der Helligkeit bei Reizvariationen mit L1B2 („vollständig“, „breit“) nicht zu solchen Ergebnissen (Abbildung 5.40).

Durch die Ergebnisse der abhängige Variable BS valide Versuche ist jedoch auch in dieser Reizvariationengruppe eine Interaktion zwischen den Gestaltungsparametern Breite und Helligkeit festzustellen. Weiterhin zeigen die gemessenen Versuchsanzahlen der BS invaliden Versuche eine Interaktion zwischen den Gestaltungsparametern Länge und Helligkeit auf.

SS_PSA: In dieser Reizvariationengruppe existiert eine Interaktion bei der abhängigen Variablen Gestenausführungszeit zwischen den Gestaltungsparametern Länge und Breite. Darüber hinaus zeigen die abhängigen Variablenmessungen der BS valide Versuche und BS invalide Versuche eine Interaktion zwischen verschiedenen Helligkeits- und Breitenstufen. Bei der iE invalide Versuche wird eine Interaktion zwischen der Längenänderung und den Helligkeitsstufen festgestellt (Abbildung 5.41).

SS_PLA: Bei dieser Reizvariationengruppe wird nur eine Interaktion festgestellt. Diese besteht bei der abhängigen Variable iE valide Versuche zwischen den Gestaltungsparametern Breite und Länge (Abbildung 5.42).

RD_PSA: Innerhalb der Reizvariationengruppe mit dem „Rastpunkt“ als Darbietungselement zeigen die abhängigen Variablen BS valide Versuche und iE valide Versuche Interaktionen zwischen den Gestaltungsparametern Größe und Helligkeit auf (Abbildung 5.43). Bei diesen abhängigen Variablen bedeutet die Abweichung gleichlaufender Linien über die Flächen der Helligkeitsstufen im Diagramm, dass die Kombination der Größenstufe „groß“ und einer Helligkeitsstufe „dunkel“ in ähnlichen Resultaten mündet wie die Größenstufe „klein“ gepaart mit der Helligkeitsstufe „hell“.

RS_{PSA}: Wie auch bei der Reizvariationengruppe mit Darbietungsprinzip „dynamisch“ existiert eine Interaktion bei der Reizvariationengruppe mit Darbietungsprinzip „statisch“ zwischen den Parametern Größe und der Helligkeit. Auch bei dieser Gruppe ist die Interaktion bei den abhängigen Variablen BS valide Versuche und iE valide Versuche durch die Abweichung gleichlaufender Linien über die Flächen der Helligkeitsstufen im Diagramm festzustellen (Abbildung 5.44).

RS_{PLA}: Bei der letzten betrachteten Reizvariationengruppe gibt es sowohl bei der abhängigen Variablen Gestenausführungszeit als auch bei den BS validen Versuchen und BS invaliden Versuchen eine Interaktion zwischen den Gestaltungsparametern Größe und Helligkeit (Abbildung 5.45). So resultieren bspw. die abhängigen Variablenmessungen für die Gestenausführungszeit für die Parameterkombination B1H1 („klein“, „hell“) in ähnlichen Ergebnissen wie für B2H3 („groß“, „dunkel“).

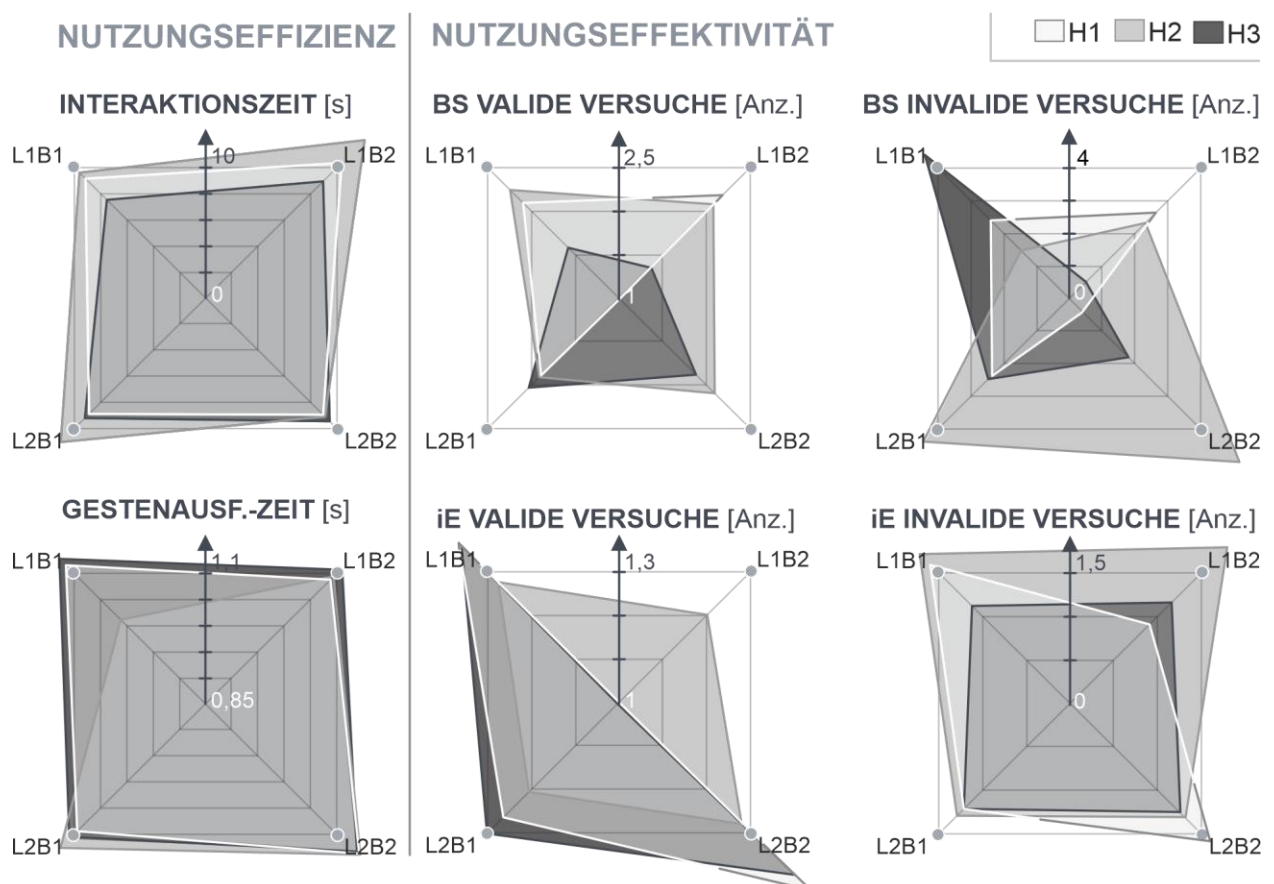


Abbildung 5.38: Interaktion der Reizintensitätsparameter der RV-Gruppe SD_{PSA}

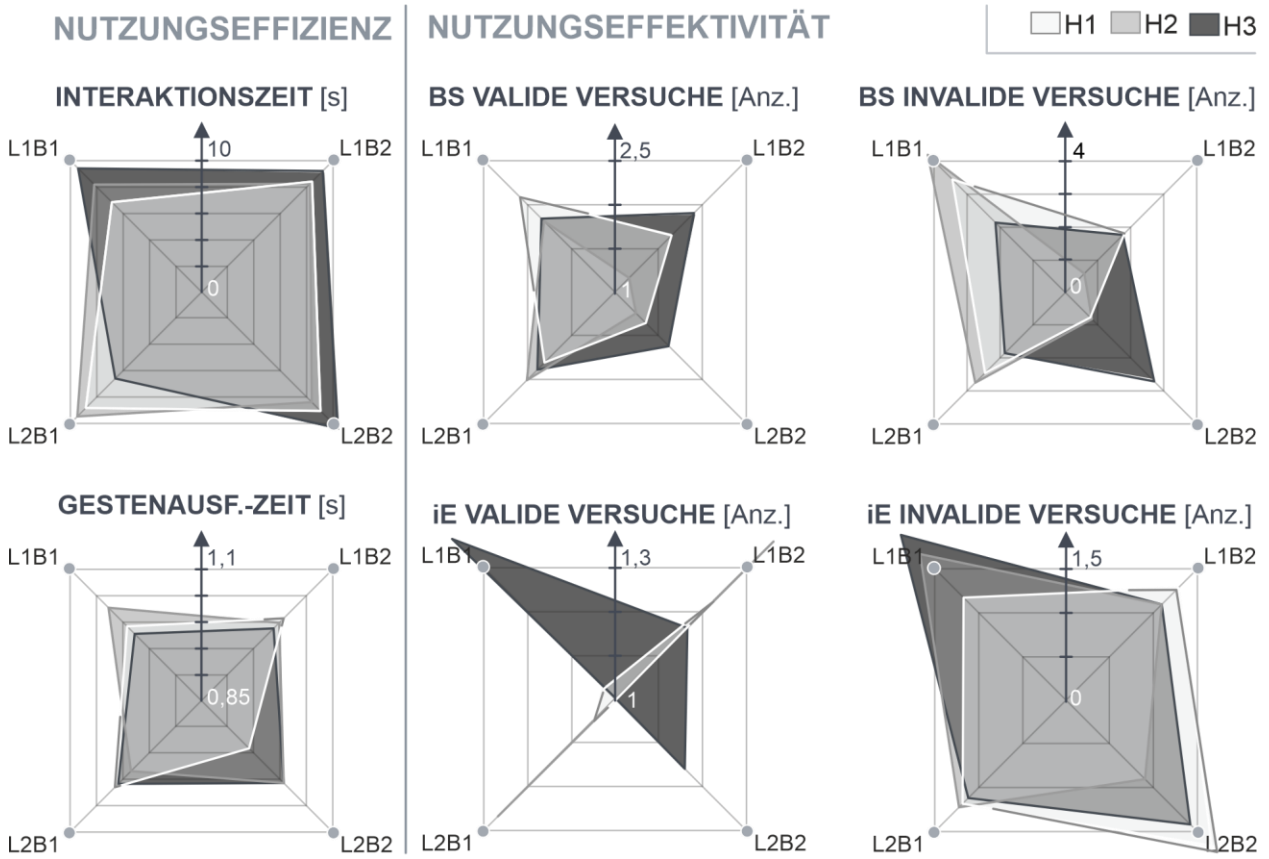


Abbildung 5.39: Interaktion der Reizintensitätsparameter der RV-Gruppe SD_{pLa}

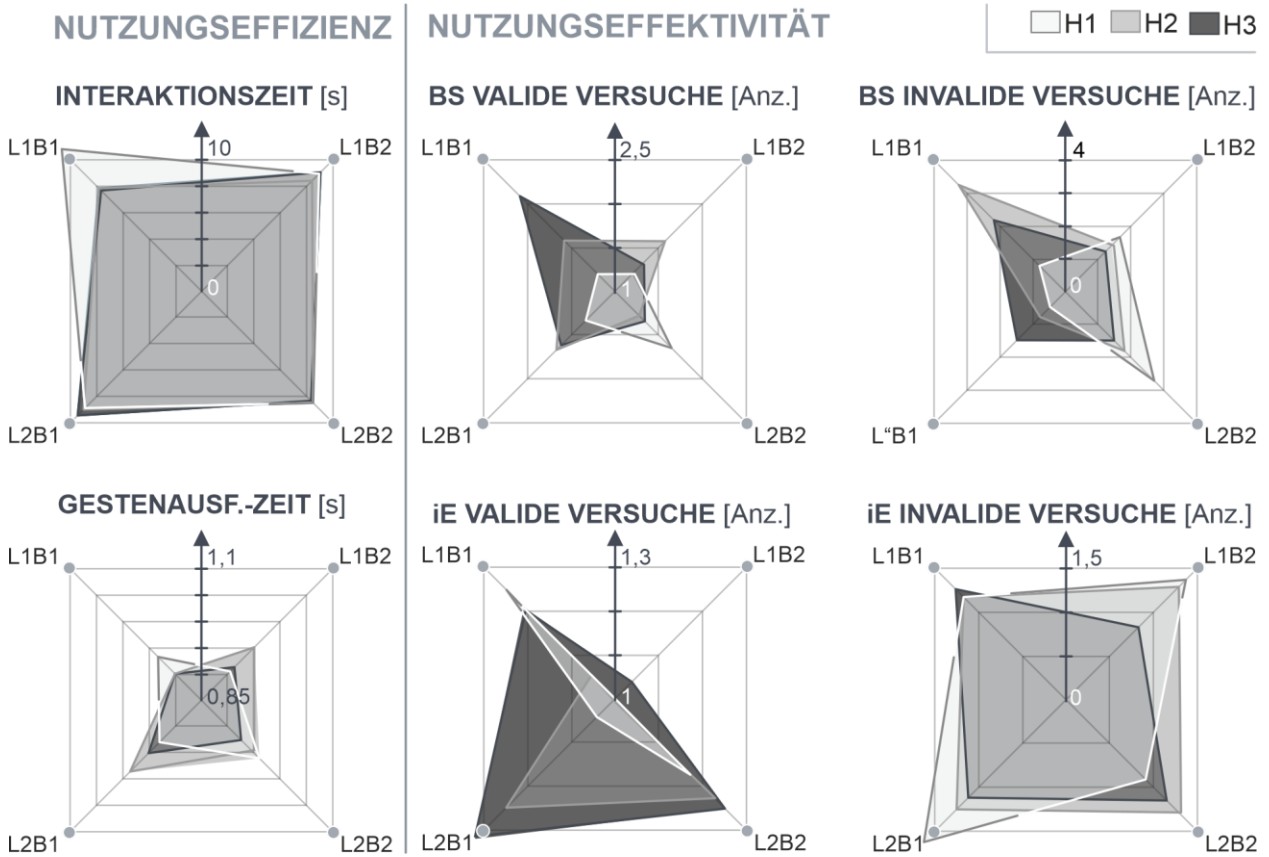


Abbildung 5.40: Interaktion der Reizintensitätsparameter der RV-Gruppe SS_{pGA}

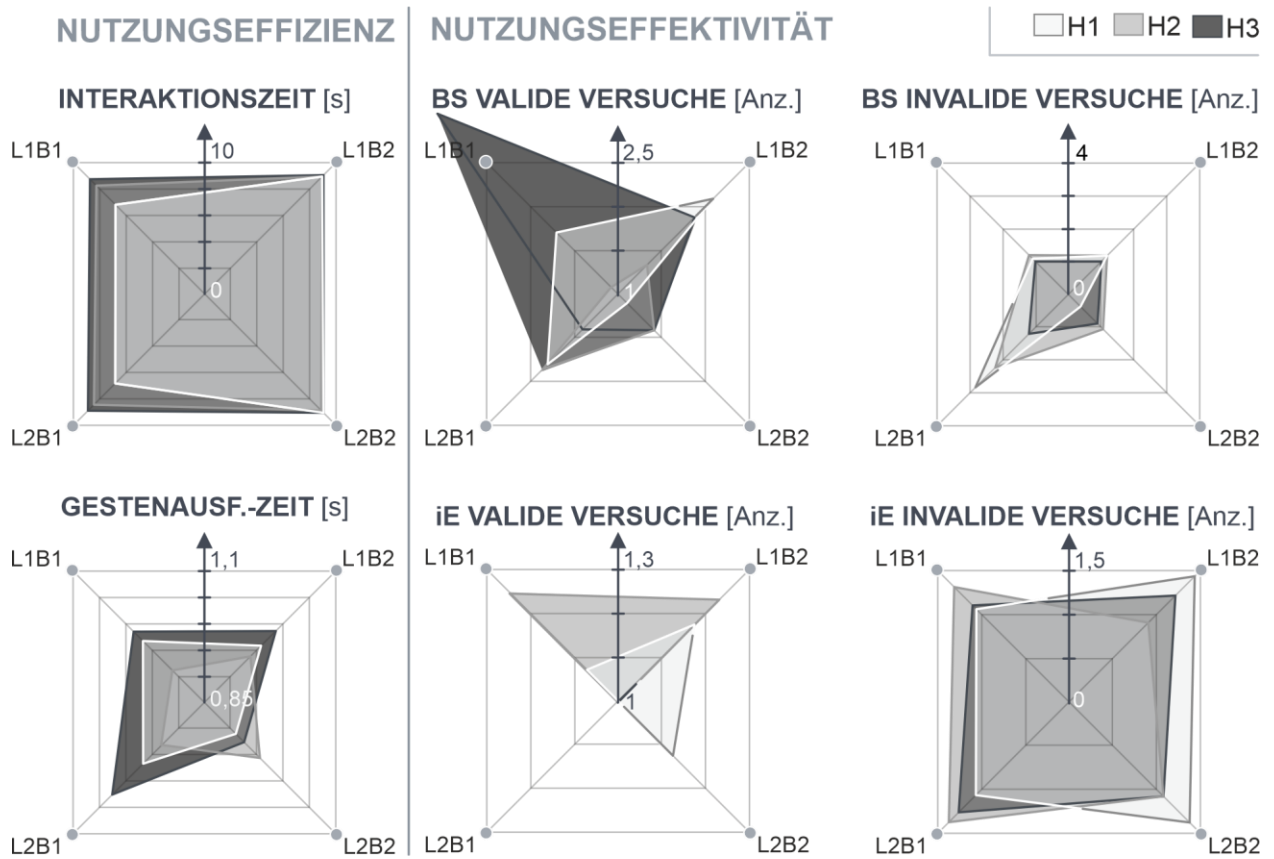


Abbildung 5.41: Interaktion der Reizintensitätsparameter der RV-Gruppe SS_PSA

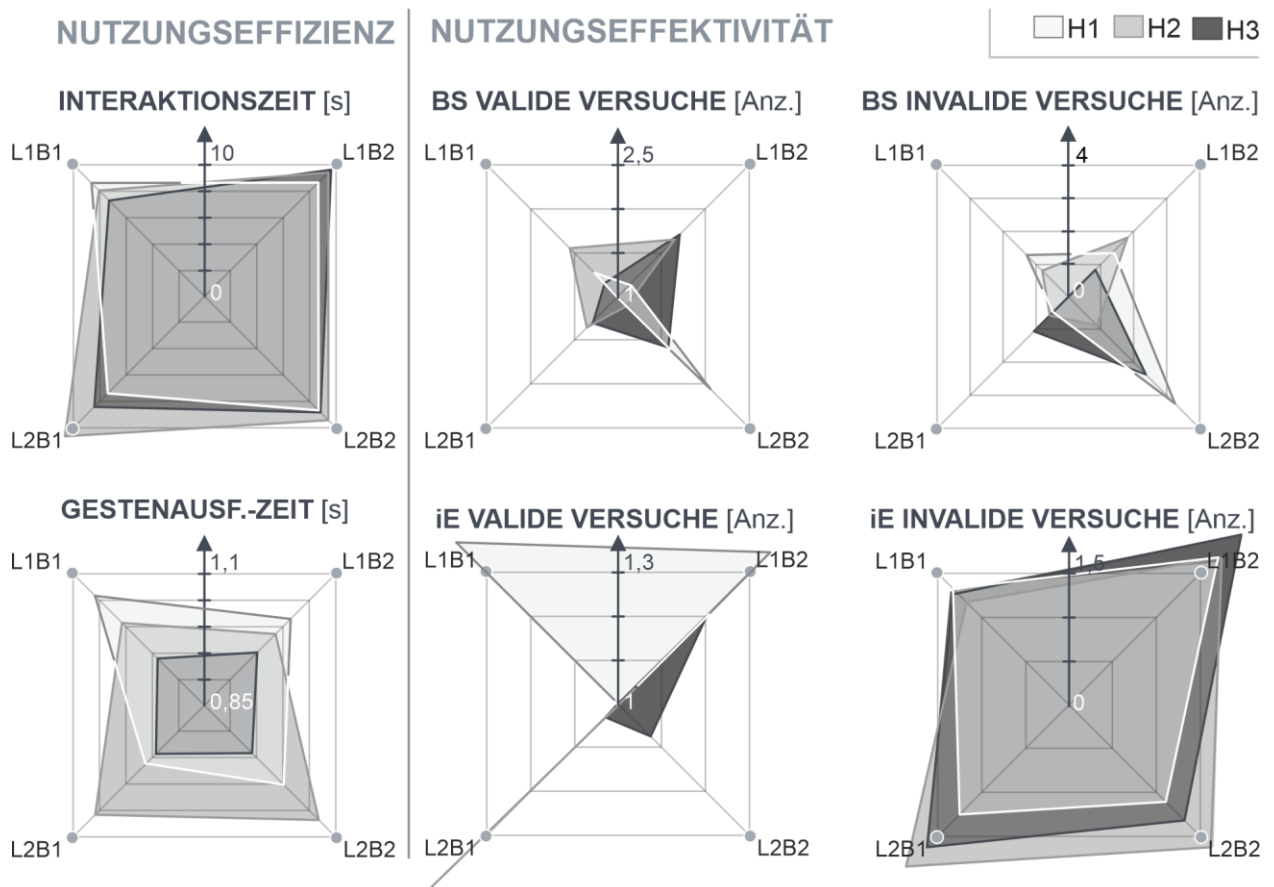


Abbildung 5.42: Interaktion der Reizintensitätsparameter der RV-Gruppe SS_PLA

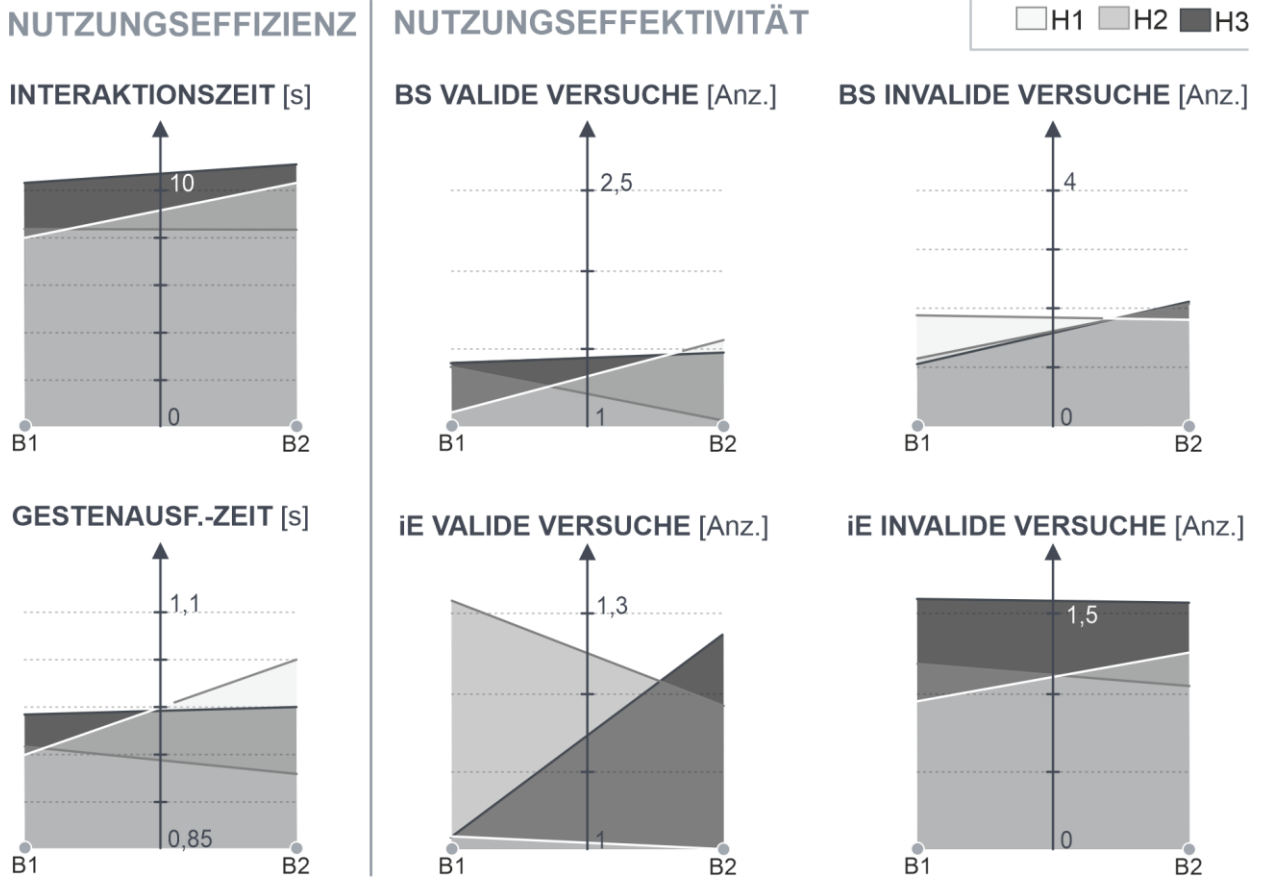


Abbildung 5.43: Interaktion der Reizintensitätsparameter der RV-Gruppe RD_pSA

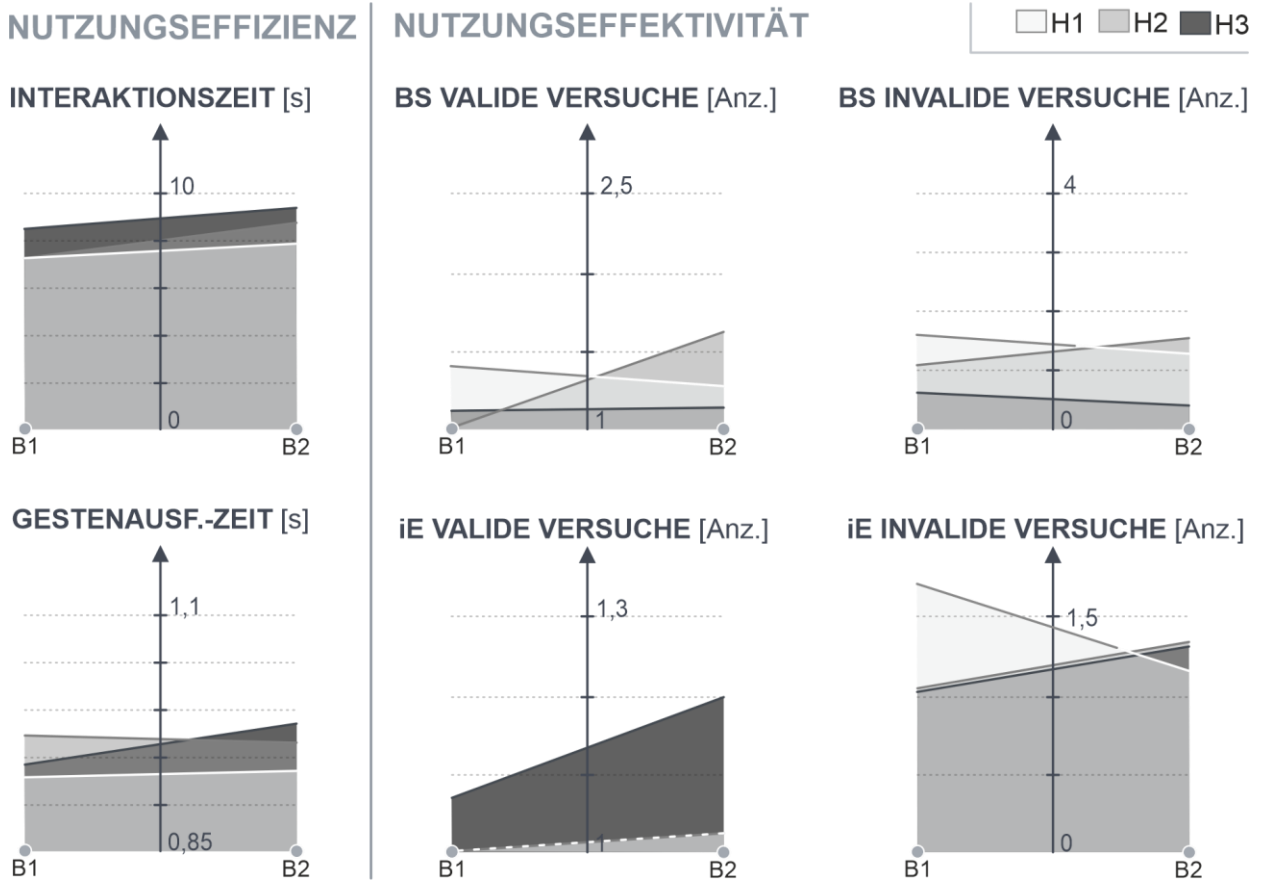


Abbildung 5.44: Interaktion der Reizintensitätsparameter der RV-Gruppe RS_pSA

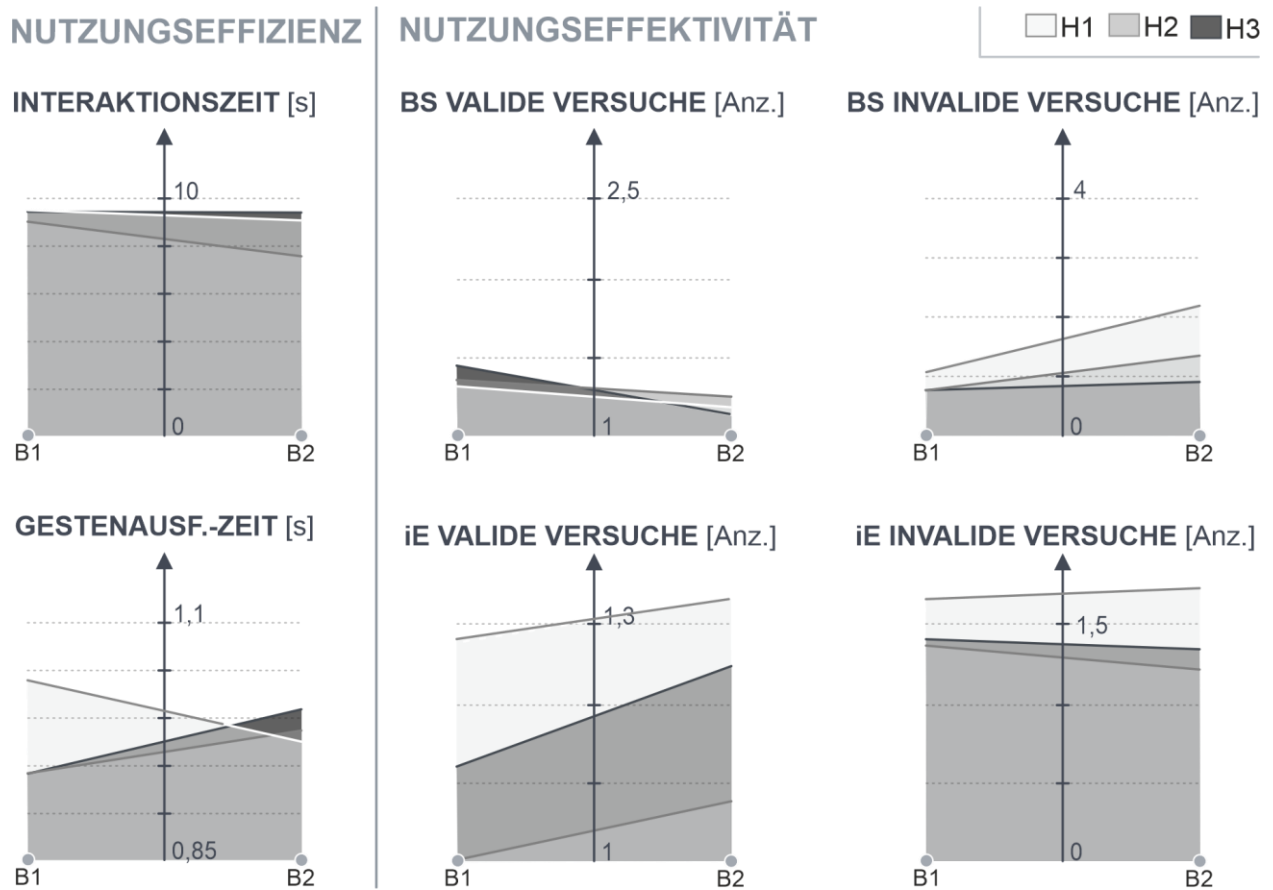


Abbildung 5.45: Interaktion der Reizintensitätsparameter der RV-Gruppe RS_{plA}

AV übergeordnete Betrachtung der Interaktionen: Die folgende Auflistung fasst die Erkenntnisse zur Bereitstellung einer geeigneten Reizintensität durch Gestaltungsparametereinstellung für die jeweilige Reizvariationengruppe zusammen (Tabelle 5.10). Dies erfolgt auf Basis einer gesamtheitlichen Betrachtung über alle abhängigen Variablen hinweg für jede Reizvariationengruppe. Diese Gestaltungsparametereinstellungen werden in der Ergebnisbewertung (Kapitel 5.4) zur Identifikation der RV-Gruppenübergreifenden Einflüsse und der daraus resultierenden Gestaltungsempfehlung des situativen visuellen Anzeigers verwendet.

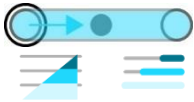
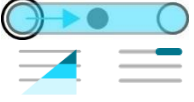


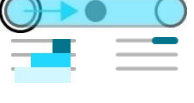


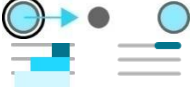
| RV-Gruppe | Länge | Breite / Größe | Helligkeit |
|--|-------------|----------------|-----------------|
| SDpSA  | vollständig | schmal | mittel / dunkel |
| | vollständig | breit | dunkel |
| | teilweise | schmal | keinen Einfluss |
| | teilweise | breit | hell |
| SDpLA  | vollständig | schmal | hell |
| | vollständig | breit | mittel |
| | teilweise | schmal | dunkel |
| | teilweise | breit | hell / mittel |
| SSpGA  | vollständig | schmal | mittel |
| | vollständig | breit | dunkel |
| | teilweise | schmal | hell |
| | teilweise | breit | mittel / dunkel |
| SSpSA  | vollständig | schmal | hell |
| | vollständig | breit | mittel |
| | teilweise | schmal | keinen Einfluss |
| | teilweise | breit | dunkel |
| SSpLA  | vollständig | schmal | dunkel |
| | vollständig | breit | keinen Einfluss |
| | teilweise | schmal | hell |
| | teilweise | breit | mittel |
| RDpSA  | - | klein | hell |
| | - | groß | Mittel |
| RDpSA  | - | klein | mittel |
| | - | groß | hell |
| RSpLA  | - | groß | mittel |
| | - | klein | mittel |

Tabelle 5.10: Präferenz der RV-Kombination innerhalb der betrachteten Gruppen

Nachfolgend wird die zuvor festgestellte Diskrepanz zwischen der subjektiven Empfindung und den objektiven Messungen der Reizvariation der Reizvariationengruppe „Sakkadenstrecke“, „dynamisch“ tiefergehend analysiert.

5.3.5 Diskrepanz zwischen subjektivem Empfinden und objektiver Messung

Aus der Ergebnisanalyse der gemessenen Zeiten und den Versuchen zeigt sich ein deutlicher Qualitätsunterschied zwischen Reizvariationen mit „statischer“ und „dynamischer“ Darbietung „Sakkadenstrecke“, bei welcher die „dynamischen“ weniger oft vorkommen (vgl. Abbildung 5.30 oben). Auch die Identifikation von nur einer Reizvariation mit Darbietungsprinzip „dynamisch“ innerhalb der AV_x-Gruppen verdeutlicht diese

Differenz (vgl. Tabelle 5.9). Diese Unterrepräsentation steht im Konflikt mit der tendenziellen Nutzerpräferenz, wobei zu 60 % eine „dynamische“ Darbietung vorgezogen wird (vgl. Abbildung 5.26).

Aus den Äußerungen der Versuchspersonen gehen zwei generelle Aussagen hervor. Eine große Gruppe (12 Nennungen) beschreibt dieses „dynamische“ Darbietungsprinzip als äußerst unterstützend. Dem gegenüber stehen allerdings Äußerungen einzelner Versuchspersonen (5 Nennungen), welche die Reizvariationdarbietung als nachlaufend und daher eher störend empfinden. Dies lässt die Vermutung zu, dass einige Versuchspersonen die Blickgesten schneller ausführten als andere. Da die RV-Darbietungsgeschwindigkeit gleich gehalten wird, resultiert ein schnelleres Blickverhalten in einer darauf nicht abgestimmten Reizdarbietung und verliert somit die Unterstützungswirkung. Es kommt zu einer Distraction, die eine reflexartige Rückbewegung des Blickpunktes auf den Reiz verursacht und zu Fehlversuchen bei der Interaktion am relevanten interaktiven Element führt. Darüber hinaus wirkt sich eine mangelnde Abstimmung zwischen Blickverhalten und Reizdarbietung bei einer nachlaufenden Darbietung stärker auf die Interaktion aus als bei einer zu stark vorlaufenden Darbietung. Dies begründet sich in der Unterbrechung der angestrebten Blickabfolge zur Ausführung der Blickgeste und erfordert Antisakkaden zur Korrektur der reflexartigen Darbietungsfixation [vgl. HOLMQVIST ET AL. 2011, S. 305]. Diese Antisakkaden stellen einen zusätzlichen Aufwand in Prozess der Blickgestenausführung dar. Abbildung 5.46 verdeutlicht diesen Effekt.

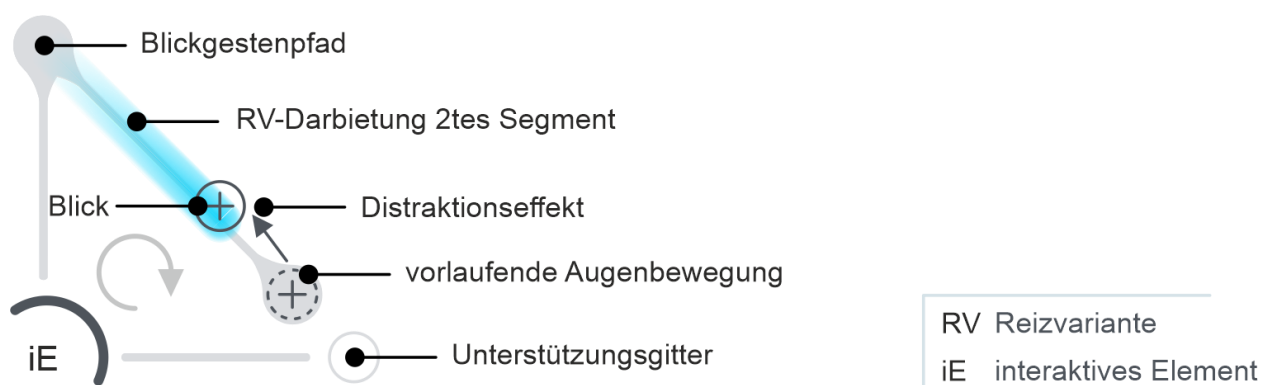


Abbildung 5.46: Distractionseffekt des Darbietungsnachlaufs gegenüber dem Blick

Um diesen Effekt des Nachlaufens der Unterstützung statistisch nachzuweisen, werden nachfolgend die Gestenausführungszeiten für die zwei Gruppen untersucht. Diese Gruppen teilen sich anhand ihrer unterschiedlichen Bewertung in die Kategorien Element und Prinzip auf. Die eine Gruppe (kurz G1, 11 VP) besteht aus den Versuchspersonen, die sich eindeutig für eine Darbietung mittels „Sakkadenstrecke“, „dynamisch“ aussprechen. Die andere Gruppe (kurz G2, 14 VP) fasst die Versuchspersonen

zusammen, die sich eindeutig gegen eine solche Darbietung als präferierte Reizvariation aussprechen. Fünf Versuchspersonen haben keine klare Zuordnung und werden in der nachfolgenden Betrachtung nicht berücksichtigt. Der indirekte Zusammenhang zwischen der Präferenz und den AV-Messungen ist gegebenenfalls durch weitere Betrachtungen zu stützen.

Die durchschnittliche Gestenausführungszeit beträgt für G1 \bar{x} 1,04 s und für G2 \bar{x} 0,97 s. Die beschriebene Präferenz resultiert dabei in signifikant kürzeren Gestenausführungszeiten der jeweiligen VP (t -Test; $F(1,23) = 5.18$, $p = .033$, $\eta_p^2 = .18$, Teststatistik im Anhang Tabelle A22). Die gemittelte Darbietungszeit der Blickgesten im Katalog beträgt 1,18 s (33,33 % der Blickgesten mit 3,41-facher, normierten Segmentdauern (1,06 s), 66,66 % der Blickgesten mit 4-facher, normierten Segmentdauern (1,24 s)). Die gemittelte Ausführungszeit der Blickgeste, d. h. Zeit bis zum Erreichen des letzten Rastpunktes auf dem iE, beträgt nur 1,03 s. Die gemittelte Gestenausführungszeit liegt bei 76,67 % der Versuchspersonen unter der Darbietungsdauer der Reizvariationen mit „Sakkadenstrecke“, „dynamisch“. Die sich über den Experimentverlauf verändernden Ausführungszeiten zeigen deutlich, dass die Gestenausführungszeiten kürzer werden. Dies gilt besonders für die G1 (Pearson: $r = -.265$, $df = 9$, $p < .001$) im Vergleich zu G2 (Pearson: $r = -.184$, $df = 12$, $p < .05$), wobei die Zeiten bei G1 signifikant länger sind als die der G2 (Abbildung 5.47). Dabei ist weit über die Experimenthälfte hinweg eine Abnahme der Zeiten erkennbar. Erst gegen Experimentende erhöhen sich die Gestenausführungszeiten aufgrund möglicher Ermüdungseffekte. Damit wird deutlich, dass die Darbietungszeit zu Beginn des Experiments für beide Gruppen im adäquaten Bereich, d. h. Darbietungsgeschwindigkeit schneller als die durchschnittliche Gestenausführungsgeschwindigkeit, liegt, sich aber für die G2, aufgrund der schneller werdenden Gestenausführung, zu einem störenden Faktor entwickeln kann.

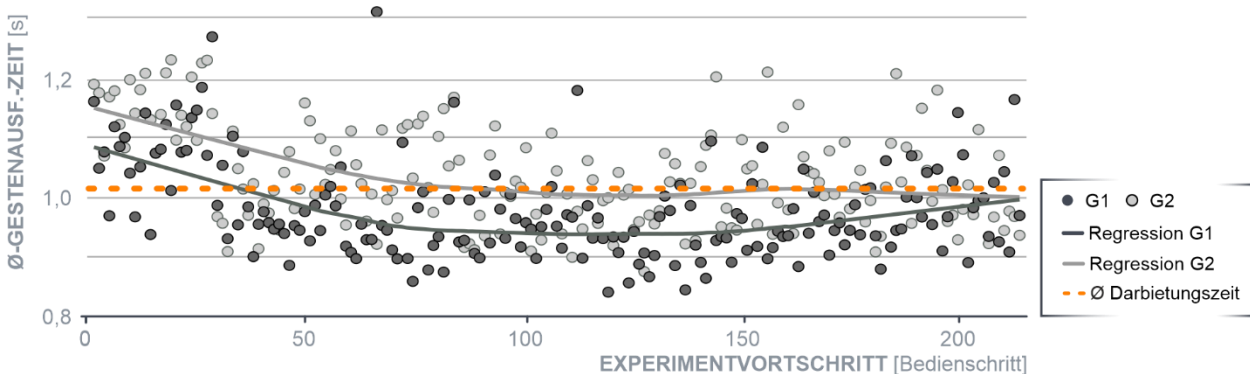


Abbildung 5.47: Gestenausführungszeit entlang des Experiments für beide Gruppen

Im Anschluss an den nachgewiesenen Effekt bei den Gestenausführungszeiten werden die AV-Messungen iE valide Versuche und iE invalide Versuche ebenfalls in Abhängigkeit

der „Sakkadenstrecke“, „dynamisch“ als Präferenz betrachtet (Teststatistik siehe Anhang Tabelle A22). Die Ergebnisse der Interaktionszeit der G2 weisen signifikant kürzere Interaktionsdauern auf (t -Test; $F(1,23) = 6.20$, $p = .020$, $\eta_p^2 = .21$). Für die iE validen Versuche resultieren die Messungen der G1 in einer geringeren Versuchsanzahl (t -Test; $F(1,23) = 5.57$, $p = .027$, $\eta_p^2 = .20$). Die Messungen für die iE invaliden Versuche resultieren jedoch für die G2 in einer geringeren Versuchsanzahl (t -Test; $F(1,23) = 12.54$, $p = .002$, $\eta_p^2 = .35$). Die Analyse zeigt eindeutig auf, dass Versuchspersonen, welche ein schnelleres Blickgestenausführungsverhalten aufweisen (G2), grundsätzlich auch besser mit den an sie gestellten Aufgaben zurechtkamen. Der Zusammenhang von kürzeren Interaktionszeiten und signifikant geringeren iE invaliden Versuchen bei der G2 lässt auf einen Zusammenhang zwischen Anwenderexpertise und Gestenausführungszeiten schließen. Die Diskrepanz zwischen den schlechteren RV-Messungen mit „Sakkadenstrecke“, „dynamisch“ ist daher nicht ausschließlich durch den Effekt des wahrgenommenen Darbietungsnachlaufes der RV in individuellen Fällen begründbar. Die in Abbildung 5.47 veranschaulichte Streuung der Ausführungszeiten verdeutlicht, dass sich die Darbietung des Reizes in einer technischen Implementation adaptiv nach der Ausführungsgeschwindigkeit richten sollte.

5.3.6 Einfluss von Interfaceaufbau und Blickgesten

Der Effekt der abgeprüften Aufbauvarianten auf die Reizdarbietung und die damit verbundene Interfacequalität des situativ dargebotenen Aufbaus, im Folgenden spezifische Interfacequalität genannt, wird nachfolgend analysiert. Dabei werden Einflüsse der Blickgesten, der Interfacekomplexität, der Objektnähe und der Interfaceaufbaukategorien betrachtet.

Analog der Auswahl von Reizvariationen mit dem häufigsten Vorkommen in den AV_{x+} (vgl. Kapitel 5.3.4) erfolgt hier das Sortieren von Interfacevarianten nach der Häufigkeit des Vorkommens in $AV_{x+/-}$. Dabei werden Bedienschritte mit dem meisten Vorkommen von AV_{x+} Messungen in die Bedienschrittgruppe G_{BS+} und mit dem meisten Vorkommen von AV_{x-} Messungen in Bedienschrittgruppe G_{BS-} gruppiert. Für eine möglichst umfängliche Betrachtung der Interfaceaufbauten findet im Gegensatz zu den Reizvariationen in $AV_{x+/-}$ keine Einschränkung durch ein Mindestvorkommen statt (vgl. Kapitel 5.3.4). Die Ausführung der Blickgeste erfolgt nach dem Explorations- und Interpretationsprozess des Interfaces und wird somit nicht mehr von den Effekten der Interfacegestaltung beeinflusst. Daher stellt die AV Gestenausführungszeit keine adäquate Messgröße dar und wird aus diesem Grund nicht zur Deklaration herangezogen.

Bei der Betrachtung der Bedienschritte mit den besten und schlechtesten Ergebnissen innerhalb der abhängigen Variablen ist auffällig, dass sich keiner der BS sowohl in der AV_{x+} als auch in der AV_{x-} befindet. Die qualitative Betrachtung der Bedienschritte zeigt, dass der überwiegende Teil der AV_{x-} - Bedienschritte aus dem ersten Teil des Experimentteils stammt. Dies lässt vermuten, dass Versuchspersonen bestimmten Lerneffekten ausgesetzt sind und im Laufe des Experimentes positiv wirkende Erfahrungen mit der Interfacebedienung machen können. Im Folgenden werden verschiedene Aspekte der Bedienschritte in den $G_{BS+/-}$ nach deren Auswirkung auf die Reizdarbietung untersucht.

Blickgestenverteilung: Die Verteilung der Blickgesten innerhalb der beiden Gruppen gibt Aufschluss darüber, welche Bedienhandlungen eine höhere Nutzungseffizienz und -effektivität erzielt (Teststatistik siehe Anhang Tabelle A23). Beim direkten Vergleich des Vorkommens der jeweiligen Blickgesten zwischen den beiden Gruppen G_{BS+} und G_{BS-} weist die „Ja“-Blickgeste in G_{BS+} ein tendenziell vermehrtes Vorkommen auf als in G_{BS-} . Im Vergleich zum Vorkommen in G_{BS-} ist das Vorkommen der „Nein“-Blickgeste sogar höchst signifikant ($p = .000$ und somit $p \leq .001$) in G_{BS+} . Von den räumlich-orientierten Blickgesten resultiert nur die „Zurück“-Blickgeste in einer annähernden Gleichverteilung zwischen den beiden Gruppen. Die „Hoch“-Blickgeste befindet sich signifikant häufiger in G_{BS-} ($p = .003$ und somit $p \leq .01$). Die „Runter“- und „Weiter“-Blickgesten befinden sich tendenziell häufiger in G_{BS-} . Die im Experiment verwendeten Blickgesten sind nach ihrem Vorkommen in den $G_{BS+/-}$ in Abbildung 5.48 dargestellt.

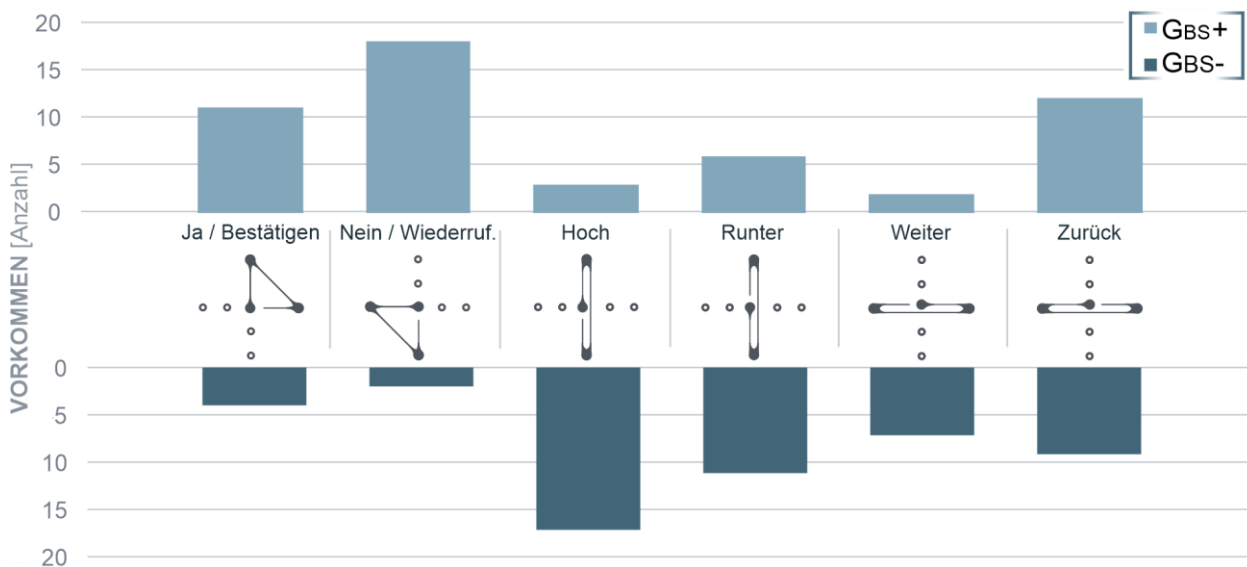


Abbildung 5.48: Vorkommen der Blickgesten innerhalb der beiden Gruppen

Gerade die „Ja“- und „Nein“-Blickgesten werden zum Bearbeiten von klaren Benachrichtigungsaufgaben im Experiment verwendet. Die räumlich-orientierten Blickgesten werden jedoch häufiger zur Navigation und für komplexere Einstellvorgänge benötigt. Somit lässt die Verteilung der Blickgesten innerhalb der jeweiligen Gruppen auf die Komplexität der

durchzuführenden Bedienhandlung schließen. Aufgrund der notwendigen Konsistenz im Studiendesign, d. h. gleiche Häufigkeit der Blickgesten über die Bedienaufgaben hinweg (vgl. Kapitel 5.1.4), wird die „Zurück“-Blickgeste ebenfalls für Bedienschritte zur Bestätigung von Benachrichtigungen verwendet. Dies erklärt die annähernd ausgewogene Verteilung dieses vermeintlichen Ausreißers (Nennungen G_{BS+} : 12, Nennungen G_{BS-} : 9) innerhalb der räumlich-orientierten Blickgesten und unterstützt die Vermutung der aufgabenabhängigen Interfacequalitäten.

Interfacekomplexität: Wie im Studiendesign bereits angenommen, hat die reine Anzahl von interaktiven Elementen keine statistisch signifikanten Häufungen in einer der beiden Gruppen zu Folge (G_{BS+} : 5,3 \emptyset -Elemente bei $\sigma = 3,74$; G_{BS-} : 6,5 \emptyset -Elemente bei $\sigma = 2,88$, Teststatistik siehe Anhang Tabelle A24). Die im Studiendesign ermittelte lokale Komplexität (siehe Kapitel 0) liegt bei der G_{BS+} tendenziell höher ($\emptyset = 1,5$; $\sigma = 1,6$) als bei der G_{BS-} ($\emptyset = 1,1$; $\sigma = 0,95$). Somit zeichnet sich kein Zusammenhang zwischen Bedienschrittbewältigung, interaktiver Elementanzahl und lokaler Komplexität ab. Diese Feststellung verdeutlicht, dass im Experiment die aufgetretenen Einflüsse durch die spezifische Interfacegestaltung (vgl. Kapitel 5.1.5) erfolgreich kontrolliert werden, was somit die Reliabilität der Ergebnisse unterstützt. Des Weiteren kann davon ausgegangen werden, dass der Effekt der globalen Bedienschrittkomplexität im durchgeführten Experiment keinen messbaren Einfluss hat und der lokale Komplexitätsgrad über die Reizvariationen und Versuchspersonen neutralisiert wurde.

Objektnähe: Die Objektnähe beschreibt die Anordnung von mehreren interaktiven Elementen zueinander. Dabei werden die untersuchten Anordnungen in den jeweiligen Gruppen $G_{BS+/-}$ grundsätzlich in überlappende und raumgebende Anordnung unterschieden (siehe Kapitel 5.1.5). Aus den VP-Kommentaren geht hervor, dass eine raumgebende Anordnung und der damit verbundene Abstand zwischen dem iE und umliegenden Informationsquellen einen positiven Einfluss auf die Bedienbarkeit haben. Wenn der Blick während der Blickgestenausführung über andere Informationsquellen hinweg gehen muss, treten vermehrt Störungen und Abbrüche auf, insbesondere wenn die Informationsquelle ein anderes iE darstellt. Die Häufigkeit des Auftretens einer engen Anordnung liegt für G_{BS+} bei 38 % ($\sigma = 6,9$ %) deutlich unter der Häufigkeit für die G_{BS-} bei 62 % ($\sigma = 6,9$ %).

Aufbaukategorien: Die in Kapitel 5.1.5 beschriebenen Aufbaukategorien des Experiments verteilen sich unterschiedlich innerhalb der beiden Bedienschrittgruppen $G_{BS+/-}$ (siehe Abbildung 5.49). Die inferenzielle Statistik spricht den Verteilungen der jeweiligen Kategorien lediglich tendenzielle Unterschiede zu (Teststatistik siehe Anhang Tabelle A25). Die zur Untersuchung verwendete Verteilungsanalyse der Blickgesten-

verteilung in $G_{BS+/-}$ zeigt auf, dass die zentrale Interfaceaufbaukategorie häufiger in G_{BS+} (16 Nennungen) zu finden ist als in G_{BS-} (10 Nennungen). In der G_{BS+} werden ausschließlich Aufgaben mit einer zentralen Benachrichtigung festgestellt, wohingegen bei der G_{BS-} neun Benachrichtigungsaufgaben und sieben weitere diverse Bedienschritte mit zentralem Aufbau vorkommen. In der G_{BS+} sind tendenziell mehr lineare Kategorien (16 Nennungen) aufzufinden als in der G_{BS-} (7 Nennungen).

Aus der vorangegangenen Analyse der Objektnähe folgt, dass Bedienprobleme verstärkt bei einer überlappenden Anordnung der interaktiven Elemente auftreten. Diese Überlappung findet im Experiment besonders häufig bei radialen Menüs statt. Jedoch sind die in der G_{BS+} mit 19 Nennungen vorkommenden radialen Menüaufbauten hauptsächlich in einer raumgebenden Anordnung dargestellt. Dies verdeutlicht, dass das höhere Vorkommen dieser Aufbauvariante in der G_{BS-} (29 Nennungen) auf die überlappende (engere) Anordnung der iE zurückzuführen ist. Daher ist der kreisförmigen Anordnung kein negativer Effekt bzgl. der spezifischen Interfacequalität zuzuordnen. Die Rahmenanordnung findet sich mit einer Nennung in der G_{BS+} und vier Nennungen in der G_{BS-} vergleichbar selten wieder.

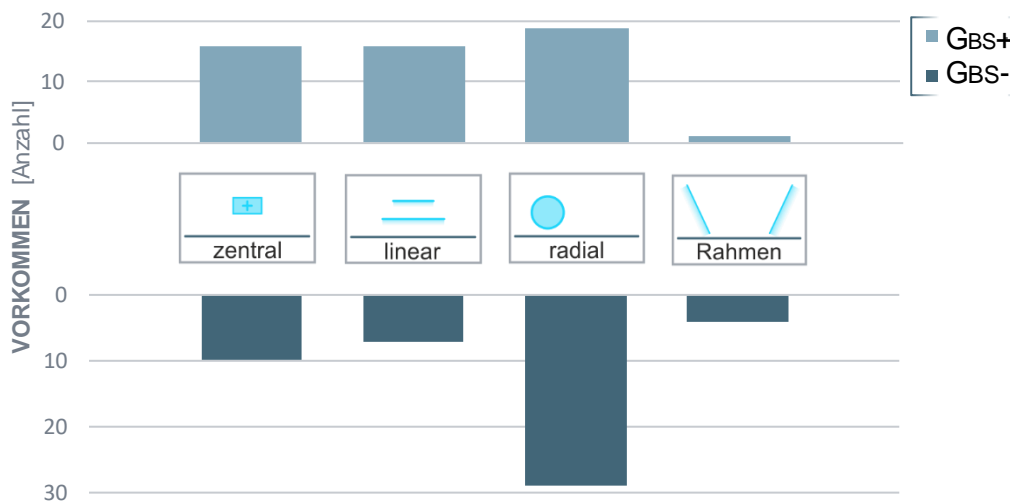


Abbildung 5.49: Vorkommen jeweiliger Aufbauten innerhalb der beiden Gruppen

Menütiefe: Die Menütiefe wird durch die Anzahl der zu öffnenden Kontextebenen definiert, um das interaktive Element des jeweiligen Bedienschrittes zu finden. Die Menütiefe reicht von der Grundebene mit dem Hauptmenü-iE (Ebene 0) bis zur maximal dritten Kontextmenüebene (Ebene 3) (Teststatistik siehe Anhang Tabelle A26). Die zu bedienende Menütiefe von G_{BS+} ist mit einer durchschnittlichen Menütiefe von $\bar{0} 1,46$ ($\sigma = 0,13$) signifikant niedriger als die der G_{BS-} mit $\bar{0} 1,9$ ($\sigma = 0,14$) (ANOVA; $F(1,100) = 5.25$, $p = .024$, $\eta_p^2 = .05$, siehe Anhang Tabelle A24). Diese Erkenntnis ist allerdings unter Anbetracht der häufigen Bestätigungsaufgaben und Home-Screen-Interaktionen in G_{BS+} zu relativieren, da diese in einer niedrigeren Menütiefe platziert

sind. Die Betrachtung der Kontextmenütiefe (ohne Ebene 0) führt für die beiden Gruppen (G_{BS+} : \bar{X} 2,0; G_{BS-} : \bar{X} 2,0) zu einem indifferenten Ergebnis. Neben der Ebene 0 weist auch die Verteilung der Ebene 2 in den $G_{BS+/-}$ einen hoch signifikanten Unterschied auf ($p = .003$ und somit $p \leq .01$). Dabei befinden sich 29 Nennungen der erfassten Bedienschritte in G_{BS-} und lediglich 10 Nennungen in G_{BS+} auf Interaktionen in der Ebene 2. Die Abbildung 5.50 zeigt die Verteilung der Bedienschritte in den jeweiligen Menütiefen für beide Gruppen auf.

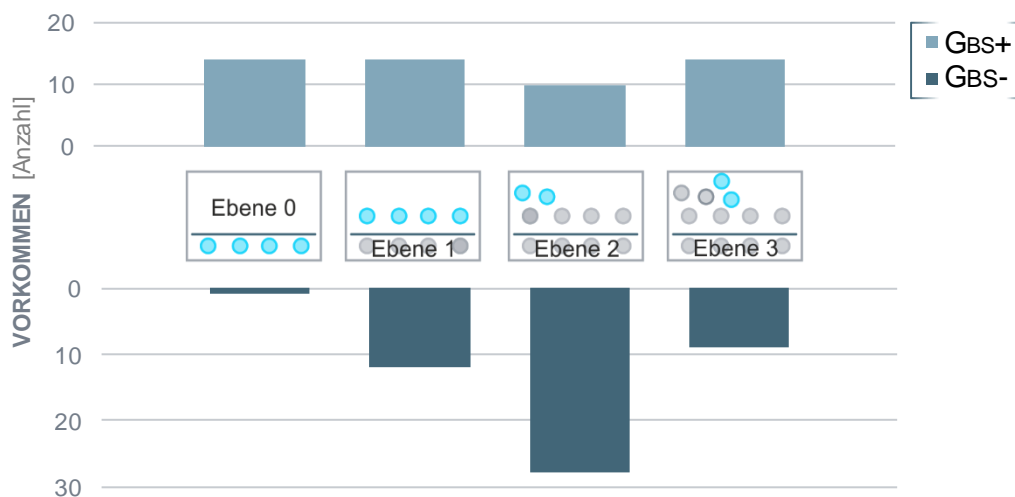


Abbildung 5.50: Vorkommen der jeweiligen Menütiefen innerhalb der beiden Gruppen

Blickgesten: Für die bessere Einordnung der gesamten Analyse ist eine Gegenüberstellung der Blickgesten mit den AV-Messungen relevant, auch wenn durch die vorangegangenen Experimente deutlich wird, dass die Blickgesten bei ähnlichem Komplexitätsgrad keinen statistischen Einfluss auf die Bedienbarkeit haben.

Die ausgeführten Blickgesten werden von den meisten Versuchspersonen als unterschiedlich gut ausführbar empfunden. Die Verteilung der genannten Rangfolgen ist in der Abbildung 5.51 zusammengestellt. Die durch die Versuchspersonen im Nachgang des Experimentes aufgestellte Reihenfolge (1 bis 6) zeigt eine eindeutige Favorisierung der „Ja“- und „Nein“-Blickgesten gegenüber den Navigationsblickgesten. Tiefergehend zeigen verbale Äußerungen (5 Nennungen) auf, dass Blickgesten, welche keine vollständige Blickrichtungsumkehr (relative Sakkadenrichtungsänderung von $\varphi = 180^\circ$ nach HOLMQVIST ET AL. [2011, S. 302]) beinhalten, leichter auszuführen waren.

Zudem werden die „Ja“- und „Nein“-Blickgesten hauptsächlich in Bedienschritten verwendet, welche eine einfache Bestätigung bzw. Verneinung und keine anspruchsvollen Navigations- und Einstellvorgängen erfordern. Dies wird bereits in der Betrachtung der Interfaceaufbauten in $G_{BS+/-}$ aufgedeckt (siehe Abbildung 5.49). Dieser kontextbezogene Einfluss ist bei der Betrachtung der subjektiven Empfindungen mit zu berücksichtigen. Die inferenzielle Statistik erfolgt mittels nicht parametrischem Friedman

Test (Anhang Tabelle A27). Die „Nein“-Geste fällt im Vergleich zu den andern mit relativ geringen invaliden Versuchen (BS und iE) auf. Obwohl statistisch nicht signifikant, lässt sich diese Tendenz durchaus erklären. Dieser Befehl ist im gewählten Versuchsdesign vorrangig mit der Home-Funktion verbunden, welche im Kontext der Menübedienung keinen großen Spielraum für alternative Interpretationen lässt.

Darüber hinaus sind die mit einer verneinenden Intension verbundenen Interaktionen generell eindeutiger als andere Bedienvorgänge. Die höhere invalide Versuchsanzahl bei den Navigationsgesten lässt darauf schließen, dass die enge Anordnung interaktiver Elemente in den Kreismenüs der Scroll-Listen vermehrt zu Störungen im Ausführungsprozess führt.

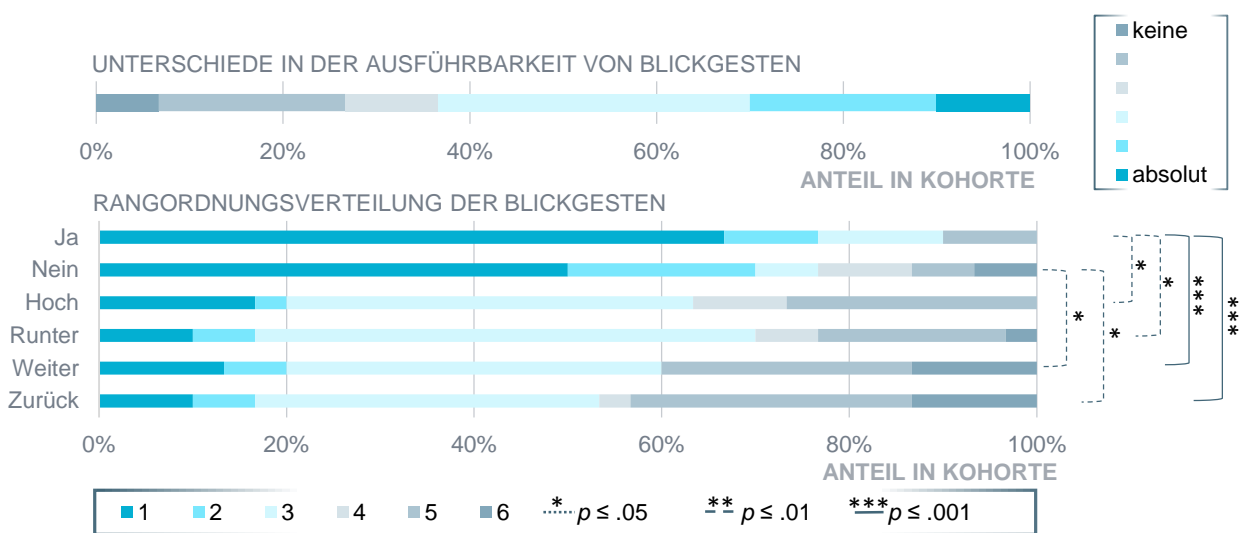


Abbildung 5.51: Wahrnehmbare Unterschiede und gewählte Rangfolge der BG

Die AV der Nutzungseffizienz weisen für die einzelnen Blickgesten keine inferenziell nachweisbaren Unterschiede auf. Die im Folgenden beschriebenen Ergebnisse stellen ausschließlich signifikante Unterschiede der durchgeführten ANOVAs dar, deren Teststatistik im Anhang Tabelle A28 zusammengefasst ist. Bei den validen und invaliden Versuchsmessungen erreicht die „Nein“-Blickgeste durchweg bessere Ergebnisse als die Navigationsblickgesten (einzige Ausnahme: BS invalide Versuche, „Nein im Vergleich zu „Weiter“). Auch die „Ja“-Blickgeste erreicht vereinzelt eine statistisch signifikant niedrigere Versuchsanzahl als die Navigationsblickgesten.

Unter den Blickgesten zur Navigation resultieren vor allem die Bedienschritte mit der „Hoch“-Blickgeste in vergleichbar vielen Versuchen. Eine hohe Anzahl an iE validen Versuchen steht zwar zum einen für ein erfolgreiches Ausführen von Blickgesten, zum anderen auch dafür, dass diese jedoch nicht zur Erfüllung der Bedienaufgabe notwendig waren. Ein derart hohes Vorkommen von iE validen Versuchen bei den Navigations-BG

zeigt, dass die damit verbunden Bedienaufgaben deutlich komplexer, im Vergleich zu den Biedenaufgaben mit „Ja“- und „Nein“-Blickgesten, erscheinen.

Erkennungsrate des Blickgestendetektionsverfahrens: Die technische Ermittlung der momentanen Prädiktionsgenauigkeit verschiedener Bediensituationen ist prinzipiell möglich, aber angesichts der Forschungshypothesen nicht zwingend relevant. Das in Kapitel 4.3.4 beschriebene computergestützte Erkennungsverfahren ist zwar unter der Prämisse einer möglichst robusten und störungsfreien Erkennung in das Experiment implementiert. Um die zentralen Forschungsfragen bzgl. der RV-Darbietung problemfrei im Experiment abzurufen, basiert die verwendete Prädiktion jedoch auf einer liberalen Reizaktivierungsschwelle, d.h. dass Blickgesten zu Lasten einer optimalen Prädiktionsicherheit tendenziell eher erkannt werden.

Die Analyse einer generellen Erkennungsqualität ermöglicht darüber hinaus Rückschlüsse auf das Nutzerverhalten, wie z.B. Kompensationsstrategien und Lernprozesse sowie den Einfluss individueller Faktoren. Eine Quantifizierung berücksichtigt die Annahme einer konstanten sensorischen Genauigkeit über das Experiment hinweg. Die Erkennungsqualität basiert auf der systemseitigen Echtzeitdetektion der Blickdaten im Versuch zur Prädiktion und der im Rahmen der Auswertung händisch nachgelabelten Datensätze. Die Erkennungsrate (kurz R_A) beschreibt dabei die reale Prädiktionsgenauigkeit des Systems und wird dabei als Quotient der Summe aus systemseitig gelabelten Blickgesten (unabhängig der erkannten BG) und der Summe aus nachgelabelten Blickgesten pro Bedienschritt definiert. Der Bereich der Erkennungsrate reicht somit von 0 % bis zu einem Maximum von 100 % vgl. Gl. 5.2.

$$R_A = \frac{\sum BG_{\text{systemseitig gelabelt}}}{\sum BG_{\text{nachgelabelt}}} \quad (5.2)$$

Für die Bewertung des Einflusses möglicher Lern- und Kompensationseffekte auf die Erkennungsrate seitens der Versuchspersonen, wird diese zeitabhängig über den Versuchsfortschritt betrachtet (Abbildung 5.52). Dabei ist eine höchst signifikante Korrelation mittlerer Effektstärke (nach Pearson $r = .420$, $df = 28$, $p < .001$) zwischen Experimentfortschritt und Erkennungsrate nachweisbar.

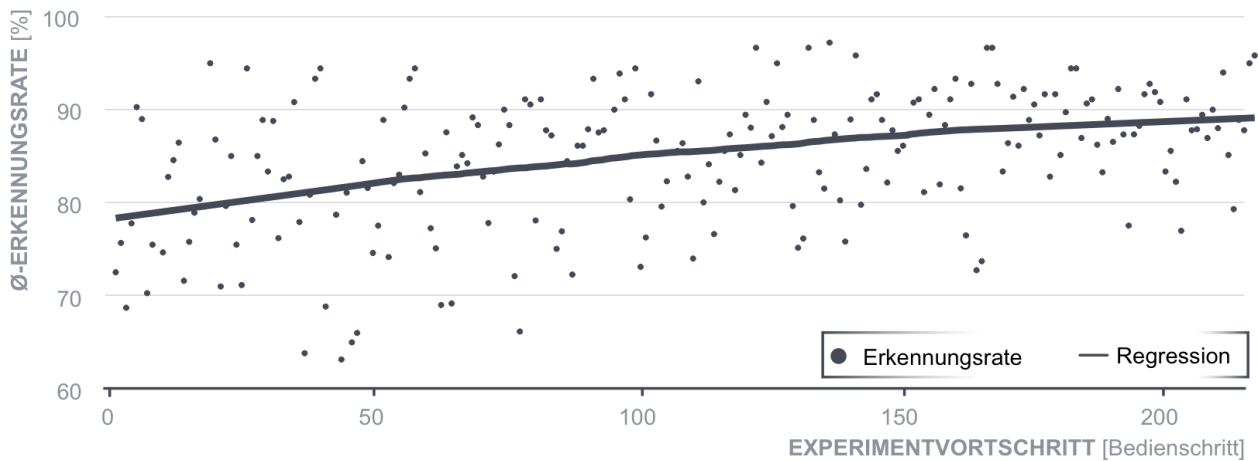


Abbildung 5.52: Erkennungsrate während des Experiments

Der Verlauf der Erkennungsrate zeigt, dass die Versuchspersonen ihre Blickgestenausführung über das Experiment hinweg verbessern, bzw. auch die Erkennung durch das System besser einschätzen können. Die gemessenen Erkennungsraten korrelieren mit den abhängigen Variablen des Experiments: Interaktionszeit ($r = -.722$, $df = 28$, $p = .000$), sowie BS valide Versuche ($r = -.735$, $df = 28$, $p = .000$) und BS invalide Versuche ($r = -.721$, $df = 28$, $p = .000$), iE valide Versuche ($r = -.917$, $df = 28$, $p = .000$) und iE invalide Versuche ($r = -.837$, $df = 28$, $p = .000$). Für die Interaktionszeit ($p = .396$) konnte keine statistisch signifikante Korrelation nachgewiesen werden (Teststatistik siehe Anhang Tabelle A29).

5.3.7 Berücksichtigung der individuellen Merkmale

Die Blickgestensteuerung und die zur Unterstützung in diesem Experiment eingesetzten visuellen Reizvariationen zielen auf eine breite Anwendergruppe ab. Daher werden die Auswirkungen von eingebrachten Fähigkeiten und Fertigkeiten sowie personenbezogenen Merkmalen auf die abhängigen Variablenmessungen im Folgenden untersucht.

Abgleich Vortest und Leistung im Experiment: Zum Vergleich zwischen der Leistung im Vortest und der im Experiment werden die Versuchspersonen in zwei Gruppen eingestuft. Die Einteilung innerhalb der Kohorte erfolgt in Versuchspersonen mit über- und unterdurchschnittlichen Fähigkeiten, im direkten Vergleich zu den anderen Versuchspersonen, anhand der Ergebnisse aus den Vortests RT, d. h. Einfachreaktion auf visuellen Reiz und räumliches Orientierungsvermögen (kurz 3D). Dabei werden die Ergebnisse aus dem Prozentrang der kognitiven Reaktionszeit und dem Prozentrang des Streuungsmaßes der kognitiven Reaktionszeit zusammengeführt (RT_{ges}).

Die Ergebnisse pro Test der objektiven Messungen der überdurchschnittlichen (kurz $RT_{ges} > 50\%$) und unterdurchschnittlichen Gruppe (kurz $RT_{ges} < 50\%$) ist in Abbildung 5.53

dargestellt. Die inferenziellen Analysen (ANOVA univariat) der jeweilige AV resultieren in keinen signifikanten Unterschieden.

Die Tendenzen zeigen überwiegend, dass die Versuchspersonen, welche in den Vortests zur überdurchschnittlichen Gruppe gehören, auch weniger Interaktionszeiten und Versuche für die Aufgabenbewältigung benötigen. Ausgenommen sind die Ergebnisse der Gestenausführungszeit. Dies zeigt, dass die RV-übergreifende Ausführungsdauer unabhängig von den in den Vortests gemessenen Fähigkeiten ist (Teststatistik siehe Anhang Tabelle A30).

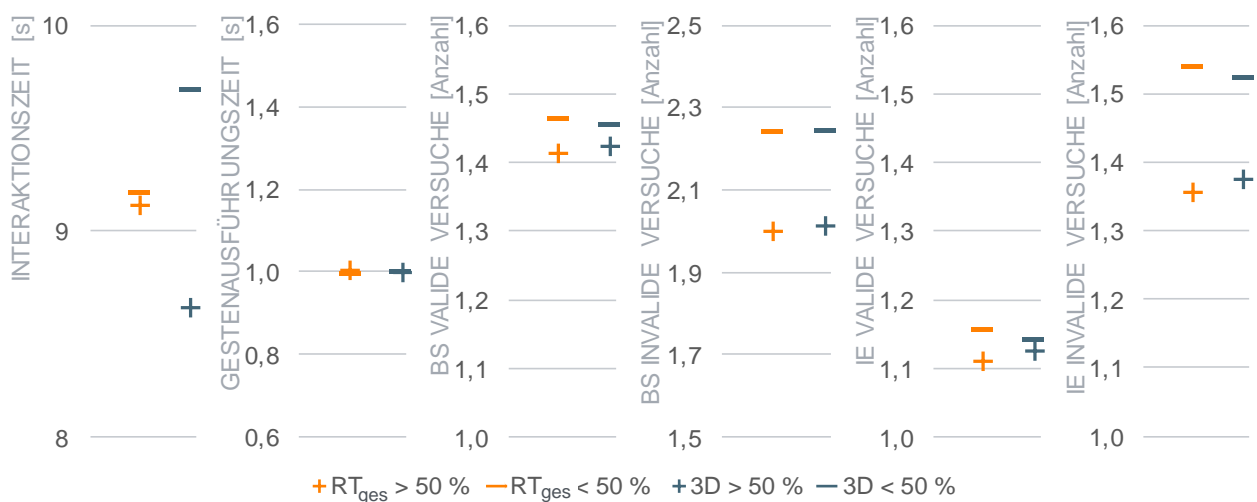


Abbildung 5.53: Performanz der beiden Gruppen bezogen auf die gemessenen AV

Empfundene Müdigkeit und Beanspruchung: Im Rahmen der Erfassung der empfundenen Müdigkeit und Beanspruchung werden, die im Vorfeld des Experimentes bereits durchgeführten, augenbeanspruchenden Tätigkeiten der Versuchspersonen erfasst. Diese Tätigkeiten sind nach individuell empfundener Rangfolge aus Sicht der einzelnen Probanden von Tätigkeit 1 (größte Bedeutung) bis 3 (geringste Bedeutung) eingeteilt. Die wesentlichsten Tätigkeitsfelder sind in Abbildung 5.54 dargestellt.

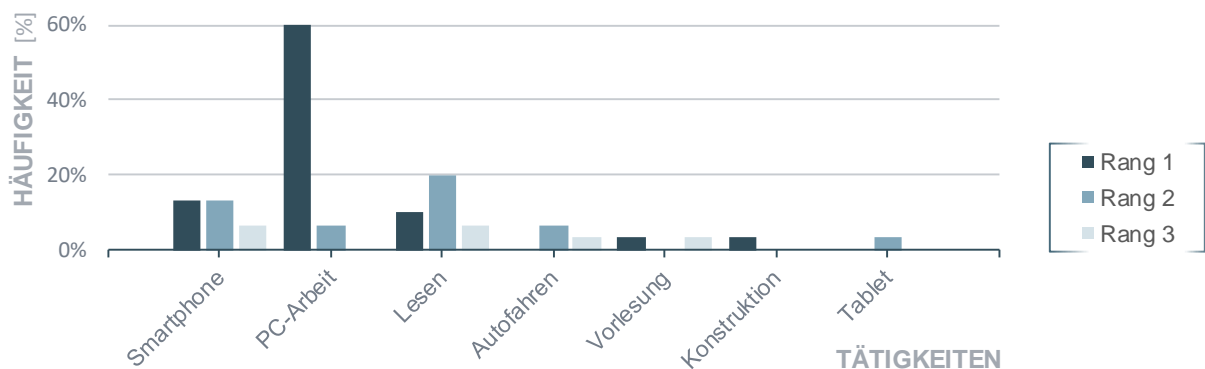


Abbildung 5.54: Häufigkeit der im Vorfeld des Experiments durchgeführten Tätigkeiten

Die inferenzielle Analyse (ANOVA; siehe Anhang Tabelle A31) der empfundenen Müdigkeit zeigt einen signifikanten Anstieg vom Experimentbeginn bis zur Messung in der Pause. Darüber hinaus findet ein geringer Müdigkeitsrückgang gegen Versuchsende statt. Die nominale Beschreibung der auftretenden Müdigkeitsstufen der Karolinska Schläfrigkeitsskala sind in Abbildung 5.55 mit den Zahlen 1 (äußerst wach) bis 10 (äußerst schläfrig, kann nicht wach bleiben) nach BEDORF [2015, S. 15] abgekürzt.

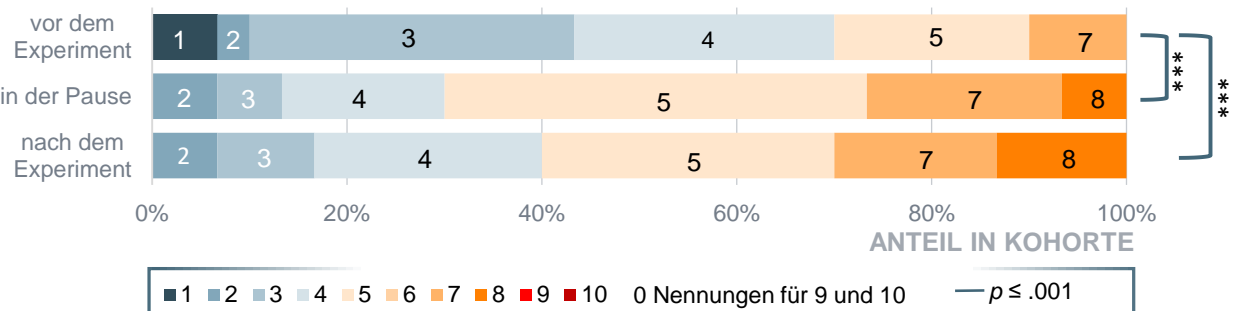


Abbildung 5.55: Verteilung der empfundenen Müdigkeit über die Experimentphasen

Die empfundene Beanspruchungsverteilung über die Experimentphasen hinweg ist in Abbildung 5.56 dargestellt. Auch die empfundene Beanspruchung der Augenmuskulatur zeigt signifikante Steigerungen über die Versuchsdauer hinweg (ANOVA; siehe Anhang Tabelle A31). Im Gegensatz zur Müdigkeit ist keine Erholung gegen Versuchsende zu erkennen. Dies lässt eine stetige Steigerung der muskulären Beanspruchung vermuten.

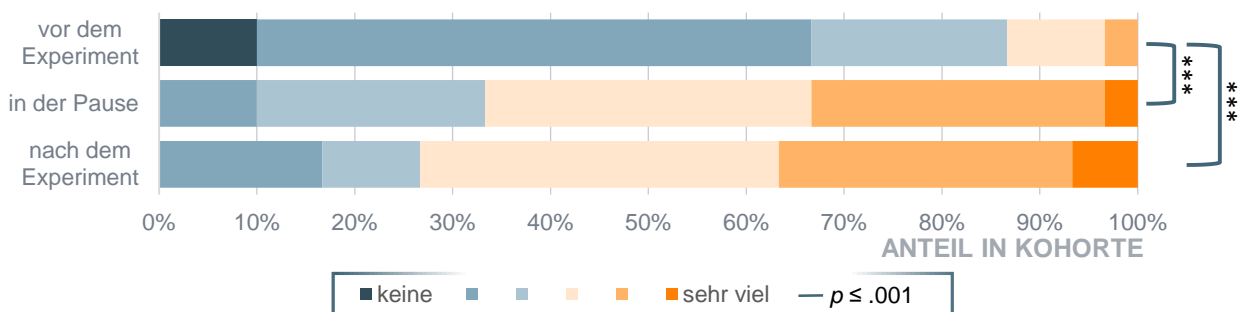


Abbildung 5.56: Verteilung der empfundenen Beanspruchung

Die Teststatistik zur Ermittlung der Einflüsse der im Folgenden beschriebenen Zwischen-subjektfaktoren (kurz ZSF) auf die abhängigen Variablen sind im Anhang in Tabelle A29 dargestellt. Die Länge des Experiments hatte sowohl auf die \emptyset -Müdigkeit als auch die \emptyset -Beanspruchung keinen nachweisbaren Einfluss. Darüber hinaus gibt es keine statistisch signifikante Korrelation dieser Faktoren mit den abhängigen Variablenmessungen des Experiments. Den Versuchspersonen ist es anscheinend möglich ihre Müdigkeit und Beanspruchung in Bezug auf ihre Interaktionsleistung zu kompensieren.

Geschlecht: Die Auswertung der systemseitigen, geschlechterspezifischen Erkennungsrate entlang des Experimentfortschritts zeigt deutlich, dass das Blickverhalten weiblicher

Personen vom Eye-Tracking-System schlechter erkannt werden als Männer (Abbildung 5.57).

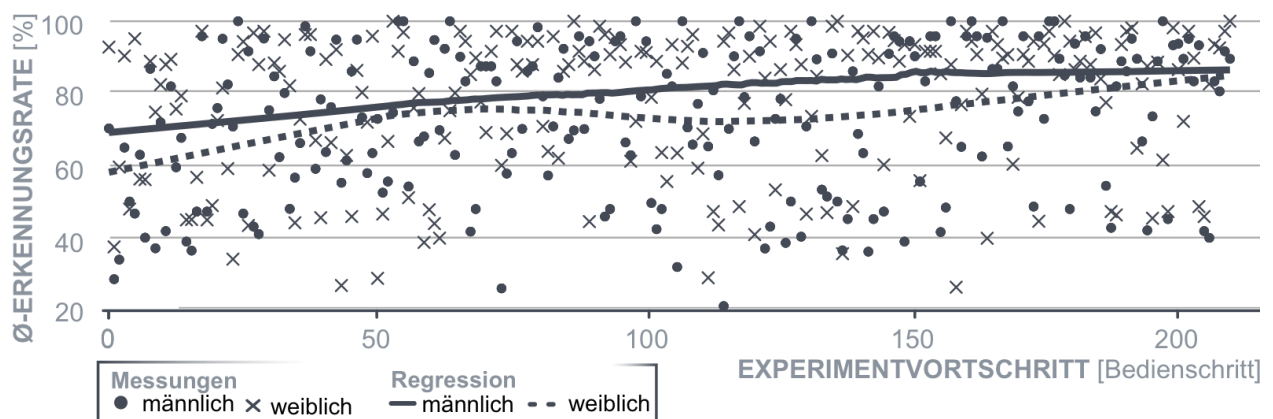


Abbildung 5.57: Geschlechterspezifische Erkennungsrate entlang des Experiments

Darüber hinaus korrelieren die höheren Versuchsanzahlen der abhängigen Variablen BS valide Versuche, BS invalide Versuche, sowie iE invalide Versuche mit dem weiblichen Geschlecht (vgl. Anhang Tabelle A29, Geschlecht: weiblich/männlich). Die tiefe gehende Analyse der abhängigen Variablen bestätigt diesen Effekt der geschlechterspezifischen Erkennung (vgl. Anhang Tabelle A32).

Gerade die Interaktionszeiten pro Bedienschritt ist für weibliche Versuchspersonen im Vergleich zu männlichen Versuchspersonen sowohl für Reizvariationen mit „Sakkadenstrecke“ (weiblich: \bar{x} 10,69 s; männlich: \bar{x} 8,49 s; ANOVA; $F(1,28) = 12.60$, $p = .001$, $\eta_p^2 = .31$) als auch mit „Rastpunkt“ (weiblich: \bar{x} 10,21 s; männlich: \bar{x} 8,18 s; ANOVA; $F(1,28) = 3.66$, $p = .000$, $\eta_p^2 = .39$) als Unterstützungselement signifikant länger. Die Darbietungselement-spezifische Betrachtung zeigt, dass gerade das Darbietungselement „Rastpunkt“ für weibliche Versuchspersonen in allen abhängigen Variablen außer iE valide Versuche in statistisch schlechteren Ergebnissen. Für das Darbietungselement „Sakkadenstrecke“ resultieren lediglich die Interaktionszeit, BS valide Versuche und BS invalide Versuche in statistisch schlechteren Ergebnissen (vgl. Anhang Tabelle A32).

Expertise: Aufgrund fehlender Erfahrung im Umgang mit der Blickinteraktion (siehe Abbildung 5.21) bezieht sich die herangezogene Expertise auf die Fertigkeit zur Entwicklung von Nutzerschnittstellen (HMI-Experte). Somit werden die Versuchspersonen in Gruppen mit und ohne Expertise eingeteilt. Der Abgleich mit den abhängigen Variablen zeigt keinen signifikanten Einfluss der Gruppen (vgl. Anhang Tabelle A29, Expertise: nein/ja). Darüber hinaus resultiert die inferenzielle Untersuchung sowohl für Reizvariationen mit dem Darbietungselement „Sakkadenstrecke“ als auch mit „Rastpunkt“ nicht in signifikanten Unterschieden (vgl. Anhang Tabelle A33).

Sehchwäche: Die Performanzen von Versuchspersonen mit Brille als Sehhilfe resultieren bei der Analyse in signifikant schlechteren Ergebnissen als die der Versuchspersonen ohne Sehhilfe (vgl. Anhang Tabelle A34). Die genauere Untersuchung der Korrelation mit den abhängigen Variablenmessungen bestätigt diesen Zusammenhang (vgl. Anhang Tabelle A29, Sehhilfe notwendig: nein/ja). Allerdings werden die Träger von Kontaktlinsen durch diese nicht negativ beeinflusst (vgl. Anhang Tabelle A29, Kontaktlinsen: nein/ja). Aufgrund der signifikanten Korrelation des Zwischensubjektfaktors Sehhilfe mit den Messungen der abhängigen Variablen (beeinflusst durch die Brillenträger) wird dieser mittels weiterer Tests untersucht.

Dabei resultieren die Interaktionszeiten für Reizvarianten mit Darbietungselement „Sakkadenstrecke“ (ANOVA; $F(1,28) = 7.54$, $p = .010$, $\eta_p^2 = .21$) bzw. „Rastpunkt“ (ANOVA; $F(1,28) = 4.80$, $p = .037$, $\eta_p^2 = .15$) in signifikant schlechteren Werten für Versuchspersonen mit Sehchwäche. Für das Darbietungselement „Rastpunkt“ resultiert auch die Gestenausführungszeit für Versuchspersonen mit Sehchwäche in signifikant längeren Zeiten (ANOVA; $F(1,28) = 4.87$, $p = .036$, $\eta_p^2 = .15$). Die Betrachtung der BS validen Versuche (ANOVA; $F(1,28) = 7.82$, $p = .009$, $\eta_p^2 = .22$) sowie BS invaliden Versuche (ANOVA; $F(1,28) = 8.63$, $p = .007$, $\eta_p^2 = .24$) zeigt für Versuchspersonen mit Sehchwäche statistisch höhere Versuchsanzahlen bei Reizvariationen mit Darbietungselement „Sakkadenstrecke“ auf. Für den „Rastpunkt“ resultieren die iE invalide Versuche für Versuchspersonen mit Sehchwäche in statistisch höheren invaliden Versuchen (ANOVA; $F(1,28) = 4.20$, $p = .050$, $\eta_p^2 = .13$) (vgl. Anhang Tabelle A34).

Fähigkeiten und Fertigkeiten: Die Leistung des Reaktionstests der Versuchspersonen, korreliert erwartungsgemäß mit der Ausübung regelmäßiger Ballsportarten (9 Nennungen) mit einem signifikanten Effekt ($p = .018$, $r = .43$, $df = 28$, vgl. Anhang Tabelle A29). Die weiterführende Inferenzanalyse zeigt, dass sich für die abhängigen Variablen BS valide Versuche, BS invalide Versuche, sowie iE valide Versuche und iE invalide Versuche signifikante Effekte aus dem regelmäßigen Spielen von Ballsportarten ergeben (vgl. Anhang Tabelle A35).

Der Zwischensubjektfaktor musikalische und künstlerische Tätigkeiten (9 Nennungen) korreliert weder mit den Ergebnissen des Vortests noch mit denen der abhängigen Variablenmessungen (vgl. Anhang Tabelle A29).

Computerspielaffine Versuchspersonen (9 Nennungen) weisen bei den Vortests im Vergleich zur restlichen Gruppe gleichermaßen gute Resultate auf. Diese Versuchspersonen erzielen jedoch bei den abhängigen Variablen Interaktionszeit, BS valide Versuche und BS invalide Versuche signifikant bessere Ergebnisse als die

restliche Kohorte (vgl. Anhang Tabelle A36). Aufgrund der deutlichen Effekte erfolgt für diese abhängigen Variablen ebenfalls eine detailliertere Betrachtung hinsichtlich beider Unterstützungselemente (vgl. Anhang Tabelle A37). Gerade bei den Interaktionszeiten der Reizvariationen mit Darbietungselement „Rastpunkt“ erzielt die computerspielaffine Gruppe ($\bar{\mu}$ 7,82s) signifikant bessere Ergebnisse (ANOVA; $F(1,28) = 8.31$, $p = .007$, $\eta_p^2 = .23$) als die restliche Kohorte ($\bar{\mu}$ 9,50s).

Da der explizite Einfluss der Anwenderexpertise keinen zentralen Bestandteil des Experiments darstellt, ist dieser daher nicht abschließend beurteilbar. Die Ergebnisse lassen jedoch darauf deuten, dass die individuellen Fähigkeiten und Fertigkeiten einen Einfluss auf die Performanz haben.

Versuchsbeginn: Der Beginn des Versuches korreliert sowohl mit der durchschnittlich empfundenen Müdigkeit als auch mit der Beanspruchung (vgl. Anhang Tabelle A29, gemittelte Ergebnisse aus den drei Messungen über das Experiment hinweg, $\bar{\mu}$ Müdigkeit: niedrig/hoch). Der zweite Versuchslot vormittags ($\bar{\mu}$ 3,75) und der erste Slot am Nachmittag ($\bar{\mu}$ 3,75) zeigen jeweils signifikant höhere $\bar{\mu}$ -Beanspruchungen als der erste Versuchslot morgens ($\bar{\mu}$ 2,62; ANOVA; $F(3,26) = 4.67$, $p = .027$, $\eta_p^2 = .353$) (vgl. Anhang Tabelle A38). Die genauere Überprüfung eines möglichen Effektes auf die abhängigen Variablenmessungen zeigt jedoch keine statistisch signifikanten Unterschiede.

5.4 Ergebnisbewertung und Gestaltungsempfehlung

Die zuvor vorgestellten Analysen des Experiments werden nachfolgend erläutert und weitere Folgerungen diskutiert. Dazu werden die theoretisch diskutierten Zusammenhänge der blickgesteuerten Nutzerschnittstelle aus Kapitel 4.1 in die Überlegungen mit einbezogen. Anhand der durchgeführten Messungen wird eine belastbare Einschätzung der situativen visuellen Unterstützung und der mit dieser in Verbindung stehenden Gebrauchsgüte (vgl. Kapitel 5.1.1, Abbildung 5.1) in Abhängigkeit der Anzeigergestaltung ermöglicht.

Darüber hinaus können Rückschlüsse auf die erfassten individuellen Anwendermerkmale im Umgang mit visuell unterstützten Blickgesteninterfaces gezogen werden. Anhand der Ergebnisse der betrachteten Interfacegestaltungsaspekte Aufbau, interaktiver Elementabstand und Menütiefe (vgl. Kapitel 5.1.5) können grundsätzliche Gestaltungsempfehlungen für blickgesteuerte Interfaces abgeleitet werden.

Methodische Erkenntnisse: Das anwendungsnahe Experiment ermöglicht den Versuchspersonen den Nutzungskontext realitätsnah zu erleben, wodurch sich das Interaktionsverhalten an reale Anwendungen einer blickgestengesteuerten Menünavigation deutlich annähert (vgl. Kapitel 5.1.5). Aufgrund dieser speziellen Experimentausrichtung werden die Auswirkungen realer Einflüsse wie z.B. Suchvorgänge und kognitive Entscheidungsprozesse zur Aufgabenbewältigung [vgl. RASMUSSEN 1983] mit in die Ermittlung gebrauchstauglicher Reizvariationen einbezogen. Die ermittelbaren Gestaltungsempfehlungen sind daher eher in reale Interfaceanwendungen übertragbar, als Ergebnisse ohne einen derartigen Nutzungskontext.

Dabei steht das Bestreben nach einem anwendungsnahen Experiment jedoch teilweise mit den notwendigen Restriktionen eines zu kontrollierenden Versuchsdesigns und dem damit verbundenen sicheren Abprüfen der Forschungshypothesen im Widerspruch. Daher werden im Einzelfall gewisse Inkonsistenzen in der Interfacebedienung in Kauf genommen, um die Kontrollierbarkeit des Experiments zu gewährleisten. Beispielhaft ist es für das gleichverteilte Häufigkeitsvorkommen von Blickgesten im Experiment notwendig, das Widerrufen von Interaktionsdialogen durch sowohl „Nein“- als auch „Zurück“-Blickgesten zu steuern (vgl. Kapitel 5.1.4). Als ein weiteres Beispiel sind die wechselnden Navigationsprinzipien in horizontaler oder radialer Anordnung zu sehen, welche notwendig sind, um den Einfluss der verschiedenen Interfaceaufbauten abzuprüfen (vgl. Kapitel 5.1.5).

Eine weitere Herausforderung besteht darin, die Empfindungen und Kommentare der Versuchspersonen valide für die Ergebnisauswertung mit aufzunehmen. Der Analysefokus des Experiments liegt auf den, sich direkt aus der Interaktion ergebenden, Zeit- und Versuchsanzahlmessungen, welche als Metriken zur Bewertung der Gebrauchsqualitätskategorien herangezogen werden (vgl. Kapitel 5.1.3). Aus diesem Grund können gängige Methoden, wie z. B. „Think out Loud“ (übers. lautes Denken) nicht für das unmittelbare Erfassen der Eindrücke verwendet werden, da diese die genannten objektiven Messungen beeinflussen würden. Jedoch besteht in der verwendeten geteilten Befragung in der Experimentpause und nach dem Experimentende ein optimaler Kompromiss, der für die gestellten Fragen keinen erkennbaren Nachteil aufweist.

Beurteilung der subjektiven Messergebnisse: Die Befragung zur funktionalen Nutzungszufriedenheit bestätigt, dass ein situativ visueller Anzeiger zur Unterstützung der Blickgestenausführung beitragen kann. Darüber hinaus wird eine solche Unterstützung bei der Interaktion vom Nutzer, gegenüber einer Interaktion ohne eine solche Unterstützung, bevorzugt (vgl. Abbildung 5.25). Des Weiteren ist es Nutzern

möglich Unterschiede, hinsichtlich der Unterstützungswirkung zwischen den verschiedenen Reizvariationen, festzustellen. Aus den Befragungen ist eine tendenzielle, subjektiv ideale Kombination der Gestaltungsparameterstufen ableitbar (vgl. Abbildung 5.26).

Beurteilung der objektiven Messergebnisse: Die, zur Überprüfung der Nutzungseffizienz und Nutzungseffektivität durchgeführten, Messungen beinhalten keinen statistisch bestimmbaren Haupteffekt eines einzelnen Gestaltungsparameters. Dies lässt auf einen Effekt innerhalb der einzelnen Parameterkombinationen schießen.

Die Betrachtung der abhängigen Variablen zeigt signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Reizvariationen. Die performantesten RV, welche nach der Entscheidungsmethode aus Kapitel 5.3.4 identifiziert werden und die RV-Gruppe AV_{x+} bilden, besitzen ähnliche Parameterkombinationen. Diese Betrachtung ermöglicht Rückschlüsse auf geeignete Kombinationen verschiedener Gestaltungsparameterstufen. Dabei ist auffällig, dass die subjektiv präferierte Reizvariation mit dem Merkmalselement „Sakkadenstrecke“ keiner der objektiv präferierten Gruppen angehört.

Die statistischen Untersuchungen bzgl. der Nutzungseffizienz und -effektivität zeigen auf, dass die signifikant besseren Gestaltungsparameterstufen innerhalb der präferierten RV-Gruppen deutlich mit den jeweiligen Stufen der performantesten Reizvariationen übereinstimmen. Zur Ermittlung der geeignetsten Gestaltungsparameterstufen werden die Ergebnisse der präferierten Gruppen, die Auswahl der performantesten Reizvariationen und die Ergebnisse der Untersuchungen zur Reizintensitätsparameterinteraktionen miteinbezogen (vgl. Tabelle 5.10). Diese zweistufige Betrachtung erweist sich als notwendig, da die reine inferenzielle Untersuchung aufgrund der lokalen Interaktionseffekte einzelner Parameterkombinationen keinen Aufschluss über die Eignung spezifischer Reizvariationen ermöglicht.

Einfluss der Unterstützungsmerkmale auf die Nutzungseffizienz: Die Ergebnisse der Metriken Interaktionszeit und Gestenausführungszeit zeigen deutlich auf, dass die abgeleitete Nutzungseffizienz hauptsächlich über die Unterstützungsmerkmale Element, Ablauf und Darbietungsprinzip beeinflusst wird. Eine „statische“ Unterstützung der „Sakkadenstrecke“ ist gerade auf Grund der erfassten schnelleren Gestenausführungszeiten im Vergleich zu einer „dynamischen“ Darbietung zu bevorzugen (vgl. Abbildung 5.30). Bei dieser Unterstützungsvariante resultiert die Abfolgevariation „letztes Segment“ in signifikant längeren Gestenausführungszeiten im Vergleich zu den Variationen „gesamt“ und „schrittweise“. Die Variation der Abfolge hat an dieser Stelle keinen Einfluss mehr auf die Interaktionszeit des Bedienschritts.

Bei der Unterstützung des „Rastpunkts“ ergibt sich aufgrund des, im Vergleich zur „Sakkadenstrecke“, vergleichsweise geringeren visuellen Unterschieds zwischen „statischer“ und „dynamischer“ Darbietung keine Präferenz. Dabei ist sowohl für die „statische“ and auch „dynamische“ Darbietung von der Abfolgevariation „gesamt“, aufgrund der längeren Zeiten, abzusehen. Im Vergleich zu der Abfolge „gesamt“ resultiert die „schrittweise“ Abfolge in höchst signifikant kürzeren Interaktions- und Gestenausführungszeiten (vgl. Abbildung 5.34 und Abbildung 5.35).

Einfluss der Reizintensität auf die Nutzungseffizienz: Der Einfluss durch unterschiedliche Reizintensitäten ist nur bei Reizvariationen mit „dynamisch“, „schrittweise“ dargestelltem „Rastpunkt“ durch die Veränderung der Helligkeitsstufe (vgl. Abbildung 5.36) und bei „statisch“, „schrittweise“ dargestelltem „Rastpunkt“ durch Größenänderung festzustellen (vgl. Abbildung 5.37).

Dahingegen haben die abgefragten Gestaltungsparameter der Reizintensität keinen Einfluss auf Reizvarianten mit der „Sakkadenstrecke“ als Darbietungselement. Dies Erkenntnisse verdeutlichen, dass die visuelle Gestalt des Anzeigers keinen messbaren Einfluss auf die zeitlichen Faktoren der Gebrauchqualität hat. Daher ist davon auszugehen, dass die Beeinflussung der Nutzungseffizienz ausschließlich über die Gestaltungsparameter der Bediencharakteristik erfolgt.

Einfluss der Unterstützungsmerkmale auf die Nutzungseffektivität: Die Ergebnisse der Metriken zur Nutzungseffektivität lassen darauf schließen, dass sowohl bei einer situativen visuellen Unterstützung der „Sakkadenstrecke“ als auch des „Rastpunkts“ „statische“ Reizvariationen im Vergleich zu „dynamischen“ Reizvariationen eindeutig zu bevorzugen sind (vgl. Abbildung 5.30, Abbildung 5.34). Wohingegen bei „dynamischer“ Darbietung der Ablauf „letztes Segment“ eindeutig zu bevorzugen ist, zeigt sich für die „statische“ Darbietung keine eindeutige Präferenz.

Einfluss der Reizintensität auf die Nutzungseffektivität: Abhängig von den jeweiligen Darbietungsmerkmalen resultieren die Messungen der Reizintensitätsparameter in unterschiedlichen Ergebnissen. Beispielhaft ist für die Sakkadenstrecke „statisch“ mit der Abfolge „letztes Segment“ die Helligkeitsstufe „dunkel“, in Kombination mit der Längenstufe „vollständig“ zu bevorzugen, wohingegen bei der „schrittweisen“ Abfolge die Helligkeitsstufe „dunkel“ zu vermeiden ist (vgl. Abbildung 5.32). Bei letzterer Merkmalsvariante erweist sich auch, im Gegensatz zu der Abfolge „letztes Segment“, eine „breite“ und „teilweise“ Darstellung als performanter (vgl. Abbildung 5.33).

Wie bereits durch die beschriebenen Effekte der RV-Kombinationen in Kapitel 5.3.4, Tabelle 5.10 deutlich wird, lassen diese Ergebnisse darauf schließen, dass die Gestaltung der Reizintensitäten von den verwendeten Darbietungsmerkmalen der Unterstützung abhängig ist.

Einfluss von Anzeigerhelligkeit und -fläche: Bei der bereits erwähnten Betrachtung der Reizintensitätsparameterinteraktion (vgl. Abbildung 5.38 bis Abbildung 5.45) besteht zwischen den Gestaltungsparametern Helligkeit und Form ein RV-Gruppenübergreifender Effekt. Durch diesen wird die Tendenz verdeutlicht, dass eine bessere Gebrauchsgüte bei kleiner Anzeigerfläche (Länge x Breite bei Sakkadenstrecke bzw. Größe bei Rastpunkt) nur mit einer helleren Darbietung, d. h. geringer Transparenz, ermöglicht wird bzw. bei größerer Anzeigerfläche durch eine dunklere Darbietung mit höherer Transparenz.

Somit scheint ein natürliches Maximum der Reizintensität im Sinne einer gebrauchstauglichen Gestaltung eines situativen visuellen Anzeigers zu existieren. Die im Einzelfall spezifische Ausprägung wird dabei von den jeweiligen Merkmalskategorien Element, Ablauf und Darbietungsprinzip bedingt (vgl. Kapitel 5.3.4, Tabelle 5.10).

Daher ist für eine „schmale“, „teilweise“ Sakkadenstrecke, d. h. kleine Anzeigenfläche, die Helligkeitsstufe „hell“, bzw. für eine „breite“, „vollständige“ Sakkadenstrecke, d. h. große Anzeigenfläche, die Helligkeitsstufe „dunkel“ zu bevorzugen. Analog dazu ist bei einer mittleren Anzeigenfläche, wie es bei einer „breiten“, „teilweisen“, bzw. „schmalen“, „vollständigen“ Sakkadenfläche der Fall ist, die Helligkeitsstufe „mittel“ zu verwenden. Dies gilt auch bei dem Rastpunkt, bei welchem für eine Größenstufe „klein“ die Helligkeitsstufe „hell“, bzw. für die Größenstufe „groß“ die Helligkeitsstufe „dunkel“ zu verwenden ist. Dieser beobachtete Effekt der zu präferierenden Helligkeitsstufen bei unterschiedlicher Unterstützungselementgröße, ist in Abbildung 5.58 über die verschiedenen Graustufen visualisiert.



Abbildung 5.58: Parameterinteraktion zwischen Elementfläche und Helligkeit

Die erfasste Tendenz zur Helligkeitsstufe „mittel“ erklärt sich durch die gegensätzlichen Randbedingungen, mögliche Überblendung von wichtigen Interfaceinhalten bei zu heller Darstellung und mangelnde Unterstützungsleistung bei dunkler Darstellung, aufgrund eines zu geringen Hintergrundkontrasts.

Vergleichbarkeit zur unterstützungslosen Blickgestensteuerung: Im Vergleich zu den Referenzmessungen ohne einen situativen visuellen Anzeiger weisen die performantesten Reizvariationen keine statistisch nachweisbaren Unterschiede bzgl. der Nutzungseffizienz und Nutzungseffektivität auf (vgl. Abbildung 5.27 und Abbildung 5.28). Allerdings liegt die Gestenausführungszeit der Referenzmessung nur auf Rang 42 der evaluierten Stimuli und somit nicht innerhalb der $AV_{\text{Gestenausführungszeit}}$ Gruppe. Dies zeigt, dass geeignete Unterstützungsreize die Ausführungsdauer verkürzen können.

Abgeleitete Gestaltungsempfehlung des situativen visuellen Anzeigers: Auf objektiver Basis kann aufgrund der vergleichbaren statistisch nachgewiesenen Unterstützungsleistung sowohl für das Darbietungselement „Sakkadenstrecke“ als auch für das Element „Rastpunkt“ eine Empfehlung ausgesprochen werden. Wie das Vorgehen in der Ergebnisauswertung bereits verdeutlicht, ist das Einbeziehen von mehreren Aspekten für eine eindeutige Darstellung von Gestaltungsempfehlungen notwendig.

Darunter zählt zum einen das möglichst häufige Vorkommen der Reizvariation in den verschiedenen AV_{x+} -Gruppen (vgl. Tabelle 5.9). Dieses Kriterium weist auf eine grundsätzlich leistungsfähige Unterstützung im Sinne der Gebrauchsqualität hin. Die subjektiv empfundene Nutzerpräferenz zu bestimmten Gestaltungsparameterkombination stellt ebenfalls einen zu berücksichtigenden Aspekt dar (vgl. Abbildung 5.26, Tabelle 5.7). Auf Basis dieser ist es möglich, die Reizeinflüsse auf die mentale Nutzereffizienz und die funktionale Nutzerzufriedenheit ebenfalls in die Gestaltungsempfehlung mit einzubeziehen. Als letzter Aspekt werden die konkreten signifikanten Unterschiede innerhalb der abhängigen Variablen der Nutzungseffizienz und Nutzungseffektivität von einzelnen Gestaltungsparametern in den relevanten RV-Gruppen (vgl. Kapitel 5.3.4) herangezogen.

Die sich ergebende prinzipielle Darbietung und die mehrstufige Herleitung über die beschriebenen Untersuchungskategorien „Vorkommen in der AV_{x+} -Gruppe“, Nutzerpräferenz und statistische Präferenz innerhalb der Stimuligruppe, sind in Abbildung 5.59 dargestellt (bzgl. der RV-Schlüssel wird auf die Tabelle A4 des Anhangs verwiesen). Die Gestaltungsparameter definieren sich nach den in Kapitel 4.3.3 beschriebenen Merkmalsstufen wie folgt.

Sakkadenstrecke:

- Für die Sakkadenstrecke befinden sich „statische“, „schrittweise“ Darbietungen am häufigsten unter den besten Reizvarianten bzgl. der abhängigen Variablen wieder (d.h. höchste Häufigkeit innerhalb der AV_{x+} Gruppen, in mittlerem Grau gekennzeichnet).
- Gerade der Anzeiger mit „**statischer**“ und „**schriftweiser**“ Darbietung mit den Gestaltungsparameterstufen „**teilweise**“ (1/2 Segmentlänge), „**schmal**“ (5 mm) und „**mittlerer**“ (145 cd/m²) Helligkeitsstufe zeigt dabei die beste Unterstützungsleistung (RV-Nummer 41, mit oranger Umrandung gekennzeichnet).
- Dessen Intensitätsstufen (Helligkeit, Länge, Breite) stimmen zudem mit der subjektiv empfundenen Nutzerpräferenz überein (RV-Nummer 5, in grün gekennzeichnet). Diese unterscheidet sich von der RV-Nummer 41 lediglich durch das dynamische Darbietungsprinzip.

Rastpunkt:

- Auch für den Rastpunkt befinden sich „statische“, „schrittweise“ Darbietungen am häufigsten unter den besten Reizvarianten bzgl. der abhängigen Variablen wieder (d.h. höchste Häufigkeit innerhalb der AV_{x+} Gruppen, in mittlerem Grau gekennzeichnet).
- Hier besteht die beste Unterstützungsleistung bei einem Anzeiger mit „**statischer**“ und „**schriftweiser**“ Darbietung und mit den Gestaltungsparameterstufen „**klein**“ (5 mm) und „**mittlerer**“ (145 cd/m²) Helligkeitsstufe (RV-Nummer 92, mit oranger Umrandung gekennzeichnet).
- Dieser weicht von der subjektiv empfundenen Nutzerpräferenz (RV-Nummer 77, in grün gekennzeichnet) lediglich in den Parametern Darbietungsprinzip und Größenstufe ab.

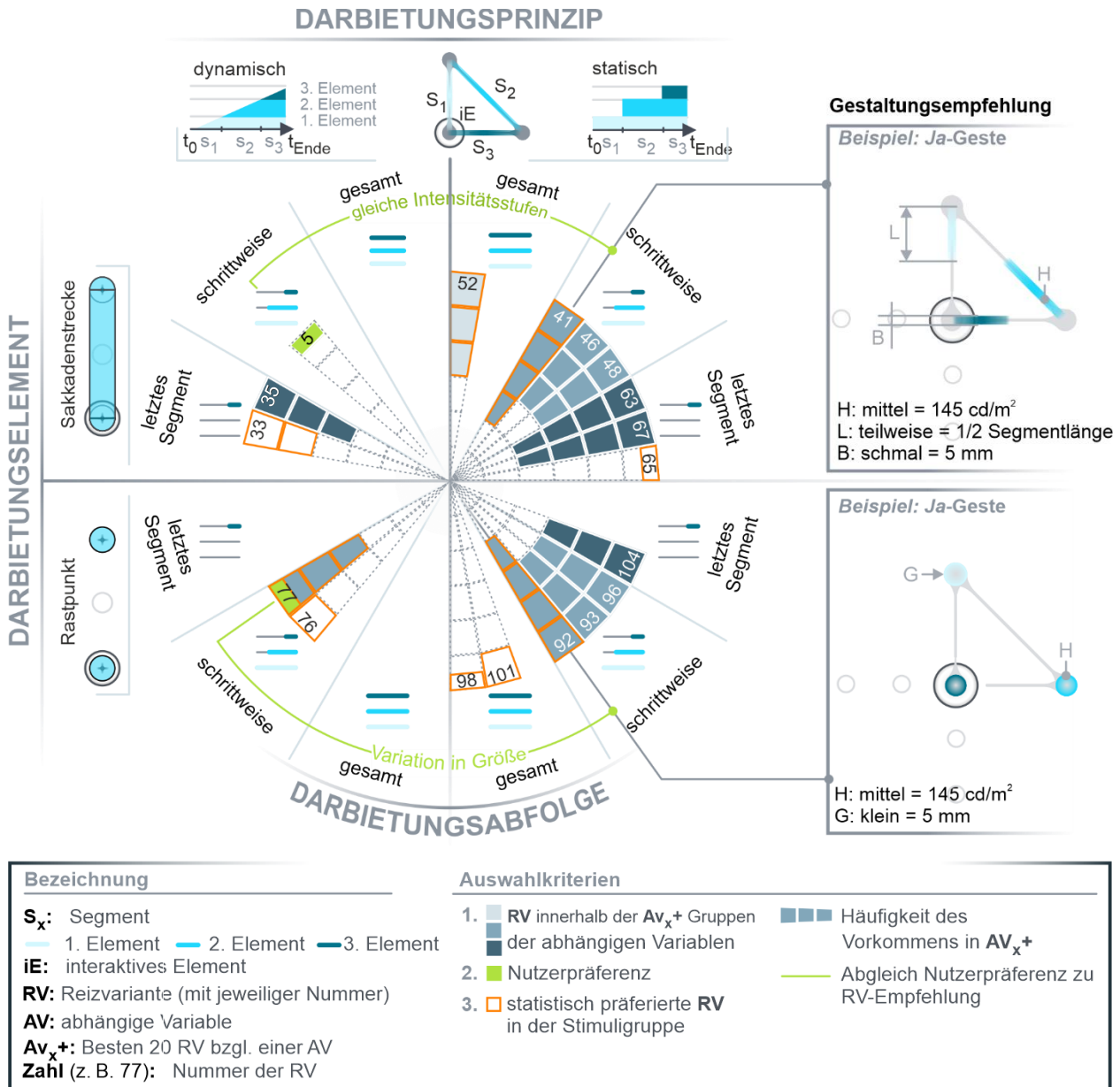


Abbildung 5.59: Gestaltungsempfehlung des situativen visuellen Anzeigers auf Grundlage der Auswahlkriterien

Der entstandene Freiheitsgrad des Darbietungselements der Gestaltungsparameterdefinition kann somit in den Entwicklungsprozess der Interfacegestaltung eingebracht und Entscheidungen im Kontext der Anwendung getätigt werden.

Im Anschluss an die Ergebnisdeutung zur spezifischen Ableitung der Gestaltungsempfehlung folgt weiterführend die Betrachtung der Experimenterkennnisse hinsichtlich blickgestengesteuerter MTI.

Diskrepanz zwischen Nutzerempfinden und objektiver Messung: Aus der Ergebnisauswertung ist vor allem in Bezug auf das Darbietungsprinzip des Reizes eine deutliche Diskrepanz zwischen subjektivem Empfinden und objektiver Messung festzustellen. Dazu wurde die Alternativhypothese aufgestellt, dass Versuchspersonen mit

langsamerer Blickgestenausführung mit der statischen, empirisch definierten Darbietungsgeschwindigkeit des Reizes bessere Ergebnisse erzielen. Diese wurde durch die objektiven Messungen jedoch nicht bestätigt. Mögliche Erklärungen für diesen Effekt können in der Beeinflussung der funktionalen Nutzerzufriedenheit bei der Abfrage durch die formale Nutzerzufriedenheit bestehen, welche im Widerspruch mit der Nutzungseffektivität und Nutzungseffizienz steht. Eine weitere Erklärung könnte sein, dass visuelle Erkennungsprozesse für zeitabhängige, dynamische Reize mehr kognitive Ressourcen benötigen als statische.

Ein Kompromiss könnte in der Gestaltung eines dynamischen, schrittweisen Anzeigers bestehen, welcher sich durch geeignete Algorithmen oder Kalibration adaptiv auf die Ausführungsgeschwindigkeit des Nutzers anpasst. Dessen Gestaltung bedarf weiterer Untersuchungen, um die Auswirkungen des adaptiven Anzeigers auf die Gebrauchsgüte zu evaluieren. Sowohl die Gebrauchsgüte der Blickgesteninteraktion als auch die Ergebnisse der Vortests werden ferner nicht von der Uhrzeit des Experimentbeginns beeinflusst (vgl. Kapitel 5.3.3, Kapitel 5.3.4, Anhang Tabelle A29).

Erkenntnisse zu den Blickgesten: Die in diesem Experiment verwendeten Blickgesten erweisen sich als praktikabel und leicht erlernbar. Darüber hinaus haben sich keine Einschränkungen der situativ visuellen Unterstützung gezeigt. Zwischen den Blickgesten werden gewisse Nutzerpräferenzen festgestellt. Diese werden statistisch in den abhängigen Variablenmessungen bestätigt. Zweidimensionale Dialoggesten („Ja“ und „Nein“) erweisen sich gegenüber den richtungsgebunden eindimensionalen Blickgesten hinsichtlich der Gebrauchsgüte als überlegen.

Die Verwendung von Blickgesten mit geringeren Sakkadenrichtungsänderungen ermöglichen anscheinend fließendere und somit komfortablere Augenbewegungen. Bei dieser Erkenntnis ist allerdings auch auf den Interaktionskontext der einzelnen Blickgesten hinzuweisen. Dieser Kontext ist bei den Dialoggesten oftmals einfacher und eindeutiger herzustellen als bei den vielseitigen und komplexeren Interaktionsaufgaben, die eine Verwendung von Navigationsblickgesten erfordern.

Erkenntnisse hinsichtlich des Blickgesteninterfaces: Die Interfaceverständlichkeit hängt von den Konsistenzen in Darbietung und Bedienweise ab. Darüber hinaus ist die Icon-Verständlichkeit ebenfalls ein großer Einflussfaktor, welcher bei Unverständlichkeit zu einer erhöhten Anzahl BS-valider Versuche führt. Die Anzahl dargebotener Elemente im Interface hat keinen direkten Effekt auf die Gebrauchsgüte (vgl. Kapitel 5.3.6). Jedoch ist zu beobachten, dass sich die überlappende Anordnung im Vergleich zur raumgebenden Anordnung negativ auf die Gebrauchsgüte auswirkt. Den verschiedenen Aufbaukategorien können keine statistisch signifikanten Einflüsse

nachgewiesen werden (vgl. Abbildung 5.49). Auch wenn ein Einfluss der Menütiefe nachweisbar ist (vgl. Abbildung 5.50), ist dieser primär auf die jeweilig dargestellten Funktionen und deren Verständlichkeit zurückzuführen.

Diese Beobachtungen verdeutlichen, dass die Interfacequalität nicht nur von der reinen Element- und Ordnungsanzahl im Interfaceaufbau abhängt, sondern auch durch notwendige Kompatibilitäten, konsistente Darstellung und Bedienlogik beeinflusst wird.

Individuelle Einflüsse auf die Interaktion: Die im Experiment abgefragten individuellen Fähigkeiten und Fertigkeiten können sich auf vielseitige Weise auf die Blickgesteninteraktion auswirken (Kapitel 5.3.7). Sie stellen allerdings nur eine begrenzte Auswahl dar. Dabei hat die Vertrautheit mit virtuellen Interfaces, wie es bei Computerspielen der Fall ist, positive Einflüsse auf die Orientierung und das Verständnis von blickgesten-gesteuerten Interfaces.

Diese spiegelte sich in kürzeren Interaktionszeiten wider. Die im Vorfeld des Experiments erfassten Fähigkeiten der Reaktionsfähigkeit und des räumlichen Orientierungsvermögens von visuellen Reizen fördern tendenziell den Umgang mit dem verwendeten Blickgesteninterface. Darüber hinaus haben keine weiteren erfassten Fähigkeiten und Fertigkeiten einen statistisch nachweisbaren Effekt auf die Performanz aufgezeigt.

Eine weitere, bereits zu erwartende, Erkenntnis besteht in dem sich auf die Interaktion tendenziell negativ auswirkenden Vorhandensein einer Sehhilfe. Jedoch führt das Vorhandensein einer solchen beim Unterstützungselement Sakkadenstrecke nur für die abhängige Variable Interaktionszeit und beim Unterstützungselement Rastpunkt nur für die abhängige Variable Gestenausführungszeit zu signifikant schlechteren Ergebnissen. Die teils schlechteren Ergebnisse der weiblichen VP-Gruppe werden durch die niedrigeren systemseitigen Erkennungsraten dieser Gruppe bestätigt.

Die BG-spezifischen Erkennungsraten bestätigen jedoch, dass dies nicht auf ein generelles geschlechterspezifisches Verständnisproblem im Umgang mit dem blickgestengesteuerten Menü zurückzuführen ist. Die merklich schlechteren Erkennungsraten einzelner Blickgesten wie der „Hoch“-Blickgeste und der „Ja“-Blickgeste deutet auf eine schlechtere Detektion bestimmter Blickbewegungen bei den weiblichen Versuchspersonen, im Vergleich zu den männlichen Versuchspersonen hin. Dies lässt die bekannten Detektionsprobleme von Eye Trackern bzgl. verschiedener Augengeometrien und Wimpernausprägungen vermuten.

Beanspruchung und Müdigkeit: Die im Vergleich zum Experimentbeginn statistisch signifikant höher empfundene Müdigkeit im Verlauf des Experiments kann durch die körperlich monotonen Handlungen der Versuchspersonen (andauernde bewegungsarme und sitzende Haltung) erklärt werden. Darüber hinaus zeigen die Ergebnisse des Experiments signifikante Belastungserscheinungen. Diese sind jedoch bei der Durchführung von über 218 Interaktionen innerhalb des vergleichbar kurzen Zeitraums vorhersehbar. Zu Gunsten einer umfangreichen und belastbaren Reizvariationenüberprüfung wird dies jedoch in Kauf genommen.

Die Feststellung bzgl. Belastungserscheinungen weist darauf hin, dass zukünftige Anwendungsfälle eine eher situative und geringere Bedienfrequenz aufweisen sollten. Die unveränderte Performanz bei steigender Müdigkeit und Beanspruchung zeugt von der Fähigkeit der Nutzer, solch physiologische Auswirkungen im Rahmen der MTI kompensieren zu können.

Erkennungsrate und Lerneffekte: Die Erkennungsrate des Systems steigt über den Versuchsablauf statistisch nachweisbar an und erreicht gegen Ende des Experiments ca. 90%. Dies stellt im experimentellen Rahmen eine stabile Blickgestenerkennung dar. Die Steigerung der Erkennungsrate beruht auf den Lernprozessen der Versuchspersonen, die Blickgesten über die Dauer des Versuches akkurater und sicherer auszuführen. Die Evidenz dieses Einflusses auf die systemseitige Erkennungsrate ist jedoch nur durch ein weiteres Experiment mit einer Vergleichsgruppe feststellbar. Hinsichtlich der Blickgesteninteraktion und der Menünavigation ist ein Lerneffekt sichtbar.

Über den Zeitraum des Experiments werden sich wiederholende Bedienschritte konstant schneller und mit weniger Versuchen durchgeführt. Die Analyse der korrespondierenden Bedienschritte in der Gruppe mit den schlechteren Ergebnissen für die abhängigen Variablen (G2, vermehrt am Experimentanfang) und denen mit besseren abhängigen Variablenmessungen (G1, vermehrt am Experimentende) bestätigen diese Beobachtung.

Zusammengefasste Schlussfolgerungen: Der abgeleitete situative visuelle Anzeiger ermöglicht dem Entwickler, eine empirisch fundierte Blickgesteninteraktionsunterstützung in die Interfacegestaltung von blickgestengesteuerten Systemen zu integrieren. Die zu Grunde gelegte Parametrisierung des zugehörigen Bedienelements dient als vollständiges Werkzeug, um diese Blickgestenunterstützung auf den konkreten Anwendungsfall abzustimmen.

Mit dem durchgeführten Experiment können Empfehlungen zum Aufbau, der Form und der Helligkeit des Anzeigers sowie seiner Bediencharakteristik gegeben werden.

Diese Empfehlungen beruhen auf den beschriebenen Kategorien der funktionalen Gebrauchsqualität (vgl. Kapitel 5.1.1, Abbildung 5.1). Die Erkenntnisse aus dem

Experiment ermöglichen es, sowohl die Effekte auf die objektiv messbare als auch die subjektiv empfundene Nutzungseffizienz und Nutzungseffektivität in Verbindung mit spezifischen Gestaltungsparametervariationen zu bringen. Insbesondere wird dabei eine Diskrepanz zwischen den objektiv gemessenen und den subjektiv empfundenen Kategorien der Gebrauchsqualität deutlich.

Bei der gesamtheitlichen Betrachtung der Blickgesteninteraktion kann darüber hinaus festgestellt werden, dass individuelle Faktoren wie körperliche und geistige Verfassung, Vorprägungen und Fertigkeiten den Umgang mit Blickgestensteuerung teilweise deutlich beeinflussen. So hat beispielsweise häufiges Computerspielen einen positiven Effekt auf das Zurechtfinden und gezielte Navigieren in dem virtuellen Menü mittels Blickgesten (vgl. Kapitel 5.3.7). Das Tragen von Brillen hat dahingegen einen negativen Effekt aufgrund der, durch die Brillengläser entstehenden, Schwierigkeiten des Eye Trackers, die Augenbewegungen durchgehend sicher zu erfassen.

Das Experiment liefert darüber hinaus den Nachweis des Mehrwerts einer Unterstützung bei der Blickgestenausführung und es werden Rückschlüsse auf die Interfacegestaltung für den Anwendungsfall einer komplexen Menünavigation mit der Interaktionsmodalität Blickgestensteuerung gezogen.

Zur Ermittlung von belastbaren Erkenntnissen erfolgt im Experiment die Einschränkung auf räumlich abhängige, geschlossene Blickgesten gleicher Segmentanzahl. Ein durchaus sinnvoller Einsatz von Blickgestenkatalogen mit Blickgesten unterschiedlicher Segmentanzahl sowie der Ausweitung auf räumlich unabhängige Blickgesten erfordert weitere Untersuchungen auf Basis der erarbeiteten Experimentmethodik. Die aus dem Experiment erhaltenen Erkenntnisse werden abschließend zur Bewertung der aufgestellten Forschungshypothesen herangezogen.

5.5 Hypothesenüberprüfung

Basierend auf der Ergebnisbewertung fasst die Tabelle 5.11 die Aussagen bzgl. der Alternativhypothesen und der korrespondierenden Nullhypothesen zusammen. Nachfolgend sind die konkreten Ergebnisse und Sachverhalt zur Entscheidungsfindung hinsichtlich der Alternativhypothesen aus dem Experiment zusammengetragen.

| H_{1x} | Alternativhypothese | H_{0x} verworfen |
|------------------------|--|--------------------|
| H₁₁ | Die bei der Blickgesteninteraktion erreichbare funktionale Nutzerzufriedenheit lässt sich mittels gezielter Gestaltungsparamtervariation der visuellen Unterstützung beeinflussen. | Ja |
| H₁₂ | Die funktionale Nutzerzufriedenheit bei der Blickgesteninteraktion mit visueller Unterstützung übertrifft die der Blickgesteninteraktion ohne eine solche Unterstützung. | Ja |
| H₁₃ | Die bei der Blickgesteninteraktion erreichbare Nutzungseffektivität lässt sich mittels gezielter Gestaltungsparamtervariation der visuellen Unterstützung beeinflussen. | Ja |
| H₁₄ | Die bei der Blickgesteninteraktion erreichbare Nutzungseffizienz lässt sich mittels gezielter Gestaltungsparamtervariation der visuellen Unterstützung beeinflussen. | Ja |
| H₁₅ | Die erreichbare Nutzungseffektivität bei der Blickgesteninteraktion mit visueller Unterstützung übertrifft die der Blickgesteninteraktion ohne eine solche Unterstützung. | Nein |
| H₁₆ | Die bei der Blickgesteninteraktion mit visueller Unterstützung erreichbare Nutzungseffizienz übertrifft die der Blickgesteninteraktion ohne eine solche Unterstützung. | Nein |
| H₁₇ | Die interaktive Objektdichte im Blickgesten-gesteuerten Interface hat keinen Einfluss auf die Nutzungseffektivität. | Nein |
| H₁₈ | Die interaktive Objektdichte im Blickgesten-gesteuerten Interface hat keinen Einfluss auf die Nutzungseffizienz. | Nein |
| H₁₉ | Die bei der Blickgesteninteraktion erreichbare Nutzungseffektivität lässt sich durch Verwendung gezielter Menüaufbauvarianten beeinflussen. | Nein |
| H₁₁₀ | Die bei der Blickgesteninteraktion erreichbare Nutzungseffizienz lässt sich durch Verwendung gezielter Menüaufbauvarianten beeinflussen. | Nein |
| H₁₁₁ | Die sensorische, computergestützte Erfassungsqualität hat keinen Einfluss auf die erreichbare Nutzungseffektivität der Blickgesteninteraktion. | Nein |
| H₁₁₂ | Die sensorische, computergestützte Erfassungsqualität hat keinen Einfluss auf die erreichbare Nutzungseffizienz der Blickgesteninteraktion. | Nein |

Tabelle 5.11: Ergebnisse der Hypothesenüberprüfung durch das Experiment

H₁₁: Sowohl die Ergebnisse der Befragung zur Variation der wahrgenommenen Unterstützungswirkung (Abbildung 5.25), als auch die Benennung von eindeutigen Unterstützungspräferenzen durch die VP (Abbildung 5.26), bestätigen die Beeinflussung der funktionalen Nutzerzufriedenheit durch gezielte Gestaltungsparametervariation. Die Nullhypothese ist zu verwerfen und die Alternativhypothese anzunehmen.

H₁₂: Der hohe Zuspruch bei der Befragung zur der Unterstützungswirkung (Abbildung 5.25) lässt auf eine Erhöhung der funktionalen Nutzerzufriedenheit durch gezieltes Variieren der Gestaltungsparameter schließen. Somit kann die Nullhypothese verworfen werden.

H₁₃: Die inferenzielle Statistik der validen und invaliden Versuche während des Bedienschritts bzw. auf dem interaktiven Element zeigt in Abhängigkeit der Gestaltungsparametervariation höchst signifikante Unterschiede (vgl. Abbildung 5.30-5.37). Da diese im Zusammenhang der Nutzungseffektivität stehen, ist die Nullhypothese somit zu verwerfen und die Alternativhypothese anzunehmen.

H₁₄: Die Interaktionszeit und die Gestenausführungszeit zeigen in Abhängigkeit der Gestaltungsparametervariation höchst signifikante Unterschiede (vgl. Abbildung 5.30-5.37). Da diese abhängigen Variablen Kriterien der Nutzungseffizienz darstellen, ist auch hier die Nullhypothese zu verwerfen und von der Alternativhypothese auszugehen.

H₁₅ & H₁₆: Es können nur für einige RV innerhalb der besten Reizvariationen der jeweiligen AV-Messung und der Referenz ohne visuelle Unterstützung für die Gestenausführungszeit und die iE valide Versuche signifikante Unterschiede erfasst werden (Anhang Tabelle A6). Darüber hinaus können für die anderen AVs keine statistisch nachweisbaren Unterschiede hinsichtlich der Nutzungseffektivität und Nutzungseffizienz festgestellt werden. Somit sind die jeweiligen Nullhypothesen anzunehmen.

H₁₇ & H₁₈: Die AV-Messungen zur raumgebenden, weiteren Anordnung der interaktiven Elemente weist statistisch signifikant bessere Ergebnisse auf als die engere Anordnung (Anhang Tabelle A24). Dies wird zusätzlich durch das subjektive Nutzerempfinden bestätigt. Daher ist hier jeweils die Nullhypothese anzunehmen.

H₁₉ & H₁₁₀: Der Einfluss bestimmter Interfaceaufbauten auf die Nutzungseffektivität sowie Nutzungseffizienz kann lediglich tendenziell nachgewiesen werden (Abbildung 5.49, Anhang Tabelle A24). Die Alternativhypothese ist somit zu verwerfen und jeweils die Nullhypothese anzunehmen.

H₁₁₁ & H₁₁₂: Zwar werden signifikante Unterschiede der Erkennungsrate zwischen den Geschlechtern und aufgrund von Lerneffekten über die Experimentdauer festgestellt. Es wird für die Gestenausführungszeit sowie für die validen und invaliden Versuche im Bedienschritt eine inferenziell nachweisbare Korrelation mit der jeweiligen Erkennungsrate ermittelt. Für die Interaktionszeit und die validen und invaliden Versuche auf dem interaktiven Element, kann jedoch keine statistisch nachweisbare Korrelation festgestellt werden (Anhang Tabelle A29). Da der Einfluss der Erkennungsrate auf die abhängigen Variablen nicht konsistent nachzuweisen ist, wird dementsprechend die jeweilige Nullhypothese angenommen.

6 Zusammenfassung

Der Ansatz der ausschließlich blickbasierten Interaktion mit technischen Systemen mittels Blickgesten bietet in vielen Anwendungsbereichen großes Potenzial. Die Qualität einer Blickgestensteuerung hängt unmittelbar von dem zeitlichen Zusammenspiel dargebotener Informationen im Interface mit den Nutzerhandlungen ab. Darin begründet liegt der Fokus dieser Arbeit auf der empirisch-basierten Gestaltung eines situativen visuellen Anzeigers. Dieser wird dem Nutzer während der Blickgestenausführung zur Gewährleistung einer hohen Gebrauchsqualität als Unterstützung dargeboten.

Die erläuterten Sachverhalte der relevanten Wissensdisziplinen des visuellen Informationsverarbeitungsprozesses (Kapitel 2.1), der virtuellen Interfacegestaltung (Kapitel 2.2) und der Gesteninteraktion (Kapitel 2.3) stellen Begriffsdefinitionen und die Grundlage für die Arbeit dar.

Aufbauend auf den Grundlagen wurden der aktuelle technologische Stand der sensorbasierten Blickverfolgung (Kapitel 3.1) und der Forschungsstand der Blickinteraktion mit technischen Systemen dargelegt (Kapitel 3.2).

Der daraus entstandene Forschungsbedarf erforderte ein methodisches Vorgehen (Kapitel 3.2) unter Berücksichtigung des adäquaten Abstraktionsgrades und der Eingrenzung auf die räumlich abhängige Blickgestencharakteristik. Die dafür ermittelten Anforderungen (Kapitel 4.2) an eine Blickgestensteuerung diente zur Konzeption eines blickgestengesteuerten Interfaces (Kapitel 4.3) zur Parametrisierung des situativen visuellen Unterstützungsanzeigers und der Definition der Gestaltungsparameterstufen (Kapitel 4.3.3), welche es im Experiment zu untersuchen galt.

Die Aufarbeitung der Grundlagen offenbarte die Anfälligkeit des visuellen Informationsverarbeitungsprozesses gegenüber äußeren Reizen und Interfacevariationen. Diese Erkenntnis verdeutlichte die Notwendigkeit, den unterstützenden Effekt gegenüber derartigen Reizen robust zu gestalten. Die Evaluation der Reizvariationen war daher in einem konkreten Anwendungsfall durchzuführen, welcher derartige Reize mit in die Untersuchung einbezog. Diese Festlegung erforderte bei der Experimentplanung (Kapitel 5.1) eine präzise Abwägung zwischen den Randbedingungen des Experimentdesigns und denen einer möglichst frei erlebbaren und konsistenten Interfacebedienbarkeit. Das Experiment diente dabei zur konkreten Überprüfung von 12-Forschungshypothesen (Kapitel 5.1.2). Aufgrund der Eignung der Interaktionsmethode Blickgestensteuerung für diskrete Einstell- und Navigationsvorgänge wurde die Evaluation anhand des Anwendungsfalls: virtuelle Menünavigation und -steuerung durchgeführt. Unter Berücksichtigung bestehender und zukünftiger Anwendungsfelder befand

sich die Menünavigation im Kontext des automatisierten Fahrens (Kapitel 5.1.4). Die Ausgestaltung der Menünavigation erfolgte auf Basis des funktionalen Interfacekonzeptes für eine Blickgestensteuerung (Kapitel 5.1.5). Durch eine geführte Userstory wurden 108 Anzeigervarianten untersucht (Kapitel 5.2). Im Experiment bewerteten Versuchspersonen anschließend diese Anzeigevarianten auf Basis der "Gebrauchsqualität". Vorab wurden relevante individuelle Fähigkeiten der Versuchspersonen ermittelt, wie Sehschärfe, visuelle Reaktionsfähigkeit und räumliche Orientierungsvermögen. Über den Experimentverlauf hinweg fanden Befragungen über die empfundene Ermüdung und die empfundene Belastung des Auges statt. Im Hauptteil des Experiments wurden Blickdaten mittels Eyetracker für die direkte Interaktion und die anschließende Analyse erfasst. Das Interaktionsverhalten mit dem blickgestengesteuerten Interface und den dargebotenen Unterstützungsvarianten wurde unter den Aspekten der funktionalen Nutzungseffizienz (Interaktionszeiten und Blickgestenausführungszeiten) und der funktionalen Nutzungseffektivität (valide und invalide Interaktionsversuche) analysiert. Nach dem Hauptteil fand eine Befragung zur funktionalen Nutzerzufriedenheit statt, d. h. Grad der Unterstützung und bevorzugten Gestaltungsparameter. Die Ergebnisauswertung (Kapitel 5.3) bestand aus einem mehrstufigen Analyseprozess, in welchem sowohl subjektive als auch objektive Messergebnisse statistisch ausgewertet wurden.

Die aus den Ergebnissen abgeleitete Gestaltungsempfehlung von situativen visuellen Anzeigern als Bestandteil des virtuellen Bedienelements bezieht sich auf den Aufbau, die Form, und die Helligkeit zur Definition der Anzeigergestalt. Die Bediencharakteristik definiert sich durch das dargebotene Element, dem Ablauf und das Darbietungsprinzip (Kapitel 5.4).

Die vorliegende Arbeit validierte den Zusammenhang zwischen wahrnehmungsinformationellen Prozessen und der Gebrauchsgüte von blickgestengesteuerten Interfaces. Im theoretischen Teil wurde ein methodisches Vorgehen zur funktionalen Interfacegestaltung ausgearbeitet. Dabei fand eine vollständige Gestaltungsparametrisierung des zentralen visuellen Bedienelementes statt, von welcher die Parametrisierung des situativen visuellen Anzeigers zur Blickgestenunterstützung hergeleitet werden konnte. Im experimentellen Teil der Arbeit konnte die vorangegangene Konzeption unter analytischen Kriterien, eng verbunden mit dem Nutzungskontext einer Anwendung, evaluiert werden. Bei dem dazu durchgeführten Experiment wurde insbesondere die Beeinflussung der Bedienung des visuellen Bedienelements durch das virtuelle Interface deutlich, deren Zusammenwirken sich als Schwerpunkt derartiger MTI-Gestaltung herausstellt. Das abschließende Kapitel gibt auf Grundlage der gewonnenen Erkenntnisse einen Ausblick auf zukünftige Forschungs- und Anwendungsfelder.

7 Ausblick

Der nachfolgende Ausblick beschreibt die weiteren Fragestellungen, welche sich direkt aus dem Experiment ableiten lassen und umfasst mögliche interdisziplinäre Forschungsansätze. Anschließend wird der potenzielle Praxistransfer der gewonnenen Erkenntnisse erläutert.

Zunächst wird das offen gebliebene Forschungspotenzial weiterer Aspekte der Interfacequalität erläutert. Aus der in Kapitel 4.1 hergeleiteten Gestaltparametrisierung des blickgesteuerten visuellen Bedienelements ergibt sich der Farbton bzw. der Farbtonverlauf als ein weiterer Gestaltungsparameter. Als weitere Dimension beeinflusst dieser möglicherweise ebenfalls die wahrgenommene Reizintensität derartiger Blickgestenunterstützungen. Aufgrund der Abgrenzung der vorliegenden Arbeit stellt dieser Gestaltungsparameter keine Untersuchungsinhalt dar. Diese bekannten Effekte von Farben auf das Interaktionsverhalten [vgl. STAPELKAMP 2007], [WICK & WICK 1987] stellen in Bezug auf die Unterstützungswirkung des Anzeigers durch Farbgebung weiteren Forschungsbedarf für die blickgestengesteuerte MTI dar.

Der Umgang mit der, im Experiment zum Vorschein gekommenen, Diskrepanz zwischen subjektiv bevorzugter und objektiv performanterer Unterstützungsgestaltung ist ebenfalls durch weitere Untersuchungen zu klären.

Auch im Bereich virtueller Interfaces nimmt ein formal ansprechendes Design für viele Anwender einen hohen Stellenwert ein. Daher ist die formale Gestaltung der visuellen Unterstützung in Blickgesteninterfaces, angesichts einer guten Interfacequalität (vgl. Kapitel 5.1.1), von großer Relevanz. Sowohl die Einflüsse der lokalen Unterstützung während der Blickgestenausführung als auch des gesamtheitlichen virtuellen Interfaces auf das Gefallensurteil zeigen weiteren Forschungsbedarf in dieser Richtung auf. Von besonderem Interesse ist dabei, die Gestaltung eines formal ansprechenden Designs mit einer guten Gebrauchsqualität in Einklang zu bringen.

Zusätzlicher Forschungsbedarf besteht in der tiefer reichenden Verbindung des Bedienelements mit dem Interfaceverhalten, wie z. B. durch adaptive Reduktion situativ irrelevanter Interfaceinhalte bei der Ausführung von Blickgesten.

Das deutlich unterschiedliche individuelle Nutzerverhalten im Experiment (vgl. Kapitel 5.3.7) zeigt darüber hinaus einen Forschungsbedarf der nutzeradaptiven Bedienelementgestaltung bei der Blickinteraktion. Dies geht mit der Erwartungshaltung einher, dass in Zukunft bei derartigen Systemen bestimmte Informationen aus den aufgenommenen Daten abgeleitet werden, um zuverlässige Handlungsintentionen ableiten zu können [vgl. BÖLKER ET AL. 2010, S. 107].

Nachfolgend wird der Bedarf weiterer Untersuchungen von blickgestengesteuerten MTI-Schnittstellen beschrieben. In der vorliegenden Arbeit lag der Fokus des Nutzungskontextes der untersuchten situativ visuellen Blickgestenunterstützung auf einer Menünavigation. Der Blick auf die potenziellen realen Anwendungsfelder macht deutlich, dass auch andere MTI-Anwendungen sinnvoll sein können. Dazu zählen einfache diskrete Interaktionen zum Dialog mit Produkten, wie das Aktivieren oder Deaktivieren von Funktionen, Sicherheitsabfragen oder Warnbestätigungen (vgl. Kapitel 3.2). Für diese unterschiedlichen Anwendungsfälle gelten womöglich gesonderte MTI-Bedingungen, welche es eigens gilt zu untersuchen.

Unter Betrachtung der Verbreitung von NUIs im Alltag, wie zum Beispiel in Form der ubiquitären Spracherkennungssysteme Alexa oder Siri wird deutlich, dass bei Interaktion mit physischen Produkten auch die Blicksteuerung ein großes Potenzial hat. Wie BEINHAUER [2019] in seinen Studien darstellt, können auch derartige blickgesten-gesteuerte Systeme in kombinierten Bedienkonzepten mit physischen Bedienelementen zum Beispiel in zahlreichen Smart-Home-Anwendungen eingesetzt werden. Die Gestaltung einer Blickgestenunterstützung in solchen, mit physischen Interfaces kombinierten Anwendungsfällen, zeigt weiterführend auch, dass neben der Verbesserung der technischen Funktionalität, eine multimodale Bedienung mit Blickgesten funktions- und aufgabenabhängig abzustimmen ist. [MØLLENBACH 2010, S. 74] Dieses Bestreben hat bei der MTI-Entwicklung stets unter Einbeziehung von Nutzertests zu erfolgen.

Die enge Verknüpfung der Wissensdisziplin der Informatik mit der menschenzentrierten Produktentwicklung bei der Blickinteraktion beinhaltet ebenfalls großen Forschungsbedarf. So kann zur Verbesserung der direkten Manipulation technischer Systeme die Blickgestenerkennung durch lernende Systeme auf die Interpretation des vollständigen Nutzerverhaltens ausgebreitet werden. Die bei der Blicksteuerung immense, sensorisch erfasste Datenmenge begünstigt die Verwendung von neuronalen Netzen zum kontinuierlichen Lernen durch Rückkopplung der analysierten Verhaltensmuster und Bildung geeigneter Klassifikatoren.

Abschließend werden Ansätze des Übertrags der situativ visuellen Blickgestenunterstützung in reale Anwendungen diskutiert. Die Ausweitung bestehender Anwendungsfelder ist bereits heute an konkreten Beispielen erkennbar. Neuste Augmented-Reality- (kurz AR) und Virtual-Reality-Anwendungen (kurz VR) setzen bereits Eye-Tracking-Systeme mit ein. Die Steuerung und Navigation innerhalb dieser AR- und VR-Umgebungen kann daher z.B. nicht nur über handgeführte Kontrollelemente, sondern auch direkt über die Blickgestensteuerung, erfolgen. Das diese Bestrebungen

von Entwicklern ernsthaft vorangetrieben werden, zeigt beispielhaft das kürzlich der Apple Inc gewährte Patent 10, 254, 136 „*Head Mounted Eye Tracking Device and method for providing Drift Free Eye Tracking through a Lens System.*“ [PATENTS 2020]. Dieses scheint im Zusammenhang mit der zum momentanen Zeitpunkt noch nicht offiziell angekündigten Apple AR-Bille zu stehen. Im VR-Bereich weisen mit Eye Trackern ausgestattete VR-Brillen, wie beispielhaft die der Pro Eye Serie von dem Anbieter Vive, bereits Marktreife auf [VIVE 2020].

Im Bereich der täglichen Büroarbeit setzen Firmen wie z. B. 4tiitoo [4TIITOO 2019] Anwendungen mit Blicksteuerung zur effizienteren Bedienung ein. Ein Ausblick auf Anwendungsszenarien der nahen Zukunft wurde z.B. von Audi auf der IAA 2019 vorgestellt. In dem Konzeptfahrzeug AI:CON erweitern blickgesteuerte Interfaces die Bedienung der vollautomatisierten Mobilitätsform (Abbildung 7.1). Auch die intelligente roboterunterstützte Chirurgie weist einen immer weiter steigenden Anteil an durchgeführten Operationen auf. Bei dieser Operationsart können Blickgestenbefehle verwendet werden, um in die Teleoperation relevante Informationen ins Sichtfeld des Operators einzublenden und ihn somit zu unterstützen und zu entlasten (Abbildung 7.1).

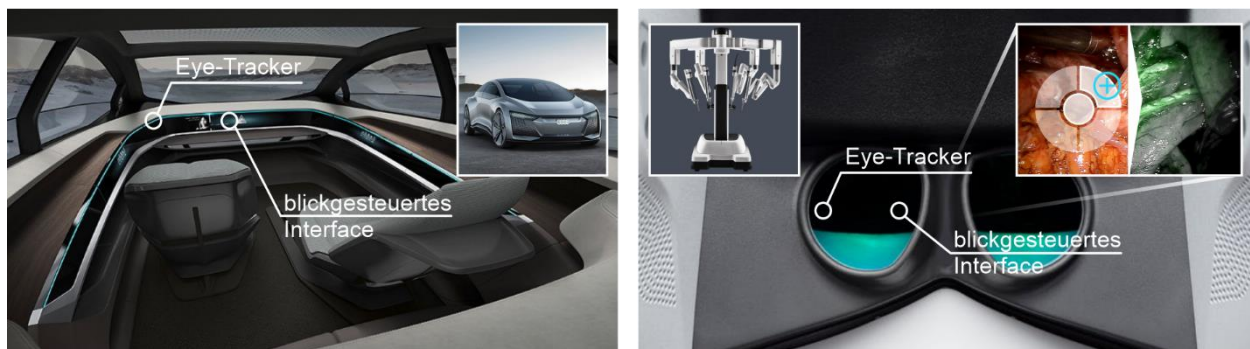


Abbildung 7.1: Mögliche zukünftige Anwendungsfelder: Audi [2019] AI:CON (links); Intuitive DaVinci (rechts) [bearbeitet INTUITVE 2019]

Des Weiteren führt auch die steigende Automatisierung in der alltäglichen Lebensumgebung zu einem Wandel der Rolle des Menschen im Umgang mit technischen Systemen weg vom Bediener und hin zu einem Überwacher von diesen. Zum Erhalt der Kontrolle benötigt es dennoch verstärkt den Einsatz von visuellen Systemen. In diesen verspricht eine Erweiterung der Bedienung durch intentionelle Handlungen, wie sie bei der Blickgestensteuerung stattfinden, zukünftig eine große Rolle für die Gesellschaft zu spielen.

Literaturverzeichnis

- [4TIITOO 2019] 4tiitoo: Unternehmen (online) <https://4tiitoo.com>, Abruf: 25.10.2019.
- [ADAMS ET AL. 2008] Adams, N.; Witkowski, M.; Spence, R.: The inspection of very large images by eye-gaze control. In: AVI '8 Proceedings of the working conference on Advanced virtual Interfaces. Napoli, Italien, 28.-30. Mai 2008, S. 111-118.
- [AGAHJAN ET AL. 2009] Agahjan, H.; Delgado, R. L.; Augusto, J. C.: Human-Centric Interfaces for Ambient Intelligence. Burlington, USA: Elsevier Verlag, 2009.
- [AKERSTEDT & GILLBERG 1990] Akerstedt, T.; Gillberg, M.: Subjective and objective sleepiness in the active individual. *International Journal of Neuroscience*. Nr. 52, Mai 1990, S. 29-37.
- [ALBERT & MARX 2016] Albert, R.; Marx, N.: Empirisches Arbeiten in Linguistik und Sprachlehrforschung – Anleitung zu quantitativen Studien von der Planungsphase bis zum Forschungsbericht. Tübingen: Gunter Narr-Verlag, 2016.
- [ANDERSON 1996] Anderson, J. R.: Kognitive Psychologie. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag, 1996.
- [ANSORGE & LEDER 2011] Ansorge, U.; Leder, H.: Wahrnehmung und Aufmerksamkeit, Wiesbaden: VS Verlag, 2011.
- [AOKI ET AL. 2009] Aoki, H.; Hansen, J. P.; Itho, K.: Learning gaze typing: what are the obstacles and what progress to expect?, *Universal Access in the Information Society*, Nr. 8(4), 2009, S. 297-310.
- [APPLE 2019] Apple: Human Interface Guidelines (online) <https://developer.apple.com/design/human-interface-guidelines/mac-os/overview/themes/>, Abruf: 17.09.2019.
- [AUDI 2019] Audi: AI:CON (online) <https://audi.com/de/experience-audi/models-and-technology/concept-cars/audi-aicon.html>, Abruf: 25.10.2019.
- [AUTOREVUE 2019] Autorevue: Statistik über das Autofahren (online) <https://autorevue.at/autowelt/lebenszeit-auto-statistik>, Abruf: 21.10.2019.
- [BALOTA & RAYNER 1991] Balota, D.; Rayner, K.: Word recognition process in foveal and parafoveal vision: the range of influence of lexical variables. In: Besner, D.; Humphreys, G. (Hrsg.), *Basic Process in Reading: Visual Word Recognition*. Hillsdale: USA, Lawrence Erlbaum, 1991, S. 198-232.
- [BARNARD ET AL. 1984] Barnard, W. A.; Breeding, M.; Cross, H.: Object recognition as a function of stimulus characteristics. *Bulletin of the Psychonomic Society*, Nr. 22(1), Juli 1984, S. 15-18.
- [BEDORF 2015] Bedorf, A.: Einfluss der zirkadianen Rhythmik auf die Ergebnisse der Epworth-Schlafträgheitsskala bei Patienten mit schlafbezogenen Atmungsstörungen. Dissertation, Universitätsmedizin, Ernst-Moritz-Arndt-Universität, Greifswald, 2015.
- [BEE & ANDRE 2008] Bee, N.; Andre, E.: Writing with Your Eye: A Dwell Time Free Writing System Adapted to the Nature of Human Eye Gaze. In: *Perception in Multimodal Dialogue Systems, Lecture Notes in Computer Science*. Nr. 5078, Springer, 2008, S. 111-122.
- [BEINHAUER 2019] Beinhauer, W. Entwicklung von Gestaltungsrichtlinien für blickgesteuerte Anwendungen. Institut für Arbeitswissenschaften. Dissertation, Universität Stuttgart, 2019.
- [BERTIN 1974] Bertin, J.: *Sémiologie Graphique*. Paris: Editions Gauthier-Villars. Deutsche Übersetzung: Jensch, G. ET AL.: *Graphische Semiologie. Diagramme, Netze, Karten*. Berlin: Walter de Gruyter, 1974.
- [BERTIN 1983] Bertin, J.: *Semiology of Graphics*. Madison, USA: University of Wisconsin Press, 1983.
- [BIRBAUMER & SCHMIDT 2006] Birbaumer, N.; Schmidt, R. F.: *Biologische Psychologie*. 6.Aufl., Heidelberg: Springer Medizin Verlag, 2006.
- [BIRKHOFF 1933] Birkhoff, G. D.: *Aesthetic Measure*. Cambridge, USA, University Press, 1993.
- [BLAKE 2013] Blake, C.: Eye-Tracking: Grundlagen und Anwendungsfelder. In: Möhring, W.; Schlütz, D. (Hrsg.): *Handbuch standardisierte Erhebungsverfahren in der Kommunikationswissenschaft*. Wiesbaden: Springer VS, 2013, S. 367-387.

- [BÖLKER ET AL. 2010] Bölker, M.; Gutmann, M.; Hesse, W.: Information und Menschenbild. Berlin Heidelberg: Springer Verlag, 2010.
- [BOTTA 2016] Botta, A.: Quantifizierung der visuellen Größenkodierung und des Informationsgehalts zweidimensionaler Objekte auf Basis der Blickinteraktion. Institut für Konstruktionstechnik und Technisches Design. Dissertation, Universität Stuttgart, 2016.
- [BOWMAN ET AL. 1997] Bowmann, D.; Koller, D.; Hodges, L.: Travel in immersive virtual environments: an evaluation of viewpoint motion control techniques. In: VRAIS '97 Proceedings of IEEE 1997 Annual International Symposium on Virtual Reality. Albuquerque, USA, 1.-5. März 1997.
- [BORTZ & LIENERT 2008] Bortz, J.; Lienert, G. A.: Kurzgefasste Statistik für die klinische Forschung – Leitfaden für die verteilungsfreie Analyse kleiner Stichproben. 3. Aufl., Heidelberg: Springer Medizin, 2008.
- [BOX & COX 1964] Box, G. E. P.; Cox, D. R.: An analysis of transformations. In: Journal of the Royal Statistical Society: Series B, Nr. 26(2), 1964, S. 211-252.
- [BRATFISCH & HAGMAN 2014] Bratfisch, O.; Hagman, E.: Wiener Testsystem, Manual Räumliches Orientierungsvermögen. Kurzbeschreibung 3D, Version 27, 2014.
- [BREIMAN ET AL. 1984] Breiman, L.; Friedman, J. H.; Olshen, R. A.; Stone, C. J.: Classification and regression trees. London, GB: Taylor & Francis, 1984.
- [BROCKHAUS 1996] Brockhaus, Fa GmbH, Brockhaus – Die Enzyklopädie. 20. Aufl., Leipzig Mannheim: Wissen Media Verlag, 1996.
- [BROOKE 1996] Brooke, J.: SUS – A quick and dirty usability Scale. In: Jordan, P. W.; Thomas, B.; Weerdmeester, B. A.; McClelland, I. L. (Hrsg.), Usability Evaluation in Industry. London, GB: Taylor and Francis, 1996.
- [BUBB 1992] Bubb, H.: Menschliche Zuverlässigkeit. 1. Aufl., Landsberg: Ecomed-Fachverlag, 1992.
- [BÜHNER & ZIEGLER 2009] Bühner, M.; Ziegler, M.: Statistik für Psychologen und Sozialwissenschaftler. München: Pearson Verlag, 2009.
- [BULLING ET AL. 2008A] Bulling, A.; Roggen, D.; Tröster, G.: It's in Your Eyes: Towards Context-Awareness and Mobile HCI Using Wearable EOG Goggles. In: UbiComp '08 Proceedings of the 10th international Conference on Ubiquitous Computing. Nr. 344, ACM Press, 2008, S. 84-93.
- [BULLING ET AL. 2008B] Bulling, A.; Roggen, D.; and Tröster, G.: EyeMote - Towards Context-Aware Gaming Using Eye Movements Recorded from Wearable Electrooculography. In: Proceedings of the 2nd International Conference on Fun and Games, Springer, 2008, S. 33-45.
- [BULLINGER 1994] Bullinger, H. J.: Ergonomie. Stuttgart: B.G. Teubner, 1994.
- [BUNDESEN & HABEKOST 2008] Bundesen, C.; Habekost, T.: Principles of Visual Attention: Linking Mind and Brain. In: Oxford Portraits in Science. New York, USA: Oxford University Press, Oxford, 2008.
- [CARD ET AL. 1983] Card, S. K.; Newell, A.; Moran, T. P.: The Psychology of Human-Computer Interaction. Hillsdale, USA: L. Erlbaum Associates, 1983.
- [CARD ET AL. 1991] Card, S. K.; Mackinlay, J. D.; Robertson, G. G.: The Information Visualizer: An Information Workspace. In: CHI '91 Conference of Human Factors in Computing Systems. 1991, S. 181-188.
- [CARPENTER 1988] Carpenter, R. H. S.: Movements of the Eyes. London: Pion, 1988.
- [CHATTERJEE ET AL. 2015] Chatterjee, I.; Xiao, R.; Harrison, C.: Gaze+Gesture: Expressive, Precise and Targeted Free-Space Interactions. In: ICMI '15 Proceedings of the 2015 ACM on International Conference on Multimodal Interaction. Seattle, USA: 9.-13. November 2015, S. 131-138.
- [CLAUER 1972] Clauer, C. K.: An experimental evaluation of hierarchical decision-making for information retrieval. IBM Research Report RJ 1093, San Jose, USA: 1972.
- [COLLEWIJN ET AL. 1988A] Collewijn, H.; Erkelens, C. J.; Steinman, R. M.: Binocular co-ordination of human horizontal saccadic eye movements. In: Journal of Physiology, Nr. 404(1), 1988, S. 157-182.

- [COLLEWIJN ET AL. 1988B] Collewijn, H.; Erkelens, C. J.; Steinman, R. M.: Binocular co-ordination of human vertical saccadic eye movements. In: *Journal of Physiology*, Nr. 404(1), 1988, S. 183-197.
- [CORNELL ET AL. 2003] Cornell, E. D.; MacDougall, H. G.; Predebon, L.; Curthoys, I. S.: Errors of binocular fixation are common in normal subjects during natural conditions. In: *Optometry and Vision Science*, Nr. 80(11), 2003, S. 764-771.
- [CRAIG ET AL. 2008] Craig, A.; Barreto, A.; Cremades, G.; Adjouadi, M.: Integrated electromyogram and eye-gaze tracking cursor control system for computer users with motor disabilities. In: *Journal of Rehabilitation Research & Development*, Nr. 45(1), 2008, S. 161-174.
- [CYMEK ET AL. 2014] Cymek, D. H.; Venjakob, A. C.; Ruff, S.; Lutz, O. H.-M.; Hofman, S.; Roetting, M.: Entering PIN Codes by Smooth Pursuit Eye Movements. In: *Journal of Eye Movement Research*, Nr. 7(4), 2014.
- [DELMARE ET AL. 2017] Delamare, W.; Han, T.; Irani, P.: Designing a Gaze Gesture Guiding System. In: *MobileHCI '17 Proceedings of the 19th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services*. New York, USA, 04.-07. September 2017.
- [DE LUCA ET AL. 2007] De Luca, A.; Weiss, R.; and Drewes, H.: Evaluation of Eye-Gaze Interaction Methods for Security Enhanced PIN-Entry. In *OZCHI '07 Proceedings of the 19th Australasian Conference on Computer-Human interaction*. Nr. 51, 28.-30. November, 2007, S. 199-202.
- [DE VALOIS & DE VALOIS 1980] De Valois, R. L.; De Valois, K. K.: Spatial vision. In: *Annual Review of Psychology*. Nr. 31(1), 1980. S. 309-341.
- [DODGE & CLINE 1901] Dodge, R., Cline, T. S.: The angle velocity of eye movements. In: *Psychological Review* 8(2), 1901, S. 145.
- [DÖNITZ 2008] Dönitz, E., J.: Effizientere Szenariotechnik durch teilautomatische Generierung von Konsistenzmatrizen, Empirie, Konzeption, Fuzzy- und Neuro-Fuzzy-Ansätze. Gabler Edition Wissenschaft, Forschungs-/Entwicklungs-/Innovations-Management, Universität Bremen, Dissertation, 2008.
- [DÖRING & BORTZ 2016] Döring, N.; Bortz, J.: *Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften*. 5. Aufl., Berlin: Springer-Verlag, 2016.
- [DÖRSAM 2007] Dörsam, P.: *Entscheidungstheorie anschaulich dargestellt*. 5. Aufl., Heidenau, PD-Verlag, 2007.
- [DREWES 2010] Drewes, H.: *Eye Gaze Tracking for Human Computer Interaction*. LFE Medien-Informatik, Ludwig-Maximilians-Universität, Dissertation, 2010.
- [DREWES ET AL. 2007] Drewes, H.; De Luca, A.; Schmidt, A.: Eye-Gaze Interaction for mobile Phones. In: *Mobility '07 Proceedings of the 4th international conference on mobile technology, applications, and systems and the 1st international symposium on Computer human interaction in mobile technology*, Singapore, 10.-12. September, 2007, S. 364-371.
- [DREWES ET AL. 2019] Drewes, H., Pfeuffer, K.; Alt, F.: Time- and space-efficient eye tracker calibration. In: *ETRA '19 Proceedings of the 11th ACM Symposium on Eye Tracking Research & Applications*, Denver, USA, 25.-28. Juni 2019.
- [DREWES & SCHMIDT 2007] Drewes, H.; Schmidt, A.: Interacting with the Computer Using Gaze Gestures. In: *INTERACT '07 Proceedings of the 11th IFIP TC 13 international conference on Human-computer interaction - Volume Part II*, Rio de Janeiro, Brazil, 10.-14. September 2007, S. 475-488.
- [DUCHOWSKI 2003] Duchowski, A. T.: *Eye Tracking Methodology: Theory and Practice*. London, GB: Springer Verlag, 2003.
- [DUCHOWSKI 2007] Duchowski, A. T.: *Eye Tracking Methodology: Theory and Practice*. London, GB: Springer Verlag, 2007.
- [ECKKSEIN 2016] Eckstein, P. P.: *Statistik für Wirtschaftswissenschaftler: Eine realdatenbasierte Einführung in SPSS*. 5. Aufl.; Berlin: Springer, 2016.
- [ELLIS 2010] Ellis, P. D.: *The essential guide to effect sizes: Statistical power, meta-analysis, and the interpretation of research results*. Cambridge, New York: Cambridge University Press, 2010.

- [ESSIG ET AL. 2006] Essig, K.; Pomplun, M.; Ritter, H.: A neuronal network for 3D gaze recording with binocular eye trackers. In: *International Journal of Parallel, Emergent and Distributed Systems*. Nr. 21(2), London, GB: Taylor & Francis, 2006, S. 79-95.
- [ESTEVEZ ET AL. 2015] Esteves, A.; Velloso, E.; Bulling, A.; Gellersen, H.: Orbits: Gaze Interaction for Smart Watches using Smooth Pursuit Eye Movements. In: *UIST '05 Proceedings of the 28th Annual ACM Symposium on User Interface Software & Technology*, Charlotte, USA, 11.-15. November 2015, S. 457-466.
- [FANG ET AL. 1987] Fang, Y.; Lüer, G.; Lass, U.; Ulrich, M.: Eye Movements Patterns in a Visual Matching Task as Indicators for Multiple Coding. In: O'Regan, J. K.; Lévy-Schoen, A. (Hrsg.), *Eye Movements: from Physiology to Cognition*. Amsterdam, Holland: Elsevier Verlag, 1987, S. 301-311.
- [FEIT ET AL. 2017] Feit, A. M.; Williams, S.; Toledo, A.; Paradiso, A.; Kulkarni, H.; Kane, S.; Ringel Morris, M.: Toward Everyday Gaze Input: Accuracy and Precision of Eye Tracking and Implications for Design. In: *CHI '17 Proceedings of the 2017 Conference on Human Factors in Computing Systems*. Denver, USA, 6.-11. Mai 2017, S. 1118-1130.
- [FELDHUSEN & GRÖTE 2013] Feldhusen, J.; Gröte, K.-H. (Hrsg.): *Pahl/Beitz Konstruktionslehre. Methoden und Anwendung erfolgreicher Produktentwicklung*. 8. Aufl., Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg, 2013.
- [FELLMANN 2011] Fellmann, F.: Vom Selbstbild zum Selbstbewusstsein; Evolutionsbiologische Grundlagen der Bildwissenschaften. In: Sachs-Hombach, K.; Trotzke, R. (Hrsg.), *Bilder, Sehen, Denken; Zum Verhältnis von Begrifflich-Philosophischen und Empirisch-Psychologischen Ansätzen in der Bildwissenschaftlichen Forschung*. Köln: Von Halem, 2011, S. 52-65.
- [FINDLAY & GILCHRIST 2003] Findlay, J. M.; Gilchrist, I. D.: *Active Vision: Psychology of Looking and Seeking*. Oxford Press, New York, USA, 2003.
- [FISCHER 1990] Fischer, B.: Neurophysiologische Grundlagen willkürlicher zielgerichteter Blicksprünge. In: Mühlendyck, H.; Rüssmann, W. (Hrsg.), *Augenbewegung und visuelle Wahrnehmung; Physiologisch, psychologische und klinische Aspekte*. Stuttgart: Thieme, 1990, S. 44-46.
- [FISCHER 1995] Fischer, H.: *Entwicklung der visuellen Wahrnehmung*, Weinheim: Beltz Verlag, 1995.
- [FITTS 1954] Fitts, P. M.: The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement. *Journal of Experimental Psychology*. Nr.47(6),1954, S. 381-391.
- [FITTS ET AL. 2005] Fitts, P. M.; Jones, R. E.; Milton, J. L.: Eye movements of aircraft pilots during instrument-landing approaches. In: *Ergonomics*, 3, Psychological mechanisms and models in ergonomics. Nr. 3, 2005, S. 56-77.
- [FONO & VERTEGAAL 2005] Fono, D.; Vertegaal, R.: EyeWindows: evaluation of eye-controlled zooming windows for focus selection. In: *CHI '05 Proceedings of Human Factors in Computing Systems*, Portland, USA, 02.-07. April, 2005.
- [FORLEY 1987] Forley, J. D.: Interfaces for advanced computing. In: *Scientific American*. Nr. 257(4), Oktober 1987, S. 126-135.
- [FORLEY ET AL. 1984] Forley, J. D.; Wallace, V. L.; Chan, P.: The human factors of computing graphics interaction techniques. In: *IEEE Computer Graphics and Applications*, Nr. 4(2), November 1984, S. 13-48.
- [FRANCOIS & HOLLWICH 1977] Francois, J.; Hollwich, F.: *Augenheilkunde in Klinik und Praxis*. Stuttgart: Thieme/Enke/Hippokrates, 1977.
- [FREEMAN 2007] Freeman, M.: *Digital fotografieren/009: Licht & Beleuchtung*. München: Mark + Technik Verlag, 2007.
- [FUJII ET AL. 2013] Fujii, K.; Salerno, A.; Sriskandarajah, K.; Kwok, K.-W.; Shetty, K.; Yang, G.-Z.: Gaze Contingent Cartesian Control of a Robotic Arm for Laparoscopic Surgery. In: *2013 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems IEEE*, Tokyo, Japan, 3.-7. November 2013, S. 3582-3589.
- [FUJII ET AL. 2018] Fujii, K.; Gras, G.; Salerno, A.; Yang, G.: Gaze gesture based human robot interaction for laparoscopic surgery. In: *Medical Image Analysis*. Nr. 44, München: Elsevier, Februar 2018, S. 196-214.

- [GALE 2003] Gale, A. G.: Eye Movements in Communication and Media Applications. In: Hyöna, J; Radach, R.; Deubel, H. (Hrsg.), *The Mind's Eye. Cognitive and Applied Aspects of Eye Movement Research*. Amsterdam: North Holland: 2003, S. 729-732.
- [GEISE 2011A] Geise, S.: *Vision that matters: Die Wirkungs- und Funktionslogik Visueller Politischer Kommunikation am Beispiel des Wahlplakats*. Wiesbaden: VS Verlag, 2011.
- [GEISE 2011B] Geise, S.: *Eyetracking in der Kommunikations- und Medienwissenschaft*. In: *Studies in Communication Media*. Heft 2, Baden-Baden: Nomos, 2011.
- [GEISE & BRETTSCHEIDER 2010] Geise, S.; Brettschneider, F.: *Die Wahrnehmung und Bewertung von Wahlplakaten: Ergebnisse einer Eyetracking-Studie*. In: Faas, T.; Arzheimer, K.; Roßteutscher, S. (Hrsg.), *Information, Wahrnehmung, Emotion: Politische Psychologie in der Wahl- und Einstellungsforschung (DVPW)*, VS Verlag: Wiesbaden, 2010, S. 71-96.
- [GLEITMAN 1991] Gleitman, H.: *Psychology*. 3. Aufl., Dunmore, USA: W.W. Norton & Company, 1991.
- [GIRDEN 1992] Girden, E. R.: *ANOVA: Repeated measures. Sage university papers, Quantitative applications in the social sciences*. Nr. 07-084, Newbury Park, USA: Sage Publications, 1992.
- [GITT 1998] Gitt, W.: *Ist Information eine Eigenschaft der Materie?*. In: *Ethik und Sozialwissenschaften*, Nr. 9(2), 1998, S. 205-207.
- [GODIJN & THEEUWES 2003] Godijn, R.; Theeuwes, J.: *The Relationship between Exogenous and Endogenous Saccades and Attention*. In: Hyöna, J.; Radach, R.; Deubel, H. (Hrsg.), *The Mind's Eye: Cognitive and Applied Aspects of Eye Movement Research*. Amsterdam: North Holland Press, 2003, S. 3-26.
- [GOLDSTEIN 2015] Goldstein, B. E.: *Wahrnehmungspsychologie*. Irtel, H. (Hrsg.), Heidelberg: Spektrum Verlag, 2015.
- [GOLDSTEIN & FINK 1981] Goldstein, B. E.; Frink, S. I.: *Selective Attention in Vision: Recognition Memory for Superimposed Line Drawings*. In: *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, Nr. 7(5), Oktober 1981, S. 954-967.
- [GREGORY 1966] Gregory, R. L.: *Auge und Gehirn: Zur Psychophysiologie des Sehens*. München: Kindler Verlag, 1966.
- [GUSKI 2000] Guski, R.: *Wahrnehmung: Psychologie der menschlichen Informationsaufnahme*. Stuttgart, W. Kohlhammer Verlag, 2000.
- [HACKER 1998] Hacker, W.: *Allgemeine Arbeitspsychologie: Psychische Regulation von Arbeitstätigkeiten*. Bern: Hans Huber, 1998.
- [HAMMOUD 2008] Hammoud, R. I.: *Passive Eye Monitoring: Algorithms, Applications and Experiments*. Berlin: Springer, 2008.
- [HANSEN ET AL. 2003] Hansen, J. P.; Johansen, A. S.; Hansen, D. W.; Itoh, K.; Mashino, S.: *Command without a Click: Dwell time typing by mouse and gaze selection*. In: M. Rauterberg ET AL. (Hrsg.), *INTERACT '03 Human-Computer Interaction*, Kreta, Griechenland, 22.-27. Juni 2003, S. 121-128.
- [HANSEN ET AL. 2008] Hansen, D. W.; Skovsgaard, H. H. T.; Møllenbach, E.: *Noise Tolerant Selection by Gaze-Controlled Pan and Zoom in 3D*. In: *ETRA '08 Proceedings of the 2008 symposium on Eye tracking research & applications*, Savannah, USA, 26.-28. März 2008, S. 205-212.
- [HARRIS ET AL. 1989] Harris, P. L.; Johnson, C.; Hutton, D.; Andrews, G.; Cooke, T.: *Young children's theory of mind and emotion*. *Cognition and Emotion*, Nr. 3, 1989, S.379-401.
- [HARRISON & VICENTE 1996] Harrison, B. L.; Vicente, K. J.: *An experimental evaluation of transparent menu usage*. In: *CHI '96 Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. Vancouver, Kanada, 13.-18. April 1996, S. 391-398.
- [HASSOUMI ET AL. 2019] Hassoumi, A.; Peysakhovich, V.; Hurter, C.: *EyeFlow: Pursuit Interactions Using an Unmodified Camera*. In: *ETRA '19 Proceedings of the 11th ACM Symposium on Eye Tracking Research & Applications*. Denver, USA, 25.-28. Juni 2019.
- [HEDDERICH & SACHS 2016] Hedderich, J.; Sachs, L.: *Angewandte Statistik, Methodensammlung mit R*. 15. Aufl., Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum 2016.

- [HEIKKILÄ & RÄIHÄ 2012]. Heikkilä, H.; Rähä, K.-J.: Simple Gaze Gestures and the Closure of the Eyes as an Interaction Technique. In: ETRA '12 Proceedings of the Symposium on Eye Tracking Research and Applications, Santa Barbara, 28.-30. März 2012, S. 147-154.
- [HEIKKILÄ 2013] Heikkilä, H.: Tools for a Gaze-Controlled Drawing Application – Comparing Gaze Gestures against Dwell Buttons. In: INTERACT '13 Human-Computer Interaction. 2013, S. 187-201.
- [HELANDER ET AL. 1997] Helander, M. G.; Landauer, T. P.; Prabhu, P. V.: Handbook of Human-Computer Interaction. 2. Aufl., Amsterdam, Holland: Elsevier, 1997.
- [HENNESSEY ET AL. 2006] Hennessey, C.; Nouredin, B.; Lawrence, P.: A Single Camera Eye-Gaze Tracking System with Free Head Motion. In: ETRA '06 Proceedings of the 2006 Symposium on Eye Tracking Research & Applications, San Diego, USA, 27.-29. März 2006, S.87-94.
- [HENTSCHEL 1987] Hentschel, H. J.: Licht und Beleuchtung: Theorie und Praxis der Lichttechnik, Heidelberg: Dr. Alfred Hürthig Verlag, 1987.
- [HICK 1952] Hick, W. E.: On the rate of gain Information. In: Quarterly Journal of Experimental Psychology, Nr. 4, 1952, S. 11–26.
- [HINCKLEY ET AL. 1994] Hinckley, K.; Pausch, R.; Goble, J. C.; Kassel, N. F.: A Survey of Design Issues in Spatial Input. In: UIST '94 Proceedings of the 7th annual ACM symposium on User interface software and technology, Marina del Rey, USA, 2.-4. November 1994, S. 213-222.
- [HOAGLIN & IGLEWICZ 1987] Hoaglin, D., C.; Iglewicz, B.: Fine-Tuning Some Resistant Rules for Outlier Labeling. In: Journal of the American Statistical Association, Nr. 82(400), 1987, S. 1149.
- [HOFFMANN 1996] Hoffmann, J. E.: Visual Attention and Eye Movements. In: Pashler, H. (Hrsg.), Attention. London, GB: University College London Press, 1996, S. 119-154.
- [HOFFMANN 2010] Hoffmann, R. R.: Some challenges for macrocognitive measurement. In: Patterson, S.; Miller, J. E. (Hrsg.), Macrocognition metrics and scenarios: Design and evaluation for real-world-teams. Farnham: Ashgate, 2010, S. 11-28.
- [HOLMQVIST ET AL. 2011] Homqvist, K.; Nyström, M.; Andersson, R.; Dewhurst, R.; Jarodzka, H.; Weijer, J. v. d.: Eye Tracking, A Comprehensive Guide to Methods and Measures. Oxford, GB: Oxford University Press, 2011.
- [HUBEL 1989] Hubel, D.: Auge und Gehirn: Neurobiologie des Sehens. Heidelberg, Spektrum Verlag, 1989.
- [HUTCHINS 1989] Hutchins, E.: Metaphors for interface design. In: Taylor, M. M.; Neel, F.; Bouwhuis, D. G. (Hrsg.), The structure of multimodal dialogue. Amsterdam, Holland: Elsevier Science Publishers, 1989, S. 11-28.
- [IEA 2019] IEA: International Ergonomics Association: (online) <https://www.iea.cc/whats/index.html>, Abruf: 12.09.2019.
- [INTUITVE 2019] Intuitive: DaVinci System (online) <https://www.intuitive.com/en-us/products-and-services/da-vinci>, Abruf: 26.10.2019.
- [ISOKOSKI 2000] Isokoski, P.: Text Input Methods for Eye Trackers Using Off-Screen Targets. In: ETRA '00 Proceedings of the 2000 symposium on Eye tracking research & applications, Palm Beach Gardens, USA, 6.-8. November, 2000, S. 15-21.
- [ISTANCE ET AL. 2008] Instance, H. O.; Hyrskykari, A.; Vickers, S.: Snap Clutch, a Moded Approach to Solving the Midas Touch Problem. In: ETRA '08, Proceedings of the 2008 symposium on Eye tracking research & applications, Savannah, USA, 26.-28. März 2008, S. 221-228.
- [ISTANCE ET AL. 2010] Instance, H.; Hyrskykari, A.; Immonen, L.; Mansikkamaa, S.; Vickers, S.: Designing Gaze Gestures for Gaming: an Investigation of Performance. In: ETRA '10, Proceedings of the 2010 Symposium on Eye-Tracking Research & Applications, Austin, USA, 22.-24. März 2010, S. 323-330.
- [ITOH & HANSEN 2006] Itoh, K.; Aoki, H.; Hansen, J. P.: A comparative usability study of two Japanese gaze typing systems. In: ETRA '06 Proceedings of the 2006 symposium on Eye tracking research & applications, San Diego, 27.-29.2006, S. 59-66.

- [JACOB 1990] Jacob, R. J.: The use of eye movements in human-computer interaction techniques: what you look at is what you get. In: CHI '90, Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, Seattle, USA, 1.-5. April 1990, S. 152-169.
- [JACOB 1993] Jacob, R. J.: Eye movement-based human-computer interaction techniques: Toward non-command interfaces. In: Advances in human-computer interaction, Nr. 4, 1993, S. 151-190.
- [JACOB & KARN 2003] Jacob, R. J.; Karn, K. S.: Eye tracking in human-computer interaction and usability research: Ready to deliver the promises. In: Radach, R., Hyona, J.; Deubel, H. (Hrsg.), *The Mind's Eye: Cognitive and Applied Aspects of Eye Movement Research*. Oxford, GB: Elsevier Science BW, 2003, S. 573-605.
- [JANNY 2018] Janny, B.: Entwicklung von gestaltvariablen Bedienelementen zur Überwindung von Nutzungsbarrieren am Beispiel alternsgerechter Drehstellteile. Institut für Konstruktionstechnik und Technisches Design, Universität Stuttgart, Dissertation, 2018.
- [JANNY ET AL. 2017] Janny, B.; Winterholler, J.; Maier, T.: Adaptive Design of Physical, Hand-Operated Interfaces for the Transgenerational User Using Parameterization. In: Di Bucchianico, G.; Kercher, P. (Hrsg.): *Advances in Design for Inclusion*. AHFE 2017. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, Band 587. Springer, 2017, S. 63-74.
- [JAVAL 1879] Javal, E.: Essai sur la physiologie de la lecture. *Annales d'Oculistique*, Nr. 80, 1879, S. 61-73.
- [JENKE ET AL. 2017] Jenke, M.; Weihsbach, C.; Maier, T.: Untersuchung virtueller Stellgrößen einer kontinuierlichen Blicksteuerung zur Mensch-Maschine-Interaktion unter Berücksichtigung der kognitiven Belastung. *Spziotechnische Gestaltung des digitalen Wandels – kreativ, innovative, sinnhaft*; 63. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V., Dortmund: GfA-Press, Brugg-Windisch, 2017.
- [JENKE & MAIER 2017] Jenke, M.; Maier, T.: What does the eye want? An investigation of interface parameters to ensure intuitive gaze controlled interactions for multidimensional inputs. In: Ahram, T.; Falcao, C. (Hrsg.): *AHFE 2017. Advances in Usability and User Experience*, Band 607. Springer, 2017, S. 3-14.
- [JENKE ET AL. 2018] Jenke, M.; Huppenbauer, L.; Maier, T.: Investigation of continual operation procedures via a user centered gaze control by means of flexible gaze gestures. In: *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, Heidelberg: Springer-Verlag, 2018.
- [JENKINS & HARRIS 2001] Jenkins, M.; Harris, L.: *Vision and Attention*. Jenkins, M.; Harris, L. (Hrsg.), New York, USA: Springer Science + Business Media, 2001.
- [JETBRAINS 2019] JetBrains: PyCharm Community Edition. (online) <https://www.jetbrains.com/pycharm/?fromMenu>, Abruf: 04.09.2019.
- [JOOS ET AL. 2003] Joos, M.; Rötting, M.; Velichkovsky, B. M.: Bewegungen des menschlichen Auges: Fakten, Methoden und innovative Anwendungen. In: Rickheit, G.; Herrmann, T.; Deutsch, W. (Hrsg.), *Psycholinguistics / Psycholinguistik. An International Handbook / Ein internationales Handbuch*. New York, Berlin: De Gruyter, 2003, S. 142-168.
- [JORDAN 2002] Jordan, P. W.: *Designing Pleasurable Products; An Introduction to the new Human Factors*. London: Taylor & Francis, 2002.
- [JULIE 2012] Julie, A. J.: *The Human-Computer Interaction Handbook: Fundamentals, Evolving Technologies and Emerging Applications*. 3. Aufl., Boca Raton: CRC Press, 2012.
- [JUNG ET AL. 2000] Jung, B.; Kopp, S.; Latoschik, M. E.; Sowa, T.; Wachsmuth, I.: *Virtuelles Konstruieren mit Gestik und Sprache, Künstliche Intelligenz*. Bremen: arenDTaP Verlag, 2000, S. 5-11.
- [JUST & CARPENTER 1980] Just, M. A.; Carpenter, P. A.: A theory of reading: From eye fixations to comprehension. In: *Psychological Review*, Nr. 87(4), 1980, S. 329-354.
- [KAHNEMAN 1973] Kahneman D.: *Attention and Effort*. Englewood, USA: Prentice-Hall, 1973.
- [KAMMERER ET AL. 2008] Kammerer, Y.; Scheiter, K.; Beinhauer, W.: Looking my Way through the Menu: The Impact of Menu Design and Multimodal Input on Gaze-based Menu Selection. In: *ETRA '08 Proceedings of the 2008 symposium on Eye tracking research & applications*, Savannah, USA, 26.-28. März 2008, S. 213-220.

- [KANGAS ET AL. 2014] Kangas, J.; Akkil, D.; Rantala, J.; Isokoski, P.; Majaranta, P.; Raisamo, R.: Gaze Gestures and Haptic Feedback in Mobile Devices. In: CHI '14 Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, Toronto, Kanada, 26. April – 01. Mai 2014, S. 435-438.
- [KANTONWITZ & SORKIN 1983] Jantowitz, D. A.; Sorkin, R. D.: Human Factors: Understanding People-System Relationships, New York, USA: John Wiley & Sons, 1983, S. 30.
- [KAUFMANN & STEFFEN 2012] Kaufmann, H.; Steffen, H.: Strabismus. 4. Aufl., Stuttgart, Georg Thieme Verlag KG, 2012.
- [KENDON 2004] Kendon, A.: Gesture: Visible action as utterance. In: Cambridge, USA: Cambridge University Press, 2004.
- [KENNETH ET AL. 1994] Kenneth, P.; van Dam, A.; Gleicher, M.: The Challenges of 3D Interaction. A CHI '94 Workshop, ACM SIGCHI Bulletin, Nr. 26(4), ACM New York, USA, 1994, S. 36-43.
- [KHAMIS ET AL. 2015] Khamis, M.; Alt, F.; Bulling, A.: A field study on spontaneous gaze-based interaction with a public display using pursuits. In: UbiComp/ISWC '15 Adjunct Proceedings of the 2015 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing and Proceedings of the 2015 ACM International Symposium on Wearable Computers, Osaka, Japan, 7.-11. September 2015, S. 863-872.
- [KIEFER 2014] Kiefer, P.: Blickbasierte Mensch-Computer-Interaktion mit Geoinformationssystemen. In: 20. Münchner Fortbildungsseminars Geoinformationssysteme, München, 23.-24. Februar 2015, Offenbach am Main: Wichmann Verlag, 2014.
- [KÖNIG 2010] König, W. A.: Design and evaluation of novel input devices and interaction techniques for large, high-resolution displays. Informatik und Informationswissenschaft, Universität Konstanz, Dissertation, 2010.
- [KÖPEL ET AL. 2016] Köpel, A.; Marajanta, P.; Isokoski, P.; Huckauf, A.: Effects of auditory, haptic and visual feedback on performing gestures by gaze or by hand. In: Behavior & Information Technology archive. Nr. 35(12), Bristol, USA: Taylor & Francis, Inc., 2016, S. 1044-1062.
- [KOSCH ET AL. 2018] Kosch, T.; Hassib, M.; Wozniak, P.; Buschek, D.; Schmid, A.; Alt, F.: Your eyes tell: leveraging smooth pursuit for assessing cognitive workload. In: CHI '18 Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems. Nr. 2(1), Montreal Kanada, 21.-26. April, 2018.
- [KOWLER ET AL. 1995] Kowler, E.; Anderson, E.; Doshier, B.; Basler, E.: The role of attention in the programming of saccades. In: Vision Research. Nr. 35(13), 1995, S. 1897-1916.
- [KUHN 2007] Kuhn, W.: Metaphor, Spatial and Map. In: Kemp, K. K. (Hrsg.) Encyclopedia of Geographic Information Science. Sage Publications, 2007, S. 281-284.
- [KUMAR 2007] Kumar, M.: Gaze-enhanced user interface design, Department of Computer Science, Stanford University, Dissertation, 2007.
- [KUNSCH & KUNSCH 2007] Kunsch, K.; Kunsch, S.: Der Mensch in Zahlen. 3. Aufl., Heidelberg: Elsevier Spektrum Akademischer Verlag, 2007.
- [LANDAUER & NACHBAR 1985] Landauer T. K.; Nachbar, D. W.: Selection from alphabetic and numeric menu trees using a touch screen; Breadth, depth, and width. In: CHI 'Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, San Francisco USA, 4. April 1985, S. 73-78.
- [LANDOLT 1905] Landolt, E.: Die Vereinheitlichung der Bestimmung der Sehschärfe. Z Augenheilkd, Nr. 13, 1905, S. 519-541.
- [LAVERY ET AL. 1997] Lavery, D.; Cockton, G.; Atkinson, M. P.: Comparison of evaluation methods using structured usability problem reports. Behaviour & Information Technology, London, GB: Taylor & Francis, S. 246-266.
- [LEE ET AL. 2014] Lee, J.-Y.; Park, H.-M.; Lee, S.-H.; S.-H.; Kim, T.-E.; Choi, J.-S.: Design and implementation of an augmented reality system using gaze interaction. In: Multimedia Tools and Applications, Nr. 68 (2), Hingham, USA: Kluwer Academic Publishers, 2014, S. 265-280.
- [LEVEN 1991] Leven, W.: Blickverhalten von Konsumenten: Grundlagen, Messungen und Anwendung in der Werbeforschung. Heidelberg: Physika-Verlag, 1991.

- [LOHSE 1991] Lohse, J.: A cognitive model of the perception and understanding of graphs. In: CHI '91 Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, New Orleans, USA, 27. April – 02. Mai 1991, S. 137-144.
- [LUCZAK 1998] Luczak, H.: Arbeitswissenschaft. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 1998.
- [MACKENZIE 2002] MacKenzie, I. S.: KSPC (keystrokes per character) as a characteristic of text entry techniques. In: Proceedings of the Fourth International Symposium on Human Computer Interaction with Mobile Devices (LNCS 2411), Heidelberg: Springer-Verlag, 2002, S. 195-210.
- [MAHAJAN & SHNEIDERMAN 1995] Mahajan, R.; Shneiderman, B.: A family of user interface consistency checking tools, Technical Report # CS-TR-3472, University of Maryland, Department of Computer Science, 1995.
- [MARAJANTA & BULLING 2014] Marajanta, P.; Bulling, A.: Eye Tracking and Eye-Based Human-Computer Interaction. In: Fairclough, S. H.; Gilleade, K. (Hrsg.) Advances in Physiological Computing, Human-Computer Interaction Series. London, GB: Springer-Verlag, 2014, S. 39-65.
- [MARAJANTA & RÄIHÄ 2002] Marajanta, P.; Rähä, K.-J.: Twenty Years of Eye Typing: Systems and Design Issues. In: ETRA '02 Proceedings of Eye Tracking Research and Applications, New Orleans, USA, 25.-27. März, 2002, S. 15-22.
- [MARAJANTA ET AL. 2012] Marajanta, P.; Aoiki, H.; Donegan, M.; Hansen, D. W.; Hansen, J. P.; Hyrskykari, A.; Rähä, K.: Gaze Interaction and Applications of Eye Tracking, Advances in Assistive Technologies. Hershey, USA: Engineering Science Reference, 2012.
- [MARCUS 1992] Marcus, A.: Graphic Design for Electronic Documents and User Interfaces. New York, USA: ACM Press, 1992.
- [MCLESKEY ET AL. 1982] McLeskey, J.; Levie, W. H.; Fleming, M. L.: Selective Attention to Visual Stimuli: The Need to Combine Theory and Research. In: Journal of Special Education Technology, Nr. 5, 1982, S. 23-32.
- [MCNEILL 1992] McNeill, D.: Hand and mind: What gestures reveal about thought. Chicago, USA, University of Chicago Press, 1992.
- [MØLLENBACH 2010] Møllenbach, E.: Selection strategies in gaze interaction. Loughborough University, Dissertation, 2010.
- [MØLLENBACH ET AL. 2010] Møllenbach, E.; Lillholm, M.; Gail, A.; Hansen, J. P.: Single Gaze Gestures. In: ETRA '10 Proceedings of the 2010 Symposium on Eye-Tracking Research & Applications, Austin, USA, 22.-24. März 2010, S. 177-180.
- [MOSSBRUGGER & KELAVA 2012] Moosbrugger, H.; Kelava, A.: Qualitätsanforderungen an einen psychologischen Test (Testgütekriterien. In: Moosbrugger, H.; Kelava, A. (Hrsg.): Testtheorie und Fragebogenkonstruktion. 2. Aufl. Berlin: Springer-Verlag, 2012, S. 325-343.
- [MÜHLENDYCK & RÜSSMANN 1990] Mühlendyck, H.; Rüssmann, W.: Augenbewegung und visuelle Wahrnehmung: Physiologische, psychologische und klinische Aspekte. Stuttgart: Enke-Verlag, 1990.
- [MUTSCHLER ET AL. 2007] Mutschler, E.; Schaible, H.-G.; Vaupel, P.: Anatomie, Physiologie, Pathophysiologie des Menschen. 6. Aufl., Stuttgart: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft, 2007, S. 756.
- [MYTOBII 2011] User Manual: MyTobii (online) <https://www.tobiidynavox.com/support-training/downloads/p10/quick-guides/>, Abruf: 02.10.2019.
- [NGUYGEN ET AL. 2002] Nguyen, K.; Wagner, C.; Koons, D.; Flickner, M.: Differences in the infrared bright pupil response of human eyes. In: ETRA '12 Proceedings of the Symposium on Eye Tracking Research and Applications, Santa Barbara, 28.-30. März 2012, S. 133-138.
- [NIELSEN & MOLICH 1994] Nielsen, J.; Molich, R.: Heuristic evaluation of user interfaces. In: CHI '09 Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems. Seattle, USA, 01.-05. April, 1990, S. 249-256.
- [NIELSEN 1993] Nielsen, J.: Usability Engineering. London, GB: Academic Press Limited, 1993.
- [NORMAN 1986] Norman D. A.: User Centered System Design: New Perspectives on Human-computer Interaction. 1. Aufl., Boca Raton, USA: CRC Press, 1986.
- [NORMAN 1991] Norman, K.: The Psychology of Menu Selection: Designing Cognitive Control at the Human/Computer Interface. Bristol, GB: Intellect Books, 1991.

- [NOWACK 2017] Nowack, T. F.: Mensch-Technik-Interaktion mittels Freiraumgesten, Fachgebiet Biomechatronik. Universität Ilmenau, Dissertation, 2017.
- [OHNO ET AL. 2002] Ohno, T.; Mukawa, N.; Yoshikawa, A.: FreeGate: A Gaze Tracking System for Everyday Gaze Interaction. In: ETRA '02 Proceedings of the 2002 symposium on Eye tracking research & applications. New Orleans, USA, 25.-27. März 2002, S.125-132.
- [OLSEN 2012] Olsen, A.: The Tobii I-VT Fixation Filter: Algorithm description. Tobii Technology, 2012.
- [OREGAN & LÉVY – SCHOEN 1987] O'Regan, J. K.; Lévy-Schoen, A.: Eye Movements: from Physiology to Cognition. Amsterdam, Holland: Elsevier Verlag, 1987.
- [PANASCH 2003] Panasch, S.: Ereignisbezogene Veränderung der visuellen Fixationsdauer. TU Dresden, Dissertation, 2003.
- [PATENTS 2020] Patents.Justia: Datenbank (online) <https://patents.justia.com/patent/10354136>, Abruf: 20.06.2020.
- [PENKAR ET AL. 2012] Penkar, A. M.; Lutteroth, C.; Weber, G.: Designing for the eye – design parameters for dwell in gaze interaction. In: OzCHI '12 Proceedings of the 24th Australian Computer-Human Interaction Conference. Melbourne, Australien, 26.-30. November, 2012, S. 479-488.
- [PERIS ET AL. 2015] Peris, M.; Schlömer, I.; Däuble, G.; Nüttgens, M.: Eyetracking-Forschung in Wirtschaftsinformatik und Information Systems Research - Literaturanlyse und Anwendungspotenziale. In: Thomas, O.; Teutelberg, F. (Hrsg.), Proceedings der 12. Internationalen Tagung Wirtschaftsinformatik. Osnabrück, 3. Juni, 2015, S. 1513-1526.
- [PERLMAN 1987] Perlman, G.: An axiomatic model of information presentation. In: Proceedings of the Human Factors Society 31st Annual Meeting. Santa Monica, USA, 1987, S. 1229-1233.
- [PFEFFER 2016] Pfeffer, S.: Entwicklung einer modularen Methode zur Bewertung der Mensch-Maschine-Interaktion mit Applikation bei Medizinprodukten. Institut für Konstruktionstechnik und Technisches Design, Universität Stuttgart, Dissertation, 2016.
- [POOLE ET AL. 2004]. Poole, A.; Ball, L. J.; Phillips, P.: Search of Saliency: A Response-time and Eye-movement Analysis of Bookmark Recognition. In: HCI '04 Proceedings of HCI 2004, People and Computers XVIII – Design for Life. London, GB: Springer-Verlag, 2004, S. 363-378.
- [POOLE & BALL 2005] Poole, A.; Ball, L. J.: Eye tracking in human-computer interaction and usability research: Current status and future. In: Ghaoui, C. (Hrsg.), Encyclopedia of Human-Computer Interaction. Pennsylvania, USA: Idea Group Inc, 2005, S. 211-219.
- [PORTA & TURINA 2008] Porta, M.; Turina, M.: Eye-S: A full-screen input modality for pure eye-based communication. In ETRA '08 Proceedings of the 2008 Symposium on Eye Tracking Research & Applications. Savannah, USA, 26.-28. März 2008, S. 27-34.
- [POSNER 2011] Posner, M. I.: Attention in Cognitive Neuroscience. 2. Aufl, New York, USA: Guilford Publications, 2011.
- [PREIM & DACHSELT 2015] Preim, B.; Dachsel, R.: Interaktive Systeme: Band 1: Grundlagen, Graphical User Interfaces, Informationsvisualisierung. 2. Aufl., Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2015.
- [PROULX 2007] Proulx, M.: The strategic control of attention in visual search- top-down and bottom-up process, Saarbrücken: VDM, 2007.
- [PURWANTO ET AL. 2009] Purwanto, P.; Mardiyanto, R.; Arai, K.: Electric wheelchair control with gaze direction and eye blinking. Artificial Life and Robotics, Nr. 14(3), Oita, Japan, 5.-7. Februar, 2009, S. 397-400.
- [RAAB ET AL. 2004] Raab, G.; Unger, A.; Unger, F.: Methoden der Marketing-Forschung: Grundlagen und Praxisbeispiele. Wiesbaden: Gabler, 2004.
- [RAAB-STEINER & BENESCH 2008] Raab-Steiner, E.; Benesch, M.: Der Fragebogen. Von der Forschungs idee zu SPSS-Auswertung. Wien: UTB, 2008.

- [RAJANNA & HAMMOND 2018] Rajanna, V.; Hammond T.: A Gaze Gesture-Based Paradigm for Situational Impairments, Accessibility, and Rich Interactions. In ETRA '18 Proceedings of the 2018 ACM Symposium on Eye Tracking Research & Applications, Warsaw, Polen, 14.-17. Juni 2018.
- [RANTALA ET AL. 2017] Rantala, J.; Majaranta, P.; Kangas, J.; Isokoski, P.; Akkil, D.; Špakov, O.; Raisamo, R.: Gaze interaction with vibrotactile feedback: Review and Design Guidelines. In: Human-Computer-Interaction, Nr. 35(1), Abingdon, GB: Taylor & Francis Group, 2017, S. 1-39.
- [RASKIN 2000] Raskin, J.: The Humane Interface. Boston, USA: Addison-Wesley, 2000.
- [RASMUSSEN 1983] Rasmussen, J.: Skills, rules, and knowledge; signals, signs, and symbols, and other distinctions in human performance models. In: IEEE Transactions on Systems, man, and cybernetics, Nr. SMC-13(3), 1983, S.257-266.
- [RAYNER 1978] Rayner, K.: Eye-movements in reading and information-processing. Psychological Bulletin, Nr. 83(3), 1978, S. 618-660.
- [RENGGER 1991] Rengger, R.: Indicators of usability based on performance. In: Bullinger, H. J.: Ergonomie. Stuttgart: B.G. Teubner, 1991.
- [RICHTER 2008] Richter, T.: Forschungsmethoden der Medienpsychologie. In: Batinic, B; Appel, M. (Hrsg.), Medienpsychologie. Heidelberg, Springer, 2008, S. 3-44.
- [ROGERS 1989] Rogers, Y.: Icons at the interface: Their usefulness. In: Interacting with Computers. Nr. 1(1), Amsterdam, Holland: Elsevier, 1989, S. 105-117.
- [ROHMERT & RUTENFRANZ 1975] Rohmert, W.; Rutenfranz, J.: Arbeitswissenschaftliche Beurteilung der Belastung und Beanspruchung an unterschiedlichen industriellen Arbeitsplätzen, Bonn, Der Bundesminister für Arbeit und Sozialordnung, 1975.
- [RÖTTING 1999A] Rötting, M: Typen und Parameter von Augenbewegungen. In: Rötting, M.; Seifert, K. (Hrsg.), Blickbewegung in der Mensch-Maschine-Systemtechnik. Sinzheim: Pro Universitate, 1999, S. 1-18.
- [RÖTTING 1999B] Rötting, M: Methoden zur Registrierung von Augenbewegungen. In: Rötting, M.; Seifert, K. (Hrsg.), Blickbewegung in der Mensch-Maschine-Systemtechnik. Sinzheim, Pro Universitate, 1999, S. 19-34.
- [RÖTTING 2001] Rötting, M.: Parametersystematik der Augen- und Blickbewegung für arbeitswissenschaftliche Untersuchungen. Aachen: Shaker Verlag, 2001.
- [SAFFER 2008] Saffer, D.: Designing Gestural Interfaces. Sebastopol, USA: O'Reilly Media, 2008.
- [SARODNICK & BRAU 2011] Sarodnick, F.; Brau, H.: Methoden der Usability Evaluation: Wissenschaftliche Grundlagen und praktische Anwendung. 2. Aufl., Göttingen: Hogrefe AG, 2011.
- [SCHIERWAGEN 1998] Schierwagen, A.: Visuelle Wahrnehmung und Augenbewegung: Neuronale Mechanismen der Sakkadenkontrolle. In: Sachs-Hombach K.; Rehkämper K. (Hrsg.), Bild – Bildwahrnehmung – Bildverarbeitung: Interdisziplinäre Beiträge zur Bildwissenschaft. Wiesbaden, DUV, 1998, S. 275-284.
- [SCHLICK ET AL. 2010] Schlick, C. M.; Luczak, H.; Bruder, R.: Arbeitswissenschaft. Heidelberg: Springer, 2010.
- [SCHMID & MAIER 2017] Schmid, M.; Maier, T.: Technisches Interface Design, Anforderungen, Bewertung und Gestaltung. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2017.
- [SCHMIDTKE 1981] Schmidtke, H: Lehrbuch der Ergonomie. Schmidtke, H., Bernotat, R. (Hrsg.), 2. Aufl., München-Wien: Carl Hanser Verlag, 1981.
- [SCHMIDTKE & JASTRZEBSKA-FRACZEK 2013] Schmidtke, H.; Jastrzebska-Fraczek, I.: Ergonomie: Daten zur Systemgestaltung und Begriffsbestimmung. München, Carl Hanser Verlag, 2013.
- [SCHUHFRIED 2015] Schuhfried, G.: Wiener Testsystem, Manual Reaktionstest, Kurzbeschreibung RT. Version 40 – Revision 1, 2015.
- [SCHUHFRIED 2019] SCHUHFRIED: Wiener Testsystem. (online) <https://www.schuhfried.at/wts/>, Abruf: 29.08.2019.
- [SCHÜTZ ET AL. 2019] Schütz, I.; Murdison, T. S.; MacKenzie, K. J.; Zannoli, M.: An Explanation of Fitt's Law-like Performance in Gaze-Based Selection Tasks Using a Psychophysics. In: CHI '19 Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, Glasgow, Scotland UK, 04.-09. May 2019.

- [SEARS 1993] Sears, A.: Layout appropriateness: A metric for evaluating user interface widget layout. In: IEEE Transactions on Software Engineering, Nr. 19(7), 1993, S. 707-719.
- [SEEGER 2006] Seeger, H.: Design technischer Produkte, Produktprogramme und -systeme. Industrial Design Engineering. Aufl. 2. Heidelberg: Springer-Verlag, 2006.
- [SEMANTICSTUDIOS 2019] Semanticstudios: User Experience Honeycomb (Online) https://semanticstudios.com/user_experience_design/, Abruf: 16.09.2019.
- [SENDLER 2008] Sendler, J.: Entwicklung und Gestaltung variabler Bedienelemente für ein Bedien- und Anzeigesystem im Fahrzeug. Technische Universität Dresden, Dissertation, 2008.
- [SHAHID ET AL. 2012] Shahid, A.; Wilkinson, K.; Marcu, S.; Shapiro, C. M.: STOP, THAT and one hundred other sleep scales, New York, USA: Springer, 2012.
- [SHEPHERD 1998] Shepherd, A.: HTA as a framework for task analysis. Ergonomics, Nr. 41(11), 1998, S. 1537-1552.
- [SHNEIDERMAN 1994] Shneiderman, B.: Dynamic queries for visual information seeking. In: IEEE Software, Nr. 6, 1994, S. 70-77.
- [SHNEIDERMAN 2002] Shneiderman, B.: User Interface Design. 3. Aufl., Bonn: mitp-Verlag, 2002.
- [SHNEIDERMAN & PLAISANT 2009] Shneiderman, B.; Plaisant, C.: Designing the User Interface: Strategies for Effective Human-Computer Interaction. Aufl. 5, Boston, USA: Addison-Wesley, 2009.
- [SILBERT & JACOB 2000] Silbert, L.; Jacob, R.: Evaluation of eye gaze interaction. In: CHI '00 Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factors in Computing Systems, The Hague, Holland, 1.-6. April. 2000, S. 281-288.
- [SNOWDDEN ET AL. 2006] Snowdden, R.; Thompson, P.; Troscianko, T.: Basic Vision: An Introduction to Visual Perception, Oxford, GB: Oxford University Press, 2006.
- [SOLSO 1991] Solso, R. L.: Cognitive Psychologie. Boston, USA: Allyn and Bacon, 1991.
- [SOLSO 2005] Solso, R. L.: Kognitive Psychologie. Heidelberg: Springer Verlag, 2005.
- [SOUKOREFF & MACKENZIE 2003] Soukoreff, R. W.; MacKenzie, I. S.: Metrics for text entry research: An evaluation of MSD and KSPC, and a new unified error metric. In: CHI '03 Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, Ft. Lauderdale, USA, 5.-10. April 2003, S. 113-120.
- [ŠPAKOV ET AL. 2016] Špakov, O.; Isokoski, P.; Kangas, J.; Akkil, D.; Majaranta, P.: PursuitAdjuster: An exploration into the design space of smooth pursuit-based widgets. In: ETRA '16 Proceedings of the Ninth Biennial ACM Symposium on Eye Tracking Research & Applications. Charleston, USA, 14.-17. März 2016, S. 287-290.
- [ŠPAKOV 2008] Špakov, O.: iComponent-device-independent platform for analyzing eye movement data and developing eye-based applications. Universität Tampere, Finnland, Dissertation, 2008.
- [STAPELKAMP 2007] Stapelkamp, T.: Screen- und Interfacedesign: Gestaltung und Usability für Hard- und Software. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2007.
- [STATISTA 2019A] Statista: Anzahl der Personen in Deutschland, die Sehhilfen (Brille oder Kontaktlinsen) nutzen. (online) <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/171243/umfrage/tragen-einer-brille-oder-von-kontaktlinsen/>, Abruf: 04.08.2019.
- [STATISTA 2019B] Statista: Bevölkerung - Zahl der Einwohner in Deutschland nach Altersgruppen. (online) <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1365/umfrage/bevoelkerung-deutschlands-nach-altersgruppen/>, Abruf: 04.08.2019.
- [STATISTA 2019C] Statista: Statistiken zur Bevölkerung in Deutschland (online) <https://de.statista.com/themen/27/bevoelkerung/>, Abruf: 04.08.2019.
- [STELLMACH ET AL. 2011] Stellmach, S.; Stober, S.; Nürnberger, A.; Dachselt, R.: Designing gaze-supported multimodal interactions for the exploration of large image collections. In: NGCA '11 Proceedings of the 1st Conference on Novel Gaze-Controlled Application. Karlskrona, Schweden, 26.-27. März, 2011.
- [STELLMACH & DACHSELT 2012] Stellmach, S.; Dachselt, R.: Designing gaze-based user interfaces for steering in virtual environments. In: ETRA '12 Proceedings of the Symposium on Eye Tracking Research and Applications, Santa Barbara, USA, 28.-30. März, 2012, S. 131-138.

- [STIMM ET AL. 2018] Stimm, D.; Schäfer, J.; Engeln, A.: Der Kraftfahrer im Fokus: Nutzerzentrierte Entwicklung eines Konzepts für autonome Fahrfunktion. Tagung experimentell arbeitender Psychologen (TeaP), Marburg, 11.-14. März 2018.
- [STERNBERG 2009] Sternberg, R.: Cognitive Psychology. Wadsworth, USA: Belmont, 2009.
- [STREVELER & HARRISON 1984] Streveler, D. J.; Harrison, P. B.: Measuring the „goodness“ of screen designs. In: Proceedings of the Seventeenth Annual Hawaii International Conference on System Sciences. Nr. 1, 1984, S. 423-430.
- [STREVELER & HARRISON 1987] Streveler, D. J.; Harrison, P. B.: Judging visual displays of medical information. In: McDonald, C. J. (Hrsg.) Buying Equipment and Programs for Home or Office. M.D. Computing, New York, USA: Springer-Verlag, 1987, S. 27-39.
- [STREVELER & WASSERMAN 1984] Streveler, D. J.; Wasserman, A. I.: Quantitative measures of the spatial properties of screen designs. In: INTERACT '84 Proceedings of the Conference on Human-Computer Interaction, London, England, 1984.
- [TANAKA ET AL. 1990] Tanaka, T.; Eberts, R. E.; Salvendy, G.: Derivation and validation of a quantitative method for the analysis of consistency for interface design. In: Proceedings of Human Factors Society 34th Annual Meeting. Nr. 34(4), Santa Monica, USA. 1. Oktober, 1990, S. 329-333.
- [TANGO 2019] TANGO: Technologie für automatisiertes Fahren nutzergerecht optimiert. öffentlich gefördertes Projekt des BMWI, (online) <https://projekt-tango-trucks.com/>, Abruf: 21.10.2019.
- [TATLER 2007] Tatler, B. W.: The central fixation bias in scene viewing: Selecting an optimal viewing position independently of motor biases and image feature distributions. In: Watson, A. B. (Hrsg.), Journal of Vision. Nr. 7(14), 2007, S. 1-17.
- [TATLER ET AL. 2005] Tatler, B. W.; Baddeley, R. J.; Gilchrist, I. D.: Visual correlates of fixation selection: Effects of scale and time. In: Watson, A. B. (Hrsg.), Journal of Vision. Nr. 45, 2005, S. 643-659.
- [TATLER & WADE 2003] Tatler, B. W., Wade, N. J.: On Nystagmus, Saccades, and Fixations. In: Sage journals, Nr. 32(2), 2003, S. 167-184.
- [TATLER & VINCENT 2008] Tatler, B. W.; Vincent, B. T.: Systematic tendencies in scene viewing. In: Groner, R. (Hrsg.), Journal of Eye Movement Research, Nr. 2(5), 2008, S. 1-18.
- [TCHALENKO 2001] Tchalenko, J.: Free-eye drawing, Point: Art and Design Research Journal, Nr. 11, 2001, S. 36-41.
- [THOMPSON 1992] Thompson, R. F.: Das Gehirn. Berlin Heidelberg: Springer Verlag, 1992.
- [TIANYANG & XIAOLI 2017] Tianyang, X.; Xiaoli, W.: The influence of different style of icons on users' visual search in touch screen interface. In: Rebelo, F.; Soares, M. (Hrsg.) AHFE '17 International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics, Advances in Intelligent Systems and Computing, Vol. 588, Los Angeles, USA, 17.-21. Juli, 2017, S. 222-232.
- [TIMPE ET AL. 2000] Timpe, K.P., Jürgensohn, T.; Kolrep, H.: Mensch-Maschine-Systemtechnik. Düsseldorf: Symposion Publishing GmbH, 2000.
- [TOBII 2012] Tobii Technology AB: Accuracy and precision test method for remote eye trackers. Test Specification Version: 2.1.1., 2012.
- [TOBII 2015] Tobii AB, Accuracy and precision Test report: Tobii Pro x3-120 fw.1.71, 2015.
- [TOBII 2019A] Tobii AB, Investors Relations: Jahresbericht 2018 (online) <https://www.tobii.com/group/investors/financial-reports/2019/4/tobiis-annual-report-2018-available-on-the-website/>, Abruf: 27.10.2019.
- [TOBII 2019B] Tobii Pro: Tobii Pro Eye Tracker Manager (online) <https://www.tobiipro.com/de/produkte/eye-tracker-manager/>, Abruf: 22.08.2019.
- [TOBII 2019C] Tobii Faming: Tobii Eye Tracker 4C. (online) <https://gaming.tobii.com/product/tobii-eye-tracker-4c/>, Abruf: 04.09.2019.
- [TULLIS 1984] Tullis, T. S.: Predicting the Usability of Alphanumeric Displays. Rice University Houston, Dissertation, 1984.
- [TULLIS 1986] Tullis, T. S.: Optimizing the Usability of computer-generated displays, In: Proceedings of HCI '86 Conference on People and Computers: Designing for Usability, York, England, 23.-26. September 1986.

- [TULLIS 1988A] Tullis, T. S.: Screen Design. In: Helander, M.; Landauer, T. K.; Prabhu, P. V. (Hrsg.), Handbook of Human-Computer Interaction. S. 377-411, Amsterdam, Holland: Elsevier Science Publishers, 1988.
- [TULLIS 1988B] Tullis, T. S.: A system of evaluating screen formats: Research and application. In: Hartson, H. R. and Hix, D. (Hrsg.), Advances in Human-Computer Interaction. Band 2, Norwood, USA: Ablex Publishing, 1988, S. 214-286.
- [TULLIS & ALBERT 2013] Tullis, T., Albert, B.: Measuring the User Experience – Collecting, Analyzing, and Presenting Usability Metrics. 2. Aufl., Waltham, USA: Morgan Kaufmann, 2013.
- [TURNER ET AL. 2013] Turner, J.; Alexander, J.; Bulling, A.; Schmidt, D.; Gellersen, H.: Eye pull, eye push: Moving objects between large screens and personal devices with gaze and touch. In: INTERACT '13, Conference on Human-Computer Interaction, Nr. 2, 2013, S. 170-186.
- [UDRIS & FRESE 1999] Udris, I.; Frese, M.: Belastung und Beanspruchung, In: Hoyos C. Graf, Frey D. (Hrsg) Arbeits- und Organisationspsychologie, Weinheim: Psychologie Verlags Union, 1999, S. 429-445.
- [UZH 2019] Universität Zürich: Methodenberatung, (online) https://www.methodenberatung.uzh.ch/de/datenanalyse_spss/zusammenhaenge/rangkorrelation.html, Abruf: 05.12.2019.
- [VÄÄNÄNEN & SCHMIDT 1994] Väänänen, K.; Schmidt, J.: User interfaces for hypermedia: How to find good metaphors. In: CHI '94 Conference Companion on Human Factors in Computing Systems. Boston, USA, 24.-28. April 1994, S. 263-264.
- [VICKERS ET AL. 2008] Vickers, S.; Istance, H. O.; Hyrskykari, A.; Ali, N.; Bates, R.: Keeping an eye on the game: eye gaze interaction with massively multiplayer online games and virtual communities for motor impaired users. In: Proceedings 7th ICDVRAT with Art Abilitation, Maia, Portugal, 2008, S. 159-166.
- [VIDAL ET AL. 2013] Vidal, M.; Bulling, A.; Gellersen, H.: Pursuits: spontaneous interaction with displays based on smooth pursuit eye movement and moving targets. In: UbiComp '13 Proceedings of the 2013 ACM international joint conference on Pervasive and ubiquitous computing, Zürich, Schweiz, 8.-12. September 2013, S. 439-448.
- [VIVE 2020] Vive: Unternehmen (online) <https://www.vive.com/de/product/#pro%20eye%20series>, Abruf: 20.06.2020.
- [VOLPERT 1983] Volpert, W.: Arbeitspsychologie, D/III/I, Göttingen: Hogrefe Verlag, 1983, S. 1-42.
- [VOSSEL ET AL. 2014] Vossel, S.; Geng, J. J.; Fink, G. R.: Dorsal and ventral attention systems: Distinct neural circuits but collaborative roles. In: Neuroscientist. Nr. 20(2), 2014, S. 150-159.
- [VUMA 2019] VuMA - Verbrauchs- und Medienanalyse 2019 (online) <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/828304/umfrage/umfrage-zum-wunsch-nach-leichter-bedienbaren-technischen-geraeten-nach-geschlecht/>, Abruf: 27.10.2019.
- [WALLACE ET AL. 1987] Wallace, D. F.; Anderson, N. S.; Shneiderman, B.: Time stress effects on two menu selection systems. In: Proceedings of the Human Factors Society Annual Meeting. Nr. 31(7), Santa Monica, USA, 1987, S. 727-731.
- [WARE & MIKAELIAN 1987] Ware, C.; Mikaelian, H. H.: An evaluation of an eye tracker as a device for computer input. In: CHI '87 Proceedings of the SIGCHI/GI Conference on Human Factors in Computing Systems and Graphics Interface, Toronto, Kanada, 5.-9. April 1987, S. 183-188.
- [WÄSTLUND ET AL. 2010] Wästlund, E.; Sponseller, K.; Perrersson, O.: What you see is where you go: Testing a gaze-driven power wheelchair for individuals with severe multiple disabilities. In: ETRA '10 Proceedings of the 2010 Symposium on Eye-Tracking Research & Applications, Austin, Texas, 22.-24. März 2010, S. 133-136.
- [WEINSCHENK & YEO 1995] Weinschenk, S.; Yeo, S. C.: Guidelines for enterprise-wide GUI design. New York, USA: John Wiley & Sons, Inc., 1995.
- [WEISER 1991] Weiser, M.: The Computer for the 21st Century. Scientific American 265(3). S. 94-104, 1991.
- [WICK & WICK 1987] Wick, K.; Wick, R.: Form und Farbe. 5. Aufl., Bonn: Dümmler Verlag, 1987.

- [WICKINS 1992] Wickins, C. D.: Engineering Psychology and Human Performance. 2. Aufl., New York, USA: HarperCollings, 1992.
- [WIGDOR & WIXON 2011] Wigdor, D.; Wixon, D.: Brave NUI World – Designing Natural User Interfaces for Touch and Gesture. Burlington, USA: Elsevier, 2011.
- [WILCOX 2012] Wilcox, R.: Introduction to Robust Estimation and Hypothesis Testing. 3. Aufl., Waltham, USA: Academic Press, 2012.
- [WOBBROCK ET AL. 2008] Wobbrock, J. O.; Rubinstein, J.; Sawyer, M. W.; Duchowski, A. T.: Longitudinal evaluation of discrete consecutive gaze gestures for text entry. In: ETRA '08 Proceedings of the 2008 symposium on Eye tracking research & applications, Savannah, USA, 26.-28. März 2008, S. 11-18.
- [WRIGHT 1998] Wright, R. D.: Visual Attention: Vancouver Studies in Cognitive Psychology. Oxford, GB: Oxford University Press, 1998.
- [YARBUS 1967] Yarbus, A.: Eye Movements and Vision. New York, USA: Plenum Press, 1967.
- [YU ET AL. 2014] Yu, M.; Lin, Y.; Wang, X.; Schmidt, D.; Wang, Y.: Human-Robot interaction based on gaze gestures for the drone teleoperation. In: Journal of Eye Movement Research, Nr. 7(4), 2014, S. 1-14.
- [ZAKIA 2002] Zakia, R. D.: Perception and Imaging. In: Focal Press, Waltham, USA, 2002.
- [ZIMBARDO & GERRIG 2008] Zimbardo, P. G.; Gerrig, R.: Psychologie, München: Pearson Studium, 2008.
- [ZHAI ET AL. 1999] Zhai, S.; Morimoto, C.; Ihde, S.: Manual and gaze input cascaded (MAGIC) pointing. In: CHI '99 Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factors in Computing Systems, Pittsburgh, USA, 15.-20. Mai, 1999, S. 246-253.
- [ZHAI ET AL. 2004] Zhai, S.; Kong, J.; Ren, X.: Speed-accuracy tradeoff in Fitt's law tasks-on the equivalency of actual and nominal pointing precision, In: International Journal of Human-Computer Studies, Vol. 61, Issue 6, Dezember, 2004, S. 823-856.
- [ZHU ET AL. 2011] Zhu, D.; Gedeon, T.; Taylor, K.: "Moving to the centre": A gaze-driven remote camera control for teleoperation. In: Interacting with Computers, Nr. 23(1), Oxford, GB, Oxford University Press, 2011, S. 85-95.
- [ZÜHLKE 2012] Zühlke, D.: Nutzergerechte Entwicklung von Mensch-Maschine-Systemen – Useware-Engineering für technische Systeme. 2. Aufl., Heidelberg: Springer-Verlag, 2012.

Normen und Richtlinien

- [DIN 44300-1: 1995] Informationsverarbeitung Begriffe Teil 1: Allgemeine Begriffe, Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin, März 1995.
- [DIN 58220: 2013] Sehschärfestimmung – Teil 5: Allgemeiner Sehtest, Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin: Beuth Verlag, Oktober 2013.
- [DIN EN 614-1: 2009] Sicherheit von Maschinen – Ergonomische Gestaltungsgrundsätze – Teil 1: Begriffe und allgemeine Leitsätze, Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin: Beuth Verlag, Juni 2009.
- [DIN EN 842: 2009] Sicherheit von Maschinen - Optische Gefahrensignale - Allgemeine Anforderungen, Gestaltung und Prüfung, Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin: Beuth Verlag, Januar 2019.
- [DIN EN 894-3:2010] Sicherheit von Maschinen - Ergonomische Anforderungen an die Gestaltung von Anzeigen und Stellteilen - Teil 3: Stellteile, Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin: Beuth Verlag, Februar 2019.
- [DIN EN 894-2: 2009] Sicherheit von Maschinen - Ergonomische Anforderungen an die Gestaltung von Anzeigen und Stellteilen - Teil 2: Anzeigen, Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin: Beuth Verlag, Februar 2019.
- [DIN EN 894-4: 2011] Sicherheit von Maschinen - Ergonomische Anforderungen an die Gestaltung von Anzeigen und Stellteilen - Teil 4: Lage und Anordnung von Anzeigen und Stellteilen, Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin: Beuth Verlag, Oktober 2011.

- [DIN EN 60825-1 2015] Sicherheit von Lasereinrichtungen - Teil 1: Klassifizierung von Anlagen und Anforderungen (IEC 60825-1:2014), Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin: Beuth Verlag, Juli 2015.
- [DIN EN 80416-1: 2009] Allgemeine Grundlagen für graphische Symbole auf Geräten und Einrichtungen - Teil 1: Gestaltung graphischer Symbole für die Registrierung (IEC 80416-1:2008), Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin: Beuth Verlag, November 2009.
- [DIN EN ISO 8596: 2009] Augenoptik – Sehschärfeprüfung – Das Normzeichen und seine Darbietung (ISO 8596: 2009), Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin: Beuth Verlag, Oktober 2009.
- [DIN EN ISO 9241-1: 2002] Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten - Teil 1: Allgemeine Einführung, Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin: Beuth Verlag, Februar 2002.
- [DIN EN ISO 9241-9:2002] Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten – Teil 9: Anforderungen an Eingabemittel, ausgenommen Tastaturen (ISO 9241-9:2000), Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin: Beuth Verlag, März 2002.
- [DIN EN ISO 9241-11: 2018] Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten und Bildschirmgeräten – Teil 11: Gebrauchstauglichkeit: Begriffe und Konzepte, Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin: Beuth Verlag, November 2018.
- [DIN EN ISO 9241-12:2000] Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeit mit Bildschirmgeräten – Teil 12: Informationsdarstellung, Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin: Beuth Verlag, August 2000.
- [DIN EN ISO 9241-16:2000] Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeit mit Bildschirmgeräten - Teil 16: Dialogführung mittels direkter Manipulation (ISO 9241-16:1999), Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin: Beuth Verlag, März 2000.
- [DIN EN ISO 9241-302: 2009] Ergonomie der Mensch-System-Interaktion – Teil 302: Terminologie für elektronische optische Anzeigen (ISO 9241-302:2008), Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin: Beuth Verlag, Juni 2009.
- [DIN EN ISO 9241-420: 2011] Ergonomie der Mensch-System-Interaktion – Teil 420: Auswahlverfahren für physikalische Eingabegeräte (ISO 9241-420:2011), Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin: Beuth Verlag, Oktober 2011.
- [DIN EN ISO 9241-960: 2017] Ergonomie der Mensch-System-Interaktion - Teil 960: Rahmen und Anleitung zur Gestensteuerung (ISO 9241-960:2017), Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin: Beuth Verlag, Januar 2017.
- [DIN EN ISO 13406-1: 2000] Ergonomische Anforderungen für Tätigkeiten an optischen Anzeigeeinheiten in Flachbauweise - Teil 1: Einführung, Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin: Beuth Verlag, Januar 2000.
- [DIN EN ISO 15007-1: 2015] Straßenfahrzeuge - Messung des Blickverhaltens von Fahrern bei Fahrzeugen mit Fahrerinformations- und -assistenzsystemen - Teil 1: Begriffe und Parameter (ISO 15007-1:2014), Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin: Beuth Verlag, März 2015.
- [DIN ISO/TS 20282-2: 2008] Einfachheit der Handhabung von Produkten des täglichen Gebrauchs – Teil 2: Prüfverfahren für öffentlich zugängliche Produkte, Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin: Beuth Verlag, Oktober 2008.

- [DIN VDE 0100-200: 2006] Errichten von Niederspannungsanlagen – Teil 200: Begriffe, Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin: Beuth Verlag, Juni 2006.
- [FeV:2014] Die Fahrerlaubnisverordnung (FeV) in Deutschland seit 2014.
- [ISO 9241-110: 2020] Ergonomie der Mensch-System-Interaktion – Teil 110: Interaktionsprinzipien, Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin: Beuth Verlag, Mai 2020.
- [ISO/IEC 25062: 2006] Software engineering – Software product Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) – Common Industry Format (CIF) for usability tests reports, International Organization for Standardization, 2011.
- [VDI/VDE 2258: 1987] Feinwerkelemente; Bedienelemente, mechanisch, Düsseldorf: Verein Deutscher Ingenieure, Juli, 1987.
- [VDI/VDE 3850-3: 2015] Gebrauchstaugliche Gestaltung von Benutzungsschnittstellen für technische Anlagen - Merkmale, Gestaltung und Einsatzmöglichkeiten von Benutzungsschnittstellen mit Touchscreens, Düsseldorf: Verein Deutscher Ingenieure, November, 2015.

Zitierte studentische Arbeiten unter Anleitung des Verfassers

- [DYHRINGER 2018] Dyhringer, R.: Entwicklung und Auslegung eines nutzergerechten Mensch-Maschine-Interfaces durch komplexe Blickgesten unter Berücksichtigung der Gestensegmentanzahl. Institut für Konstruktionstechnik und Technisches Design, Universität Stuttgart, Masterarbeit, 2018.
- [KELLER 2018] Keller, S.: Experimentelle Untersuchung der Übertragbarkeit von Hand- und Körpergesten in der Mensch- Maschine-Interaktion in die Blickgestensteuerung. Institut für Konstruktionstechnik und Technisches Design, Universität Stuttgart, Studienarbeit, 2018.
- [MARKERT 2018] Markert, M.: Methodische Untersuchung geeigneter visueller Assoziationen von Blickgesten zur Steuerung von technischen Systemen. Institut für Konstruktionstechnik und Technisches Design, Universität Stuttgart, Studienarbeit, 2018.

Anhang

1 Reizvariationen

1.1 Unterstützungsmaß RV

sehr störend sehr unterstützend

1.2 Unterschiedsmaß RV

alle gleich empfunden alle unterschiedlich empfunden

1.3 Ausprägungsrangfolge innerhalb Gestaltungsparameter (visuell dargeboten)

numerische Rangfolge (gleiche Ränge möglich)

2 Blickgesten

2.1 Unterscheidbarkeitsmaß Blickgesten

absolut gleichwertig total unterschiedlich

2.2 Ausführbarkeitsrangfolge Blickgesten

numerische Rangfolge von 1 bis 6 (gleiche Ränge möglich)

2.3 Induktivität der Blickgestensteuerung

gar nicht intuitiv sehr intuitiv

3 Interfaceaufbau

3.1 Abstand interaktiver Elemente

viel zu groß wahrgenommen viel zu klein wahrgenommen

3.2 Menütiefe / Interfacekomplexität

als zu hoch wahrgenommen als zu niedrig wahrgenommen

4 Bedienmodalitäten

4.1 Blickgestensteuerung unimodal

4.2 Blickgesten & haptische Stellteilen

4.3 Blickgesten & sprachbasierte Interaktion

4.4 Blickgesten & körpergestenbasierte Interaktion

je Frage: absolut untauglich absolut tauglich

Tabelle A1: Zusammenstellung der Fragen aus dem digitalen Fragebogen im Anschluss an den interaktiven Experimententeil

| Parameter | Nennungen | | | p-Wert | df |
|--|-----------|----|---|---------------------------|----|
| | 1 | 2 | 3 | | |
| Element (1 = Sakkadenstrecke, 2 = Rastpunkt) | 16 | 13 | - | .577 | 1 |
| Abfolge (1 = gesamt, 2 = schrittweise, 3 = letztes S.) | 6 | 23 | 0 | $p_1 p_2 p_3 = .002$ | 1 |
| Prinzip (1 = dynamisch, 2 = statisch) | 18 | 10 | - | .131 | 1 |
| Länge Sakkadenstrecke (1 = ganz, 2 = teilweise) | 18 | 10 | - | .131 | 1 |
| Breite Sakkadenstrecke (1 = breit, 2 = schmal) | 4 | 22 | - | .000 | 1 |
| Größe Rastpunkt (1 = groß, 2 = klein) | 17 | 11 | - | .257 | 1 |
| Helligkeit (1 = hell, 2 = mittel, 3 = dunkel) | 3 | 22 | 5 | $p_1 p_2 p_3 = 0.000$ | 2 |

Tabelle A2: Chi-Quadrat-Test - Nutzerpräferenz – Gestaltungsparameter

| VP-Nummer | Versuchsdauer [min] | Versuchsbeginn [Slotnummer] | Geschlecht | keine Sehhilfe | Brille | Kontaktlinsen | Expertise | Fähigkeit Ballsportarten | Fähigkeit Musik & Kunst | Fähigkeit Computerspiele | Müdigkeit Beginn | Müdigkeit Pause | Müdigkeit Ende | Müdigkeit | Beanspruchung Beginn | Beanspruchung Pause | Beanspruchung Ende | Beanspruchung | Reaktionstest gesamt [%] | Räuml. Vorstellungsvermögen [%] | Aufgabenlesezeit [s] | Interaktionszeit [s] | Gestenausführungszeit [s] | ∅ BS valide Versuche [Anzahl] | ∅ BS invalide Versuche [Anzahl] | ∅ IE valide Versuche [Anzahl] | ∅ IE invalide Versuche [Anzahl] |
|-----------|---------------------|-----------------------------|------------|----------------|--------|---------------|-----------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|------------------|-----------------|----------------|-----------|----------------------|---------------------|--------------------|---------------|--------------------------|---------------------------------|----------------------|----------------------|---------------------------|-------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| 1 | 43,6 | 2 | w | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 5 | 5 | 4,3 | 2 | 3 | 3 | 2,67 | 100,0 | 87,0 | 0,59 | 9,51 | 1,16 | 1,53 | 1,92 | 1,07 | 1,39 |
| 2 | 36,5 | 1 | m | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 4 | 4 | 3 | 3,7 | 3 | 4 | 4 | 3,67 | 96,0 | 97,0 | 0,83 | 6,94 | 0,97 | 1,25 | 1,56 | 1,06 | 1,08 |
| 3 | 52,6 | 2 | w | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 5 | 5 | 4,3 | 2 | 4 | 5 | 3,67 | 71,0 | 94,0 | 1,10 | 9,93 | 1,00 | 1,62 | 2,33 | 1,16 | 1,48 |
| 4 | 59,2 | 3 | m | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 3 | 6 | 6 | 5,0 | 3 | 5 | 5 | 4,33 | 60,0 | 87,0 | 1,12 | 10,39 | 1,00 | 1,48 | 2,30 | 1,19 | 1,57 |
| 5 | 52,5 | 4 | w | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 4 | 5 | 5 | 4,7 | 3 | 4 | 4 | 3,67 | 55,5 | 91,0 | 0,27 | 9,94 | 1,01 | 1,41 | 2,54 | 1,12 | 1,74 |
| 6 | 53,0 | 1 | m | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 3 | 3 | 3 | 3,0 | 2 | 2 | 2 | 2,00 | 43,5 | 74,0 | 0,95 | 10,46 | 0,97 | 1,50 | 2,55 | 1,22 | 1,88 |
| 7 | 41,2 | 2 | m | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1,7 | 3 | 4 | 4 | 3,67 | 65,5 | 94,0 | 1,17 | 7,35 | 0,91 | 1,33 | 1,63 | 1,10 | 1,14 |
| 8 | 59,2 | 3 | w | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 5 | 6 | 7 | 6,0 | 2 | 3 | 4 | 3,00 | 49,0 | 91,0 | 0,85 | 10,98 | 0,96 | 1,42 | 2,53 | 1,17 | 1,53 |
| 9 | 48,2 | 4 | m | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 5 | 5 | 5 | 5,0 | 2 | 3 | 3 | 2,67 | 52,0 | 87,0 | 1,25 | 8,90 | 0,99 | 1,44 | 2,17 | 1,14 | 1,51 |
| 10 | 35,2 | 1 | m | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 4 | 4 | 4 | 4,0 | 2 | 3 | 2 | 2,33 | 99,0 | 94,0 | 0,82 | 7,09 | 0,95 | 1,39 | 1,51 | 1,09 | 1,17 |
| 11 | 61,6 | 2 | m | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 4 | 4 | 3,7 | 2 | 4 | 5 | 3,67 | 93,5 | 94,0 | 0,87 | 10,36 | 0,90 | 1,58 | 2,28 | 1,28 | 1,62 |
| 12 | 38,3 | 3 | m | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 5 | 5 | 6 | 5,3 | 2 | 5 | 5 | 4,00 | 73,0 | 96,0 | 1,01 | 6,59 | 1,01 | 1,25 | 1,36 | 1,06 | 0,95 |
| 13 | 42,4 | 1 | m | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 3 | 5 | 5 | 4,3 | 2 | 4 | 3 | 3,00 | 77,5 | 97,0 | 1,01 | 7,15 | 0,89 | 1,32 | 1,79 | 1,15 | 1,20 |
| 14 | 51,3 | 3 | w | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 6 | 6 | 6 | 5,7 | 3 | 5 | 4 | 4,00 | 94,5 | 80,0 | 0,14 | 11,20 | 1,01 | 1,36 | 2,19 | 1,11 | 1,53 |
| 15 | 41,1 | 4 | m | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 3 | 6 | 4 | 4,3 | 1 | 6 | 5 | 4,00 | 52,5 | 94,0 | 0,79 | 8,57 | 0,98 | 1,31 | 2,04 | 1,12 | 1,53 |
| 16 | 49,0 | 2 | m | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 4 | 5 | 4 | 4,3 | 2 | 4 | 2 | 2,67 | 99,5 | 80,0 | 0,36 | 9,40 | 1,00 | 1,39 | 2,01 | 1,11 | 1,32 |
| 17 | 52,3 | 1 | w | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 2 | 4 | 4 | 3,3 | 1 | 3 | 2 | 2,00 | 83,5 | 80,0 | 1,04 | 10,27 | 1,06 | 1,61 | 2,42 | 1,35 | 1,71 |
| 18 | 38,4 | 2 | m | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 5 | 5 | 6 | 5,3 | 2 | 5 | 5 | 4,00 | 94,0 | 87,0 | 0,91 | 7,85 | 0,97 | 1,31 | 1,59 | 1,09 | 1,20 |
| 19 | 38,3 | 3 | m | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 4 | 4 | 4 | 4,0 | 2 | 4 | 4 | 3,33 | 84,0 | 99,0 | 0,62 | 7,90 | 1,03 | 1,45 | 1,68 | 1,10 | 1,18 |
| 20 | 37,3 | 4 | m | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 5 | 5 | 5 | 5,0 | 5 | 6 | 6 | 5,33 | 75,5 | 91,0 | 0,84 | 7,38 | 1,03 | 1,33 | 1,74 | 1,18 | 1,39 |
| 21 | 36,3 | 1 | m | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 4 | 5 | 5 | 4,7 | 2 | 2 | 2 | 2,00 | 99,5 | 97,0 | 0,67 | 7,36 | 0,93 | 1,21 | 1,66 | 1,03 | 0,97 |
| 22 | 44,2 | 4 | m | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 2 | 1,7 | 2 | 4 | 5 | 3,67 | 81,5 | 80,0 | 1,25 | 7,52 | 0,95 | 1,39 | 1,75 | 1,09 | 1,20 |
| 23 | 39,1 | 2 | w | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 6 | 7 | 5,7 | 4 | 5 | 6 | 5,00 | 98,5 | 68,0 | 0,47 | 11,36 | 0,99 | 1,36 | 2,27 | 1,16 | 1,73 |
| 24 | 54,3 | 3 | w | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 3 | 3 | 3 | 3,0 | 2 | 5 | 5 | 4,00 | 85,0 | 80,0 | 0,80 | 10,11 | 1,18 | 1,37 | 2,54 | 1,15 | 1,77 |
| 25 | 67,6 | 1 | w | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 5 | 4 | 4,0 | 2 | 4 | 4 | 3,33 | 79,5 | 100,0 | 0,51 | 12,12 | 1,19 | 1,49 | 3,13 | 1,19 | 2,08 |
| 26 | 60,5 | 3 | m | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 7 | 7 | 6,0 | 3 | 5 | 4 | 4,00 | 85,5 | 87,0 | 1,35 | 9,25 | 1,00 | 1,31 | 2,55 | 1,07 | 1,38 |
| 27 | 61,3 | 3 | m | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 6 | 5 | 5 | 5,3 | 4 | 2 | 4 | 3,33 | 95,5 | 60,0 | 0,75 | 6,51 | 1,07 | 1,16 | 1,13 | 1,04 | 0,86 |
| 28 | 32,0 | 4 | w | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 6 | 6 | 7 | 6,3 | 2 | 3 | 4 | 3,00 | 94,5 | 97,0 | 0,85 | 7,48 | 0,90 | 1,26 | 1,61 | 1,06 | 1,10 |
| 29 | 37,4 | 1 | w | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 5 | 6 | 4,7 | 1 | 3 | 4 | 2,67 | 84,0 | 74,0 | 1,22 | 11,35 | 1,01 | 1,68 | 3,08 | 1,30 | 2,17 |
| 30 | 64,2 | 2 | w | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 7 | 6 | 6,0 | 4 | 5 | 5 | 4,67 | 58,5 | 68,0 | 0,97 | 8,85 | 0,96 | 1,44 | 1,84 | 1,06 | 1,24 |

personenbezogene Parameter: w: weiblich, m: männlich, 0: nein, 1: ja

Tabelle A3: Übersicht der VP-bezogenen Messungen

| RV-Nummer | Element | Prinzip | Abfolge | Sakk.S. Länge | Breite / Größe | Helligkeit | RV-Nummer | Element | Prinzip | Abfolge | Sakk.S. Länge | Breite / Größe | Helligkeit | RV-Nummer | Element | Prinzip | Abfolge | Breite / Größe | Helligkeit |
|-----------|---------|---------|---------|---------------|----------------|------------|-----------|---------|---------|---------|---------------|----------------|------------|-----------|---------|---------|---------|----------------|------------|
| 1 | S | DP | SA | 1 | 1 | 1 | 37 | S | SP | SA | 1 | 1 | 1 | 73 | R | DP | SA | 1 | 1 |
| 2 | S | DP | SA | 1 | 1 | 2 | 38 | S | SP | SA | 1 | 1 | 2 | 74 | R | DP | SA | 1 | 2 |
| 3 | S | DP | SA | 1 | 1 | 3 | 40 | S | SP | SA | 2 | 1 | 1 | 75 | R | DP | SA | 1 | 3 |
| 4 | S | DP | SA | 2 | 1 | 1 | 41 | S | SP | SA | 2 | 1 | 2 | 76 | R | DP | SA | 2 | 1 |
| 5 | S | DP | SA | 2 | 1 | 2 | 42 | S | SP | SA | 2 | 1 | 3 | 77 | R | DP | SA | 2 | 2 |
| 6 | S | DP | SA | 2 | 1 | 3 | 43 | S | SP | SA | 1 | 2 | 1 | 78 | R | DP | SA | 2 | 3 |
| 7 | S | DP | SA | 1 | 2 | 1 | 44 | S | SP | SA | 1 | 2 | 2 | 79 | R | DP | GA | 1 | 1 |
| 8 | S | DP | SA | 1 | 2 | 2 | 45 | S | SP | SA | 1 | 2 | 3 | 80 | R | DP | GA | 1 | 2 |
| 9 | S | DP | SA | 1 | 2 | 3 | 46 | S | SP | SA | 2 | 2 | 1 | 81 | R | DP | GA | 1 | 3 |
| 10 | S | DP | SA | 2 | 2 | 1 | 47 | S | SP | SA | 2 | 2 | 2 | 82 | R | DP | GA | 2 | 1 |
| 11 | S | DP | SA | 2 | 2 | 2 | 48 | S | SP | SA | 2 | 2 | 3 | 83 | R | DP | GA | 2 | 2 |
| 12 | S | DP | SA | 2 | 2 | 3 | 49 | S | SP | GA | 1 | 1 | 1 | 84 | R | DP | GA | 2 | 3 |
| 13 | S | DP | GA | 1 | 1 | 1 | 50 | S | SP | GA | 1 | 1 | 2 | 85 | R | DP | LA | 1 | 1 |
| 14 | S | DP | GA | 1 | 1 | 2 | 51 | S | SP | GA | 1 | 1 | 3 | 86 | R | DP | LA | 1 | 2 |
| 15 | S | DP | GA | 1 | 1 | 3 | 52 | S | SP | GA | 2 | 1 | 1 | 87 | R | DP | LA | 1 | 3 |
| 16 | S | DP | GA | 2 | 1 | 1 | 53 | S | SP | GA | 2 | 1 | 2 | 88 | R | DP | LA | 2 | 1 |
| 17 | S | DP | GA | 2 | 1 | 2 | 54 | S | SP | GA | 2 | 1 | 3 | 89 | R | DP | LA | 2 | 2 |
| 18 | S | DP | GA | 2 | 1 | 3 | 55 | S | SP | GA | 1 | 2 | 1 | 90 | R | DP | LA | 2 | 3 |
| 19 | S | DP | GA | 1 | 2 | 1 | 56 | S | SP | GA | 1 | 2 | 2 | 91 | R | SP | SA | 1 | 1 |
| 20 | S | DP | GA | 1 | 2 | 2 | 57 | S | SP | GA | 1 | 2 | 3 | 92 | R | SP | SA | 1 | 2 |
| 21 | S | DP | GA | 1 | 2 | 3 | 58 | S | SP | GA | 2 | 2 | 1 | 93 | R | SP | SA | 1 | 3 |
| 22 | S | DP | GA | 2 | 2 | 1 | 59 | S | SP | GA | 2 | 2 | 2 | 94 | R | SP | SA | 2 | 1 |
| 23 | S | DP | GA | 2 | 2 | 2 | 60 | S | SP | GA | 2 | 2 | 3 | 95 | R | SP | SA | 2 | 2 |
| 24 | S | DP | GA | 2 | 2 | 3 | 61 | S | SP | LA | 1 | 1 | 1 | 96 | R | SP | SA | 2 | 3 |
| 25 | S | DP | LA | 1 | 1 | 1 | 62 | S | SP | LA | 1 | 1 | 2 | 97 | R | SP | GA | 1 | 1 |
| 26 | S | DP | LA | 1 | 1 | 2 | 63 | S | SP | LA | 1 | 1 | 3 | 98 | R | SP | GA | 1 | 2 |
| 27 | S | DP | LA | 1 | 1 | 3 | 64 | S | SP | LA | 2 | 1 | 1 | 99 | R | SP | GA | 1 | 3 |
| 28 | S | DP | LA | 2 | 1 | 1 | 65 | S | SP | LA | 2 | 1 | 2 | 100 | R | SP | GA | 2 | 1 |
| 29 | S | DP | LA | 2 | 1 | 2 | 66 | S | SP | LA | 2 | 1 | 3 | 101 | R | SP | GA | 2 | 2 |
| 30 | S | DP | LA | 2 | 1 | 3 | 67 | S | SP | LA | 1 | 2 | 1 | 102 | R | SP | GA | 2 | 3 |
| 31 | S | DP | LA | 1 | 2 | 1 | 68 | S | SP | LA | 1 | 2 | 2 | 103 | R | SP | LA | 1 | 1 |
| 32 | S | DP | LA | 1 | 2 | 2 | 69 | S | SP | LA | 1 | 2 | 3 | 104 | R | SP | LA | 1 | 2 |
| 33 | S | DP | LA | 1 | 2 | 3 | 70 | S | SP | LA | 2 | 2 | 1 | 105 | R | SP | LA | 1 | 3 |
| 34 | S | DP | LA | 2 | 2 | 1 | 71 | S | SP | LA | 2 | 2 | 2 | 106 | R | SP | LA | 2 | 1 |
| 35 | S | DP | LA | 2 | 2 | 2 | 72 | S | SP | LA | 2 | 2 | 3 | 107 | R | SP | LA | 2 | 2 |
| 36 | S | DP | LA | 2 | 2 | 3 | | | | | | | | 108 | R | SP | LA | 2 | 3 |

| | | | | | |
|-----------------|----------------|-------------------|----------------------|-----------------------|-------------------|
| Element | Prinzip | Abfolge | Sakk.S. Länge | Breite / Größe | Helligkeit |
| S: Sakkadenstr. | DP: dynamisch | SA: schrittweise | 1: vollständig | 1: schmal / klein | 1: hell |
| R: Rastpunkt | SP: statisch | GA: gesamt | 2: teilweise | 2: breit / groß | 2: mittel |
| | | LA: letztes Segm. | | | 3: dunkel |

Tabelle A4: Schlüssel der RV-Nummern

| AV | In.-subj.-Faktor | \bar{M} | σ | df | p-Wert | Cohen's d | Effekt |
|--------------------------|--------------------------------------|-----------|----------|----|--------|-----------|--------|
| Int. -Zeit [s] | AV _{Interaktionszeit+} | 7,57 | 1,30 | 29 | .000 | .90 | groß |
| | AV _{Interaktionszeit-} | 10,73 | 2,67 | | | | |
| Gestenausf. -Zeit [s] | AV _{Gestenausführungszeit+} | 0,94 | 0,01 | 29 | .000 | 98.61 | groß |
| | AV _{Gestenausführungszeit-} | 1,09 | 0,02 | | | | |
| BS val. V. [Anzahl] | AV _{BSvalideVersuche+} | 1,09 | 0,01 | 29 | .000 | 9.27 | groß |
| | AV _{BSvalideVersuche-} | 2,17 | 0,06 | | | | |
| BS inval. V. [Anzahl] | AV _{BSinvalideVersuche+} | 0,62 | 0,04 | 29 | .000 | 3.10 | groß |
| | AV _{BSinvalideVersuche-} | 3,88 | 0,21 | | | | |
| iE val. V. [Anzahl] | AV _{IOvalideVersuche+} | 1,00 | 0,00 | 29 | .000 | 10.04 | groß |
| | AV _{IOvalideVersuche-} | 1,43 | 0,04 | | | | |
| iE inval. V. [Anzahl] | AV _{IOinvalideVersuche+} | 1,03 | 0,04 | 29 | .000 | 3.04 | groß |
| | AV _{IOinvalideVersuche-} | 1,73 | 0,10 | | | | |

Tabelle A5: t-Test - \bar{M} -Messungen innerhalb von AV_{x+} und AV_{x-}

| Rang | RV-Nummer | Gestenausführungszeit [s] | | | iE valide Versuche [Anzahl] | | |
|----------------|-----------------|---------------------------|-------------|--------|-----------------------------|-------------|--------|
| | | \bar{M} | σ | p-Wert | \bar{M} | σ | p-Wert |
| 42 / 85 | Referenz | 0,02 | 0,11 | - | 0,11 | 0,58 | - |
| 1 | 51 / 4 | 0,03 | 0,17 | .020 | 0,11 | 0,60 | .070 |
| 2 | 50 / 6 | 0,03 | 0,15 | .009 | 0,07 | 0,37 | .001 |
| 3 | 52 / 14 | 0,02 | 0,13 | .002 | 0,20 | 1,10 | .551 |
| 4 | 54 / 26 | 0,03 | 0,14 | .031 | 0,08 | 0,45 | .073 |
| 5 | 38 / 33 | 0,02 | 0,11 | .018 | 0,05 | 0,27 | .027 |
| 6 | 46 / 34 | 0,02 | 0,12 | .025 | 0,07 | 0,37 | .051 |
| 7 | 60 / 35 | 0,03 | 0,18 | .128 | 0,00 | 0,00 | .004 |
| 8 | 55 / 39 | 0,03 | 0,15 | .064 | 0,00 | 0,00 | .004 |
| 9 | 77 / 43 | 0,02 | 0,12 | .086 | 0,00 | 0,00 | .004 |
| 10 | 48 / 44 | 0,02 | 0,13 | .053 | 0,05 | 0,27 | .012 |
| 11 | 91 / 45 | 0,03 | 0,15 | .158 | 0,10 | 0,55 | .109 |
| 12 | 49 / 47 | 0,03 | 0,14 | .089 | 0,05 | 0,27 | .027 |
| 13 | 104 / 48 | 0,03 | 0,14 | .231 | 0,00 | 0,00 | .004 |
| 14 | 44 / 52 | 0,02 | 0,11 | .060 | 0,08 | 0,46 | .087 |
| 15 | 94 / 53 | 0,03 | 0,16 | .276 | 0,08 | 0,46 | .087 |
| 16 | 93 / 62 | 0,03 | 0,18 | .278 | 0,10 | 0,55 | .006 |
| 17 | 41 / 63 | 0,02 | 0,12 | .275 | 0,05 | 0,27 | .019 |
| 18 | 105 / 67 | 0,03 | 0,18 | .297 | 0,07 | 0,37 | .024 |
| 19 | 63 / 70 | 0,03 | 0,14 | .261 | 0,00 | 0,00 | .004 |
| 20 | 59 / 71 | 0,03 | 0,17 | .351 | 0,13 | 0,73 | .043 |
| 21 | - / 76 | - | - | - | 0,00 | 0,00 | .004 |
| 22 | - / 84 | - | - | - | 0,07 | 0,37 | .024 |
| 23 | - / 91 | - | - | - | 0,05 | 0,27 | .019 |
| 24 | - / 92 | - | - | - | 0,00 | 0,00 | .004 |
| 25 | - / 99 | - | - | - | 0,05 | 0,27 | .012 |
| 26 | - / 100 | - | - | - | 0,05 | 0,27 | .027 |
| 27 | - / 102 | - | - | - | 0,05 | 0,27 | .019 |
| 28 | - / 104 | - | - | - | 0,19 | 1,02 | .877 |

Signifikanzniveau: p < .05 p < .01 p < .001

Tabelle A6: Vergleich zwischen Referenzmessung und den Messungen der AV_{x+} der AVs Gestenausführungszeit und iE valide Versuche

| RV-Gruppe | Extreme Ausreißer (angegeben in Form): AV, Wert, Parametergröße, Häufigkeit |
|--------------------|--|
| S | (1,39.5,1,1), (1,42.5,1,1), (1,69.6,1,1), (1,50,2,1), (2,4.2,1,1), (3,14,1,1), (4,19,1,1), (4,26.5,1,1), (4,26.0,1,1), (4,11,2,1), (5,16.5,2,1), (4,5,1,1), (5,4.5,1,2), (5,7,1,1), (5,2.5,2,1), (5,4,2,1), (5,3,2,1), (5,3.5,2,1), (5,5,1,1), (6,9,1,1) |
| SD _P | (1,39.5,1,1), (1,42.5,1,1), (1,69.6,3,1), (3,14,2,1), (4,19,2,1), (4,26.5,2,1), (4,26,1,1), (4,16,3,1), (5,4,2,1), (5,5,2,1), (5,7,1,1), (5,5,1,1), (5,3,3,1), (5,2.5,3,1), (5,4,3,1), (6,9,1,1) |
| SS _P | (1,50,3,1), (3,4,3,2), (3,4.5,3,1), (3,5.5,3,1), (3,6,3,1), (4,3.5,2,2), (4,4,2,1), (4,3,2,1), (4,6,2,1), (4,3.5,1,1), (4,3,1,2), (4,4,1,1), (4,6,1,1), (4,3,3,2), (4,4,3,2), (5,11,1,1), (5,16.5,1,1), (6,2.5,2,2), (6,4,2,2), (6,3,1,8), (6,2.5,1,4), (6,3.5,1,2), (6,4,1,2), (6,4,3,1), (6,2.5,3,1), (6,3,3,1), (6,5,3,1) |
| SD _P SA | (3,14,1,1), (3,7,1,1), (3,7,2,1), (3,14,4,1), (3,7,5,1), (3,7,6,1), (3,14,7,1), (4,26.5,1,1), (4,14,1,1), (4,19,4,1), (4,26.5,4,1), (4,19,6,1), (4,26.5,7,1), (4,14.5,7,1), |
| SD _P LA | (1,69.6,2,1), (1,69.6,4,1), (1,69.6,6,1), (3,6.5,1,1), (3,6.5,4,1), (3,6.5,6,1), (4,26.5,1,1), (4,14,1,1), (4,19,4,1), (4,26.5,4,1), (4,19,6,1), (4,26.5,7,1), (4,14.5,7,1), (5,4.5,3,1), |
| SS _P GA | (3,6,1,1), (3,4,1,1), (5,11,1,1), (5,16.5,3,1), (5,11,5,1), (5,16.5,5,1), (5,11,7,1), (5,16.5,7,1), |
| SS _P LA | (3,3.7,1,1), (3,3.7,5,1), (3,3.7,6,1), |
| R | (3,10.5,1,1), (3,5,1,2), (3,5.5,1,1), (3,5.5,2,2), (3,4,2,3), (3,4.5,2,1), (3,9,2,1), (1,4,1,2) |
| RD _P | (3,10.5,2,1), (3,4,3,5), (6,3,2,2), (6,4,1,3), |
| RS _P | (3,4,3,3), (3,5.5,2,2), (3,4.5,3,1), (3,9,3,1), |
| RD _P SA | (3,10.5,2,1), (3,10.5,5,1), (6,4,1,1), (6,5.5,5,1), |
| RS _P SA | (3,10.5,3,2), (3,5.5,4,1), (3,5.5,5,2), |
| RS _P LA | (3,9,1,1), (3,4,1,1), (3,4,2,1), (3,4.5,2,1), (3,4,3,1), (3,4.5,3,1), (3,9,5,1), (3,4,5,2), (4,6.5,1,1), (4,6.5,4,1), (5,3,2,3), (5,6,2,1), (5,2,2,2), (5,4,3,1), |

Ausbleibend sind Werte bei AV-Messungen mit einem IQR = 0

AV 1: Interaktionszeit, 2: Gestenausführungszeit, 3: BS valide Versuche, 4: BS invalide Versuche, 5: iE valide Versuche, 6: iE invalide Versuche

Parametergröße innerhalb der einzelnen RV-Gruppen

S / R 1: dynamisch, 2: statisch (*Beispiel: S*)
S_x / R_x 1: gesamt, 2: schrittweise, 3: letztes Segment (*Beispiel: SD_P*)
S_{xy} / R_{xy} 1: hell, 2: mittel, 3: dunkel, 4: schmal / klein, 5: breit / groß, 6: vollständig, 7: teilweise (*Beispiel: SD_PLA*)

Beispiel: SS_P (1,50,3,1) → Element: Sakkadenstrecke, Prinzip: Schrittweise, AV: Interaktionszeit (1), Wert: 50s (50), Abfolge: letztes Segment (3), Häufigkeit: 1 extremer Ausreißer

Tabelle A7: Auflistung der extremen Ausreißer aus den Messungen der RV-Gruppen

| AV | In.-subj.-Faktor | \bar{M} | σ | F | p -Wert | η_p^2 | Effekt |
|-----------------------|------------------|-----------|----------|---------|-----------|------------|--------|
| Int.-Zeit [s] | dynamisch | 8,54 | 0,48 | (1,16) | .065 | .197 | groß |
| | statisch | 7,94 | 0,35 | =3.92 | | | |
| Gestenausf.-Zeit [s] | dynamisch | 1,04 | 0,15 | (1,29) | .000 | .82 | groß |
| | statisch | 0,96 | 0,16 | =134.51 | | | |
| BS val. V. [Anzahl] | dynamisch | 1,71 | 0,04 | (1,17) | .000 | .79 | groß |
| | statisch | 1,41 | 0,024 | =63.94 | | | |
| BS inval. V. [Anzahl] | dynamisch | 2,43 | 0,13 | (1,21) | .000 | .87 | groß |
| | statisch | 1,40 | 0,07 | =143.05 | | | |
| iE val. V. [Anzahl] | dynamisch | 1,25 | 0,02 | (1,27) | .000 | .72 | groß |
| | statisch | 1,12 | 0,11 | =69.30 | | | |
| iE inval. V. [Anzahl] | dynamisch | 1,27 | 0,07 | (1,20) | .100 | .13 | groß |
| | statisch | 1,19 | 0,06 | =2.98 | | | |

Tabelle A8: ANOVA - Messungen der RV-Gruppe S

| AV | In.-subj.-Faktor | \bar{M} | σ | M.-W, G.-G., H.-F. | F | p -Wert | η_p^2 | Effekt |
|-----------------------|------------------|-----------|----------|--------------------|-----|-------------|-------------|----------|
| Int.-Zeit [s] | gesamt | 9,18 | 0,50 | | | 1-2: 1.000, | | |
| | schrittweise | 9,15 | 0,46 | .90 | .91 | .99 (2,20) | 1-3: .049, | .36 groß |
| | I. Segment | 8,28 | 0,42 | | | =5.65 | 2-3: .032 | |
| Gestenausf.-Zeit [s] | gesamt | 1,00 | 0,02 | | | 1-2: .000, | | |
| | schrittweise | 1,12 | 0,02 | .79 | .83 | .87 (2,26) | 1-3: 1.000, | .82 groß |
| | I. Segment | 1,00 | 0,02 | | | =64.96 | 2-3: .000 | |
| BS val. V. [Anzahl] | gesamt | 1,86 | 0,06 | | | 1-2: .940, | | |
| | schrittweise | 1,82 | 0,06 | .87 | .89 | .96 (2,21) | 1-3: .001, | .47 groß |
| | I. Segment | 1,63 | 0,05 | | | =9.35 | 2-3: .054 | |
| BS inval. V. [Anzahl] | gesamt | 3,08 | 0,17 | | | 1-2: .000, | | |
| | schrittweise | 2,34 | 0,14 | .97 | .97 | 1.00 (2,21) | 1-3: .000, | .81 groß |
| | I. Segment | 1,94 | 0,10 | | | =44.12 | 2-3: .002 | |
| iE val. V. [Anzahl] | gesamt | 1,31 | 0,03 | | | 1-2: .870, | | |
| | schrittweise | 1,28 | 0,02 | .76 | .81 | .85 (2,26) | 1-3: .000, | .64 groß |
| | I. Segment | 1,17 | 0,02 | | | =23.41 | 2-3: .000 | |
| iE inval. V. [Anzahl] | gesamt | 1,41 | 0,08 | | | 1-2: .784, | | |
| | schrittweise | 1,31 | 0,08 | .90 | .91 | .97 (2,22) | 1-3: .234, | .14 groß |
| | I. Segment | 1,29 | 1,00 | | | =1.83 | 2-3: 1.000 | |

p -Wert-Zuordnung: 1: gesamt, 2: schrittweise, 3: letztes Segment
M.-W: Mauchly-W, G.-G.: Greenhouse-Geisser, H.F.: Hynh-Feldt

Tabelle A9: ANOVA - Messungen der RV-Gruppe SD

| AV | In.-subj.-Faktor | \bar{X} | σ | M.-W, G.-G., H.-F. | | | F | p-Wert | η_p^2 | Effekt |
|--------------------------|------------------|-----------|----------|--------------------|-----|------|------------------|-------------|------------|--------|
| Int. -Zeit [s] | gesamt | 8,42 | 0,37 | | | | | 1-2: .229, | | |
| | schrittsw. | 7,74 | 0,37 | .86 | .88 | .96 | (2,19) =2.14 | 1-3: 1.000, | .18 | groß |
| | I. Segment | 8,30 | 0,33 | | | | | 2-3: .182 | | |
| Gestenausf. -Zeit [s] | gesamt | 0,94 | 0,01 | | | | | 1-2: .234, | | |
| | schrittsw. | 0,96 | 0,02 | .99 | .99 | 1.00 | (2,28) =10.11 | 1-3: .000, | .42 | groß |
| | I. Segment | 0,99 | 0,02 | | | | | 2-3: .044 | | |
| BS val. V. [Anzahl] | gesamt | 1,48 | 0,03 | | | | | 1-2: 1.000, | | |
| | schrittsw. | 1,46 | 0,04 | .86 | .87 | .94 | (2,21) =4.56 | 1-3: .062, | .30 | groß |
| | I. Segment | 1,39 | 0,03 | | | | | 2-3: .107 | | |
| BS inval. V. [Anzahl] | gesamt | 1,65 | 0,09 | | | | | 1-2: 1.000, | | |
| | schrittsw. | 1,71 | 0,10 | .95 | .95 | 1.00 | (2,26) =21.41 | 1-3: .002, | .81 | groß |
| | I. Segment | 1,26 | 0,08 | | | | | 2-3: .000 | | |
| iE val. V. [Anzahl] | gesamt | 1,15 | 0,02 | | | | | 1-2: .005, | | |
| | schrittsw. | 1,07 | 0,01 | .93 | .93 | 1.00 | (2,27) =5.89 | 1-3: 1.000, | .30 | groß |
| | I. Segment | 1,12 | 0,02 | | | | | 2-3: .191 | | |
| iE inval. V. [Anzahl] | gesamt | 1,23 | 0,08 | | | | | 1-2: 1.000, | | |
| | schrittsw. | 1,16 | 0,07 | .95 | .95 | 1.00 | (2,24) =4.00 | 1-3: .142, | .25 | groß |
| | I. Segment | 1,36 | 0,08 | | | | | 2-3: .040 | | |

p-Wert-Zuordnung: 1: gesamt, 2: schrittweise, 3: letztes Segment
M.-W: Mauchly-W, G.-G.: Greenhouse-Geisser, H.F.: Hynh-Feldt

Tabelle A10: ANOVA - Messungen der RV-Gruppe SS

| AV | In.-subj.-Faktor | Ø | σ | M.-W, G.-G., H.-F. | | | F | p-Wert | η_p^2 | Effekt | |
|-----------------------|------------------|-------------|-------|--------------------|------|------|------|------------------|-------------|--------|--------|
| Int.-Zeit [s] | I | hell | 9,51 | 0,48 | | | | 1-2: .647, | | | |
| | | mittel | 10,42 | 0,68 | .92 | .93 | .99 | (2,27) =2.60 | 1-3: .780, | .16 | groß |
| | | dunkel | 8,86 | 0,47 | | | | | 2-3: .090 | | |
| | B | schmal | 9,50 | 0,51 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | (1,28) =.18 | .675 | .01 | klein |
| | | breit | 9,69 | 0,40 | | | | | | | |
| | | vollständig | 9,50 | 0,45 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | (1,28) =.14 | .713 | .01 | klein |
| Gestenausf.-Zeit [s] | I | hell | 1,11 | 0,02 | | | | 1-2: 1.000, | | | |
| | | mittel | 1,12 | 0,02 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | (2,27) =.85 | 1-3: .586, | .06 | mittel |
| | | dunkel | 1,14 | 0,02 | | | | | 2-3: 1.000 | | |
| | B | schmal | 1,11 | 0,02 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | (1,29) =2.41 | .132 | .08 | mittel |
| | | breit | 1,14 | 0,02 | | | | | | | |
| | | vollständig | 1,12 | 0,02 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | (1,29) =.01 | .934 | .00 | kein |
| BS val. V. [Anzahl] | I | hell | 1,72 | 0,09 | | | | 1-2: .124, | | | |
| | | mittel | 2,04 | 0,11 | .82 | .85 | .90 | (2,25) =4.40 | 1-3: 1.000, | .26 | groß |
| | | dunkel | 1,69 | 0,07 | | | | | 2-3: .017 | | |
| | B | schmal | 1,89 | 0,08 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | (1,26) =2.85 | .103 | .10 | mittel |
| | | breit | 1,75 | 0,06 | | | | | | | |
| | | vollständig | 1,88 | 0,08 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | (1,26) =1.85 | .186 | .07 | mittel |
| BS inval. V. [Anzahl] | I | hell | 1,98 | 0,18 | | | | 1-2: .001, | | | |
| | | mittel | 3,21 | 0,25 | .70 | .77 | .81 | (2,23) =13.63 | 1-3: 1.000, | .54 | groß |
| | | dunkel | 2,07 | 0,14 | | | | | 2-3: .000 | | |
| | B | schmal | 2,23 | 0,20 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | (1,24) =2.78 | .108 | .10 | klein |
| | | breit | 2,61 | 0,16 | | | | | | | |
| | | vollständig | 2,72 | 0,16 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | (1,24) =13.00 | .001 | .35 | groß |
| iE val. V. [Anzahl] | I | hell | 1,29 | 0,04 | | | | 1-2: 1.000, | | | |
| | | mittel | 1,25 | 0,04 | .85 | .87 | .93 | (2,26) =.37 | 1-3: 1.000, | .03 | klein |
| | | dunkel | 1,29 | 0,04 | | | | | 2-3: 1.000 | | |
| | B | schmal | 1,22 | 0,03 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | (1,27) =8.57 | .007 | .24 | groß |
| | | breit | 1,33 | 0,03 | | | | | | | |
| | | vollständig | 1,32 | 0,03 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | (1,27) =3.18 | .086 | .11 | klein |
| iE inval. V. [Anzahl] | I | hell | 1,35 | 0,11 | | | | 1-2: .664, | | | |
| | | mittel | 1,53 | 0,12 | .89 | .90 | .97 | (2,25) =1.54 | 1-3: 1.000, | .11 | klein |
| | | dunkel | 1,33 | 0,10 | | | | | 2-3: .262 | | |
| | B | schmal | 1,42 | 0,10 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | (1,26) =.11 | .742 | .00 | kein |
| | | breit | 1,38 | 0,11 | | | | | | | |
| | | vollständig | 1,38 | 0,09 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | (1,26) =.30 | .587 | .01 | klein |

p-Wert-Zuordnung: 1: hell, 2: mittel, 3: dunkel

M.-W: Mauchly-W, G.-G.: Greenhouse-Geisser, H.F.: Hynh-Feldt

Tabelle A11: ANOVA - Messungen der RV-Gruppe SDS

| AV | In.-subj.-Faktor | Ø | σ | M.-W, G.-G., H.-F. | | | F | p-Wert | η_p^2 | Effekt | |
|-----------------------|------------------|-------------|------|--------------------|------|------|------|------------------|--|--------|-------|
| Int.-Zeit [s] | I | hell | 8,75 | 0,57 | | | | | | | |
| | | mittel | 7,86 | 0,56 | .91 | .92 | .99 | (2,23) =.66 | 1-2: .392, 1-3: 1.000, 2-3: 1.000 | .05 | klein |
| | | dunkel | 8,25 | 0,51 | | | | | | | |
| | II | schmal | 8,44 | 0,43 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | (1,24) =.21 | .652 | .01 | klein |
| | | breit | 8,21 | 0,47 | | | | | | | |
| | | vollständig | 8,08 | 0,39 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | (1,24) =.82 | .374 | .03 | klein |
| | teilweise | 8,57 | 0,53 | | | | | | | | |
| Gestenausf.-Zeit [s] | I | hell | 1,00 | 0,02 | | | | | | | |
| | | mittel | 1,01 | 0,02 | .98 | .98 | 1.00 | (2,28) =.07 | 1-2: 1.000, 1-3: 1.000, 2-3: 1.000 | .01 | klein |
| | | dunkel | 1,01 | 0,02 | | | | | | | |
| | II | schmal | 1,00 | 0,02 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | (1,29) =.87 | .358 | .03 | klein |
| | | breit | 1,02 | 0,02 | | | | | | | |
| | | vollständig | 1,00 | 0,02 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | (1,29) =.22 | .640 | .01 | klein |
| | teilweise | 1,01 | 0,02 | | | | | | | | |
| BS val. V. [Anzahl] | I | hell | 1,68 | 0,09 | | | | | | | |
| | | mittel | 1,52 | 0,06 | .87 | .88 | .94 | (2,26) =4.56 | 1-2: .274, 1-3: 1.000, 2-3: .029 | .26 | groß |
| | | dunkel | 1,78 | 0,08 | | | | | | | |
| | II | schmal | 1,69 | 0,06 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | (1,27) =1.36 | .253 | .05 | klein |
| | | breit | 1,63 | 0,05 | | | | | | | |
| | | vollständig | 1,84 | 0,07 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | (1,27) =21.63 | .000 | .45 | groß |
| | teilweise | 1,48 | 0,05 | | | | | | | | |
| BS inval. V. [Anzahl] | I | hell | 2,15 | 0,14 | | | | | | | |
| | | mittel | 2,00 | 0,13 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | (2,25) =.66 | 1-2: .779, 1-3: 1.000, 2-3: 1.000 | .05 | klein |
| | | dunkel | 2,09 | 0,13 | | | | | | | |
| | II | schmal | 2,28 | 0,15 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | (1,26) =11.27 | .002 | .30 | groß |
| | | breit | 1,87 | 0,11 | | | | | | | |
| | | vollständig | 2,74 | 0,16 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | (1,26) =135.2 | .000 | .84 | groß |
| | teilweise | 1,41 | 0,09 | | | | | | | | |
| iE val. V. [Anzahl] | I | hell | 1,18 | 0,03 | | | | | | | |
| | | mittel | 1,17 | 0,03 | .94 | .94 | 1.00 | (2,28) =.12 | 1-2: 1.000, 1-3: 1.000, 2-3: 1.000 | .01 | klein |
| | | dunkel | 1,19 | 0,03 | | | | | | | |
| | II | schmal | 1,20 | 0,03 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | (1,29) =1.35 | .255 | .04 | klein |
| | | breit | 1,16 | 0,03 | | | | | | | |
| | | vollständig | 1,19 | 0,02 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | (1,29) =.46 | .502 | .02 | klein |
| | teilweise | 1,17 | 0,04 | | | | | | | | |
| iE inval. V. [Anzahl] | I | hell | 1,29 | 0,12 | | | | | | | |
| | | mittel | 1,22 | 0,09 | .83 | .85 | .90 | (2,27) =.27 | 1-2: 1.000, 1-3: 1.000, 2-3: 1.000 | .02 | klein |
| | | dunkel | 1,32 | 0,13 | | | | | | | |
| | II | schmal | 1,31 | 0,10 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | (1,28) =.45 | .507 | .02 | klein |
| | | breit | 1,24 | 0,10 | | | | | | | |
| | | vollständig | 1,31 | 0,11 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | (1,28) =.41 | .528 | .01 | klein |
| | teilweise | 1,24 | 0,09 | | | | | | | | |

p-Wert-Zuordnung: 1: hell, 2: mittel, 3: dunkel

M.-W: Mauchly-W, G.-G.: Greenhouse-Geisser, H.F.: Hynh-Feldt

Tabelle A12: ANOVA - Messungen der RV-Gruppe SDL

| AV | In.-subj.-Faktor | Ø | σ | M.-W, G.-G., H.-F. | | | F | p-Wert | η_p^2 | Effekt | |
|--------------------------|------------------|-------------|------|--------------------|------|------|------|------------------|------------|--------|-------------|
| Int.-Zeit [s] | I | hell | 9,03 | 0,54 | | | | 1-2: .652, | .09 | groß | |
| | | mittel | 8,36 | 0,41 | .97 | .97 | 1.00 | (2,27) =1.34 | | | 1-3: 1.000, |
| | | dunkel | 9,06 | 0,45 | | | | | | | 2-3: .412 |
| | B | schmal | 8,87 | 0,45 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | (1,28) =.09 | .766 | .00 | kein |
| | | breit | 8,76 | 0,37 | | | | | | | |
| | | vollständig | 9,10 | 0,48 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | (1,28) =1.35 | .256 | .05 | klein |
| Gestenausf. -Zeit [s] | I | hell | 0,94 | 0,02 | | | | 1-2: 1.000, | .05 | klein | |
| | | mittel | 0,95 | 0,02 | .97 | .97 | 1.00 | (2,28) =.78 | | | 1-3: 1.000, |
| | | dunkel | 0,93 | 0,02 | | | | | | | 2-3: .657 |
| | B | schmal | 0,92 | 0,02 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | (1,29) =3.66 | .066 | .11 | mittel |
| | | breit | 0,95 | 0,02 | | | | | | | |
| | | vollständig | 0,93 | 0,02 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | (1,29) =.08 | .780 | .00 | kein |
| BS val. V. [Anzahl] | I | hell | 1,36 | 0,05 | | | | 1-2: .011, | .40 | groß | |
| | | mittel | 1,55 | 0,05 | .74 | .80 | .84 | (2,26) =8.68 | | | 1-3: .019, |
| | | dunkel | 1,59 | 0,07 | | | | | | | 2-3: 1.000 |
| | B | schmal | 1,52 | 0,05 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | (1,27) =.56 | .460 | .02 | klein |
| | | breit | 1,48 | 0,03 | | | | | | | |
| | | vollständig | 1,59 | 0,04 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | (1,27) =10.74 | .003 | .29 | groß |
| BS inval. V. [Anzahl] | I | hell | 1,58 | 0,11 | | | | 1-2: .014, | .26 | groß | |
| | | mittel | 1,79 | 0,14 | .89 | .90 | .96 | (2,27) =4.85 | | | 1-3: 1.000, |
| | | dunkel | 1,62 | 0,09 | | | | | | | 2-3: .176 |
| | B | schmal | 1,79 | 0,12 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | (1,28) =3.59 | .068 | .11 | mittel |
| | | breit | 1,58 | 0,09 | | | | | | | |
| | | vollständig | 1,57 | 0,10 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | (1,28) =7.03 | .013 | .20 | groß |
| iE val. V. [Anzahl] | I | hell | 1,11 | 0,03 | | | | 1-2: 1.000, | .14 | groß | |
| | | mittel | 1,13 | 0,03 | .88 | .89 | .95 | (2,27) =2.14 | | | 1-3: .132, |
| | | dunkel | 1,20 | 0,04 | | | | | | | 2-3: .452 |
| | B | schmal | 1,09 | 0,02 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | (1,28) =10.60 | .003 | .26 | groß |
| | | breit | 1,20 | 0,03 | | | | | | | |
| | | vollständig | 1,18 | 0,02 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | (1,28) =3.63 | .067 | .12 | groß |
| iE inval. V. [Anzahl] | I | hell | 1,30 | 0,11 | | | | 1-2: 1.000, | .17 | groß | |
| | | mittel | 1,32 | 0,10 | .99 | .99 | 1.00 | (2,28) =2.84 | | | 1-3: 1.000, |
| | | dunkel | 1,20 | 0,08 | | | | | | | 2-3: .933 |
| | B | schmal | 1,25 | 0,09 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | (1,29) =.26 | .612 | .01 | klein |
| | | breit | 1,30 | 0,08 | | | | | | | |
| | | vollständig | 1,32 | 0,11 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | (1,29) =.61 | .441 | .02 | klein |

p-Wert-Zuordnung: 1: hell, 2: mittel, 3: dunkel

M.-W: Mauchly-W, G.-G.: Greenhouse-Geisser, H.F.: Hynh-Feldt

Tabelle A13: ANOVA - Messungen der RV-Gruppe SSG

| AV | In.-subj.-Faktor | Ø | σ | M.-W, G.-G., H.-F. | | | F | p-Wert | η_p^2 | Effekt | |
|-----------------------|------------------|--------------------------|--------------|--------------------|------|------|------|------------------|-------------|--------|--------|
| Int.-Zeit [s] | I | hell | 7,90 | 0,41 | | | | 1-2: 1.000, | | | |
| | | mittel | 8,08 | 0,38 | .85 | .81 | .93 | (2,25) =1.19 | 1-3: .390, | .09 | mittel |
| | | dunkel | 8,62 | 0,51 | | | | | 2-3: .946 | | |
| | II | schmal | 7,94 | 0,34 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | (1,26) =.98 | .331 | .04 | klein |
| | | breit | 8,46 | 0,51 | | | | | | | |
| | | vollständig teilweise | 7,90 8,50 | 0,40 0,44 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | (1,26) =1.56 | .223 | .06 | mittel |
| Gestenausf.-Zeit [s] | I | hell | 0,95 | 0,02 | | | | 1-2: 1.000, | | | |
| | | mittel | 0,94 | 0,02 | .99 | .99 | 1.00 | (2,28) =3.18 | 1-3: .261, | .19 | groß |
| | | dunkel | 0,98 | 0,02 | | | | | 2-3: .050 | | |
| | II | schmal | 0,96 | 0,02 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | (1,29) =.01 | .907 | .00 | kein |
| | | breit | 0,96 | 0,01 | | | | | | | |
| | | vollständig teilweise | 0,97 0,95 | 0,02 0,01 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | (1,29) =2.26 | .144 | .07 | mittel |
| BS val. V. [Anzahl] | I | hell | 1,40 | 0,05 | | | | 1-2: 1.000, | | | |
| | | mittel | 1,42 | 0,05 | .99 | .94 | 1.00 | (2,25) =9.31 | 1-3: .001, | .43 | groß |
| | | dunkel | 1,66 | 0,06 | | | | | 2-3: .005 | | |
| | II | schmal | 1,49 | 0,05 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | (1,26) =.01 | .918 | .00 | kein |
| | | breit | 1,50 | 0,05 | | | | | | | |
| | | vollständig teilweise | 1,74 1,25 | 0,05 0,03 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | (1,26) =87.89 | .000 | .77 | groß |
| BS inval. V. [Anzahl] | I | hell | 1,81 | 0,11 | | | | 1-2: .019, | | | |
| | | mittel | 1,44 | 0,08 | .88 | .89 | .94 | (2,28) =6.08 | 1-3: 1.000, | .30 | groß |
| | | dunkel | 1,96 | 0,18 | | | | | 2-3: .016 | | |
| | II | schmal | 1,98 | 0,12 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | (1,29) =15.11 | .001 | .34 | groß |
| | | breit | 1,49 | 0,10 | | | | | | | |
| | | vollständig teilweise | 2,18 1,29 | 0,14 0,08 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | (1,29) =47.50 | .000 | .62 | groß |
| iE val. V. [Anzahl] | I | hell | 1,09 | 0,02 | | | | 1-2: 1.000, | | | |
| | | mittel | 1,12 | 0,03 | .47 | .66 | .67 | (2,28) =18.13 | 1-3: .007, | .56 | groß |
| | | dunkel | 1,01 | 0,01 | | | | | 2-3: .002 | | |
| | II | schmal | 1,13 | 0,03 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | (1,29) =18.31 | .000 | .39 | groß |
| | | breit | 1,02 | 0,01 | | | | | | | |
| | | vollständig teilweise | 1,05 1,09 | 0,02 0,02 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | (1,29) =3.22 | .083 | .10 | mittel |
| iE inval. V. [Anzahl] | I | hell | 1,20 | 0,10 | | | | 1-2: .978, | | | |
| | | mittel | 1,10 | 0,11 | .92 | .92 | .99 | (2,24) =.57 | 1-3: 1.000, | .05 | klein |
| | | dunkel | 1,19 | 0,10 | | | | | 2-3: 1.000 | | |
| | II | schmal | 1,18 | 0,09 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | (1,25) =.13 | .726 | .01 | klein |
| | | breit | 1,14 | 0,09 | | | | | | | |
| | | vollständig teilweise | 1,18 1,15 | 0,08 0,08 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | (1,25) =.15 | .700 | .01 | klein |

p-Wert-Zuordnung: 1: hell, 2: mittel, 3: dunkel

M.-W: Mauchly-W, G.-G.: Greenhouse-Geisser, H.F.: Hynh-Feldt

Tabelle A14: ANOVA - Messungen der RV-Gruppe SSS

| AV | In.-subj.-Faktor | Ø | σ | M.-W, G.-G., H.-F. | | | F | p-Wert | η_p^2 | Effekt | |
|-----------------------|------------------|-------------|------|--------------------|------|------|------|-------------------|-------------|--------|--------|
| Int.-Zeit [s] | I | hell | 8,12 | 0,41 | | | | 1-2: .069, | | | |
| | | mittel | 9,00 | 0,46 | .99 | .99 | 1.00 | (2,22) =2.87 | 1-3: .974, | .21 | groß |
| | | dunkel | 8,51 | 0,47 | | | | | 2-3: .533 | | |
| | B | schmal | 8,61 | 0,38 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | (1,23) =.18 | .673 | .01 | klein |
| | | breit | 8,48 | 0,47 | | | | | | | |
| | | vollständig | 8,33 | 0,46 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | (1,23) =.88 | .359 | .04 | klein |
| Gestenausf.-Zeit [s] | I | hell | 1,01 | 0,03 | | | | 1-2: 1.000, | | | |
| | | mittel | 0,99 | 0,02 | .91 | .92 | .98 | (2,28) =2.27 | 1-3: .115, | .14 | groß |
| | | dunkel | 0,98 | 0,02 | | | | | 2-3: 1.000 | | |
| | B | schmal | 1,00 | 0,02 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | (1,29) =1.37 | .252 | .05 | kein |
| | | breit | 0,99 | 0,02 | | | | | | | |
| | | vollständig | 0,99 | 0,02 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | (1,29) =.50 | .487 | .02 | kein |
| BS val. V. [Anzahl] | I | hell | 1,35 | 0,05 | | | | 1-2: 1.000, | | | |
| | | mittel | 1,42 | 0,06 | .91 | .92 | .99 | (2,25) =.94 | 1-3: .526, | .07 | mittel |
| | | dunkel | 1,44 | 0,05 | | | | | 2-3: 1.000 | | |
| | B | schmal | 1,44 | 0,04 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | (1,26) =.97 | .460 | .04 | kein |
| | | breit | 1,37 | 0,04 | | | | | | | |
| | | vollständig | 1,26 | 0,05 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | (1,26) =31.47 | .000 | .55 | groß |
| BS inval. V. [Anzahl] | I | hell | 1,62 | 0,14 | | | | 1-2: .001, | | | |
| | | mittel | 1,10 | 0,10 | .81 | .84 | .89 | (2,27) =8.99 | 1-3: .009, | .40 | groß |
| | | dunkel | 1,12 | 0,08 | | | | | 2-3: 1.000 | | |
| | B | schmal | 1,08 | 0,09 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | (1,28) =12.92 | .001 | .32 | groß |
| | | breit | 1,48 | 0,11 | | | | | | | |
| | | vollständig | 0,74 | 0,04 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | (1,28) =122.85 | .000 | .81 | groß |
| iE val. V. [Anzahl] | I | hell | 1,19 | 0,04 | | | | 1-2: 1.000, | | | |
| | | mittel | 1,18 | 0,05 | .87 | .88 | .94 | (2,28) =3.82 | 1-3: .000, | .21 | groß |
| | | dunkel | 1,03 | 0,01 | | | | | 2-3: .002 | | |
| | B | schmal | 1,17 | 0,03 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | (1,29) =4.85 | .036 | .14 | groß |
| | | breit | 1,10 | 0,03 | | | | | | | |
| | | vollständig | 1,16 | 0,03 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | (1,29) =2.07 | .161 | .07 | mittel |
| iE inval. V. [Anzahl] | I | hell | 1,34 | 0,11 | | | | 1-2: .543, | | | |
| | | mittel | 1,50 | 0,12 | .95 | .95 | 1.00 | (2,27) =1.06 | 1-3: 1.000, | .07 | mittel |
| | | dunkel | 1,46 | 0,11 | | | | | 2-3: 1.000 | | |
| | B | schmal | 1,44 | 0,10 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | (1,28) =.01 | .930 | .00 | kein |
| | | breit | 1,43 | 0,19 | | | | | | | |
| | | vollständig | 1,38 | 0,10 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | (1,28) =1.30 | .265 | .04 | groß |

p-Wert-Zuordnung: 1: hell, 2: mittel, 3: dunkel

M.-W: Mauchly-W, G.-G.: Greenhouse-Geisser, H.F.: Hynh-Feldt

Tabelle A15: ANOVA - Messungen der RV-Gruppe SSL

| AV | In.-subj.-Faktor | \bar{M} | σ | F | p -Wert | η_p^2 | Effekt |
|-----------------------|------------------|-----------|----------|--------|-----------|------------|--------|
| Int.-Zeit [s] | dynamisch | 8,89 | 0,37 | (1,23) | .219 | .07 | mittel |
| | statisch | 8,52 | 0,34 | =1.59 | | | |
| Gestenausf.-Zeit [s] | dynamisch | 1,00 | 0,01 | (1,29) | .238 | .05 | klein |
| | statisch | 1,00 | 0,01 | =1.45 | | | |
| BS val. V. [Anzahl] | dynamisch | 1,36 | 0,03 | (1,19) | .024 | .24 | groß |
| | statisch | 1,28 | 0,04 | =6.02 | | | |
| BS inval. V. [Anzahl] | dynamisch | 1,57 | 0,07 | (1,25) | .000 | .52 | groß |
| | statisch | 1,26 | 0,06 | =27.07 | | | |
| iE val. V. [Anzahl] | dynamisch | 1,17 | 0,02 | (1,28) | .012 | .21 | groß |
| | statisch | 1,12 | 0,02 | =7.24 | | | |
| iE inval. V. [Anzahl] | dynamisch | 1,27 | 0,07 | (1,24) | .177 | .08 | mittel |
| | statisch | 1,36 | 0,07 | =1.94 | | | |

Tabelle A16: ANOVA - Messungen der RV-Gruppe R

| AV | In.-subj.-Faktor | \bar{M} | σ | M.-W, G.-G., H.-F. | F | p -Wert | η_p^2 | Effekt | |
|-----------------------|------------------|-----------|----------|--------------------|------|--|------------|--------|------------------|
| Int.-Zeit [s] | gesamt | 8,84 | 0,46 | | | 1-2: 1.000, 1-3: 1.000, 2-3: 1.000 | .02 | klein | |
| | schrittweise | 9,20 | 0,40 | .97 | 1.00 | | | | (2,26) =.27 |
| | I. Segment | 9,10 | 0,51 | | | | | | |
| Gestenausf.-Zeit [s] | gesamt | 1,02 | 0,02 | | | 1-2: .011, 1-3: .816, 2-3: .099 | .27 | groß | |
| | schrittweise | 0,97 | 0,01 | .99 | 1.00 | | | | (2,28) =5.21 |
| | I. Segment | 1,00 | 0,02 | | | | | | |
| BS val. V. [Anzahl] | gesamt | 1,40 | 0,04 | | | 1-2: .294, 1-3: .843, 2-3: 1.000 | .12 | groß | |
| | schrittweise | 1,31 | 0,04 | .99 | 1.00 | | | | (2,22) =1.51 |
| | I. Segment | 1,35 | 0,04 | | | | | | |
| BS inval. V. [Anzahl] | gesamt | 1,84 | 0,10 | | | 1-2: .191, 1-3: .000, 2-3: .015 | .58 | groß | |
| | schrittweise | 1,68 | 0,10 | .91 | .98 | | | | (2,26) =17.74 |
| | I. Segment | 1,38 | 0,08 | | | | | | |
| iE val. V. [Anzahl] | gesamt | 1,17 | 0,02 | | | 1-2: 1.000, 1-3: .521, 2-3: .101 | .15 | groß | |
| | schrittweise | 1,14 | 0,02 | .92 | .99 | | | | (2,28) =2.41 |
| | I. Segment | 1,22 | 0,03 | | | | | | |
| iE inval. V. [Anzahl] | gesamt | 1,25 | 0,10 | | | 1-2: 1.000, 1-3: .366, 2-3: .715 | .10 | mittel | |
| | schrittweise | 1,29 | 0,08 | .99 | 1.00 | | | | (2,25) =1.31 |
| | I. Segment | 1,45 | 0,14 | | | | | | |

p-Wert-Zuordnung: 1: gesamt, 2: schrittweise, 3: letztes Segment
M.-W: Mauchly-W, G.-G.: Greenhouse-Geisser, H.F.: Hynh-Feldt

Tabelle A17: ANOVA - Messungen der RV-Gruppe RD

| AV | In.-subj.-Faktor | \bar{M} | σ | M.-W, G.-G., H.-F. | | | F | p -Wert | η_p^2 | Effekt |
|--------------------------|------------------|-----------|----------|--------------------|-----|------|------------------|-------------|------------|--------|
| Int. -Zeit [s] | gesamt | 9.01 | 0.33 | | | | | 1-2: .021, | .27 | groß |
| | schrittsw. | 8.15 | 0.36 | .86 | .88 | .94 | (2,24) =4.38 | 1-3: 1.000, | | |
| | I. Segment | 8.85 | 0.52 | | | | | 2-3: .343 | | |
| Gestenausf. -Zeit [s] | gesamt | 1,03 | 0,02 | | | | | 1-2: .001, | .39 | groß |
| | schrittsw. | 0,95 | 0,01 | .86 | .88 | .93 | (2,28) =8.91 | 1-3: .003, | | |
| | I. Segment | 0,98 | 0,02 | | | | | 2-3: .292 | | |
| BS val. V. [Anzahl] | gesamt | 1,34 | 0,07 | | | | | 1-2: .768, | .06 | mittel |
| | schrittsw. | 1,27 | 0,05 | .93 | .93 | 1.00 | (2,20) =.65 | 1-3: 1.000, | | |
| | I. Segment | 1,31 | 0,04 | | | | | 2-3: 1.000 | | |
| BS inval. V. [Anzahl] | gesamt | 1,56 | 0,08 | | | | | 1-2: .001, | .45 | groß |
| | schrittsw. | 1,13 | 0,10 | .97 | .97 | 1.00 | (2,26) =10.60 | 1-3: .001, | | |
| | I. Segment | 1,18 | 0,08 | | | | | 2-3: 1.000 | | |
| iE val. V. [Anzahl] | gesamt | 1,15 | 0,03 | | | | | 1-2: .002, | .49 | groß |
| | schrittsw. | 1,05 | 0,02 | .99 | .99 | 1.00 | (2,27) =12.92 | 1-3: 1.000, | | |
| | I. Segment | 1,17 | 0,02 | | | | | 2-3: .000 | | |
| iE inval. V. [Anzahl] | gesamt | 1,41 | 0,08 | | | | | 1-2: .379, | .16 | groß |
| | schrittsw. | 1,25 | 0,09 | .81 | .84 | .89 | (2,26) =2.47 | 1-3: 1.000, | | |
| | I. Segment | 1,45 | 0,14 | | | | | 2-3: .275 | | |

p-Wert-Zuordnung: 1: gesamt, 2: schrittweise, 3: letztes Segment
M.-W: Mauchly-W, G.-G.: Greenhouse-Geisser, H.F.: Hynh-Feldt

Tabelle A18: ANOVA - Messungen der RV-Gruppe RS

| AV | In.-subj.-Faktor | Ø | σ | M.-W, G.-G., H.-F. | | | F | p-Wert | η_p^2 | Effekt | |
|-----------------------|------------------|--------|-------|--------------------|------|------|------|------------------|-------------|--------|--------|
| Int.-Zeit [s] | I | hell | 8,96 | 0,61 | | | | 1-2: .944, | | | |
| | | mittel | 8,24 | 0,47 | .89 | .90 | .96 | (2,27) =3.17 | 1-3: .378, | .19 | groß |
| | | dunkel | 10,46 | 0,85 | | | | | 2-3: .050 | | |
| | G | klein | 8,66 | 0,52 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | (1,28) =1.95 | .173 | .07 | mittel |
| | | groß | 9,78 | 0,67 | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| Gestenausf.-Zeit [s] | I | hell | 0,98 | 0,02 | | | | 1-2: .634, | | | |
| | | mittel | 0,95 | 0,02 | .99 | .99 | 1.00 | (2,28) =1.56 | 1-3: 1.000, | .10 | mittel |
| | | dunkel | 0,99 | 0,02 | | | | | 2-3: .283 | | |
| | G | klein | 0,97 | 0,02 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | (1,29) =.21 | 0.650 | .01 | kein |
| | | groß | 0,97 | 0,02 | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| BS val. V. [Anzahl] | I | hell | 1,32 | 0,05 | | | | 1-2: .165, | | | |
| | | mittel | 1,19 | 0,04 | .86 | .88 | .94 | (2,25) =4.39 | 1-3: .209, | .26 | groß |
| | | dunkel | 1,44 | 0,07 | | | | | 2-3: .017 | | |
| | G | klein | 1,28 | 0,05 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | (1,26) =.81 | .375 | .03 | klein |
| | | groß | 1,35 | 0,05 | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| BS inval. V. [Anzahl] | I | hell | 1,91 | 0,15 | | | | 1-2: .321, | | | |
| | | mittel | 1,61 | 0,14 | .83 | .85 | .90 | (2,28) =2.09 | 1-3: .142, | .13 | groß |
| | | dunkel | 1,58 | 0,12 | | | | | 2-3: 1.000 | | |
| | G | klein | 1,42 | 0,10 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | (1,29) =15.99 | .000 | .36 | groß |
| | | groß | 1,98 | 0,15 | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| iE val. V. [Anzahl] | I | hell | 1,02 | 0,02 | | | | 1-2: .000, | | | |
| | | mittel | 1,25 | 0,05 | .88 | .90 | .95 | (2,28) =10.68 | 1-3: .020, | .43 | groß |
| | | dunkel | 1,14 | 0,04 | | | | | 2-3: .220 | | |
| | G | klein | 1,13 | 0,03 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | (1,29) =.18 | .676 | .01 | klein |
| | | groß | 1,14 | 0,03 | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| iE inval. V. [Anzahl] | I | hell | 1,14 | 0,08 | | | | 1-2: 1.000, | | | |
| | | mittel | 1,13 | 0,11 | .73 | .79 | .83 | (2,25) =4.75 | 1-3: .012, | .28 | groß |
| | | dunkel | 1,59 | 0,16 | | | | | 2-3: .084 | | |
| | G | klein | 1,23 | 0,11 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | (1,26) =.59 | .451 | .02 | klein |
| | | groß | 1,35 | 0,11 | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |

p-Wert-Zuordnung: 1: hell, 2: mittel, 3: dunkel

M.-W: Mauchly-W, G.-G.: Greenhouse-Geisser, H.F.: Hynh-Feldt

Tabelle A19: ANOVA - Messungen der RV-Gruppe RDS

| AV | In.-subj.-Faktor | Ø | σ | M.-W, G.-G., H.-F. | | | F | p-Wert | η_p^2 | Effekt | |
|--------------------------|------------------|--------|------|--------------------|------|------|------|------------------|---|--------|--------|
| Int.-Zeit [s] | I | hell | 7,68 | 0,48 | .65 | .74 | .77 | (2,28) =1.19 | 1-2: 1.000, 1-3: .380, 2-3: .591 | .08 | mittel |
| | | mittel | 8,07 | 0,36 | | | | | | | |
| | | dunkel | 9,04 | 0,68 | | | | | | | |
| | U | klein | 7,75 | 0,36 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | (1,29) =4.24 | .049 | .13 | groß |
| groß | | 8,77 | 0,45 | | | | | | | | |
| Gestenausf.- Zeit [s] | I | hell | 0,94 | 0,02 | .98 | .98 | 1.00 | (2,28) =.82 | 1-2: .937, 1-3: .800, 2-3: 1.000 | .06 | mittel |
| | | mittel | 0,96 | 0,02 | | | | | | | |
| | | dunkel | 0,96 | 0,02 | | | | | | | |
| | U | klein | 0,95 | 0,02 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | (1,29) =.43 | .516 | .02 | klein |
| groß | | 0,96 | 0,02 | | | | | | | | |
| BS val. V. [Anzahl] | I | hell | 1,38 | 0,07 | .90 | .91 | .97 | (2,25) =4.92 | 1-2: .534, 1-3: 1.000, 2-3: 1.000 | .28 | groß |
| | | mittel | 1,30 | 0,06 | | | | | | | |
| | | dunkel | 1,30 | 0,06 | | | | | | | |
| | U | klein | 1,19 | 0,04 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | (1,26) =6.57 | .017 | .20 | groß |
| groß | | 1,36 | 0,06 | | | | | | | | |
| BS inval. V. [Anzahl] | I | hell | 1,41 | 0,14 | .99 | .99 | 1.00 | (2,27) =20.17 | 1-2: 1.000, 1-3: .000, 2-3: .000 | .60 | groß |
| | | mittel | 1,43 | 0,14 | | | | | | | |
| | | dunkel | 0,60 | 0,10 | | | | | | | |
| | U | klein | 1,31 | 0,13 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | (1,28) =.44 | .018 | .02 | klein |
| groß | | 0,98 | 0,10 | | | | | | | | |
| iE val. V. [Anzahl] | I | hell | 1,02 | 0,02 | .47 | .65 | .67 | (2,28) =2.47 | 1-2: 1.000, 1-3: .097, 2-3: .123 | .15 | groß |
| | | mittel | 1,02 | 0,02 | | | | | | | |
| | | dunkel | 1,13 | 0,05 | | | | | | | |
| | U | klein | 1,02 | 0,02 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | (1,29) =3.96 | .056 | .12 | groß |
| groß | | 1,09 | 0,03 | | | | | | | | |
| iE inval. V. [Anzahl] | I | hell | 1,15 | 0,14 | .91 | .92 | .97 | (2,28) =2.10 | 1-2: .301, 1-3: .374, 2-3: 1.000 | .13 | groß |
| | | mittel | 1,19 | 0,12 | | | | | | | |
| | | dunkel | 1,19 | 0,14 | | | | | | | |
| | U | klein | 1,37 | 0,12 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | (1,29) =1.59 | .217 | .05 | klein |
| groß | | 1,19 | 0,10 | | | | | | | | |

p-Wert-Zuordnung: 1: hell, 2: mittel, 3: dunkel

M.-W: Mauchly-W, G.-G.: Greenhouse-Geisser, H.F.: Hynh-Feldt

Tabelle A20: ANOVA - Messungen der RV-Gruppe RSS

| AV | In.-subj.-Faktor | | \bar{X} | σ | M.-W, G.-G., H.-F. | | | F | p -Wert | η_p^2 | Effekt |
|-----------------------|------------------|--------|-----------|----------|--------------------|------|------|------------------|--|------------|--------|
| Int.-Zeit [s] | I | hell | 9,50 | 0,67 | .96 | .96 | 1.00 | (2,27) =1.61 | 1-2: .399, 1-3: 1.000, 2-3: .470 | .11 | mittel |
| | | mittel | 8,46 | 0,58 | | | | | | | |
| | | dunkel | 9,55 | 0,72 | | | | | | | |
| | U | klein | 9,37 | 0,65 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | (1,28) =.29 | .594 | .01 | klein |
| | | groß | 8,97 | 0,59 | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| Gestenausf.-Zeit [s] | I | hell | 1,00 | 0,02 | .87 | .88 | .94 | (2,28) =.95 | 1-2: .554, 1-3: 1.000, 2-3: 1.000 | .06 | mittel |
| | | mittel | 0,96 | 0,02 | | | | | | | |
| | | dunkel | 0,98 | 0,02 | | | | | | | |
| | U | klein | 0,97 | 0,02 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | (1,29) =.17 | .686 | .01 | klein |
| | | groß | 0,98 | 0,02 | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| BS val. V. [Anzahl] | I | hell | 1,30 | 0,06 | .86 | .88 | .94 | (2,23) =.285 | 1-2: 1.000, 1-3: 1.000, 2-3: 1.000 | .02 | klein |
| | | mittel | 1,37 | 0,07 | | | | | | | |
| | | dunkel | 1,30 | 0,07 | | | | | | | |
| | U | klein | 1,39 | 0,05 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | (1,24) =4.10 | .054 | .15 | groß |
| | | groß | 1,25 | 0,05 | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| BS inval. V. [Anzahl] | I | hell | 1,65 | 0,12 | .93 | .94 | 1.00 | (2,27) =11.74 | 1-2: .002, 1-3: .000, 2-3: .394 | .47 | groß |
| | | mittel | 1,09 | 0,12 | | | | | | | |
| | | dunkel | 0,90 | 0,10 | | | | | | | |
| | U | klein | 0,94 | 0,09 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | (1,27) =47.93 | .000 | .63 | groß |
| | | groß | 1,48 | 0,08 | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| iE val. V. [Anzahl] | I | hell | 1,30 | 0,05 | .92 | .93 | .99 | (2,27) =.65 | 1-2: .000, 1-3: .071, 2-3: .026 | .05 | klein |
| | | mittel | 1,03 | 0,02 | | | | | | | |
| | | dunkel | 1,16 | 0,03 | | | | | | | |
| | U | klein | 1,13 | 0,03 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | (1,28) =2.36 | .136 | .08 | mittel |
| | | groß | 1,20 | 0,03 | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| iE inval. V. [Anzahl] | I | hell | 1,71 | 0,20 | .85 | .87 | .92 | (2,26) =3.34 | 1-2: .042, 1-3: .261, 2-3: 1.000 | .20 | groß |
| | | mittel | 1,25 | 0,15 | | | | | | | |
| | | dunkel | 1,34 | 0,11 | | | | | | | |
| | U | klein | 1,45 | 0,14 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | (1,27) =0.05 | .217 | .00 | kein |
| | | groß | 1,42 | 0,14 | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |

p-Wert-Zuordnung: 1: hell, 2: mittel, 3: dunkel

M.-W: Mauchly-W, G.-G.: Greenhouse-Geisser, H.F.: Hynh-Feldt

Tabelle A21: ANOVA - Messungen der RV-Gruppe RSL

| | $\bar{\emptyset}$ -Zeit [s] | σ [s] | F | p -Wert | η_p^2 | Effekt |
|-----------------------|---|----------------------|--------|-----------|------------|--------|
| Gestenausführungszeit | | | | | | |
| G1 | 1,04 | 0,09 | mittel | (1,23) | .033 | .18 |
| G2 | 0,97 | 0,06 | | =5.18 | | |
| Interaktionszeit | | | | | | |
| G1 | 10,16 | 1,45 | mittel | (1,23) | .020 | .21 |
| G2 | 8,58 | 1,67 | | =6.20 | | |
| | $\bar{\emptyset}$ -Versuche [Anzahl] | σ [Anzahl] | F | p -Wert | η_p^2 | Effekt |
| G1 | 1,12 | 0,09 | hoch | (1,23) | .027 | .20 |
| G2 | 1,16 | 0,07 | | =5.57 | | |
| iE invalide Versuche | | | | | | |
| G1 | 1,62 | 0,28 | hoch | (1,23) | .002 | .35 |
| G2 | 1,21 | 0,29 | | =12.54 | | |

Tabelle A22: t -Test - relevante Messgrößen der Gruppen mit (G1) und ohne (G2) Präferenz der Reizdarbietung Sakkadenstrecke, dynamisch

| Parameter | p_0 | Nennungen | | p -Wert |
|-----------|-------|-----------|-----------|-----------|
| | | G_{BS+} | G_{BS-} | |
| Ja | .5 | 11 | 4 | .118 |
| Nein | .5 | 18 | 2 | .000 |
| Hoch | .5 | 3 | 17 | .003 |
| Runter | .5 | 6 | 11 | .332 |
| Weiter | .5 | 2 | 7 | .180 |
| Zurück | .5 | 12 | 9 | .664 |

Tabelle A23: Binomialtest - Häufigkeit der Gestenexistenz in $G_{BS+/-}$

| AV | In.-subj.-Faktor | $\bar{\emptyset}$ | σ | F | p -Wert | η_p^2 | Effekt |
|--------------------------------|------------------|-------------------|----------|---------|-----------|------------|--------|
| iE [Anzahl] | G_{BS+} | 5,3 | 3,74 | (1,100) | .075 | .03 | mittel |
| | G_{BS-} | 6,5 | 2,88 | =3.23 | | | |
| Lokale Komplexität | G_{BS+} | 1,5 | 1,6 | (1,100) | .144 | .02 | kein |
| | G_{BS-} | 1,1 | 0,95 | =2.17 | | | |
| überlappende Objektnähe [%] | G_{BS+} | 0,37 | 0,49 | (1,100) | .010 | .07 | kein |
| | G_{BS-} | 0,62 | 0,49 | =6.93 | | | |
| Menütiefe | G_{BS+} | 1,46 | 0,13 | (1,100) | .024 | .05 | groß |
| | G_{BS-} | 1,90 | 0,14 | =5.25 | | | |

Tabelle A24: ANOVA univariat - Messungen der Interfaceaufbauten der $G_{BS+/-}$

| Parameter | p_0 | Nennungen | | p -Wert |
|-----------|-------|------------------|------------------|-----------|
| | | G _{BS+} | G _{BS-} | |
| zentral | .5 | 16 | 10 | .327 |
| linear | .5 | 16 | 7 | .093 |
| radial | .5 | 19 | 29 | .193 |
| Rahmen | .5 | 1 | 4 | .375 |

Tabelle A25: Binomialtest - Häufigkeit der Interfaceaufbaukategorien in G_{BS}+/-

| Parameter | p_0 | Nennungen | | p -Wert |
|-----------|-------|------------------|------------------|-----------|
| | | G _{BS+} | G _{BS-} | |
| Ebene 0 | .5 | 14 | 1 | .001 |
| Ebene 1 | .5 | 14 | 12 | .845 |
| Ebene 2 | .5 | 10 | 29 | .003 |
| Ebene 3 | .5 | 14 | 9 | .405 |

Tabelle A26: Binomialtest - Häufigkeit der Menütiefe in G_{BS}+/-

| Paarweise Vergleiche | Mittlere Diff. | p -Wert | z-Wert | Angepasster | |
|-------------------------|-------------------|-----------|--------|-------------|--------------|
| | | | | p -Wert | r , Effekt |
| Ja-Nein | -0,47 | .334 | -.47 | 1.000 | .09, kein |
| Ja-Hoch | -1,77 | .000 | -1.77 | .004 | .33, mittel |
| Ja-Runter | -1,85 | .000 | -1.85 | .002 | .35, mittel |
| Ja-Weiter | -2,09 | .000 | -2.08 | .000 | .39, mittel |
| Ja-Zurück | -2,23 | .000 | -2.23 | .000 | .42, mittel |
| Nein-Hoch | -1,30 | .007 | -1.30 | .107 | .25, klein |
| Nein-Runter | -1,38 | .004 | -1.38 | .063 | .26, klein |
| Nein-Weiter | -1,62 | .001 | -1.62 | .012 | .31, mittel |
| Nein-Zurück | -1,77 | .000 | -1.77 | .004 | .33, mittel |
| Hoch-Runter | -0,08 | .863 | -.08 | 1.000 | .02, klein |
| Hoch-Weiter | -0,32 | .512 | -.32 | 1.000 | .06, kein |
| Hoch-Zurück | -0,47 | .334 | -.47 | 1.000 | .09, kein |
| Runter-Weiter | -0,23 | .629 | -.23 | 1.000 | .04, kein |
| Runter-Zurück | -0,38 | .427 | -.38 | 1.000 | .07, kein |
| Weiter-Zurück | -0,15 | .756 | -.15 | 1.000 | .03, kein |

angepasste p -Werte mittels Bonferroni-Korrektur

Tabelle A27: Zweifaktorielle Varianzanalyse nach Friedman - Paarweise Vergleiche der Gestenpräferenz

| Paarweiser Vergleich | Mittlere Diff. | <i>F</i> | <i>p</i> -Wert | η_p^2 | Effekt |
|----------------------|----------------|-------------------|----------------|------------|--------|
| BS valide Versuche | | | | | |
| Nein-Zurück | -0,32 | (5, 212) =4.79 | .033 | .10 | klein |
| Nein-Hoch | -0,48 | | .000 | | |
| Ja-Hoch | -0,31 | | .045 | | |
| BS invalide Versuche | | | | | |
| Nein-Zurück | -1,30 | 5, 212) =6.28 | .003 | .13 | mittel |
| Nein-Runter | -1,21 | | .008 | | |
| Nein-Weiter | 1,67 | | .000 | | |
| Nein-Hoch | -1,43 | | .001 | | |
| iE valide Versuche | | | | | |
| Zurück-Hoch | -0,15 | 5, 212) =6.05 | .009 | .13 | mittel |
| Weiter-Hoch | -0,17 | | .001 | | |
| Nein-Hoch | -0,18 | | .001 | | |
| Ja-Hoch | -0,21 | | .000 | | |
| iE invalide Versuche | | | | | |
| Nein-Zurück | -0,85 | 5, 212) =9.94 | .000 | .19 | mittel |
| Nein-Runter | -0,80 | | .001 | | |
| Nein-Weiter | -0,91 | | .000 | | |
| Nein-Hoch | -1,26 | | .000 | | |
| Ja-Hoch | -0,86 | | .000 | | |

Tabelle A28: ANOVA univariat - Paarweise Vergleiche der Blickgesten

| AV-Messungen | Ø Interaktionszeit (kurz/lange) | | Ø Gestenaustf.-Zeit (kurz/lange) | | Ø BS valide V. (wenig/viel) | | Ø BS invalide V. (wenig/viel) | | Ø IE valide V. (wenig/viel) | | Ø IE invalide V. (wenig/viel) | |
|--------------------------------------|------------------------------------|-----------|-------------------------------------|-----------|--|-----------|---|-----------|--------------------------------|-----------|-----------------------------------|-----------|
| | p-Wert | Korr. [r] | p-Wert | Korr. [r] | p-Wert | Korr. [r] | p-Wert | Korr. [r] | p-Wert | Korr. [r] | p-Wert | Korr. [r] |
| individuelle Faktoren | | | | | | | | | | | | |
| Ø Müdigkeit (niedrig/hoch) | .871 | .031 | .939 | -.015 | .087 | -.318 | .646 | -.087 | .122 | -.289 | .401 | -.159 |
| Ø Beanspruchung (niedrig/hoch) | .932 | .016 | .577 | .106 | .141 | -.275 | .805 | -.089 | .696 | -.074 | .845 | -.037 |
| Geschlecht (w/m) | .001 | -.605 | .068 | -.338 | .025 | -.409 | .005 | -.495 | .0173 | -.256 | .005 | -.499 |
| Sehhilfe notwendig (nein/ja) | .008 | .478 | .006 | .486 | .049 | -.362 | .015 | .439 | .011 | -.460 | .064 | -.342 |
| Tragen einer Brille (nein/ja) | .029 | .399 | .044 | .370 | .073 | .332 | .039 | .378 | .015 | .441 | .025 | .409 |
| Kontaktlinsen (nein/ja) | .403 | .159 | .266 | .210 | .592 | .102 | .493 | .130 | .699 | .074 | .744 | .062 |
| Erkennungsrate (niedrig/hoch) | .000 | -.722 | .396 | -.161 | .000 | -.735 | .000 | -.721 | .000 | -.917 | .000 | -.837 |
| Expertise vorhanden (nein/ja) | .299 | -.196 | .388 | .163 | .086 | -.319 | .731 | -.065 | .652 | -.086 | .830 | -.041 |
| Ballsportart (nein/ja) | .237 | -.223 | .595 | -.101 | .015 | -.441 | .022 | -.416 | .014 | -.446 | .007 | -.483 |
| Kunst & Notenlesen (nein/ja) | .187 | -.248 | .317 | .189 | .492 | -.130 | .479 | -.134 | .791 | .050 | .791 | -.050 |
| Computerspiele (nein/ja) | .007 | -.483 | .536 | .118 | .017 | -.433 | .021 | -.420 | .339 | -.181 | .126 | -.286 |
| Reaktionstest (schlecht/gut) | .339 | -.181 | .759 | .058 | .133 | -.281 | .045 | -.369 | .024 | -.411 | .060 | -.348 |
| r. Orientierungsv. (schlecht/gut) | .059 | -.349 | .162 | .162 | .276 | -.206 | .154 | -.267 | .458 | -.141 | .068 | -.338 |
| individuelle Faktoren | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | Experimentdauer (kurz/lange) | | Ø Aufgabenlesezeit (kurz/lang) | | Reaktionstest gesamt (schlecht/gut) | | Räuml. Orientierungsverm. (schlecht/gut) | | Ø Müdigkeit (niedrig/hoch) | | Ø Beanspruchung (niedrig/hoch) | |
| | p-Wert | Korr. [r] | p-Wert | Korr. [r] | p-Wert | Korr. [r] | p-Wert | Korr. [r] | p-Wert | Korr. [r] | p-Wert | Korr. [r] |
| Ø Müdigkeit (niedrig/hoch) | .988 | .003 | .607 | -.097 | .895 | .025 | .384 | .165 | - | - | .077 | .328 |
| Ø Beanspruchung (niedrig/hoch) | .407 | .157 | .927 | -.017 | .388 | -.164 | .529 | -.119 | .077 | .328 | - | - |
| Geschlecht (w/m) | .226 | -.228 | .103 | .303 | .984 | .004 | .238 | .222 | .232 | -.225 | .967 | -.008 |
| Sehhilfe notwendig (nein/ja) | .665 | -.083 | .664 | .083 | .853 | .035 | .868 | -.032 | .772 | -.055 | .884 | .028 |
| Brille (nein/ja) | .808 | .046 | .825 | -.042 | .425 | -.151 | .807 | .047 | .449 | .144 | .738 | .064 |
| Kontaktlinsen (nein/ja) | .588 | .103 | .252 | -.216 | .858 | .034 | 1.000 | .000 | .611 | -.097 | .588 | -.103 |
| Expertise vorhanden (nein/ja) | .983 | -.004 | .914 | -.020 | .388 | -.163 | .681 | -.078 | .651 | .086 | .880 | -.029 |
| Tätig. Ballsportart (nein/ja) | .194 | -.244 | .039 | -.379 | .018 | .429 | .475 | .136 | .107 | .300 | .358 | -.174 |
| Kunst & Notenlesen (nein/ja) | .596 | -.101 | .658 | -.084 | .179 | -.252 | .807 | .047 | .061 | -.346 | .876 | -.030 |
| Computerspiele (nein/ja) | .306 | -.193 | .361 | .173 | .808 | -.046 | .562 | .11 | .372 | -.169 | .066 | .340 |
| Versuchsbeginn (früh/spät) | .815 | .045 | .536 | .118 | .106 | -.301 | .745 | -.062 | .054 | .355 | .011 | .455 |

Korrelation nach Spearman: $p \leq .05$ $p \leq .01$ $p \leq .001$

Tabelle A29: Korrelationen zwischen individuellen Faktoren und AV-Messungen

| Abhängige Variable | Test | Zw.subj.-Faktor | \bar{M} | σ | F | p -Wert | η_p^2 | Effekt2 |
|----------------------------------|------|--------------------------|-----------|----------|--------|-----------|------------|---------|
| Interaktionszeit [s] | RT | RT _{ges} > 50 % | 9,12 | 1,75 | (1,28) | .916 | .00 | kein |
| | | RT _{ges} < 50 % | 9,19 | 1,84 | =.01 | | | |
| | 3D | 3D > 50 % | 8,62 | 1,86 | (1,28) | .099 | .09 | kein |
| | | 3D < 50 % | 9,67 | 1,55 | =2.91 | | | |
| Gestenausführungszeit [s] | RT | RT _{ges} > 50 % | 1,00 | 0,08 | (1,28) | .853 | .00 | kein |
| | | RT _{ges} < 50 % | 1,00 | 0,07 | =.03 | | | |
| | 3D | 3D > 50 % | 1,00 | 0,08 | (1,28) | .107 | .09 | kein |
| | | 3D < 50 % | 1,00 | 0,07 | =2.77 | | | |
| BS valide Versuche [Anzahl] | RT | RT _{ges} > 50 % | 1,41 | 0,19 | (1,28) | .410 | .02 | klein |
| | | RT _{ges} < 50 % | 1,47 | 0,15 | =.70 | | | |
| | 3D | 3D > 50 % | 1,42 | 0,19 | (1,28) | .601 | .01 | kein |
| | | 3D < 50 % | 1,46 | 0,16 | =.28 | | | |
| BS invalide Versuche [Anzahl] | RT | RT _{ges} > 50 % | 2,00 | 0,47 | (1,28) | .255 | .05 | kein |
| | | RT _{ges} < 50 % | 2,24 | 0,68 | =1.35 | | | |
| | 3D | 3D > 50 % | 2,01 | 0,58 | (1,28) | .320 | .04 | kein |
| | | 3D < 50 % | 2,24 | 0,59 | =1.03 | | | |
| iE valide Versuche [Anzahl] | RT | RT _{ges} > 50 % | 1,11 | 0,07 | (1,28) | .097 | .10 | klein |
| | | RT _{ges} < 50 % | 1,16 | 0,08 | =2.96 | | | |
| | 3D | 3D > 50 % | 1,13 | 0,07 | (1,28) | .540 | .01 | kein |
| | | 3D < 50 % | 1,14 | 0,09 | =.38 | | | |
| iE invalide Versuche [Anzahl] | RT | RT _{ges} > 50 % | 1,36 | 0,29 | (1,28) | .166 | .07 | kein |
| | | RT _{ges} < 50 % | 1,54 | 0,41 | =2.03 | | | |
| | 3D | 3D > 50 % | 1,37 | 0,37 | (1,28) | .263 | .05 | kein |
| | | 3D < 50 % | 1,52 | 0,35 | =1.31 | | | |

p-Wert-Zuordnung: 1: v. d. Experiment, 2: in der Pause, 3: n. d. Experiment
M.-W: Mauchly-W, G.-G.: Greenhouse-Geisser, H.-F.: Hynh-Feldt
angepasste p-Werte mittels Bonferroni-Korrektur

Tabelle A30: ANOVA univariat - Messungen der Vortesteingruppierung in <50 % und > 50 %

| Messung | \bar{M} | σ | M.-W, G.-G., H.-F. | | | F | p -Wert | η_p^2 | Effekt |
|------------------|-----------|----------|--------------------|-----|-----|------------------|------------|------------|--------|
| Müdigkeit | | | | | | | | | |
| v. d. Experiment | 3,80 | 0,24 | | | | (2,28) =13.21 | 1-2: .000, | .938 | groß |
| in der Pause | 4,83 | 0,23 | .74 | .79 | .83 | | 1-3: .000, | | |
| n. d. Experiment | 4,80 | 0,26 | | | | | 2-3: 1.000 | | |
| Beanspruchung | | | | | | | | | |
| v. d. Experiment | 2,40 | 0,17 | | | | (2,28) =30.40 | 1-2: .000, | .944 | groß |
| in der Pause | 3,93 | 0,19 | .86 | .88 | .93 | | 1-3: .000, | | |
| n. d. Experiment | 4,00 | 0,21 | | | | | 2-3: 1.000 | | |

p-Wert-Zuordnung: 1: v. d. Experiment, 2: in der Pause, 3: n. d. Experiment
M.-W: Mauchly-W, G.-G.: Greenhouse-Geisser, H.-F.: Hynh-Feldt
angepasste p-Werte mittels Bonferroni-Korrektur

Tabelle A31: ANOVA - Messungen der empfundenen Müdigkeit und Beanspruchung

| Abhängige Variable | Zw.subj.-Faktor | \bar{M} | σ | F | p -Wert | η_p^2 | Effekt |
|-------------------------------|-----------------|-----------|----------|--------|-----------|------------|--------|
| Sakkadenstrecke | | | | | | | |
| Interaktionszeit [s] | weiblich | 10,69 | 1,69 | (1,28) | .001 | .31 | mittel |
| | männlich | 8,49 | 1,65 | =12.60 | | | |
| Gestenausführungszeit [s] | weiblich | 1,07 | 0,10 | (1,28) | .066 | .12 | klein |
| | männlich | 1,02 | 0,06 | =3.66 | | | |
| BS valide Versuche [Anzahl] | weiblich | 1,93 | 0,25 | (1,28) | .020 | .18 | klein |
| | männlich | 1,73 | 0,21 | =6.04 | | | |
| BS invalide Versuche [Anzahl] | weiblich | 3,11 | 0,69 | (1,28) | .008 | .23 | klein |
| | männlich | 2,43 | 0,61 | =8.15 | | | |
| iE valide Versuche [Anzahl] | weiblich | 1,27 | 0,15 | (1,28) | .215 | .05 | kein |
| | männlich | 1,21 | 0,11 | =1.61 | | | |
| iE invalide Versuche [Anzahl] | weiblich | 1,24 | 0,13 | (1,28) | .445 | .02 | kein |
| | männlich | 1,20 | 0,13 | =.60 | | | |
| Rastpunkt | | | | | | | |
| Interaktionszeit [s] | weiblich | 10,21 | 1,32 | (1,28) | .000 | .39 | mittel |
| | männlich | 8,18 | 1,20 | =3.66 | | | |
| Gestenausführungszeit [s] | weiblich | 1,03 | 0,08 | (1,28) | .009 | .22 | klein |
| | männlich | 0,97 | 0,04 | =3.66 | | | |
| BS valide Versuche [Anzahl] | weiblich | 1,42 | 0,14 | (1,28) | .007 | .23 | klein |
| | männlich | 1,29 | 0,11 | =8.51 | | | |
| BS invalide Versuche [Anzahl] | weiblich | 1,75 | 0,42 | (1,28) | .001 | .32 | mittel |
| | männlich | 1,31 | 0,25 | =12.91 | | | |
| iE valide Versuche [Anzahl] | weiblich | 1,24 | 0,13 | (1,28) | .542 | .01 | kein |
| | männlich | 1,20 | 0,14 | =.382 | | | |
| iE invalide Versuche [Anzahl] | weiblich | 1,52 | 0,26 | (1,28) | .016 | .19 | klein |
| | männlich | 1,24 | 0,32 | =6.57 | | | |

Tabelle A32: ANOVA univariat - geschlechterspezifische Messungen, aufgeteilt auf die Unterstützungselemente

| Abhängige Variable | Zw.subj.-Faktor | \bar{M} | σ | F | p -Wert | η_p^2 | Effekt |
|-------------------------------|-----------------|-----------|----------|--------|-----------|------------|--------|
| Interaktionszeit [s] | keine Expertise | 9,22 | 1,60 | (1,28) | .308 | .04 | klein |
| | Expertise | 8,56 | 1,76 | =1.08 | | | |
| Gestenausführungszeit [s] | keine Expertise | 0,99 | 0,75 | (1,28) | .644 | .01 | klein |
| | Expertise | 1,01 | 0,08 | =.22 | | | |
| BS valide Versuche [Anzahl] | keine Expertise | 1,43 | 0,13 | (1,28) | .051 | .13 | klein |
| | Expertise | 1,34 | 0,11 | =4.15 | | | |
| BS invalide Versuche [Anzahl] | keine Expertise | 2,10 | 0,48 | (1,28) | .491 | .02 | klein |
| | Expertise | 1,97 | 0,51 | =.488 | | | |
| iE valide Versuche [Anzahl] | keine Expertise | 1,14 | 0,08 | (1,28) | .479 | .02 | kein |
| | Expertise | 1,12 | 0,06 | =.51 | | | |
| iE invalide Versuche [Anzahl] | weiblich | 1,44 | 0,31 | (1,28) | .643 | .01 | kein |
| | männlich | 1,38 | 0,37 | =.22 | | | |

Tabelle A33: ANOVA univariat – Expertisen-spezifische Messungen

| Abhängige Variable | Zw.subj.-Faktor | \bar{M} | σ | F | p -Wert | η_p^2 | Effekt |
|----------------------------------|-----------------|-----------|----------|-------|-----------|------------|--------|
| Sakkadenstrecke | | | | | | | |
| Interaktionszeit [s] | keine Sehhilfe | 8,64 | 1,65 | 1,28) | .010 | .21 | klein |
| | Sehhilfe | 10,46 | 1,96 | =7.54 | | | |
| Gestenausführungszeit [s] | keine Sehhilfe | 1,02 | 0,08 | 1,28) | .131 | .08 | kein |
| | Sehhilfe | 1,07 | 0,08 | =2.42 | | | |
| BS valide Versuche [Anzahl] | keine Sehhilfe | 1,72 | 0,20 | 1,28) | .009 | .22 | klein |
| | Sehhilfe | 1,95 | 0,25 | =7.82 | | | |
| BS invalide Versuche [Anzahl] | keine Sehhilfe | 2,43 | 0,58 | 1,28) | .007 | .24 | klein |
| | Sehhilfe | 3,13 | 0,72 | =8.63 | | | |
| iE valide Versuche [Anzahl] | keine Sehhilfe | 1,21 | 0,12 | 1,28) | .183 | .06 | kein |
| | Sehhilfe | 1,27 | 0,14 | =1.86 | | | |
| iE invalide Versuche [Anzahl] | keine Sehhilfe | 1,18 | 0,14 | 1,28) | .126 | .08 | kein |
| | Sehhilfe | 1,26 | 0,12 | =2.49 | | | |
| Rastpunkt | | | | | | | |
| Interaktionszeit [s] | keine Sehhilfe | 8,49 | 1,51 | 1,28) | .037 | .15 | klein |
| | Sehhilfe | 9,75 | 1,58 | =4.80 | | | |
| Gestenausführungszeit [s] | keine Sehhilfe | 0,97 | 0,05 | 1,28) | .036 | .15 | klein |
| | Sehhilfe | 1,03 | 0,08 | =4.87 | | | |
| BS valide Versuche [Anzahl] | keine Sehhilfe | 1,31 | 0,11 | 1,28) | .066 | .12 | klein |
| | Sehhilfe | 1,40 | 0,16 | =.07 | | | |
| BS invalide Versuche [Anzahl] | keine Sehhilfe | 1,41 | 0,32 | 1,28) | .194 | .06 | kein |
| | Sehhilfe | 1,60 | 0,47 | =1.78 | | | |
| iE valide Versuche [Anzahl] | keine Sehhilfe | 1,19 | 0,14 | 1,28) | .21 | .06 | kein |
| | Sehhilfe | 1,26 | 0,12 | =1.67 | | | |
| iE invalide Versuche [Anzahl] | keine Sehhilfe | 1,26 | 0,33 | 1,28) | .050 | .13 | klein |
| | Sehhilfe | 1,49 | 0,27 | =4.20 | | | |

Tabelle A34: ANOVA univariat - Messungen der Sehhilfe, aufgeteilt auf die Unterstützungselemente

| Abhängige Variable | Zw.subj.-Faktor | \bar{M} | σ | F | p -Wert | η_p^2 | Effekt |
|----------------------------------|----------------------|-----------|----------|--------|-----------|------------|--------|
| Interaktionszeit [s] | keine Ballsportarten | 9,26 | 1,59 | (1,28) | .198 | .06 | kein |
| | Ballsportarten | 8,40 | 1,72 | =1.74 | | | |
| Gestenausführungszeit [s] | keine Ballsportarten | 1,01 | 0,08 | (1,28) | .419 | .02 | kein |
| | Ballsportarten | 0,98 | 0,05 | =.673 | | | |
| BS valide Versuche [Anzahl] | keine Ballsportarten | 1,43 | 0,12 | (1,28) | .011 | .21 | klein |
| | Ballsportarten | 1,31 | 0,10 | =7.43 | | | |
| BS invalide Versuche [Anzahl] | keine Ballsportarten | 2,18 | 0,48 | (1,28) | .035 | .15 | klein |
| | Ballsportarten | 1,77 | 0,41 | =4.89 | | | |
| iE valide Versuche [Anzahl] | keine Ballsportarten | 1,15 | 0,08 | (1,28) | .023 | .17 | klein |
| | Ballsportarten | 1,09 | 0,044 | =5.78 | | | |
| iE invalide Versuche [Anzahl] | keine Ballsportarten | 1,52 | 0,32 | (1,28) | .010 | .21 | klein |
| | Ballsportarten | 1,20 | 0,23 | =7.51 | | | |
| Reaktionstest | keine Ballsportarten | 74,98 | 16,65 | (1,28) | .034 | .15 | klein |
| | Ballsportarten | 89,61 | 15,89 | =5.00 | | | |

Tabelle A35: ANOVA univariat -Messungen der Tätigkeit Ballsportart

| Abhängige Variable | Zw.subj.-Faktor | \bar{M} | σ | F | p -Wert | η_p^2 | Effekt |
|----------------------------------|----------------------|-----------|----------|--------|-----------|------------|--------|
| Interaktionszeit [s] | keine Computerspiele | 9,48 | 1,51 | (1,28) | .012 | .20 | klein |
| | Computerspiele | 7,88 | 1,47 | =7.18 | | | |
| Gestenausführungszeit [s] | keine Computerspiele | 0,99 | 0,08 | (1,28) | .602 | .01 | kein |
| | Computerspiele | 1,01 | 0,07 | =.28 | | | |
| BS valide Versuche [Anzahl] | keine Computerspiele | 1,43 | 0,12 | (1,28) | .020 | .18 | klein |
| | Computerspiele | 1,32 | 0,09 | =6.11 | | | |
| BS invalide Versuche [Anzahl] | keine Computerspiele | 2,18 | 0,48 | (1,28) | .035 | .15 | klein |
| | Computerspiele | 1,77 | 0,41 | =5.63 | | | |
| iE valide Versuche [Anzahl] | keine Computerspiele | 1,14 | 0,08 | (1,28) | .274 | .04 | kein |
| | Computerspiele | 1,11 | 0,06 | =1.24 | | | |
| iE invalide Versuche [Anzahl] | keine Computerspiele | 1,48 | 0,32 | (1,28) | .104 | .09 | kein |
| | Computerspiele | 1,27 | 0,31 | =2.82 | | | |

Tabelle A36: ANOVA univariat - Messungen der Tätigkeit Computerspiele

| Abhängige Variable | Zw.subj.-Faktor | \bar{X} | σ | F | p -Wert | η_p^2 | Effekt |
|----------------------------------|----------------------|-----------|----------|--------|-----------|------------|--------|
| Sakkadenstrecke | | | | | | | |
| Interaktionszeit [s] | keine Computerspiele | 9,81 | 1,82 | (1,28) | .059 | .12 | klein |
| | Computerspiele | 8,34 | 2,02 | =3.88 | | | |
| BS valide Versuche [Anzahl] | keine Computerspiele | 1,86 | 0,25 | (1,28) | .103 | .09 | kein |
| | Computerspiele | 1,70 | 0,20 | =2.84 | | | |
| BS invalide Versuche [Anzahl] | keine Computerspiele | 2,87 | 0,62 | (1,28) | .062 | .12 | klein |
| | Computerspiele | 2,33 | 0,83 | =3.78 | | | |
| Rastpunkt | | | | | | | |
| Interaktionszeit [s] | keine Computerspiele | 9,50 | 1,46 | (1,28) | .007 | .23 | klein |
| | Computerspiele | 7,82 | 1,46 | =8.31 | | | |
| BS valide Versuche [Anzahl] | keine Computerspiele | 1,37 | 0,14 | (1,28) | .071 | .11 | klein |
| | Computerspiele | 1,28 | 0,10 | =3.52 | | | |
| BS invalide Versuche [Anzahl] | keine Computerspiele | 1,57 | 0,41 | (1,28) | .057 | .12 | klein |
| | Computerspiele | 1,28 | 0,25 | =3.95 | | | |

Tabelle A37: ANOVA univariat - Messungen der Tätigkeit Computerspiele, aufgeteilt auf die Unterstützungselemente

| Messung | \bar{X} | σ | F | p -Wert | η_p^2 | Effekt |
|----------------------|-----------|----------|-----------------|--|------------|--------|
| Müdigkeit | | | | | | |
| Versuchslot 1 | 3,96 | 0,60 | (3,26) =1.17 | 1-2: 1.000, | .12 | klein |
| Versuchslot 2 | 4,42 | 1,36 | | 1-3: .444, | | |
| Versuchslot 3 | 5,04 | 1,05 | | 1-4: 1.000, | | |
| Versuchslot 4 | 4,50 | 1,54 | | 2-3: 1.000, 2-4: 1.000, 3-4: 1.000 | | |
| Beanspruchung | | | | | | |
| Versuchslot 1 | 2,62 | 0,65 | (3,26) =4.67 | 1-2: .027, | .35 | mittel |
| Versuchslot 2 | 3,75 | 0,83 | | 1-3: .027, | | |
| Versuchslot 3 | 3,75 | 0,46 | | 1-4: .056, | | |
| Versuchslot 4 | 3,72 | 10,93 | | 2-3: 1.000, 2-4: 1.000, 3-4: 1.000 | | |

Tabelle A38: ANOVA univariat - Messungen der empfundenen Müdigkeit und Beanspruchung in Abhängigkeit des Versuchsbeginns

Lebenslauf

Persönliche Angaben:

Name: Marcus Jenke
Geburtsdatum: 29.08.1987
Geburtsort: Dresden
Staatsangehörigkeit: Deutsch

Ausbildung:

12/2012 – 11/2014 Studium des Maschinenbaus (M.Sc.)
an der Universität Stuttgart
Hauptfächer: Produktentwicklung und Konstruktionstechnik

10/2007 – 11/2012 Studium des Maschinenbaus (B.Sc.)
an der Universität Stuttgart
Vertiefungen: Methodische Produktentwicklung und
Technisches Design

09/1998 – 07/2007 Ellental-Gymnasium Bietigheim-Bissingen
(Allgemeine Hochschulreife)

Beruflicher Werdegang:

Seit 01/2020 Geschäftsführer des Dienstleistungsunternehmens
USE-Ing. GmbH

01/2015 – 12/2019 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Konstruktions-
technik und Technisches Design (IKTD),
an der Universität Stuttgart

ISBN: 978-3-946924-12-8